

## شیوه های مختلف تقویت سازه های بتنی به کمک FRP

صادق اعتدالی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان

[Sadeghetedali@yahoo.com](mailto:Sadeghetedali@yahoo.com)

### خلاصه:

بسیاری از سازه های بتنی، به دلایل مختلفی از جمله، خطای محاسباتی، ضعف آیین نامه های قدیمی، ضعف در ساخت و اجرا، تغییر کاربری سازه ها و بارهای بهره برداری وارده بر سازه، خوردگی و زنگ زدگی آرماتورها و... ضوابط آیین نامه های جدید را ارضا نمی کنند. لذا روشهای مقاوم سازی، بهسازی و تعمیر چنین سازه هایی لازم می باشد. در این مقاله به بررسی خواص فیزیکی، مکانیکی، بررسی عناصر خمشی، برشی، پیچشی و فشاری در سازه های بتنی به کمک ورقه های FRP با نگرشی مبتنی بر نتایج اخیر محققان در این زمینه، خواهیم پرداخت.

کلمات کلیدی: مقاوم سازی، سازه بتنی، ورق FRP، عناصر سازه ای

### مقدمه:

استفاده از مواد مرکب ساخته شده از الیاف در محیط رزین پلیمری به عنوان پلیمرهای مسلح شده با الیاف FRP، به عنوان یک ضرورت در جایگزینی مصالح سنتی و شیوه های موجود معرفی شده است. سیستم FRP بدین صورت تعریف می شود که الیاف و رزین ها برای ساخت چند لایه مرکب مورد استفاده قرار می گیرند، به نحوی که رزین های مصرفی به منظور چسباندن چندلایه مرکب به سطح بتن زیرین و پوشش ها به منظور محافظت مصالح ترکیب شده استفاده می شوند. پوشش های معمول که به منظور زیبایی ظاهری مورد استفاده قرار می گیرند، به عنوان قسمتی از سیستم FRP در نظر گرفته نمی شوند. مصالح FRP سبک، مقاوم در برابر خوردگی و دارای مقاومت کششی بالا می باشند. این مصالح به شکل های مختلف و در گستره ای از انواع ورقه های چند لایه کارخانه ای گرفته تا ورقه های خشک قابل پیچش روی اشکال مختلف سازه ای قبل از اضافه رزین، قابل دسترس می باشند. در اغلب موارد، سیستم های FRP که به صورت پروفیل های نسبتاً نازک عمل آوری شده، در اجرا مطلوب می باشند. بخصوص در مواقعی که ظاهر کار تمام شده یا امکان دسترسی مدنظر باشد. گرایش روز افزون به استفاده از سیستم های FRP برای مقاوم سازی یا مرمت سازه ها دلایل گوناگون دارد. اگر چه الیاف و رزین های مورد استفاده در سیستم های FRP نسبت به دیگر مصالح متعارف مانند بتن و فولاد گرانتر هستند، لیکن اغلب هزینه های مربوط به دستمزد و تجهیزات نصب سیستم های ارزانتر می باشند. این سیستم ها همچنین می توانند در سطوحی با دسترسی های محدود یا جاهایی که اجرای شیوه های متعارف با مشکلاتی مواجه هستند، مورد استفاده قرار گیرند. [۱]

### تعریف FRP:

نوعی ماده کامپوزیت، متشکل از ۲ بخش فیبر یا الیاف تقویتی که بوسیله یک ماتریس رزین از جنس پلیمر احاطه شده است. فیبر های تشکیل دهنده FRP، میتواند در یک راستا یا دو راستای عمود بر هم قرار داشته باشد. به طور کلی ها FRP ها به دو شکل ورق و میلگرد وجود دارند. رفتار ورقه های FRP به صورت ارتوتروپیک یا شبه ایزوتروپیک بوده، یعنی مدول الاستیسیته آن در جهت قرارگیری فیبر با جهات عمود بر آن متفاوت است. در مورد مدول الاستیسیته در جهت اصلی داریم:

$$E_1 = E_f V_f + E_m V_m$$

در مورد جهت عمود بر جهت اصلی و مدول برشی نیز داریم: [۲]

$$E_2 = \frac{E_f E_m}{E_m V_f + E_f V_m}$$

$$G_{12} = \frac{G_f G_m}{G_m V_f + G_f V_m}$$

به طور کلی FRP را براساس فیبر تشکیل دهنده آن به چندین دسته تقسیم می کنند که ۳ نوع آن کاربرد بیشتری دارند:

