

فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال پنجم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۳ (پیاپی ۲۰): صص ۱-۷

## بررسی اثر چیدمان ورق‌های CFRP در مقاوم‌سازی

### دیوارهای بنایی غیر مسلح در برابر بار انفجار

علی اسماعیلی<sup>۱</sup>، سید شهاب امامزاده<sup>۲</sup>، مصطفی امینی مزرعه‌نو<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۱۲

#### چکیده

یکی از رویکردهای پدافند غیرعامل، بحث مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در برابر بارهای انفجاری است. دیوارها به‌عنوان عضوی از ساختمان از این امر مستثنی نیستند. در سال‌های اخیر استفاده از الیاف FRP به‌عنوان یک راهکار مناسب جهت بهبود رفتار سیستم مقاوم جانبی و حفظ ایستایی دیوارهای بنایی موجود مطرح بوده و عوامل متعددی بر کیفیت این نوع مقاوم‌سازی تأثیرگذار می‌باشد. در این مقاله به بررسی تأثیر مشخصات هندسی و نحوه قرارگیری لایه‌های FRP بر مقاوم‌سازی دیوارهای با مصالح بنایی پرداخته شده است. چندین دیوار بنایی غیر مسلح و تقویت‌شده که از نظر تعداد، ضخامت، عرض و نحوه چیدمان لایه‌های FRP با یکدیگر متفاوت می‌باشند تحت بارگذاری حاصل از انفجار با فاصله مقیاس شده<sup>۴</sup>  $Z = 6 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$  توسط نرم‌افزار AUTODYN مدل و تحلیل گردیده‌اند. نتایج حاصل از بررسی چیدمان‌های مختلف الیاف، بیانگر آن است که مقاوم‌سازی با استفاده از صفحه FRP به‌صورتی که سطح دیوار را به‌طور کامل بپوشاند، مطمئن‌ترین روش می‌باشد و مطالعه پارامتریک روی دیوار با مشخصات معین و مسلح‌شده با الیاف به‌صورت صفحه‌ای تحت اثر انفجارات مختلف نشان می‌دهد که آستانه خرابی دیوار از  $Z = 9 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$  در حالت غیر مسلح به  $Z = 4 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$  در حالت تقویت‌شده کاهش یافته است.

**کلیدواژه‌ها:** مقاوم‌سازی، دیوارهای بنایی غیر مسلح، انفجار، فاصله مقیاس‌شده، الیاف CFRP، پدافند غیرعامل

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه جامع امام حسین(ع)

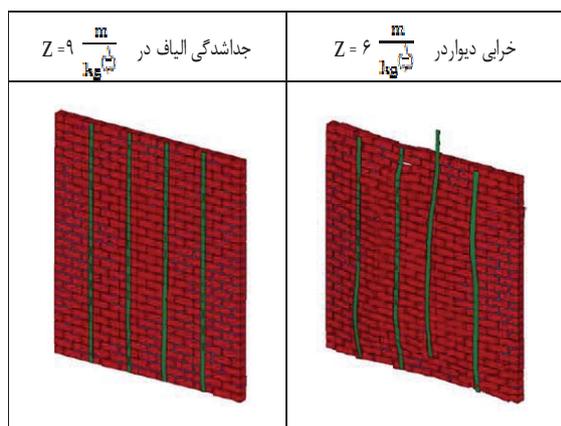
۲- استادیار مدعو دانشگاه جامع امام حسین(ع) - نویسنده مسئول

۳- مربی و عضو هیئت علمی دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۴- فاصله‌ای که وابسته به وزن ماده منفجره و فاصله آن تا هدف می‌باشد و اثرات انفجار در آن فاصله یکسان است.

