دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مهندسی سازه

مطالعه عددی رفتار سیکلی اتصال تیر به ستون در سازه های بتن مسلح توسط پوشش خارجی FRP

توسط :

حمزه خامه چیان

استاد راهنما:

دکتر محمد زمان کبیر

استاد مشاور:

دکتر هادی نظرپور

زمستان 1387

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا

تاریخ:
شماره:

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: دانشجوی آزاد ● بورسیه ○ معادل ○

شماره دانشجوئی: ۸۵۱۲۴۰۶۰ دانشکده: عمران و محیط زیست رشته تحصیلی: عمران- سازه گروه: سازه و زلزله

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: دکتر محمد زمان کبیر درجه و رتبه: دانشیار

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: دکتر هادی نظرپور درجه و رتبه: استادیار

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی : مطالعه عددی رفتار سیکلی اتصال تیر به ستون در سازه های بتن مسلح توسط پوشش خارجی FRP

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی:Numerical Investigation of Cyclic Performance of Retrofitted Beam – Column Joint by External FRP Fabric

نوع پروژه: کارشناسی○ ارشد● دکتر ا ○ سال تحصیلی: ۸۸-۸۷

کاربردی ● بنیادی ○ توسعه‌ای ○ نظری○

تاریخ شروع : ۸۶/۶/۱۲ تاریخ خاتمه :۸۷/۱۱/۱۳ تعداد واحد :۶ سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فارسی: اتصال تیر به ستون، صفحات FRP، بارهای سیکلی، بتن مسلح، مقاوم سازی، شکل پذیری

واژه‌های کلیدی به انگلیسی : Beam-Column joint, FRP Sheet, Cyclic loading, Reinforced Concrete, Strengthening, Ductility

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات ۱۰۴	تصویر○ جدول● نمودار● نقشه ○ واژه‌نامه ○		تعداد مراجع ۲۷	تعداد صفحات ضمائم
زبان متن	فارسی ●	انگلیسی ○	چکیده	فارسی ●	انگلیسی ●
یادداشت					

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

۱ : ارائه به معاونت پژوهشی به همراه یک نسخه الکترونیکی از پایان‌نامه و فرم اطلاعات پایان‌نامه بصورت PDF همراه چاپ چکیده (فارسی انگلیسی) و فرم اطلاعات پایان‌نامه

۲ : ارائه به کتابخانه دانشکده (شامل دو جلد پایان نامه به همراه نسخه الکترونیکی فرم در لوح فشرده طبق نمونه اعلام شده در صفحه خانگی کتابخانه مرکزی)

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

چکیده پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان :

"مطالعه عددی رفتار سیکلی اتصال تیر به ستون در سازه های بتن مسلح توسط پوشش خارجی FRP"

ارائه شده توسط : حمزه خامه چیان **شماره دانشجویی** : 85124060 **گرایش**: سازه

استاد راهنما: دکتر محمد زمان کبیر

استاد مشاور: دکتر هادی نظر پور

سازه های موجود در موارد زیادی نیاز به ترمیم و تقویت دارند، این مسأله دارای دلایل مختلفی از جمله خرابی های به وجود آمده در سازه ها ناشی از زلزله های گذشته، طراحی نامناسب، عدم رعایت ضوابط اجرایی در هنگام ساخت، تغییر و اصلاح ضوابط آیین نامه ها و تغییر کاربری سازه ها می باشد. روشهای مختلفی برای تقویت سازه ها در سالیان اخیر پیشنهاد شده اند، که از این میان می توان به استفاده از مواد مرکب پلیمری اشاره نمود. استفاده از کامپوزیتها به دلیل خواص مناسب آنها از قبیل مقاومت و سختی بالا، وزن کم، مقاومت در برابر خوردگی، نصب سریع و آسان، تغییر ناچیز ابعاد المانهای سازه ای مانند تیر و ستون و امکان انجام مقاوم سازی در دوره بهره برداری در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است.

اتصالات به عنوان یکی از نقاط اساسی و مهم اجزای سازه ای به شمار می روند که بررسی عملکرد، توزیع تنش و چگونگی گسیختگی آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با توجه به این اهمیت استفاده از الیاف کامپوزیت با پایه پلیمری (FRP) جهت تقویت این اجزا همواره مورد توجه محققین بوده است. در این راستا کارهای آزمایشگاهی متنوعی روی اتصالات مختلف، تقویت شده با کامپوزیتها صورت گرفته و نتایج متفاوتی ارائه شده است. در این تحقیق در ادامه کارهای انجام شده و توسعه آن، اتصالات متفاوتی با و بدون تقویت الیاف کامپوزیتی، توسط نرم افزار ABAQUS مدل شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور تحلیل به روش اجزای محدود مورد استفاده قرار گرفته و نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی مطالعات مشابه مقایسه شده است و نمودار هیسترسیک بار - تغییر مکان برای اتصالات مختلف رسم شده است.

در توسعه کارهای انجام شده چگونگی آرایش کامپوزیتها، اثر افزایش تعداد لایه ها و همچنین بهترین نحوه تقویت از نقطه نظر محل چسباندن الیاف، در افزایش مقاومت و شکل پذیری اتصال مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به عملکرد مثبت این الیاف در ایجاد محصوریت در بتن، استفاده از ماهیچه گوشه و نقش آن در اجرای مناسب تقویت با استفاده از الیاف FRP نیز مورد توجه بوده و اثر آن در افزایش مقاومت و شکل پذیری لحاظ شده است.

در تمامی اتصالات مدل شده، ستون تحت بار ثقلی و تیر در معرض بار دوره ای به صورت رفت و برگشتی قرار گرفته است. فرضیات شامل رفتار خطی مواد کامپوزیت، رفتار غیر خطی بتن مسلح، رفتار خطی چسب به عنوان المان واسط بین FRP و بتن می باشد.

