مقاوم سازی با استفاده از FRP

FRP (Fiber Reinforcement Polymer)

امروزه روش‌های نوین ترمیم و مقاوم سازی سازه مثل مقاوم سازی و استفاده از FRP و استفاده از میراگرها کم کم در حال جایگزین شدن به جای روش‌های سنتی و متداول مقاوم سازی هستند. سیستم مقاوم سازی با FRP ، یکی از روش‌های نوین مقاوم سازی ساختمان، تقویت سازه‌ها و پوشش محافظتی در صنایع مختلف می‌باشد. از مزایای مهم مقاوم سازی سازه با کامپوزیت FRP میتوان به مقاومت کششی بسیار بالا و وزن بسیار کم اشاره کرد FRP یا پلیمر تقویت شده با فیبر که امروزه کاربرد زیادی در ترمیم، تقویت و مقاوم سازی ساختمان ها و سازه های بتنی و فلزی و نیز صنعت کامپوزیت دارند، از دو جزء اساسی تشکیل می‌شوند؛ فایبر (الیاف) و ماتریس (رزین)

به طور کلی در یک کامپوزیت: FRP

- سختی فیبر لزوما بالاتر از سختی ماتریس می باشد.
- الیاف از نظر شیمیایی از ماتریس تاثیر نمی پذیرند.
- چسبندگی مطلوبی بین الیاف و ماتریس برقرار می باشد.
- ماتریس از الیاف در مقابل حملات محیطی و سایش محافظت می کند.

در واقع نقش اصلی ماتریس انتقال برش از الیاف به ماده مجاور و کنترل کمانش موضعی الیاف تحت فشار می باشد. همچنین ماتریس می بایست از خسارات مکانیکی وارد بر الیاف جلوگیری نماید.

به ظور خلاصه ماتریس دارای نقش های زیر می باشد:

- انتقال برش از الیاف تقویتی به ماده مجاور
- محافظت از الیاف در برابر شرایط محیطی و جلوگیری از خسارات مکانیکی وارده
- کنترل کمانش موضعی الیاف تحت فشار

باید توجه داشت در ماتریس دو نوع برش به وجود می‌آید:

- برش ناشی از پیچش یا برش درون صفحه‌ای
- برش ناشی از خمش یا برش بین صفحه‌ای

فایبر یا الیاف FRP که دارای مشخصات فنی الاستیک و بسیار مقاوم هستند، جزء اصلی باربر در سیستم‌های مقاوم سازی با FRP محسوب می‌شوند .**انواع فیبرهای تشکیل دهنده مصالح FRP** می‌توانند در یک راستا یا در دو راستای عمود بر هم قرار داشته باشند. رزین FRP نیز اصولاً به عنوان یک محیط چسباننده عمل می‌کند که فیبرها را درکنار یکدیگر نگاه می‌دارد.

اشاره کردیم که قسمت زیادی از ظرفیت باربری مصالح FRP به عهده ی الیاف می باشد. از این رو الیاف FRP می‌بایست دارای مقاومت گسیختگی و مدول الاستیسیته‌ی بالا باشند . همچنین دارای مقاومت کافی در شرایط محیطی گوناگون داشته باشند و الیاف FRP باید قابلیت تغییر طول نیز داشته باشند.

بی شک برجسته ترین و اساسی ترین خاصیت مصالح FRP مقاومت آن‌ها در مقابل خوردگی است . در سازه های بندری ، ساحلی و دریایی ،مقاومت مطلوب مصالح کامپوزیت FRP در مقابل خوردگی ، سودمندترین مشخصه ی میلگرد های FRPمی باشد.

پلیمرهای تقویت شده با الیاف (FRP) خاصیت عایق بودن بسیار فوق العاده ای دارند .به طور کلی این مواد از لحاظ مغناطیسی و الکتریکی خنثی بوده و عایق محسوب می شوند.

کامپوزیت FRP با چسب و رزین مستحکم بمنظور تقویت سازه به سطح بتن چسبانده می‌شوند. الیاف و ورقه FRP پوشش مناسبی جهت ایزوله کردن و مقاوم سازی بتن سازه آبی از محیط خورنده مجاور هستند. همچنین از ورقه کامپوزیتی FRP جهت تعمیر و تقویت سازه ی آسیب دیده (ناشی از زلزله و یا ناشی از خوردگی آب یون‌دار) استفاده می‌شوند.

