مبانی بهسازی لرزه‌ای و کاربرد مواد مرکب در مهندسی عمران

محمدرضا توکلی‌زاده [۱]، صالح یعقوبی [۲]
۱- استادیار گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه فردوسی مشهد

drt@um.ac.ir
Saleh.yaghoobi@gmail.com

چکیده:

بهسازی لرزه‌ای به معنای اصلاح رفتار سازه برای تحمل بارهای ناشی از زلزله می‌باشد. الگوی پیشنهادی در دستورالعمل ارزیابی لرزه‌ای بهسازی ایران، استفاده از مفاهیم موجود در بحث «طراحی بر اساس عملکرد» است که روشی جدید در طراحی سازه‌ها بوده و عموماً بر اساس سه اصل تغییر مکان، انرژی و ظرفیت باربری تعریف می‌شود. روش طراحی عملکردی به دو صورت تعیین سطوح عملکرد سازه‌ای و غیرسازه‌ای تقسیم می‌شود. با این تعریف، هنگامی که عملکرد مطلوب مورد نظر از یک سازه در برابر زلزله برآورده نگردد، نیاز به ارائه طرح بهسازی می‌باشد.

در ارائه یک طرح مناسب بهسازی، تشخیص نقاط ضعف سازه از اهمیت بالایی برخوردار است که گاه با انجام مطالعات کمی بر روی سازه و گاه با ارزیابی کیفی وضعیت ساختمان موجود و یا مراجعه به جداول مختلف ارائه شده توسط آیین‌نامه‌ها امکان‌پذیراست. در این خصوص، یکی از روش‌های بهسازی لرزه‌ای، استفاده از پلیمرهای مسلح با الیاف (FRP) برای تعمیر و تقویت سازه‌هاست. FRP نوعی ماده مرکب متشکل از بخش زمینه یا رزین انعطاف پذیر از جنس پلیمر می‌باشد که به وسیله الیاف با مقاومت و سختی بالا مسلح می‌شود. از ویژگی‌های مهم FRP مقاومت بالا، سختی زیاد، چگالی پایین، دوام، نفوذناپذیری، سهولت در حمل و اجرا را می‌توان نام برد. با استفاده از این مصالح در طرح‌های بهسازی سازه‌های بتنی می‌توان برای افزایش ظرفیت خمشی، ظرفیت برشی، شکل‌پذیری و مقاومت در برابر انفجار و ضربه استفاده نمود.

پیشگفتار:

وقوع زلزله‌های مخرب متعدد در سال‌های گذشته و خسارات جبران‌ناپذیر جانی و مالی که این زلزله‌ها بر جوامع بشری تحمیل نمود، نهادهای مختلف مربوطه را در کشورهای مختلف بر آن داشت که با اتخاذ تمهیدات

لازم سعی در بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها نمایند. از جمله اقدامات انجام شده در این عرصه، می‌توان به پژوهش‌های صورت گرفته در آمریکا توسط انجمن مهندسین سازه کالیفرنیا (SEAOC) اشاره کرد که پس از وقوع زلزله‌های مخرب در «لوماپریتـــا» و «نورتریج» صورت گرفت. ماحصل این پژوهش‌ها تهیه مدارک، دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های ارزشمنـــدی توسط سازمان مدیریت بحران آمریکا (FEMA) می‌باشد.

کشور ایران نیز در یکی از مناطق زلزله خیز جهان یعنی در مسیر کمربند زلزله آلپ- هیمالیا قرار دارد. وجود گسل‌های فراوان در سراسر پوسته ی ایران و رخداد زلزله های شدید در دهه های اخیر در راستای گسل‌های شناخته شده و همچنین نقش‌های پهنه‌بندی موجود خطر زلزله، نشانگر این واقعیت است که اکثر مناطق کشور در معرض وقوع زلزله‌های شدید و یا نسبتاً شدید قرار دارند. تجربه‌ی زلزله‌های فاجعه بار طبس (۱۳۵۷)، منجیل- رودبار (۱۳۶۹)، بم(۱۳۸۲) و زرند (۱۳۸۳) بیانگر ضعف‌های عدیده در طراحی و اجرای ساختمان‌های موجود بود. نمونه‌ای از آثار مخرب زلزله‌های نامبرده شده در شکل۱ نمایش داده شده است. اگرچه تجربه زلزله منجیل باعث اعمال تغییرات عمده‌ای در استاندارد طراحی در برابر زلزله (آیین‌نامه۲۸۰۰) گردید، لیکن انجام تمام این اقدامات پاسخ مناسبی برای نحوه ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود ارائه نمی‌نمود. چنین نیازی در سال‌های اخیر منجر به تهیه «دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود» گردید که می‌توانست راهنمایی مناسب در امر ارزیابی ساختمان محسوب گردد؛ لیکن با توجه به فرسوده شدن سازه‌های قدیمی و باستانی که قسمت اعظم شهرهای ایران از آن‌ها تشکیل شده‌اند - و ممکن است بر اساس اصول مهندسی کمتر ساخته شده باشند - و همچنین سازه‌هایی که هم اکنون در حال ساخت است، نیاز به روش‌هایی نوین جهت مقابله با بارهای نابهنگام داریم.

