مبانی کاربرد کامپوزیتهای FRP در مقاوم سازی سازه های بنایی

محمد هوشمندزاده,کارشناس مهندسی عمران,دانشکده مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز
تلفن:۳۷۷۴۵۳۸-۰۶۱۱ , پست الکترونیک:hooshmandzadeh_civil@yahoo.com

چکیده
ساختمانهای آجری یکی از پرتعداد ترین نوع ساختمانها در کشور می باشند که زلزله های گذشته موید آسیب پذیری زیاد آنهاست.ساختمانهای آجری در ایران در دو دسته غیر مسلح و کلاف دار و اغلب بدون محاسبات مهندسی ساخته شده اند ودر زمینلرزه های بزرگ بیشترین آمار تلفات جانی و خسارات اقتصادی را نسبت به ساختمانهای دارای اسکلت به خود اختصاص داده اند . خرابی دیوارهای بنایی در سرتاسر جهان باعث گسترش تکنیک های تعمیر و تقویت دیوارهای غیر بنایی غیر مسلح شده است . از جمله این تکنیک ها , استفاده از کامپوزیتهای FRP است . در این مقاله کوشش شده است با ارائه تعریفی از خرابی در سازه های بنایی , ساختار کامپوزیت های FRP , دلایل استفاده از آن , محاسبات اولیه طراحی این کامپوزیتها توضیح داده شود .

کلید واژه ها: **مقاوم سازی , کامپوزیت FRP , رزین , بافت , اپوکسی**

۱- مقدمه

زمین لرزه که شاید مخرب ترین نیروهای طبیعی باشد پدیده ای طبیعی و یکی از مشخصات سیاره ماست که به تنهایی در سراسر جهان هزاران زندگی را قربانی و میلیاردها دلار خسارات مادی وارد ساخته است . تلفات انسانی و زیانهای اقتصادی - اجتماعی ناشی از زمین لرزه ها به علت آسیب پذیری شدید ساختمانهای مسکونی در مناطق شهری و روستایی است . ما در منطقه زلزله خیزی زندگی می کنیم و بطور متوسط سالانه شاهد کشته شدن حدود۳۰۰۰نفر از هموطنان خود در اثر وقوع زلزله هستیم که این تلفات ناشی از عدم مقاومت ساختمانها و سیستم های حیاتی در مقابل زلزله است . وقوع زلزله های به نسبت پیاپی در ایران و خسارتهای جانی و مالی زیاد ناشی از آنها بیانگر حداقل دو موضوع است: ۱- مملکت ما در منطقه با زلزله خیزی شدید یعنی کمربند زلزله خیزی آلپ - هیمالیا(ناحیه آلپاید) واقع شده است . ۲-نحوه ساخت و ساز در کشور ما متناسب با درجه زلزله خیزی کشور نیست که ویرانه های فراوان بعد از وقوع هر زلزله بیانگر آن است[۱] .

۲- تقسیم بندی خسارت در ساختمانها

تا به امروز تعداد زیادی از ساختمانهای بنایی در معرض زمینلرزه قرار گرفته اند که از این تعداد بسیاری از آنها به شدت خسارت دیده , بعضی فرو ریخته و تعدادی فقط خسارت کمی را متحمل شده اند و یا حتی برخی بدون خسارت مانده اند . ساختمانهای بنایی در کشورهای مختلف بصورتهای گوناگونی ساخته می شوند . برای مثال ساختمانهایی که با کمک مصالح مختلفی از قبیل سنگ و آجر و بدون هیچگونه تمهیدات خاصی برای مقابله با زمین لرزه ساخته می شوند و یا ساختمانهایی که بصورت مقاوم در برابر زمینلرزه و با کمک مصالح پیشرفته تری چون بلوکهای سفالی یا سیمانی با در نظر گرفتن تمهیدات لرزه ای , طراحی و ساخته می شوند . با این وجود , خسارات مشاهده شده در اینگونه ساختمانها در برابر زلزله را می توان به شرح ذیل طبقه بندی نمود . در این قسمت به انواع خساراتی که در زمین لرزه های گذشته با شدتهای مختلف بر دیوارهای ساختمانهای بنایی وارد شده اند اشاره می شود: ۱- ایجاد ترکهای افقی بین دیوارها و سقف ها . ۲- ایجاد ترکهای قائم در محل تقاطع دیوارها . ۳- جداشدن دیوارهای خارجی از یکدیگر و همچنین از سقف . ۴- فروریختگی خارج از صفحه در دیوارهای خارجی و فرو ریختن سقف . ۵- حرکت گهواره ای دیوار در صفحه خود . ۶- ایجاد ترک در زیر پنجره ها و خرد شدن پنجه دیوار در اثر حرکت گهواره ای و در نتیجه کاهش سختی و مقاومت سازه که افزایش ضریب بازتاب و نیروی زلزله را به دنبال دارد. ۷- ایجاد ترکهای قطری در پای دیوارها و کنار بازشوها . ۸- جداشدن یا ضربه زدن متقابل در گوشه دیوارهای متعامد . ۹- فروریختگی جزئی یا کلی دیوارها [۲] . بطور کلی علل خرابی سازه های بنایی به شرح زیر هستند: ۱- ضعف سازه ای یا بارگذاری بیش از حد . ۲- ارتعاشات دینامیکی . ۳- نشست . ۴- تغییر مکان های داخل و خارج صفحه ای . ۵- بارگذاری نوع انفجاری [۳] .