۱- کاربرد کامپوزیت‌های FRP در سازه‌های بتن آرمه و بررسی دوام آنها..... ۱
۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- ساختار مصالح FRP ۱
۱-۲-۱- الیاف شیشه ۲
۱-۲-۲- الیاف کربن ۳
۱-۲-۳- الیاف آرامید ۳
۱-۳- انواع محصولات FRP ۳
۱-۴- مشخصات اساسی محصولات کامپوزیتی FRP ۴
۱-۴-۱- مقاومت در مقابل خوردگی ۴
۱-۴-۲- مقاومت ۵
۱-۴-۳- مدول الاستیسیته ۵
۱-۴-۴- وزن مخصوص ۵
۱-۴-۵- عایق بودن ۶
۱-۴-۶- خستگی ۶
۱-۴-۷- خزش ۶
۱-۴-۸- چسبندگی با بتن ۷
۱-۴-۹- خم شدن ۷
۱-۴-۱۰- انبساط حرارتی ۷
۱-۵- استفاده از مواد FRP به عنوان مسلح کنندهٔ خارجی در سازه‌ها ۸
۱-۵-۱- مقاوم سازی سازه‌های بتن آرمه با مواد FRP ۸
۱-۶ - خلاصه و نتیجه گیری ۱۱
۲- بررسی مودهای رایج خرابی و روشهای ترمیم آنها و مروری بر مطالعات آزمایشگاهی اتصالات تقویت شده باFRP..... ۱۳
۲-۱- مقدمه ۱۳
۲-۲- مودهای رایج خرابی ستون های بتنی در زمان وقوع زلزله ۱۵
۲-۲-۱- خرابی برشی ۱۶
۲-۲-۲- خرابی مفصل پلاستیک خمشی ۱۶
۲-۲-۳- خرابی وصله پوششی آرماتورهای طولی ۱۷
۲-۲-۴- خرابی برشی - خمشی ستون های دارای آرماتورهای طولی قطع شده ۱۸
۲-۳- روش های مقاوم سازی با FRP ۱۸
۲-۳-۱- پوشش FRP با الیاف جهت یافته در راستای محیطی ۱۸
۲-۳-۲- پوشش FRP با الیاف جهت یافته در راستای طولی عضو ۱۹
۲-۴- مهمترین دلایل ترمیم وتقویت سازه ۱۹
۲-۵- روش های ترمیم و تقویت سازه ها ۲۱
۲-۶- جزئیات نمونه های آزمایشگاهی ۲۲
۲-۷- الیاف تقویتی (FRP) ۲۴
۲-۷-۱- تیپ A ، آرایش صفحات تقویتی (CFRP,GFRP) به صورت L شکل ۲۴
۲-۷-۲- تیپB ، تقویت اتصالات با استفاده از صفحات کربنی ۲۴
۲-۸-تقویت نمونه های ترمیم شده با FRP ۲۶

۲-۹- شرح آزمایش ۲۸
۲-۱۰- بررسی نتایج ثبت شده ۲۹
۲-۱۱-۱-نمونه های شکل پذیر ۲۹
۲-۱۱-۲- نمونه های مرمت شده با FRP ۳۵
۲-۱۱-۳- نمونه های ترد ۳۶
۳- مدل سازی با نرم افزار ABAQUS..... ۴۲
۳-۱- مقدمه ۴۲
۳-۱-۱- ABAQUS/Standard ۴۳
۳-۱-۲- ABAQUS/Explicit ۴۳
۳-۲- پیش پردازش و پس پردازش ۴۴
۳-۳- مدل سازی اتصال بتنی ۴۴
۳-۳-۱- المانهای به کار رفته ۴۴
الف- المان سازه ای بتن ۴۴
ب- المان سازهای لمینیت کامپوزیت (FRP) ۴۵
ج - المان خرپایی آرماتور ۴۶
د- المانهای سازه ای چسب (epoxy) ۴۷
۳-۳-۲- مشخصات مصالح ۴۹
الف - مشخصات مکانیکی بتن ۴۹
ب - مشخصات آرماتورهای فولادی ۵۳
ج - مشخصات لمینیت کامپوزیت(FRP)..... ۵۴
د - مشخصات چسب باند ۵۷
۳-۴- مقایسه نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی..... ۵۹
۴- مطالعات پارامتری..... ۶۳
۴-۱- مقدمه..... ۶۳
۴-۲- مشخصات و خصوصیات نمونه و مصالح ۶۴
۴-۳- بارگذاری دوره ای(سیکلی)..... ۶۷
۴-۴- بررسی نمودار هیسترتیک اتصال بدون تقویت ۶۷
۴-۵- اثر آرایشهای مختلف الیاف روی میزان تقویت اتصال..... ۷۰
۴-۶- اثر افزایش تعداد لایه ها بر میزان تقویت اتصال..... ۷۴
۴-۷- بررسی میزان تقویت ایجاد شده بر اتصالات متناسب با موقعیت چسباندن الیاف کامپوزیت ۷۸
۴-۸- بررسی اثر محصوریت در افزایش مقاومت و شکل پذیری..... ۸۶
۴-۹- بررسی جذب انرژی در اتصالات مختلف..... ۹۴
۴-۹-۱- اثر آرایشهای مختلف الیاف در افزایش جذب انرژی اتصال ۹۴
۴-۹-۲- اثر افزایش تعداد لایه ها در میزان جذب انرژی اتصال..... ۹۵
۴-۹-۳- بررسی میزان انرژی جذب شده متناسب با موقعیت چسباندن الیاف کامپوزیت در اتصال..... ۹۶
۴-۹-۴- بررسی اثر محصوریت در میزان جذب انرژی اتصال..... ۹۷
۵- نتایج ۹۹
مراجع ۱۰۲

فصل اول

کاربرد کامپوزیت‌های FRP در سازه‌های بتن آرمه

و بررسی دوام آنها

۱-۱- مقدمه

عوامل مختلفی منجر به افزایش تقاضا برای تقویت سازه ها شده است که از این میان می توان به زوال و بالا رفتن سن سازه های بتنی، ضعف سازه ها در برابر ارتعاشات و نیروهای وارده از طرف زلزله، تغییر کاربری سازه ، عدم رعایت ضوابط اجرایی، تغیرات ضوابط آیین نامه ها، خوردگی فولاد و بتن و ... اشاره نمود. امروزه از روشهای متفاوتی برای تعمیر و تقویت سازه های بتن آرمه استفاده می شود، از آن جمله می توان به استفاده از مواد مرکب پلیمری اشاره کرد. استفاده از کامپوزیتها به دلیل خواص فوق العاده آن از قبیل مقاومت و سختی بالا، وزن اندک، مقاومت در برابر خوردگی، ناهمسانگرد بودن این مواد و طراحی بهینه، نصب آسان و سریع، کارایی اجرایی خوب، انعطاف پذیری بیشتر در طراحی، هزینه کل کمتر (شامل زمان، مصالح و اجرا) نسبت به ورقهای فولادی، انجام تقویت در زمان استفاده از سازه، مورد توجه قرار گرفت. در این فصل به بررسی خواص کلی مواد مرکب پلیمری و همچنین کاربرد این مواد در ترمیم و تقویت سازه ها می پردازیم.