استفاده از سیستم های مقاوم سازی باFRP

استفاده از **کامپوزیت‌های پلیمری (FRP) در مقاوم سازی و بهسازی لرزه‌ایی سازه‌ها** و به طور کلی مقاوم سازی با FRP در طراحی سازه های بتن آرمه طی سالیان اخیر از رشد قابل توجهی برخوردار بوده است که دلیل اصلی آن نیاز به افزایش عمر بهره برداری و ارتقای اساسی زیرساخت ها در تمامی نقاط دنیا می‌باشد. از **ویژگی‌ها و مشخصات اصلی FRP** یا 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 کاهش قیمت این مصالح می باشد. شاید یک دهه قبل استفاده از کامپوزیت‌های FRP روشی لوکس و گران قیمت به نظر می‌رسید ولی اکنون قیمت این مصالح به مراتب تنزل نموده است و مقاوم سازی با FRP علاوه بر همه ی فوایدی که دارد اقتصاد پروژه را نیز بهینه می کند. در گذشته ای نه چندان دور مدارک فنی بسیار محدودی در این رابطه وجود داشت ، لیکن امروزه تعداد قابل توجهی از مقالات علمی نشریات و کنفرانس های مربوط به بحث انواع کاربرد مصالح FRP در مقاوم سازی اختصاص دارد . این رشد فزاینده شاهد رویکرد و اهمیت این فناوری نو می‌باشد که به دنبال گسترش نیاز و توجه به تقویت با استفاده از مصالح کامپوزیت و به منظور کاربردی نمودن دانش فنی، روش‌های طراحی نیز تدوین گردیدند تا در بخش حرفه مورد استفاده قرار گیرند. تبیین روش‌های تحلیل و در نظر گرفتن ضرایب ایمنی در طراحی با ملاحظات اقتصادی منجر به تدوین دستورالعمل ها و آیین نامه‌های محاسباتی و اجرایی شدند که از آن جمله می توان به آیین نامه های ISIS کانادا، FIBاروپا و ACI 440 R ایالات متحده اشاره نمود.

دلایل استفاده روز افزون از مقاوم سازی با FRP را می‌توان به صورت زیر لیست کرد:

1. افزایش تولید، تامین و توزیع وسیع که باعث کاهش قیمت FRP و افزایش خرید و فروش FRP شده است.
2. وزن بسیار کم الیاف FRP در مقابل مقاومت کششی۱۴ بسیار دالایی که دارد.
3. بهبود خصوصیات الیاف و رزین مصالح FRP در سال‌های اخیر، سبب بکارگیری آن در اکثر پروژه مقاوم سازی شده است.
4. خواص ضد خورندگی مواد FRP در کنار مقاومت مکانیکی بالا سبب شده است که دو مقوله مقاوم سازی تقویت سازه و پوشش ضد خوردگی در سازه های بتنی، فولادی، پل، لوله، مخازن و تاسیسات پتروشیمی و صنعتی، به صورت همزمان با صرفه جویی در زمان و هزینه صورت گیرد.
5. استفاده از FRP در تقویت سازه بتنی، ارزان تر از تخریب اجزای سازه بتن آرمه و مقاوم سازی با روش سنتی شده است.
6. روش تولید اصلاح شده کامپوزیتFRP ، منجر به تولید محصولاتی با خواص مقاومتی و مشخصات فنی بالاتر و کاهش قیمت FRP تولید شده است.
7. بهینه کردن ترکیب فیبر FRP با ماتریس **(رزین اپوکسی FRP)** برای سازگاری مناسب تر با یکدیگر در سیستم FRP در عملیات بازسازی و تقویت سازه امکان پذیر شده است.

مزایای استفاده از سیستم مقاوم سازی با FRP چیست؟

مزایای مقاوم سازی با FRP نسبت به روش مقاوم سازی سنتی عبارتند از:

- وزن مصالح FRP بسیار ناچیز است که یکی از **اهداف تقویت و مقاوم سازی سازه** می باشد.
- مقاومت کششی بالای الیافFRP
- ضخامت کم لایه‌های FRP در حد میلی‌متر ، باعث می‌گردد تا استفاده از آنها در مقاوم سازی سازه، اضافه فضا نداشته باشد.
- استفاده از FRP برای تقویت و مقاوم سازی ساختمان نیاز به زمان زیادی ندارد و اعضای مقاوم سازی شده در زمان بسیار کوتاهی آماده سرویس دهی می شوند.
- FRPمقاومت بالایی در مقابل خوردگی دارد. این امر سبب می‌گردد تا علاوه بر مقاوم سازی سازه بدلیل خواص نفوذ ناپذیری بالا اعضای سازه ای را از عوامل خورنده محافظت کند و نیاز به تعمیرات دوره ای را حذف کند.
- توانمندی بالای مصالح FRP در محاسبات فنی و طراحی (سختی، مقاومت و شکل پذیری)، آنها را به سیستم های بی نظیر در مقاوم سازی تبدیل کرده است.
- عدم توقف کاربری در زمان اجرای مقاوم سازی باFRP
- بی سویی الکترومغناطیسی مصالح FRP ، که می تواند در سازه های خاص مورد استفاده برای تصویربرداری مغناطیسی مهم باشد.



مقاوم سازی دیوار با الیاف کربن

مشکلات استفاده از سیستم مقاوم سازی با FRP کدام است؟

- طراحی و محاسبات **انواع مصالح FRP** در بهسازی و مقاوم سازی سازه بدلیل رفتار غیر ایزوتروپ نسبت به فولاد و بتن متفاوت تر است.
- در روش تقویت سازه باFRP ، انتخاب نسبت مناسب الیاف به رزین، نوع الیاف و رزین مصرفی، مواد تکمیل کننده مورد نیاز و نیز نصب و اجرای لایه ها نیاز به دقت فراوانی دارد.
- شکل پذیری پایین مصالحFRP ، سبب می‌شود تا برآورده کردن بندهای مطلوب آئین نامه های مقاوم سازی، مستلزم رعایت برخی محدودیت کرنش گسیختگی در کشش برای این مصالح گردد.
- بدلیل ضعف نسبی مصالح FRP در برابر حریق و آتش سوزی، در پروژه مقاوم سازی نیاز است تا پوشش اضافی بر روی لایه FRP اجرا گردد که باعث می شود هزینه مقاوم سازی بالا رود.

