بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه

بررسی اجزاء محدود دیوار برشی بازشودار تقویت شده با FRP

پژوهشگر

حسین کارگر

استاد راهنما

دکتر سیدحمید هاشمی

زمستان ۱۳۹۰

بسم ا... الرحمن الرحیم

بررسی اجزاء محدود دیوار برشی بازشودار تقویت شده با FRP

توسط:

حسین کارگر

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های

تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران- سازه

از دانشگاه اراک

اراک- ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجهٔ.....عالی.....

دکتر سید حمید هاشمی (استاد راهنما) .....استادیار

دکتر علی سنایی راد (دانشگاه اراک) ..... استادیار

دکتر مهدی موسوی (دانشگاه اراک) .... استادیار

زمستان ۱۳۹۰

تقدیم به :

استاد گرامی جناب آقای دکتر هاشمی که با راهنمایی ایشـــان ایـــن پروژه به سرانجام رسید و همچنین خانواده ام که مرا در انجام هـــر چه بهتر این پروژه یاری و همیاری کردند.

چکیده

دیوار برشی بتنی یکی از اعضا کلیدی برای مقابله با بارهای جانبی در سازه های بلند مرتبه به شمار می رود. در بسیاری از موارد به دلایل محدودیت های معماری نیاز به ایجاد باز شو در دیوار برشی به امری اجتناب ناپذیر تبدیل می گردد.در مطالعه حاضر با استفاده از نرم افزار ABAQUS به بررسی اثر تقویتی ورق های کامپوزیتFRP بر ظرفیت نهایی دیوار برشی دارای باز شو تحت اثر بار جانبی پرداخته شده است.در این مطالعه به منظور بررسی صحت مدل عددی نتایج حاصل از یک نمونه ازمایشگاهی دیوار بتنی برشی با نتایج به دست امده از انالیز عددی مقایسه شده وپس از ان تاثیر ایجاد باز شو و تقویت بازشو توسط ورق های کامپوزیتی FRP مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه : دیوار برشی، تحلیل عددی، آباکوس، ورقهای تقویتی، بازشو

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- فصل اول: مقاوم سازی سازه ها و اعضای سازه ای	۱
۱-۱- دلایل مقاوم سازی	۲
۱-۲- مراحل مختلف ترمیم و تقویت سازه ها	۲
۱-۳- تقویت اعضا به کمک کاهش میلگرد در نواحی ضعیف	۲
۱-۴- استفاده از کامپوزیت پلیمری FRP	۶
۱-۴-۱- انواع کامپوزیت پلیمری FRP متداول در مهندسی عمران	۶
۱-۴-۲- مشخصات میله های کامپوزیتی FRP	۷
۱-۴-۳- محاسن کامپوزیت FRP	۸
۱-۴-۴- معایب کامپوزیت پلیمری FRP	۸
۱-۴-۵- مراحل مقاوم سازی با کامپوزیت FRP در سازه ها	۸
۱-۵- مقاوم سازی خمشی تیر بتن آرمه با ورقه FRP	۱۱
۱-۵-۱- مقاوم سازی خمشی تیر بتن آرمه با ورقه زیرین FRP	۱۱
۱-۵-۱-۱- مقاوم سازی با ورقه های زیرین تنیده نشده	۱۲
۱-۵-۱-۲- مهار انتهایی برای ورق های تنیده نشده	۱۲
۱-۵-۱-۳- ورق های بیش تنیده زیرین	۱۳
۱-۵-۲- مقاوم سازی برشی تیر بتن آرمه با ورق های FRP	۱۳
۱-۵-۲-۱- الگوی مختلف تقویت برشی تیر بتن آرمه با ورق FRP	۱۴
۱-۵-۳- مدهای گسیختگی و رفتار مرسوم	۱۷
۱-۵-۳-۱- گسیختگی خمشی	۱۷
۱-۵-۳-۲- گسیختگی برشی	۱۷
۱-۵-۴- انواع مدهای گسیختگی خمشی	۱۸
۱-۵-۵- انواع گسیختگی برشی در تیر بتن آرمه معمولی	۲۰
۱-۵-۶- مدهای گسیختگی برشی در تیر تقویت شده	۲۱
۱-۵-۶-۱- گسیختگی برشی با پارگی ورق FRP	۲۱
۱-۵-۶-۲- گسیختگی برشی ناشی از عدم پیوند با چسبندگی ورق FRP	۲۲
۱-۵-۶-۳- گسیختگی نزددیک مهار مکانیکی	۲۲
۲- فصل دوم : دیوار برشی و نگاه کلی به کار گذشتگان	۳۲
۲-۱- انواع دیوارها	۲۴
۲-۲- عملکرد دیوار برشی	۲۶
۲-۳- مزایای دیوار برشی	۲۶
۲-۴- نحوه انتخاب محل دیوار برشی	۲۷
۲-۵- دیوار برشی بر روی ستون ها	۲۸
۲-۶- دیوار برشی کوپله	۲۸