۱-۲- ساختار مصالح FRP

مواد FRP از دو جزء اساسی تشکیل می‌شوند؛ فایبر (الیاف) و رزین (مادۀ چسباننده). فایبرها که اصولاً

الاستیک، ترد و بسیار مقاوم هستند، جزء اصلی باربر در مادهٔ FRP محسوب می‌شوند. بسته به نـوع فـایبر، قطـر آن در محدودهٔ ۵ تا ۲۵ میکرون می‌باشد [۱].

رزین اصولاً به عنوان یک محیط چسباننده عمل می‌کند، که فایبرها را در کنـار یکـدیگر نگـاه مـی‌دارد. بـا ایـن وجود، ماتریس‌های با مقاومت کم به صورت چشمگیر بر خواص مکانیکی کامپوزیت نظیـر مـدول الاستیـسیته و مقاومت نهایی آن اثر نمی‌گذارند. ماتریس (رزین) را می‌توان از مخلوطهای ترموست و یا ترموپلاسـتیک انتخـاب کرد. ماتریس‌های ترموست با اعمال حرارت سخت شده و دیگر به حالت مایع یـا روان در نمـی‌آینـد؛ در حالیکـه رزین‌های ترموپلاستیک را می‌توان با اعمال حرارت، مایع نموده و با اعمال بـرودت بـه حالـت جامـد درآورد. بـه عنوان رزین‌های ترموست می‌توان از پلی‌استر، وینیل‌استر و اپوکـسی، و بـه عنـوان رزیـن‌هـای ترموپلاسـتیک از پلی‌وینیل کلرید (PVC)، پلی‌اتیلن و پلی پروپیلن (PP)، نام برد [۲].

فایبر ممکن است از شیشه، کربن، آرامید و یا وینیلون باشد که در اینصورت محـصولات کامپوزیـت مربوطـه بـه ترتیب به نامهای GFRP، CFRP، AFRP و VFRP شناخته می‌شـود. در ادامـه شـرح مختـصری از بعـضی از فایبرهای متداول ارائه خواهد شد.

۱-۲-۱- الیاف شیشه

فایبرهای شیشه در چهار دسته طبقه‌بندی می‌شوند [۳]؛

۱ – E-Glass: متداول ترین الیاف شیشه در بازار با محتوای قلیایی کم، کـه در صـنعت سـاختمان بـه کـار می‌رود، (با مـدول الاستیـسیتهٔ $E = 70\ GPa$، مقاومـت نهـایی $s_u = 1500 - 2500\ MPa$، و کـرنش نهـایی $(e_u = 1.8\% - 3\%$).

۲ – Z-Glass: با مقاومت بالا در مقابل حملهٔ قلیائیها، که در تولید بتن الیافی به کار گرفته می‌شود.

۳ – A-Glass: با مقادیر زیاد قلیایی که امروزه تقریباً از رده خارج شده است.

۴ – S-Glass: که در تکنولوژی هوا-فضا و تحقیقات فـضایی بـه کـار گرفتـه مـی‌شـود و مقاومـت و مـدول الاستیسیتهٔ بسیار بالایی دارد، ($E = 87\ GPa$ و $s_u = 3900\ MPa$).

۱-۲-۲- الیاف کربن

الیاف کربن در دو دسته طبقه‌بندی می‌شوند؛

۱- الیاف کربنی از نوع PAN در سه نوع مختلف هستند. تیپ I که تردترین آنها با بالاترین مدول الاستیسیته محسوب می‌شود. ($E = 380\ GPa,\quad s_u = 2000\ MPa$ و $e_u = 0.5\%$). تیپ II که مقاوم‌ترین الیاف کربن است ($E = 240\ GPa,\quad s_u = 2800\ MPa$ و $e_u = 1\%$)؛ و نهایتاً تیپ III که نرمترین نوع الیاف کربنی با مقاومتی بین تیپ I و II می‌باشد.

۲ – الیاف با اساس قیری (Pitch-based) که اساساً از تقطیر زغال سنگ بدست می‌آیند. این الیاف از الیاف PAN ارزان‌تر بوده و مقاومت و مدول الاستیسیتهٔ کمتری نسبت به آنها دارند ($s_u = 765 - 2350\ MPa$ و $E = 37.5 - 140\ GPa,$ $e_u = 2.1\%$).

لازم به ذکر است که الیاف کربن مقاومت بسیار خوبی در مقابل محیط‌های قلیایی و اسیدی داشته و در شرایط سخت محیطی از نظر شیمیایی کاملاً پایدار هستند.

۱-۲-۳- الیاف آرامید

آرامید،یک کلمهٔ اختصاری از آروماتیک پلی‌آمید است [۴]. آرامید اساساً الیاف ساختهٔ دست بشر است که برای اولین بار توسط شرکت DuPont در آلمان تحت نام کولار (Kevlar) تولید شد. چهار نوع کولار وجود دارد که از بین آنها کولار ۴۹ برای مسلح کردن بتن، طراحی و تولید شده و مشخصات مکانیکی آن بدین قرار است: $E = 120\ GPa,\ s_u = 2700 - 3500\ MPa$ و $e_u = 2.0\% - 2.7\%$.

۱-۳- انواع محصولات FRP

۱- میله های کامپوزیتی: میله‌های ساخته شده از کامپوزیت‌های FRP هستند که جانشین میلگردهای فولادی در بتن آرمه خواهند شد. کاربرد این میله‌ها به دلیل عدم خوردگی، مساله کربناسیون و کلراسیون را

که از جمله مهم‌ترین عوامل مخرب در سازه‌های بتن آرمه هستند، به کلی حل خواهند نمود.