۳- رفتار ساختمانهای با مصالح بنائی در در مقابل زلزله

ضعف اساسی ساختمانهای بنائی و از جمله ساختمانهای آجری کمبود مقاومت نیست بلکه کمبود شکل پذیری است . میزان خسارت در سازه های شکل پذیر تابع شدت زمینلرزه است . یعنی با کاهش شدت زمینلرزه از میزان خسارت بطور تدریجی کاسته می شود , در حالیکه عملکرد ساختمانهای بنائی چنین نیست . ساختمانهای بنائی تا یک حد معینی قادر به تحمل نیروی زلزله هستند و ممکن است در این محدوده تنها متحمل ترکهای جزئی شوند . رفتار ساختمانهای بنائی غیر مسلح بصورت زیر قابل بیان است : ۱- چنانچه شدت زمینلرزه از مقاومت ساختمان کمتر باشد سازه سختی اولیه خود را حفظ کرده و در این صورت نیروی زلزله برابر حاصل ضرب جرم در شتاب زمینلرزه می باشد . ۲- شدت زمینلرزه در اواخر تکانه از مقاومت سازه بیشتر می گردد و ترکها و خرد شدگی ها در سازه آغاز می گردد . در این لحظه با کاهش سختی , پریود ارتعاش زیاد شده و ضریب بازتاب از ۱بیشتر می

گردد که این مساله باعث افزایش نیروی زمینلرزه می شود . ولی چون این تغییرات در لحظات انتهایی زلزله صورت می گیرد سازه فرو نمی ریزد و تنها مقداری ترک خوردگی و خرد شدگی باقی خواهد ماند . ۳- شدت زمین لرزه در لحظات ابتدایی زمینلرزه از مقاومت سازه بیشتر می گردد . در نتیجه برزو ترک خوردگی ها , کاهش سختی و افزایش پریود ارتعاش سازه , ضریب بازتاب از همان ابتدا زیاد شده و باعث افزایش نیروی زمینلرزه می گردد . این افزایش نیرو باعث ترک خوردگی های بیشتر و تکرار چرخه فوق شده که در انتها به خرابی سازه می انجامد . این حالت در زیم لرزه های با بزرگی بیش از۶ درجه در مقیاس ریشتر و در نزدیکی مرکز زمینلرزه اتفاق می افتد . در این نواحی ساختمانهای بنایی غیر مسلح با خاک یکسان می گردند . با دور شدن از مناطق مرکزی زمینلرزه و کاهش شدت ناحیه ای جلب توجه می نماید که در اصطلاح "ناحیه آستانه ترک" نامیده می شود .

۴- تعریف مقاوم سازی

در علم مهندسی عمران به معنای بالا بردن مقاومت یک سازه در برابر نیروهای وارده می باشد . امروزه از این اصطلاح بیشتر در مورد نیروی زلزله استفاده می شود . منظور از اصطلاح " مقاوم سازی"بطور قطع بالابردن مقاومت در برابر نیروی زلزله نیست . بلکه منظور , بهبود عملکرد اجزای سازه در برابر نیروی زلزله است . مقاوم سازی برای ساختمانهای از قبل ساخته شده کاربرد دارد و برای ساختمانهای در حال احداث , رعایت اصول و مقررات فنی لازم می باشد و مقاوم سازی معنای خاصی ندارد .

۱-۴- چه ساختمانهایی نیاز به مقاوم سازی دارند؟

از دیدگاه علمی تمام ساختمانهایی که بر اساس اصول و ضوابط حال حاضر آیین نامه های طراحی ساختمانها اجرا نشده اند نیاز به مقاوم سازی دارند که خود بر دو دسته اند : ۱- آنهایی که قبل از تدوین آیین نامه های مربوط طراحی و اجرا شده اند و در زمان اجرای آنها آیین نامه ها و مقررات مورد نیاز در کشور وجود نداشت . ۲- آنهایی که در سالهای اخیر ساخته شده اند ولی متاسفانه به دلیل قصور کارفرمایان و عدم اطلاع آنها از اصول ساخت وساز , دست مهندسان متعهد را از کار کوتاه کرده و به همین دلیل مسائل فنی لازم رعایت نمی شود . از دیدگاه عملی , امکان مقاوم سازی تمام ساختمانها به لحاظ زمان , هزینه و راهکار اجرائی وجود ندارد , بنابراین ساختمانها را به چهار دسته تقسیم می کنیم : ۱- ساختمانهای حیاتی که به دلیل تنوع کاربری و استفاده ای که دارند امکان انتقال تجهیزات را نداشته و از طرفی باید عملکرد خود را بعد از زلزله حفظ کنند . مانند مراکز امنیتی , ایستگاههای مخابراتی و تلویزیونی . ۲- ساختمانهایی که در حال حاضر شرایط خاصی ندارند ولی پس از زلزله به عنوان مراکز کمک رسانی مورد نیاز می باشند . مانند برخی سوله ها و مساجد [۳] .

