نقش جهان/ دوره‌ی سوم/ شماره۱
صفحات : ۹۰-۷۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۰۲/ ۲٤
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۱/۰۶/۰۵

# کاربرد کامپوزیت‌های پلیمـری- الیـافی در مقاوم‌سازی بنـاهای موجود

# Application of Polymer Matrix Composites in Retrofitting Existing Buildings

محمود گلابچی[۱]، محمد حبیبی‌سوادکوهی[۲]



## چکیده

موضوع زلزله و آثار ویران‌گر آن، همواره به‌عنوان چالشی بزرگ پیشِ روی جوامع انسانی قرار داشته است. دانشـمندان و متخصصانِ عرصه ساخت‌وساز، از سال‌ها پیش، با جهدی جدی در جهت یافتن راه‌حل‌هایی برای کاسـتن از صـدمات وارد بـر بناها در اثر لرزش زمین، و کاهش تلفات و خسارات ناشی از آن، تلاش کرده‌اند. در ایران، کـه بـر روی یکـی از کمربنـدهای فعال زلزله‌ی دنیا قرار گرفته، و زمین‌لرزه‌هـای مخربـی را تجربـه نمـوده اسـت، معضـل مـذکور، منتهـای اهمیـت را دارد. ساختمانی ضدزلزله، تا حد زیادی در فروکاستنِ تلفاتِ جانیِ ناشی از زمین‌لرزه و خسـاراتِ معیشـتی و لطمـاتِ اجتمـاعیِ آن، مؤثر و تواناست. مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، از مسائل مبتلابهِ کشور است. یکـی از پـیش‌نهادهـای مطلـوب در راستای بهبود عمل‌کرد لرزه‌ای بناهای حاضر، کاربست کامپوزیت‌هاست. این ساخت‌مایه‌ها، می‌توانند جهت افـزایش مقاومـت درون‌صفحه‌ای و برون‌صفحه‌ایِ عناصر سازه‌ای، به‌عنوان راه‌کاری کارامد، مورد بهره‌برداری قرار گیرند. به‌علاوه، با اسـتفاده از این مصالح، وزن افزوده بر سازه‌ی اولیه، به‌طور چشم‌گیری کاهش یافته، و این امر، گامی مؤثر جهت بهینه‌سازیِ روش‌های ترمیم و تقویت ساختمان‌های موجود خواهد بود.

این نوشتار، در پیِ آن است تا با معرفی ساخت‌مایه‌ای نوین، و بررسی توانش‌هایش، بینشی کمینه را در راسـتای بهسـازی لرزه‌ای ساختمان‌های ضعیف موجود، در اختیارِ متخصصانِ گستره‌ی ساختمان‌سازی نهد، تا گامی در جهت کاهش ویرانـی‌هـای ناشی از زلزله، و در نتیجه، فراهم آوردن شرایط اطمینان‌بخش‌تری برای نسل‌های آینده در کشور، برداشته باشد.

**واژه‌های کلیدی:** ***بهسازیِ لرزه‌ای، ماهیت زلزله، مقاومت عناصر سازه‌ای، مواد مرکب، کامپوزیت‌های پلیمری.***

۱. استاد معماری، دانشکده‌ی معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران؛ نویسنده‌ی مسئول
E-mail: Golabchi@ut.ac.ir
۲. پژوهش‌گر دکترای معماری، دانشکده‌ی معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
E-mail: Mohammad.Habibi@ut.ac.ir

[ Downloaded from bsnt.modares.ac.ir on 2024-05-13 ]

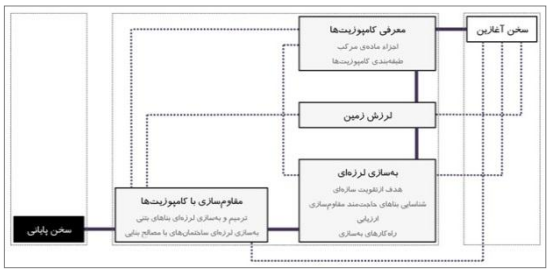
[ DOR: 20.1001.1.23224991.1392.3.1.1.8 ]

## ۱. سخن آغازین

در مواردی متعدد -در نقاط متفاوت دنیا، معماری و مهندسی سازه، که دو گستره‌ی تخصصیِ اصلی در طراحی ساختمان‌ها هستند، با یک‌دیگر هم‌آهنگ عمل نکرده و بسیاری از خرابی‌های برجای‌مانده از زمین‌لرزه‌ها، در اثر عدم انتخاب ساخت‌مایه‌ی مطلوب، طراحی ضعیف، عدم هم‌آهنگی لازم میان معماری و سازه‌ی بنا، و اجرای نادرست ساختمان‌ها، بوده است. با توجه به شرایط زلزله‌خیز بودن ایران، بهسازی لرزه‌ای، بخشی اساسی از مقوله مقاوم‌سازی و ترمیم را تشکیل می‌دهد. بنابراین، بیان لفظ بهینه‌سازی در زمینه‌ی عمل‌کرد ساختارها در برابر کنش‌های ناشی از زلزله، موضوعیت دارد. راه‌کارهای متعددی در راستای بهسازی لرزه‌ای بناهای موجود، پیشِ رو است، که یکی از روش‌های مطلوب آن، کاربست کامپوزیت‌هاست.

بیش از چهل سال است که مواد ترکیبی، پلاستیک‌ها و سرامیک‌ها، به‌عنوان مصالح برتر شناخته شده‌اند. حجم کاربرد کامپوزیت‌ها، همواره رشد داشته، و در بازارهای جدید، نفوذ و تسخیر بسیاری یافته است. بسیاری از احتیاجات صنایع گونه‌گون، مانند هوافضا، رآکتورسازی، ساختمان‌سازی، الکترونیک، حمل‌ونقل، و پزشکی، نمی‌توانند با استفاده از مواد معمولی برآورده شوند و نیاز به تغییری گسترده در خواص مصالح دارند. از طرف دیگر، در کاربردهای مهندسی، امکان استفاده از یک نوع ماده که همه‌ی مشخصه‌های مورد نظر را فراهم آورد، وجود نداشته، و تلفیق ویژگی‌های مواد، امری مطلوب تلقی می‌شود. از آن‌جا که نمی‌توان ماده‌ای یافت که تمامی خصوصیات منظور را دارا باشد، استفاده از کامپوزیت‌ها، چاره‌ساز خواهد آمد. به‌تازگی، در صنعت مواد مرکب، با نوآوری و تغییر در تدابیر ساخت -در راستای ایجاد اجزاءِ ترکیبی که از لحاظ اقتصادی هم مقرون‌به‌صرفه باشند- کوشش‌هایی صورت گرفته است. نیاز به کامپوزیت برای مصالح ساختمانی سبک‌تر و ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله، آن‌ها را در درجه‌ی اهمیت بالایی قرار می‌دهد. مواد پیشرفته‌ی جدید، نه‌تنها از بار خنثی می‌کاهند، بلکه می‌توانند تکان‌ها و لرزه‌ها را هم جذب نمایند. تمایل به استفاده از مصالح ترکیبی در صنعت ساخت، تنها به سه دهه‌ی پیش برمی‌گردد. طرح‌های تحقیقاتیِ قابل توجه و به‌دنبال آن، پروژه‌های اجراییِ انجام‌شده در کشورهای مختلف، راه را برای استفاده از این مواد، در ساخت سازه‌های تمام‌کامپوزیتی، تقویت ساختارهای گونه‌گون و کاربردهای معماری، هموار نموده است.

در این پژوهش، پس از معرفی مواد کامپوزیت و بررسی اجزاءِ و انواع آن، ماهیت زلزله و نیروهای لرزه‌ای مورد مداقه قرار گرفته، و مروری پیرامون بهسازی لرزه‌ای، و چرایی آن، صورت می‌گیرد. در نهایت و با توجه به توانایی‌های بالای مواد ترکیبی، به‌کارگیری آن‌ها به‌عنوان یکی از فنون مناسب جهت اصلاحِ عناصرِ سازه‌ایِ ساختمان‌های موجود -که یکی از روی‌کردهای بهسازی لرزه‌ای‌ست- پیش‌نهاد می‌شود (نگاره‌ی ۱).



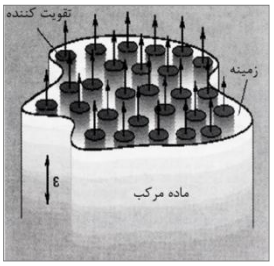

**نگاره‌ی ۱.** مدلِ ساختاریِ نوشتار.

## ۲. معرفی کامپوزیت‌ها

یک ماده‌ی کامپوزیت، ترکیبی از تقویت‌کننده -الیاف یا ذرات یا ورق پوسته‌ای یا پرکننده‌ها- است که در زمینه -پلیمر یا فلز یا سرامیک- فرورفته باشد (نگاره‌ی ۲). زمینه یا ماتریس، به‌صورت فازی پیوسته است، و تقویت‌کننده را نگاه می‌دارد تا الگوی مطلوبِ موردِ حاجت ایجاد شود و تقویت‌کننده یا فاز ناپیوسته، خواصِ مکانیکیِ کلیِ زمینه را بهبود می‌بخشد، و بر سختی و استحکام آن می‌افزاید. در یک کامپوزیت، تقویت‌کننده‌ها، عضوِ بارپذیرِ اصلیِ ساختارند؛ در حالی‌که زمینه، آن‌ها را در آرایش مورد نظر مستقر داشته و به‌عنوان یک محیط منتقل‌کننده بار بین الیاف، عمل می‌نماید و آن‌ها را از صدمات محیطی در اثر بالا رفتن دما و رطوبت، محفوظ می‌دارد ( William and Hashemi, 2006). در ادامه، این عناصر به تفکیک مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

### ۲-۱. اجزاء ماده‌ی مرکب

زمینه، تقویت‌کننده‌ها را از هم جدا نگاه داشته تا از ساییدگی و ایجادِ عیوبِ سطحی، جلوگیری کند و مانند یک پل، آن‌ها را در صورت‌بندیِ مطمحِ نظر،




**نگاره‌ی ۲.** اجزاءِ یک کامپوزیت (مأخذ: سلطانی، ۱۳۸۷: ٤).

[ Downloaded from bsnt.modares.ac.ir on 2024-05-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23224991.1392.3.1.1.8 ]

حفظ می‌کند. یک زمینه‌ی خوب، باید توانایی تغییرشکل تحت بار اعمال‌شده را دارا باشد، نیروها را به الیاف انتقال دهد و تمرکز تنش را هم توزیع نماید. هم‌چنین الیاف را از صدمات محافظت کرده و مانع اشاعه‌ی ترک در کامپوزیت شود[1]. نقش تقویت‌کننده در یک ماده‌ی کامپوزیتی، اساساً افزایش دادن خواص مکانیکی زمینه است. الگوی قرارگیری تقویت‌کننده‌ها در زمینه و جهت قرار گرفتن آن‌ها، ویژگی‌های متفاوتی را در کامپوزیت ایجاد می‌نماید[2]. فصل مشترک، یک سطح محدود، یا منطقه‌ای است که در آن، ناپیوستگی اتفاق می‌افتد. جهت استحصال خصوصیات مطلوب در یک ماده‌ی مرکب، باید بار اعمال‌شده، از طریق فصل مشترک، از زمینه به تقویت‌کننده انتقال پیدا کند؛ یعنی باید فصل مشترک گسترده بوده، و پیوستگیِ قوی بین تقویت‌کننده و زمینه وجود داشته باشد. شکست، در فصل مشترک، نامطلوب است (سلطانی، ۱۳۸۷: ٤-۹).