۲- شبکه‌های کامپوزیتی: شبکه‌های کامپوزیتی FRP (Grids) محصولاتی هستند که از برخورد میله‌های FRP در دو جهت و یا در سه جهت ایجاد می‌شوند. نمونه‌ای از این محصول، شبکهٔ کامپوزیتی NEFMAC است که از فایبرهای کربن، شیشه یا آرامید و رزین وینیل استر تولید می‌شود و منجمله برای مسلح کردن بتن مناسب است.

۳- کابل، طناب و تاندن‌های پیش‌تنیدگی: محصولاتی شبیه میله‌های کامپوزیتی FRP، ولی به صورت انعطاف‌پذیر هستند، که در سازه‌های کابلی و بتن پیش تنیده در محیط‌های دریایی و خورنده کاربرد دارند. این محصولات در اجزاء پیش‌تنیدهٔ در مجاورت آب نیز بکار گرفته می‌شوند.

۴- ورقه‌های کامپوزیتی: ورقه‌های کامپوزیتی FRP (Sheets)، ورقه‌های با ضخامت چند میلیمتر از جنس FRP هستند. این ورقه‌ها با چسب‌های مستحکم و مناسب به سطح بتن چسبانده می‌شوند. ورقه‌های FRP پوشش مناسبی جهت ایزوله کردن سازه‌های آبی از محیط خورندهٔ مجاور هستند. همچنین از ورقه‌های کامپوزیتی FRP جهت تعمیر و تقویت سازه‌های آسیب دیده (ناشی از زلزله و یا ناشی از خوردگی آبهای یون‌دار) استفاده می‌شوند.

۵- پروفیل‌های ساختمانی: مصالح FRP همچنین در شکل پروفیل‌های ساختمانی به صورت I شکل، T شکل، نبشی و ناودانی به روش پالتروژن تولید می‌شوند. چنین محصولاتی می‌توانند جایگزین بسیار مناسبی برای قطعات و سازه‌های فولادی در مجاورت آب تلقی شوند.

۱-۴- مشخصات اساسی محصولات کامپوزیتی FRP

۱-۴-۱- مقاومت در مقابل خوردگی

بدون شک یکی از برجسته‌ترین و اساسی‌ترین خواص محصولات کامپوزیتیFRP مقاومت آنها در مقابل خوردگی است. در حقیقت این خاصیت مادهٔ FRP تنها دلیل نامزد کردن آنها به عنوان یک گزینهٔ جانشین برای اجزاء فولادی و نیز میلگردهای فولادی است. به خصوص در سازه‌های بندری، ساحلی و دریایی، مقاومت

خوب کامپوزیت FRP در مقابل خوردگی، سودمندترین مشخصهٔ میلگردهای FRP است [۵].

۱-۴-۲- مقاومت

مصالح FRP معمولاً مقاومت کششی بسیار بالایی دارند، که از مقاومت کششی فولاد به مراتب بیشتر است. مقاومت کششی بالای میلگردهای FRP کاربرد آنها را برای سازه‌های بتن آرمه، خصوصاً برای سازه‌های پیش‌تنیده بسیار مناسب نموده است. مقاومت کششی مصالح FRP اساساً به مقاومت کششی، نسبت حجمی، اندازه و سطح مقطع فایبرهای بکار رفته در آنها بستگی دارد. مقاومت کششی محصولات FRP برای میله‌های با الیاف کربن ۱۱۰۰ تا ۲۲۰۰MPa، برای میله‌های با الیاف شیشه ۹۰۰ تا ۱۱۰۰MPa، و برای میله‌های با الیاف آرامید ۱۳۵۰ تا ۱۶۵۰ MPa گزارش شده است [۶]. با این وجود، برای بعضی از این محصولات، حتی مقاومت‌های بالاتر از ۳۰۰۰ MPa نیز گزارش شده است. توجه شود که بطور کلی مقاومت فشاری میله‌های کامپوزیتی FRP از مقاومت کششی آنها کمتر است؛ به عنوان نمونه مقاومت فشاری محصولات ISOROD برابر ۶۰۰ MPa و مقاومت کششی آنها ۷۰۰MPa است [۲].

۱-۴-۳- مدول الاستیسیته

مدول الاستیسیتهٔ محصولات FRP اکثراً در محدودهٔ قابل قبولی قرار دارد؛ اگر چه اصولاً کمتر از مدول الاستیسیتهٔ فولاد است. مدول الاستیسیتهٔ ورقه های کامپوزیتی FRP ساخته شده از الیاف کربن، شیشه و آرامید به ترتیب در محدودهٔ ۱۰۰ تا ۱۵۰ GPa، ۴۵ GPa و ۶۰ GPa گزارش شده است [۶].

۱-۴-۴- وزن مخصوص

وزن مخصوص محصولات کامپوزیتی FRP به مراتب کمتر از وزن مخصوص فولاد است؛ به عنوان نمونه وزن

مخـصوص کامپوزیتهـای CFRP یـک سـوم وزن مخـصوص فـولاد اسـت. نـسبت بـالای مقاومـت بـه وزن در کامپوزیتهای FRP از مزایای عمدهٔ آنها در کاربردشان به عنوان مسلح کنندهٔ بتن محسوب می‌شود [۵].

۱-۴-۵- عایق بودن

مصالح FRP خاصیت عایق بودن بسیار عالی دارند. به بیان دیگر، این مواد از نظر مغناطیسی و الکتریکی خنثـی بوده و عایق محسوب می‌شوند. بنابراین استفاده از بتن مسلح به میله‌های FRP در قسمتهایی از بیمارستان کـه نسبت به امواج مغناطیسی حساس هستند، و در مسیرهای هدایتی قطارهای شناور مغناطیسی [۷]، و همچنـین در باند فرودگاهها و مراکز رادار بسیار سودمند خواهد بود.

