

فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال هفتم، شماره ۳، پائیز ۱۳۹۵، (پیاپی ۲۷): صص ۸-۱

تعیین چیدمان مناسب ورق FRP برای مقاوم سازی دیوارهای بتنی در

برابر بارهای ناشی از انفجار

صفا پیمان*^۱، صیاد کریمی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۰

چکیده

گسترش عملیات تروریستی باعث گردیده است که به امنیت ساختمان در برابر بارهای ناشی از انفجار توجه بیشتری گردد. با توجه به اینکه ساختمان‌های موجود در بیشتر موارد برای بار ثقلی یا بارهای ناشی از زلزله طراحی شده‌اند و به اثر ناشی از انفجار توجه کمتری شده است، تحقیق در این زمینه ضروری می‌باشد. معمولاً عملیات تروریستی به گونه‌ای هست که مواد منفجره در نزدیکی ساختمان منفجر می‌شود و باعث وارد شدن فشار زیاد در مدت زمان بسیار کمی بر ساختمان می‌شود. یکی از اعضا ساختمان که فشار بیشتری تحمل می‌کند دیوارهای ساختمان می‌باشد که باید مقاومت و شکل‌پذیری کافی داشته باشد تا از پخش شدن قسمت‌های تشکیل دهنده دیوار در انفجار جلوگیری نماید. روش‌های مختلفی برای افزایش مقاومت و شکل‌پذیری دیوارها وجود دارد که استفاده از FRP گزینه مناسب و کاربردی می‌باشد. استفاده از ورق‌های FRP باعث افزایش مقاومت و شکل‌پذیری سازه می‌شود بدون اینکه سازه دستخوش تغییر محسوس در جرم و سختی گردد.

در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار المان محدود آباکوس، دیواری که با استفاده الیافی پلیمری (FRP) مقاوم‌سازی شده بود، تحت بارگذاری انفجاری قرار داده و با نتایج آزمایشگاهی موجود در مقالات صحت سنجی شد و نیز اثر چیدمان‌های مختلف مقاوم‌سازی در رفتار دیوار مورد تحقیق قرار گرفت. نتایج تحقیق بیانگر این موضوع است که این مقاوم‌سازی اثر قابل توجهی در کاهش تغییر مکان نقطه بحرانی دیوار (افزایش سختی و جرم که در بارگذاری انفجاری مهم است) از خود نشان نمی‌دهد ولی موجب افزایش مقاومت در برابر پخش شدن ناشی از خردشدگی (به دلیل افزایش شکل‌پذیری) می‌گردد. در این تحقیق از بررسی شکل‌های غیرمرسوم و غیرقابل اجرا در مطالعه المان محدود صرف نظر شده و بیانگر این موضوع می‌باشد که جهت مناسب الیاف FRP در راستای میلگردهای طراحی می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: آباکوس، اجزاء محدود، بارگذاری انفجاری، مقاوم‌سازی، FRP

۱- مربی دانشگاه جامع امام حسین (ع)، (speyman@ihu.ac.ir) - نویسنده مسئول

۲- کارشناسی ارشد عمران سازه، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

