



## مقایسه نوعی پانل کامپوزیت مسلح نوین با مصالح سنتی بکار رفته در ساخت انواع ساختمان های مسکونی و تاریخی

محمد رضا تابش پور<sup>۱\*</sup>، مهرداد موحدنیا<sup>۲</sup>

۱- استادیار دانشگاه صنعتی شریف، tabeshpour@sharif.edu

۲- دانشجوی دکتری سازه، mehrdad\_movahednia@yahoo.com

### چکیده

استفاده از تکنولوژی های نوین و سبک سازی یکی از مفاهیم علمی و کاربردی در عرصه ایمنی لرزه ای محسوب می شود. مهمترین اهداف در این زمینه کاهش نیروهای جانبی به ساختمان در اثر وقوع زلزله است. استفاده از مصالح سبک به عنوان عنصر سازه ای و نیز غیر سازه ای ما را در رسیدن به این اهداف سوق خواهد داد. با توجه به بررسی های انجام شده استفاده از مصالح ضعیف و شکننده ای مانند آجر سنتی به علت وزن زیاد، مقاومت و شکل پذیری پایین در اثر وقوع زلزله با بیشترین خسارات و تلفات جانی همراه خواهند بود. در حال حاضر بسیاری از این نوع ساختمان های موجود در کشور نیاز به مقاوم سازی دارند و ضروری است که پیش از بروز هرگونه خسارت و یا آسیبی تمهیدات لازم برای جلوگیری از آن پیش بینی گردد. در مقاله حاضر رفتار نوعی پانل مسلح کامپوزیت به عنوان یک تکنولوژی نوین در صنعت ساختمان مورد مطالعه و با مصالح سنتی بکاررفته در اینیه تاریخی مورد مقایسه قرار گرفته است. آزمایشات فراوان انجام گرفته بر روی نمونه های مختلف این نوع پانل، شکل پذیری و مقاومت فشاری و کششی بسیار خوب آنها را در مقایسه با آجرهای فشاری نشان می دهد. در دسترس بودن مصالح اجرایی، وزن بسیار پایین و حداقل زمان اجرای ساخت از دیگر مزایای مهم این پانل های کامپوزیت بوده که می تواند جایگزین مناسبی برای مصالح سنتی موجود در ساختمان های بنایی باشد.

واژه های کلیدی: تکنولوژی نوین، پانل پیش ساخته، کامپوزیت، شکل پذیری، مقاومت، ساختمان بنایی.



## ۱- مقدمه

با دقت در خرابی‌های ایجاد شده در زلزله‌های گذشته می‌توان دریافت که اغلب سازه‌های مصالح بنایی سنتی خسارت قابل ملاحظه‌ای دیده‌اند. مقاومت و شکل پذیری اندک، وزن زیاد و کاهش شدید مقاومت تحت بارهای لرزه‌ای از جمله دلایل شکست اینگونه سازه‌ها می‌باشد. با توجه به آنکه تعداد زیادی از ساختمان‌های مناطق مسکونی در کشور ما با استفاده از مصالح بنایی سنتی ساخته شده است، بررسی آسیب‌پذیری این نوع سازه‌ها از نظر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی دارای اهمیت خاصی می‌باشد. این نوع سازه‌ها معمولاً در برابر زلزله دارای ضعف‌های عمده‌ای می‌باشند. شناخت این ضعف‌ها مقدمه‌ای بر انتخاب روشی مناسب به منظور مقاوم سازی و یا جایگزین نمودن آنها با مصالح نوین صنعتی می‌باشد [۱].