۱-۴-۶- خستگی

خستگی خاصیتی است که در بسیاری از مصالح ساختمانی وجود داشته و در نظـر گـرفتن آن ممکـن اسـت بـه شکست غیر منتظره، خصوصاً در اجزایی که در معرض سطوح بالایی از بارها و تنش‌های تناوبی قرار دارند، منجر شود. در مقایسه با فولاد، رفتار مصالح FRP در پدیدهٔ خستگی بسیار عالی است؛ به عنوان نمونه برای تنش‌هـای کمتر از یک دوم مقاومت نهایی، مواد FRP در اثر خستگی گسیخته نمی‌شوند [۸].

۱-۴-۷- خزش

پدیدهٔ گسیختگی ناشی از خزش اساساً در تمام مصالح ساختمانی وجود دارد؛ با این وجود چنانچه کرنش ناشـی از خزش جزء کوچکی از کـرنش الاسـتیک باشـد، عمـلاً مـشکلی بوجـود نمـی‌آیـد. در مجمـوع، رفتـار خزشـی کامپوزیت‌ها بسیار خوب است؛ به بیان دیگر، اکثر کامپوزیتهای در دسترس، دچار خزش نمی شوند [۹].

۱-۴-۸- چسبندگی با بتن

خصوصیت چسبندگی، برای هر ماده‌ای که به عنوان مسلح کنندهٔ بتن بکار رود، بسیار مهم تلقی می شود. در مورد میله های کامپوزیتی FRP، اگر چه در بررسی بسیار اولیه، مقاومت چسبندگی ضعیفی برای کامپوزیت‌های از الیاف شیشه گزارش شده بود، تحقیقات اخیر در دنیا مقاومت چسبندگی خوب و قابل قبولی را برای ورقه های کامپوزیتی FRP گزارش می کند.

۱-۴-۹- خم شدن

چنانچه کامپوزیتهای FRP در بتن مسلح بکار گرفته شوند، به جهت مهار میلگردهای طولی، میلگردهای عرضی و تنگ‌ها، لازم است در انتها خم شوند. با این وجود عمل خم کردن میله‌های FRP بسیار دشوارتر از خم کردن میلگردهای فولادی بوده و در حال حاضر برای مصالح موجود FRP، نمی‌توان خم کردن را در کارگاه انجام داد. اگر چه در صورت لزوم، می‌توان خم میله‌های کامپوزیتی FRP را با سفارش به تولید کننده در کارگاه انجام داد.

۱-۴-۱۰- انبساط حرارتی

خصوصیات انبساط حرارتی فولاد و بتن بسیار به هم نزدیک هستند؛ ضریب انبساط حرارتی این دو ماده به ترتیب: $a_{steel} = 12\times10^{-6}\ (1/^{O}C)$ و $a_{con.} = 10\times10^{-6}\ (1/^{O}C)$ می‌باشد. ضریب انبساط حرارتی FRP اغلب از بتن متفاوت است. به طور خلاصه ضریب انبساط حرارتی مصالح FRP با الیاف کربن و شیشه به ترتیب برابر با $a_{CFRP} = (0.6-1.0)\times10^{-6}\ (1/^{O}C)$ و $a_{GFRP} = (9-10)\times10^{-6}\ (1/^{O}C)$ می‌باشد. بدترین حالت مربوط به آرامید است که ضریب انبساط حرارتی آن منفی بوده و برابر با $a_{AFRP} = [(-6)-(-2)]\times10^{-6}\ (1/^{O}C)$ می‌باشد.[۱۰]

۱-۵- استفاده از مواد FRP به عنوان مسلح کنندهٔ خارجی در سازه‌ها

به دنبال فرسوده شدن سازه‌های زیربنایی و نیاز به تقویت سازه‌ها برای برآورده کردن شرایط سخت‌گیرانهٔ طراحی، طی دو دههٔ اخیر تأکید فراوانی بر روی تعمیر و مقاوم سازی سازه‌ها در سراسر جهان، صورت گرفته است. از طرفی، بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها به‌خصوص در مناطق زلزله خیز، اهمیت فراوانی یافته است. در این میان تکنیک‌های استفاده از مواد مرکب FRP به‌عنوان مسلح کنندهٔ خارجی به دلیل خصوصیات منحصر به فرد آن، از جمله مقاومت بالا، سبکی، مقاومت شیمیایی و سهولت اجرا، در مقاوم سازی و احیاء سازه‌ها اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده‌اند. از طرف دیگر، این تکنیک‌ها به دلیل اجرای سریع و هزینه‌های کم جذابیت ویژه‌ای یافته‌اند.

مواد مرکب FRP در ابتدا به‌عنوان مواد مقاوم کنندهٔ خمشی برای پل‌های بتن‌آرمه و همچنین به‌عنوان محصور کننده در ستون‌های بتن آرمه مورد استفاده قرار می‌گرفتند؛ اما به دنبال تلاش‌های تحقیقاتی اولیه، از اواسط دههٔ ۱۹۸۰ توسعهٔ بسیار زیادی در زمینهٔ استفاده از مواد FRP در مقاوم‌سازی سازه‌های مختلف مشاهده می‌شود؛ به طوری‌که دامنهٔ کاربردهای آن به سازه‌هایی با مصالح بنایی، چوبی و حتی فلزی نیز گسترش یافته است. تعداد موارد کاربرد مواد FRP در مقاوم سازی، تعمیر و یا بهسازی سازه‌ها از چند مورد در ۱۰ سال پیش، به هزاران مورد در حال حاضر رسیده است. اجزاء سازه‌ای مختلفی شامل تیرها، دال‌ها، ستون‌ها، دیوارهای برشی، اتصالات، دودکش‌ها، طاق‌ها، گنبدها و خرپاها تاکنون توسط مواد FRP مقاوم شده‌اند.