۲-۴- هزینه مقاوم ساختن سازه در برابر زلزله

هنگام تعیین مراحل طراحی و بودجه یک پروژه باید هزینه های مقاوم سازی سازه در برابر زلزله را بصورت صریح مشخص کرد.این هزینه ها بستگی به عواملی مانند نوع پروژه و شکل سازه دارد .

متاسفانه ارائه راهنمایی های دقیق جهت تعیین هزینه های مقاوم ساختن سازه ها در مقابل زلزله امکان پذیر نمی باشد ولی با این وجود منظور نمودن ۵٪ کل هزینه پروژه بطور متوسط جهت مخارج تمهیدات لازم برای مقاوم نمودن سازه ها در برابر زلزله طبق مقررات آیین نامه های محافظه کار یک معیار منطقی است . عللی که باعث می شوند تا روشها و سقف قابل قبول برای هزینه های تقویت ساختمانها یکسان نباشد به شرح زیر هستند: ۱- تنوع شکل و جزئیات اجرایی در ساختمانهای موجود . ۲- تفاوت درجه اهمیت سازه ها[۴] .

۵- تقویت و بهسازی ساختمانهای موجود و تعمیر ساختمانهای آسیب دیده از زلزله

می دانیم که برای هر ساختمان و سازه آن در زمان طراحی یک سطح وظیفه در نظر گرفته می شود که متضمن حداقل شرایط قابلیت بهره برداری از آن است و بطور معمول برای اینکه با اندک نوسان شرایط ساختمان و سازه آن به پایین تر از سطح وظیفه تنزل کرده و از حیز انتفاع نیفتد در طراحی آنها یک حاشیه ایمنی مناسب در نظر می گیرند یعنی سطح طراحی را بالاتر از سطح وظیفه اختیار کرده و ساختمان و سازه آنرا چنان طراحی می کنند که در مواقع اضطراری بتوانند وظایف کمی سنگین تر را نیز بدون تحمل خسارت و یا با تحمل خساراتی ناچیز به انجام برسانند . این حاشیه ایمنی ممکن است به تدریج بر اثر پیر شدن مصالح و سوانح و اتفاقات باریکتر شده و سازه فروپایگی پیدا کند در این صورت با توسل به بهسازی , حاشیه ایمنی را به وضع مطلوب می رسانند . گاه ممکن است سازه پیر نشده و آسیبی ندیده باشد ولی از آن توقع انجام وظیفه سنگین تری را داشته باشند که در اینصورت نیز مساله بهسازی مطرح می شود . به بیانی دیگر : ۱- عمر مفید فنی ساختمان ممکن است به دلیل فرسودگی یا خورده شدن تدریجی مصالح مصرف شده در آن یا بر اثر حوادث و سوانحی نظیر زلزله که به تقلیل قابل ملاحظه یا از بین رفتن حاشیه ایمنی منجر می شوند به پایان رسیده و تخریب و بازسازی آن ضرورت یابد . ۲- عمر مفید اقتصادی ساختمان ممکن است به دلیل دگرگون شدن نیازهای زیستی بهره برداری از آن یا به علت تغییر شرایط محیط خاتمه یافته و تخریب و جانشین کردن آنرا ایجاب نماید . بطور کلی با در نظر گرفتن تبعات تخریب و بازسازی ساختمانها می توان به عنوان یک اصل کلی پذیرفت که این راه حل باید آخرین راه حل تلقی شده و وقتی در پیش گرفته شود که راه حلهای دیگر کارساز و جوابگوی نیازها نباشند . درباره ساختمانهای آسیب دیده از زلزله هرچند که زلزله علت اصلی بروز خرابی هاست ولی با توجه به سایر عوامل مانند مسائل اجرائی , سیستم سازه ای و ...هم می توانند اثر تعیین کننده در میزان خرابی ها و گستره بهسازی مورد نیاز داشته باشند . رعایت تمام مراحل فوق با شدن و ضعف متفاوت الزامی است . باید به این نکته مهم توجه داشت که ایمن سازی ساختمانهای موجود در مقابل زلزله و بهسازی ساختمانهای آسیب دیده وجوه مشترک بسیار دارند و در اصل ایمن سازی سازه های موجود , بهسازی ساختمانهایی است که فروپایگی پیدا نکرده اند و در صورتی که بهسازی سازه های آسیب دیده باید فروپایگی ناشی از

آسیبهای زلزله را هم منظور داشت . نکات اساسی در بهسازی سازه های آسیب دیده از زلزله عبارتند از : ۱- تخریب کامل و بازسازی به زمانی بیشتر از بهسازی نیاز دارد . ۲- تخریب هر جز کوچک از بنا مستلزم جمع آوری , حمل و انبار کردن مواد حاصل از تخریب و بازسازی آن جز با مصالح جانشین است .

۶- معرفی اجمالی روشهای سنتی مقاوم سازی

روشهای مختلفی برای تقویت سازه های بنایی در گذشته ایجاد شده است که اکنون به شرح اجمالی آنها می پردازیم .