با توجه به این نیاز، می‌توان این سازه‌ها را تخریب و از نو بر اساس اصول مهندسی روز تحلیل و طراحی نمود، ولی این کار مستلزم صرف هزینه‌های کلان بوده، از نظر اقتصادی توجیه پذیر نبوده و بعضاً غیرممکن است. بنابراین می‌توان با تقویت این سازه‌ها برای برآورده کردن شرایط سخت‌گیرانه طراحی و ایمن سازی ابنیه‌ی باستانی، ساختمان‌های حساس و نیز ساختمان‌هایی که در تحلیل، طراحی و یا اجرا مشکل داشته باشند اقدام نمود.

شکل۱- نمایی از آثار زلزله‌های طبس، رودبار و بم

متأسفانه در ایران، خصوصاً به دلیل بی توجهی در اجرا، با انبوهی از سازه‌های ناایمن مواجه هستیم که برای پیشگیری از بروز تلفات جانی و مالی گسترده در زمان وقوع حوادثی همچون زلزله، طوفان و انفجار بایستی به ایمن‌سازی آن ها بپردازیم.

حرکت استمراری علم در عرصه مهندسی سازه ـ زلزله موجب گردیده است تا نوسازی و بهسازی در سال‌های اخیر از روش‌های نوین و مصالحی جدید بهره گیرد که در پیشینه طولانی ساخت و ساز سابقه نداشته‌است، در میان این نوآوری ها، پلیمرهای مسلح با الیاف (FRP) از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد تا آنجا که به نظر برخی از متخصصان FRP را باید مصالح ساختمانی هزاره سوم نامید.

بهسازی لرزه‌ای:

«مقاوم‌سازی» در علم مهندسی عمران به معنای بالا بردن مقاومت یک سازه در برابر نیروهای وارده می‌باشد. امروزه از این اصطلاح بیشتر در مورد بارهای ناشی از زلزله و انفجار استفاده می‌شود. از دیدگاه علمی، مقاوم‌سازی واژه‌ی کاملاً درستی برای این منظور نیست چرا که منظور از مقاوم‌سازی فقط بالا بردن مقاومت اعضای سازه در برابر نیروی وارده نیست. به همین دلیل اصطلاح بهسازی و در حالت خاص برای نیروی زلزله، «بهسازی لرزه‌ای» مناسب‌تر است.

در بحث بهسازی آنچه که باید مورد توجه قرار گیرد، تفاوت واژه‌های «مقاومت» و « عملکرد» در طراحی سازه است. هفتاد سال پیش، در دوره‌ای که محاسبات مربوط به مقاومت لرزه‌ای در آیین نامه‌ها الزامی شد، مفاهیم «مقاومت» و «عملکرد» مترادف یکدیگر بود؛ اما در ۲۵ سال گذشته با علم بر این حقیقت که افزایش مقاومت لزوماً منجربه افزایش ایمنی و یا کاهش خرابی نمی‌شود، این طرز نگرش تغییر کرده است. توسعه اصول ظرفیت درنیوزلند در دهه‌ی ۱۹۷۰ بیان‌کننده این واقعیت بود که توزیع مقاومت در کل ساختمان بسیار مهمتر از مقدار کل برش پایه طراحی می‌باشد. همچنین مشخص شد در صورتی که مفاصل پلاستیک به جای تشکیل شدن در ستون‌ها، در تیرها ایجاد شود (مکانیزم تیر ضعیف- ستون قوی) و مقاومت برشی اعضا از مقاومت خمشی بیشتر باشد (مکانیزم تسلیم خمشی) ساختمان در برابر زلزله عملکرد بهتری نشان خواهد داد[۱].

در هر مورد که عملکرد مورد نظر از سازه در برابر زلزله برآورده نگردد، نیاز به بهسازی محرز است. عملکرد مطلوب سازه‌های مختلف بر حسب کاربری سازه متفاوت است. به عنوان مثال آن‌چه که از رفتار لرزه‌ای یک ساختمان مسکونی در برابر زلزله انتظار می‌رود مشابه آن چیزی نیست که از رفتار لرزه‌ای یک ساختمان حساس همچون بیمارستان و دیگر ساختمان‌های عمومی انتظار می‌رود. لذا در تشخیص نیاز به بهسازی یک سازه، تشخیص و تعریف عملکرد مطلوب مورد نظر از سازه در برابر یک زلزله مشخص اهمیت بسزایی دارد.

باتوجه به آن‌چه که گفته شد، می‌توان نتیجه گرفت که هرگاه آیین‌نامه لرزه‌ای مورد استفاده در طراحی یک سازه- باتوجه به مقتضیات دانش زمان- نتواند عملکرد مطلوب را برای یک سازه تعریف و ضوابط خاصی را برای رسیدن به آن معرفی نماید، سازه مورد نظر به طور حتم نیاز به ارزیابی لرزه‌ای و به احتمال زیاد نیاز به بهسازی خواهد داشت؛ همچنین در مواردی که طراحی سازه مربوط به زمانی باشد که آیین‌نامه‌های لرزه‌ای موجود دارای کاستی‌های قابل توجهی بوده‌اند، نیاز به ارزیابی لرزه‌ای و احتمالاً بهسازی محرز است. در حال حاضر سیاست موجود در کشور در امر ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای، اولویت را به سازه‌های با اهمیت بالا همچون بیمارستان‌ها، مدارس و ساختمان‌های مهم دولتی می‌دهد[۲].