از سوی دیگر شناسایی خواص اولیه مصالح ساختمانی و لزوم کاربرد صحیح و مناسب آن می‌تواند در احداث یک ساختمان ایده‌آل مفید باشد. عدم شناخت خواص مصالح منجر به افزایش ضریب اطمینان و نیز مصرف بیش از اندازه و غیر ضروری آن در ساخت و ساز خواهد شد که نتیجه آن افزایش وزن و حجم مصالح، عدم زیبایی و نظم در نما و نیز هزینه‌های غیر اقتصادی خواهد بود. با توجه به نیاز روزافزون جامعه به احداث ساختمانهای مدرن و کارآمد و استفاده بهینه از حداقل فضاهای موجود و نیز در کنار رشد سریع جمعیت، صنعت و تکنولوژی مصالح ساختمانی باید هر روز متنوع‌تر شده و جوابگوی نیازهای جامعه باشد. در اکثر کشورهای جهان رشد صنعت و تکنولوژی در ساختمان بوضوح مشاهده می‌گردد و مراکز علمی و تحقیقاتی مختلفی به طور پیوسته در پی تدوین استانداردهایی هستند که در دسترس عموم و بخصوص مهندسين و دستگاههای نظارتی قرار گیرد تا با توجه به اساسنامه‌های این استانداردها مصالح موجود بیش از پیش مورد شناسایی قرار گیرد.

در مقاله حاضر سعی شده است با بکارگیری نوعی پانل کامپوزیت مسلح به عنوان یک تکنولوژی نوین در صنعت ساختمان تا حد زیادی به رفع موانع و مشکلات ذکر شده کمک نماید. آزمایشات مختلف انجام شده بر روی این پانل‌ها، مقاومت خمشی، فشاری و کششی بسیار خوب آنها را در مقایسه با دیگر مصالح موجود نشان می‌دهد. با توجه به اینکه ساخت و اجرای این پانل‌ها از نظر زمان و اقتصاد بسیار مقرون به صرفه است لذا استفاده از آنها می‌تواند جایگزین مناسبی برای انواع دیوارهای متداول باشد. همچنین با بکارگیری مواد کامپوزیت قابل دسترس و ارزان قیمت علاوه بر افزایش مقاومت فشاری باعث یکپارچگی این قطعات شده به نحوی که در هنگام خرابی، ذرات آن متلاشی نشده و هیچگونه آواری نخواهد داشت. نتایج آزمایشگاهی قابلیت این پانل‌ها را در مقایسه با دیگر مصالح سنتی به وضوح نشان می‌دهد.

## ۲- بررسی عملکرد مصالح سنتی در احداث ساختمان

در ساخت اغلب بناهای تاریخی و نیز ساختمانهای مسکونی در شهرها و روستاها از مصالحی همچون چینه، خشت، سنگ، آجر، چوب، بتن و ... استفاده شده است که بدلیل عدم هماهنگی با شرایط لرزه‌ای کشور به هنگام وقوع زمین لرزه دچار خسارات جبران ناپذیری شده‌اند. این خسارات برحسب نوع مصالح و سازه ابنیه متفاوت خواهند بود. در ادامه به بررسی مصالح ذکر شده و آسیب‌های آنها در هنگام وقوع زلزله خواهیم پرداخت.

### ۲-۱- ساخت دیوار با مصالح چینه

یکی از قدیمی‌ترین و ساده‌ترین نوع مصالح در ساختمان‌سازی چینه نام دارد که برای درست کردن آن، خاک محل را می‌کنند و

پس از مخلوط آن با آب و سپس ورز دادن گل حاصله، آن را به تکه های قابل حمل تقسیم و در ساخت دیوار حصارها از آن استفاده می کردند. در بعضی مناطق به منظور جلوگیری از شکست دیوار، در داخل چینه نی قرار می دادند. همچنین به منظور عدم خرابی سطح چینه رویی در اثر عوامل جوی از شاخه های زرشک یا همیزم استفاده می شد که به این لبه بندیها در بالای دیوار اصطلاحاً سارک می گویند [۲]. شکل (۱) دو بنای تاریخی ساخته شده با چینه را نشان می دهد.



شکل ۱: استفاده از چینه در ساخت دیوار حصارها در زمان گذشته [www.sistaniha.info]

## ۲-۲- ساختمان های خشتی

استفاده از مصالح خشتی دارای سابقه ای کهن در سرزمین ایران است. خشت های اولیه بدون وجود قالب و به صورت دست ساز ساخته و بکار گرفته می شدند. به نظر می رسد قدیمی ترین خشت های بدست آمده متعلق به تپه گنج دره باشد.