۱- ترمیم و تقویت با استفاده از بتن مسلح اسپری شده و یا ملات اسپری شده . ۲-پیش تنیدگی خارجی برای افزایش باربری . ۳- استفاده از فولاد برای مسلح کردن دیوار .

۷- پیشینه مطالعات

اولین تحقیق انجام شده از اوائل دهه۱۹۸۰آغاز شد , زلزله ۱۹۹۰کالیفرنیا و۱۹۹۵ کوبه ژاپن از جمله عوامل موثرتری برای بررسی کاربرد کامپوزیت پلیمری تقویت شده با الیاف FRPبرای تقویت و مقاوم سازی سازه های بتنی و بنایی در مناطق زلزله خیز گردید . در گذشته استفاده از لایه های FRP و متغیرهایی نظیر مکانیزم , موقعیت بارگذاری , طرح تقویت و سیستم های مهاربندی توسط Hartley و همکاران در سال۱۹۹۶ , Schwelerو همکاران در سال ۱۹۹۶ و Velazquezدر سال۱۹۹۸ و در ایران توسط دکتر مستوفی نژاد صورت گرفته است[۸,۶] .

۸- کامپوزیت FRPچیست؟

کامپوزیتها موادی هستند که از دو قسمت تشکیل یافته اند , اجزای میکروسکوپی و غیر قابل حل در یکدیگر . از گذشته , مهندسین عمران با انواع گوناگونی از کامپوزیتها کار کرده اند . در یک تقسیم بندی کلی می توان کامپوزیتها را به دو دسته تقسیم نمود: ۱- کامپوزیتهای طبیعی: از این نوع کامپوزیتها می توان به چوب , تخته های چند لایی به عنوان کامپوزیتهای ورقه ای و در یک نگاه کلی تر می توان , بتن را بصورت ماده ای کامپوزیت با اجزای قابل تمایز از دیگر مواد مرکب مورد استفاده تلقی کرد. ۲- کامپوزیتهای پلیمری:انواع مواد مصنوعی مواد مرکب هستند که امروزه طیف وسیعی از آنها موجود است . این مواد از اجزائی تشکیل شده اند که از لحاظ مکانیکی , رفتار مجزایی دارند ولی ماده کامپوزیت حاصل می تواند خواص متفاوتی نسبت به مواد تشکیل دهنده خود داشته باشد[۹] .

۱-۸- اجزای تشکیل دهنده کامپوزیت

کامپوزیتهای FRP از دو جز اساسی تشکیل شده است:

۱- الیاف بسیار مقاوم . ۲- رزین

۱-۱-۸- الیاف

رشته های بسیار بسیار ریزی به نام مایکروفایبر را به حالتهای مختلف به هم می تنند بـه حـالتی کـه کاملاً با هم در گیر شوند تا در هنگام اعمال نیروی کششی اگر تعدادی از آنها نیز پـاره شـوند بتواننـد نیرو را به دیگر اعضا منتقل نمایند . سپس این رشته ها که در اصطلاح Strandنامیده می شوند را به هم به حالتهای مختلف می بافند[۱۰] . الیاف در کامپوزیت اصولاً الاستیک و ترد بـوده , عـضو اصـلی باربر محسوب می شوند لذا فیبرهـا هـستند کـه خـصوصیات مکـانیکیFRPنظیـر مقاومـت , مـدول الاستیسیته و ... را تشکیل می دهند و مقاومت و سختی زیـادی در کـشش دارنـد[۸ , ۹ , ۱۰ , ۱۱] .قطر این الیاف بسته به جنس بـین ۵ تـا ۲۵ میکـرون اسـت .الیـاف امـروزه در شـکلها , انـدازه هـا و جنسهای گوناگون موجود هستند[۹] .

۱- معرفی اجزای تشکیل دهنده بافت

بطور کلی کوچکترین قطعه قطعه الیـاف تـک , رشـته مـی باشـد . در حـدود۳۰۰۰تـا۴۰۰۰رشـته در قرارگیری با هم تشکیل ریسمان را می دهند . به همین ترتیب , ۵۰تا ۶۰ریسمان تشکیل دسـته مـی دهند . اگر ریسمان از پیچاندن رشته ها دور یکدیگر بوجود آید , به آن ریسمان گفته می شود.

۲- بافتهای پارچه

شهرت بسیاری از تقویت کننده ها , ناشی از بافت آن می باشد . برخی از بافتها جهت آغـشته شـدن , ساده تر می باشند و برخی رسیدن به مقاومت بالا را برای الیاف آسان مـی کنـد . مـدلهای اسـتاندارد شده بافت به شرح زیر می باشد:

۱- بافت ساده: این نوع بافت شامل مجموعه ای پهن از رشته های بهم پیوسـته مـی باشـد کـه الیـاف تماماً در جهت تار می باشد .