۱-۵-۱- مقاوم سازی سازه‌های بتن آرمه با مواد FRP

مواد مرکب FRP، دامنهٔ وسیعی از کاربردها را برای مقاوم سازی سازه‌های بتن‌آرمه در مواردی که تکنیک‌های مرسوم مقاوم سازی ممکن است مسئله ساز باشند، به خود اختصاص داده‌اند. برای نمونه، یکی از معمول‌ترین تکنیک‌ها برای بهسازی اجزاء بتن آرمه، استفاده از ورق‌های فولادی است که از بیرون به این اجزاء چسبانده می‌شود. این روش، روشی ساده، مقرون به صرفه و کارا است؛ اما از جهات زیر مسئله ساز است: ۱- زوال چسبندگی بین فولاد و بتن که از خوردگی فولاد ناشی می‌شود. ۲- مشکلات ساخت صفحات فولادی سنگین در کارگاه ساختمان. ۳- نیاز به نصب داربست. ۴- محدودیت طول در انتقال صفحات فولادی به کارگاه ساخت (در مورد مقاوم سازی خمشی

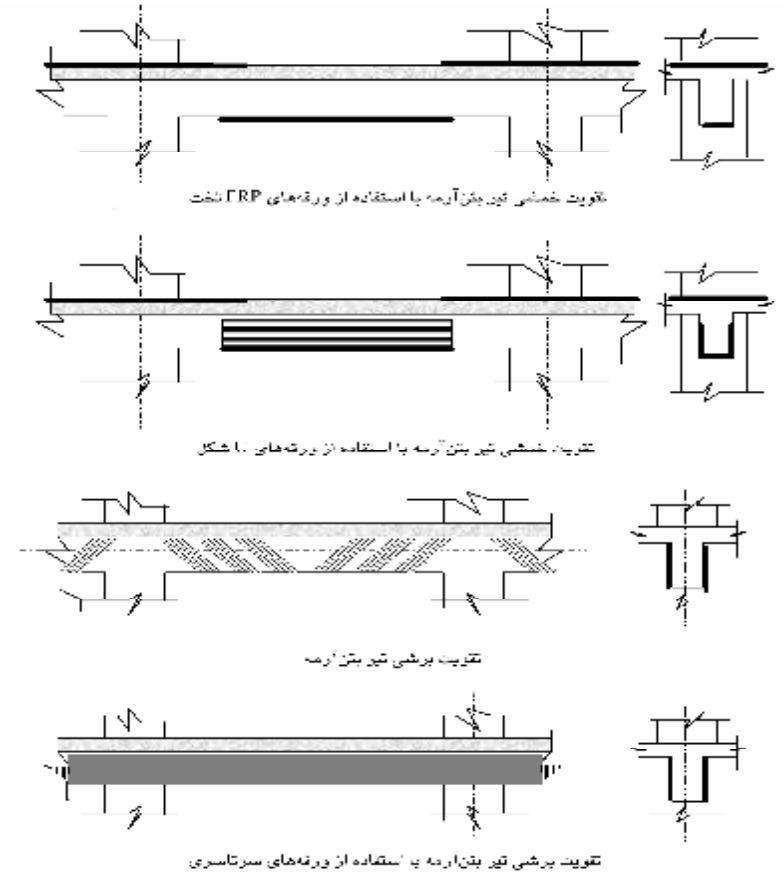
اجزاء بلند).

نوارها یا صفحات می‌توانند جایگزینی برای صفحات فولادی باشند. مواد FRP برخلاف فولاد، تحت تأثیر زوال الکتروشیمیایی قرار نمی‌گیرند و می‌توانند درمقابل خوردگی اسیدها، بازها و نمک‌ها و مواد مهاجم مشابه در دامنهٔ وسیعی از دما مقاومت کنند. در نتیجه نیاز به سیستم‌های حفاظت از خوردگی نمی‌باشد وآماده‌کردن سطوح اعضاء قبل از چسباندن صفحات FRP و نگهداری از آن‌ها بعد از نصب، از صفحات فولادی آسان‌تر است. علاوه بر این، الیاف مسلح‌کننده در FRP می‌توانند در موضع معین و در نسبت حجمی و جهت خاصی درون ماتریس قرارگیرند تا بیش‌ترین کارایی به‌دست آید. مواد حاصله تنها با درصدی از وزن فولاد، مقاومت و سختی بالایی در جهت الیاف دارند. آن‌ها همچنین حمل و نقل آسان‌تری داشته، نیازمند داربست کمتری برای نصب می‌باشند، و می‌توانند برای مکان‌هایی که دارای دسترسی محدود هستند، مورد استفاده قرار گیرند؛ و پس از نصب، بار اضافی قابل‌توجهی را به سازه تحمیل نمی‌کنند.

روش مرسوم دیگر در مقاوم سازی اعضای بتن‌آرمه، استفاده از پوشش‌هایی از نوع بتن‌آرمه، بتن پاشیدنی و یا فولاد می‌باشد. این روش تا جایی که مربوط به مقاومت، سختی و شکل پذیری می‌شود، کاملاً مؤثر است؛ اما باعث افزایش ابعاد مقاطع و بار مردهٔ سازه می‌شود. همچنین این شیوه نیازمند عملیات پر دردسر و تخلیهٔ ساکنین است و به صورت بالقوه باعث افزایش نامطلوب سختی اعضای بتن‌آرمه می شود. به‌عنوان یک جایگزین، صفحات FRP می‌توانند به دور اجزاء بتن‌آرمه پیچیده شوند و افزایش قابل توجه مقاومت و شکل پذیری را به دنبال داشته باشند؛ بدون آن‌که تغییر زیادی در سختی ایجاد نمایند. یک نکتهٔ مهم در ارتباط با مقاوم سازی اعضا با استفادهٔ خارجی از FRP آن است که باید درجهٔ مقاوم سازی (نسبت ظرفیت نهایی عضو مقاوم‌شده به ظرفیت نهایی عضو مقاوم نشده) را محدود کنیم تا حداقل سطح ایمنی در حوادثی مانند آتش سوزی که منجر به از دست رفتن کارایی FRP می‌شوند، حفظ گردد.

امروزه مواد کامپوزیتی FRP به وفور جهت تقویت خمشی و برشی تیرهای بتن آرمه به کار می‌روند که نمونه‌ای از آن در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل ملاحظه می‌شود که با متصل کردن صفحات FRP به وجه پایینی تیر ظرفیت خمشی مثبت و با متصل کردن آن به وجه بالایی تیر ظرفیت خمشی منفی حاصل می‌شود.

هم‌چنین می‌توان با اتصال صفحات FRP به دو وجه کناری تیر، ظرفیت برشی مناسبی فراهم نمود.