شکل ۳: استفاده از مصالح خشتی در مسجد فهرج یزد [www.iranerooz.com]



شکل ۲: خشت اولیه دست ساز در تپه گنج دره [www.iranatlas.info]

برای ساخت خشت اگر از خاک رس خالص استفاده می شد با دو مشکل همراه بود یکی آنکه خشت ترک بر می داشت و دوم آنکه مقاوم نبود که به منظور رفع این مشکلات به خاک رس مقداری ماسه و گاه یا سبزیجات خشک شده اضافه می کردند. به مرور زمان از قالب های چوبی در ساخت خشت بهره گرفته شد. شکل (۴) بنای تاریخی چغازنبیل که با خشت ساخته شده را نشان می دهد.



شکل ۴: استفاده از قالب در ساخت خشت در چغازنبیل [www.taknaz.ir]





این مصالح علاوه بر قیمت ارزان و تکنولوژی ساده اجرایی، دارای مزیت‌های دیگری نیز بوده که مهمترین آن عملکرد بسیار عالی در مقابل گرما و صوت می‌باشد. با وجود این سازه‌های خشتی در مقابل رویدادهای طبیعی از قبیل زلزله، باران و سیل آسیب‌پذیر می‌باشند. سازه‌های خشتی قدیمی در مقابل لرزش‌های زمین مقاومت بسیار ضعیفی از خود نشان می‌دهند و اغلب دچار خرابی و یا حتی واژگونی شده و باعث از بین رفتن جان و مال بسیاری شده‌اند. ضعف لرزه‌ای اینگونه ساختمان‌ها از وزن زیاد سازه، مقاومت کم و رفتار ترد آنها نشأت می‌گیرد [۳]. در طول زلزله‌های شدید، در اینگونه ساختمان‌ها به علت وزن زیاد سازه، نیروهای لرزه‌ای بسیار بزرگی بوجود آمده که سازه قادر به تحمل آن نمی‌باشد و به همین دلیل ساختمان به صورت ناگهانی تخریب می‌گردد [۴].

## ۲-۳- مصالح سنگی

سنگ نیز یکی دیگر از مصالح قدیمی است که از ادوار بسیار کهن در ایران برای ساختمان‌سازی بکار گرفته شده است. اما به دلیل ضعف مقاومتی آن در مقابل سرما و گرما، بکارگیری آن در معماری ساختمان‌های سنتی به مرور زمان کاسته شده و از آجر به عنوان یک مصالح جایگزین استفاده شده است. شکل (۵) استفاده از مصالح سنگی در ساخت کاخ سروستان را نشان می‌دهد.



شکل ۵: استفاده از مصالح سنگی در کاخ سروستان [www.bultannews.com]

از معایب استفاده از مصالح سنگی می‌توان به وزن بالا و اثر نیروی زیاد زلزله به آن، حمل و نقل دشوار، مقاومت ضعیف در برابر عوامل جوی، عدم شکل دهی دلخواه در آن، وجود آوار فراوان به هنگام تخریب، تلفات بالای جانی و مالی و غیره اشاره نمود.

## ۲-۴- مصالح آجری

آجرها از مصالحی هستند که به صورت صنعتی تولید و جایگزین سنگ شده‌اند. استفاده از این مصالح در ساختمان‌ها و بناهای تاریخی با ابعاد و اندازه‌های مختلف بسیار رایج بوده است. این گروه از مصالح که اولین تولید صنعتی و انبوه مصالح ساختمانی به دست بشر می‌باشند بر اساس مواد اولیه، روند تولید و محل مصرف به انواع متنوعی تقسیم می‌شوند. آجرهای رسی که اولین و فراوان‌ترین آنها محسوب می‌شود دارای قدمت چند هزار ساله است. شکل‌های (۶) و (۷) دو اثر تاریخی با مصالح آجری را نشان می‌دهد.