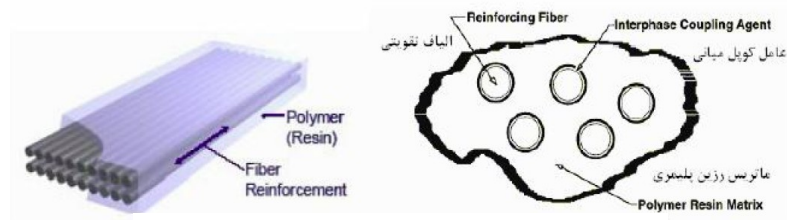
۱- CFRP با الیاف از جنس کربن ۲- GFRP با الیاف از جنس شیشه ۳- AFRP با الیاف از جنس آرامید

به طور کلی عملکرد یک کامپوزیت به مواد سازنده، نسبت مواد آن، ظرفیت باربری فیبر یا الیاف تقویتی و نحوه ی قرارگیری آنها، رفتار توام مواد تشکیل دهنده با یکدیگر و... بستگی دارد.

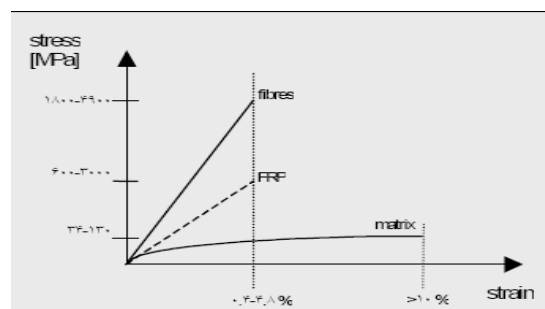
عملکرد فیبر تقویتی تحت تاثیر جهت قرار گیری الیاف، طول فیبر، شکل آن، ترکیب آن با ماتریس و رزین و چسبندگی بین آنها، جنس الیاف است. نقش اصلی ماتریس عبارتند از:

۱- انتقال برش از فیبر تقویتی به ماده مجاور ۲- محافظت از فیبر در برابر شرایط محیطی ۳- جلوگیری از خسارت مکانیکی وارده ۴- کنترل کماتش موضعی فیبر تحت فشار

شکل ۱ اجزای تشکیل دهنده FRP و شکل ۲ نمودار تنش - کرنش اجزای تشکیل دهنده آن را نشان می دهد.



شکل ۱- اجزای تشکیل دهنده FRP



شکل ۲- نمودار تنش - کرنش اجزای تشکیل دهنده FRP

### مواد تشکیل دهنده FRP [۱]

مواد تشکیل دهنده سیستم های FRP مورد استفاده برای مقاوم سازی سازه های بتنی عبارتند از رزین ها، اندودها، خمیرها، بتونه ها، چسب ها و الیاف. رزین ها:

طیف گسترده ای از رزین های پلیمری شامل اندودها، خمیرها، پرکننده ها، بتونه ها و چسب ها در سیستم های FRP استفاده می شوند. جمله متداول ترین رزین ها می توان به اپوکسی ها، وینیل استرها و پلی استرها اشاره کرد که در گستره وسیعی از شرایط محیطی به کار می روند. در تولید رزین خواص زیر مورد توجه قرار می گیرد:

۱- سازگاری و چسبندگی به سطح بتنی ۲- سازگاری و چسبندگی با سیستم FRP ۳- مقاومت در برابر عوامل محیطی نظیر رطوبت، شوری آب، دمای بالا و محیط های شیمیایی در مجاورت بتن نمایان ۴- قابلیت پرکنندگی ۵- کارایی ۶- مدت زمان ماندگاری مواد اختلاط شده متناسب با شرایط اجرایی ۷- سازگاری و چسبندگی با الیاف مسلح کننده ۸- ایجاد خصوصیات مکانیکی مناسب برای کامپوزیت FRP

آسترها:

آستر برای نفوذ در سطح بتن بکار می رود، تا چسبندگی مناسب برای رزین یا چسب آغشته کننده را فراهم نماید.