## ۱- مقدمه

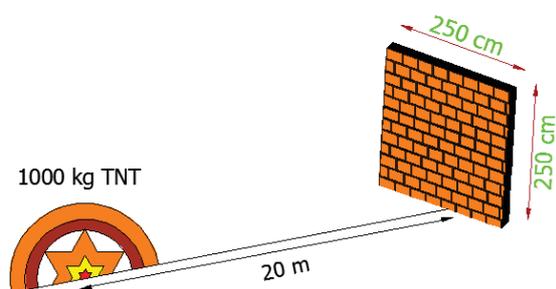
تقریباً می‌توان گفت در اکثر ساختمان‌ها از دیوارهای آجری استفاده می‌شود که در طول عمر خود می‌تواند تحت بارهای حاصل از انفجار قرار بگیرد. رفتار این دیوارها برای حفاظت اشخاص یا تجهیزات حساس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از رویکردهای مطرح در مبحث پدافند غیرعامل، تقویت ساختمان‌ها در برابر انفجار می‌باشد. در طول سالیان اخیر با افزایش حملات تروریستی و خطرات ناشی از انفجار ضرورت تقویت این دیوارها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در این پژوهش به بررسی اثر انفجار در سطح زمین بر روی دیوارهای آجری پرداخته شده و روش‌هایی برای مقاوم‌سازی آن‌ها ارائه گردیده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اکثر دیوارهای بنایی غیر مسلح، در برابر انفجار مقاوم نبوده و با مقاومت کافی و قابل قبولی ندارند، زیرا غالباً بدون در نظر گرفتن آیین‌نامه ساخته شده و یا دقت کافی در اجرای آن‌ها نگردیده است. از این‌رو ضرورت تقویت دیوارهای بنایی غیر مسلح برای مقابله با نیروهای جانبی و با روش‌های مقاوم‌سازی قابل اعتماد اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.



شکل ۱- دیوارهای مقاوم‌سازی شده با نوارهای CFRP [۱۵]

## ۳- مدل‌سازی

برای صحت‌سنجی و اطمینان از درستی فرآیند شبیه‌سازی، مطابق شکل (۲) یک دیوار بنایی از آجر فشاری و ملات ماسه سیمان ساخته شده و در معرض انفجار قرار گرفته است. ابعاد دیوار ۱۱۰×۲۵۰×۲۵۰ میلی‌متر، ابعاد آجر ۸۰×۱۱۰×۲۵۰ میلی‌متر، و ضخامت ملات ۱۰ میلی‌متر است. انفجار از نوع انفجار سطحی (زمینی) بوده، نوع ماده منفجره، TNT و وزن آن ۱ تن است. مرکز انفجار در فاصله ۲۰ متری دیوار قرار دارد. شرایط تکیه‌گاهی دیوار از هر چهار طرف به صورت مفصلی در نظر گرفته شده است. از این پس، دیوار با مشخصات فوق را «دیوار مرجع» می‌نامیم.



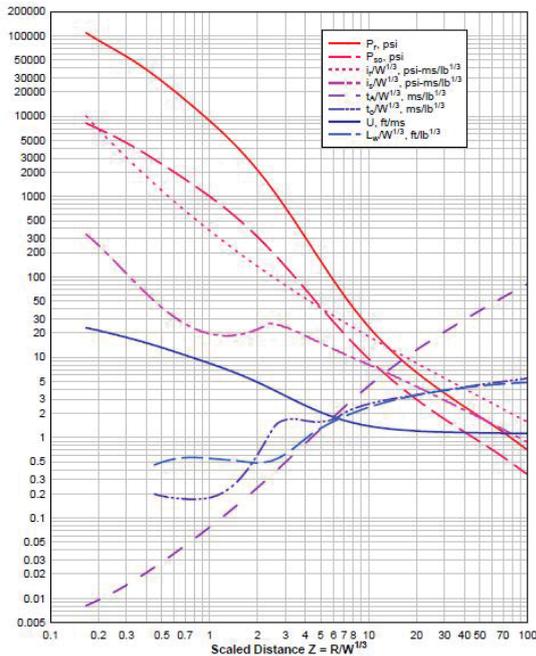
شکل ۲- نمایی از محل قرارگیری ماده منفجره و دیوار

مقاوم‌سازی یا بهسازی دیوارهای بنایی با روش‌های سنتی جهت افزایش مقاومت دارای مشکلات عدیده اجرایی و نیازمند در نظر گرفتن تغییرات معماری بوده که در بعضی موارد امکان‌پذیر نمی‌باشد. از این‌رو استفاده از روش‌های نوین مقاوم‌سازی دیوارهای غیرمقاوم، توسط الیاف پلیمری، به جهت داشتن مقاومت کششی بالا و دوام در مقابل خوردگی و فرسایش پیشنهاد می‌گردد.