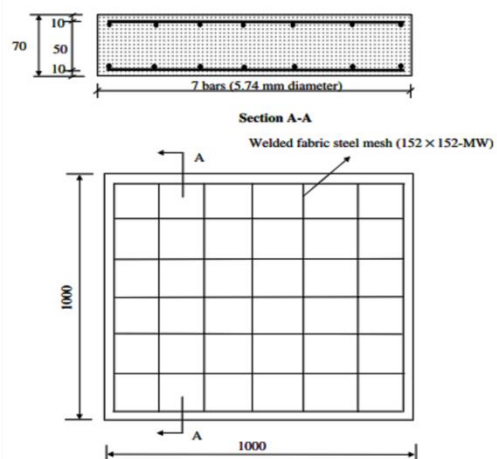
۱- مقدمه

۱-۱- بیان مسئله

در سال‌های اخیر بسیاری از سازه‌هایی که طراحی و اجرا شده‌اند، برای بارگذاری انفجاری طراحی نشده‌اند. از طرف دیگر با توجه به موقعیت ایران در منطقه حساس خاورمیانه لازم است که سازه‌ها با اهمیت زیاد در برابر این گونه عملیات تروریستی مقاوم‌سازی شوند. موج انفجار ناشی از عملیات تروریستی باعث آسیب در اجزا سازه‌ای و غیر سازه‌ای می‌شود. دیوارها نیز جزئی از اعضای ساختمان می‌تواند تحت خرابی‌های ناشی از عملیات تروریستی قرار بگیرد. روش‌های مختلفی برای مقاوم‌سازی وجود دارد و انتخاب این روش‌ها نیازمند تحقیق در رفتار آن‌ها می‌باشد. یکی از روش‌هایی که برای مقاوم‌سازی دیوارها استفاده می‌شود، استفاده از الیاف FRP می‌باشد. این الیاف با توجه به وزن کم، تأثیر ناچیزی در وزن ساختمان ایجاد می‌کند. الیاف به گونه‌ای استفاده می‌گردد که تأثیر آن در سختی نیز ناچیز بوده و در نتیجه مرکز جرم و سختی ثابت می‌ماند [۲].

۱-۲- پیشینه تحقیق

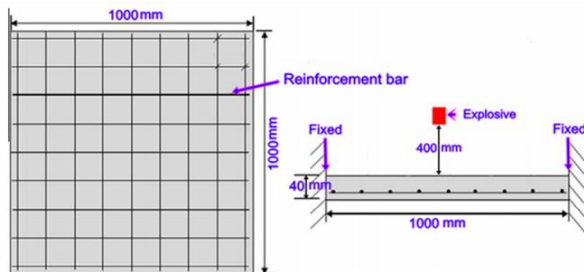
در سال ۲۰۰۶ رزاق پور و همکارانش [۳] با انجام آزمایش بر روی نمونه‌های بتنی مربعی به طول ۱۰۰۰ و به ضخامت ۷۰ میلی‌متر (همان‌طوری که در شکل (۱) نشان داده شده است) که دارای مقاومت بتن ۴۰ مگاپاسگال بود، و با دو لایه FRP عمود بر هم مقاوم‌سازی شده بود، نشان دادند که این روش مقاوم‌سازی تا ۷۰٪ نسبت به سیستم اولیه (مقاوم‌سازی نشده)، مقاومت در برابر خردشدگی ناشی از انفجار را بالا می‌برد.



شکل ۱. آزمایش رزاق پور و همکارانش [۳]

ژانو و همکارانش [۴] نمونه‌های بتنی مربعی به طول ۱۰۰۰ و به ضخامت ۴۰ میلی‌متر (شکل ۲) و بتن با مقاومت‌های ۲۸ تا ۴۲/۲ مگاپاسگال و با استفاده از یک لایه FRP مقاوم‌سازی شده بود، با

استفاده از المان محدود نشان دادند که نمونه مقاوم‌سازی شده دارای رفتار دینامیکی بهتری نسبت به نمونه اولیه (مقاوم‌سازی نشده) می‌باشد.



شکل ۲. آزمایش ژانو و همکارانش [۴]

۱-۳- اهداف تحقیق

با توجه به هزینه بالای الیاف FRP تعیین محل و چیدمان مناسب از اهمیت زیادی برخوردار بوده که هدف این تحقیق نیز بررسی محل مناسب نصب و چیدمان این نوع مقاوم‌سازی می‌باشد به طوری که از لحاظ عملی نیز قابل کاربرد بوده و شرایط و مشکلات اجرایی نیز مدنظر قرار گیرد.

۲- روش تحقیق

این پژوهش به بررسی کارایی روش تحلیلی، مقایسه‌ای استفاده از ورق‌های FRP در مقاوم‌سازی سازه در برابر بارهای ناشی از انفجار پرداخته است. بدین‌صورت که دیوار بتنی مقاوم‌سازی شده با پلیمرهای مسلح با الیاف کربنی (FRP) تحت اثر بار انفجاری قرار گرفته است. در این تحقیق بار انفجاری، ابعاد دیوار و شرایط تکیه‌گاهی ثابت فرض شده و تأثیر چیدمان الیاف کربنی در حالت‌های مختلف بررسی شده است. برای مدل‌سازی، تحلیل و پردازش نتایج از نرم‌افزار آباکوس استفاده شده است. پس از انجام تحلیل، نحوه و مقدار توزیع پارامترهایی نظیر تغییر مکان و جذب انرژی مورد مقایسه قرار گرفته است.