بتونه ها:

بتونه ها برای پر کردن حفره های سطح بتن نظیر، سوراخ های ریز سطحی استفاده می شوند تا یک سطح هموار برای چسباندن مصالح FRP ایجاد شود. همچنین پر کردن این حفرات از ایجاد حباب در حین عمل آوری رزین جلوگیری مینماید. رزین آغشته سازی:

رزین های آغشته سازی به منظور آغشته نمودن الیاف مسلح، چسباندن آنها به محل مورد نظر، و ایجاد مسیر انتقال بار برشی و توزیع موثر نیرو بین الیاف بکار می رود. این رزین همچنین به عنوان یک چسب در سیستم های چسباندن تر استفاده می شود مشروط بر اینکه بتواند مسیری برای انتقال بار بین سطح بتن ترمیم شده و سیستم FRP ایجاد کند.

مواد چسباننده:

چسب ها برای اتصال لایه های پیش عمل آوری شده FRP به سطح بتن به کار برده می شوند. این مواد مسیری برای انتقال بار بین سطح بتن زیرین و لایه مسلح FRP ایجاد می کنند. چسب ها همچنین برای اتصال چند لایه FRP به یکدیگر نیز به کار برده می شوند.

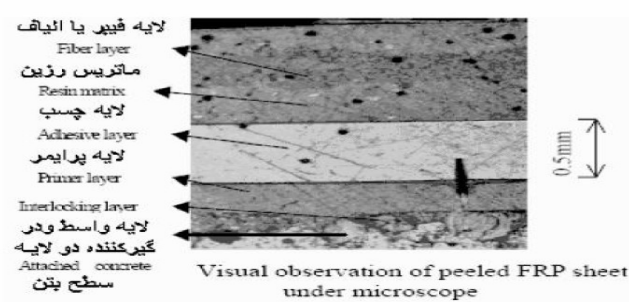
پوشش های محافظ:

پوشش های محافظ برای نگهداری و محافظت از اثرات مخرب محیطی بکار برده می شوند. این پوشش ها معمولاً بر روی سطح خارجی سیستم FRP پس از عمل آوری چسب ها یا رزین آغشته سازی استفاده می شوند.

**الیاف:**

الیاف شیشه، آرامید و کربن در سیستم های FRP استفاده می شوند.

شکل ۳ مشاهده عینی لایه های مختلف ورقه FRP را با میکروسکوپ نشان می دهد.



شکل ۳- مشاهده عینی لایه های مختلف ورقه FRP با میکروسکوپ

**خصوصیات فیزیکی:**

چگالی مصالح FRP در محدوده 1200 تا 2100 کیلوگرم بر متر مکعب است که 4 تا 6 بار کمتر از چگالی فولاد می باشد. این کاهش چگالی می تواند منجر به کاهش هزینه حمل و نقل، آسانی در جابجایی مصالح و همچنین کاهش بار مرده سازه ناشی از تقویت گردد. جدول ۱ چگالی فولاد و سه نوع مصالح FRP را نشان می دهد. [۱]

جدول ۱- چگالی فولاد و مصالح FRP بر حسب  $\frac{kg}{m^3}$

فولاد	GFRP	CFRP	AFRP
7900	1200-2100	1500-1600	1200-1500

ضریب انبساط حرارتی مصالح FRP تک جهتی در محور طولی و عرضی متفاوت است و به نوع الیاف، رزین و درصد حجمی الیاف بستگی دارد. جدول 2 مقادیر ضریب انبساط حرارتی مصالح FRP تک جهتی متداول را در راستاهای طولی و عرضی نشان می دهد. عدد منفی در جدول نشان دهنده انقباض ماده در اثر افزایش دما و انبساط آن بر اثر کاهش دما می باشد. [۱]

جدول 2- (مقادیر ضریب انبساط حرارتی مصالح FRP)  $(1 \times 10^{-5} / c)$

راستا	GFRP	CFRP	AFRP
$\alpha_1$ (طولی)	۶-۱۰	(-۱)-۰	(-۲) - (-۶)
$\alpha_2$ (عرضی)	۱۹-۲۳	۲۲-۵۰	۶۰-۸۰

مقادیر برای درصد حجمی الیاف بین ۵/۵ تا ۰/۷ می باشد.