شکل ۱- نمونه‌هایی از تقویت خمشی و برشی تیر بتن آرمه با ورقه‌های FRP

در شکست تیرهای بتن‌آرمهٔ تقویت شده با صفحات FRP مکانیزم‌های مختلف شکست، ازجمله گسیختگی صفحات FRP، خرد شدگی بتن، شکست برشی بتن و ترک خوردگی در محل اتصال چسب با بتن، گزارش شده است. همچنین نشان داده شده است که نوع FRP، ضخامت و طول آن باعث ایجاد انواع مختلفی از شکست نرم یا ترد می‌شود. بخصوص خواص مکانیکی ناحیهٔ اتصال FRP و بتن از اهمیت خاصی برخوردار است. در این میان جدا شدن صفحات FRP از بتن مسالهٔ کاملا حائز اهمیت است و امروزه توجه زیادی را در دنیا به خود جلب می‌نماید. در این ارتباط به نظر می‌رسد که استفاده از تقویت‌کننده‌های خارجی حتی به میزان کم، می‌تواند ایمنی قابل ملاحظه‌ای در برابر جدا شدن صفحات FRP از بتن، و نیز شکست‌های برشی ترد فراهم

آورد.

از طرفی مواد کامپوزیتی FRP به وفور جهت تقویت خمشی و فشاری و نیز افزایش شکل پذیری ستون‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در همین ارتباط محصور شدگی بتن مهم‌ترین خصوصیتی است که می توان آن را با چسباندن این مواد در اطراف ستون‌ها فراهم نمود. از طرفی استفاده از مواد کامپوزیتی FRP برای افزایش شکل پذیری اتصالات و رفتار مناسب‌تر آن در زلزله نیز بسیار مطلوب خواهد بود.

۱-۶ - خلاصه و نتیجه گیری

خوردگی اعضاء سازه‌ای بتنی که به صورت متداول با میلگردهای فولادی مسلح شده باشند، در محیط‌های خشن و خورنده یک معضل جدی محسوب می‌شود. این مساله برای اعضاء بتنی سازه‌ای در مجاورت آب و به خصوص در محیط‌های دریایی و ساحلی که در معرض عوامل نمکی و قلیایی، آب در تماس با خاک، هوا و آب‌های زیرزمینی قرار دارند، بسیار جدی‌تر خواهد بود. این مساله هر ساله میلیون‌ها دلار خسارت ر سراسر دنیا به بار می‌آورد. اگر چه تا کنون روش‌های مختلفی نظیر حفاظت کاتدیدیک و یا پوشش قطعات فولادی و میلگردها با اپوکسی جهت فائق آمدن بر این مشکل به کار گرفته شده است، به نظر می‌رسد که جانشینی کامل قطعات فولادی و میلگردهای فولادی با یک مادۀ مقاوم در مقابل خوردگی، یک راه حل بسیار اساسی و بدیع، در حذف کامل خوردگی اجزاء فولادی به شمار آید.

محصولات کامپوزیتی FRP با مقاومت بسیار عالی، در مقابل خوردگی در محیط‌های خشن و خورنده، توجه بسیاری از محققین و مهندسین در سراسر دنیا را به عنوان یک جانشین مناسب قطعات فولادی و میلگردهای فولادی در سازه‌های مجاور آب به خود جلب نموده است. اگر چه مزیت اصلی محصولات FRP مقاومت آنها در مقابل خوردگی است، خواص دیگری از آنها، نظیر مقاومت کششی بالا، مدول الاستیسیتۀ قابل قبول، وزن کم، مقاومت خوب در مقابل خستگی و خزش، خاصیت عایق بودن و چسبندگی خوب با بتن و نیز دوام بسیار خوب از اهمیت بالایی برخوردار بوده و بر جاذبۀ آنها افزوده است. با این وجود بعضی از اشکالات و معایب این ماده نظیر مشکلات مربوط به خم کردن میله‌های FRP در محل آرماتوربندی، تفاوت خواص حرارتی آنها با بتن و

نیز رفتار الاستیک خطی آنها تا لحظهٔ شکست را نباید از نظر دور داشت. در مجموع، توجه بیشتر به کاربرد محصولات کامپوزیتی FRP در سازه‌های بتنی که در محیط‌های خشن و خورنده ساخته می‌شوند، نظیر سازه‌های آبی، ساحلی و دریایی، مشخصاً از آسیب‌های زودرس و ناخواسته و شکست سازه‌های بتنی مسلح در اثر خوردگی میلگردها جلوگیری خواهد نمود.

فصل دوم

بررسی مودهای رایج خرابی و روشهای ترمیم آنها و مروری بر مطالعات آزمایشگاهی اتصالات تقویت شده باFRP

۲-۱- مقدمه

فرو ریزش ساختمان ها و پل ها و صدمات شدید وارد بر بسیاری از آنها در زلزله های اخیر ضرورت بهسازی لرزه ای ساختمان های غیرمقاوم را به خوبی آشکار نمود. در این بین پتانسیل آسیب پذیری اتصالات بتن مسلح در زمان وقوع زلزله، که دارای نقشی کلیدی در باربری ثقلی و جانبی قاب های بتنی هستند، بسیار بالا می باشد. به همین دلیل مقاوم سازی این اجزا یکی از کارآمدترین رویکردها در بهسازی لرزه ای یک سازه به شمار می آید. در این راستا پروژه های بسیاری در سراسر دنیا با هدف مقاوم سازی اتصالات پل ها و ساختمان ها به وسیله مصالح جدید و کارآمد FRP، با پشتوانه تحقیقات علمی در دانشگاه ها، در حال انجام است. تحقیقاتی که در این زمینه تاکنون انجام شده را می توان به صورت زیر طبقه بندی کرد:

- مطالعات آزمایشگاهی با بارگذاری شبه استاتیکی روی اتصالات تیر به ستون پلها . [۱۲-۱۱]
- بررسی اتصالات قابهای معمولی ساختمانها [۱۴-۱۳] و همچنین کل قاب ساختمانی[۱۵]
- تستهایی بر روی اتصالات با میلگرد نا کارآمد تحت بارگذاری سیکلی [۱۶]
- تستهایی روی نمونه های بازسازی و ترمیم شده[۱۷]

- بررسی ظرفیت برشی مقطع Tشکل [۱۸].