## ۲- پژوهش‌های پیشین

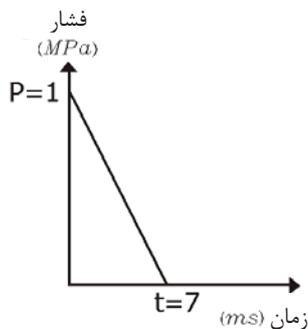
یوسو [۱۵] در رساله پایان‌نامه خود، تقویت دیوارهای بنایی غیر مسلح (URM WALL) را با الیاف CFRP شبیه‌سازی کرده است. برای مدل‌سازی دیوار از آجرهای رسی ۱۰ سوراخه استفاده شده و ضخامت ملات ۱۰ میلی‌متر می‌باشد. دیوار به ابعاد ۲/۵ x ۲/۵ متر با چهار ورق CFRP با اندازه‌های ۱/۲ x ۵۰ میلی‌متر می‌باشد که در وجه پشت به انفجار دیوار کشیده شده است. برای نشان دادن جدایی الیاف از سطح دیوار، یک لایه بتن با ضخامت کم به‌عنوان ماده بینابینی بین دیوار و الیاف تعریف شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که جداسازی<sup>۱</sup> الیاف از سطح آجر در  $Z = 9 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$  اتفاق افتاده و خرابی دیوار در  $Z = 6 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$  اتفاق افتاده است.

مطالعه پارامتریک روی پاسخ دیوار در برابر بار انفجار نشان می‌دهد که فاصله مقیاس‌شده بحرانی برای جلوگیری از خرابی دیوار برابر



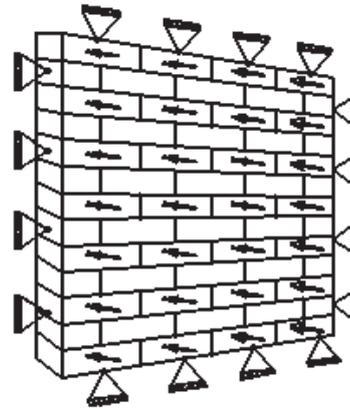
شکل ۴- پارامترهای فاز مثبت موج شوک برای انفجار سطحی [۸]

بار انفجار وارد بر دیوار مرجع، بار مثلثی مطابق نمودار شکل (۵) می‌باشد.



شکل ۵- نمودار فشار-زمان انفجار سطحی برای  $Z = 5 \frac{ft}{lb^{(1/3)}}$

از جمله نتایج ارائه شده در مرجع [۱۰] نمودار سرعت-زمان نقطه وسط دیوار در پانزده میلی‌ثانیه ابتدایی انفجار می‌باشد که در شکل (۶) نشان داده شده است. نمودار سرعت-زمان همان نقطه بر اساس شبیه‌سازی عددی انجام شده در این تحقیق نیز جهت مقایسه در همان شکل ارائه گردیده است. ملاحظه می‌شود که دو نمودار، اختلاف بسیار ناچیزی دارند و این می‌تواند گویای صحت شبیه‌سازی باشد.



شکل ۳- نمایی از محل قرارگیری تکیه‌گاه‌ها و نحوه بارگذاری

هرچند امکان مدل‌سازی انفجار به صورت کامل با مدل‌سازی خرج انفجاری و محیط حامل موج شوک در نرم‌افزار Autodyn وجود دارد ولی در این شبیه‌سازی به جهت ساده‌سازی روند و کاهش حجم مدل و زمان محاسبات، از این روش برای اعمال بار انفجار استفاده نشده است. در عوض، تأثیر انفجار با استفاده از یک شرط مرزی و به صورت بار گسترده عمود بر سطح دیوار مطابق شکل (۳) اعمال گردیده است. توزیع این بار روی سطح دیوار به صورت یکنواخت بوده و تغییرات آن در طول زمان به صورت مثلثی می‌باشد. نحوه محاسبه بار وارده به صورت زیر می‌باشد.

$$R = 20m = 65.62ft \quad W = 1000kg = 2202 lb$$

$$Z = \frac{R}{W^{1/3}} \quad Z = \frac{65.62}{2205^{(1/3)}} = 5 \frac{ft}{lb^{(1/3)}}$$