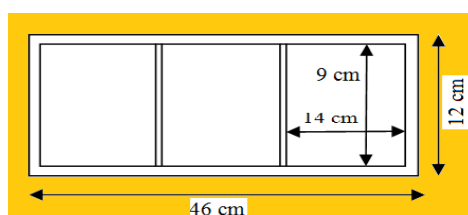
شکل ۷: بکارگیری آجر در قلعه شوش



شکل ۶: استفاده از مصالح آجری در برج اردکان

### ۳- معرفی پانل پیش ساخته مسلح به عنوان یک تکنولوژی نوین در صنعت ساختمان

در تحقیق حاضر با استفاده از فناوری نوین ساختمانی و با رعایت عواملی همچون سبک سازی، سرعت اجرا، مقاومت در برابر زلزله، حریق و هزینه بهینه نوعی پانل با مشخصات مقطع نشان داده شده معرفی و مزایا و برتریهای آن در مقایسه با مصالح سنتی به تفکیک بیان میگردد. شکل (۸) ابعاد و اندازه این مقطع پانل را نشان می دهد.



شکل ۸- مشخصات مقطع پانل [۷]

### ۳-۱- شکل پذیری

یکی از ضعف های عمده در کلیه مصالح بنایی ترد بودن یا شکل پذیری اندک آنها می باشد. این امر سبب می شود در هنگام وقوع زلزله، خرابی ها به صورت ناگهانی اتفاق بیافتد که منجر به تلفات جانی و مالی بسیار بالایی خواهد شد. در سالهای اخیر با رشد تکنولوژی، استفاده از موادی به نام کامپوزیت به منظور افزایش شکل پذیری و نیز ترمیم و مقاوم سازی این مصالح رایج شده است و تحقیقات فراوانی در این زمینه توسط محققان انجام گرفته است.

یکی از این نوع کامپوزیت ها الیاف FRP (Fiber Reinforced Polymer) نام دارد که به منظور مقاوم سازی و جبران شکل پذیری در این سازه ها استفاده می شود. این نوع کامپوزیت از الیاف تقویتی تشکیل شده که توسط یک ماتریس رزین پلیمری احاطه شده است. این نوع کامپوزیت به دو شکل میلگرد و ورقه در بازار عرضه می گردد. در شکل ورقه ای این الیاف بسته به نحوه قرارگیری فیبرها، دارای مدول الاستیسیته متفاوتی خواهند بود [۵]. به طور کلی این الیاف بر اساس ماده تشکیل دهنده آن به سه دسته تقسیم بندی می گردد:

۱- الیاف شیشه (GFRP) ۲- الیاف کربن (CFRP) ۳- الیاف آرامید (AFRP)

اما با توجه به هزینه بالا و عدم بکارگیری آن توسط اقشار کم درآمد جامعه و نیز عدم سهولت در دسترسی به مواد اولیه، نمی توان از این مواد به عنوان روشی جایگزین جهت مقاوم سازی ساختمان ها به شیوه سنتی استفاده کرد.

پانل کامپوزیت معرفی شده از این ضعف مستثنی بوده و بدلیل وجود نوعی مش توری پلاستیکی و الیاف پودری به عنوان مواد کامپوزیت در قسمت های بال و جان از شکل پذیری بسیار بالایی برخوردار می باشد. دسترسی راحت به تهیه مواد اولیه از نزدیک ترین منابع موجود و نیز حداقل هزینه تمام شده از مزایای ویژه این نوع پانل کامپوزیت در مقایسه با الیاف FRP می باشد.

مقاومت کششی خوب این مش پلاستیکی منجر به تامین شکل پذیری بسیار بالا در این پانل ها خواهد شد.