آشنایی با انواع مصالح مورد استفاده در مقاوم سازی باFRP

دو نوع کلی از مصالح FRP در ساخت، بهسازی و مقاوم سازی با FRP به کار می‌روند. این دو نوع عبارتند از میله FRP یا میلگرد FRP و مصالح پوششی .FRP علاوه بر این دو نوع، پروفیل FRP به صورت I شکل، ناودانی، قوطی و نبشی نیز امروزه در ساخت سازه جدید و بازسازی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه به شرح استفاده از هریک از مصالح فوق در سیستم مقاوم سازی با FRP می پردازیم.

- **میلگردFRP**

از انواع میلگرد FRP (آرماتور FRP) که از سه نوع الیاف شیشهGFRP ، الیاف کربن CFRP و الیاف آرامید AFRP به همراه رزین اپوکسی، پلی استر و وینیل استر تولید می‌شوند، امروزه در صنایع مختلف و روش مقاوم سازی ساختمان استفاده فراوانی می‌گردد. یکی از روش هایی است که از میلگرد FRP برای تقویت لرزه ای سازه و مقاوم سازی استفاده می‌شود، روش نصب نزدیک سطح NSM می باشد که خود شامل روش NSM FRP Rods و NSM FRP Strips می باشد.

ترکیب فولاد و بتن ، ترکیبی با مقاومت بالا می باشد و این سازگاری مناسب بین فولاد و بتن ، آن را به یکی از پرکاربردترین و با کیفیت ترین عناصر مسلح کننده مقاطع بتنی تبدیل کرده است . ولی مشکلی به نام اکسیداسیون برای فولاد وجود دارد . به خصوص زمانی که به دلایلی از جمله عدم اجرای مناسب بتن و ترک آن ، پوشش ناکافی بتن ، شرایط آب و هوایی نامناسب و ... عنصر فولادی در معرض رطوبت ، نمک ها ، کلریدها و ... قرار می گیرد و شروع به زنگ زدن می کند و باعث ترکیدن بتن می شود . این مشکل با استفاده از میلگردهای FRP قابل حل می باشد . میلگردهای FRPبا مقاومت کششی زیاد ، مدول ارتجاعی قابل قبول ، مقاومت بالا در برابر خوردگی ، مقاومت خوب در برابر خستگی و خزش ، چسبندگی خوب با بتن ، عایق بودن در برابر امواج الکترومغناطیسی ، وزن کم و سبکی که موجب راحتی نصب و سرعت عمل در اجرا می شود ، عنصری بسیار مناسب برای جایگزینی با فولاد می باشد که موجب بهبود ظرفیت باربری ، افزایش مقاومت سازه ای ، کاهش خوردگی و سبکی سازه می شوند.

همچنین با توجه به ضعف های موجود در طراحی و اجرای سازه ها و نیز تغییرات در آئین نامه ها و سختگیرانه تر شدن آن و لزوم رعایت استانداردهای ساختمانی ، استفاده از میلگرد های FRP در ترمیم و مقاوم سازی ساختمان و ایمن نبودن سازه ها و نیز تقویت و بهسازی اعضای ضعیف و آسیب دیده گزینه ی بسیار مناسبی می باشند.

در محاسبات باید این نکته را نیز مد نظر قرار دهیم که مواد FRP در مقابل آتش مقاومت پایینی دارند بنابراین در طراحی ها ، از مقاومت آن ها صرف نظر می شود ، البته می توان با استفاده از رزین های مخصوص ضد حریق ، این ضعف را

بهبود بخشید . در صورت وجود ترک طولی در پوشش بتن ، چسبندگی میلگردها به شدت کاهش می یابد . همچنین اگر FRPها در معرض امواج فرابنفش ، محیط های قلیایی شدید ، خشک و مرطوب شدن مکرر و ذوب و یخ زدگی مکرر قرار بگیرند ، خواص آن ها به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد . آزمایشات نشان داده اند که میلگردهای FRP جاری نمی شوند و تا لحظه ی گسیختگی ، رفتاری خطی خواهند داشت لذا تیرهای بتنی مسلح شده با FRP نیز تحت خمش تا لحظه ی شکست رفتاری خطی از خود نشان می دهند و به صورت ترد می شکنند.



مقاوم سازی و تقویت با میلگرد FRP

- **پوششFRP**

پوشش FRP عمدتاً برای مقاوم سازی و بهبود و تقویت رفتار سازه ی موجود یا تعمیر خرابی ایجاد شده در سازه ی فعلی به عنوان یک روش نوین در مهندسی به کار می‌روند. همانگونه که اشاره شد، ویژگی کلیدی که این مصالح را برای مقاوم سازی مناسب می‌سازد، خواص غیر قابل خوردگی و مقاومت بالا نسبت به وزن است. از این رو تکنیک مختلفی برای تقویت سازه بتنی نظیر روش زیر بوجود آمده است. پوشش FRP که به سطح خارجی یک عضو بتنی یا هر سطح دیگری می‌چسبند، به روش EBR- Externally Bonded Reinforcement معروف هستند