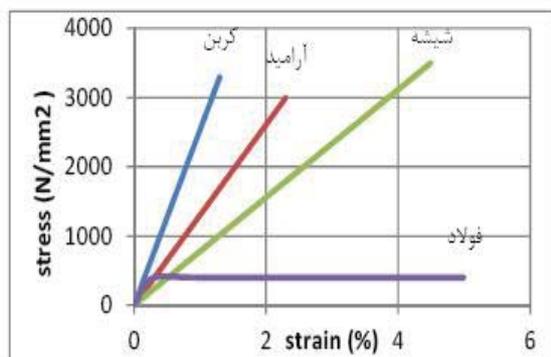
با استفاده از شکل (۴) مقدار بیشینه فشار و تکانه انعکاسی برای این انفجار سطحی تعیین شده است.

$$P_r = 150psi = 1000kpa$$

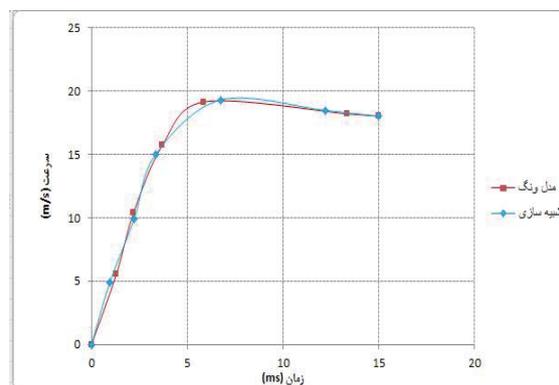
$$i_r = 40 \times 2205^{(1/3)} = 520psi - ms$$

با استفاده از اصل هم‌ارزی تکانه برای پالس مجازی خطی، مدت زمان فاز مثبت انفجار به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$t = \frac{2i_r}{P_r} = \frac{2 \times 520}{150} = 7ms$$



شکل ۷- منحنی تنش- کرنش الیاف مختلف در کشش و مقایسه آن با رفتار فولاد [۲۰]



شکل ۶- مقایسه تاریخچه سرعت- زمان مرکز دیوار در مدل ونگ و شبیه سازی انجام شده در این تحقیق

برای مدل سازی در نرم افزار، نوارهای CFRP به صورت Shell در نظر گرفته شده و جهت اتصال به دیوار از زیرگروه Joins در قسمت Setup استفاده شده است.

نوارهای CFRP دارای الیاف در یک راستا (راستای طولی نوار) هستند و بایستی به صورت اورتوتروپ مدل شوند اما به دلیل اینکه عرض نوارها کم است و در جهت عرضی باربری ناچیز است، مدل سازی به صورت ایزوتروپ انجام شده است.

اثر مقاوم سازی دیوار با الیاف CFRP در شش مدل جداگانه با استفاده از نرم افزار AUTODYN شبیه سازی شده و مورد مقایسه قرار گرفته است. این مدل های مختلف در شکل (۸) نمایش داده شده است. طول و عرض و ارتفاع نوارهای CFRP مصرفی در جدول (۱) ارائه گردیده است. فاصله شبکه ها حدود ۵۰ سانتی متر انتخاب شده است.

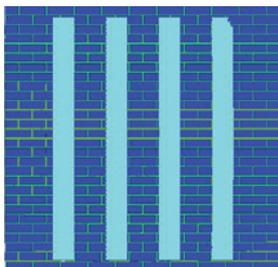
جدول ۱- مشخصات الیاف CFRP مصرفی

مدل مقاوم سازی	طول (mm)	عرض (mm)	ضخامت (mm)	تعداد نوارها	حجم الیاف مصرفی (mm <sup>3</sup> )
نوارهای افقی CFRP	۲۵۰۰	۲۰۰	۱/۲	۴	۲۴۵
نوارهای قائم CFRP	۲۵۰۰	۲۰۰	۱/۲	۴	۲۴۵
نوارهای CFRP شبکه ای	۲۵۰۰	۱۰۰	۱/۲	۸	۲۴۵
نوارهای CFRP ضربدری	۳۳۰۰	۳۰۰	۱/۲	۲	۲۴۵
نوارهای CFRP عمود بر ترک	۱۶۰۰	۳۰۰	۱/۲	۴	۲۴۵
نوار CFRP صفحه ای	۲۴۵۰	۲۴۵۰	۰/۴	۱	۲۴۵

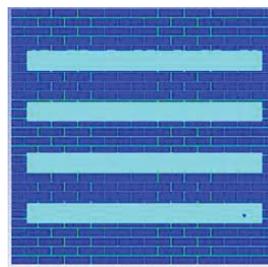
### ۳-۱- ویژگی مصالح

مشخصات مکانیکی آجر و ملات در جدول (۲) و مشخصات مکانیکی الیاف CFRP در جدول (۳) ارائه شده است.