۲- بافت سبدی: این نوع بافت , شبیه بافت ساده بوده با این تفاوت که هر دو رشته با هـم بکـار بـرده می شوند . الیاف به شکل سبدی , دارای انعطاف پذیری مناسبی هـستند . ایـن بافتهـا دارای کمـانش کمتری بوده و در بافتهای تقویت کننده سنگین وضخیم مورد استفاده قرار مـی گیرنـد . ۳- بافتهـای ساتنی:این نوع بافتها بصورت استاندارد به اشکال چهار , پنج و هشت تاری تولیـد شـده اسـت و دارای سادگی زیادی در شکل گیری از خود می باشند. ۴- بافت جناغی: این نوع بافت به عنوان یک بافـت ساتنی شناخته شده است که خیلی شبیه بافت سبدی می باشد . در این بافت رشته ها بصورت۲تـا در زیر و ۲ تا در رو بافته می شوند.این بافتها بوسیله مدل قطری که نوع بافت آنهـا را تـشکیل مـی دهـد شناخته می شوند . الیاف کربن با بافت جناغی اغلب برای ظاهر زیبایشان انتخاب می شوند . ۵- بافت شمعدانی: در خانواده ای است که مدلهای بافت ساتنی نامیده می شوند. این بافت در واقع یـک سـاتن ۴تاره می باشد . نحوه بافت بصورت یکی رو و سه تا زیر می باشـد . ۶- بافـت سـاتنی پـنج تـاره: در اینجا هر رشته بصورت یکی رو و چهار تا زیر بافته می شود . دارای بافـت معمـولی بـوده و در سـاخت

قطعات هوافضایی بکار می رود . ۷- بافت ساتنی هشت تاره: در اینجا رشته ها بصورت یکی رو و هفت تا زیر بافته می شود . این نوع بافت برای تقویت کننده های فایبرگلاس نازک مصرف می شود.

۳- جهت قرارگیری الیاف

بطور کلی جهت قرار گیری الیاف در یک یا چند راستای صفر , ۹۰ , ۴۵ و۱۳۵ درجه مـی باشـد . بـه همین ترتیب بافتها نیز می توانند بصورت تک جهتی , دو جهتی , سه جهتی و چهار جهتی باشد .

۴- الیاف هیبرید

قرار گیری چندین نوع الیاف در یک بافت تشکیل بافت هیبریدی می دهـد . از انـواع ایـن بافتهـا مـی توان به هیبرید کربن – آرامید و هیبرید شیشه – آرامید اشاره کرد . کاربرد این نـوع الیـاف در بهینـه سازی , استفاده از الیاف مختلف در راستاهای متفاوت می باشد[۱۲] .

۲-۸- انواع الیاف

۱-۲-۱-۸- الیاف شیشه: از مشخص ترین ویژگی های این الیاف مقاومت آنها در محیط هـای قلیـایی است . این الیاف مدول الاستیسیته ای کمتر از GPA۱۰۰ دارند . از مزایای این الیـاف مـی تـوان بـه وزن بسیار ناچیز , استحکام کششی نسبتاً بالا , شکل پذیری مناسب , راحتـی در جابجـایی , سـرعت عمل بالا , مقاومت شیمیایی بالا , عایق بودن حرارت و الکتریسیته , حساسیت با سایش , راحتی برش در اندازه های دلخواه و امکان تقویت بدون نیاز به تخریب وقیمت پایین اشاره نمود . ۲- الیـاف کـربن :الیاف کربن را می توان در دو دسته الیاف مصنوعی که با نام شیمیایی پلی آکریلونیتریل شناخته مـی شوند و الیاف با مبنای قیری که از تقطیر ذغال سنگ بدست می آید طبقه بندی کرد . از مزایای الیاف کربن می توان به مقاومت بسیار بالای کششی , وزن بسیار ناچیز , استحکام بـالای خـستگی , ضـریب انبساط حرارتی بسیار پایین , مقاومت بالا در برابر خوردگی و شکل پـذیری مناسـب اشـاره نمـود . از معایب این الیاف می توان به ترد بودن در شکست , هدایت الکتریکی , کرنش کم در شکست و قیمـت بالا اشاره نمود . ۳- الیاف آرامید: آرامید یکی از انواع ساده پلی آمیدهای آروماتیک است . ایـن الیـاف مصنوعی اولین بار توسط دوپونت آلمانی به نام کولار ساخته شد . تحقیقـات آزمایـشگاهی نـشان داده است که قابلیت کارکردن با الیاف کولار نسبت به دو نـوع شیـشه و کـربن , بیـشتر اسـت . مهمتـرین خواص الیاف آرامید عبارتند از : نسبت استحکام و مدول به وزن بسیار عالی , مقاومت در برابر ضـربه , مقاومت خستگی مناسب , عدم حساسیت به شکاف یا ترک , مقاومت بالا در مقابل حلال هـای آلـی , مواد سوختنی و نرم کننده ها و امکان استفاده مداوم تا دمای حدود۱۸۰درجه سانتیگراد[۱۰,۹] . هـر سه نوع کامپوزیت فوق , دارای رفتار تنش – کرنش مشابه هستند , یعنـی رفتـار الاسـتیک خطـی تـا شکست ترد نهایی , هنگامی که تحت کشش باشند . این مواد شکل پذیری فولاد را ندارند[۱۳] .