۲-۷- شکل پذیری دیوارهای کوپله ۲۹
۲-۸- طرح و شرح دیوار برشی هم بسته و تیرهای همبند ۲۹
۲-۹- تیرهای همبند و دیوارهای هم بسته ۲۹
۲-۱۰- بررسی لرزه ای دیوارهای برشی کوپله ۲۹
۲-۱۱- تعیین رفتار دیوار کوپله ۳۰
۲-۱۲- تاثیر مشخصات موثر مقطع بر رفتار پیش بینی شده سازه ۳۱
۲-۱۳- روش های طراحی دیوارهای برشی کوپله ۳۲
۲-۱۴- تعیین تیرهای طراحی ۳۳
۲-۱۵- انواع شکست در دیوارهای برشی ۳۴
۲-۱۶- نحوه آزمایشات انجام شده بر روی دیوار برشی ۳۶
۲-۱۷- بررسی مطالعات انجام شده بر روی تیرهای تقویت شده با FRP ۳۶
۲-۱۸- بررسی مطالعات انجام شده بر روی دیوار برشی ۳۷
۲-۱۹- بررسی مطالعات انجام شده بر روی دیوارهای تقویت شده با FRP ۳۸
۲-۲۰- بررسی مطالعات انجام شده بر روی دیوارهای برشی بازشو دار ۳۹
۳- فصل سوم : مدلسازی و صحت سنجی ۴۰
۳-۱- آشنایی با نرم افزار اجراء محدود ۴۱
۳-۱-۱- تاریخچه آباکوس ۴۱
۳-۱-۲- مبانی نرم افزار آباکوس ۴۲
۳-۱-۳- نحوه مدلسازی سازه های بتنی در ABAQUS ۴۳
۳-۱-۴- نحوه مدل کردن آرماتور در بتن ۴۳
۳-۱-۴-۱- المان های مقید شده ۴۴
۳-۲- نمونه های ساخته شده توسط باروز و فورتس ۴۴
۳-۳- نمونه های ساخته شده توسط مالچ ولنگو ۴۹
۳-۴- نمونه های ساخته شده توسط اصفهانی ۵۲
۳-۵- نمونه های ساخته شده توسط لیفاس ۵۶
۳-۶- مدل ساخته شده از دیوار برشی دارای بازشو با نرم افزار ۵۹
۳-۷- مدل ساخته شده از دیوار برشی دارای بازشو تقویت شده با FRP با نرم افزار ۶۰
۳-۸- بررسی سختی اولیه دیوار برشی بازشودار تقویت شده با FRP ۶۶
۳-۹- بررسی باربری دیوار برشی بازشودار تقویت شده با FRP ۶۷
۳-۱۰- حداکثر باربری دیوار برشی بازشودار تقویت شده با FRP ۶۸
۳-۱۱- پیشنهاداتبرای مطالعات آتی ۶۹
۳-۱۲- نتیجه گیری ۷۰
پیوست۱ ۷۱
منابع ۸۱

