

مطالعه عددی اثر الیاف CFRP بر رفتار دیوارهای بنایی تحت بار زلزله

محمد رضا داودی^۱، حسین فلاح نژاد^۲، مهدی عبادی^۳، سید رسول نبویان^۴

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲ و ۴- دانشجوی دکتری سازه، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۳- دانشجوی دکتری سازه، دانشگاه سمنان

hossein_nitecivil@yahoo.com

خلاصه

در سازه‌های بنایی، به دلیل صلبیت زیاد دیوارها، عمده نیروی زلزله توسط آنها جذب شده و در صورت تجاوز نیروهای ایجاد شده از ظرفیت دیوارهای بنایی و توجه به رفتار ترد آنها، ناگهان فرو ریخته و به دنبال آن سقف نیز فرو خواهد ریخت. آسیب‌پذیر بودن اغلب سازه‌های بنایی در زلزله، وقوع هر زلزله‌ای حتی با بزرگی متوسط را تبدیل به فاجعه‌ای بشری می‌کند. تخریب و دوباره‌سازی اینگونه سازه‌ها راه حل اقتصادی مناسبی نمیتواند باشد، بلکه شناخت رفتار اینگونه سازه‌ها و روشهای مقاومسازی آنها امری مهمتر است. در همین راستا دیوار بنایی با استفاده از آرایشهای مختلف، مقاومسازی شدند و نتایج آنها ارائه شد. در حالت آنالیز تاریخیچه زمانی مربوط به زلزله کوبه (در حالت بدون الیاف)، اکثر بلوکهای دیوار بنایی در طی اعمال شتابنگاشت از یکدیگر جدا شدند و دیوار تقریباً از همان مراحل ابتدایی رفته رفته انسجام خود را از دست داد که این بازشدگی، موجب کاهش شدید مقاومت برشی دیوار شد.

کلمات کلیدی: زلزله، سازه بنایی، مقاومسازی، CFRP، مدلسازی عددی

۱. مقدمه

اگرچه مصالح بنایی از دیر باز در اجرای ساختمانها مورد استفاده قرار گرفته است ولی دانش و درک بشر از رفتار آنها تحت زلزله کافی نیست. وقوع خسارت‌های فراوان ناشی از زمین لرزه در بسیاری از کشورها به وضوح نشان دهنده نواقص این گونه ساختمانهاست.

در زلزله‌هایی که تا کنون رخ داده است بیشترین تلفات جانی و مالی ناشی از فروریختن ساختمان‌های سنتی ساخته شده با مصالح سنتی نظیر سنگ، آجر یا خشت بوده است. علیرغم این مسائل در طول تاریخ کاربرد این نوع سازه‌ها به خاطر هزینه‌ی ساخت پایین، راحت بودن ساخت نسبت به سایر انواع سازه‌ها، صرف کم انرژی و بسیار مرسوم بوده است. البته شرایط اقلیم مناطق نیز در ساختن این نوع سازه‌ها بسیار نقش داشته است. بسیاری از زلزله‌ها در مناطق مختلف، ضرورت بهم پیوستن قسمت‌های مختلف ساختمان به یکدیگر را ثابت کرده‌اند. دیوارهایی که به طور نامناسب بهم متصل شده‌اند اغلب در حین اولین تکان شدید در محل گوشه‌ها ترک خورده و چند ثانیه بعد در تکان‌های بعدی از یکدیگر جدا شده و ساختمان دچار ریزش شده است. سقف‌هایی که به طور نامناسب به دیوارهای زیرین متصل شده‌اند نیز اغلب فروریخته‌اند. لذا بهم پیوستن تمام اجزا و قسمت‌های یک ساختمان خشتی در هنگام زلزله یک امر اساسی و ضروری است. در سالهای اخیر، مطالعات آزمایشگاهی و عددی متعددی توسط محققین بر روی ساختمان‌های بنایی صورت گرفته است.