## ۲-۲. طبقه‌بندی کامپوزیت‌ها

کامپوزیت‌ها را می‌توان بر اساس نوع زمینه، به چهار گروه اصلی تقسیم کرد؛ کامپوزیت‌های با زمینه‌ی پلیمری، فلزی، سرامیکی و چوب تغییرسلولی‌یافته. هم‌چنین بر مبنای هندسه‌ی تقویت‌کننده -که ویژگی‌های مکانیکی و میزان بازدهی ترکیب را تعیین می‌نماید- سه گونه‌ی کامپوزیت ذره‌ای، تقویت‌شده با الیاف، و ساختاری، قابل تفکیک است. هریک از موارد مذکور، در ادامه، تبیین و تدقیق شده‌اند.

### ۲-۲-۱. تقسیم‌بندی بر اساس زمینه

کامپوزیت‌های زمینه‌پلیمری، رایج‌ترین دسته‌ی مواد مرکب‌اند، و بیش از ۹۵ درصد از مصرفِ جهانیِ آن را به‌خود اختصاص داده‌اند. عمومی‌ترین نوع کامپوزیت‌ها، یعنی مواد پلیمری تقویت‌شده با الیاف، در این گروه قرار دارند. برخی از خواص کامپوزیت‌های زمینه‌پلیمری به این شرح است؛ استحکام کششی بالا، سختی بالا، چقرمگی شکست بالا، مقاومت سایشی و خوردگی مناسب، چگالی و قیمت پایین، و برخی محدودیت‌های آن از این قرار است؛ مقاومت گرمایی پایین، ضریب انبساط گرمایی بالا، و استحکام خمشی پایین.

در مواد ترکیبی زمینه‌فلزی، به‌طور معمول، زمینه، یک آلیاژ فلزی است. برخی خواص کامپوزیت‌های زمینه‌فلزی عبارت است از؛ مقاومت در درجه‌ی حرارت بالا، استحکام خمشی بالا، مقاومت سایشی مناسب، و هدایت گرمایی و الکتریکی، و برخی محدودیت‌های آن، شامل چگالی بالا، و خصوصیات مکانیکی پایین، می‌شود[3] (William and Hashemi, 2006).

کامپوزیت‌های زمینه‌سرامیکی، در محیط‌های با درجه‌ی حرارت بسیار بالا، و هم در موقعیت‌های خورنده، استفاده می‌شوند. برخی خواص کامپوزیت‌های زمینه‌سرامیکی عبارت است از؛ پایداری در درجه‌ی حرارت بالا، مقاومت به شوک حرارتی، مقاومت نسبت به خوردگی بالا، و چگالی کم (سلطانی، ۱۳۸۷) و محدودیت این نوع مواد مرکب، ساختِ نسبتاً مشکلِ آن‌ها است[4] (وفامهر، ۱۳۹۱: ۱۶۳).

چوب‌هایی که ساختارِ ژنتیکیِ آن‌ها، اصلاح شده باشد، با نام چوب تغییرسلولی‌یافته، خوانده می‌شوند. این چوب‌ها، گستره‌ی گسترده‌ای از محصولات را -مانند تخته چندلایه و آربوریت[5]- دربر می‌گیرند (URL2).

### ۲-۲-۲. تقسیم‌بندی بر اساس هندسه‌ی تقویت‌کننده

در مواد ترکیبی ذره‌ای، تقویت‌کننده از ذرات، تشکیل یافته است. در حالت کلی، ذرات در بهبود مقاومت در برابر شکست، خیلی تأثیرگذار نیستند، اما سختی کامپوزیت را تا حدی افزایش می‌دهند.

کامپوزیت‌های مسلح‌شده با الیاف، عمومی‌ترین گونه‌ی مواد ترکیبی‌اند. ابعاد تقویت‌کننده، میزان تأثیر در خصوصیات کامپوزیت را مشخص می‌نماید. الیاف، در افزایش استحکام شکست زمینه، مؤثر بوده؛ و پیوند بین زمینه و الیاف، خواص مکانیکی کامپوزیت را به‌دلیل انتقال بار اعمالی به الیاف از طرف زمینه، بهبود خواهد بخشید.

مصالح مرکب ساختاری، همانند دیگر گونه‌ها بوده، اما علاوه بر آن، شامل چند ماده‌ی مختلف برای استحصال خواص مطلوب، می‌شود. ویژگی‌های آن‌ها، تنها به خصائص اجزاءِ بستگی ندارد، و نظم هندسی عناصر هم در آن، مؤثر است. دو نوع کامپوزیت ساختاری وجود دارد؛ لایه‌ای، و با صفحات ساندویچی[6] (سلطانی، ۱۳۸۷: ۱۰- ۱۸).

تا این مرحله از نوشتار، مواد ترکیبی معرفی شده، اجزاءِ آن، مورد مطالعه قرار گرفته، و انواع گوناگون آن، از نظر زمینه و هندسه‌ی مسلح‌کننده، بررسی گردیده است. در ادامه‌ی مسیر، روشن شدن ماهیت زلزله، و نیروهای آن، در راستای درک چه‌گونگی مقابله با اثرات زمین‌لرزه در ساختمان، مطمح نظر است.

## ۳. لرزش زمین

پوسته‌ی زمین -از منظر تغییرات زمین‌شناسی- در حرکت و گذاری دائمی‌ست. صدها میلیون سال پیش، قاره‌ها، به‌هم پیوسته بودند، اما متدرجاً، با جابه‌جایی بسیار آهسته



[ Downloaded from bsnt.modares.ac.ir on 2024-05-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23224991.1392.3.1.1.8 ]

از یک‌دیگر دور شدند. درکِ علمیِ این فرایندِ پویا که در حدود ۱۰۰ سال پیش کشف گردید، با نام «رانش قاره‌ها» یا «حرکات صفحات تکتونیک» شناخته می‌شود. در نتیجه‌ی ناهمواری سطح و لبه‌های صفحات تکتونیک، حرکات جانبی یا لغزش بالقوه‌ای که ممکن است بین صفحات روی دهد، نیروهای اصطکاکی ایجاد می‌کنند -و این نیروها به‌قدر کفایت قوی‌اند تا صفحات را در کنار هم قفل کرده و در تماس با یک‌دیگر نگاه دارند. بیش از آن‌که حرکت صفحات، نسبت به‌هم تأثیرگذار باشد، سنگ‌های واقع در لبه‌های صفحات تکتونیک، نیروهای فشاری و کرنش‌های برشیِ عظیم را جذب نموده، تا این‌که به‌ناگاه بشکنند. در خلال این شکستگی، تمامی انرژی‌های انباشته‌شده در میان توده‌های سنگ فشرده شده، آزاد گردیده، و یک حرکتِ ناگهانیِ شدید، رخ‌نما می‌شود؛ و این، یعنی زلزله[۷] (چارلستون، ۱۳۸۹: ۱-۷).

نیروهای لرزه‌ای، در حقیقت، نیروهای اینرسی هستند. هنگامی که هر جسمی، مثل یک ساختمان، لرزش و ارتعاش را تجربه می‌کند، به‌دلیل آن‌که جرم‌اش، در برابر لرزش، مقاومت می‌نماید، نیروهای اینرسی در آن پدید می‌آید. نیروهای اینرسی، از گونه‌ی نیروهای داخلی‌اند، و در درون ساختمان، اثر می‌کنند. در اثر حرکت‌های زمینِ زیرِ ساختمان، شتاب افقی به بخشِ روبناییِ آن، منتقل شده و در تمامی بنا، نیروهای اینرسی داخلی ایجاد می‌کند. این نیروها، که به‌صورت افقی عمل می‌نمایند، بر تمامی اجزاءِ و اشیاءِ داخل ساختمان، تأثیر می‌گذارند[۸] (همان: ۲۲).

اکنون که آشنایی مختصری با کامپوزیت‌ها، و هم ماهیت نیروهای لرزه‌ای پدید آمد، پاره‌هایی پیرامون موضوع تقویت سازه‌ای، طرح می‌شوند.

## ٤. بهسازی لرزه‌ای

شاخصه‌ی اصلیِ بهسازی لرزه‌ای، تأمین ایمنی، به‌طور نسبی و متناسب با امکانات، برای تمامی عناصر ساختمان -اعم از سازه‌ای و غیرسازه‌ای- است. بنابراین، مقاوم‌سازی، جزئی از یک کل، به‌نام بهسازی لرزه‌ای است، و کاربرد واژه‌ی مقاوم‌سازی، به‌جای بهسازی، راه‌زن خواهد آمد. به‌طور کلی، بهسازی لرزه‌ای عبارت است از؛ "اصلاح خردمندانه‌ی ویژگی‌های سازه‌ای بناهای موجود، به‌منظور بهبود عمل‌کرد آن‌ها در زلزله‌های آتی". اگر بهسازی، به‌منظور جبران نابسامانی‌ها یا بازگرداندن سازه‌ها یا اجزاءِ آن، به وضع اولیه باشد، به آن «بازگرداندن کیفیت» گفته شده، و اگر در جهت پاسخ‌گویی به تغییر و تحول شرایط بهره‌برداری و سنگین‌تر شدن وظایف مورد انتظار از ساختمان باشد، «ارتقاءِ کیفیت» خوانده می‌شود.