به عنوان مثال تقویت خمشی تیرهای بتنی مسلح به روشEBR ، با چسباندن لمینت و ورق کربن FRP به وجه کششی تیر انجام می گیرد . قبل از نصب ورق در این روش ، آماده سازی محل نصب از اهمیت ویژه ای برخوردار است . آماده سازی سطحی برای از بین بردن آلودگی ها و لایه های سطحی ضعیف به منظور اصلاح خصوصیات سطح زیرین و ایجاد سطحی جدید با ساختاری مناسب صورت می گیرد . به این منظور ، ابتدا با استفاده از روش هایی همچون ساییدن سطح ، ماسه پاشی یا فشار آب ، لایه ی ضعیف سطحی بتن به اندازه ای ساییده می شود تا سطوح سنگدانه ها نمایان شوند و سطح قوی تری برای ایجاد چسبندگی بیشتر بین لایه FRPو بتن فراهم شود . سپس با استفاده از فشار هوا و یا فشار آب ، مواد زائد و ذرات گرد و غبار از سطح بتن جدا می شوند . سپس با استفاده از ماده ی مناسب ، خلل و فرج سطح پر می شوند و در پایان با استفاده از اپوکسی مناسب ورق FRP به سطح بتن چسبانده می شود. در این روش از ورق های FRP پیش ساخته (ورق آماده شده در کارخانه) و یا آماده شده به روش درجا (اندود الیاف FRP با چسب در محل اجرا) می توان استفاده کرد . به منظور کاهش احتمال وقوع پدیده ی جداشدگی می بایست کیفیت چسبندگی بین ورق و بتن را بالا برد. روش نصب سطحی می تواند به شکل ساده و معمول یا با اعمال پیش کشیدگی در ورق FRP قبل از اتصال آن به سطح تیر و یا با فراهم آوردن مهار لازم ، مانند استفاده از انکر و اسپایک FRP یا نوارهای U شکل در انتهای ورق، برای کاهش احتمال جداشدگی ورق از سطح تیر تحت بار، انجام شود.

پوشش دست سازFRP

در این نوع پوششFRP ، ابتدا سطح عضو بتن‌آرمه آماده شده و یک لایه چسب یا رزین روی آن اجرا می‌گردد. سپس الیاف بافته شده در یک راستا یا چند راستا با دست روی سطح مورد نظر نصب می‌گردد. به این ترتیب پس از خشک شدن، یک لایه پوشش کامپوزیت FRP به صورت چسبیده بر روی سطح عضو ایجاد می‌شود. در این روش، الیاف FRP به صورت های زیر موجود می باشد.

- **الیاف کربن تک جهته**
- **پارچه کربن دو جهته**
- **الیاف شیشه تک جهته**
- **الیاف شیشه دو جهته**

الیاف کربن نسبت به دیگر الیاف مورد استفاده در پوشش‌هایFRP ، عملکرد و مشخصات برتری را ارائه می‌دهند. برای آشنایی با رفتار الیاف کربن همچنین مشخصات و ویژگی‌های آن، پیشنهاد می‌شود تا مقاله جامع و پرکاربرد " الیاف کربن از صتایع فضایی تا صنعت ساخت و ساز " را مطالعه فرمایید.

ورق FRP یا صفحات و لمینیت پیش ساخته مرکب

در این حالت، کامپوزیت FRP به صورت صفحات، لمینیت یا تسمه های یک جهته در کارخانه ساخته می‌شوند. در اعضای تخت مانند دال‌ها و تیرها، تسمه ها و ورقه پیش ساخته FRP روی سطح تمیز شده‌ی عضو با استفاده از چسب و رزین مناسب، چسبانده می‌شوند. عرض این تسمه‌ها معمولاً بین ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر متغیر است.

ورقه ماشینی

در این سیستم، الیاف FRP به صورت خشک یا پیش آغشته شده به چسب و رزین FRP بکار می‌روند. یک محفظه حرارتی یا کورهی نگه دارنده همراه برای عمل آوری کامل لایه های چسبیده FRP به عضو بتن‌آرمه به کار می‌روند.

راهکار مقاوم سازی با FRP چیست؟

پروژه ترمیم، بازسازی و مقاوم سازی با FRP ، امروزه بسیار فراگیر شده و آسیب و ضعف سازه ای می‌توان با استفاده از مصالح FRP تقویت کرد.

از جمله مسائل بسیار قابل توجه، زوال الیاف پلیمری مسلح کننده نظیر آرامید است. به عنوان مثال برای آرامید ساخته شده از الیاف نازک پس از پنج هفته قرار گرفتن در نور آفتاب فلوریدا، ۵۰ درصد افت مقاومت گزارش شده است. با این وجود این اثر معمولاً سطحی است؛ بنابراین در کامپوزیت‌های ضخیم‌تر، تأثیر این زوال بر خصوصیات سازه‌ای جزئی است. در مواردی که خواص سطحی نیز مهم تلقی شوند، لازم است ملاحظاتی را جهت کاهش ترک‌خوردگی سطحی تحت اشعه خورشید، منظور نمود.

به دنبال فرسوده شدن سازه‌های زیربنایی و نیاز به تقویت سازه‌ها برای برآورده کردن شرایط سخت‌گیرانه طراحی، طی دو دهه 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 کننده 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 روش نصب و اجرای سریع FRP و هزینه‌های کم جذابیت ویژه‌ای یافته‌اند.بدین منظور، تکینیک مقاوم سازی با FRP در مقابله با کابوس زلزله، راهکاری مقرون به صرف و موثر است.