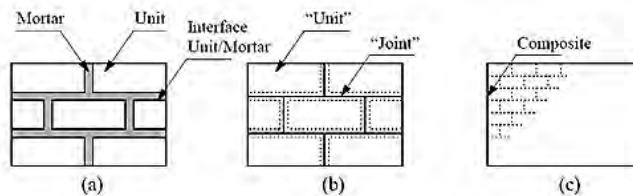
آیمان و همکاران [1]، مطالعه تجربی به منظور بررسی تقویت و افزایش ظرفیت برشی در دیوارهای بنایی غیر مسلح که با ورق‌های FRP تقویت یا بازسازی شده بودند، انجام دادند. شش نمونه دیوار یکسان با ابعاد 1.83×1.83 متر مورد استفاده قرار گرفت، چهار نمونه از آنها با استفاده از کامپوزیت‌های مختلف تقویت شد و یکی از دیوارها بعد از ایجاد ترک‌های قطری روی سطح دیوارها با ورق‌های کامپوزیت تقویت شد. تمام نمونه‌ها در حضور بار گرانش ثابت، تحت برش رفت و برگشتی مورد آزمایش قرار گرفتند. پاسخ دیوار با افزایش تدریجی بارگذاری جانبی به شکل منحنی هیستریزس بار - تغییر مکان تحت بارگذاری چرخه‌ای محاسبه و ثبت شد. در پایان، یک افزایش قابل توجهی در ظرفیت نهایی دیوار به دلیل استفاده از فیبر کامپوزیت پلیمری تقویت شده، مشاهده شده است.

والدیمیر و همکاران [2]، به بررسی عددی تاثیر پارامترهای مانند نیروی پیش فشار، نسبت ابعاد، نسبت آرماتور عمودی و افقی و شرایط مرزی در مقاومت جانبی دیوار بنایی تحت بارگذاری درون صفحه‌ای پرداختند. نتایج عددی نشان داد که شرایط مرزی یک نقش اساسی در رفتار جانبی دیوارهای بنایی تحت بارگذاری رفت و برگشتی و تعیین تاثیر پیش فشار و همچنین نسبت آرماتور در مقاومت دیوار ایفا می‌کنند. آنها به این نتیجه رسیدند که آرماتورهای عمودی تقریباً هیچ تاثیری در مقاومت برشی دیواره‌های بنایی ندارد و تقویت افقی تنها باعث افزایش مقاومت جانبی دیوار بنایی می‌شود که به طور مستقیم مربوط به شرایط مرزی است.

مدریوس و همکاران [3]، مدلی عددی از دیوارهای بنایی محصور شده و محصور نشده با انواع مختلف تقویت های افقی تحت بارگذاری افقی درون صفحه ای را ارائه کردند. نتایج مدل سازی را با نتایج تجربی مقایسه کردند و منحنی نیرو - تغییر مکان و مدهای گسیختگی را بررسی کردند. لوسیونی و همکاران [4]، رفتار مکانیکی تحت فشار درون صفحه ای و فشار مورب در پانل های آجری رسی تقویت شده با الیاف CFRP را بصورت تجربی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که اگر الگو و طرح درستی در مقاوم سازی انتخاب شود، می تواند رفتار دیوار بنایی را بطور چشمگیری بهبود ببخشد و نیز شکل پذیری را افزایش دهد. در بعضی موارد مقاومت نهایی نیز افزایش پیدا کرد. آنها از رفتار ترد و شکست ناگهانی مصالح بنایی غیر مسلح چشم پوشی کردند. ماسیا و همکاران [5]، مطالعه تجربی برای ارزیابی مقاومت و انعطاف پذیری دیوارهای مقاوم سازی شده با نوار CFRP انجام دادند. آنها ۱۶ پانل دیواری به ابعاد ۱۲۰۰ در ۱۲۰۰ میلیمتر را تحت بارگذاری فشاری عمودی و تغییر مکان جانبی رفت و برگشتی قرار دادند. دیوارها پس از رسیدن به حالت شکست با الیاف های CFRP ترمیم و سپس آزمایش شدند. دیوارهای تقویت شده در مقایسه با دیوارهای بنایی غیر مسلح ظرفیت تغییر مکان بالاتری از خود نشان دادند. به طور کلی، مقاوم سازی باعث افزایش ظرفیت اتلاف انرژی در مقایسه با دیوارهای غیر مسلح شده است. هدف نهایی آن تحقیقات و شناسایی تکنیکهایی برای بهبود عملکرد لرزه ای دیوار بنایی غیر مسلح موجود، تحت بار برشی درون صفحه ای بوده است. در مطالعه حاضر از روشهای عددی برای بررسی اثر الیافهای پلیمری بر روی رفتار دیوار بنایی استفاده شده است.