علی‌الاغلب، بناهایی که حاجت‌مند بهسازی هستند، عبارت‌اند از؛ ساختمان‌های آسیب‌دیده در اثر وقوع زلزله، ساختمان‌هایی که کاربری‌شان تغییر داده شده است، ساختمان‌هایی که به‌دلایل تغیّر در ضوابط آئین‌نامه، مقاومت مورد نیاز را ندارند، ساختمان‌هایی که قرار است طبقات اضافی روی آن‌ها ساخته شود، ساختمان‌هایی که ساکنان یا افراد ناآگاه در سازه‌ی آن، دخل و تصرف کرده‌اند، و ساختمان‌هایی که آثار ضعف به‌صورت ترک در آن‌ها پدیدار شده است (محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۱۵و۱۶). در سال‌های اخیر، کاربست کامپوزیت‌های زمینه‌پلیمری برای بهسازی و تعمیر سازه‌های بتنی، فولادی، چوبی، و با مصالح بنایی، بسیار مورد توجه بوده است (گروه مؤلفان، ۱۳۸۵).

### ٤-۱. هدف ازتقویت سازه‌ای

هدف اصلی بهسازی لرزه‌ای، کاهش آسیب‌پذیری ساکنان ساختمان، و خود بنا، از گزند آسیب‌های زلزله است؛ در واقع، مقاوم‌سازی یک ساختمان، به‌معنای ارتقاءِ عمل‌کرد لرزه‌ای آن است. تقویت، برای دامنه‌ای از بناها -با مقیاس‌ها و ساخت‌مایه‌های متفاوت- مناسبت دارد. اگرچه، بازسازی ساختمان‌های آسیب‌دیده از زلزله، قرن‌ها انجام می‌شده است، اما آن‌گونه مقاوم‌سازی که امروزه برای بناهای بدون آسیب‌دیدگی انجام می‌شود، با هدف آماده‌سازی‌شان جهت تحمل زلزله‌های مخرب آینده است، و روی‌کردی نوین به‌شمار می‌آید. یک ترفندِ موفقِ مقاوم‌سازی، به‌طور معمول، نه‌تنها سبب بهبود عمل‌کرد لرزه‌ای ساختمان می‌شود، بلکه کیفیت‌های زیبایی‌شناختی و کارکردی بنا را هم بهبود می‌بخشد (چارلستون، ۱۳۸۹: ۲۲۵). بنابراین، هدف از بهسازی لرزه‌ای، دست‌یابی به مقاومت بیش‌تر، شکل‌پذیری بالاتر، و یا آمیزه‌ای مناسب از این دو مقصود، در جهت پاسخ‌گویی به توان لرزه‌ای مورد نیاز سازه است. بر مبنای اهداف یادشده، سه اصل در بهسازی مطرح می‌گردد؛ افزایش مقاومت، افزایش شکل‌پذیری، و افزایش هر دو.

زمانی که مقاومت سازه‌ی ساختمانی، کافی نبوده و بالا بردن شکل‌پذیری آن هم میسر نباشد، می‌توان از افزایش مقاومت، بهره برد. این راه، برای ساختمان‌های کوتاه تا متوسط، مطلوب است. اگر مقاومت سازه‌ی ساختمانی، کافی نبوده و بهسازی آن از طریق بادبند و دیوارهای

[ Downloaded from bsnt.modares.ac.ir on 2024-05-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23224991.1392.3.1.1.8 ]

جانبی، در حیطه‌ی امکان نگنجد، اصلاح شکل‌پذیری آن، گزینه‌ای مطبوع خواهد بود. روش افزایش مقاومت و شکل‌پذیری، مستلزم تعادلی مناسب بین مقاومت و سختی‌ست، زیرا ممکن است سازه‌ی یک بنا، دارای عدم پیوستگی سختی در طبقات باشد.

از آن‌جا که شناخت مشخصه‌های بنا، موجب ارزیابی بهتر، و ارائه‌ی طرح مناسب‌تری برای بهسازی خواهد شد، پیش از اقدام به بهسازی ساختمان، باید ویژگی‌های بنا را مورد مداقه قرار داد. هم‌چنین قبل از شروعِ طراحیِ روشِ بهسازی، باید با استفاده از راه‌های ساده و تقریبی، برآوردهایی منطقی از هزینه‌های طرح، جهت تصمیم‌گیری‌های کلی، به کارفرما ارائه گردد. اثرات بهسازی روی سختی، مقاومت و تغییرشکل ساختمان باید در سامان‌دهی الگوی تحلیلی بنای تقویت‌شده، در نظر گرفته شود. با توجه به تغییرشکل‌های مورد انتظار در سطح عمل‌کرد انتخابی، باید سازگاری اعضای موجود، و جدید، پایش شود (محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۱۶و۱۷).

برخلاف ایجاد ساختمان‌های جدید، مقاوم‌سازی با فرایندی مبتنی بر برآورد و ارزیابی آغاز می‌شود. علی‌الاغلب، این روند، طی دو مرحله انجام می‌پذیرد؛ نخست، یک ارزیابیِ اولیه با معیارهایی از پیش تعیین‌شده صورت می‌گیرد، تا مشخص سازد که پیش از توصیه به مقاوم‌سازی، حاجتی به مطالعه‌ی فراگیرتری نباشد. مرحله‌ی پسین، طراحی و ساخت است، که به‌دلیل پیچیدگی‌هایش، با روش‌های مشابهِ احداثِ ساختمان‌های جدید، تمایز دارد. زمانی تقویت سازه‌ای مطلوب است که بر اساس نتایج ارزیابی، احتمال این رود که ساختمان در اثر ارتعاشات زمین -با شدت متوسط تا زیاد- رفتار لرزه‌ای ضعیفی از خود به نمایش گذارد. شاید یک بنا از مقاومت، سختی و شکل‌پذیری کافی برخوردار نباشد؛ ممکن است یک مسیر انتقال نیروی منقطع، یا یک طبقه‌ی نرم، ساختمان را به ورطه‌ی فروریختنِ پیش از موعد، بکشاند. وجود یک یا چند دلیل از این دلایل بالقوه، می‌تواند موجبِ حکمِ لزومِ مقاوم‌سازیِ بنا شود (چارلستون، ۱۳۸۹: ۲۲۶و۲۲۷).

**٤-۲. شناسایی بناهای حاجت‌مند مقاوم‌سازی**

به دلایل متعدد و آشکاری، بناهای قدیمی، بیش‌تر هدف تقویت سازه‌ای قرار می‌گیرند. از منظر دانش امروزی، آئین‌نامه‌های مورد استفاده در ساختمان‌های قدیمی، منسوخ‌شده قلمداد می‌گردند. مفهوم شکل‌پذیری که از مهم‌ترین ویژگی‌های سازه‌ای به‌شمار می‌آید -و منجر به اطمینان از بقای آن پس از رخ‌داد زلزله می‌شود- نخستین بار، حوالی دهه ۱۹۶۰، به‌طور آزمایشی در آئین‌نامه‌ها مطرح شد. روش طراحی بر اساس ظرفیت هم در میانه‌ی دهه‌ی ۱۹۷۰ مدون گردید. تا آن زمان، طراحان و مهندسان از کمبود دانش کافی درباره‌ی چه‌گونگی ممانعت از فروریختنِ بنا، زمانی که نیروهای لرزه‌ای از مقاومت طراحی‌شده‌ی ساختمان بیش‌تر شود؛ رنج می‌بردند. همانند همه‌ی عرصه‌های تخصصی دیگر، دانش نوینی که به‌طور پیوسته و روزافزون، در اختیار بشر قرار می‌گیرد، منجر به بهبود روش‌های اجرایی شده است. دلیل دیگری که باعث می‌گردد کانون توجه بر بناهای قدیمی‌تر، متمرکز شود، عمل‌کرد ضعیف برخی از انواع ساختمان‌های کهنه در زمین‌لرزه‌های اخیر است[۹] (همان: ۲۲۸).

**٤-۳. ارزیابی**

اولین مرحله‌ی فرایند مقاوم‌سازی، ارزیابی است. پیش از تصمیم‌گیری در مورد این‌که یک ساختمان، حاجت به تقویت دارد یا خیر؛ باید آسیب‌پذیری لرزه‌ای آن، اثبات شود. معمولاً، ارزیابی بنا، شامل دو مرحله می‌شود. این فرایند با نوعی ارزیابی و برآورد اولیه، آغاز می‌گردد. پس از یک بازرسیِ ظاهریِ اجمالی، به‌منظور تشخیص هرگونه ضعفِ سازه‌ایِ جدی -مانند مشکلات بحرانی پیکربندی- مهندسان سازه، به بنا امتیاز داده، که بسته به نتیجه‌ی این مرحله، ممکن است تصمیم به عدم مقاوم‌سازی ساختمان گرفته شود، یا پای در مسیر مرحله‌ی پسین، که مطالعات موشکافانه‌تری را می‌طلبد، نهاد. پس از آن، تنها، تصمیم‌گیری درباره‌ی احتیاج ساختمان به تقویت، یگانه‌موردِ باقی‌ست[۱۰].

**٤-٤. راه‌کارهای بهسازی**

مقاوم‌سازی یک بنا را باید با این هدف انجام داد که کم‌ترین دخالت‌های معماری و سازه‌ای، بر پیکره بنا، بر جای گذاشته شود. تنها پس از زمانی که تمامی شکل‌پذیری و مقاومت سازه‌ای موجود را به‌کار گرفته، و هنوز کاستی‌هایی در ساختمان باشد، طراح باید روی‌کردی تهاجمی را -همانند فراهم آوردن یک سیستمِ جدیدِ مقابله‌کننده با زلزله- اتخاذ نماید (همان: ۲۳۲). نگرش‌های گونه‌گونی که در بهسازی لرزه‌ای، به‌کار می‌آیند، در ادامه، مورد واکاوی واقع شده‌اند.