## ۳-۲- مقاومت کششی

یکی دیگر از معایب مصالح سنتی مقاومت کششی بسیار پایین آنها می باشد. وجود این ضعف باعث ایجاد ترک های عریض در سطح سازه های ساخته شده با این مصالح و در نهایت تخریب آنها در هنگام وقوع زلزله خواهد شد. آزمایشات مختلف انجام گرفته بر روی نمونه های مختلف پانلهای مورد مطالعه در این تحقیق نشان از مقاومت کششی بسیار خوب آنها در مقایسه با مصالح سنتی همچون آجر می باشد. همانطور که در شکل (۱۰) مشاهده می گردد وجود مواد کامپوزیت بکار رفته در داخل پانل مانع از جدا شدن قطعه پس از گسیختگی در اثر نیروی کششی می شود.



شکل ۹- آزمایش مقاومت کششی مش توری پلاستیکی [۶] شکل ۱۰- عدم جدا شدن قطعه پس از گسیختگی [۶]

## ۳-۳- وزن مصالح

چگالی حجمی بسیار پایین بدلیل مجوف بودن مقطع، حمل و نقل راحت، عدم فروپاشی و آوار در هنگام زلزله و نیز کاهش تلفات جانی در هنگام خرابی از دیگر مزایای ویژه این پانل های کامپوزیت در مقایسه با مصالح سنتی می باشد.

## ۳-۴- مقاومت فشاری

اکثر مصالح سنتی ذکر شده دارای مقاومت فشاری خوبی بوده به نحوی که در ساخت بناهای تاریخی و ساختمانهای مسکونی استفاده فراوانی از آنها شده است. مطالعات و آزمایشات انجام شده حاکی از مقاومت فشاری بسیار خوب این پانل ها در مقایسه با مصالح سنتی بوده و می توان از آنها به عنوان دیوار باربر در ساختمان های بنایی استفاده نمود.

## ۳-۵- مقاومت خمشی

مطابق بررسی های انجام شده یکی از متداول ترین شکست در سازه های آجری که به عنوان دیوار پرکننده و جداکننده بکار گرفته می شوند، شکست خارج از صفحه دیوارها است. از آنجا که معمولاً دیوارهای آجری دارای مقاومت برشی خوبی در داخل صفحه هستند، چنانکه توزیع سختی و مقاومت اعضایی که بار زلزله را تحمل می کنند، به نحو مناسبی بوده و مشکل پیچش نیز موجود نباشد، تنها مود محتمل برای شکست، به صورت شکست خارج از صفحه دیوار است [۷]. همچنین دیوارهای خشتی بر اثر تنش های خمشی خارج از صفحه به سرعت ترک می خورند که به منظور جلوگیری از آن می بایست از مهارهای مناسب جهت اتصال آنها به سقف استفاده کرد. شکل مقطع در نظر گرفته شده برای پانل کامپوزیت مورد مطالعه به نحوی است که از ممان اینرسی بالایی برخوردار است که این امر سبب افزایش مقاومت خمشی در مقطع خواهد شد. همچنین به منظور جلوگیری از شکست برون صفحه ای در این پانل ها اتصال و مهار مناسب به سقف از طریق نبشی صورت می گیرد.



شکل (۱۱) نحوه اتصال این پانل به سقف را نشان می دهد.



شکل ۱۱- نحوه مهار پانل به سقف

بر اساس آزمایش های متعددی که به صورت هدفمند برای تعیین خواص مکانیکی و مقاومتی این نوع پانل انجام شده است، می توان مقادیر موجود در جدول (۱) را به عنوان معیار طراحی در نظر گرفت.

جدول ۱- مقایسه بین خصوصیات مکانیکی پانل کامپوزیت و آجر فشرده پس از انجام آزمایشات [۹]

پانل کامپوزیت مسلح	آجر	
5000	5000	مدول یانگ (Kg/cm <sup>2</sup> )
4.5	2	مقاومت برشی (Kg/cm <sup>2</sup> )
18	12	مقاومت فشاری (Kg/cm <sup>2</sup> )
4	1.7	مقاومت کششی (Kg/cm <sup>2</sup> )

شکل (۱۲) پانل کامپوزیت مسلح اجرا شده را در فضای داخلی و نیز نمای یک ساختمان در حال ساخت نشان می دهد.