#### خواص مکانیکی:

جدول ۳ مشخصات مکانیکی سه نوع الیاف کربن، شیشه و آرمید را نشان می دهد. [۱]

جدول ۳ مشخصات مکانیکی سه نوع الیاف کربن، شیشه و آرمید

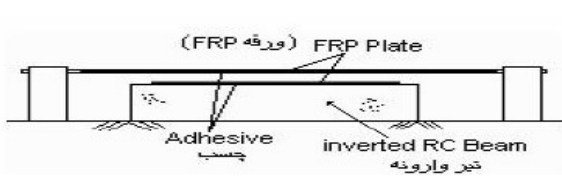
حد اقل کرنش کسختگی	مقاومت نهایی	مدول الاستیسیته	واحد
%	MPa	GPa	
<b>الیاف کربن</b>			
۱.۲	۲۷۹۰ تا ۲۰۵۰	۲۲۰ تا ۲۲۰	جدید منطوره
۱.۲	۲۷۹۰ تا ۲۸۵۰	۲۲۰ تا ۲۲۰	مقاومت بالا
۱.۵	۶۲۰۰ تا ۴۸۲۰	۲۲۰ تا ۲۲۰	مقاومت خیلی بالا
۰.۵	۲۱۰۰ تا ۱۷۲۰	۵۲۰ تا ۲۲۰	مدول بالا
۰.۲	۳۲۰۰ تا ۱۲۸۰	۶۹۰ تا ۵۲۰	مدول بسیار بالا
<b>الیاف شیشه</b>			
۲.۵	۲۶۸۰ تا ۱۸۶۰	۷۲ تا ۶۹	شیشه E
۵.۲	۲۱۲۰ تا ۳۲۲۰	۹۰ تا ۸۶	شیشه S
<b>الیاف آرمید</b>			
۲.۵	۲۱۲۰ تا ۳۲۲۰	۸۲ تا ۶۹	جدید منطوره
۱.۶	۲۱۲۰ تا ۳۲۲۰	۱۲۴ تا ۱۱۰	کارایی بالا

#### مقاوم سازی اعضای باربر سازه ای با ورقه FRP

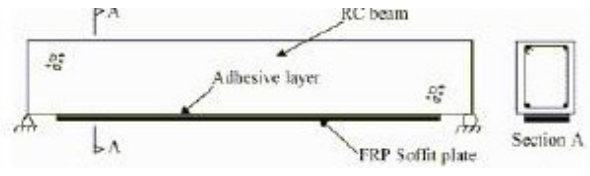
از ورقه های FRP برای تقویت عناصر خمشی، برشی، پیچشی و ترکیب آنها در اعضای باربر سازه چون تیرها، ستونها، اتصالات، دیوارها و دالهای بتن آرمه و حتی عناصر غیر باربر استفاده میشود. اخیرا حتی برای تقویت پروفیل های فولادی ساختمانی از ورقه استفاده شده و برای استفاده بهینه حتی ورقه ها را در حالت پس تنیده و یا پیش تنیده در سیستم تقویت بکار می برند. در ادامه به بحث در مورد تقویت انواع مختلف اعضای باربر سازه ای با ورقه های FRP خواهیم پرداخت.

الف) تقویت خمشی و برشی تیرها

اتصال مصالح FRP به ناحیه کششی بتن به طوری که راستای الیاف آن در جهت طولی یک عضو خمشی باشد، باعث افزایش مقاومت خمشی آن عضو می گردد. (شکل 4) گاه برای استفاده بهینه حتی ورقه ها را در حالت پس تنیده و یا پیش تنیده در سیستم تقویت بکار می برند. (شکل 5) [۳]



شکل ۵- تقویت خمشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP پیش تنیده



شکل ۴- تقویت خمشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP

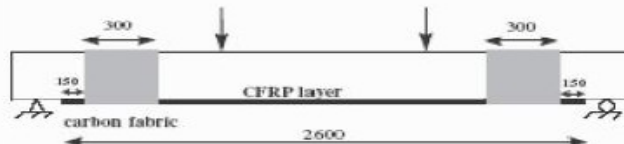
برای کنترل گسیختگی موضعی، چون عدم پیوند و چسبیدگی در انتها تیر در حالت تقویت خمشی از باریکه ها (نوارها) یا ورقه پیوسته شکل برای گیرداری مهار انتهایی تیر مطابق شکل ۶ استفاده می شوند. [۴]



FIGURE 4. Lateral perpendicular CFRP strips, beam D.

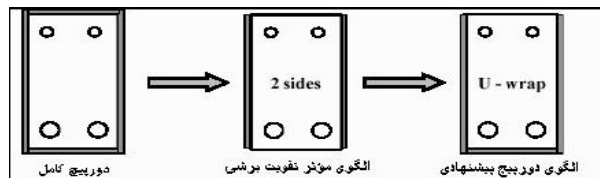


FIGURE 5. Lateral inclined CFRP strips, beam E.