**٤-٤-۱. ارتقاء عمل‌کرد لرزه‌ای**



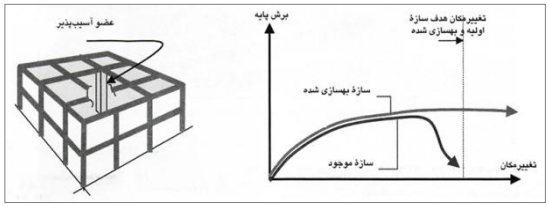
[ Downloaded from bsnt.modares.ac.ir on 2024-05-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23224991.1392.3.1.1.8 ]

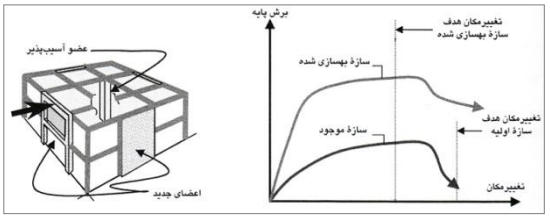
به‌منظور داشتن کمینه‌دخالت در شاکله‌ی ساختمان، باید تا حد امکان، از بیشینه‌قابلیت‌های سازه‌ی موجود، استفاده شود. ممکن است بتوان با افزایش مقاومت یک یا دو عضو منفرد، یا اتصالات سازه‌ای، به کفایتِ عمل‌کردیِ مطبوع، دست یافت، و لازم نباشد یک سیستم سازه‌ای جدید را به درون بنا وارد نمود؛ اما اول باید کفایت مقاومت، سختی و شکل‌پذیریِ همه‌ی اعضاءِ سازه‌ای، و اتصالات را در مسیر انتقال نیروهای لرزه‌ای، ارزیابی نمود. فهرست معمول از اجزاءِ مسیر انتقال نیرو که باید مهندس سازه، به‌دقت و با جزئیات، آن‌ها را بر هر یک از دو راستای متعامدِ اصلیِ ساختمان، کنترل کند، به این شرح است؛ مقاومت دیوارهای داخلی و خارجی در برابر نیروهای برون‌صفحه‌ای، اتصال این دیوارها به دیافراگم، دیافراگم‌ها، اتصال آن‌ها به سازه‌ی عمودی اصلی مانند دیوارهای برشی، سازه‌ی عمودی اصلی، اتصال سازه‌ی عمودی به شالوده، و پی‌ها. در این مرحله از بازنگریِ ساختار، هم‌چنین باید هرگونه مشکلِ پیکربندیِ افقی یا عمودی را در ساختمانِ موجود، پایش نمود؛ زیرا، چنین مشکلاتی، امکان به‌خطر انداختنِ عمل‌کردِ لرزه‌ایِ بنا را به‌دنبال دارند (همان: ۲۳۳). این نگرش، که «اصلاحِ موضعیِ اجزاءِ سازه» هم نامیده می‌شود، باعث افزایش ظرفیت تغییرشکل عناصر معیوب می‌گردد (نگاره‌ی ۳). راه‌کارهای معمول این روش، عبارت‌اند از؛ افزایش بتن، فولاد یا پوشش‌هایی از کامپوزیت‌های با زمینه‌ی پلیمری.

### ٤-٤-۲. تدارک سیستم‌های سازه‌ای جدید

زمانی که سازه موجود ساختمان، به‌روشنی، ناکارامد باشد، شاید لازم شود یک یا چند سیستمِ سازه‌ایِ جدیدِ مقابله‌کننده با زلزله را به بنا الحاق نمود. لازم است




**نگاره‌ی ۳.** اصلاح موضعی اعضای سازه (مأخذ: محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۳٤).



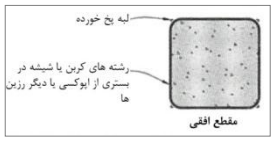

**نگاره‌ی ٤.** اصلاح کلی سیستم سازه‌ای (مأخذ: محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۳۳).

سازگاری و هم‌کاری بین سامان‌های سازه‌ای، حفظ شود. سیستم جدید، باید به‌قدری صلب باشد که بتواند پیش از آن‌که تغییرشکل‌ها و تغییرمکان‌های افقی‌اش، به سازه‌ی موجود و چارچوب بنا، آسیب‌های جدی وارد آورد، نیروهای لرزه‌ای را تحمل نماید. در این نگرش، که آن را «اصلاح کلی سیستم سازه» هم می‌خوانند، ساختار بر اساس الزامات طرح که اغلب بر مبنای تغییرمکانِ هدفِ اعضاءِ سازه‌ای، و غیرسازه‌ایِ موجود که ظرفیت کم‌تری دارند، تعیین می‌گردد[11] (محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۳۳و۳٤) (نگاره‌ی ٤). راه‌کارهای معمول در این روی‌کرد، عبارت‌اند از؛ افزایش دیوار سازه‌ای، بادبندهای فولادی، و جداگرهای لرزه‌ای.

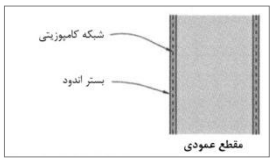
علاوه بر مطالبی که ذکر آن رفت، از آن‌جا که وزنِ کم‌ترِ ساختمان، به‌معنای نیروهای کم‌ترِ لرزه‌ای خواهد بود، معماران و مهندسان باید صرف‌نظر از میزان مداخله‌ای که جهت مقاوم‌سازی در بنا می‌کنند، همواره تلاش داشته باشند تا از وزن ساختمان بکاهند[12].

## ۵. مقاوم‌سازی با کامپوزیت‌ها

برای مقاوم‌سازی بنا با روش ارتقاءِ سازه موجود، گستره‌ی گسترده‌ای از پیش‌نهادها، وجود دارد. به‌عنوان مثال، لفافه‌ای از ساخت‌مایه‌ی کامپوزیت، به‌دور ستونی بتنی، می‌تواند سبب افزایش محدودشدگی، مقاومت برشی، و شکل‌پذیری آن شود (نگاره‌ی ۵)؛ هم‌چنین، در مقاوم‌سازی دیوارهای برشی با مصالح بنایی یا بتن غیرمسلح، می‌توان مواد کامپوزیت را چون روکشی در راستای افزایش مقاومت درون‌صفحه‌ای و هم برون‌صفحه‌ای آن، به‌کار برد. این روش، نوعی پانل ساندویچی ایجاد می‌کند که توانش پوشش دهانه‌ی عمودی بین دیافراگم‌های طبقات را دارد (همان: ۲۳۷و۲۳۸) (نگاره‌ی ۶). شبکه‌های کامپوزیتی که از برخورد مواد مرکب، در دو و یا سه جهت ایجاد می‌شوند، از دیگر محصولاتی‌اند که در تقویت سازه‌ها، کاربرد دارند -این فراورده، جهت مسلح نمودن بتن و بسیاری



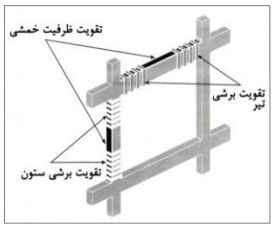

**نگاره‌ی ۵.** پوششی از مواد مرکب به‌دور ستون. (مأخذ: چارلستون، ۱۳۸۹: ۲۳۷).




**نگاره‌ی ۶.** روکش کامپوزیتی برای تقویت دیوار با مصالح بنایی (مأخذ: چارلستون، ۱۳۸۹: ۲۳۸).

[ Downloaded from bsnt.modares.ac.ir on 2024-05-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23224991.1392.3.1.1.8 ]




**نگاره‌ی ۷**- بهسازی با ورق‌های مواد ترکیبی (مأخذ: محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۶۲).

کاربردهای دیگر مناسب است (گروه مؤلفان، ۱۳۸۵: ۵۳٤).

زلزله‌های اخیر در مناطق شهری، آسیب‌پذیریِ سازه‌های قدیمیِ مصالحِ بناییِ مرسوم، و حتی سازه‌های بتن مسلح را به‌علت تغییرشکلِ لرزه‌ای، نشان داده‌اند. با دقت بر روی اتصال تیر به ستون؛ مقاومت برشی کم، شکل‌پذیری خمشی کم، هم‌پوشانیِ کمِ میل‌گردهای طولی و در بیش‌ترِ مواقع، اتصالات ضعیف لرزه‌ای، مشاهده گردید. در عین حال، در موارد متعددی از طراحی، کاستیِ ظرفیتِ خمشی، دیده شد. پژوهش‌گران، نشان داده‌اند که در ناحیه‌ی مفصل خمیری، کرنشِ گسیختگیِ بتن، و شکل‌پذیری کلی، افزایش می‌یابد. کارایی ورقه‌های مواد ترکیبی الیافی، در افزایش شکل‌پذیری توسط آزمایش‌های فشاری-کششی، ثابت شده است. به‌همین دلیل، این راه‌کار برای بالا بردن نیروهای محدود، در نواحی مفصل خمیری، و در سرتاسر ستون‌ها، و هم دهانه‌ی تیرها، استفاده می‌گردد (نگاره‌ی ۷). مواد پیش‌رفته‌ی ترکیبی با تقویت‌کننده‌ی الیاف، از نظر فنی، مؤثرتر و بسیار اقتصادی‌تر از طوق‌های فولادیِ مرسوم، هستند. در اثر عمل‌کردِ تسمه‌های الیافیِ کامپوزیت، خرابیِ بتن در کرنش‌های بالاتر، اتفاق خواهد افتاد. فشار جانبی جذب‌شده توسط کامپوزیت در اثر نیروی محوری بیش‌تر، مانند نیروی جانبی برای تحمل ظرفیت، مقاومت فشاری بتن را هم در نواحی هسته‌ای و هم پوسته‌ای، افزایش می‌دهد. محدوده‌ی جانبیِ تقویت‌شده با مواد مرکب، تکیه‌گاه اضافی را برای قیدهای میل‌گردهای طولی ستون بهسازی‌شده، ایجاد خواهد نمود (محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۶۲). در کار پژوهشی گسترده‌ای که در انگلستان انجام گردید، اثبات شد که به‌کارگیری صفحات کامپوزیتی با فیبر کربن، نسبت به صفحات فلزی، اقتصادی‌تر است. می‌توان از صفحات مصالح ترکیبی با الیاف کربنی، برای افزایش مقاومت خمشی و برشی سازه‌ها، حل مشکلات تغییرمکان در ساختمان‌ها، تقویت آن‌ها در برابر بارهای ارتعاشیِ ناشی از زلزله و باد، استفاده کرد. علاوه بر ساخت سازه‌های تمام‌کامپوزیتی در صنایع گونه‌گون -ازجمله صنعت ساختمان- کامپوزیت‌ها برای مقاوم‌سازی و ترمیم سازه‌های چوبی، فلزی، و بتنی، به‌کار گرفته می‌شوند. استفاده از این مواد برای تقویت و احیاءِ پل‌ها و ساختمان‌ها در اروپا، امریکا، کانادا و آسیا، به فعالیتی سودآور مبدل شده، و جای روش‌های سنتیِ تعمیر و تقویت را گرفته است. امروزه، کاربرد عمده‌ی کامپوزیت در صنعت ساختمان، استفاده از صفحات پلاستیک تقویت‌شده با الیاف کربن، به‌صورت پالترود شده یا الیاف پیش‌آغشته، برای افزایش ظرفیت خمشی و برشی سازه‌های موجود است. این مواد، علاوه بر استحکام و مقاومت، از نظر هزینه هم قابل رقابت با مواد سنتی هستند. صفحات کامپوزیتی که ضخامت آن‌ها از چند میلی‌متر بیش‌تر نیست، و اغلب به‌وسیله‌ی کشش‌رانی، تولید می‌گردند، با چسب‌هایی مستحکم و مناسب، به سطح بتن چسبانده می‌شوند. این ورقه‌های مرکب، پوشش مناسبی برای ایزوله کردن سازه‌های آبی از محیط خورنده‌ی مجاور خود، هستند. هم‌چنین، از آن‌ها برای تعمیر و تقویت سازه‌های آسیب‌دیده در اثر زلزله، و یا ناشی از خوردگی آب‌های یون‌دار، و هم استحکام‌بخشی به ساختمان‌هایی که ساخته شده‌اند، استفاده می‌گردد (گروه مؤلفان، ۱۳۸۵).