فهرست اشکال

شکل۱-۱- تقویت شدن به کمک کاشتن میلگرد ۳
شکل۱-۲- تقویت شدن به کمک کاشتن میلگرد ۴
شکل۱-۳- تقویت شدن به کمک کاشتن میلگرد ۴
شکل۱-۴- تقویت شدن به کمک کاشتن میلگرد ۵
شکل۱-۵- تقویت شدن به کمک کاشتن میلگرد ۵
شکل۱-۶- اتصال ورق FRP ۹
شکل۱-۷- اتصال ورق FRP ۱۰
شکل۱-۸- اتصال ورق FRP ۱۰
شکل۱-۹- تیر بتن آرمه با ورقه FRP تحتانی ۱۱
شکل ۱-۱۰ تیر بتن آرمه تقویت شده با ورقه FPR با نوار مهار انتهایی U ۱۲
شکل ۱-۱۱- روند نصب ورقه FRP پیش تنیده ۱۳
شکل ۱-۱۲- انواع الگو برای تقویت عرضی با FRP ۱۴
شکل ۱-۱۳- الگوی یکپارچه یا منطقع ۱۵
شکل۱-۱۴- الگوهای مختلف تقویت برشی تیر با ورقه FRP ۱۵
شکل۱-۱۵- نمایش برخی از الگوهای تقویت برشی با ورقه CFRP ۱۶
شکل۱-۱۶- نمایش برخی از مدهای گسیختگی خمشی ۲۰
شکل۱-۱۷- کشش برشی همراه با پاره شدن FRP گسیختگی برشی ناشی از عدم پیوند FRP ۲۱
شکل ۳-۱- تیرهای ساخته شده توسط باروز و فورتس ۴۵
شکل ۳-۲- نحوه قرارگیری آرماتورها و خاموت ها در تیرهای باروز و فورتس ۴۵
شکل ۳-۳- نمدارهای تنش- کرنش نمونه های بتنی ۴۶
شکل ۳-۴- نمدار تنش- کرنش نمونه های فولادی ۴۷
شکل ۳-۵- مقایسه نتایج تیر V1 با مش های مختلف ۴۸
شکل۳-۶- مقایسه نتایج تیر V2 با مش های مختلف ۴۸
شکل۳-۷- مقایسه نتایج تیر V4 با مش های مختلف ۴۸
شکل۳-۸- مشخصات و نحوه آرماتور گذاری تیرهای ساخته شده توسط مالج و لنگو ۵۰
شکل۳-۹- نمدار بارخیر نمونه A ۵۱
شکل۴-۱۰- نمدار بارخیز نمونه B ۵۱
شکل۳-۱۱- نحوه آرماتورگذاری تیرهای اصفهانی ۵۳
شکل۳-۱۲- نحوه شکست تیرها ۵۳
شکل ۳-۱۳- نمدار تنش- کرنش FRP اصفهانی ۵۴
شکل ۳-۱۴- نمدار بارخیز نمونه B1 ۵۴
شکل ۳-۱۵- نمدار بارخیز نمونه B5 ۵۵
شکل ۳-۱۶- نمدار بارخیز نمونه B5 تقویت شده با FRP ۵۵
شکل ۳-۱۷- نمدار بارخیز نمونه B1 تقویت با FRP ۵۵