۲-۱-۸-رزین ها

از دیدگاه علم شیمی , رزین ها به دو دسـته تقـسیم مـی شـوند: ۱-Termoplastic: مـواد جامـدی هستند که در هنگام گرم شدن به مایع تبدیل شده و خاصطت چسبندگی پیدا می کنند که می تـوان

جسم مورد نظر را در آن قرار داده و به محض سرد شدن , ماده به حالت اولیه خود , یعنی حالت جامد تبدیل می گردد و در حالت سخت شدگی جسم را بطور کامل در بر می گیرد . البته این روش برای مسلح کردن الیاف توسط رزین مناسب نمی باشد . از انواع این رزین ها می توان به پلی اتیلن , پلی پروپیلن و pvc اشاره نمود . ۲- Thermoset: از ۲ مایع تشکیل شده که در هنگام ترکیب با یکدیگر و انجام واکنش شیمیایی تبدیل به یک ماده چسبنده می شوند و سپس سخت می گردند که اپوکسی هایی که در مسلح کردن الیاف بکار می روند از این دسته هستند . رزین های اپوکسی خواص بسیار خوبی داشته و عملکرد مناسبی از خود نشان می دهند. از مهمترین خواص رزین ها می توان به سختی و مقاومت بسیار بالا , مقاومت حرارتی مناسب , چسبندگی عالی و مقاومت شیمیایی خوب به ویژه در محیطهای قلیایی اشاره کرد .اورتان , متاکریلات , وینیل استراپوکسی , آمینو و فنولیک از انواع این رزین ها هستند . رزین ها دارای وظایف به شرح زیر هستند:

۱- برای نگه داری الیاف در کنار هم عمل می کند . لذا رزین با مقاومت پایینی که دارد نقش چندان مهمی در خواص مکانیکی کامپوزیت ندارد . ۲- به عنوان عامل محافظ الیاف در برابر عوامل محیطی و نیز عامل توزیع کننده تنش روی وجه ورقه کامپوزیت . ۳- انتقال تنش از فیبری به فیبر دیگر . ۴- محافظت فیبرها در مقابل شرایط محیطی .

هنگامی که فیبری بشکند , تنش تحملی فیبرشکسته , از طریق سطح تماس به ماتریس رزین منتقل می شود و سپس به دیگر فیبرها انتقال می یابد[۱۰,۹] .

۳-۱-۸- اشکال مختلف کامپوزیت در مهندسی عمران

در حال حاضر دو نوع کلی از کامپوزیت های FRP در ساخت و بهسازی سازه ها در مهندسی بکار می رود:

الف- میلگردهای کامپوزیت FRP :یکی از کاربردهای FRP استفاده از آن بصورت میلگرد است . بسیاری از سازه های بتنی در محیطهای خورنده در اثر حمله سولفاتها , کلریدها و ... دچار آسیبهای گوناگونی همچون ریزش بتن پوشش و خوردگی آرماتورها می شوند . با توجه به اینکه تعمیر و تعویض این سازه ها هزینه زیادی در بردارد , برای رفع این مشکل , روشهای مختلفی گسترش یافته است . به دلیل مقاومت بسیار زیاد FRP در مقابل خورندگی , ایده جایگزینی این ماده به جای آرماتور در سازه به شدت رشد کرده است . الیاف بکار رفته در ساخت میلگردهای کامپوزیت از هر سه نوع کربن , شیشه و کولار هستند . تنش های تسلیم این میلگردها حداقل۶۶۰MPA و حداکثر۳۰۰۰MPA و مدول الاستیسیته آنها بین ۵/۴۱ تا۱۴۷ گیگا پاسکال است . حداکثر کرنش قابل تحمل این میلگردها بین ۱/۳ تا ۳/۶ درصد است . از خواص این میلگردها می توان به مقاومت بسیار خوب در مقابل خورندگی , مقاومت بالا , وزن مخصوص , عایق بودن الکتریکی , رفتار بسیار خوب در پدیده خستگی و خزش در حدود صفر اشاره نمود.

ب- کامپوزیتهای پوششی

این نوع پوشش ها برای بهسازی رفتار سازه های موجود یا تعمیر خرابی های ایجاد شده در سازه های فعلی بکار می روند . چهار نوع از این پوشش ها برای تعمیر و بهسازی رفتار سازه ها بکار می روند: ۱- پوشش های دست ساز . ۲- ورقه ها یا صفحات پیش ساخته شده کامپوزیت . ۳- ورقه های ماشینی . ۴- مقاطع نورد شده [۹] .

۹- دلایل استفاده از کامپوزیت FRP

برای بازسازی کلیه سازه های بتنی دچار خوردگی شده در آمریکا به بودجه ای معادل۱ تا۳تریلیون دلار احتیاج است . این هزینه در مورد پل های شاهراه های آمریکا بالغ بر۵۰میلیارد دلار تخمین زده می شود . در کشور کانادا هزینه بازسازی و تعمیر پارکینگ ها معادل۴ تا ۶ میلیارد دلار کانادا تخمین زده می شود . در سواحل جنوبی ایران , همچون بوشهر و بندرعباس بسیاری از سازه های بتنی کمتر از ۵سال عمر می کنند . به همین دلیل استفاده از کامپوزیت ها برای بالا بردن عمر سازه و نیز کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری لازم است [۱۱] .