۳- بارگذاری

انفجار واکنشی هست که در آن، نرخ سوختن مواد با سرعتی به مراتب بیشتر از سرعت صوت انجام می‌گیرد که در نتیجه، دما و فشار بالایی تولید و با سرعت بسیار زیاد منتشر می‌شود [۱].

۴- معیارهای موج انفجار

به منظور محاسبه موج انفجار در یک فاصله و مقدار مشخص ماده منفجره، روش‌های زیادی وجود دارد که مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین

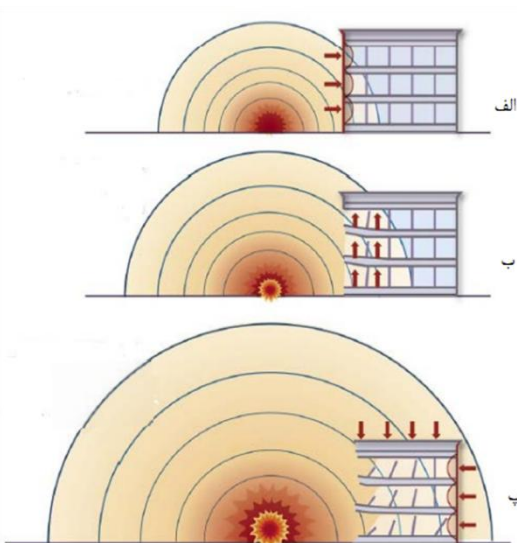
داخل در تمام محیط ساختمان می‌شود [۶].

الف- موج انفجاری پنجره‌ها را می‌شکند. دیوارهای خارجی فرومی‌ریزند. ممکن است ستون‌ها دچار آسیب شوند.

ب- موج انفجاری کف‌ها را به سمت بالا می‌راند و باعث تخریب آن‌ها و افزایش طول مؤثر ستون‌ها شود.

پ- موج انفجاری سازه را احاطه می‌کند. باعث فشار رو به پایین به کف‌ها می‌شود. فشار رو به داخل در هر جهتی از ساختمان ایجاد می‌شود.

هدف اصلی این تحقیق کمک به حذف زنجیر در قسمت الف در شکل (۴) با مقاوم‌سازی با استفاده از FRP می‌باشد. همان‌طور که دیده می‌شود در صورتی که دیوار سازه مقاوم نبوده و شکل‌پذیری مناسبی نداشته باشد در این صورت با اولین موج انفجار از هم پاشیده و امواج وارد فضای داخلی شده و باعث آسیب دیدن سقف و دیوارهای داخلی و اعضای باربری سازه‌ای داخلی می‌گردد. که استفاده از این سیستم مقاوم‌سازی دیوار را مقاوم‌تر و شکل‌پذیرتر می‌نماید.



شکل ۴. مراحل مختلف تخریب ساختمان [۶]

۶- مدل سازی

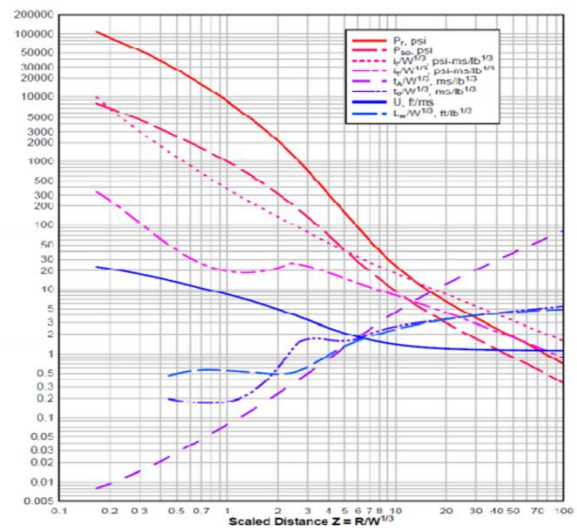
المان محدود ابزار بسیار قدرتمندی جهت شبیه‌سازی بوده و اگر مدل مورد نظر و پارامترهای ورودی^۲ به‌درستی انتخاب شود، نتایج خروجی نیز قابل استناد خواهد بود. در این تحقیق برای رفتار بتن از رفتار بتن آسیب‌دیده^۳ که توسط لوبلینر و همکارانش [۷] توسعه

آن روش فاصله مقیاسی^۱ است که به‌صورت خلاصه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z = \frac{R}{W^{1/3}} \quad (1)$$

که در آن، Z فاصله مقیاس شده، R فاصله محل انفجار تا محل مورد نظر (متر) و W وزن معادل خرج انفجار برحسب وزن TNT معادل (کیلوگرم) می‌باشد.