۲- مدل سازی عددی:

در بحث مدل سازی عددی اجزای بنایی دو دیدگاه ماکرو و میکرو مطرح می شود. در دیدگاه ماکرو تفاوتی بین آجر و ملات در نظر گرفته نمی شود بلکه کل مقطع به صورت یک جسم یکپارچه فرض می گردد. در این دیدگاه فرض بر این است که محل ترک ها از قبل مشخص نیست و ممکن است که در هر نقطه ای از سازه ایجاد شود. در دیدگاه میکرو، بلوک های بنایی بطور جداگانه مدل سازی می شود و اندرکنش آن ها توسط المان های حدفاصل بار رفتار مشخص قابل دریافت می باشد. در مدل سازی میکرو، صرف نظر از رفتار اختصاص داده شده به المان های واسط، دو دیدگاه در زمینه مدل سازی ملات وجود دارد. اولی "میکرو مدل ساده سازی شده" که در آن، ملات به خودی خود مدل نشده بلکه خواص اندرکنشی آن با بلوک های بنایی اطراف نظیر چسبندگی و ضریب اصطکاک به المان های واسط با ضخامت صفر نسبت داده می شود و دیگری "میکرو مدل با جزئیات" که دقیق ترین روش موجود برای مدل سازی اجزای بنایی است. در این روش المانهای جداگانه ای برای بلوک آجر یا خشت، ملات و تماس بین ملات و آجر تعریف میشود (شکل ۱). در این مقاله از روش میکروی ساده سازی شده استفاده شده است.



شکل ۱. انواع مختلف مدل سازی برای سازه های بنایی (a) میکرو مدل با جزئیات (b) میکرو مدل ساده شده (c) مدل ماکرو

۲-۱: مشخصات هندسی و مکانیکی مصالح:

دیوار های به کار رفته در این آنالیز دارای ابعاد ۲۰×۱۰۰×۱۰۰ سانتی متر هستند که از بلوکهایی به ابعاد ۱۰×۲۰×۲۰ سانتی متر ساخته شده اند. نحوه ی قرار گرفتن بلوکها در کنار هم به صورتی است که درزها و شکافهای عمودی در دو ردیف بالا و پایین متوالی در یک راستا نباشند و به نوعی یک پیوستگی در دیوار ایجاد شود. در این مطالعه برای بارگذاری از یکی از رکوردهای شتابنگاشت زلزله سال ۱۹۹۵ کوبه استفاده شده است. در این مقاله برای مدل سازی بلوکهای بنایی از مدل رفتاری آسیب پلاستیک بتن استفاده میشود. برای مقاوم سازی نیز از الیاف CFRP به عرض ۱۰ سانتی متر استفاده شده است. مشخصات مصالح استفاده شده در جدولهای ۱ و ۲ و اشکال ۳ و ۴ آمده است.

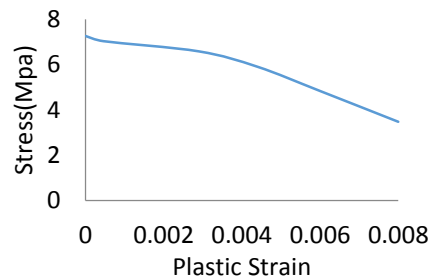
جدول ۱- مشخصات الیاف پلیمری [8]

مشخصات الیاف پلیمری	
مدول الاستیسیته کششی (MPa)	230000
ضریب پواسون	0.3
ضخامت (mm)	0.13

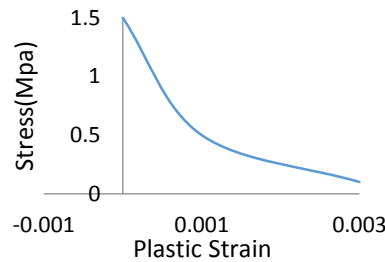
مقاومت کششی (MPa)	3500
کرنش نهایی در کشش (%)	1.5

جدول ۲- مشخصات الاستیک بلوک

مشخصات الاستیک بلوک	
مدول الاستیسیته (MPa)	3200
ضریب پواسون	0.18
چگالی ($\frac{kg}{m^3}$)	1800



شکل ۲- منحنی رفتار فشاری بلوک در ناحیه پلاستیک

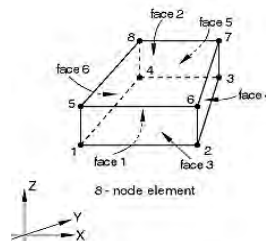


شکل ۳- منحنی رفتار کششی بلوک در ناحیه پلاستیک

برای مدلسازی رفتار شکست مصالح ترد و شکننده از معیارهای گسیختگی تنش نرمال، تئوری موهر-کولمب و تئوری رانکین (حداکثر تنش نرمال) استفاده می شود. در کار حاضر از معیار موهر کولمب برای رفتار مصالح بنایی استفاده شده است. برای مدل کردن رفتار برشی ملات از ضریب اصطکاک متغیر با فشار تماسی استفاده شد. بطوریکه میزان ضریب اصطکاک برای شبیه سازی رفتار برشی ملات به ازای فشار تماسی ۰٫۵، ۱ و ۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع به ترتیب برابر با ۱٫۵، ۰٫۹ و ۰٫۶۲ در نظر گرفته شده است. در ضمن از مقاومت کششی ملات صرف نظر شده است و بیشتر روی استفاده از مقاومت برشی آن که با ضریب اصطکاک تعیین می گردد، تمرکز میشود.