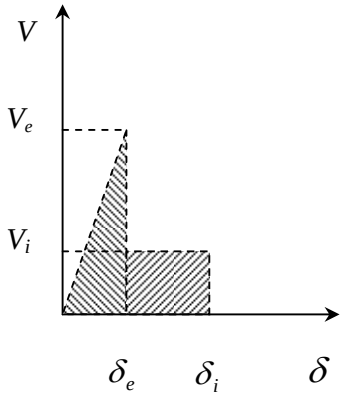
ارزیابی لرزه‌ای:

هدف از ارزیابی لرزه‌ای تشخیص چگونگی برآورده‌نمودن عملکرد مورد نظر از طراحی سازه است. به منظور تشخیص این مطلب و اقتصادی بودن طرح، در ارزیابی لرزه‌ای سازه سعی می‌شود حتی‌المقدور از پتانسیل واقعی سازه بهره گرفته شود. آنچه که به عملکرد مناسب یک سازه در برابر زلزله کمک می‌کند، توانایی جذب و استهلاک انرژی سازه می‌باشد. استهلاک انرژی در اعضا، مستلزم رفتار مومسان و ورود به مرحله‌ی غیرخطی برای ایجاد تغییر شکل‌های بزرگتر است.

آنچه که در حین یک زلزله رخ می‌دهد، تغییر مکان غیریکنواخت زمین در بازه کوتاه زمانی است که خود منجر به ایجاد شتاب گردیده که شتاب حاصل منجر به اعمال نیرو به سازه و در پی آن ایجاد تغییر شکل اعضا و تغییر مکان در سازه می‌شود. وجود نیرو و تغییر شکل در کنار یکدیگر موجب انجام کار توسط سازه می‌گردد. در واقع منظور از استهلاک انرژی در یک سازه، کار حاصل از نیرو و تغییر مکان تحمیلی به سازه است که همان سطح زیرمنحنی برش پایه- تغییر مکان وارد به سازه است.

همانطور که در شکل۲ نمایش داده شده است، سازه با رفتار کشسان برای انجام کار یا استهلاک انرژی ناشی از زلزله ناگزیر است دارای ظرفیت تحمل نیروی بالایی (V_e)باشد که منجر به طرح غیراقتصادی سازه خواهد گردید. لیکن در صورت توانایی بروز رفتار غیر خطی و تحمل تغییر شکل‌های بزرگتر، می‌توان سازه را برای تحمل برش پایه کمتر (V_i) و تغییر مکان بزرگتر (δ_i) طرح کرد[۳].

از طرفی محدودیت‌های موجود چه در زمینه دانش مهندسی و چه در زمینه نرم افزارهای موجود تا مدت‌ها موجب گرایش آیین‌نامه‌های طراحی و مهندسین محاسب به سمت استفاده از تحلیل خطی بوده است و تنها اقدامی که برای انعکاس رفتار غیرخطی سازه اندیشیده شده، استفاده از پارامتر ضریب رفتار(R) برای تبدیل تقریبی مقدار V_i به مقدار V_e می‌باشد. از طرف دیگر، آیین نامه‌ها جهت حصول اطمینان از توانایی بروز رفتار غیرخطی در سازه و رسیدن به تغییر شکل δ_i ضوابطی را به منظور تأمین شکل‌پذیری پیش‌بینی نموده‌اند. الگوی پیشنهادی در دستورالعمل ارزیابی لرزه‌ای بهسازی بسیاری از کشورها از جمله ایران، استفاده از مفاهیم موجود در بحث «طراحی بر اساس عملکرد» است که روشی جدید در طراحی سازه‌ها می‌باشد.



شکل۲- منحنی برش پایه- تغییر مکان

طراحی براساس عملکرد:

طراحی براساس عملکرد روش جدیدی از طراحی است که هدف از آن طراحی سازه به گونه‌ای است که عملکرد آن طی بارگذاری مشخص از قبل قابل پیش‌بینی باشد. تعریفی که SEAOC در «افق ۲۰۰۰» خود برای طراحی براساس عملکرد ارائه کرده است به این شرح است[۴]:

« طراحی عملکرد شامل کلیه‌ی عملیات مهندسی می‌باشد که بتوان سازه‌ای با عملکرد مشخص در برابر زلزله بدست آورد که این عملیات می‌تواند شامل تعیین اهداف طراحی، مطالعات لرزه‌خیزی، تحلیل و طراحی لرزه‌ای اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، کنترل ساخت و نگهداری سازه شود».

