



## ساخت کاغذ دیواری ضد زلزله برای محافظت دیوارهای مصالح بنایی

معصومه عرفانی جزی<sup>1</sup>، مریم محمدی<sup>2</sup>

1- کارشناس ارشد عمران- سازه، عضو هیئت علمی موسسه آموزش عالی عقیق شاهین شهر، اصفهان

masoomeherfani@yahoo.com

2- کارشناس ارشد عمران- سازه، مدرس دانشگاه، کرمان

### چکیده

محققان جهت مقاوم سازی دیوارهای مصالح بنایی نوعی کاغذ دیواری اختراع کرده اند که نیروی حاصل از زمین لرزه را در کل سطح دیوار توزیع کرده و با محصور کردن مصالح بنایی ترک خورده، مانع از ریزش دیوار در زلزله می گردند. این نوع کاغذ دیواری ضد زلزله از دو بخش اصلی الیاف شیشه - که در جهات مختلف کاملاً به هم بافته شده اند- و چسب مخصوص - که بر پایه پلی یورتان می باشد- تشکیل شده است. امکان نصب آسان و سریع این کاغذ دیواری بر روی پلاستر دیوار و نیز اقتصادی بودن آن در مقایسه با سایر روش های مقاوم سازی، از محاسن این پوشش محافظ محسوب می گردد. این تحقیق بر آن است ضمن معرفی روش های موجود مقاوم سازی دیوارهای مصالح بنایی، این دستاورد جدید در صنعت ساختمان را معرفی و به تشریح عملکرد آن پردازد.

**واژه های کلیدی:** کاغذ دیواری، پوشش محافظ، ضد زلزله، مصالح بنایی.

### 1. مقدمه

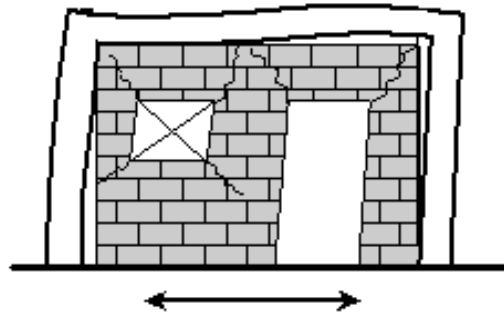
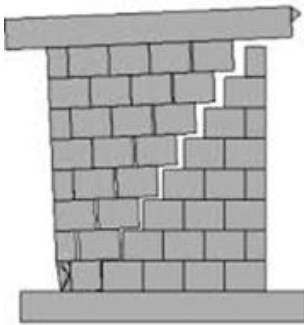
خرابی و فروریزش دیوارها به ویژه دیوارهای مصالح بنایی به هنگام وقوع زلزله، بخش قابل ملاحظه ای از تلفات جانی و خسارات مالی را در زلزله های گذشته شامل می شود. تلاش محققان در زمینه مقاوم سازی سازه های مصالح بنایی همواره بر این بوده است که به گونه ای لحظه شکست مصالح بنایی را به تأخیر انداخته و یا با کنار هم نگه داشتن و محصور کردن مصالح بنایی ترک خورده از فروپاشی دیوار و ریزش آن در زلزله جلوگیری نمایند. دیوارهای مصالح بنایی به دلیل ترد و شکننده بودن و یا به عبارتی عدم شکل پذیری، اعضای بسیار حساس و آسیب پذیر به هنگام وقوع زمین لرزه می باشند، به طوری که در هنگام وقوع زلزله به سادگی دچار آسیب جزئی یا کلی می گردند. خرابی و فروریزش این دیوارها در زلزله به ویژه در ساختمان های مصالح بنایی و سنتی، که دیوارها عناصر باربر ثقیلی و جانبی نیز می باشند، می تواند به انهدام کل سازه منجر گردد.