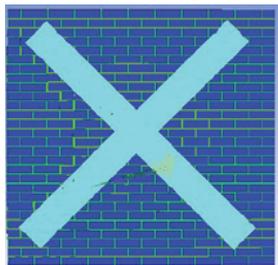
پس از اطمینان از درستی فرآیند شبیه سازی دیوار بنایی در برابر انفجار (صحت سنجی دیوار مرجع)، با توجه به مقاومت کم این نوع دیوارها در برابر انفجار، تقویت و تسلیح آن ها لازم و ضروری به نظر می رسد. الیاف FRP به جهت داشتن مقاومت کششی زیاد و داشتن وزن کم برای مقاوم سازی دیوار پیشنهاد می شود. الیاف FRP مورد استفاده در این تحقیق از نوع کربن در نظر گرفته شده اند. دلیل استفاده از این نوع الیاف، عملکرد بهتر در برابر خمش و برش می باشد و با توجه به اینکه رفتار دیوار در برابر انفجار (به صورت یک بار عمود بر صفحه) رفتاری خمشی و یا برشی می باشد، بنابراین در مقاوم سازی های صورت گرفته از الیاف کربن (CFRP) استفاده شده است. الیاف FRP به صورت نوارهایی روی وجه پشت به انفجار دیوار (وجه کششی دیوار) چسبانده شده اند. عرض و ضخامت نوارهای انتخابی مبنای محاسباتی داشته و بر اساس خمش واحد عرض دیوار ناشی از بار انفجار و انتقال این خمش به یک نوار FRP می باشد. در همه مدل سازی ها به جهت مقایسه عملکرد الیاف، حجم الیاف مصرفی یکسان در نظر گرفته شده است. رفتار الیاف FRP به دلیل عملکرد آن ها در کشش مطابق شکل (۷) به صورت الاستیک خطی فرض شده است. این شکل نشان می دهد که هر سه نوع الیاف (کربن، آرامید و شیشه) کشش را تحمل می کنند و این مقاومت تا زمانی که الیاف به مقاومت نهایی خود برسند به صورت خطی رو به افزایش است. در صورت وارد شدن تنش بیشتر، الیاف به طور ناگهانی پاره می شوند. بنابراین، رفتار الیاف پلیمری FRP تا رسیدن به حداکثر مقاومت کششی به صورت ارتجاعی خطی بوده و رفتار پلاستیک برای این مصالح متصور نمی باشد. در این شکل، رفتار فولاد و فولاد پیش تنیده نیز تشریح شده است. اختلاف بسیار زیاد بین مقاومت کششی الیاف و فولاد به وضوح قابل درک است.



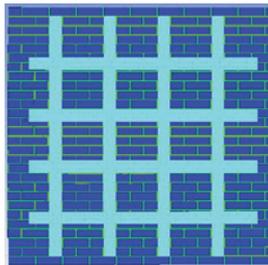
(ب) دیوار مسلح‌شده با نوارهای قائم CFRP



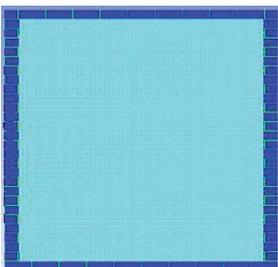
(الف) دیوار مسلح‌شده با نوارهای افقی CFRP



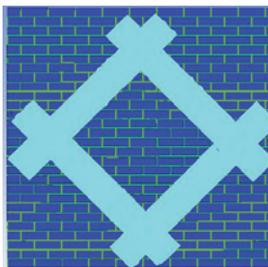
(ب) دیوار مسلح‌شده با نوارهای قائم CFRP



(ج) دیوار مسلح‌شده با نوارهای CFRP به صورت شبکه



(هـ) دیوار مسلح‌شده با الیاف CFRP به صورت صفحه‌ای



(و) دیوار مسلح‌شده با الیاف CFRP به صورت عمود بر ترک

شکل ۸- مدل‌های مختلف مقاوم‌سازی دیوار

جدول ۲- مشخصات مکانیکی آجر و ملات [۱۰]