شکل ۳-۱۸- نحوه آرماتورگذاری و اعمال بار بر دیوار برشی لنفاس ۵۶
شکل ۳-۱۹- نتایج دیوار برشی SW11 ۵۸
شکل ۳-۲۰- نتایج دیوار برشی SW13 ۵۸
شکل ۳-۲۱- نحوه ایجاد بازشو در دیوار برشی ۵۹
شکل ۳-۲۲- نتایج دیوار برشی دارای بازشو ۵۹
شکل ۳-۲۳- نتایج دیوار برشی تقویت شده با یک لایه FRP ۶۰
شکل ۳-۲۴- نتایج دیوار برشی تقویت شده با دو لایه FRP ۶۱
شکل ۳-۲۵- نتایج دیوار برشی تقویت شده با سه لایه FRP ۶۱
شکل ۳-۲۶- نتایج دیوار برشی کل ۶۱
شکل ۳-۲۷- نحوه تقویت دیوار با لایه های FRP ۶۲
شکل ۳-۲۸- نتایج دیوار برشی تقویت شده با سه لایه FRP ۶۲
شکل ۳-۲۹- نتایج دیوار برشی کل ۶۲
شکل ۳-۳۰- نتایج دیوار برشی تقویت شده با یک لایه FRP ۶۳
شکل ۳-۳۱- نتایج دیوار برشی تقویت شده با دو لایه FRP ۶۳
شکل ۳-۳۲- نتایج دیوار برشی تقویت شده با سه لایه FRP ۶۳
شکل ۳-۳۳- نتایج دیوار برشی کل ۶۴
شکل ۳-۳۴- نتایج دیوار برشی تقویت شده با یک لایه FRP ۶۴
شکل ۳-۳۵- نتایج دیوار برشی تقویت شده با دو لایه FRP ۶۴
شکل ۳-۳۶- نتایج دیوار برشی تقویت شده با سه لایه FRP ۶۵
شکل ۳-۳۷- نتایج دیوار برشی کل ۶۵
شکل ۳-۳۸- کانتور تنش مربوط به دیوار برشی تقویت شده با سه لایه FRP ۶۶
شکل ۳-۳۹- نتایج دیوار برشی کل نوع اول تقویت حالت اول ۶۶
شکل ۳-۴۰- نتایج دیوار برشی کل نوع اول تقویت حالت دوم ۶۶
شکل ۳-۴۱- نتایج دیوار برشی کل نوع اول تقویت حالت سوم ۶۷
شکل ۳-۴۲- نتایج دیوار برشی کل دوم تقویت ۶۷
شکل ۳-۴۳- نتایج دیوار برشی کل نوع اول تقویت حالت اول ۶۸
شکل ۳-۴۴- نتایج دیوار برشی کل دوم تقویت ۶۸

فهرست جداول

جدول۱-۱- جدول مزایا و معایب الگوهای مختلف پیوند FRP ۱۶
جدول۱-۲- معایب و مزایای توزیع مختلف ورقه ها ۱۶
جدول۱-۳- مزایا و معایب جهت های مختلف فیبر ۱۷
جدول ۲-۱: مشخصات مقاطع در آیین نامه های مختلف ۳۱
جدول ۳-۱ خصوصیات بتن استفاده شده در تیرهای باروز و فورتس ۴۶
جدول ۳-۲- نحوه اختلاط بتن ۵۲
جدول ۳-۳- مشخصات FRP استفاده شده در تیر اصفهانی ۵۴
جدول ۳-۴- نحوه اختلاط بتن دیوار برشی لیفاس ۵۷
جدول ۳-۵- خصوصیات میلگردهای استفاده شده در دیوار برشی لیفاس ۵۷
جدول ۳-۶- مشخصات FRP نوع اول استفاده شده در تقویت دیوار برشی داری بازشو ۶۰
جدول ۳-۷- مشخصات FRP نوع دوم استفاده شده در تقویت دیوار برشی دارای بازشو ۶۰

فهرست علائم

A_s: سطح مقطع میلگردهای کششی

A_g: سطح مقطع ناخالص دیوار

b: عرض مقطع تیر مستطیل شکل

b_w: عرض دیوار برشی کوپله

d: فاصله میگلرد کششی تا بالاترین تار فشاری مقطع

D: بار مرده

E_C: مدول الاستیسته بتن

E_F: مدول الاستیسیته ورق FRP

E_S: مدول الاستیسیته فولاد

f_C: مقاومت فشاری بتن

f_y: تنش جاری شدن فولاد

I_c: ممان اینرسی تیر کوپله

L_b: دهانه آزاد تیر کوپله

L_w: فاصله بین مراکز پایه های دیوار برشی

M_u: لنگر خمشی با ضریب در مقطع مورد نظر

N_a: نیروی کششی وارد بر دیوار برشی

V_n: مقاومت برشی اسمی

V_u: نیروی برشی با ضریب در مقطع مورد نظر

ε_o: کرنش متناظر با حداکثر تنش فشاری بتن

ρ: نسبت سطح مقطع میلگردهای کششی به سطح مقطع خالص بتن

فصل اول

مقاوم سازی سازه ها و اعضای سازه ای

۱-۱- دلایل مقاوم سازی

چنانچه سازه ای تحت شرایط خاص (زلزله یا گودبرداری ویا ...) آسیب دیده باشد و یا اگر قصد تغییر کاربری ساختمان (مسکونی به آموزشی)، تغییر یا افزایش در میزان طبقات سازه را داشته باشیم دیگر سازه موجود ایمنی و شرایط مطلوب برای تحمل بارهای وارده را نخواهد داشت و نیازمند مقاوم سازی و یا ترمیم و تقویت سازه است.