کاهش تلفات جانی و آسیب وارد بر سازه‌ها، مهم‌ترین هدف آیین‌نامه‌های لرزه‌ای می‌باشد. در کنار اصلاح و بازنگری‌های مستمر آیین‌نامه‌ها برای ارائه ضوابط و راهکارهای پیشگیرانه، ابداعات و نوآوری‌های محققین در جهت تولید مواد و مصالح با ویژگی‌های خاص که می‌تواند تمام یا بخشی از ساختمان را در مقابل آسیب‌های زمین لرزه حفظ نماید، به این فرآیند سرعت بیشتری می‌بخشد.

یکی از جدیدترین دستاوردهای محققین در زمینه کاهش خسارات و تلفات زمین لرزه در اثر تخریب دیوارهای مصالح بنایی، تولید پوشش‌های ضد زلزله برای دیوارها می‌باشد. محققان موسسه تکنولوژی کارلس روهه آلمان (KIT)<sup>1</sup> با هدف مقاوم سازی لرزه‌ای ساختمان‌های قدیمی، پوشش خاصی را برای حفاظت دیوارها در زلزله تولید نموده‌اند. این پوشش محافظ با الگو گرفتن از کاغذ دیواری در پوشش داخلی ساختمان‌ها ابداع شده است. پوشش ضد زلزله موسوم به EQ-Top، از الیاف شیشه<sup>2</sup> ساخته شده و توسط یک چسباننده مناسب به راحتی بر روی سطح پلاستر دیوار نصب می‌گردد. از جمله محاسن این پوشش‌ها، اجرای آسان و سریع بدون نیاز به زیرسازی خاص و هزینه به مراتب کمتر در مقایسه با سایر روش‌های مقاوم سازی می‌باشد.

## 2. روش‌های موجود مقاوم سازی دیوارهای مصالح بنایی

مصالح بنایی نظیر آجر و بلوک با انواع ملات‌های متداول، مصالح ترد و شکننده‌ای هستند که به راحتی تحت بار رفت و برگشتی زلزله دچار شکست می‌شوند. الگوهای شکست دیوارهای مصالح بنایی نشان می‌دهد معمولاً نقاط ضعف در دیوارها نقاطی نظیر گوشه قاب درب و پنجره‌ها به دلیل وجود تمرکز تنش (شکل 1-الف) و یا در محل ملات بین آجرها (شکل 1-ب) می‌باشد.



<sup>1</sup> Karlsruhe Institute for Technology

<sup>2</sup> Glass Fiber

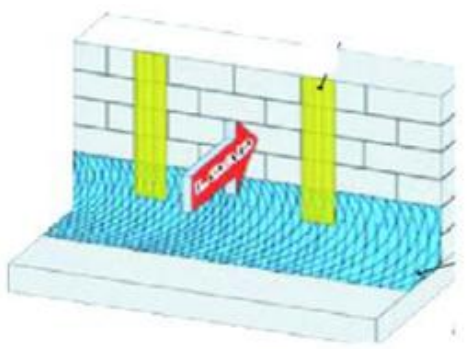
(ب)

(الف)

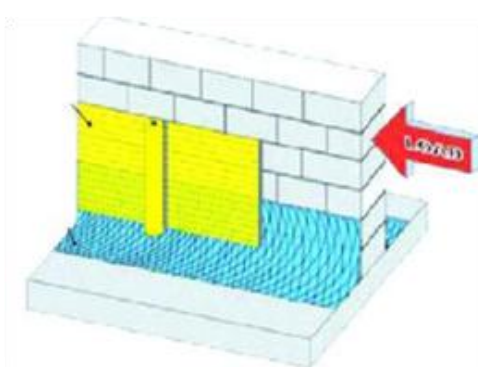
شکل (1): الف) شکست دیوار مصالح بنایی در نواحی اطراف بازشوها ب) شکست دیوار مصالح بنایی از محل درز ملات دیوار  
اکنون روش‌های متعددی برای مقاوم‌سازی سازه‌های مصالح بنایی غیر مسلح ارائه شده است، که در این قسمت  
به معرفی اجمالی هر یک از این روش‌ها و محدودیت‌های مربوط به استفاده از آن‌ها پرداخته می‌شود.