ساختمان‌هایی که براساس آیین‌نامه‌های سنتی طراحی شده‌اند باید شرایط زیر را تأمین نمایند:

۱- دربرابر زلزله‌های کوچک، بدون خرابی مقاومت کنند.

۲- دربرابر زلزله‌های متوسط، بدون خرابی‌های سازه‌ای و تلفات جانی مقاومت کنند.

۳- دربرابر زلزله‌های بزرگ فرو نریزند؛ هرچند که ممکن است متحمل خرابی‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای شوند.

آیین‌نامه‌های سنتی در مورد ساختمان‌های حساس، جز در نظر گرفتن ضریب اهمیت بالاتر، شرایط عملکردی خاص و متفاوتی را در نظر نگرفته است. علاوه بر این در آیین‌نامه‌های سنتی طراحی براساس روش نیرو- مقاومت و با به‌کارگیری تنها یک پارامتر پاسخ(برش پایه طراحی)، برای یک سطح خطر لرزه‌ای (عموماً زلزله‌ای با احتمال رویداد ۱۰٪ در ۵۰ سال که معادل دوره بازگشت ۴۷۵ سال است) و به منظور رسیدن به تنها یک سطح عملکردی (ایمنی جانی متناظر با سطح خطر مذکور) انجام می‌گیرد. اگرچه ایمنی جانی مهمترین هدف در طراحی ساختمان است، اما این هدف همیشه به تنهایی کافی نیست. ممکن است ساختمان پس از زلزله فرو نریزد اما به علت ایجاد تغییر شکل‌ها و یا خرابی‌های زیاد پس از زلزله قابل استفاده نباشد. از تجربیات گذشته آموخته‌ایم که خرابی‌های غیرسازه‌ای و یا متوقف شدن فعالیت‌های معمول تا زمان بازسازی کامل ساختمان خود هزینه‌های گزافی را به همراه دارد.

روش طراحی براساس عملکرد خود به شاخه‌های مختلفی همچون طراحی عملکردی براساس تغییر مکان، انرژی و ظرفیت تقسیم می‌شود که روش‌های مذکور در گزارش‌های FEMA مطرح شده و در بیشتر دستورالعمل‌های بهسازی روش طراحی عملکردی براساس تغییر مکان به کارمی‌رود. در این روش، ابتدا «سطوح عملکرد» براساس وضعیت کیفی خرابی مورد انتظار سازه پس از زلزله تعریف می‌شوند. سطوح عملکرد تعریف شده به دو بخش سطوح عملکرد سازه‌ای و غیرسازه‌ای تقسیم می‌شوند که سطوح عملکرد سازه‌ای تعریف شده در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ایران شامل سطوح عملکرد «قابلیت استفاده بی وقفه»، «خرابی محدود»، «ایمنی جانی»، «ایمنی جانی محدود»، «آستانه فرو ریزش» و «لحاظ نشده» می‌باشد. در اینجا تنها به عنوان نمونه به تعریف سطح عملکرد سازه‌ای «ایمنی جانی» پرداخته می شود:

«سطح عملکرد ایمنی جانی به سطح عملکردی اطلاق می‌گردد که پیش‌بینی شود، در اثر وقوع زلزله خرابی در سازه ایجاد شود، اما میزان خرابی‌ها به اندازه‌ای نباشد که منجربه خسارت جانی گردد.» تعریف یک سطح عملکرد برای سازه به تنهایی بیانگر توقع ما از رفتار سازه نیست، بلکه زمانی سطح عملکرد تعریفی می‌تواند بیان‌کننده‌ی رفتار سازه باشد که زلزله‌ی در نظر گرفته شده برای آن سطح خرابی نیز تعریف گردد. لذا در دستورالعمل بهسازی نیز جهت تعریف شدت زلزله، دو سطح خطر زلزله ۱و۲ بیان شده است که سطح خطر۱ براساس ۱۰٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال که معادل دوره بازگشت ۴۷۵ است تعیین می شود (زلزله طرح مبنا DBE) و سطح خطر ۲ بر اساس احتمال رویداد ۲٪ در ۵۰ سال که معادل دوره بازگشت ۲۴۷۵ است تعیین می‌شود (بیشینه زلزله محتمل MPE) نامیده می‌شود. از ترکیب یک سطح عملکرد و یک سطح خطر، یک «مقصود عملکردی» یا «هدف بهسازی» بدست می‌آید که بیانگر انتظار طراح از رفتار سازه طی زلزله مشخص است. به عنوان مثال در «بهسازی مبنا» انتظار می رود که تحت زلزله سطح خطر۱، سطح عملکرد «ایمنی جانی» تأمین گردد[۵].