۱-۲- مراحل مختلف ترمیم و تقویت سازه ها

۱-۲-۱-شناسایی و قضاوت اولیه :

در این مرحله مشخصات طرح از قبیل گزارش ژئوتکنیک خاک محل، نقشه مشخصات فنی، نحوه انتقال بار جانبی سازه، دفترچه محاسبات و از این قبیل تهیه می گردد.

۱-۲-۲- تهیه اطلاعات لازم از سازه اجرا شده :

شامل بازدید مکرر از سازه، اندازه گیری اعضای سازه (مقاومت میلگردها و بتن و ...) و بررسی کیفیت اجزای تیرها و ستون ها، دیوار برشی، سیستم سقف، پوشش بتن روی میلگرد و قطع و پیوستگی میلگردها می باشد.

۱-۲-۳- بررسی نهایی از سازه موجود

عوامل اصلی در تقویت سازه ها اقتصادی بودن و اجرای بودن و سرعت اجرای طرح می باشد. هنگامی که به این نتیجه رسیده شد که المانی از سازه ضعیف است راه کارهایی از قبیل :

- افزایش مقطع و شاتکریت بتن
- کاشت میلگرد در نواحی ضعیف
- استفاده از الیاف های مسطح FRP (کربن، شیشه و ...)

وجود دارد.

۱-۳- تقویت اعضاء به کمک کاشتن میلگرد در نواحی ضعیف :

در سال ۱۹۹۷ فاروق رفیعی [۱] نتایج عددی و آزمایشگاهی ۳۰ تیر بتن آرمه مقاوم سازی شده با آرماتور خارجی در مقیاس کامل را که تا مرحله شکست کامل بارگذاری شده بودند را مورد بررسی قرار داد. رفتار تیرهای بتن آرمه در این حالت تابع پارامترهای مختلفی از جمله درصد آرماتورهای داخلی و خارجی، عمق موثر آرماتورهای خارجی، مقاومت فشاری بتن، دهانه برش و طول دهانه می باشد. نتایج آزمایشات نشان داد که مقاوم سازی با آرماتورهای خارجی

غیرچسبیده باعث افزایش در مقاومت خمشی نهایی تیرهای بتن آرمه می شود. و همچنین کاهش شکل پذیری را به همراه خواهد داشت.

محمد عبداللهی [۲] جهت بررسی نتایج کار فاروق تیرهای بتن آرمه مقاوم سازی شده با آرماتور خارجی را با نرم افزار انسیس، مدل کرده در تحلیل غیرخطی مقاومت حدی و شکل پذیری آن را تعیین کرد. رضا عرفانیان [۳] به بررسی تجربی رفتار تیرهای تقویت شده با استفاده از آرماتورهای خارجی پرداخت، در روش مقاوم سازی فاروق آرماتورهای غیرچسبیده در طرفین تیر نصب شدند در حالیکه در روش عرفانیان آرماتورها در زیر تیر نصب شده بودند در این روش مقاوم سازی شده نتایج نشانگر افزایش چشمگیر مقاومت خمشی و کاهش شکل پذیری بوده است.

تصاویر زیر کارهای انجام شده در این زمینه را نشان می دهد.