## 1.2. تقویت دیوار با استفاده از فیبرهای مسلح کننده پلیمری (FRP)

در این روش برای مقاوم سازی دیوارهایی که نسبت ارتفاع به طول کمی دارند، به دلیل غالب بودن مود  
شکست برشی، صفحات FRP به صورت افقی در راستای طول دیوار در دو وجه آن نصب می‌گردد (شکل 2-  
الف). در حالی که برای جبران ضعف خمشی دیوار، صفحات FRP به صورت قائم در راستای ارتفاع دیوار در دو  
طرف نصب می‌شود (شکل 2-ب). در این حالت معمولاً از نبشی‌های افقی در مجاورت تکیه‌گاه دیوار برای مهار  
ورق‌های FRP در پای دیوار استفاده می‌شود.



(ب)



(الف)

شکل (2): الف) تقویت برشی دیوار با استفاده از صفحات FRP ب) تقویت خمشی دیوار با استفاده از صفحات FRP

به منظور تقویت خمشی و برشی دیوار به صورت توأم باید ورق‌های FRP به صورت افقی و عمودی بر روی  
هم بر روی دیوار نصب گردد. با توجه به قیمت بالای ورق‌های FRP و نیز نیاز به نیروی متخصص برای نصب این  
ورق‌ها، این روش از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد.

## 2.2. بهسازی سطحی

از جمله روش‌های متداول مقاوم‌سازی، تعمیر سطوح آسیب دیده دیوار می‌باشد. این روش‌ها که شامل اجرای ملات با توری سیمی، روکش بتنی (بتن‌پاشی) و تزریق گروت یا اپوکسی می‌باشد، بر روی ظاهر معماری بنا تأثیرگذار بوده و از جمله نقاط ضعف این نوع مقاوم‌سازی می‌باشد.

• **اجرای ملات با توری سیمی:** در این روش، ملات ماسه-سیمان با ضخامتی حدود 10 الی 55 میلیمتر بر روی توری سیمی ساخته شده از شبکه‌ی میلگرد با قطر کم و چشمه‌های ریز (نظیر شکل 3)، که بر روی سطح دیوار قرار داده شده است، اجرا می‌گردد.



شکل (3): نمونه‌هایی از توری سیمی مورد استفاده جهت بهسازی سطحی دیوار با مصالح بنایی

• **روش روکش بتنی (یا بتن‌پاشی):** در این روش شبکه‌ای از آرماتورهای افست و حرارت بر روی دیوار نصب شده و سپس پوششی از بتن بر روی شبکه آرماتورهای موجود پاشیده می‌شود (شکل 4). این روش سبب افزایش مقاومت و شکل‌پذیری ساختمان بنایی مقاوم‌سازی شده، می‌گردد. ولی باید توجه نمود که ترک‌های ایجاد شده در پوشش بتن پاشیده شده، زمانی که شبکه آرماتور به حد تسلیم می‌رسد، می‌تواند بر مقاومت و شکل‌پذیری مورد انتظار تأثیرگذار باشد.



شکل (4): بتن پاشی دیوار جهت بهسازی سطحی دیوار با مصالح بنایی

• روش تزریق گروت یا اپوکسی: در این روش ترک‌ها و حفره‌های تو خالی دیوارها که به علت تخریب شیمیایی و فیزیکی سطح و یا فعالیت‌های مکانیکی به وجود آمده است، توسط گروت یا اپوکسی پر می‌شود (شکل 5). معمولاً برای ترک‌های کوچک‌تر از 2 میلیمتر از رزین اپوکسی و برای ترک‌های بزرگ‌تر و حفره‌ها از گروت‌های سیمانی همراه با ماسه استفاده می‌گردد. این روش به دلیل ترمیم موضعی ترک‌های دیوار نمی‌تواند عملکرد یکپارچه دیوار را به هنگام وقوع زمین لرزه تأمین نماید.