از آن‌جا که این پژوهش قصد دارد نقش مواد ترکیبی در بهسازی لرزه‌ای را به‌تصویر بکشد، در ادامه، امکان استفاده از کامپوزیت‌ها، به‌منظور پاسخ‌گویی مطلوب به امر مقاوم‌سازی در ساختمان‌های بتنی و بنایی، به‌عنوان تقویت‌کننده‌ی ضعف‌های عناصر سازه‌ای -مانند ستون و تیر و دال و جز این‌ها- به‌صورت مجزا، و با تحلیل‌های دقیق، ارائه می‌گردد.

### ۵-۱. ترمیم و بهسازی لرزه‌ای بناهای بتنی

ترمیم، نگاه‌داشت، و بهسازی لرزه‌ای بتن، با توجه به چه‌گونگی خرابی، خسارت و نقص در سازه‌های بتنی، بررسی می‌شود[۱۳]. عناصر موجود سازه که بارها را تقسیم می‌کنند، و نوع روش بهسازی، باید ارزیابی شده، و جزئیات و روش‌های اجرای آن، به‌طور دقیق در طرح لحاظ شود.

#### ۵-۱-۱. حاجت بتن به بهسازی و نگاه‌داشت

مواردی که به‌موجب آن، بتن نیاز به بهسازی پیدا خواهد کرد، تحت چهار عنوان می‌گنجند؛ پوسیدگی، آسیب‌دیدگی، نواقص، و تغییر کاربری یا تصحیح آئین‌نامه. بتن، زمانی که در محیط‌های خطرناک قرار می‌گیرد، خورده می‌شود. بتن اشباعی که در معرض دوره‌های یخ‌زدن و آب‌شدن، قرار گیرد هم ممکن است به



[ Downloaded from bsnt.modares.ac.ir on 2024-05-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23224991.1392.3.1.1.8 ]

پوسیدگی دچار شود. نفوذ کلراید از نمک‌های بدون یخ و آب دریا، کربناسیون بتن و عمق پوشش ناکافی آن، باعث خوردگی میل‌گرد می‌گردد و انبساطِ برآمده از خوردگی، سبب ترک‌خوردگی و متورق شدن بتن خواهد شد. اغلب، آسیب‌دیدگی به‌علت آتش‌سوزی، زلزله، تخریب‌های شیمیایی، بارگذاری‌های افزون بر توان باربری، ضربه، یا نشست پی، منجر به شکست فوری، پوسیدگی، ترک‌خوردگی، و یا گسیختگیِ کاملِ عضو یا سازه‌ی بتنی می‌شود. نواقصِ ناشی از طراحی، جزئیات نامناسب، یا اجرا با مصالح نامطلوب، باعث کاهش توان باربری در ساختار، خرابی زودهنگام یا پی‌آمدهایی در شکل ظاهری بنا می‌گردد. وقتی که سازه، برای کاربری‌های جدید، در نظر گرفته شود، بارگذاری‌ها تغییر می‌کنند. ارزیابی مورد نیاز و اصلاح ساختار، به این دگرگونی‌ها بستگی دارد. در بعضی موارد هم، افزایش درجه‌ی ایمنیِ موردِ نظرِ آئین‌نامه‌ی ساختمانی، سازه‌های موجود را ملزم به بهسازی می‌نماید (محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۲۶و۲۷).

**۵-۱-۲. الگوهای گسیختگی بتن مسلح**

برای طراحی مناسب بهسازی لرزه‌ای سازه‌ی موجود، لازم است فعالیت لرزه‌ای و الگوهای گسیختگی، بررسی گردند. برای قاب‌های بتن مسلح، دو مدل برای اعضاءِ عمودی مطرح‌اند؛ یکی، گسیختگیِ برشیِ ستون، و دیگری، گسیختگیِ محدود ناحیه‌ی مفصلِ خمیری. مواردی هم برای گسیختگی در عناصر افقی وجود دارد.

بحرانی‌ترین مدل -که گسیختگی برشی ستون است- در جایی که ترک‌های مایل، باعث خُرد شدن پوشش بتن و جدا شدن یا باز شدن میل‌گردها می‌شود، صورت می‌پذیرد. برای پیش‌گیری از این گسیختگیِ ترد، ستون باید ظرفیت برشی را، هم در دو انتهایش -که منطقه‌ی مفصل پلاستیک است و در آن قسمت ظرفیت برشی بتن با افزایش شکل‌پذیری کاهش می‌یابد- و هم در بخش میانی آن -بین مفصل‌های خمیریِ خمشی و مفصل داخل ستون موجود- تضمین نماید. الگوی دیگر، گسیختگی محدود ناحیه‌ی مفصل خمیری -جایی که پس از ترک خمشی پوشش بتن خُرد و شکسته می‌شود- است. درعناصر افقی، گسیختگی، به‌علت برش، نزدیک بودن به ناحیه‌ی مفصل خمیری، و هم در اثر ظرفیت خمشی‌کم در بالا و پایین تیرها، رخ می‌دهد (همان:۵۷ و۵۸).

**۵-۱-۳. بهسازی نابسامانی‌های موضعی**

به‌تازگی، روی‌کرد تقویت موضعی در مقاوم‌سازی لرزه‌ای بر روی ستون‌ها، اتصالات تیر به ستون، و اتصالات دال به ستون، متمرکز شده است. تیرها و دیوارها، به‌طور معمول، به‌عنوان اعضای بحرانی در سازه‌ها، به‌شمار نمی‌آیند و به این جهت، آن‌چنان موضوع تحقیق قرار نمی‌گیرند. پی‌ها هم هرچند قسمت مهمی در بهسازی لرزه‌ای محسوب می‌شوند، اما به‌دلیل مشکلاتِ آزمایشِ درجا، کم‌تر مورد بررسی واقع می‌شوند. در ادامه، نقش طوق‌های کامپوزیتی با الیاف کربن در مبحث اصلاح موضعی ستون تدقیق گردیده، و سپس استفاده از صفحات مواد مرکب در تقویت تیر و دال بتنی مطالعه می‌شود. آن‌گاه، پیش‌تنیدگی با ورق‌های کامپوزیتی، بحث پیرامون میله‌هایی از مصالح ترکیبی، و تقویت بتن با مواد مرکب الیافی، مورد مداقه قرار می‌گیرد.

**۵-۱-۳-۱. اصلاح موضعی ستون**

از کاربردهای شایع و موفق تقویت و یا بازسازی اجزاءِ سازه‌ای به‌وسیله‌ی مواد کامپوزیتی، تقویت ستون است. این مصالح، نه‌تنها برای تقویت لرزه‌ای و افزایش باربری ستون، به‌کار می‌روند، بلکه جهت جلوگیری از خوردگی ستون در محیط‌های خورنده هم مورد استفاده قرار می‌گیرند. در راستای تحقق این اهداف، ورقه‌های نازک کامپوزیتی به‌صورت دورپیچ، به پیرامون ستون، چسبانده می‌شوند (گروه مؤلفان، ۱۳۸۵).

پاسخ یک ستون در قاب ساختمان، می‌تواند توسط ترکیبی از بار محوری، خمشی، برشی، و پیوستگی مهاری، صورت پذیرد. به‌طور گسترده‌ای، پذیرفته شده که خمش، کنترل کننده‌ی سازوکار ستون است، هرچند برای جزئیات و تناسبات در بنای موجود، ظرفیت تغییرشکل خمشی کافی نیست. به‌علاوه، این موضوع که ستون‌ها، در قاب ساختمان و در مقایسه با تیرها، نباید کاستی از خود بروز دهند - مگر این‌که دیوارها در تمام ارتفاع برای کنترل مکانیسم طبقات آماده باشند- هم مورد قبول است. بنابراین، افزایش مقاومت در خمش، برش، و پیوستگی مهاری، ضروری‌ست، به‌طوری که ستون در محدوده‌ی کشسان باقی بماند. بیش‌ترِ آزمایش‌های تحقیقاتیِ اخیر، کارایی لفافه‌های کامپوزیتی را برای بهسازی ستون‌ها، تأیید کرده‌اند[۱۴] (محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۴۲).

[ Downloaded from bsnt.modares.ac.ir on 2024-05-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23224991.1392.3.1.1.8 ]

**۵-۱-۳-۲. تقویت تیر و دال بتن مسلح**

دامنه‌ی استفاده از کامپوزیت‌ها برای تقویت و تعمیر سازه‌ها، به عناصری مانند تیر و دال هم کشیده شده است. به‌منظور تقویت خمشی تیرها و دال‌ها، صفحات مرکب را به زیر عضو، در جاهایی که لنگر مثبت است، و یا بالای عضو، در جاهایی که لنگر منفی است، می‌چسبانند. هم‌چنین در راستای تقویت برشی تیرها، ورقه‌های کامپوزیتی، در پهلوی تیر تعبیه می‌شوند. در سال‌های اخیر، افزایش قابلیت بهره‌برداری از پوشش‌های کامپوزیتی در اجزاءِ خمشی جهت کاهش خیز، و کنترل ترک‌خوردگی، مورد توجه قرار گرفته است[۱۵] (گروه مؤلفان، ۱۳۸۵: ۵٤۶).

پیش‌تنیدگی به‌وسیله‌ی ورقه‌های تقویتی، چندین مزیت کاربردی دارد؛ آن‌ها در بستن ترک‌های ایجادشده در سازه‌های خسارت‌دیده مؤثر هستند؛ از این‌رو، توان بهره‌برداری از سازه‌ی تقویت‌شده را افزایش می‌دهند. پیش‌تنیدگی، هم‌چنین تنش در میل‌گردها را کاهش می‌دهد، بنابراین، زمانی که فولاد به‌علت خوردگی، ضعیف شده باشد، این مورد برتری به‌شمار می‌آید. دیگر مزیتِ مهمِ پیش‌تنیدگی، کاهش تمایل ترک به ورقه‌ورقه شدن است[۱۶].