شکل ۱-۱ تقویت شدن به کمک کاشتن میلگرد

شکل ۱-۲ تقویت شدن به کمک کاشتن میلگرد

شکل ۱-۳ تقویت شدن به کمک کاشتن میلگرد

شکل ۱-۴ تقویت شدن به کمک کاشتن میلگرد

شکل ۱-۵ تقویت شدن به کمک کاشتن میلگرد

۱-۴- استفاده از کامپوزیت های پلیمری FRP [۴]

مواد FRP از دو جزء اساسی تشکیل شده است فایبر (الیاف) و رزین (ماده چسباننده)، فایبرها که اصولاً الاستیک، ترد و بسیار مقاوم هستند، جزء اصلی باربر در ماده FRP محسوب می شوند. رزین اصولاً به عنوان یک محیط چسباننده عمل می کنند که فایبرها را در کنار یکدیگر نگه می دارند.

- فایبرها

فایبر ممکن است از شیشه، کربن و یا آرامید باشد که در این صورت محصولات کامپوزیت مربوطه به ترتیب به نام های GFRP، CFRP، AFRP شناخته می شود.

۱-۴-۱- انواع کامپوزیت پلیمری FRP متداول در مهندسی عمران

الف- کامپوزیت های پلیمری تقویت شده با الیاف کربن CFRP :

الیاف کربن مقاومت بسیار خوبی در محیط های قلیایی و اسیدی داشته و در شرایط سخت محیطی از نظر شیمیایی کاملاً پایدار هستند این الیاف در دو دسته طبقه بندی می شوند.

الیاف کربن از نوع PAN که در سه نوع مختلف هستند. نوع I که کربن آن ها با بالاترین مدول الاستیسیته است $(\varepsilon_u = 0.5\%, E = 380, Gpa, \sigma_a = 2000Mpa)$، نوع II که مقاوم کربن الیاف کربن می باشد $(\varepsilon_u = 1\%, E = 240, Gpa, \sigma_a = 2800Mpa)$ و نهایتاً نوع III نرم ترین نوع الیاف کربنی بوده و مقاومتی بتن نوع I و II را دارند.

ب- کامپوزیت تقویت شده با الیاف شیشه GFRP :

- فیبرهای شیشه ای در چهار دسته طبقه بندی می شوند:

۱- E-Glass : متداولترین الیاف شیشه در بازار با محتوای قلیایی کم، که در صنعت ساختمان به کار می رود.

Z-Glass : با مقاومت بالا در مقابل حمله قلیایی ها، که در تولید بتن الیافی به کار گرفته می شود.

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

S-Glass : که در تکنولوژی هوا- فضا و تحقیقات فضایی به کار گرفته می شوند و مقاومت الاستیسیته بسیار بالایی دارد $(E = 87, Gpa, \sigma_a = 3900Mpa)$

ج- کامپوزیت های تقویت شده با آرامید

آرامید اساساً ساخته دست بشر است که برای اولین بار توسط شکرت دوپونت[1] در آلمان تحت نام کولار[2] تولید شد، چهار نوع کولار وجود دارد که از بین آنها کولار ۴۹ برای مسلح کردن بتن، طراحی و تولید شده است.

۱-۴-۲- مشخصات میله های کامپوزیتی FRP :

الف) مقاومت در مقابل خوردگی

بدون شک برجسته ترین و اساسی ترین خاصیت میله های کامپوزیتی FRP، مقاومت آن ها در مقابل خوردگی است. در حقیقت این خاصیت ماده FRP تنها دلیل انتخاب آن به عنوان یک گزینه جانشین برای میلگردهای فولادی است. به خصوص در سازه های بندری، ساحلی و دریایی و نیز در سازه های مجاور آب، مقاومت خوب FRP در مقابل خوردگی، سودمندترین مشخصه میلگردهای FRP محسوب می شود.

ب) مقاومت

مصالح FRP معمولاً مقاومت کششی بسیار بالایی دارند که از مقاومت کششی میلگردهای فولادی به مراتب بیش تر است. مقاومت کششی بالای میلگردهای FRP کاربرد آن ها را برای سازه های بتن آرمه، خصوصاً برای سازه های بتنی پیش تنیده بسیار مناسب نموده است. مقاومت کششی مصالح FRP اساساً به مقاومت کششی، نسبت حجمی، اندازه و سطح مقطع فایبرهای به کار رفته در آن ها بستگی دارد. مقاومت کششی محصولات FRP برای میله های با الیاف کربن به طور معمول ۱۱۰۰ تا ۲۲۰۰MPa، برای میله های با الیاف شیشه ۹۰۰ تا ۱۱۰۰ MPa، و برای میله های با الیاف آرامید ۱۳۵۰ تا ۱۶۵۰ MPa می باشد. اگرچه، برای بعضی از این محصولات حتی مقاومت های بالاتر از ۳۰۰۰ MPa نیز گزارش شده است.