در آمریکا اکثر صدمات و خرابی های قابل مشاهده در اتصالات مربوط به ساختمانهایی است که پیش از زلزله San Fernado، ۱۹۷۱ ساخته شده بودند، دلیل این کاستی ها، طراحی این سازه ها با استفاده از آیین نامه های قدیمی است.

در کل می توان گفت سازه هایی که بر اساس ضوابط آیین نامه های جدید طرح گشته اند در زلزله های اخیر رفتار مناسبی از خود به نمایش گذاشته اند و این در حالی است که اکثر سازه هایی که با آیین نامه های قدیمی طرح گشته اند جوابگوی نیاز آیین نامه های امروز نیستند. لذا مسئله مقاوم سازی ساختمان بخصوص اتصالات بتنی یکی از مهمترین دغدغه ها در کشورهایی چون ژاپن و آمریکا می باشد و باقی کشورهای زلزله خیز نیز از این قاعده مستثنی نیستند.

زمانی که یک اتصال تحت اثر بارهای لرزه ای قرار می گیرد، قابلیت جذب انرژی، بسیار پراهمیت تر از توان باربری و مقاومت آن می باشد. در ابتدای دهه ۹۰ دو روش اضافه کردن پوشش بتن مسلح در اطراف ستون موجود و یا اضافه نمودن غلاف فولادی به دور ستون با تزریق دوغاب برای پرکردن فضای خالی باقی مانده، راه های رایج و متداول مقاوم سازی اتصالات کم توان بتنی بودند. پوشاندن ستون با غلاف فولادی به علت عدم افزایش ابعاد ستون و اشغال فضای کمتر و همچنین عدم افزایش وزن سازه، نسبت به روش دیگر از مقبولیت بیشتری برخوردار بود. اگرچه این روش نیز به لحاظ اجرا دچار مسائل و مشکلاتی بود، مثلاً غلاف فولادی علاوه بر مشکلات نصب به علت وزن بالای آن، در مقابل محیط های خورنده دارای ضعف می باشند. علاوه بر این مقاوم سازی ستونهای بتنی با استفاده از فولاد و بتن منجر به افزایش قابل توجه سختی ستون می گردد که خود باعث افزایش بار لرزه ای وارد بر سازه و اتصالات آن خواهد شد.

در اواسط دهه ۱۹۸۰، Leatsmata و همکاران (۱۹۸۷ ، ۱۹۸۸) برای اولین بار پیشنهاد استفاده از FRP، به عنوان مصالحی جدید برای مقاوم سازی لرزه ای ستون های بتنی موجود را مطرح نمودند. برای این منظور ۵ نمونه ستون با مقطع دایره ای و ۱۰ نمونه ستون مربعی را در دو حالت ساخته و مقاوم سازی شده به وسیله FRP تحت ترکیب بار محوری و جانبی رفت و برگشت تست نمودند.

پس از Matsuda و همکاران (۱۹۹۰) دو فلسفه برای مقاوم سازی ستون های بتنی پل ها، با استفاده از FRP، مطرح نمودند که عبارتند از الف) مقاوم سازی با هدف افزایش مقاومت. ب) مقاوم سازی با هدف بهبود شکل پذیری.

در روش اول الیاف اصلی لایه FRP در راستای طولی عضو قرار می گیرند و با چسبانده شدن آنها به عضو میزان مقاومت خمشی ستون افزایش می یابد اما در روش دوم الیاف اصلی در راستای محیطی، پیرامون ستون پیچانده شده و به علت افزایش محصوریت (confinement) بتن ستون، شکل پذیری عضو افزایش می یابد.

هر دو روش می توانند بر میزان قابلیت جذب انرژی عضو بیفزایند[۱۷].

اکثر مطالعات بعدی با هدف افزایش شکل پذیری ستون، با چسباندن الیاف در راستای محیطی، انجام پذیرفت، با این حال زمانی که مقدار آرماتور طولی مقطع برای مقابله با لنگرهای وارده کمتر از مقدار مورد نیاز باشد، استفاده از الیاف در راستای طولی نیز به عنوان یکی از گزینه های کارآمد مطرح می گردد. مسئله مهمی که لازم است در روش افزایش مقاومت خمشی نواحی انتهایی ستون با استفاده از الیاف طولی مد نظر قرار گیرد، مهار مناسب انتهای نوارها یا صفحات FRP است که عمدتاً به دلیل وجود تیرهای متقاطع با ستون، ایجاد مهار، با ادامه دادن این نوارها تا فاصله بیشتری نسبت به نقطه لنگر بیشینه، امکان پذیر نبوده و لازم است از روش های دیگری برای مهار این الیاف در دو انتها، بهره گرفته شود.

به عنوان مثال موفق در مقاوم سازی ستون های سا ختمانهای بتنی با استفاده از FRP می توان از بهسازی ساختمان یک هتل هفت طبقه در لس آنجلس نام برد که ستون های آن به علت وقوع زلزله ۷،۵ ریشتری در Landers در سال ۱۹۹۲ دچار آسیب هایی مانند ایجاد ترک های قطری شدند. برای مقاوم سازی و ترمیم ستون های این ساختمان از GFRP استفاده شد و عملیات اجرایی آن چند هفته قبل از وقوع زلزله Northridge در سال ۱۹۹۴ به اتمام رسید. این ساختمان توانست بدون وارد آمدن خسارت، این زلزله را پشت سر گذارد [۱۷].

۲-۲- مودهای رایج خرابی ستون های بتنی در زمان وقوع زلزله

در زمان زلزله، ستون های ساختمان ها و پل ها، علاوه بر تحمل بار محوری، تحت بار جانبی رفت و برگشت قرار می گیرد. خرابی در این اعضا می تواند ناشی از ضعف برشی، ضعف در مقاومت خمشی و یا شکل پذیری عضو باشد. Seibel و همکاران (۱۹۹۶) مودهای خرابی زیر را در ستون های بتن مسلح باز شناسی نموده اند [۱۹] .

الف) خرابی برشی

ب) ضعف محصوریت در محل وقوع مفصل پلاستیک