دو اصطلاح کلیدی دیگر در شیوه‌های طراحی براساس عملکرد، ظرفیت و نیاز می باشد. «نیاز» نشان‌دهنده‌ی حرکات زمین لرزه و «ظرفیت» نشان دهندهٔ توانایی سازه در برابر نیازهای لرزه‌ای است. « عملکرد» نیز مربوط به حالتی‌ست که «ظرفیت» قادر به پاسخگویی «نیاز» باشد، به بیان دیگر سازه باید دارای ظرفیتی باشد که بتواند به نیاز لرزه‌ای پاسخ دهد و رفتار سازه، سازگار با اهداف طراحی آن باشد. آنچه که در ارزیابی عملکرد یک سازه انجام می‌گیرد ارزیابی سازه با استفاده از تحلیل‌های خطی یا غیرخطی و سپس کنترل محدودیت‌های مربوط به سطح عملکرد مورد نظر است که در دستورالعمل به عنوان « معیارهای پذیرش» معرفی می‌شوند. در دستورالعمل بهسازی، معیارهای پذیرش بر حسب نوع تحلیل (خطی یا غیرخطی) ، نوع سازه (بتنی یا فولادی)، نوع سیستم باربر جانبی و نوع عضو مورد بررسی (تیر، ستون، اتصال، بادبند و دیواربرشی) تعیین می‌گردند.

در کنترل عملکرد سازه، علاوه بر کنترل معیارهای پذیرش اعضاء، کنترل معیارهای پذیرش کلی- که عموماً از نوع تغییر مکان هستند- بر حسب سطح عملکرد انتخابی ضروری است. پس از ارزیابی لرزه ای سازه و در صورت برآورده نشدن «مقصود عملکرد» مورد نظر نوبت به ارائه طرح مقاوم سازی می‌رسد. پس از ارزیابی لرزه‌ای سازه و در صورت برآورده نشدن «مقصود عملکرد» مورد نظر، نوبت به ارائه طرح بهسازی می‌رسد.

طرح بهسازی:

در ارائه یک طرح مناسب بهسازی، تشخیص نقاط ضعف سازه از اهمیت بالایی برخوردار است. تشخیص نقاط ضعف سازه، گاه با انجام مطالعات تحلیلی بر روی مدل سازه (ارزیابی کمی) و گاه با مشاهده (ارزیابی کیفی) از وضعیت ساختمان موجود امکان‌پذیراست. به همین جهت مراجع موجود در زمینه ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای در کنار پرداختن به اصول ارزیابی کمی به مهندسین، جداول مختلفی را برای ارزیابی کیفی سازه ارائه داده‌اند[۶].

تجربه، تبحر و آگاهی مهندس محاسب از مفاهیم طراحی می‌تواند به وی در تشخیص سریع و موثر نقاط ضعف سازه یاری دهد. بسته به نقاط ضعف هر سازه روش‌های مختلفی برای بهسازی قابل استفاده است. در انتخاب روش بهینه از بین گزینه‌های ممکن توجه به مسائلی همچون ملاحظات اقتصادی، عدم اختلال در کاربری ساختمان،

زیبایی طرح، شرایط اقلیمی و نوع لرزه‌خیزی منطقه ضروری است. بر اساس گزارش‌های FEMA، روش‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود عبارتند از[۷]:

۱- رفع بی نظمی‌های موجود درپلان و ارتفاع

۲- تکمیل مسیر انتقال نیرو

۳- اضافه کردن سیستم‌های باربر جانبی

۴- کاهش وزن ساختمان

۵- افزایش مقاومت و یا جایگزین کردن اعضا و المانهای ضعیف سازه

۶- استفاده از سیستم‌های جداساز لرزه‌ای

۷- استفاده از سیستم‌های فعال و غیرفعال اتلاف انرژی

پس از انتخاب روش بهسازی، طرح سازه بهسازی شده باید مجدداً مورد ارزیابی قرار گیرد و برآورده شدن «مقصود عملکرد» مورد نظر کنترل گردد. در صورتی که شرایط مورد نظر تأمین شده باشد طرح پیشنهادی از نظر مهندسی قابل قبول است، در غیراین صورت باید طرح بهسازی دیگری مورد بررسی قرار گیرد. یک دسته از روش‌های بهسازی لرزه‌ای، استفاده از ورق‌های FRP برای تعمیر و تقویت سازه‌های بتنی و بنایی است. در ادامه، به تشریح این موارد پرداخته می‌شود.

بهسازی سازه‌های بتنی و بنایی با FRP:

FRPها که ابتدا در صنایع هوا و فضا به کار برده شد با داشتن ویژگی‌های ممتاز چون نسبت بالای مقاومت به وزن، دوام در برابر خوردگی، سرعت و سهولت در حمل و نصب، دریچه ای نو پیش روی مهندسین عمران گشوده است به گونه‌ای که امروز سازه‌های متعددی در سرتاسر دنیا با استفاده از این مواد تعمیر، تقویت و طراحی شدند. استفاده از این مصالح به طور قابل توجهی در صنعت ساختمان یک بازار تکان دهنده و با سرعت در حال توسعه می‌باشد. آغاز پژوهش‌های انجام شده در این زمینه به دهه ۱۹۸۰ باز می‌گردد. زلزله‌های دهه ۱۹۹۰ کالیفرنیا (آمریکا) وکوبه (ژاپن) از جمله عوامل موثر برای شتاب گرفتن بررسی برای امکان‌سنجی کاربرد این مواد جهت بهسازی سازه‌ها در مناطق زلزله خیز گردید[۳]. نمونه‌ای از خسارت‌های وارده در این زمین لرزه‌ها در شکل۳ نمایش داده شده است.