ج) وزن مخصوص :

وزن مخصوص میله های کامپوزیتی FRP به مراتب کم تر از وزن مخصوص میلگردهای فولادی است؛ به عنوان نمونه وزن مخصوص کامپوزیت های CFRP یک سوم وزن مخصوص فولاد است. نسبت بالای مقاومت به وزن در کامپوزیت های FRP از مزایای عمده آنها در کاربردشان به عنوان مسلح کردن بتن محسوب می شود.

[1] - Dupont
[2] - Kevlar

هـ) عایق بودن

مصالح FRP خاصیت عایق بودن بسیار عالی دارند؛ به بیان دیگر، این مواد از نظر مغناطیسی و الکتریکی خنثی بوده و عایق محسوب می شوند. بنابراین استفاده از بتن مسلح با میله های FRP در قسمت هایی از بیمارستان که نسبت به امواج مغناطیسی حساس هستند، و در مسیرهای هدایتی قطارهای شناور مغناطیسی، و همچنین در باند فرودگاه و مراکز رادار بسیار سودمند خواهد بود.

و) خم شدن

میله های کامپوزیتی FRP که در بتن مسلح به کار گرفته می شوند، به جهت مهار میلگردهای طولی، آرماتورهای عرضی و تنگ ها، لازم است در انتها خم شوند. با این وجود عمل خم کردن میله های FRP بسیار دشوارتر از خم کردن میلگردهای فولادی بوده و در حال حاضر برای مصالح موجود FRP، نمی توان خم کردن را در کارگاه انجام داد. اگرچه در صورت لزوم، می توان خم میله های کامپوزیتی FRP را با سفارش آن به تولید کننده انجام داد.

۱-۴-۳- محاسن کامپوزیت FRP :

- وزن کم
- انعطاف بالا
- راحتی در جابجایی
- سرعت عمل بالا
- برشکاری در قطعات دلخواه
- سادگی اجرا
- امکان تقویت به صورت خارجی

۱-۴-۴: معایب کامپوزیتی پلیمری FRP

- آسیب پذیری درمقابل آتش سوزی
- کم تجربگی مشاوران و پیمانکاران

۱-۴-۵: مراحل مقاوم سازی با کامپوزیت FRP در سازه ها [۵]

۱- سطح المان را برای چسباندن کامپوزیت آماده می کنند این مرحله شامل:

- تخریب قسمت های آسیب دیده از حمله شیمیایی

- ایجاد لایه جدید جایگزین لایه تخریب شده
- پر کردن خلل و فرج سطحی المان به وسیله بتونه
- تسطیح سطح المان
- آغشته کردن سطح المان با پرایمر Primer

۲- اتصال کامپوزیت FRP :

سه روش برای چسباندن کامپوزیت به سطح المان متداول است.

- روش نصب دستی:

در این روش تولید و اتصال کامپوزیت به صورت همزمان صورت می گیرد به این ترتیب که بعد از اتمام مرحله اول، سطح المان با غلتک به ملات پلیمری آغشته می گردد. سپس الیاف خشک توسط غلتک روی المان قرار می گیرد.

حالت معمول برای کاربری آسان تر، الیاف دارای پوشش هستند. بعد از قرار گرفتن الیاف در محل خود پوشش الیاف برداشته و لایه توسط غلتک الیاف را دربر می گیرد.

شکل ۱-۶ اتصال ورق FRP [۵]

- روش نصب لایه به لایه :

بعد از مرحله آماده سازی و تسطیح ناهمواریهای موجود توسط بتونه (بتونه یک رزین دارای ویسکوزیته بالاست) لایه ملات پلیمری توسط غلتک روی سطح المان قرار می گیرد، سپس لایه کامپوزیت را به ملات پلیمری می چسبانند.