مواد مرکب FRP در ابتدا به‌عنوان مواد مقاوم کننده 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 دهه ۱۹۸۰ توسعه بسیار زیادی در زمینه استفاده از مواد FRP در مقاوم‌سازی سازه‌های مختلف مشاهده می‌شود؛ بطوریکه دامنه کاربردهای آن به سازه‌هایی با مصالح بنایی، چوبی و حتی فلزی نیز گسترش یافته است. اجزاء سازه‌ای مختلفی شامل تیرها، دال‌ها، ستون‌ها، دیوارهای برشی، اتصالات، دودکش‌ها، طاق‌ها، گنبدها و خرپاها تاکنون توسط مصالح FRP مقاوم شده‌اند.

در مقایسه با استفاده از تنگ ها و مارپیچ های فولادی، تکنیک **محصورسازی ستون با استفاده از FRP** قابلیت این را دارد که محصور شدگی را به صورت پیوسته برای تمام مقطع عرضی ستون تامین کند. همچنین این مواد دارای خواص ذاتی مطلوبی (نسبت زیاد مقاومت به وزن و مقاومت بالا در برابر خوردگی و خنثی بودن الکترومغناطیسی) هستند به گونه‌ای که می‌توان در مقاوم سازی و بازسازی اعضای بتنی به طور موفقیت آمیزی از آنها بهره گرفت.

FRPمی‌تواند در تیرها و دال های بتنی به عنوان جایگزین تمام یا بخشی از میلگردهای کششی مورد نیاز به کار رود. همچنین در اتصالات بتنی می‌تواند استفاده گردد و شکل پذیری اتصال را افزایش دهد. از **FRP در تقویت دیوارهای برشی** نیز استفاده می گردد FRP .می‌تواند شکل پذیری دیوارهای بنایی را افزایش داده و آنها را مهار نماید.



مقاوم سازی ستون بتنی با الیاف FRP

مقاوم سازی با FRP در اتصالات تیر- ستون بتنی

اتصالات آسیب پذیرترین قسمت سازه بوده و در عین حال سخت ترین جز سازه جهت تقویت می‌باشند. اهمیت اتصالات در سازه ها و ساختمان ها بر هیچ کسی پوشیده نیست و گزارشات خرابی ساختمان ها در زلزله های اخیر نشان می دهد که قریب به اکثر خرابی ها و گسیختگی ها در ناحیه اتصالات صورت گرفته است. مقاوم سازی با FRP یکی از موثرترین و ساده ترین روش های تقویت و مقاوم سازی اتصالات در سازه ها می باشد.

هنگامی که یک سازه ی بتن آرمه برای بار زلزله طراحی می گردد ، انتظار می رود که سازه در برابر زلزله های متوسط مقاومت کند و آسیب نبیند و همچنین در مقابل زلزله های شدید آسیب جدی به سازه وارد نشود ، بنابراین چنین رفتاری باعث ایجاد تغییر شکل های زیادی در اعضای قاب های خمشی سازه می شود. اتصالات یک قاب خمشی نقش بسزایی

در تحمل تغییر شکل های ناشی از بار زلزله دارند. هنگامی که قاب خمشی بتن آرمه تحت اثر نیروهای جانبی ناشی از زلزله قرار می گیرد ، در اتصالات آن نیروهای برشی قابل توجهی به وجود می آید ،ایجاد این نیروهای برشی با تغییر شکل های زیادی همراه می باشد ، بنابراین اتصالات سازه های بتن آرمه علاوه بر مقاومت ، باید از شکل پذیری کافی نیز برخوردار باشند . با استفاده از کامپوزیت های FRP ، مقاومت خمشی افزایش می یابد اما به دلیل رفتار ترد مواد کامپوزیتی FRP ، شکل پذیری کاهش پیدا میکند . مقاوم سازی جان با FRP می تواند منجر به دور کردن مفصل پلاستیک از بر ستون در قاب های خمشی با شکل پذیری معمولی می گردد. در نتایج به دست آمده از تحلیل غیرخطی اتصالات تقویت شده با FRPنشان می دهد که در قاب های تقویت شده با اجرای یک لایه کامپوزیت FRP ، اتصال داخلی افزایش مقاومت خمشی دارد و شکل پذیری کاهش می یابد . در **تقویت اتصالات با کامپوزیت های FRP** ، به منظور تامین محصور شدگی نواحی مقاوم سازی شده پیشنهاد می شود از لایه های FRP به صورت عرضی استفاده شود که نتیجه ی آن کاهش تغییر شکل های برشی می باشد.



مقاوم سازی اتصالات بتنی با الیاف FRP

تقویت برشی تیر باFRP

بهترین شیوه تقویت برشی تیرها Wrapping توسط ورقهای FRP می باشد. همچنین به راحتی و به شکل بسیار موثری می‌توان تیرها را توسط FRP تقویت خمشی نمود.