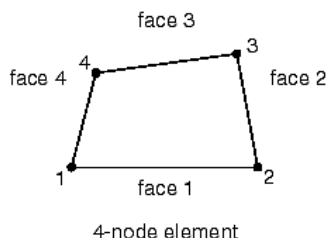
۲-۲- معرفی المانهای مش بندی :

در این مقاله بلوکهای بنایی با استفاده از المان شش وجهی Solid، مش بندی شدند. این المان از نوع پیوسته و سه بعدی با هشت گره است که هر کدام از گره های آن دارای ۳ درجه آزادی در امتداد محورهای اصلی هستند و قابلیت پذیرش هر نوع بار جرمی، دورانی و همچنین بارهای سطحی و خطی را با شدتهای مختلف دارند. جهت توزیع نیروها، تغییر مکانها و سایر پارامترها در این المان از توابع شکل به دست آمده از روش های انتگرالگیری کاهش یافته استفاده می شود.



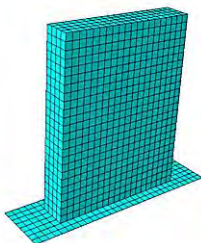
شکل ۴- المان solid مورد استفاده برای بلوکهای بنایی

برای مش بندی نوارهای FRP از یکی از انواع المانهای پوسته ای استفاده شد. این المان، یک المان ۴ گره ای و سه بعدی با ضخامت بسیار کم است که در هر گره خود دارای ۶ درجه آزادی کامل است و توانایی در نظر گرفتن کرنشهای غیرخطی را نیز دارد. جهت توزیع نیروها، تغییر مکانها و سایر پارامترهای مورد نیاز در این المان هم از توابع شکل حاصل از روش های انتگرالگیری کاهش یافته استفاده می شود.



شکل ۵- المان پوسته ای مورد استفاده برای الیاف نوار پلیمری

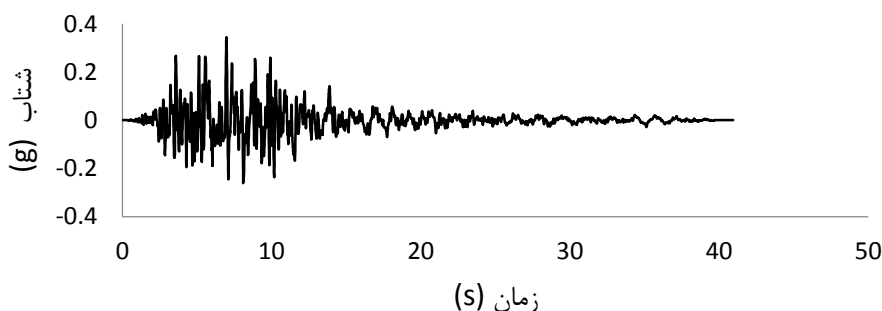
لازم به ذکر است که در شبکه بندی مدل المان محدود دیوار، ۱۹۴۰ المان حجمی و در مش بندی مدل المان محدود اتاق بنایی ۳۵۰۰ المان حجمی و در هر دو حالت ۳۰ المان پوسته ای در واحد طول برای CFRP بکار رفته است. جهت مدل نمودن تماس میان سطوح تماسی از حالت تماس عمومی استفاده شده است. شکل ۶ مدلهای مشبندی شده دیوار و اتاق بنایی را نشان می دهد.