شکل۳- نمونه‌ای از خرابی یک ساختمان در نورتریج و یک پل در کوبه پس از زلزله

پلیمرهای مسلح شده با الیاف FRP:

در حقیقت FRP نوعی ماده مرکب متشکل از بخش زمینه یا رزین انعطاف پذیر از جنس پلیمر می‌باشد که به وسیله الیاف با مقاومت و سختی زیاد تقویت می‌شود. این مصالح به صورت ورق‌های پیش‌ساخته، میلگردهای آماده و پارچه‌های الیافی آغشته به پلیمر در محل به کار می‌روند. در شکل۴ نمونه‌هایی از گونه‌های مختلف نیمرخ‌ها و میلگردهای ساخته شده از این مصالح و پارچه‌های بافته شده با الیاف نشان داده شده است. پلیمر مصرفی در این مصالح عموما از نوع اپوکسی یا پلی‌استرهای‌غیراشباع هستند که الیاف شیشه‌ای، کربنی و آرامیدی برای تقویت نمودن آن افزوده می‌شوند. پولتروژن یکی از روش های متداول برای تهیه نیمرخ های FRP است که در این روش دسته‌ای از الیاف پس از آغشته شدن با رزین و پس از عبور از یک شکاف در کنار هم قرار گرفته و یک پروفیل دارای مقطع ثابت را به وجود می‌آورند[۸].

شکل۴- نمونه‌هایی از نیمرخ‌ها و میلگردهای FRP و پارچه‌های الیافی

از عمده ترین مزایای این روش چند منظوره بودن آن برای کاربردهای گوناگون و تهیه FRP با کیفیت و نسبت حجمی بالای الیاف می‌باشد. این محصولات دارای عمر طولانی و سرعت تولید بالا می‌باشند. از نظر قیمت نیز با وجود اینکه دارای قیمت ظاهری بیشتری نسبت به دیگر مصالح مشابه است لیکن مقاومت خوب آن در مصارف خاص ضدخوردگی و زلزله و عمر بالای آن می‌تواند قیمت اولیه‌ی بالای آن را توجیه نماید. نقش اصلی پلیمر، انتقال برش از الیاف به یکدیگر، محافظت از الیاف در شرایط محیطی، جلوگیری از خسارات مکانیکی وارد بر الیاف، کنترل کمانش موضعی الیاف تحت فشارمی‌باشد. از دیگر مزایای استفاده ازFRP می‌توان به چگالی پایین (حدود ۲۰٪ فولاد)، مقاومت در برابر خورندگی، نفوذناپذیری، حمل و نقل آسان وسرعت اجرای بالا را نام برد[۹]. موارد ذکر شده، FRPها را به جایگزینی مناسب برای میلگردهای فولادی در سازه‌های دریایی، پارکینگ ها، عرشه‌ی پل‌ها، ساخت بزرگراه های متأثراز عوامل محیطی و در نهایت سازه‌هایی که در برابر خوردگی و میدان‌های مغناطیسی حساسیت دارند رهنمون می‌سازد.

میلگردهایFRP به طور گسترده‌ای جایگزین میلگردهای پوشش‌دار فولادی شده است که در مناطق کوهستانی و در سواحل دریاها برای مسلح نمودن بتن به کار می‌روند. از این مواد به جای میلگردهای فولادی یا کابل‌های پیش تنیده در سازه‌های بتنی پیش تنیده و یا غیر پیش‌تنیده استفاده می‌شود . در ستون‌های بتنی، استفاده از دورپیچ‌های FRP در مقایسه با استفاده از تنگ‌ها و مارپیچ فولادی سبب ایجاد محصور شدگی به صورت پیوسته برای تمام مقطع عرضی ستون می‌شود. از آنجایی که FRP مصالحی ناهمسانگرد است، نوع و مقدار الیاف و پلیمر

مورد استفاده، سازگاری الیاف و کنترل کیفیت لازم هنگام ساخت آن نقش اصلی را در تعیین ویژگی‌های مکانیکی آن دارد[۹].

کاربرد ورق‌های FRP در بهسازی سازه‌ها:

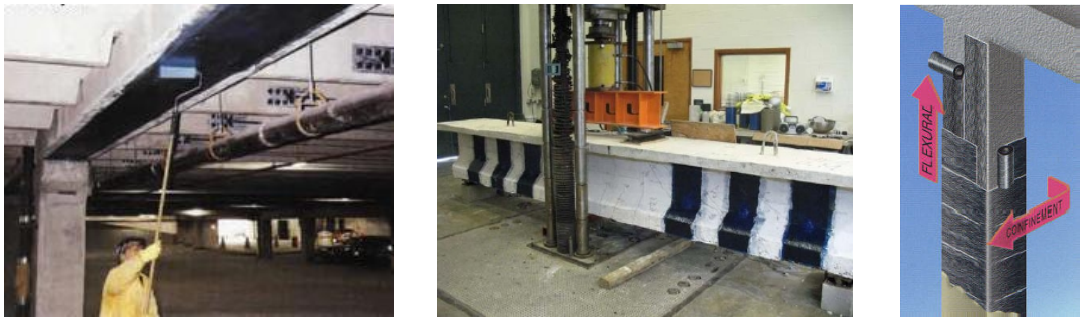
سازه‌ها بر اثر عوامل متعددی مانند اشتباهات طراحی و محاسبه، عدم اجرای مناسب، تغییر کاربری سازه‌ها، آسیب دیدگی ناشی از وارد شدن بارهای تصادفی، از هم پاشیدگی، خوردگی، خزش، آبرفتگی و شرایط محیطی استحکام خود را از دست می‌دهند. ضمناً تغییر آیین‌نامه‌های ساختمانی که باعث تغییر در بارگذاری و ضرایب اطمینان می‌شد نیز سبب ارزیابی و بازنگری مجدد طرح سازه می‌گردد تا در صورت لزوم بهسازی و تقویت شود. کاربرد ورق‌های FRP برای تقویت سازه‌های بتنی و بنایی چند سالی است که در عرصه مهندسی سازه پدیدار شده و به عنوان یک جانشین برای روش‌های سنتی از قبیل اتصال صفحات فولادی، افزایش سطح مقطع عضو با بتن ریزی مجدد، جایگرینی اعضا، پیش‌تنیدگی بیرونی و ایجاد پیوستگی - که دارای کاستی‌هایی مانند بازدهی کم، زمان اجرای طولانی و نیاز به تجهیزات خاص است- می‌باشد. امروزه روش‌های مقاوم‌سازی با استفاده از FRP توسعه روز افزون یافته به طوری که محدودیت استفاده و کاربرد آن در مهندسی ساختمان به هزینه‌ی بالای اولیه و ضعف در برابر آتش‌سوزی آن برمی‌گردد. استفاده از FRP در زمینه بهسازی و تعمیر سازه‌ها- هر چند که هزینه‌ی اولیه‌ی بالایی در بردارد- با توجه به کاهش زمان اجرا و عدم نیاز به نگهداری در برابر عوامل محیطی، با صرفه‌ترین و مؤثرترین راه بهسازی سازه‌های بتنی به شمار می‌رود. برخی از کاربردهای FRP در بهسازی سازه‌های بتنی به صورت زیر می‌باشد:

۱- افزایش ظرفیت خمشی: پژوهشگران بسیاری در ۲۰ سال گذشته کارایی استفاده از ورق‌های FRP را برای افزایش ظرفیت خمشی تیرها، دال‌ها و دیوارهای بتنی مورد بررسی قرار داده و نتایجی چشمگیر گرفته‌اند. در نتیجه، آیین‌نامه تقویت خمشی تیرها و دال‌های بتنی با ورق‌های FRP از سال ۱۹۹۲ توسط انجمن بتن آمریکا (ACI) تدوین شد و از آن پس مورد استفاده مهندسین سازه قرارگرفت. اساس این روش بر افزودن ورق‌های FRP به سطح کششی عضو و در نظر گرفتن سازگاری کرنش‌ها در مقطع است.گفتنی است که گسیختگی در عضوتقویت شده به گونه‌های متفاوتی می‌تواند پدیدار شود[۱۰].

۲- افزایش ظرفیت برشی: گروهی دیگر از پژوهشگران مشغول مطالعه روی چگونگی افزایش ظرفیت برشی عضوهای بتنی با FRP بودند که نتایج تلاش‌های آنها نیز در آیین‌نامه ACI گنجانده شده است. برای تقویت برشی، نوارهای FRP به صورت عرضی بر سطوح جانبی تیرها چسبانده می‌شود و یا عضو به صورت کامل با ورق FRP پوشانده می‌شود. واضح است که در بیشتر موارد، تقویت خمشی و برشی همزمان اجرا شده تا کارایی طرح بهسازی را افزایش دهند[۱۰].

۳- افزایش شکل‌پذیری ستون‌ها: یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای بالابردن توانایی باربری ستون‌های بتنی در هنگام زلزله، محصورنمودن ستون به وسیله دورپیچ می‌باشد. پژوهشگران نشان داده‌اند که دورپیچ‌های FRP قابلیت ایجاد محصورشدگی مطلوب برای رفتار شکل‌پذیر ستون را فراهم می‌کنند. از آنجایی‌که

این محصورشدگی از سطح بیرونی آغاز می‌شود، بیشترین کارآیی را نسبت به روش‌های دیگر داراست. دورپیچ مذکور قابلیت افزایش ظرفیت برشی را نیز داشته و در صورت نیاز، تقویت خمشی نیز به راحتی می‌تواند به طرح افزوده شود. روش بهسازی ستون با مقطع دایره و یا نزدیک به آن در آیین‌نامه ACI آمده و کارایی مناسبی دارد. برای ستون‌های با مقطع مستطیل کارایی این روش بسیار محدود است[۱۰].