از آنجایی که افزایش تقویت داخلی تیر (استفاده از آرماتورهای برشی) بیش از یک مقدار مشخصی نمی تواند باعث افزایش ظرفیت و مقاوم سازی برشی و مقاومت نهایی تیر بتنی شود ، بنابراین به عنوان یک راه حل ، تقویت خارجی جان تیر به منظور افزایش ظرفیت برشی به کمک الیاف تقویت شده پلیمری یا همان FRP ها پیشنهاد می گردد . بر اساس تجربیات و آزمایشات متعدد صورت گرفته در این زمینه ، می توان اظهار داشت که شکست عموما به واسطه ی ترک قطری بین وجه داخلی تکیه گاه و ناحیه ی تحت فشار در زیر محل بارگذاری رخ می دهد . بعد از مقاوم سازی به دلیل اثر محصورکنندگی FRP پخش و رشد ترک قطری بحرانی در مقایسه با تیری که مقاوم سازی نشده است ، با افزایش بار کاهش می یابد ، به طوری که بارهای بزرگتری برای نفوذ ترک قطری بحرانی به قسمت فوقانی تیر نیاز می باشد ، و در نهایت این امر موجب افزایش بارنهایی می شود . همچنین افزایش ضخامت ورق تا مقدار مشخصی موجب کنترل بهتر رشد ترک های قطری می شود و مقاومت نهایی تیر را افزایش می دهد . بنابراین باتوجه به کارایی مواد FRP در محدود کردن رشد ترک های قطری به امتداد الیاف FRP و همچین خصوصیات این مواد می توان نتیجه گرفت الیافی که تقریبا بر راستای ترک عمود هستند ، بیشترین تاثیر را در کند شدن نرخ رشد ترک ها و در نتیجه افزایش بار نهایی قابل تحمل تیرها دارند . همچنین می توان نتیجه گرفت افزایش ضخامت ورق ها تا حد معینی می تواند باعث افزایش بار نهایی تیر شود و بیشتر از آن مقدار تاثیر چندانی در افزایش مقاومت نهایی تیر ندارد . افزایش ضخامت ، بیش از یک مقدار مشخص موجب می شود که بتن در برابر رشد ترک های قطری بین محل بارگذاری و تکیه گاه که معمولا منجر به شکست تیر می شوند ، مقاومت زیادی کرده و ترک به سمت نواحی تقویت نشده سوق پیدا می کند و همین امر سبب شکست تیر و کاهش مقاومت نهایی آن نسبت به تیر مقاوم سازی نشده می شود.



مقاوم سازی تیر بتنی با الیاف FRP

تقویت خمشی تیر بتنی باFRP

به کار بستن لایه ی FRP در زیر تیر منجر به تغییر حالت یک المان خمشی از حالت انعطاف پذیر به شکننده خواهد شد. ویژگی های منحصر بفرد این مصالح از جمله وزن کم ، دوام زیاد در مقابل خوردگی ، مقاومت کششی بسیار زیاد و اجرای ساده موجب جایگزینی سریع آن با روش سنتی متداول شده است. ورق های FRP در انواع مختلف و با خصوصیات مکانیکی متفاوت به عنوان یک مسلح کننده ی خارجی در وجوه مورد نظر اعضای بتنی نصب می شوند و نقش باربری اضافی را بر عهده دارند . قابلیت اطمینان به مقاوم سازی توسط اتصال FRP به طور عمده به انتقال مناسب تنش از بتن به ورق FRP توسط سطح مشترک بستگی دارد.

تقویت تیرها با این روش باعث بالا رفتن ظرفیت خمشی مقطع به میزان قابل توجهی می شود وهمچنین باعث به تعویق افتادن پدیده ی شکست زودرس در تیرهای تحت خمش می گردد.



مقاوم سازی خمشی تیر بتنی با سیستم FRP پیش تنیده

مقاوم سازی با FRP در دیوار بتنی

FRPمی‌تواند تاثیر زیادی در تقویت خمشی و برشی دیوارهای بتنی داشته باشد. دیوار های بتنی ، یکی از عناصر اصلی برای مقابله با نیروهای جانبی هستند که علاوه بر تامین مقاومت مناسب ، شکل پذیری کافی را برای جلوگیری از شکست ترد تحت بارهای جانبی وارد بر سازه را نیز ایجاد می نمایند . همانطور که بخش عمده ی سختی سازه ها مربوط به دیوارهای برشی آنها می باشد ، ضعف در سختی و مقاومت و شکل پذیری آنها نقصی کلی در مقاومت سازه ها در برابر بار لرزه ای محسوب می گردد. باتوجه به این مسئله تقویت سازه های با دیوار برشی در صورت ضعف در دیوارهای برشی آن امری حیاتی به نظر می رسد . مصالح الیاف پلیمری (FRP) به طور گسترده ای در تقویت سازه های بتنی مسلح مورد استفاده قرار می گیرند و با وجود هزینه ی نسبتا زیاد این مصالح ، مزایای آن ها نظیر مقاومت به وزن بالا ، مقاومت عالی در برابر خوردگی و راحتی جابه جایی و نصب ، سبب شده تا به عنوان اولین گزینه در مقاوم سازی و تقویت لرزه ای مد نظر قرار گیرند . تقویت دیوارهای برشی بتن مسلح از طریق اتصال ورق های FRP یکی از روشهای متداول در افزایش شکل پذیری و جذب انرژی و کاهش خسارت در آنهاست. دیوارهای برشی بتنی ممکن است به دلایل متعددی همچون بروز اشتباه در طراحی ، ضعف واشکال در اجرا ، تغییر کاربری ساختمانها ، افزایش بارهای وارده و همچین کاهش سطح عملکرد به علت گذشت زمان و زوال بتن ،خرابی هایی در آنها بوجود آید که نیاز به مقاوم سازی داشته باشند. به همین خاطر محققین زیادی مسأله تقویت را مورد توجه قراردادند.تقویت سازه ها به این صورت بیشتر به منظور افزایش مقاومت و بهبود شکل پذیری و رفتار اجزای موجود میباشد. این تقویت ها میتواند منجر به افزایش ظرفیت خمشی و برشی و یا هر دوی آنها گردد. روش های مختلفی برای تقویت خمشی و برشی مورد استفاده قرار می گیرد. اتصال صفحات پلیمری FRP بوسیله چسب اپوکسی به دیوار برشی روشی بسیار ساده و قابل اجرا در افزایش شکل پذیری و تقویت خمشی و برشی دیوارهای برشی می باشد.