با توجه به پدیده انفجار و اثرات آن بر ساختمان، عمده پارامترها (فشار- P_0 ، فشار بازتابی- P_r ، فشار دینامیکی- q_s ، زمان انفجار t_d ، ضربه i_s ، سرعت موج- U_s و طول موج- r_w) از نمودار شکل (۳) قابل محاسبه است.



شکل ۳. پارامترهای انفجار سطحی [۵]

۵- مراحل مختلف اثر انفجار بر سازه

وقوع یک انفجار در اطراف سازه و روی سطح زمین (داخل ماشین یا انفجار تانک‌های حامل سوخت)، به عنوان انفجاری غیر تماسی محسوب می‌شود. در انفجار غیر تماسی آسیب‌های وارد بر سازه از طریق موج انفجار صورت می‌گیرد. در انفجار خارج از ساختمان، موج فشاری به سطوح خارجی اعمال شده و باعث شکست عناصر باربر مجاور آن، دیوارها، عناصر نما و شیشه‌ها می‌شود. چنانچه موج تابشی در جهت بازشوها ادامه می‌یابد، داخل ساختمان می‌شود و باعث تخریب سقف‌ها و طبقات می‌شود. با ورود موج تابشی به داخل ساختمان، فشار رو به بالا در سقف‌ها و طبقات ایجاد شده و باعث تخریب آن‌ها می‌شود. در مرحله آخر فشار همه‌جانبه رو به

2- Preprocessing
3- Concrete damaged plasticity mode

1- Scaled distance

تنش- کرنش فولاد تا حد ممکن بیانگر رفتار واقعی فولاد باشد. نرم افزار آباکوس برای انجام محاسبات و مدل سازی صحیح رفتار مصالح نیاز به مدول الاستیسیته، تنش واقعی و کرنش پلاستیک واقعی^۱ فولاد دارد. از آنجا که نتایج حاصل از آزمایش کشش، تنش- کرنش مهندسی و یا اسمی^۲ تلقی می گردد؛ این تنش-کرنش باید به تنش-کرنش واقعی مطابق فرمول های (۲) تا (۴) تبدیل و در نرم افزار آباکوس استفاده گردد. در فرمول مذکور σ_{true} و ϵ_{true} تنش و کرنش واقعی و σ_{nom} و ϵ_{nom} تنش و کرنش مهندسی خواهند بود. در شکل (۶) دیاگرام تنش کرنش فولاد مورد مصرفی آورده شده است.

جدول ۲. پارامتر خرابی کششی بتن [۱۰]

خرابی (dt)	کرنش پلاستیک
۰	۰
۰/۴۲	۰/۰۰۰۱
۰/۶۸	۰/۰۰۰۲۵
۰/۷۸	۰/۰۰۰۴
۰/۸۹	۰/۰۰۰۷
۰/۹۲	۰/۰۰۱۰

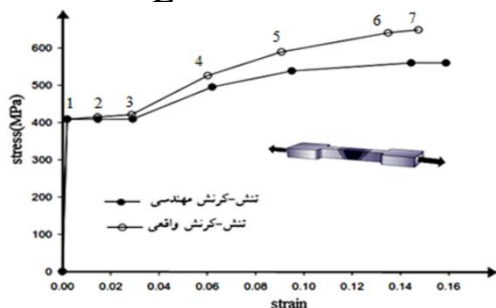
جدول ۳. پارامتر خرابی فشاری بتن [۱۰]