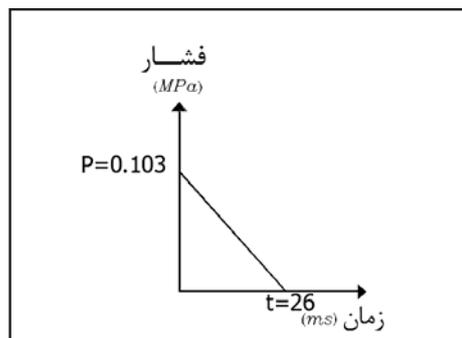
erosion	تنش خرابی	دانسیتته	تنش تسلیم کششی ( $\sigma_t$ )	تنش تسلیم فشاری ( $\sigma_c$ )	مدول بالک	مدول برشی	معادله حالت EOS	مدل مقاومت	
	کیلو پاسکال	$gr/cm^3$	کیلو پاسکال	کیلو پاسکال	کیلو پاسکال	کیلو پاسکال			واحد
۰/۰۳	$71e3$	۱/۹	$355e2$	$255e4$	$18e8$	$22e7$	خطی	دراکر- پراگر	آجر
۰/۰۳	$8e2$	۲/۴	$6e2$	$614e3$	$133e6$	$184e5$	خطی	دراکر- پراگر	ملات

جدول ۳- مشخصات مکانیکی الیاف CFRP [۷]

erosion	دانسیتته	تنش تسلیم کششی ( $\sigma_t$ )	مدول بالک	مدول برشی	معادله حالت EOS	مدل مقاومت	
	$gr/cm^3$	کیلو پاسکال	کیلو پاسکال	کیلو پاسکال			واحد
۰/۰۱۲	۱/۵	$2/6e6$	$183e8$	$8/5e7$	خطی	الاستیک	CFRP

### ۲-۳- بارگذاری

نحوه اعمال بار انفجار بر دیوار جهت ساده‌سازی و کاهش زمان عملیات شبیه‌سازی با استفاده از فاز مثبت انفجار و نمودار مثلثی فشار- زمان می‌باشد. در این تحقیق، ماده منفجره از نوع TNT بوده و به جهت بررسی دقیق میزان تأثیر و نقش الیاف در تسلیح دیوار، یک انفجار با میزان تخریب متوسط مدل‌سازی شده است. در راستای تحقق این هدف، فاصله مقیاس‌شده  $Z = 6 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$  در نظر گرفته شده است.

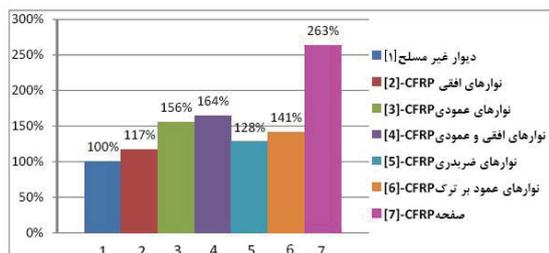


شکل ۹- نمودار فشار- زمان مثلثی انفجار  $Z = 6 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$

زیادتر در دیوار نسبت به ملات‌های قائم، زمانی که تحت اثر خمشی کششی قرار می‌گیرند دچار خرابی می‌شوند که این اتفاق بستر خرابی دیوار را فراهم می‌کند. پس اگر سعی شود ملات‌های افقی در جهت خمش به نوعی مهار شوند می‌توان از خرابی آن‌ها و در نتیجه، از خرابی دیوار جلوگیری کرد. نوارهای CFRP عمودی این کار را انجام می‌دهند.

جدول ۴- مقادیر تغییر مکان بیشینه دیوار مسلح پس از انفجار براساس انواع روش‌های تقویت دیوار با الیاف CFRP

تغییر مکان بیشینه دیوار (mm)	ضخامت (mm)	نوع چیدمان
۱۵۰	۱/۲	نوارهای افقی CFRP
۴۵	۱/۲	نوارهای قائم CFRP
۴۵	۱/۲	نوارهای شبکه‌ای CFRP
۶۵	۱/۲	نوارهای CFRP ضربدری
۶۰	۱/۲	نوارهای CFRP عمود بر ترک
۲۸	۰/۴	نوارهای CFRP صفحه‌ای



شکل ۱۰- تأثیر مقاومت‌سازی دیوار با الیاف FRP

### ۵- نتیجه‌گیری

- فاصله ایمن برای دیوارهای بنایی غیر مسلح با مصالح و مشخصات مکانیکی در نظر گرفته‌شده در این تحقیق،  $Z \geq 9 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$  می‌باشد.
- در مقاومت‌سازی دیوار به وسیله الیاف CFRP، اثر نوارهای عمودی CFRP در کنترل تغییر مکان دیوار خیلی بیشتر از اثر نوارهای افقی CFRP می‌باشد.
- نوارهای CFRP به‌صورت عمود بر ترک نسبت به نوارهای CFRP به‌صورت ضربدری در کنترل تغییر مکان دیوار، نقش مؤثرتری دارند.