شکل (5): تزریق گروت در دیوار با مصالح بنایی

### 3.2. مقاوم سازی با استفاده از اعضای فولادی

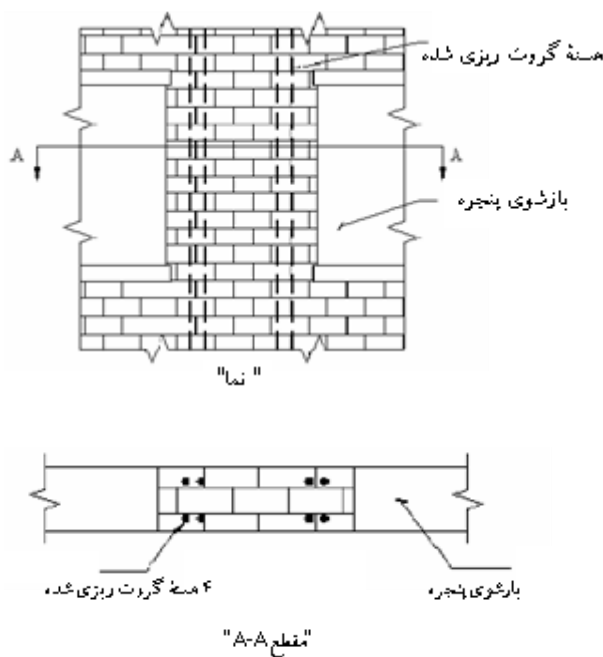
در این روش برای بهبود رفتار ساختمان مصالح بنایی در زلزله از اعضای مهاربند فولادی استفاده می‌شود، که به طور مستقیم به دیوار یا دیافراگم سازه بنایی اضافه می‌گردد. در این مورد هم چنین با افزودن نوارهای فولادی عمودی و افقی برای دیوارها می‌توان مقاومت لرزه‌ای و شکل‌پذیری سازه‌های مصالح بنایی را افزایش داد (شکل 6).



شکل (6): مقاوم سازی سازه مصالح بنایی با اعضای فولادی

#### 4.2. افزودن هسته‌های مرکزی (تسلیح مغزه)

در این روش سوراخ‌های عمودی از بالا تا پی ساختمان به وسیله مته در دیوار ایجاد و سپس سوراخ‌ها با استفاده از پمپ مخصوص با گروت پر می‌شود (شکل 7). به کارگیری این روش علی‌رغم حجم بالای عملیات، به دلیل عدم استفاده از میلگرد برای تسلیح بتن تزریقی از کارایی زیادی برخوردار نمی‌باشد.



شکل (7): افزودن هسته‌های مرکزی به دیوار مصالح بنایی

#### 3. معرفی پوشش محافظ ضد زلزله، راهکار جدید مقاوم سازی

مسئله مقاوم سازی ساختمان‌های قدیمی و ساختمان‌های مصالح بنایی در برابر زلزله از جمله دغدغه‌های امروزی صنعت ساختمان می‌باشد. تاکنون آیین‌نامه‌های لرزه‌ای ضوابط و راهکارهای متعددی را برای مسلح نمودن

دیوارها و سقف‌های مصالح بنایی ارائه نموده‌اند، تا با به کارگیری آن‌ها از خرابی و فروریزش این اجزاء به هنگام وقوع زلزله جلوگیری نمایند. ساخت پوشش‌های محافظ ضد زلزله دست‌آورد جدیدی است که با محصور نمودن دیوارهای بنایی، می‌تواند امنیت جانی ساکنان ساختمان را به هنگام وقوع زمین لرزه تأمین نماید. این امر به ویژه در ساختمان‌های قدیمی مصالح بنایی که دیوارها نقش باربری در سازه را نیز عهده‌دار هستند می‌تواند به عنوان یک روش مقاوم سازی مؤثر مورد توجه قرار گیرد.

پوشش محافظ ضد زلزله به گونه‌ای طراحی شده است که نیروهای رفت و برگشتی زلزله وارد بر دیوار را دریافت نموده و با دارا بودن مقاومت و شکل‌پذیری کافی از فروپاشی دیوار آسیب‌دیده جلوگیری می‌نماید. در حالت کلی این پوشش دارای دو ویژگی اساسی زیر به صورت همزمان می‌باشد:

الف- دارا بودن اتصال و درگیری کافی با دیوار موجود، به گونه‌ای که نیروهای زلزله از دیوار به پوشش محافظ انتقال یابد.