طبق آزمایشات و تحقیقات متعدد در این زمینه می توان گفت کاربرد صفحات FRP در سطح خارجی دیوارهای برشی روشی موثر جهت افزایش سختی پیش از ترک خوردگی ، بار ترک خوردگی و ظرفیت نهایی دیوار بتن آرمه می باشد . همچنین به جای استفاده از دیوار برشی با ضخامت زیاد می توان از دیوار برشی با ضخامت کمتر به همراه تقویت و مقاوم سازی با FRP استفاده کرد . به طور کلی تقویت دیوارهای برشی با FRP ، باعث افزایش مقاومت خمشی ، مقاومت برشی و سختی می شود .همچنین مقاوم سازی با FRP که به صورت ورق هستند (لمینیت FRP) تاثیر قابل توجهی بر عملکرد رفتار سازه در برابر بار لرزه ای داشته و شکل پذیری دیوار برشی را افزایش می دهد.



مقاوم سازی دیوار برشی بتنی با الیاف FRP

افزایش مقاومت فشاری بتن باFRP

FRPکاربردهای فراوانی در تقویت ستونهای بتنی دارد. از FRP میتوان برای تقویت خمشی ستون ها، افزایش مقاومت مشخصه بتن و افزایش شکل پذیری (اثر محصور شدگی) استفاده نمود. به علت ضخامت کم ورقهایFRP ، این روش یکی از راه‌های مناسب برای تقویت ستون ها است چرا که در معماری ساختمان خللی ایجاد نمی نماید. تاثیر عمده تقویت توسطFRP ، در ستونهای دایره‌ای شکل بوده ولی ستون های مربع یا مستطیل را می توان با گرد کردن گوشه ها به صورت مناسب جهت تقویت با FRP تبدیل نمود.

مقاوم سازی با FRP در دال های بتنی

یکی از ابزار کمکی برای بهبود خواص دال های بتنی که نیاز به تقویت دارند، پلیمرهای تقویت شده با الیاف (FRP) می‌باشند که در شرایط مختلف با اهداف مختلف و به اشکال مختلف به دال ها متصل می‌شوند. استفاده از پلیمرهای تقویت شده با الیاف، همچون دیگر انواع روش‌های مقاوم سازی، محدودیت‌هایی را شامل می‌شوند که برای شناخت این محدودیت‌ها، مقاله " **شرایط و محدودیت‌های استفاده از الیاف FRP** " اطلاعات مفید و کاربردی را ارائه می‌دهد.



مقاوم سازی و افزاایش ظرفیت دال بتنی دارای بازشو با FRP

تقویت خمشی دال بتنی به وسیله مقاوم سازی باFRP

در دهانه های تقویت شده با CFRP در دال‌های دوطرفه، ورق‌های CFRP می‌توانند برای حفظ و حتی افزایش ظرفیت اولیه باربری دال های بتنی دوطرفه دهانه دار مورد استفاده قرار بگیرند. برای دال های تقویت شده با CFRP ظرفیت حمل بار در مقایسه با تیر ضعیف شده ۱۲.۵ تا ۲۴ درصد افزایش یافته است.

رفتار دال های تقویت شده با FRP تست شده تا زمان نقص، الاستیک دوخطی می باشد. سفتی دال ها تقویت شده با تقویت شبکه CFRP پس از آغاز ترکها در مقایسه با دال تقویت شده با فولاد به طور قابل توجهی کاهش می یابد. برای اطمینان از سفتی انعطافی کافی جهت کنترل اعوجاج نیاز به نسبت های تقویت بالاتر است. برای تقویت شبکه FRP گنجانده شده در بتن، میله های عرضی، مهار میله های طولی را تامین میکنند. در این مورد فضابندی میله های شبکه، ترک را کنترل میکند. اعوجاج تابعی از سختی تقویت و نسبت واقعی تقویت مورد استفاده در دال است. دال ها تقویت شده با FRP خصوصاً با نسبت کوچکتر تقویت، قبل از ایجاد نقص از طریق اعوجاج ها نسبتاً بزرگ و عرض ترک های وسیع، هشدار لازم را می دهند.

تست های آزمایشگاهی اعتبار و اثربخشی تقویت با شبکه CFRP برای استفاده در دالهای بتنی تقویت شده را نشان میدهند که در آن طراحی عمدتاً تحت تنظیم معیار قابلیت سرویس دهی است. تطابق نزدیک در رفتار انعطافی بین دال های مختلف نشان می دهد که دال تقویت شده با FRP باید با یک کشش انعطافی معادل تقویت با فولاد، بیشتر تقویت شوند FRP .می‌تواند مقاومت دالهای بتنی را در برابر خمش چندین برابر افزایش داده و شکست دال های بتنی تقویت شده با FRP به صورت ناگهانی و غالباً در محل ایجاد نقص در FRP روی می‌دهد.
نوارهای CFRP به صورت پوشش بیرونی ظرفیت باربری دال ها تقویت شده را افزایش میدهند. علاوه بر این در دال های تقویت شده نسبت به دال تقویت نشده ترکهای ایجاد شده کوچکتر و به طور یکنواخت تری توزیع گردیده اند.