شکل ۱۲- پانل کامپوزیت اجرا شده در فضای داخلی و نمای یک ساختمان بلند مرتبه



## ۴- نتیجه گیری

در این مقاله خصوصیات و ویژگیهای پانل کامپوزیت مسلح به عنوان یک ماده نوین و سبک در اجرای انواع سازه ها بیان گردید. چگالی حجمی بسیار پایین بدلیل مجوف بودن مقطع و نیز کاهش هزینه ساخت، عدم وجود آوار در هنگام وقوع زلزله و نیز عدم فروپاشی بعلت بکارگیری از مواد کامپوزیت، سرعت و راحتی زیاد در نصب و اجرا، شکل پذیری بسیار بالا، امکان استفاده به عنوان دیوار باربر در ساختمانهای مصالح بنایی، بکارگیری این پانلها در طیف وسیعی از ساختمانهای اسکلتی به عنوان پارتیشن یا میانقاب، افزایش مقاومت کششی، امکان استفاده در بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای بنایی موجود با صرف هزینه ناچیز و حداقل زمان اجرایی، بکارگیری این پانلها به عنوان دیوار جداکننده و یا پرکننده (با اتصال مناسب به قاب) برای اکثر ساختمانهای موجود از مزایای عمده این پانل‌های کامپوزیت مسلح در مقایسه با مصالح بنایی سنتی می‌باشند.

امید است با معرفی و بکارگیری این سیستم نوین در صنعت ساختمان و جایگزین نمودن آن به جای مصالح آجری سنتی تحول خاصی در امر ساخت و ساز در کشور ایجاد گردد.

## ۵- قدردانی

از شرکت بنای رسیس (مبتکر و سازنده محصولات دیوار ایزی‌وال) به خاطر همکاری در ارائه تصاویر پانل کامپوزیت تشکر می‌گردد.

## ۶- مراجع

- [۱] تابش پور، م. ر. مطالعه آسیب‌پذیری لرزه‌ای و مقاوم‌سازی سازه‌های آجری غیرمسلح، اولین همایش بین‌المللی مقاوم‌سازی لرزه‌ای، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ۱۳۸۴.
- [۲] بزرگمهر، ز. مصالح ساختمانی در بناهای کهن ایران، انتشارات سازمان میراث فرهنگی، ۱۳۸۱.
- [۳] تابش پور، م. ر. کاربرد بامبو و چوب در ساختمان‌سازی روستایی، ششمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ۱۳۹۰.
- [۴] تابش پور، م. ر. قاب پرشده با دیوار آجری، دانشنامه زلزله‌۷، انتشارات فدک ایستاتیس، تهران، ۱۳۹۲.
- [۵] وارسته پور، ح. کاربرد مواد کامپوزیت پیشرفته در مهندسی ساختمان، سازمان سازندگی و آموزش وزارت نیرو، ۱۳۷۸.
- [۶] بخش تحقیق و توسعه شرکت بنای رسیس، فناوری نوینی در صنعت ساختمان (ایزی‌وال)، انتشارات فدک ایستاتیس، تهران، ۱۳۹۲.
- [۷] تابش پور، م. ر. لزوم بررسی دقیق شکست برون صفحه دیوار و ارائه جزئیات مناسب برای مهار آن بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰، استحکام ساختمان، ماهنامه فنی مهندسی عمران، سال اول، شماره ۳، آذر ۱۳۹۲، ۱۹-۱۲.
- [۸] شرکت بنای رسیس، مبتکر و تولید کننده پانل سبک ایزی‌وال به صورت کامپوزیت مسلح (<http://www.easywall.ir>)
- [۹] تابش پور، م. ر.، موحندنیا، م. استفاده از نوعی پانل پیش‌ساخته کامپوزیت مسلح به عنوان دیوارهای باربر، ارسال شده به هشتمین کنگره ملی عمران، بابل، ۱۳۹۳.