در سازه‌های بتنی، اغلب، خوردگیِ میل‌گرد، عامل بزرگی برای خرابی سریع ساختارهاست. خوردگی میل‌گردها، سبب قلوه‌کن شدن بتن می‌شود. علاوه بر این، تجهیزات جدید نظارتی که اندازه‌گیری‌های مغناطیسی را انجام می‌دهند، حاجت به محیطی غیرمغناطیس دارند. این امر باعث توسعه‌ی کاربرد میله‌های مواد مرکب با الیاف می‌شود -که غیرمغناطیس هستند و در طبیعت دچار خوردگی نمی‌شوند- هرچند این میله‌ها، شکل‌پذیری کم‌تر و عمل‌کرد خمیری غیرقابل پیش‌بینی دارند. چالش اصلی دیگر در میله‌های کامپوزیت، مقاومت پیوستگی کم‌تر آن‌ها است. عملکرد عضو بتنی مسلح شده با کامپوزیت میله‌ای، بستگی زیادی به پیوستگی بتن و میل‌گردهای کامپوزیت دارد. مقاومت پیوستگی، توسط مهارهای مکانیکی و پوشش سطح میل‌گرد با ماسه، بهبود می‌یابد (محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۶۵و۶۶).

بتن تقویت‌شده با الیاف، دارای سیمان پرتلند استاندارد و الیاف کوتاه است. این رشته‌ها، باعث کاهش ترک‌خوردگی و افزایش شکل‌پذیری شده، و گاهی حتی جای‌گزین میله‌های فلزی می‌گردند. بتن تقویت‌نشده، دارای استحکامِ کششیِ کم، و هم‌چنین کرنشِ کششیِ تخریبِ کوچکی است. تقویت با الیاف، قابلیت تغییرشکل و چقرمگی بتن را با تحمل‌بخشی از بار و قفل کردن ترک‌ها، افزایش می‌دهد. هنگامی که تخریب بیش‌تر می‌شود، رشته‌ها با پل زدن بین ترک‌ها، بار و کرنش را تحمل می‌کنند. استحکام بتن تقویت‌شده با الیاف، به‌طور خطی با درصد حجمی الیاف، افزایش می‌یابد. با این حال، قابلیت کاری، با افزایش درصد حجمی ترکیب الیاف، کاهش می‌یابد. بنابراین، یک حد بالایی برای مقدار الیافی که می‌تواند به بتن افزوده شود، وجود دارد (Tong and Silva, 2001). هم‌چنین، میله‌های کامپوزیت الیافی، به‌عنوان میل‌گرد در دال‌ها، به‌صورت شبکه‌هایی از مواد ترکیبی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. توان باربری دال‌های مسلح‌شده با میله‌های کامپوزیت الیافی، برابر یا بیش‌تر از توان باربری دال‌هایی‌ست که با میل‌گرد فولادی مسلح می‌شوند. از این‌رو، جهت تقویت دال‌ها با استفاده از مواد ترکیبی میله‌ای، تغییرات نامحسوسی برای روابط ریاضی آئین‌نامه‌ای، لازم می‌آید (محبی‌مقدم، ۱۳۸۷).

امروزه، کاربرد پوشش‌های کامپوزیت الیافی، به‌عنوان تقویت و یا تعمیر اجزاءِ سازه‌ای دیگری به‌جز موارد یادشده هم مورد توجه دست‌اندرکاران صنعت ساخت‌وساز قرار گرفته است، که برخی از مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌انداز؛ تقویت لوله‌های بتنی و فولادی، تقویت سازه‌های ساحلی و سکوهای دریایی، تقویت مخازن فولادی و بتنی، تقویت تیرها و ستون‌های چوبی، تقویت سازه‌های مقاوم در برابر انفجار، تقویت و تعمیر دودکش‌های ساخته‌شده از بتن مسلح یا مصالح بنایی، تقویت و تعمیر ساختمان‌های قدیمی و باستانی، و مقاوم‌سازی تونل‌ها (گروه مؤلفان، ۱۳۸۵: ۵٤۷).

**۵-۱-٤. جمع‌بندی این بخش**

از مباحثی که مورد مداقه واقع شد، می‌توان نتیجه گرفت که کاربست کامپوزیت‌های پلیمری، گزینه‌ای مطلوب جهت ترمیم و تقویت سازه‌های بتنیِ خسارت‌دیده، یا ضعیف است، هرچند، موفقیت‌آمیز بودن این روش، به چندین عامل بستگی دارد. مسائل فنی مربوط به مواد ترکیبی با زمینه‌ی پلیمر، اساساً از دیگر مصالح ساختمانی متفاوت است، بنابراین ادراک بنیادین از ویژگی‌های عمل‌کردی آن‌ها، بسیار ضروری است؛ روش‌های طراحی این‌گونه مواد مرکب، در حال توسعه است، از این‌رو، تدوین آئین‌نامه‌ای در این خصوص، لازم است. دست‌رسی



[ Downloaded from bsnt.modares.ac.ir on 2024-05-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23224991.1392.3.1.1.8 ]

به این ساخت‌مایه‌ها هم اهمیت دارد و لازم است موضوع تولید در کشور، یا وارد نمودن آن، مورد بررسی دقیق قرار گیرد. کامپوزیت‌های پلیمری، قیمت بالایی دارند، اما هزینه تعمیر با استفاده از این روش، بسیار ارزان‌تر، سریع‌تر، و پایدارتر خواهد بود[۱۷].

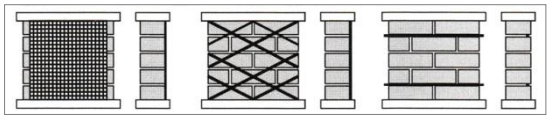
**۵-۲. بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های با مصالح بنایی**

ساختمان‌های مصالح بنایی را بر اساس توانایی، و سیستم مقاوم لرزه‌ای، می‌توان به دو دسته، منقسم داشت. نخست، ساختمان‌های با مصالحِ بناییِ متعارف که بدون بهره‌گیری از محاسبات مهندسی و به‌صورت مرسوم ساخته می‌شوند. سقف این بناها، آجری قوسی، طاق ضربی، چوبی، و جز این‌هاست، و عمل‌کردشان، صلب یا انعطاف‌پذیر است. این ساختمان‌ها، عناصر مقاوم لرزه‌ای خاصی نداشته، و عموماً، به‌واسطه‌ی شکلِ نامناسبِ سازه‌ای، ضعف مصالح، و نحوه نامطلوب اجرا، در برابر زلزله، ضعیف عمل می‌کنند. دوم، ساختمان‌های مصالحِ بناییِ کلاف‌دار که در اجرای آن‌ها، برخی اصول طراحی مقاوم لرزه‌ای -از جمله استفاده از عناصر مقاوم یا کلاف‌های افقی- رعایت می‌شود. در نتیجه، نمایش آن‌ها در برابر زلزله، از ساختمان‌های مصالح بنایی مرسوم، بهتر است. سقف این بناها، آجری، تیرچه‌بلوک، چوبی، و جز این‌ها بوده، و عمل‌کردشان، صلب یا انعطاف‌پذیر است. خرابی ساختمان‌های بنایی، ۶۰ درصد سهم مرگ و میر در اثر پدیده‌ی زلزله را به‌خود اختصاص داده است (محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۱۱۱).

در این بخش از گزارش، به‌کارگیری کامپوزیت‌ها در راستای بهسازی لرزه‌ای بناهای با مصالح بنایی، تحت دو عنوان پوشش سیمانی مسلح‌شده، و هم تقویت برشی دیوارها با استفاده از کامپوزیت‌های الیافی، مورد مداقه و تحلیل قرار گرفته، و در پایان آن، جمع‌بندی ارائه می‌گردد.

**۵-۲-۱. طوق سیمانی مسلح‌شده**

زمانی که تقویت دیوار، به‌منظور بهسازی کل سازه، ضروری، و کارهای بنایی قابل اجرا است، از این روش که شامل لفافه‌های سیمانی مسلح روی یک یا هر دو وجه دیوار می‌شود، استفاده می‌شود. مصالح تقویت‌کننده



**نگاره‌ی ۸.** راه‌کارهای مختلف تقویت سازه‌های با مصالح بنایی توسط کامپوزیت‌های الیافی (مأخذ: محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۱۵۱).

سیمان، ممکن است شبکه‌های میل‌گردی، کامپوزیت‌ها با الیاف کربنی، و یا دیگر انواع مواد ترکیبی باشد. برای تعیین سختی جانبی دیوار تقویت‌شده با پوشش سیمان مسلح، از معادله‌ی زیر استفاده می‌گردد؛

$$K_{e,eq} = K_{e,w} + K_{e,coat}$$

که در آن $K_{e,eq}$، سختی جانبی دیوار معادل، $K_{e,w}$، سختی جانبی دیوار بنایی اصلی، و $K_{e,coat}$، سختی جانبی پوشش سیمان مسلح‌شده است (همان: ۱٤٤-۱٤٦).

**۵-۲-۲. تقویت برشی با کامپوزیت‌های الیافی**

یکی از کاربردهای سازه‌ای کامپوزیت‌های الیافی، تقویت ساختمان‌های با مصالح بنایی‌ست. مقاوم‌سازی این نوع بناها، در کشورهای مستعدِ وقوعِ زمین‌لرزه، بسیار قابل توجه است. هم‌چنین، روی‌کرد یادشده، برای ساختمان‌های با مصالح بنایی که حاجت به ترمیم، و یا تغییرات در کاربری دارند، مناسب است. سه راه‌کار متفاوت برای این منظور، پیش‌نهاد می‌شود. یک روش تقویت، به‌کارگیری میله‌های مواد مرکب رشته‌ای در درزهای افقی دیوار آجری است؛ راه دیگر، نصب کردنِ نوارِ موادِ ترکیبی، چون خرپا است و واپسین روش، استفاده از ورق‌های کامپوزیت الیافی به‌صورت یک سیستم مشبک خارجی روی سطح دیوار آجری است[۱۸] (نگاره‌ی ۸).