خرابی (d_c)	کرنش پلاستیک
۰	۰/۰۰۱
۰/۳۵	۰/۰۰۲
۰/۵۶	۰/۰۰۳
۰/۷۳	۰/۰۰۵
۰/۸	۰/۰۰۸

$$\sigma_{true} = \sigma_{nom} (1 + \epsilon_{nom}) \quad (۲)$$

$$\epsilon_{true} = \ln(1 + \epsilon_{nom}) \quad (۳)$$

$$\epsilon_{true}^{pl} = \epsilon_{true} - \frac{\sigma_{true}}{E} \quad (۴)$$

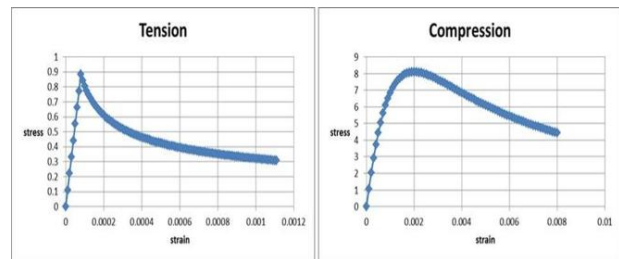


شکل ۶. دیاگرام تنش- کرنش فولاد

یافته، استفاده شده است. برای استفاده از این مدل باید پارامترها حساسیت سنجی شود که البته این پارامترها برای بتن مورد نظر این مطالعه از مرجع [۲] انتخاب شده است که با حساسیت سنجی نتایج آزمایشگاهی مرجع [۸] انتخاب شده است. برای فولاد از رفتار الاستیک- الاستیک سخت شونده و برای FRP از رفتار الاستیک با پارامترهای خرابی استفاده شده است که در بخش های زیر آورده شده است.

۶-۱- منحنی تنش-کرنش بتن

برای رفتار بتن محصور نشده از منحنی تنش کرنش مندر و همکارانش [۹] استفاده شده و پارامترهای آسیب نیز همان طور که در قسمت قبل نیز ذکر شد از مدل بتن آسیب دیده استفاده شده است. بتن استفاده شده در این تحقیق بتن با مقاومت کم می باشد که نیاز به مقاوم سازی را ضروری می سازد. در شکل (۵) منحنی تنش کرنش بتن در حالت کششی و فشاری و فشاری و پارامترهای متناظر با آنها در جدول های (۳-۱) آورده شده است.



شکل ۵. منحنی تنش کرنش بتن ($f'_c = 8.3 MPa$)

جدول ۱. خواص پلاستیک خرابی بتن [۱۰]

پارامتر	پارامتر ویسکوزیته	kc	f_{cb}/f_{cc}	خروج از مرکزیت	Phi
مقدار	۰/۰۱	۰/۶۶۷	۱/۱۶	۰/۱	۱۵

Kc: نسبت نامتغییر دوم در حالت کششی به مقدار آن در حالت فشاری

f_{cb} : مقاومت بتن در حالت تنش دوجوری

f_{co} : مقاومت بتن در حالت تک محوری

Phi: زاویه اتساع بتن

۶-۲- رفتار آرماتورهای فولادی

برای مدل سازی آرماتور در آباکوس می توان از دو مدل رفتاری الاستیک- پلاستیک کامل و یا الاستیک- الاستیک سخت شده تعریف کرد که در این اینجا از الاستیک با پلاستیک سخت شده استفاده شده است. در جدول (۴) مشخصات مصالح معرفی شده برای آرماتور آورده شده است. در تحلیل اجزاء محدود بهتر است دیاگرام

1-True Plastic Strain

2- Nominal

چهار نقطه با انتگرال‌گیری کاهش‌یافته استفاده شده است. آباکوس مرز فیزیکی را تشخیص نمی‌دهد به همین خاطر برای در نظر گرفتن اثر متقابل میله‌گرد در بتن از رفتار جاسازی استفاده شده است. همچنین برای در نظر گرفتن اثر متقابل FRP و بتن، از رفتار برخورد دو صفحه برای حالتی که این دو المان دارای برخورد عمود بر هم هستند از رفتار برخورد سخت استفاده شده تا دو المان در هم فرو نرود.

۶-۵- صحت سنجی مدل

برای صحت سنجی از نمونه آزمایش رزاق پور و همکارانش استفاده شده است که دارای مقاومت بتن ۴۰ مگاپاسگال بود و با دو لایه FRP عمود بر هم مقاوم‌سازی شده است. نتایج المان محدود و آزمایش در جدول (۸) آورده شده است که نشان می‌دهد فرضیات در نظر گرفته شده به خوبی نتایج را پیش‌بینی می‌کند. نتایجی که در جدول (۸) آورده شده است، نشان می‌دهد که المان محدود مورد مطالعه با دقت قابل قبولی همانند مطالعه المان محدود ژائو نتایج آزمایشگاهی را پیش‌بینی می‌کند.