- مقاوم سازی دال ها با میزان فولاد کششی ۲۵ درصد فولاد معادل، مقاومت نهایی تیر در حدود ۳۱-۶۲ درصد افزایش می‌دهد.
- مقاوم سازی دال‌ها با میزان فولاد کششی ۵۰ درصد فولاد معادل، مقاومت نهایی تیر را در حدود ۲۲-۵۰ درصد افزایش می‌دهد.



مقاوم سازی دال بتنی با لمینیت FRP

خلاصه ای ار کاربردهای FRP در مقاوم سازی سازه

- ترمیم و تقویت با مصالح FRP و پوشش با رزین مناسب نظیر اپوکسی
- بازسازی بتن و جایگزینی آرماتور فولادی با میلگردFRP
- تقویت سازه ای المان و اجزا توسط مصالحFRP
- تزریق رزین اپوکسی و هاردنر در اجزای سازه و یا محافظت بتن توسط پوشش پلیمری FRP ضد اسید
- پوشش اجزا باFRP
- جایگذاری میلگرد FRP به جای میل گردهای پوسیده شده بتن
- جایگزینی بتن جدید و دور پیچی المان های ستونها، تیرها و کفها با الیافFRP
- تامین کمبود مقاومت با پروفیل ها، و ورق FRP کامپوزیت
- مقاوم سازی با سیستم ترکیبی پلیمری FRP و روش سنتی
- مقاوم سازی با ورق و الیاف CFRP و الیاف GFRP در تیر، ستون و دیوار بتنی
- دور پیچی الیاف FRP و محصور سازی با الیاف پلیمری در بتن
- پکر گذاری و تزریق گروت اپوکسی و افزایش مقاومت بتن توسط محصور سازی و دور پیچی باFRP
- تقویت خمشی توسط آئین نامه نشریه مقاوم سازیFRP
- استفاده از سیستم مهار جانبی و تقویت موضعی اعضا با اف آر پی
- استفاده از روش تقویت سازه و مقاوم سازی با FRP بدلیل سرعت بالای اجرای الیافFRP ، ورق FRP لمینت، و میلگرد FRP کامپوزیتی
- ساخت سازه با سیستم کامپوزیتی FRP با مقاومت و دوام بالا در محیط های اسیدی و خورنده
- استفاده از روش کاشت میلگرد FRP در داخل عضو بتنی بدلیل مقاومت بسیار بالای آرماتورFRP
- مقاوم سازی باFRP
- استفاده از دتایل های مناسب مقاوم سازی شرکت افزیر
- مقاوم سازی FRP در طول و عرض تیر
- ترمیم انواع المان‌های سازه با استفاده از پلیمر مسلح FRP به جای روش سنتی
- تزریق رزین و محصورسازی Confinement با الیاف اف آر پی



تقویت تیر بتنی با ورق و لمینیت کربن FRP در سازه های بتن آرمه

مشکلاتی از اعضای سازه که با مقاوم سازی با FRP برطرف می‌شود کدام‌اند؟

- خوردگی و فرسایش سازه ای در فضا صنعتی، پالایشگاه و پتروشیمی
- ترک خوردگی و کنده شدگی بتن ناشی از خوردگی
- کاهش ظرفیت سازه ای
- نفوذ کلرید بتن و کربناته شدن بتن
- خوردگی در اثر مجاورت فلزات غیر مشابه
- خوردگی فولاد پس کششی
- هجوم سولفات در بتن
- تابیدگی دال ریخته شده روی سطوح بستر
- اشتباهات و خطای محاسباتی و طراحی
- میلگرد گذاری نادرست و اشتباه بتن
- اجرای اشتباه خاموت
- جدا شدگی سنگ دانه های و بتن و کرمو شدگی سطح بتن و تجمع سنگدانه ها
- خیز غیر مجاز دال و سقف بتن آرمه
- تغییر در کاربری سازه و بارگذاریهای اضافی ثقلی و جانبی
- نیاز به کاهش زمان ایجاد وقفه در حین ترمیم و مقاوم سازی سازه
- افزایش عمر مفید سازه در سازه ی دریایی
- اتصال بتن از طریق کاشت و نیاز به میلگرد با سایز بالا بدلیل تامین طول مهاری کافی
- ظرفیت خمشی ناکافی سازه ی بتنی

.....

الیاف FRP چیست؟

- FRPدر لغت مخفف کلمه Fiber Reinforced Polymer به معنی پلیمرهای تقویت شده با فیبر است FRP . از دو جزء ماتریس رزین و فیبر تشکیل می‌شود و کاربردهای متفاوتی در صنایع مختلف و ساختمان دارد.

موارد کاربرد FRP کدام است؟

- کاربردهای FRP عبارتند از: افزایش ظرفیت باربری و شکل پذیری ستونها، تیرها، دال ها و اتصالات بتن آرمه، تقویت مخازن، مقاوم سازی لوله ها، مقاوم سازی پل ها و انواع سازه های دیگر

انواع محصولات FRP کدام است؟

- ورقه هایFRP ، پارچهFRP ، میلگردهایFRP ،شبکه کامپوزیتی FRP و پروفیل‌های ساختمانیFRP
- انواع الیاف FRP از چه جنسی می تواند باشد؟
- الیاف کربن ، الیاف شیشه ، الیاف آرامید و الیاف بازالت