### ۴- تحلیل و بررسی نتایج

برای تحلیل مدل‌ها از نرم‌افزار AUTODYN استفاده شده است. این نرم‌افزار یک تحلیل‌گر دینامیکی غیرخطی است که برای مدل کردن مواد قرارگرفته تحت فشار در نرخ کرنش بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد و به جهت داشتن کتابخانه مناسب برای مواد انفجاری در مدل‌سازی پدیده انفجار کاربرد زیادی دارد. تغییر مکان وسط دیوار تحت انفجار با فاصله مقیاس‌شده  $Z = 6 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$  در مدل‌های مختلف مقاومت‌سازی دیوار توسط چیدمان‌های مختلف الیاف CFRP، در جدول (۴) نمایش داده شده است. همچنین تأثیر مقاومت‌سازی در نمودار ستونی شکل (۱۰) ارائه شده است. نحوه مقایسه بر اساس تغییر مکان بیشینه دیوار مسلح پس از انفجار صورت گرفته است. مقاومت‌سازی با نوارهای CFRP به‌صورت قائم، تأثیر زیادی در کنترل تغییر مکان دیوار داشته است. در بررسی دلیل این موضوع در مقایسه با مقاومت‌سازی با نوارهای CFRP به‌صورت افقی، می‌توان به ضعف ملات‌های افقی اشاره کرد. دیوار بنایی ترکیبی از آجر، ملات‌های افقی و ملات‌های قائم است. ملات‌های قائم در امتداد یکدیگر نیستند اما ملات‌های افقی در یک راستا هستند و طول یک رج کامل را تشکیل می‌دهند. بنابراین، ملات‌های افقی به دلیل داشتن طول

8. US department of the army, Navy and Air Force Technical Manual Unified facilities criteria (UFC), "Structures to resist the effects of accidental explosions", (2008).
9. ASTM E 519-81. Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages, American Society for Testing Materials. (1981).
10. Wang M, Hao H, Ding Y, Xian Li Z., "Prediction of fragment size and ejection distance of masonry wall under blast load using homogenized masonry material properties", International Journal of Impact Engineering 36 808-820, (2009).
11. Ehsani M and Peña C., "Blast Loading Retrofit of Unreinforced Masonry Walls", Structure magazine, (April 2009).
12. Kachlakev D, Miller T., "Finite element modeling of reinforced concrete structures strengthened with FRP laminates", Federal Highway Administration, Washington, 16-May-(2009).
13. Ghiassi B, Soltani M, Tasnimi A., "A simplified model for analysis of unreinforced masonry shear walls under combined axial, shear and flexural loading", Engineering Structures, 42, 396-409, (2012).
14. Kalali A, Z. Kabir M., "Cyclic behavior of perforated masonry walls strengthened with glass fiber reinforced polymers" Scientia Iranica A, 19(2), 151-165, (2012).
15. Su Y., "Numerical simulation of strengthened unreinforced masonry (URM) walls by new retrofitting technologies for blast loading", Master thesis, School of Civil Environmental and Mining Engineering, University of Adelaide, (December 2008).
16. Hao H, "Numerical derivation of homogenized dynamic masonry material properties with strain rate effects", International Journal of Impact Engineering 36, 522-536, (2009).
17. Wei X, Stewart M, "Model validation and parametric study on the blast response of unreinforced brick masonry walls", International Journal of Impact Engineering 37, 1150-1159, (2010).
18. Seyed Rezaei S, "Modeling of Arching unreinforced masonry walls subjected to blast loadings", Mc Master University, (2011).
19. Luccioni B, "Behaviour of masonry walls under blast loads", Argentina, Oct (2007).
20. Mullen C, "Nanoparticle Reinforced Polymer for Blast Protection of Unreinforced Masonry Wall", Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Mississippi, Oxford, MS, 38677-1848 (2011).