۱۰ - تقویت سازه های بنایی با استفاده از میلگرد های FRP

این روش شامل جایگذاری میلگردهای کامپوزیتی در ملات متصل کننده از رویه ای خاص پیروی می کند که بند کشی مجدد سازه ای نامیده می شود . این سیستم می تواند با لایه های FRP زمانی که سیستم هیبرید لازم باشد ترکیب شود .عنوان معمول برای این تکنیک , بند کشی مجدد سازه ای است که شامل بکارگیری میلگردهای کوتاه FRP در برابر ترک های ناشی از خزش سازه بنایی سطوح بار مرده در دراز مدت می باشد . این میلگردها با تزریق ملات سیمان مهار می شوند . در ادامه به بررسی مدل سازهای انجام شده بر روی دیوارهای غیر مسلح بنایی می پردازیم .

$$G=\frac{e}{2.6} \quad (۲) \qquad I=\frac{tl^3}{12}=\frac{AL^2}{12} \quad (۳) \qquad K=\frac{P}{\delta}=\frac{EA}{h\left[\left(\frac{h}{l}\right)^2+2.16\right]} \quad (۴)$$

$$\delta=\frac{ph}{1.2AG}+\frac{ph^3}{12EI} \quad (۱)$$

در فرمول (۴) kسختی دیوار آجری است.

۱ - ۱۰ - میزان سهم ورقه های FRP در تقویت دیوار بنایی

مدل Traintafillou

$$F_m = \text{مقاومت جانبی دیوار بنایی} \quad (۷) \qquad F_{FRP}=\rho_h E_{FRP}\varepsilon_{eff} tl \quad (۶) \qquad (۵)$$

$$\varepsilon_{eff}=0.119-0.0205\left(\rho_h E_{FRP}\right)+0.0104\left(\rho_h E_{frp}\right)^2 \quad (۹) \qquad F=F_m+F_{FRP} \quad (۸)$$

سهم FRP درمقاومت جانبی دیوار $= F_{FRP}$

(۱۰)

$$F = \frac{N}{2(h+r)}\left(L - \frac{N}{f_{kt}}\right)$$

در رابطه فوق , Fمقاومت جانبی اسـمی دیـوار , Nبـار محـوری , Lطـول دیـوار , h ارتفـاع دیـوار , t ضخامت دیوار , f_k مقاومت فشاری مصالح بنایی , X طول نقطه فشار , a عمق بلوک تنش و r فاصـله مابین محل نیروی جانبی تا قاب بنایی است . در رابطه Cتنش فشاری میانگین به دلیل بار عمـودی و در رابطه Nتنش فشاری میانگین به دلیل بار عمودی است .

(۱۱) $\sigma = \frac{N}{Lt}$ (۱۲) $(Ec699)Eurocod$ $F = \tau_u xt$ (۱۳)

$$\tau_u = C + \mu\sigma$$

(۱۴)

$$\tau_u = \min\begin{cases} c + 0.4\sigma \\ 0.030\sigma f_b + 0.126\sigma \end{cases}$$

در فرمولهای بالا xطول منطقه فشار , t ضخامت دیوار و f_b مقاومت فشاری واحد آجر است .

برای M_2 تا M_9 خواهیم داشت: $c = 0.2Mpa$

مدل magnes و calvi

$\sigma = \frac{N}{Lt}$ (۱۵) $F = \tau_u lt$ (۱۶)

$$\tau_u = \min\begin{cases} 1.5c + \mu\sigma \\ 1 + 3c\left(\frac{\alpha_v}{\sigma}\right) \\ \frac{c + \mu\sigma}{1 + \alpha_v} \end{cases} \quad (۱۷) \quad \frac{M}{FL} = \frac{h+r}{L} \quad (۱۸) \quad M = F(h+r) \quad (۱۹)$$

$V_n = V_m + V_f$ (۲۰)

در رابطه فوق α_v ضریب برشی می باشد .

(۲۱)

$$rA_m\left(\frac{f_{vk}}{\gamma_M}\right) + A_M K \sum\left(\frac{\rho_i f_{fuj}}{\gamma_{FRPJ}}\right)$$

در رابطه بالا , rضریب کاهش به علت توزیع نامنظم اصطکاک ناشی از لنگر خمشی , A سطح مقطـع دیوار بنایی , f_{vk} ظرفیت برشی دیوار بنایی , γ_m ظرفیت اطمینان مـصالح بنـایی , ρ_i مقـدار تـسلیح FRP افقی یا عمودی , f_{fu} تنش شکست FRP و d ضریب توزیع می باشد که از رابطه زیر محاسـبه مـی شـود . دو طـرف مـسلح گـردد k=0.07d+0.15 , در حـالتی کـه یـک طـرف مـسلح گـردد

$k = 0.31d + 0.39$ با $d\langle 0.667$ در حالتی که یک طرف مسلح گردد , k=0.11d+0.11 با شرط

$$d = \frac{A_{frp}}{A_{face}} \qquad (۲۲)$$ شرط $d\rangle 0.667$

۲ - ۱۰ - میزان سهم میلگردهای FRP

روش بند کشی مجدد(استفاده از میلگردهای FRP در بندهای دیوار بنایی)