شکل ۶- مدل عددی مش بندی شده دیوار

۲-۳- حالات بارگذاری و نحوه آرایش الیاف:

در این مقاله برای اعمال بار بر دیوار تک از یک تیر صلب با ابعاد $100 * 20 * 20$ سانتی متر روی دیوار استفاده شد تا بار قائم فشاری به آن اعمال شود. ابتدا بار فشاری قائم به میزان ۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع به صورت تدریجی و پس از آن شتابانگاشت زلزله کوبه در ایستگاه KAKOGAWA (شکل ۷) به کف صلب در پایین دیوار وارد می شود. همچنین در نظر گرفتن بار فشاری در واقع به منظور لحاظ کردن اثر سقف روی دیوار است تا شرایط مدلسازی به شرایط واقعی نزدیکتر شود. برای مقاوم سازی از الیاف با عرض ۱۰ سانتی متر به شکلهای مختلف بر روی دیوار استفاده شد. در حالت اول الیاف به شکل ضربدری، در حالت دوم به صورت قاب دور تا دور دیوار و در حالت سوم به صورت سراسری روی سطح خارجی دیوار قرار گرفتند. این عمل تنها روی یک سطح بیرونی دیوار انجام گرفته است و در نهایت نتایج حاصله که همان تاریخچه های نیرو - زمان و جابجایی - زمان هستند با یکدیگر مقایسه شده اند.

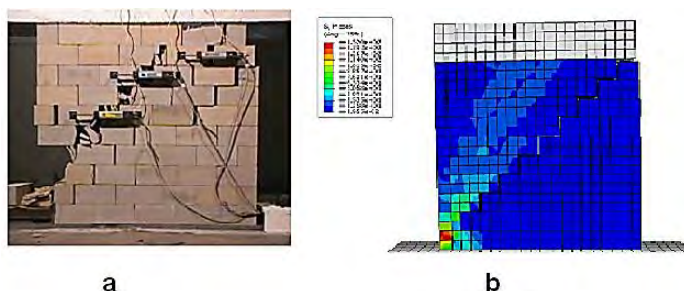


شکل ۷- نمودار شتاب - زمان زلزله کوبه

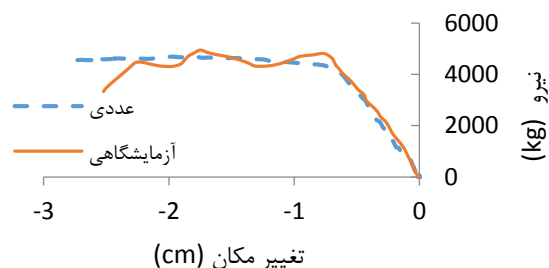
۳- نتایج:

۳-۱- اعتبار سنجی:

آقای دانیل الیویرا [6] مدل آزمایشگاهی شامل دیوارهایی با ابعاد یک متر در یک متر و با ضخامت ۲۰ سانتی متر که ابعاد بلوکهای استفاده شده در آنها ۲۰×۲۰×۱۰ سانتی متر است را مورد آزمایش قرار داد. ابتدا بارگذاری عمودی ۱۰۰ کیلونیوتن روی دیوار اعمال شده و پس از اعمال بار قائم مذکور، دیوار تحت بارگذاری جانبی به صورت استاتیکی افزایش یافته قرار گرفت. حال به منظور تایید مدل و تعمیم نتایج برای حالات مختلف بارگذاری، وضعیت مدل عددی تحت بارگذاری اشاره شده در بالا و مقایسه نتیجه حاصل از آن با نتیجه آزمایشگاهی پرداخته میشود.



شکل ۸- وضعیت مدل عددی (b) و آزمایشگاهی (a) برای دیوار با سربار قائم ۱۰۰ کیلونیوتن

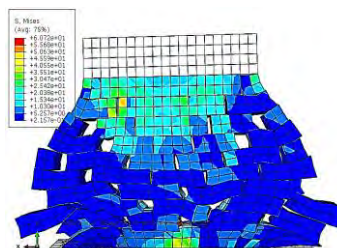


شکل ۹- نمودار نیرو - تغییر مکان عددی و آزمایشگاهی تحت بار قائم ۱۰۰ کیلونیوتن

همانطور که مشاهده میشود در ناحیه خطی بین نمودارها تطابق خوبی برقرار است اما با ورود به ناحیه غیرخطی میتوان اختلافاتی در نمودارهای عددی و آزمایشگاهی مشاهده نمود. به این صورت که در مدل عددی پس از رسیدن به نقطه حداکثر مقاومت، روند نمودار تقریباً ثابت است و عموماً در همان مقدار باقی می ماند، در حالیکه در نمودار مدل آزمایشگاهی، پس از عبور از ناحیه خطی، افت مقاومت وجود دارد و بتدریج این کاهش مقاومت بیشتر است. این تغییرات در نمودار مربوط به مدل‌های عددی دیده نمی شود و می توان آن را ناشی از تغییرات مشخصات رفتاری مصالح در ناحیه غیرخطی و همچنین پیچیدگی موجود در اندرکنش بین بلوک ها و رفتار غیرخطی ملات دانست در مجموع با توجه به میزان کم اختلافات بین جواب های عددی و آزمایشگاهی، می توان نتایج این مدل سازی را دارای دقت خوب و کافی قلمداد کرد.