۴) همان‌طور که از نتایج آنالیزهای صورت‌گرفته مشخص است، بهترین حالت مقاوم‌سازی، استفاده از صفحه CFRP می‌باشد به‌صورتی که سطح دیوار را به‌طور کامل بپوشاند. کمترین تغییر مکان دیوار مربوط به این حالت می‌باشد. نتایج آنالیزهای گوناگون با فواصل مقیاس‌شده مختلف نشان می‌دهد که روش مقاوم‌سازی با استفاده از صفحه FRP برای دیوار مورد نظر در این تحقیق به ازای  $Z \geq 4 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$  می‌تواند باعث جلوگیری از تخریب دیوار شود. در واقع با این حالت مقاوم‌سازی، آستانه تخریب دیوار از  $Z = 9 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$  به  $Z = 4 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$  کاهش داده شده است.

### مراجع

۱. آذربایجانی، محمد؛ بررسی رفتار ساختمان در مقابل انفجار ناشی از مواد منفجره حجیم و متمرکز و مطالعه راهکارهای طراحی در برابر این بارگذاری فوق‌العاده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، به راهنمایی دکتر ایرج محمودزاده‌کنی، (۱۳۸۴).
۲. ناظری، ماشاء...؛ مبانی طراحی سازه‌های مقاوم در برابر سلاح‌ها (غیرهسته‌ای) 1-855-TM5، وزارت مسکن (۱۳۶۷).
۳. خیراتی، عباس؛ رفتار سازه‌های بتن مسلح در برابر انفجار مواد منفجره کارگذاشته شده در اطراف آنها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، به راهنمایی دکتر ابوالفضل عربزاده، (۱۳۸۵).
۴. فاضلی‌پور، محیا؛ توکلی‌زاده، محمدرضا؛ بررسی اثر چیدمان ورق‌های CFRP در مقاوم‌سازی دیوارهای بتنی در برابر بار انفجار، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ۶ و ۷ اردیبهشت ماه (۱۳۹۰).
۵. موسوی خندان؛ محمدی؛ مدل‌سازی رفتار دینامیکی تیرهای بتنی تقویت‌شده به‌وسیله ورق‌های FRP کامپوزیت، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، اردیبهشت ماه (۱۳۸۳).
۶. توکلی‌زاده، محمدرضا؛ قدس، امیرصمد؛ مروری بر آیین‌نامه تقویت عضوهای بتنی با ورق‌های FRP (ACI440.2R-08).
۷. نشریه شماره ۳۴۵، راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان‌های بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۹۰).

# The Study of CFRP Sheet Arrangement in Reinforcing Unarmed Masonry Walls Against Blast Load

A. Esmaeili<sup>1</sup>

S. Sh. Emamzadeh<sup>2</sup>

M. Aamini Mazrea No<sup>3</sup>

## Abstract

One of the passive defense approaches is about reinforcing buildings against blast loads. Walls as parts of buildings are not excluded in this regard. In recent years, using FRP fiber as an appropriate solution to improve the system behavior of lateral resistance and maintaining the existing masonry walls safety has been under scrutiny and various factors affect the quality of this kind of reinforcement. This article deals with the study of the effects of geometrical features and the method of FRP layers arrangement on reinforcing walls with masonry materials. Several unarmed and reinforced masonry walls which differ from one another in number, thickness, width and the method of FRP layers arrangement, under blast loading with measured distance of  $Z = 6 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$  have

been modelled and analyzed using AUTODYN. The results of the study of various arrangement of the fiber show that reinforcement using FRP sheet in way that covers the wall surface completely is the most reliable method and parametric study of the wall surface with definite and armed with the fiber in the form of a sheet under blast loads indicate that the wall destruction threshold has reduced from  $Z = 9 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$  in an unarmed status to  $Z = 4 \frac{m}{kg^{(\frac{1}{3})}}$  to a reinforced status.

**Key Words:** *Reinforcement, Unarmed Masonry Walls, Blast, Measured Distance, CERF Fiber, Passive Defense*

1- M.S Candidate of Passive Defense, Structure Discipline, Imam Hussein Comprehensive University

2- Honorary Assistant Professor of the Faculty and Research Center of Passive Defense, Imam Hussein Comprehensive University - Writer in Charge

3- Instructor and Academic Member of Imam Hussein Comprehensive University