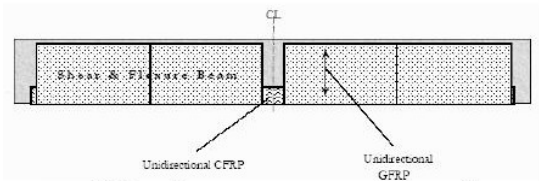
شکل ۶- تقویت خمشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP و نوار انتهایی U شکل

هنگامی که از مصالح FRP برای افزایش مقاومت خمشی عضو استفاده می شود، عضو مربوط باید بتواند، نیروی برشی مربوط به افزایش ظرفیت خمشی مقطع را تحمل کند. ظرفیت گسیختگی برشی مقطع، بوسیله مقایسه مقاومت برشی طراحی و مقاومت برشی مورد نیاز مقطع بررسی می گردد. در صورتی که به مقاومت اضافی نیاز باشد، لایه های FRP به صورت عرضی روی سطوح مقطع چسبانده می شوند. الگوی های مختلف تقویت برشی در شکل ۷ آورده شده است. [۵]

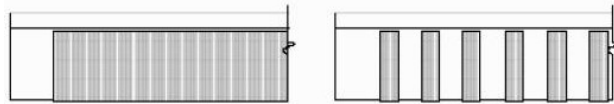


شکل ۷- الگوهای مختلف تقویت برشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP

در حالت تقویت برشی می توان از الگوی یکپارچه ورقه یا Laminate و نوارهای منقطع یا strips مطابق شکل ۸ استفاده کرد [۶]. گاهی اوقات یک عضو باربر سازه ای با ترکیب چند روش تقویت می کنیم. در شکل ۹ مشاهده می شود که ، جنس ورقه ای که برای تقویت خمشی (CFRP Laminate) بکار می روند ، با جنس ورقه ای که برای تقویت برشی (GFRP Laminate) بکار می روند، متفاوت هستند.



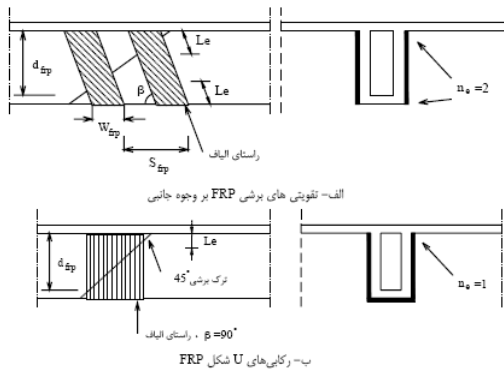
شکل ۹- ترکیبی از تقویت برشی و خمشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP



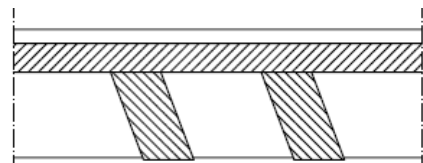
شکل ۸- الگوی تقویتی یکپارچه و منقطع با ورقه FRP

باریکه ها و نوارهای FRP یا حتی ورقه های آنها می تواند در زوایای مختلف، بخصوص ۴۵ درجه ، برای کنترل ترکهای برشی و در تعداد لایه های مختلف و حتی دو لایه عمود بر هم با زوایای مختلف به عنوان مثال ۰-۹۰ درجه یا  $\pm 45$  درجه بکار برده شوند. (شکل ۱۰)

مصالح FRP به عنوان رکابی های خارجی، به منظور افزایش مقاومت برشی و پیچشی مقاطع بتن آرمه نیز به کار برده می شود. برای داشتن رکابی خارجی U شکل، مصالح FRP صورت ممتد روی دو وجه جانبی و زیر تیر نصب می شود که این امر سبب بهبود مهارت تقویت خمشی FRP نیز می گردد. (شکل ۱۱) برای افزایش کارایی تقویت های برشی، تامین مهار انتهایی لازم است. در حالتی که طول مهار محدود باشد، با تعبیه نوارهای طولی اضافی به انتهای رکابی های U شکل مهار انتهایی تامین شده است . می توان از مهار بندی مکانیکی نیز برای این منظور استفاده کرد. به منظور پرهیز از گسیختگی رکابی، FRP در اثر تمرکز تنش در گوشه های مقطع تیر، این گوشه ها باید به شعاع حداقل ۳۵ میلیمتر گرد شوند. [۱]