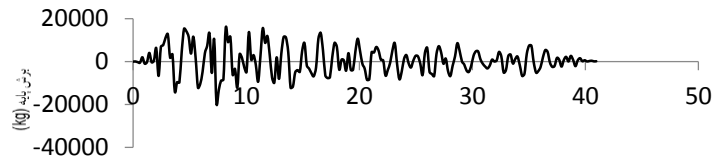
۳-۴- نتایج آنالیز دیوار تحت تحریک زلزله:

ابتدا به بررسی پاسخ های دیوار بدون الیاف به تحریک بستر زلزله پرداخته میشود. در شکل ۱۰ نحوه تغییر شکل های دیوار و تنشهای به وجود آمده در بدنه آن در پایان اعمال شتاب زلزله آمده است.



شکل ۱۰- کانتور تنش های نهایی دیوار بدون الیاف پلیمری تحت تاریخچه زلزله

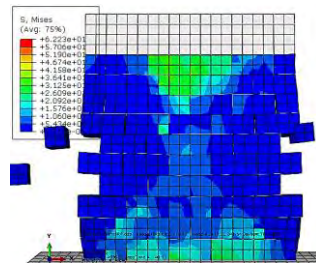
در اثر شتاب اعمالی به پایه دیوار مشاهده شد که از همان ثانیه های ابتدایی بارگذاری زلزله مصالح خستی به واسطه ضعف برشی و کششی ملات رفته رفته از همدیگر جدا شده و یکپارچگی خود را از دست می دهند و با ادامه بارگذاری بخش بزرگی از دیوار کاملاً از هم گسسته می شوند. به همین علت بلوکها نتوانسته اند تنش های قابل قبولی را تحمل کنند و به علت از بین رفتن بافت یکپارچه دیوار استفاده از حداکثر ظرفیت فشاری میسر نشده است. منحنی نیرو - زمان برای پایه در شکل ۱۱ رسم شده است.



زمان (s)

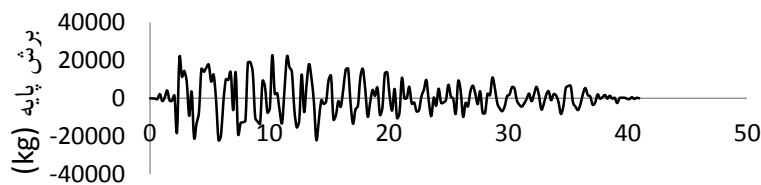
شکل ۱۱- منحنی نیرو-زمان برای دیوار فاقد الیاف پلیمری

با توجه به منحنی های فوق می توان گفت حداکثر نیروی برشی در پایه دیوار حدود ۱۹,۵ تن است و همچنین ماکزیمم تغییر مکان جانبی تاج دیوار ۱۲ سانتی متر است. حال مدل های مقاوم سازی شده با الیاف CFRP بررسی میشود تا چه اثری هر یک از آرایش های مختلف روی مقاومت برشی پایه دیوار و هم چنین تغییر مکان آن خواهند داشت. برای حالت مقاوم سازی شده با الیاف ضربدری تنش های ترکیبی ایجاد شده در بدنه دیوار و همچنین چگونگی تغییر شکل های نهایی آن در شکل ۱۲ زیر ارائه شده است.



شکل ۱۲- تنش های ترکیبی نهایی دیوار با الیاف ضربدری تحت تاریخچه زلزله

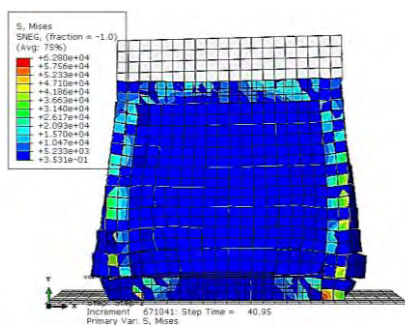
استفاده از الیاف در راستای دو قطر دیوار موجب شده است تا از ترک خوردگی های بیش از حد در این محدوده بر خلاف حالت عادی، جلوگیری شود. دیوار در این حالت مدت زمان بیشتری توانسته ساختار یکپارچه خود را حفظ کند و سپس رفته رفته دچار شکاف و ترک میشود. یکی از مطالبی که باید به آن اشاره کرد این است که در این حالت و هم چنین حالت بدون الیاف، باز شدگی در درزهای قائم که فاقد الیاف هستند، مشاهده میشود. در حالیکه برای حالت ضربدری دیده میشود که این مسئله در راستای قطر ها به چشم نمی خورد. منحنی های برش پایه و تغییر مکان بر حسب زمان برای این حالت در شکل ۱۳ آورده شده است.