(۲۳)

$$V_{f_v} = \rho_{frp} E_{frp} \left(r \frac{\varepsilon_{frp}}{r_{frp}} \right) b \times 0.9d$$

(۲۴) $V_f = V_{f_1} + V_{f_2}$ (۲۵) $n \sum A_f f_f = nb\tau L$ (۲۶)

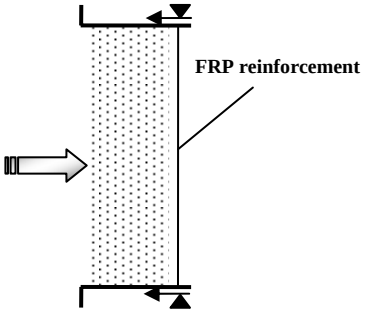
$$V_n = V_m + V_f$$

در رابطه بالا Lعبارت است از مجموع طول میلگردهایی که ترک را قطع می کنند.

$V_{f_2} = V_b + V_t$ (۲۸) $V_t = nrA_f f_{fu}$ (۲۹) $V_b = nb\tau L$ (۳۰)

$$r = \frac{L}{S} \text{ (۲۷)}$$

دیوار غیر مسلح گیردار در پایین و بالا که تحت بارهای خارج از صفحه قرار می گیرد گرایش به ترک در منطقه تمرکز تنش کششی دارد . این ترک ها در نواحی وسط ارتفاع دیوار در سطح مقابل بار و از نزدیکی دو انتها ایجاد می گردد . این پدیده مکانیسم قوسی نامیده می شود .



۱۱- نتیجه گیری

علیرغم تمام مزایایی که کامپوزیت FRPدارد ولی تاکنون در کشور ما رواج نیافته است . لذا لازم است تا با بسترسازی مناسب همچون تدوین آیین نامه اجرایی و طراحی , زمینه استفاده از آنرا فراهم کرد.

مراجع

۱- سهرابی , مجتبی , برنامه و طرحهای مقابله با خطر زلزلـه , اولـین کنفـرانس بـین المللـی بلایـای طبیعی در مناطق شهری , تهران , ۱۳۷۱
۲- ناطقی الهی , فریبرز ; معتمدی , مهرتاش , طراحی و اجرای سـاختمانهای بنـایی مقـاوم در برابـر زمینلرزه , پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله , ۱۳۸۲
۳-جلیلی , محمد هادی , سراب مقاوم سازی , سایت اینترنتی جمعیت کاهش خطرات زلزله ایران
۴-برگی , خسرو , اصول مهندسی زلزله , دانشکده فنی دانشگاه تهران , چاپ چهارم
۵- قالیبافیان , مهدی , بهسازی برخی از ساختمانهای آسیب دیده از زلزله منجیل , مجموعه مقـالات تعمیر و نگهداری ساختمان , مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن , ۱۳۷۱
۶- قالیبافیان , مهدی , درسهایی از زلزله منجیل , کنفرانس آزاد زلزله ۳۱خـرداد مـاه ۱۳۶۹ منطقـه منجیل , مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن , ۱۳۶۹
۷- زندی , امیر پیمان , زلزله ۳۱خرداد منجیل , کنفـرانس آزاد زلزلـه ۳۱خـرداد مـاه ۱۳۶۹ منجیـل (منطقه گیلان و زنجان) , مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
۸- دریا بیگی , سید رضا , معرفی روشهای نوین تقویت با الیاف مـسلح شـده پلیمـری FRP , مجلـه عمران و معماری , شماره ۲ , مهر ماه ۱۳۸۳, تهران
۹- مستوفی نژاد , داوود ; طلایی طبا , بهزاد , استفاده از کامپوزیتهای FRP در سـاخت , بهـسازی و تقویت سازه ها , مجله پیام مهندس , ص۲۰ , سال چهارم , شماره ۱۶ , مشهد
۱۰- قدس , امیر صمد , تقویت و ترمیم سازه ها توسط پلیمرهای مسلح با الیـاف FRP , مجلـه پیـام مهندس , شماره ۲۳ و۲۴ , مشهد
۱۱- مستوفی نژاد , داوود , کاربرد میله های کامپوزیتی FRP در بتن آرمه , انجمن بتن ایران
۱۲- دریا بیگی , سید رضا , معرفی میزان تاثیر اجزای سـازنده کامپوزیـت بـر روی خـواص مکـانیکی FRP , مجله عمران و معماری , سال دوم , شماره ۶ , اردیبهشت و خرداد ۱۳۸۴ , تهران
۱۳- پور عباسی , مجید , اثر چرخه های محیطی بر روی استوانه هـای بتنـی کـه بـا الیـاف پلیمـری تقویت شده (FRP) محصور شدند , مجله تازه های ساختمان و مسکن , ص۴۵ , شماره ۲۵ , زمستان ۱۳۸۲ , تهران
۱۴-دریا بیگی , سید رضا , تقویت لرزه ای ساختمانهای بنایی با استفاده از کامپوزیتهای FRP , مجله ساختمان و کامپیوتر