شکل ۱۱- تقویت برشی تیر با رکابی های FRP



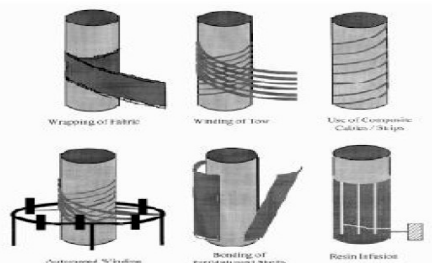
شکل ۱۰- نمایی از تقویت برشی با ورقه FRP

مدلهای مختلفی در تقویت عضو برشی ارائه شده است که به دلیل محدود بودن صفحات مقاله، آنها را فهرست وار معرفی می نمایم. ۱- مدل شبیه سازی خریایی (Strut & tie) ۲- مدل چسبندگی (Bond model) ۳- تئوری میدان فشاری اصلاح شده (MCFT) ۴- تئوری اصطکاک برشی اصلاح شده (MSFT)

شایان ذکر است که تمامی مدل های فوق (به جز تئوری اصطکاک برشی) ، برای تعیین ظرفیت برشی مقطع تقویت شده با ورق FRP، محافظه کارانه بوده و با نتایج آزمایشگاهی، در حدود ۲۰ درصد اختلاف دارد. در روش تئوری اصطکاک برشی، تعیین دقیق مسیر ترک خوردگی، که ظرفیت برشی مینیمم به کمک آن حاصل می شود، مشکل می باشد و تقریباً در حدود ۱۰ درصد خطا با نتایج آزمایشگاه حاصل خواهد شد، ولی به دلیل نزدیکی نتایج حاصل از آن با نتایج آزمایشگاهی ، مبنای بسیاری از آئین نامه های جدید، منجمله کانادا، برای تعیین ظرفیت برشی شده است. [۷]

ب) تقویت ستون ها:

روشهای تقویت ستون های با مقطع دایره با ورقه FRP [۸] مطابق شکل ۱۲ عبارتند از:



۱- دور پیچ سراسری

۲- پیچاندن و لفاف کردن به صورت دورانی

۳- استفاده از نوارها / کابل های کامپوزیت

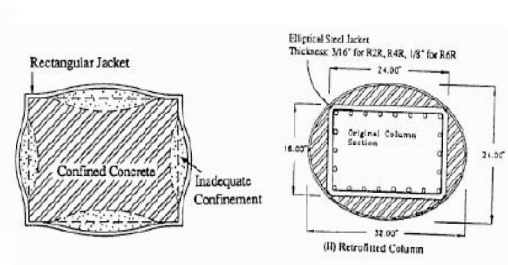
۴- دور پیچ به صورت خودکار و انوماتیک

۵- چسباندن پوسته های پیش ساخته

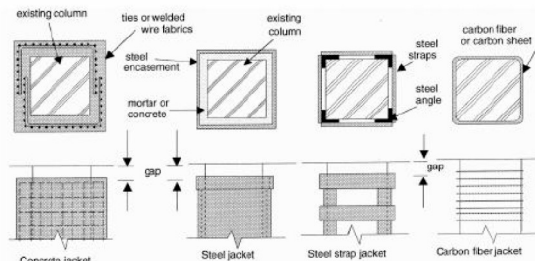
۶- تزریق چسب یا ماتریس

شکل ۱۲- حالات مختلف تقویت ستون با مقطع دایره با ورقه FRP

حالات مختلف تقویت ستون بتن آرمه مربع-مستطیل، در سه حالت استفاده از ژاکت فولاد، استفاده از نوارها یا بستهای فولادی و استفاده از دورپیچ یا غلاف FRP در شکل ۱۳ نشان داده شده است. [۹] در مورد ستونهای مربع-مستطیل شکل، پوشش ورقه FRP محصوریت کمتری ایجاد می کند، لذا معمولا این ستونها را با گروت یا بتن پر کننده مطابق شکل ۱۴ به صورت ستون بیضوی یا دایروی در آورده، سپس با FRP دور پیچ می نمایند. [۱۰]



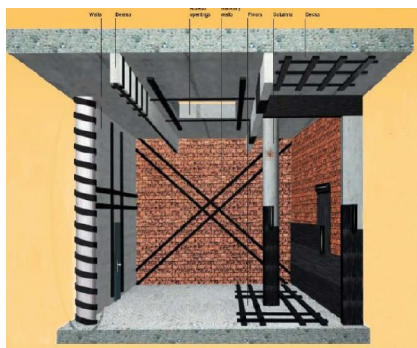
شکل ۱۴- عدم محصور شدن مناسب ستون با مقطع مربع