ب- پوشش محافظ از مقاومت، شکل‌پذیری و پیوستگی مناسب برخوردار بوده به گونه‌ای که هم قادر به تحمل بارهای لرزه‌ای باشد و هم همانند یک حصار از فروریزش دیوار آسیب‌دیده، جلوگیری نماید.

برای برآورده شدن ویژگی (الف)، از یک ماده چسباننده مناسب استفاده شده است. نتایج آزمایشات و بررسی‌های محققان موسسه KIT نشان می‌دهد که هیچ یک از چسب‌های ساده<sup>۱</sup> تا عملکرد بالا<sup>۲</sup> نمی‌تواند عملکرد مورد انتظار از این عنصر واسط بین دیوار و پوشش محافظ را برآورده نماید. بدین منظور با انجام آزمایش‌های گسترده، ماده چسباننده خاصی بر پایه پلی‌یورتان توسط شرکت بایر<sup>۳</sup> BMS تولید گردید. این ماده که از مقاومت پارگی<sup>۴</sup> کافی برخوردار می‌باشد، می‌تواند ارتباط مؤثر دیوار و پوشش را در بارهای رفت و برگشتی زلزله فراهم نماید. از جمله ویژگی‌های این چسباننده این است که حلال آن آب بوده و بدون حلال ارگانیک می‌باشد. این چسب مخصوص به هنگام تکان‌های زمین قابلیت خاصی از خود بروز می‌دهد. در چنین وضعیتی ترکیبات هیدروژنی این چسب از هم جدا شده و در جای دیگر دوباره به هم می‌پیوندند. این امر سبب می‌شود که از گسیختگی سنگ‌ها و آجرهای ساختمان جلوگیری شود.

ماده اصلی برای ساخت پوشش ضد زلزله که ویژگی (ب) را داشته باشد، الیاف شیشه می‌باشد. الیاف شیشه تارهای بسیار باریک (در حد میکرون) از جنس شیشه با قطر ثابت و طول نامحدود می‌باشد. الیاف شیشه استحکام و سختی مناسبی دارند، خواص مکانیکی خود را در دماهای بالا حفظ می‌کنند، مقاومت رطوبت و خوردگی مناسبی داشته و نسبتاً ارزان قیمت می‌باشند. استفاده از این الیاف به عنوان یک تقویت کننده مناسب می‌تواند نقاط

<sup>1</sup> Conventional adhesives

<sup>2</sup> High-performance adhesives

<sup>3</sup> Bayer Material Science

<sup>4</sup> Tear strength

ضعف دیوارهای مصالح بنایی را پوشش دهد. مکانیزم حفاظتی این پوشش همانند عملکرد بادبند ضربدری در سازه می‌باشد. بدین ترتیب که این پوشش انرژی زلزله را در کل سطح دیوار توزیع نموده و از تمرکز تنش در نواحی اطراف قاب درب و پنجره‌ها جلوگیری می‌کند. بدین ترتیب نیروهای زلزله بر سطح بزرگی تقسیم می‌شوند و دیگر نمی‌تواند بخش‌های ضعیف دیوار را متاثر کند. شکل 8 قسمت‌های مختلف یک پوشش محافظ را نشان می‌دهد.



شکل (8): پوشش محافظ دیوار در برابر زلزله و قسمت‌های تشکیل دهنده آن

از دیگر ویژگی‌های پوشش حفاظتی ضد زلزله سادگی اجرا و نصب آن می‌باشد. پوشش ضد زلزله از الیاف شیشه و لایه چسباننده به گونه‌ای طراحی شده است که به راحتی همانند کاغذ دیواری بر روی پلاستر دیوار اجرا می‌گردد (شکل 9). بنابراین نیازی به برچیدن پلاستر موجود بر روی دیوار و تحمیل هزینه‌های اضافی نمی‌باشد و نسبت به سایر روش‌های مقاوم‌سازی کاملاً اقتصادی است.