**۵-۲-۳. جمع‌بندی این بخش**

سیمان مسلح‌شده با مواد ترکیبی الیافی را می‌توان جهت بالا بردن مقاومت جانبی دیوار با مصالح بنایی، به‌کار برد. این امر، در مواردی که تقویت دیوار در راستای مقاوم‌سازی کل سازه ضروری است، مؤثر می‌افتد. هم‌چنین، صفحات کامپوزیت‌های الیافی، برای تقویت دیوارهای بنایی، با سهولت مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. آزمایش‌ها روشن می‌سازند که رشته‌های موازی با بندهای دیوار بنایی، توانِ باربریِ آن، تحت تأثیر نیروی برشیِ صفحه‌ای را افزایش می‌دهند.

## سخن پایانی

زمین‌لرزه، با تخریب زیرساخت‌ها و سرپناه‌ها، معیشت بشر را مختل ساخته، و می‌تواند صدمات انسانی، اجتماعی و اقتصادیِ گسترده‌ای را در جوامع موجب شود. با توجه به زلزله‌خیزبودن فلات ایران، بهسازی لرزه‌ایِ ساختمان‌های موجود، بسیار حائز اهمیت است. بیش از ۹۰ درصد بناهای کشور، حاجت به تقویت سازه‌ای دارند. در سال‌های اخیر، با تکیه بر

[ Downloaded from bsnt.modares.ac.ir on 2024-05-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23224991.1392.3.1.1.8 ]

مطالعات تحلیلی، و دست‌آوردهای آزمایشگاهی، و هم تجارب زلزله‌های مخرب پیشین، مسأله‌ی طراحی سازه‌های مقاوم در برابر لرزش زمین، پیش‌رفت‌های مناسبی در کشور داشته است.

نتایج این تحقیق، نشان می‌دهند که در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ی ساختمان‌های موجود، اگر طی ارزیابی‌های صورت پذیرفته، اصلاحِ موضعیِ اجزاءِ، نسبت به بهبودِ کلیِ سیستمِ سازه، راه‌کار مطلوب‌تری شناخته شود، می‌توان از کامپوزیت‌ها در این مسیر بهره برد. آزمایش‌های تحقیقاتی اخیر، کارایی مواد مرکب را تأیید نموده‌اند. مشخصات مهم کامپوزیت‌های پلیمری، جهت ترمیم و تقویت سازه، شامل ضدخوردگی بودن، سرعت و آسانی نصب و اجرا، وزن پایین در عین مقاومت بالا، و هم زیبایی ظاهری است. پیش از انتخاب مواد ترکیبی به‌عنوان تقویت کننده‌ی سازه‌ای توسط معماران و مهندسان، بسیار مهم است که آن‌ها، ادراکی اساسی از ویژگی‌های عمل‌کردیِ آن ساخت‌مایه‌ها داشته باشند؛ زیرا مسائلِ فنیِ مربوط به کامپوزیت‌ها، به‌طور بنیادین، با دیگر مصالح تمایز دارد. اگرچه در حال حاضر، هزینه‌ی مواد ترکیبی، تا حدی بالا است، اما رشد شتابان استعمال آن در سال‌های اخیر، امید مصرف آن، هم‌پای مصالح رایجی چون فولاد و بتن در صنعت ساخت‌وساز را به‌شرط به‌کارگیری تدابیری نوین، و روش‌های تولید کم‌هزینه‌تر، و هم تولید انبوه، زنده نگاه می‌دارد.

این پژوهش، مشخص ساخت که با کسب دانش در زمینه‌ی ساخت‌مایه‌های نوینی نظیر کامپوزیت‌ها، و روش‌های کاربست آن در بهسازی لرزه‌ای بناهای ضعیف موجود، می‌توان ساختمان‌های کشور را در مقابل لرزش زمین، تقویت نمود تا در آینده، دیگر نظاره‌گر بی‌خانمان شدن برخی از هم‌وطنانمان و از دست دادن آنان، پس از وقوع پدیده‌ی زمین‌لرزه، نبوده، و نقشی مطلوب و مؤثر در ساخت هرچه بهترِ کشور، و ایجاد شرایطی مطلوب و مطبوع‌تر برای نسل‌های آینده، ارائه دهیم. این مسئولیتی ست بسیار سنگین بر دوش سازندگان این سرزمین، که فردای آن را چه‌گونه خواهند ساخت. افراد فعال در صنعت ساخت‌وساز، می‌توانند نجات‌دهنده‌ی هزاران تن از فرزندان این خاک در موقعیت‌هایی هم‌چون زلزله‌های ویران‌گر باشند؛ آن‌گاه که با ساخت بناهای مقاوم، سرپناهی ایمن برای مردم این کشور فراهم آورند، تا دیگر زلزله‌ای مانند بم، ده‌ها هزار خانه و خانواده‌های ساکن در آن را متلاشی نسازد.

## پی‌نوشت‌ها

۱. نیروهای پیوندی، نقش مهمی را در انتقال بار به‌عهده دارند. این نیروها، باید به حد کافی بزرگ باشند تا از جدا شدن تقویت‌کننده از زمینه جلوگیری کنند. به‌طور کلی، ماده‌ی زمینه علاوه بر آن‌که تقویت‌کننده‌ها را در الگویی منظم با یک‌دیگر مرتبط می‌سازد، با تقسیم تنش بین آن‌ها، از تخریب‌شان نیز جلوگیری به‌عمل می‌آورد (Mallik, 1998).

۲. از آن‌جایی که خواص مکانیکی تقویت‌کننده، بسیار بیش‌تر از زمینه است، بنابراین هرچه نسبت فاز ناپیوسته بالاتر باشد، خواص مکانیکی چندسازه حاصل، ارتقاءِ خواهد یافت؛ با این حال، در عمل، برای بروز تأثیرات مثبت تقویت‌کننده، باید کاملاً با زمینه، پوشش داده شود.

۳. کاربرد ساختارهای کامپوزیت‌های فلزی، صرفه‌جوییِ نزدیک به ۲۰ درصد نسبت به فلزات را سبب می‌شود. علاوه بر مداقه جهت گزینش مواد زمینه، باید سازگاری شیمیایی آن با تقویت‌کننده را هم درنظر داشت. فلزاتی که به‌عنوان فاز پیوسته در این نوع کامپوزیت مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ آلومینیوم، تیتانیوم، منیزیم، آلیاژهای مس و سوپرآلیاژها هستند (William and Hashemi, 2006).

٤. در حالت کلی، در کامپوزیت‌های زمینه‌پلیمری، افزایش تقویت‌کننده، باعث بالا رفتن مدول کشسانی، تنش تسلیم، استحکام کششی و مقاومت به خزش می‌شود. در مواد مرکب با زمینه‌ی فلزی، افزایش فاز ناپیوسته، سبب بالا رفتن تنش تسلیم، استحکام کششی و مقاومت به خزش، و در نهایت، در مواد کامپوزیتی زمینه‌سرامیکی، باعث افزایش طاقت خواهد شد (سلطانی، ۱۳۸۷).

۵. تخته‌ی چندلایه، مواد ترکیبی چوب‌پلاستیک است که از زمینه‌ی پلی‌اتیلن و الیاف چوب قابل بازیافت تشکیل شده و نوعی از کامپوزیت‌های با الیاف طبیعی محسوب می‌شود؛ و آربوریت، از ترکیب زمینه‌ی ملامین- که نوعی پلاستیک گرماسخت است- و الیاف چوب، حاصل می‌آید.

۶. در مصالح مرکب لایه‌ای، موادی که خواص متفاوتی در هنگام اعمال تنش، در جهات مختلف دارند، روی یک‌دیگر چیده، و اتصال داده می‌شوند. تخته‌ی چندلایه، یک مثال ساده از آن است. برخی مزایای این‌گونه ساخت‌مایه‌های ترکیبی، عبارت است از؛ سرعت تولید بالا، قیمت ساخت ارزان، و انعطاف‌پذیری در ساخت آشکال پیچیده. ماده‌ی مرکب با صفحات ساندویچی، شبیه به کامپوزیت لایه‌ای بوده، و شامل دو لایه‌ی خارجیِ مستحکم و مشابه هم است، که هسته‌ی ضعیف‌تر -با چگالی کم‌تر- را احاطه کرده‌اند (سلطانی، ۱۳۸۷: ۱۷و۱۸).

۷. سطحی را که در امتداد شکست پوسته‌ی زمین، در اثر زلزله قرار می‌گیرد، گسل زلزله گویند. نقطه‌ای بر روی سطح گسل را که به‌عنوان نقطه‌ی آزاد شدن انرژی تلقی می‌شود، کانون زلزله نامند. تصویر عمودی فاصله‌ی کانون تا سطح زمین که به عمق کانونی یا عمق زلزله موسوم است، مرکز زلزله را تعیین می‌نماید. به‌هنگام شکافته شدن محل گسل، امواج لرزه‌ای از کانون زلزله، به‌صورت شعاعی -و به‌شکلی شبیه به بیضی- در تمامی جهات منتشر می‌شوند (چارلستون، ۱۳۸۹: ۸و۹).

۸. شباهت‌های بیش‌تری هم بین نیروهای ثقلی و اینرسی وجود دارد. همان‌گونه که می‌توان فرض نمود مجموع نیروهای ثقلی، به یک نقطه از جسم -موسوم به مرکز جرم- وارد می‌شود، می‌توان اذعان داشت که برایند نیروهای اینرسی هم، به همان نقطه وارد می‌آید.



[ Downloaded from bsnt.modares.ac.ir on 2024-05-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23224991.1392.3.1.1.8 ]

۹. زلزله‌ی سال ۱۹۹۵ در کوبه‌ی ژاپن، نشان داد که بناهای غیرشکل‌پذیرِ ساخته‌شده پیش از اواسط دهه‌ی ۱۹۷۰، بسیار آسیب‌پذیرند. این آموزه‌ها، و لطایفی که طی مدل‌سازی‌های رایانه‌ای و برنامه‌های آزمایشی حاصل شد، منجر به بهبود آئین‌نامه‌های موجود، گردیده است (چارلستون، ۱۳۸۹: ۲۲۹). در ایران، پس از زلزله‌ی طبس و نوقان، در سال ۱۳۶۷، نخستین ویرایش آئین‌نامه‌ی ۲۸۰۰، پس از زلزله‌ی منجیل و رودبار، در سال ۱۳۷۸، دومین اصلاح، و پس از زلزله‌ی بم، در سال ۱۳۸٤، سومین بازنگری، منتشر شده است.

۱۰. پیکربندیِ سازه‌ایِ ضعیف، مانند ستون‌های کوتاه یا طبقات نرم، به‌طور معمول، انجام مقاوم‌سازی را ایجاب می‌نماید. طراحی جزئیات ناکارامد، ساخت‌مایه‌های نامرغوب، و هم کیفیت نامناسب ساخت، می‌توانند دلایل دیگر این امر، محسوب گردند.