زمان (s)

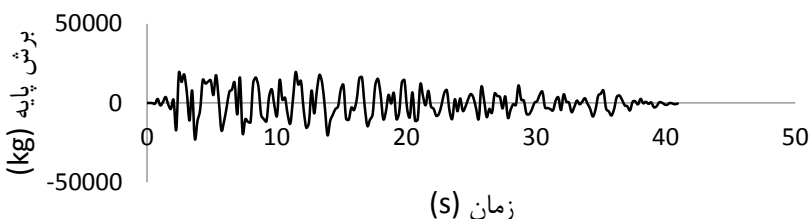
شکل ۱۳- منحنی نیرو- زمان برای دیوار با الیاف ضربدری

همانگونه که از نمودارها مشخص است در این حالت دیوار توانسته است، برش پایه به میزان ۲۲,۷ تن را تحمل کند که بیش از ۳ تن افزایش مقاومت نسبت به حالت عادی را نشان می دهد. همچنین با نگاه به منحنی های جابجایی - زمان مشخص میشود که حداکثر جابجایی نقطه فوقانی دیوار در این حالت ۱۰,۵ سانتی متر است یعنی استفاده از الیاف ضربدری ۱,۵ سانتی متر کاهش تغییر مکان برای دیوار ایجاد کرده است. تغییر شکل نهایی دیوار برای حالت مقاوم سازی با الیاف در گوشه ها در شکل ۱۴ آمده است.



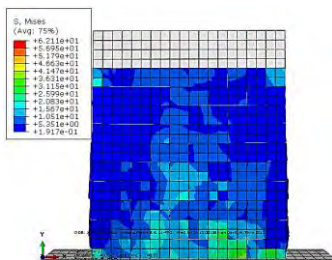
شکل ۱۴- تنش های ترکیبی نهایی دیوار با الیاف در گوشه ها تحت تاریخچه زلزله

همانگونه که در شکل ۱۴ مشخص است به واسطه عدم پوشش قسمت های میانی توسط الیاف، ایجاد شکاف در راستای درزهای قائم در این حالت مشخص است ولی بر خلاف حالت قبل چارچوب کلی دیوار که با الیاف پوشانیده شده، حفظ شده است. در ادامه به مقایسه بین نمودارهای نیرو - زمان و تغییر مکان - زمان پرداخته میشود.



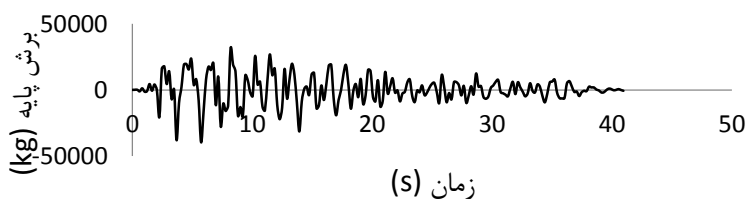
شکل ۱۵- منحنی نیرو- زمان برای دیوار با الیاف در گوشه ها

حداکثر نیروی برش پایه در این حالت ۲۲,۶ تن است که ۱ تن کمتر از ماکزیمم مقدار به دست آمده برای حالت ضربردی است ولی با این حال نسبت به حالت عادی ۶ تن افزایش مقاومت را نشان می دهد. از نظر تغییر مکان هم ۱۰,۶ سانتی متر است که ۰,۱ سانتی متر بیش از حالت ضربردی است. در مجموع به نسبت حالت ضربردی اختلاف چندان زیادی در جوابها به چشم نمی خورد. در آخرین حالت سطح دیوار به طور کامل با الیاف پوشش داده شده است. در شکل ۱۶ تنشهای ترکیبی فون میز در پایان بارگذاری زلزله به نمایش در آمده است.



شکل ۱۶- کانتور تنش های نهایی دیوار با الیاف سراسری تحت تاریخچه زلزله

همانطور که مشاهده می شود در این حالت به واسطه پوشش کامل سطح خارجی دیوار خبری از ایجاد درز و شکافهای قائم نیست و الیاف توانسته تا مدت زمان بیشتری مصالح را در درون خود نگه دارد و از ریزش و پخش شدن آنها جلوگیری کند. حال به مقایسه نمودارهای مربوط به این حالت مقاومسازی با سایر حالات دیگر پرداخته میشود تا میزان بهره وری این شکل آرایش الیاف نیز مشخص شود.