شکل ۱۳- حالات مختلف تقویت ستون با مقطع مربع-مستطیل

گاهی اوقات به منظور مقاوم سازی یک عضو سازه ای، از ترکیب چندین روش استفاده می شود. آقای پرفسور j.c.teng و همکارانش، مدل ستون FCSDS مطابق شکل ۱۵ ارائه داده است، که متشکل از یک لوله فولادی داخلی و یک غلاف خارجی FRP است که فضای مابین آنها با بتن پر شده است. این ستون، معایب لوله های فولادی نظیر، کماتش تحت بار فشاری را، به دلیل احاطه شدن با غلاف بتنی را ندارد و از طرفی، بتن موجود بوسیله پوشش FRP کاملا محصور و ظرفیت بارنهایی و کرنش نهایی آن تحت بار محوری به شدت افزایش می یابد. [۱۲]

شکل ۱۶، مقاوم سازی اجزای مختلف سازه اعم از، ستونها، تیرها، دالها و دیوارها را به کمک تکنولوژی FRP نشان می دهد.



شکل ۱۶- مقاوم سازی اجزای مختلف سازه با تکنولوژی FRP



شکل ۱۵- سیستم مرکب FCSDS

ج) تقویت اتصال

اتصالات بتن آرمه ای که از حساسیت زیادی برخوردار هستند و در مجموع تقویت آن ها به دلایل اجرایی ساده نمی باشد، را می توان به کمک ورقه های تقویت نمود.

مراجع:

1-ACI 440, American Concrete Institute, "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures," American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2006.

2-"FINITE ELEMENT MODELING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES STRENGTHENED WITH FRP LAMINATES" Damian Kachlakev-Civil and Environmental Engineering Department, Thomas Miller, PE; Solomon; Yim Construction -Environmental Engineering Department, for Oregon Department of Transportation Research Group 200 Hawthorne SE, Suite B-240 Salem, OR 97301-5192 Federal Highway Administration 400 Seventh Street SW Washington, DC 20590 May 2001

3-J.G.Teng-J-F.chen-S.T.smith-L.lam-"FRP STRENGTHEN RC STRUCTURES".published by wiley-2002

4-Francois buyle bodin-emmanuelle david"USE OF CARBON TEXTILE TO CONTROL PREMATURE FAILURE OF REINFORCED CONCRETE BEAMS STRENGTHEN WITH BONDED CFRP PLATES"university of ill- January 2004

5-Ghassan k.al.chaar and georgy e.lamb"DESIGN OF FIBER-REINFORCED POLYMER MATERIAL FOR SEISMIC REHABILITATION OF INFILLED CONCRETE STRUCTURES"deccember 2002-us army corps of engineering-researcher and development center

6-Damians kuchlaker-thomas miller-solman yin-kasidit chanswat-tanarat potisuk"FINIT ELEMENT MODELING OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES STRENGTHENED WITH FRP LAMINATES"researcher group-may 2001-final report spr316-orgen department of transportation

7 -Christof deniaud and j.j roger cheng "REVIEW OF SHEAR DESIGN METHOD FOR RC BEAM STRENGTHEN WITH FRP SHEET"university of Alberta,Edmonton-canada-jornal of civil engineering (NRC)august 2001

8-Vistap m.karbhari-lei zhao'USE OF COMPOSITE FOR 21<sup>ST</sup> CENTURY CIVIL INFRASTRUCTURE "university of California-computer method in applied mechanics and engineering 185(2000)433-454

9-Hiroshi fukuyama-shansuke sugano"SEISMIC RAHABILITATION OF RC BUILDING "international institute of seismology and earthquck engineering-tatehara ibaraki japan cement and concrete composite 22(2000)59-79

10--Simmon foo-nore naumoski-nurat saatsiogh"SEISMIC HAZARD -BUILDING CODE AND MITGATION OPTION FOR CANADIAN BUILDING"office of critical infrastructure protection and emergency preparedness university of Ottawa Canada-june 2001

11-J.G.Teng-J-F.chen-S.T.smith-L.lam-"FRP STRENGTHEN RC STRUCTURES".published by wiley-2003

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.