۱۱. در یک سازه‌ی ناکارامد از نوع قاب بتن مسلح، ممکن است بتوان با الحاق مهاربندی‌های قطریِ فولادی درون قاب، نوعی سازه قاب مهاربندی‌شده مرکب بتنی-فولادی، خلق کرد که مقاومت و شکل‌پذیری‌اش، بهتر شده باشد. گزینه‌ی دیگر این است که چشمه‌ی قاب خمشی، با دیواری از بتن مسلح پر شده، و نوعی دیوار برشی ایجاد گردد. زمانی که چنین روی‌کردهای دگرگون‌کننده‌ای اتخاذ می‌شود، عناصر الحاقی یا پرکننده، باید از شالوده تا بالاترین نقطه‌ی ساختمان، به‌شکلی پیوسته، ادامه پیدا کنند، تا از شکل‌گیریِ طبقه‌ی نرم، جلوگیری به‌عمل آید. در نتیجه‌ی افزایش نیروهای مؤثر بر شالوده، ممکن است لازم باشد که آن را هم بهسازی نمود (چارلستون، ۱۳۸۹: ۲۳۵).

۱۲. برداشتن و حذف عناصر سنگین‌وزن مانند تیغه‌های جداکننده، جان‌پناه‌ها، و دودکش‌های از جنس مصالح بنایی، می‌تواند مداخله‌های ناشی از تقویت لرزه‌ای و هم هزینه‌های آن را کاهش دهد؛ به‌شرط آن‌که کیفیت‌های مطلوب معماری ساختمان، قربانی نشوند.

۱۳. هرساله، میلیون‌ها مترمکعب بتن در سازه‌ها مصرف می‌شود، که بیش‌تر آن، سفارشی یا تهیه‌شده در کارگاه با استفاده از مصالح محلی با کیفیت‌های متفاوت، طراحی‌هایی که مطابق آئین‌نامه‌ها نیست، و فرایندهای ساخت عجولانه که گاهی کیفیت، فدای دست‌یابی به برنامه‌ی مورد نظر می‌گردد، است. بنابراین، ترمیم این نوع سازه‌ها، امری ضروری می‌نماید (محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۲۳).

۱٤. هریس و همکاران‌اش در سال ۱۹۹۸، بهسازی ستون‌های غیرشکل‌پذیر را با کاربست طوق‌های کامپوزیت کربن، بررسی کردند. طرح لفافه‌ها بر اساس فشارِ کافیِ ایجادشده از طریق محصورشدگی، زمانی که کرنش‌های کششی در طوق‌ها را محدود می‌کند، بنا نهاده شد. کامپوزیت‌ها، برای محدود کردن ناحیه‌ی مفصل خمیری خمشی، بدون افزایش مقاومت و سختی، مؤثر بودند (محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ٤۲).

۱۵. میر و کیسر در سال ۱۹۹۱، کارایی صفحات کامپوزیت کربن در تقویت تیرهای بتنی ترک‌خورده را مورد بررسی قرار دادند. منحنی بار-خیز یک تیر مسلح‌شده با یک تیر مسلح‌نشده، مقایسه گردید. نتایج اکتساب‌شده، حاکی از آن است که صفحات کامپوزیتی با ضخامت ۰/۳ میلی‌متر، توان باربری تیر دو متری به ابعاد مقطع ۱۵۰ در ۲۰۰ میلی‌متر را دو برابر می‌کنند (محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ٦٤).

۱۶. دیورینگ در سال ۱۹۹۳، آزمایش‌هایی را روی تیرهای به دهانه‌ی دو متر و شش متر، تحت تأثیر بارگذاری استاتیکی و دینامیکی، به انجام رساند. پیش‌تنیدگی، روی تعداد و عرض ترک‌ها، اثری مطلوب گزارده و اعضاء، عمل‌کرد خستگی‌پذیری مناسبی از خود به‌نمایش گذاشتند. وی نشان داد که تسمه‌های کامپوزیتی، مقاومت خمیری ذخیره (Plastic Reserve Strength) ندارند؛ در نتیجه، بیشینه‌مقاومت خمشی تیر، زمانی حاصل می‌آید که گسیختگی ورق کامپوزیت، هم‌زمان با تسلیم خمیری فولاد رخ دهد (محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۶۵و۶۶).

۱۷. سه روش رایج، جهت اجرای طوق‌های کامپوزیتی با زمینه‌ی پلیمر، عبارتند از؛ پوشش‌های دست‌ساز، ورقه‌های پیش‌ساخته‌ی کامپوزیتی، و اجرای درجا به‌صورت ماشینی (گروه مؤلفان، ۱۳۸۵: ٥٤٨و٥٤٩).

۱۸. نتایج آزمایشاتی که استرافورد و هم‌کاران‌اش در سال ۲۰۰٤ انجام دادند، بیان‌گر این مطلب است که توان باربری دیوارهای بنایی، تحت تأثیر برش صفحه‌ای، در صورت استفاده از کامپوزیت‌های با رشته‌های شیشه، به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد (محبی‌مقدم، ۱۳۸۷: ۱۵۱). در دیوار بنایی، کاربرد کامپوزیت‌های با الیاف شیشه، موجب افزایش نیروی قائم می‌شود، تا جایی که گسیختگی بندهای دیوار از لغزش، به خراب شدن برسد. برای استفاده از ماده‌ی مرکب، مقدار بیشینه‌ای وجود دارد (Tong and Silva, 2001).

## فهرست منابع


- استرانگ، اِی. برنت(۱۳۸۰). **مبانی ساخت چندسازه‌ها**، ترجمه‌ی فریدا دیوسالار و پروین عباچی، تهران، مرکز نشردانشگاهی، چاپ اول.
- چارلستون، اندرو (۱۳۸۹). **طراحی لرزه‌ای برای معماران**، ترجمه‌ی محمود گلابچی و احسان سروش‌نیا. تهران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.
- سلطانی، ن. (۱۳۸۷). **آشنایی با کامپوزیت‌های زمینه‌فلزی، پلیمری، سرامیکی و فرایندهای ساخت**. تهران، انتشارات جهان جام‌جم، چاپ اول.
- گروه مؤلفان (۱۳۸۵). **مصالح ساختمانی**؛ یادنامه‌ی استاد احمد حامی. تهران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.
- محبی‌مقدم، بهروز (۱۳۸۷). **بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود**. تهران، انتشارات فدک ایساتیس، چاپ اول.
- وفامهر، محسن (۱۳۹۱). **تعامل معماری و تکنولوژی**. تهران، انتشارات چپر، چاپ اول.
- Li, Tong and P.F. Silva (2001). **Retrofit of Unreinforced Infill Masonry Walls with FRP**, Portugal, Journal of Composites in Construction.
- Mallik, P.K. (1998). **Fiber Reinforced Composites**. New York, Marcel Dekker Inc.
- Smith, William and Javad Hashemi (2006). **Foundations of Materials Science and Engineering**. McGraw-Hill.
- URL1, http://**www.irancomposite.net**/phpBB3/viewtopic.php?f=3&t=2.
- URL2, http://**www.science.org.au**/nova/059/059key.htm.




[ Downloaded from bsnt.modares.ac.ir on 2024-05-13 ]
[ DOR: 20.1001.1.23224991.1392.3.1.1.8 ]

**Naqshejahan (4)**
Spring & Summer 2013

Received: 13 May. 2012
Accepted: 26 Aug. 2012

# Application of Polymer Matrix Composites in Retrofitting Existing Buildings

▪ **Mahmood Golabchi[1], Mohammad Habibi Savadkouhi[2]**

[1] Professor, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Iran. (*Golabchi@ut.ac.ir*)
[2] Ph.D. Student, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Iran. (*Mohammad.habibi@ut.ac.ir*)

## Abstract:

The issue of earthquake and its destructive effects is constantly confronting human being communities as an extensive challenge. The ground, upon which we are constructing our buildings, is anything but solid. Hundreds of millions of years ago the continents were joined, but now they are dispersing ever so slowly. The idea that buildings are founded on stationary ground is only an illusion. From the viewpoint of geological time, the earth's crust is in a continuous dynamic change. The scientific understanding of this process, known as continental drift or tectonic plate movement, which is the basic cause of most earthquakes, dates back only 100 years. Quakes strike at the heart of a community. When they damage buildings, people and animals are injured and killed. Earthquakes destroy the basic necessities of life, demolishing shelter, ruining food and water supplies and disrupting people's livelihoods. Conversely, buildings that perform well during an earthquake, limit its impact on people and their basic needs. Scientists and building construction experts have strived in order to find the solutions for reducing structures damages which are caused by trembling of the earth and diminishing the casualty rate and also detriments, from some years ago. In our country, Iran, which is located in earthquake zone and has experienced some demolishing quakes before, this matter is more significant and remarkable. Apart from the poorest of communities for whom even partial earthquake protection is unaffordable, most of the disastrous effects of earthquakes are avoidable. Earthquake-resistant construction greatly reduces the rate of victims from a damaging quake, as well as lessening economic losses and disruption to public activities. Seismic retrofitting of existing buildings is of vital and crucial issues of our society. The purpose of rehabilitating is to reduce the vulnerability of a building's inhabitants and the building itself, its structure, non-structural elements and possibly its contents to earthquake damage. To retrofit a building is to improve its seismic performance. One of the appropriate alternatives for enhancing the structural performance of available buildings is employing composites. These materials can be applied in order to increase the confinement, shear strength and ductility of columns and also enhance in-plane shear wall strength as well as out-of-plane resistance. In addition, with taking advantage of this kind of material, the secondary weight which would be added to the primarily structure is going to be significantly reduced and this would act as an optimum approach for rehabilitating the existing buildings.

In this research, firstly the exact definition of composite materials and its components and different kinds are studied. Then, the essence of earthquake and seismic forces in addition to some topics on seismic retrofitting and the essential needs for it are discussed. Eventually, concerning the abilities of composites, employing them as a suitable technique for reconciliation of structural elements of existing buildings, which is one approach of seismic retrofitting, will be proposed with hope for presenting the essential knowledge of appropriate seismic retrofitting with efficient materials to architects and civil engineers in order to diminish the ruins of earthquake effects on structures and as a result, providing the next generations of our country with safer and much more protected circumstances.

**Keywords:** ***Urban Seismic Retrofitting, Nature of Earthquake, Resistance of Structural Elements, Composite Materials, Polymer Matrix Composites.***



[ Downloaded from bsnt.modares.ac.ir on 2024-05-13 ]

[ DOR: 20.1001.1.23224991.1392.3.1.1.8 ]