شکل (9): سادگی نصب پوشش ضد زلزله بر روی دیوار

#### 4. نتایج آزمایشگاهی بر روی پوشش‌های محافظ ضد زلزله

پس از انجام آزمایش‌های مقدماتی و تکمیلی در فرآیند تولید پوشش ضد زلزله، تست‌های نهایی برای بررسی چگونگی عملکرد دیوارهای آجری با مقیاس واقعی که به پوشش ضد زلزله مسلح شده‌اند، توسط مبتکران این روش صورت گرفته است (شکل 10). این تست‌ها شامل دو دسته کلی 1- آزمایش تحت بار فشاری و 2- تست ارتعاش لرزه‌ای می‌باشد. در تست فشاری، دو دیوار مشابه آجری یکی دارای پوشش حفاظتی و دیگری بدون پوشش توسط جک هیدرولیکی استاندارد، تحت بار فشاری قرار داده شده است. در دیوار با پوشش حفاظتی، آجرها و ملات بین آنها تحت بار فشاری خرد شده ولی پوشش محافظ در طول مدت زمان بارگذاری همواره دیوار را به صورت یک مجموعه یکپارچه نگه داشته و مانع از فروریزش آن شده است. در حالی که در دیوار آجری غیر محصور، دیوار به راحتی تحت بارهای فشاری اولیه دچار شکست و فروریزش شده است.



شکل (10): تست آزمایشگاهی بر روی دیوار محصور با پوشش محافظ زلزله

برای بررسی عملکرد لرزه‌ای نمونه‌ها، دو دیوار آجری مسلح به پوشش محافظ ضد زلزله با مقیاس واقعی، در دو وضعیت دارای بازشو و بدون بازشو مورد آزمایش قرار گرفته است. برای اعمال بار زلزله میز لرزان فلزی ضخیم که بتواند حرکت زمین را شبیه سازی نموده و آن را به دیوار انتقال دهد استفاده شده است. در مدت زمان تست لرزه‌ای هیچ گونه خرابی و فروریزش در دیوارها مشاهده نشده است. بدین ترتیب نتایج آزمایشگاهی مؤید عملکرد مناسب پوشش محافظ تحت بارهای فشاری و نیز بارهای رفت و برگشتی زلزله می‌باشد.

## 5. نتیجه‌گیری

نگاهی اجمالی به آسیب‌های لرزه‌ای و تلفات زمین‌لرزه‌های گذشته نشان می‌دهد، خرابی دیوارها که اغلب از مصالح نسبتاً سنگین نیز ساخته می‌شوند، هم از حیث خسارات مالی و هم از نظر تلفات جانی بسیار قابل ملاحظه است. تولید پوشش‌های محافظ ضد زلزله دستاورد جدیدی است که به صنعت ساختمان ارائه شده است. اجرای سریع و آسان این پوشش بر روی دیوارهای داخلی و خارجی ساختمان و نیز صرفه اقتصادی آن در قیاس با سایر روش‌های مقاوم سازی از محاسن پوشش ضد زلزله می‌باشد. استفاده از پوشش‌های محافظ دیوارهای مصالح بنایی در عمل می‌تواند 60-70 درصد از خرابی دیوارها جلوگیری نماید که این نتیجه از ارزش بالایی برخوردار است. این پوشش‌ها در حال حاضر در فرآیند تولید انبوه و عرضه به صنعت ساختمان قرار دارند.

## 6. مراجع

- [1] Bayer, A.G., Seismic wallpaper (2012), Earthquake protection, pp.16-19
- [2] سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور (1389)، راهنمای روش‌ها و شیوه‌های بهسازی ساختمان‌های موجود و جزئیات اجرایی، نشریه شماره 524.
- [3] طلایی طباء، سید بهزاد، اسلامی، ابوالفضل، عرفانی جزی، معصومه (1392)، آسیب‌های لرزه‌ای وارد بر سازه‌های بتن آرمه، چاپ اول، انتشارات عابد.