جدول ۸. نتایج المان محدود مدل مورد مطالعه، المان محدود ژائو و آزمایش ژائو

Charge	0.31KG	0.46KG
EXP(mm)	۱۵	۳۵
Proposed FEM(mm)	۱۵/۷	۲۷/۶
FEM, Zhao(mm)	۱۲/۷	۳۱/۱

۶-۶- نمونه‌های مورد مطالعه

نمونه مورد مطالعه در این تحقیق دیوار بتنی با ضخامت ۴ و به ابعاد ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر می‌باشد همچنین در تمام نمونه از یک مش فولادی با میله‌گردهای به قطر ۶ میلی‌متر که در فاصله ۱۰۰ میلی‌متر از همدیگر قرار داده شده بود استفاده گردیده است. به دلیلی اینکه دیوارهای ساختمان معمولاً از قسمت بالا و پایین به سقف و فونداسیون و از طرفین به ستون متصل هستند که دارای سختی بیشتری نسبت به دیوار می‌باشند در نتیجه در نمونه مورد مطالعه از تکیه‌گاه ساده در هر چهار طرف دیوار استفاده شده است. شارژ انفجاری نمونه‌ها، ۴۶۰ و ۱۰۰۰ گرم TNT به ترتیب در فاصله‌های ۴۰ و ۵۰ سانتی‌متری از وسط دیوار می‌باشد. انتخاب نمونه‌های مدل‌سازی با ضخامت کمتر و بتن با مقاومت پایین‌تر، نیاز به مقاوم‌سازی را ضروری نشان دهد و نتایج مقاوم‌سازی نیز در مدل قابل توجیه باشد. با توجه به اینکه هدف اصلی این تحقیق تعیین شکل بهینه مقاوم‌سازی با استفاده از FRP می‌باشد در نتیجه از به‌کار

جدول ۴. رفتار فولاد

پارامتر	تنش تسلیم (MPa)	نسبت پواسون	مدول الاستیسیته (MPa)
مقدار	۴۰۰	۰/۳	۲۱۰۰۰۰

۶-۳- خصوصیات ماده معرفی شده برای رفتار FRP

FRP مورد استفاده دارای رفتار کشسان خطی بوده و ویژگی‌های مکانیکی آن‌ها از جدول‌های (۷-۵) ارائه شده است [۱۱].

جدول ۵. مدول الاستیسیته FRP

پارامتر	مقدار
E1	۱۸۱
E2	۱۰,۲
NU12	۰,۲۸
G12	۷,۱۷
G13	۷,۱۷
G23	۳,۲۴

در جدول فوق E1,2: مدول الاستیسیته به ترتیب در راستای محورهای مختصات محلی ۱ و ۲ و G12 و G13 مدول برشی در راستای محورهای محلی ۱، ۲ و NU12 نسبت پواسون FRP می‌باشد.

جدول ۶. پارامتر خرابی تنش FRP

تنش کششی در راستای الیاف	۱۵۰۰
تنش فشاری در راستای الیاف	-۱۵۰۰
تنش کششی در راستای عمود بر الیاف	۴۰
تنش فشاری در راستای عمود بر الیاف	-۲۴۸
تنش برشی	۶۸

جدول ۷. پارامتر خرابی کرنش FRP

کرنش کششی در راستای الیاف	۰,۰۰۸۲۸
کرنش فشاری در راستای الیاف	-۰,۰۰۸۲۸
کرنش کششی در راستای عمود بر الیاف	۰,۰۰۳۸۸
کرنش فشاری در راستای عمود بر الیاف	-۰/۰۰۲۳۸۸
کرنش برشی	۰,۰۰۹۴۸

۶-۴- خلاصه المان‌های معرفی در مدل‌سازی

در این مطالعه برای مدل‌سازی بتن از المان مکعبی (C3D8) با هشت گره و سه درجه آزادی در هر گره و برای مدل‌سازی میله‌گردهای طولی و عرضی از المان خطی خرابی T3D2 و در مدل‌سازی FRP از المان شل استفاده شده است با توجه به ضخامت کم این ورق‌ها در مقایسه با دو بعد دیگرش از المان شل S4R با

نمونه‌ای که FRP موازی با بال دهانه کوچک‌تر قرار دارد نسبت به سایر حالت‌های مقاوم‌سازی رفتار بهتری دارد البته این موضوع را می‌توان با استفاده از تئوری دال یک‌طرفه در نوع مقاوم‌سازی تا حدودی توجیه کرد.