شکل ۱۷- منحنی نیرو- زمان برای دیوار با الیاف سراسری

با توجه به نمودارهای فوق می بینیم که در این حالت مقاومتی میزان حداکثر برش پایه ایجاد شده در پای دیوار خشتی برابر با ۳۹٫۶ تن است که بیش از دو برابر افزایش مقاومت نسبت به حالت عادی را نشان می دهد و هم چنین حداکثر تغییر مکان افقی برای نقطه فوقانی دیوار ۱۰٫۶ سانتی متر است. در جدول ۵ مقادیر حداکثر مقاومت برشی و جابجایی مربوط به هر یک از حالات آورده شده است.

جدول ۵- مقایسه ای بین سطح پوشش داده شده دیوار توسط الیاف و مقاومت برشی و جابجایی متناسب

حالت مقاومتی	درصد سطح پوشش داده شده با الیاف FRP	برش پایه حداکثر (ton)	تغییر مکان حداکثر (cm)
عادی	۰	۱۹٫۵	۱۲
الیاف ضربدری	۲۵	۲۲٫۷	۱۰٫۵
الیاف در گوشه ها	۳۵	۲۲٫۶	۱۰٫۶
الیاف کامل	۱۰۰	۳۹٫۶	۱۰٫۶

پس از بررسی رفتار درون صفحه دیوار بنایی تحت بار زلزله، در ادامه مدل عددی یک سازه بنایی یک طبقه که با استفاده از الیاف مقاومتی و تحت بارگذاری دینامیکی قرار گرفته است، آورده شده است.

۴- نتیجه گیری:

در این مقاله سعی شد تا با استفاده از روشهای عددی و اجزا محدود اثر پوشش الیاف های پلیمری با آرایش های گوناگون، بر روی دیوار تحت تحریک زلزله بررسی شود که در اینجا به طور خلاصه به ارائه نتایج پرداخته میشود:
در حالت آنالیز تاریخچه زمانی مربوط به زلزله کوبه (در حالت بدون الیاف)، اکثر بلوکهای دیوار بنایی در طی اعمال شتابنگاشت از یکدیگر جدا شدند و دیوار تقریباً از همان مراحل ابتدایی رفته رفته انسجام خود را از دست داد که این باز شدگی، موجب کاهش شدید مقاومت برشی دیوار شد. در حالت بدون الیاف، ماکزیم ظرفیت برشی حدود ۱۹۵۰۰ کیلوگرم بود که پس از مسلح سازی با الیاف این مقاومت برشی به ترتیب برای پوششهای ضربدری، قاب مانند و سراسری ۱۶٫۴، ۱۶٫۵ و ۱۰۰ درصد افزایش پیدا کرد.

۵- مراجع:

- [1] Ayman Mosallam, Swagata Banerjee, (2011) "Enhancement in in-plane shear capacity of unreinforced masonry (URM) walls strengthened with fiber reinforced polymer composites", Composites Part B: Engineering, Volume 42, Issue 6, Pages 1657-1670.
- [2] Vladimir G. Haach, Graça Vasconcelos, Paulo B. Lourenço, (2011) "Parametrical study of masonry walls subjected to in-plane loading through numerical modeling", Engineering Structures, Volume 33, Issue 4, Pages 1377-1389.
- [3] P. Medeiros, G. Vasconcelos, P.B. Lourenço, J. Gouveia, (2013) "Numerical modeling of non-confined and confined masonry walls", Construction and Building Materials, Volume 41, Pages 968-976.
- [4] Bibiana Luccioni, Viviana C. Rougier, (2011) "In-plane retrofitting of masonry panels with fiber reinforced composite materials", Construction and Building Materials, Volume 25, Issue 4, Pages 1772-1788.
- [5] K.M.C. Konthesingha, M.J. Masia, R.B. Petersen, N. Mojsilovic, G. Simundic, A.W. Page, (2013) "Static cyclic in-plane shear response of damaged masonry walls retrofitted with NSM FRP strips – An experimental evaluation", Engineering Structures, Volume 50, Pages 126-136.
- [6] Oliveira.D, Lourenco.P.B, "Experimental and Numerical Analysis of Block Masonry Structures under Cyclic Loading", Ph.D. Thesis, University of Minho, Portugal, 2003.