شکل۵- نمونه‌هایی از بهسازی عضوهای سازه‌ای برای خمش، برش و شکل‌پذیری با FRP

۴- افزایش شکل‌پذیری و ظرفیت اتصالات: در بسیاری از سازه‌های خسارت دیده و یا ساختمان‌هایی که نیاز به بهسازی دارند، توجه به رفتار اتصالات اهمیت بسزایی دارد. چند سالی است که پژوهشگران مطالعه روی تقویت اتصالات قاب‌های بتنی با استفاده از نوارهای FRP را آغاز نموده و نتایج امیدوار کننده‌ای را بدست آورده‌اند. از آنجایی‌که بهسازی اتصالات با FRP هنوز در هیچ آیین‌نامه ای وارد نشده است، مهندسین برای به کارگیری این روش باید دقت کافی لحاظ نموده و تا تدوین آیین‌نامه بدون مشورت با متخصصین، از ارائه طرح‌های نا مطمئن خودداری نمایند[۱۱].

۵- افزایش مقاومت در برابر انفجار و ضربه: به منظور تقویت سازه‌های حساس در برابر حوادث غیر منتظره، می‌توان از چسباندن ورق یا نوارهایFRP بر روی سطوح دیوارهای محافظ استفاده نمود. در این روش، برای افزایش قابلیت جذب انرژی می‌بایست از مصالحی با توانایی مناسب استفاده شود. استفاده از الیاف آرامید و یا FRPهای مختلط مفید خواهدبود. این شیوه در حال حاضر در مراحل پژوهشی است و کاربردی شدن آن نیاز به مطالعات بیشتری دارد[۱۲].

۶- سایر کاربردها: کاربرد مواد مرکب به موارد ذکر شده در بالا محدود نمی‌شود. در بسیاری از پروژه‌های مهم از FRPها برای بهسازی و ترمیم لوله‌های انتقال آب، شبکه جمع‌آوری فاضلاب، تونل‌ها، مخازن نگهداری آب و محلول‌های شیمیایی، سازه‌های فولادی، چوبی و بنایی استفاده می‌شود.

جمع‌بندی:

- با توجه به وضعیت نگران کننده سازه‌ها و زیرساخت‌های کشور و محدود بودن امکانات، اقدام به بهسازی به جای تخریب و بازسازی در بسیاری از موارد انتخاب عاقلانه‌تری است.
- در طرح‌های بهسازی، با توجه به لرزه‌خیز بودن ایران، می‌بایست توجه زیادی به طبیعت رفتار لرزه‌ای سازه‌ها و معیارهای مناسب برای یافتن سطوح «عملکرد» و «خطر» داشت.

- پلیمرهای مسلح با الیاف (FRP) به عنوان مصالحی نو در صنعت ساختمان و باکارآیی بالا می‌توانند هزینه‌های کل طرح‌های بهسازی را کاهش دهند.
- در مواردی که آیین‌نامه‌ی مدونی برای کاربرد مواد و یا روش‌های نوین در دست نباشد، مشاوره با پژوهشگران و متخصصین مجرب از احتمال بروز اتفاق‌های نامطلوب جلوگیری می‌کند.
- در نهایت به امید روزی که همگان بیاموزیم که گزیدن الگوی مناسب مصرف در زندگی و کار، تنها برای روزهای تنگدستی نیست و می‌بایست همواره در خاطرمان باشد.

«تا رساند تو را به فرّ و بها حکم خیر الامور اوسطها»

مراجع:

1- Park, R. and Paulay, T., *"Ductile Reinforced Concrete Frames-Some Comments on the Special Provisions for Seismic Design of ACI 318-71 and on Capacity Design"* , Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol.8, No.1, 1975, pp.70-90.
2- Chakrabarti, A. and Menon, D. and Sengupta, A., *"Handbook on Seismic Retrofit of Buildings"*, New Delhi, 2008
3- Chopra, Anil K., *"Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering"*, New Jersey, 1995
4- *'SEAOC: Vision 2000 Committee, Performance Based Seismic Engineering of Buildings"*, Structural Engineers Association of California, Sacramento, 1995
5- Balaguru, P. and Nanni, A. and Gianacaspro, J., *"FRP Composites for Reinforced and Prestressed Concrete Structures: a Guide to Fundamentals and Design for Repair and Retrofit"*, New York, 2009
6- *"FEMA 154: Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards"*, Federal Emergency Management Agency, Washington, 2002
7- *"FEMA-172: Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings"*, Federal Emergency Management Agency, Washington, 2007
8- Hollaway, L., *"Polymer Composites for Civil and Structural Engineering"*, London, 1993
9- Teng, J.G., Chen, J.F., Smith, S.t., lam, L., *"FRP Strengthened RC Structures"*, London, 2002
10- *"ACI 440.2R-08, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures"*, American Concrete Institute, Chicago, 2008
11- Parvin, A. & Granata, P., *"Investigation on the effects of fiber composites at concrete joints"*, *Composites: Part B*, (31), 2000, 499-50.
12- Buchan, P. A. & Chen, J.F., *"Blast resistance of FRP composites and polymer strengthened concrete and masonry structures – A state-of-the-art review"*, *Composites: Part B*, (38), 2006, 509-522.