علاوه بر نمونه مذکور، در حالتی که دیوار با استفاده از FRP هایی که در راستای قطر دیوار مقاوم‌سازی شده است، رفتار بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد.

با بررسی نتایج جدول (۹) می‌توان به این نتایج رسید که مقاوم‌سازی با استفاده از FRP در این نوع ماهیت بارگذاری که در زمان بسیار اندکی وارد می‌گردد تأثیر زیادی در رفتار کلی سازه ایجاد نمی‌کند. نتایج جدول (۹) نسبت به میزان حجم FRP مقیاس شده و نشان می‌دهد که saka4 نسبت به سایر نمونه رفتار بهتری دارد.

در شکل (۸) تغییر مکان وسط دیوار (بیشترین تغییر مکان را دارد، که به صورت شماتیک در شکل (۱۰) نیز نشان داده شده است) نشان داده شده و بیانگر این حقیقت است که استفاده از FRP موجب کاهش تغییر مکان وسط دیوار شده و به تبع آن کار انجام‌شده ناشی از انفجار (که در شکل (۷) نشان داده شده) کاهش می‌یابد که در نتیجه این امر خرد شدن بتن کاهش پیدا می‌کند. شکل (۹) نشان می‌دهد که استفاده از FRP در مقاوم‌سازی دیوار موجب افزایش شکل‌پذیری می‌شود.

بردن شکل‌های غیرقابل اجرا در تحقیق صرفنظر شده (این تقسیم‌بندی هم به لحاظ زمان آنالیز و هم به لحاظ تمرکز بر تحقیق مناسب می‌باشد) و صرفاً شکل‌های که در مقاوم‌سازی مرسوم بوده، مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت تا تعیین گردد که کدام‌یک از این روش‌ها مناسب می‌باشد. به منظور بررسی اثر مقاوم‌سازی بر روی نمونه‌ها، نمونه‌ای که در SAKA1 نشان داده شده به عنوان نمونه پایه انتخاب شده و تحت بارگذاری انفجاری قرار گرفته است. SAKA2 در وجه کششی و SAKA3 نیز دو وجه و به صورت کامل مقاوم‌سازی شده و دلیل اصلی این نمونه این است که بتوان اثر مقاوم‌سازی در وجه فشاری را نیز مشاهده کرد. SAKA4 در وجه کششی موازی با یال کوچک‌تر و ۵۵ درصد از سطح کل، SAKA5 در وجه کششی موازی با یال بزرگ‌تر و ۵۵ درصد از سطح کل و SAKA6 نمونه‌ای را نشان می‌دهد که در وجه و در راستای قطرهای دیوار و ۵۵ درصد از سطح کل را تحت پوشش قرار داده، مقاوم‌سازی شده است که با مقایسه این نمونه‌ها می‌توان اثر تغییر چیدمان را در نتایج مقایسه نمود در شکل (۱۱) نمونه‌های مورد مطالعه آورده شده است..

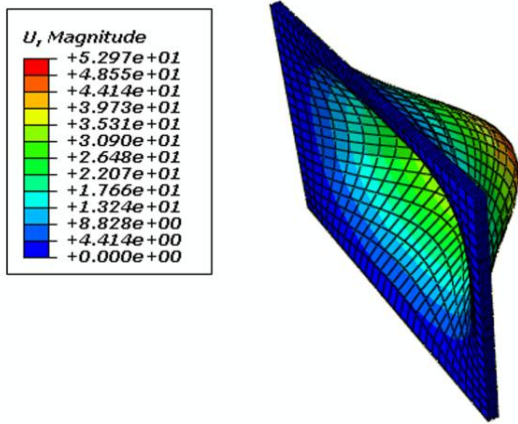
۶-۷- تحلیل نتایج

در جدول (۹) نتایج تغییر مکان وسط دیوار حاصل از تحلیل، سطحی که هر یک از روش‌های مقاوم‌سازی تحت پوشش قرار می‌دهد، آورده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود در

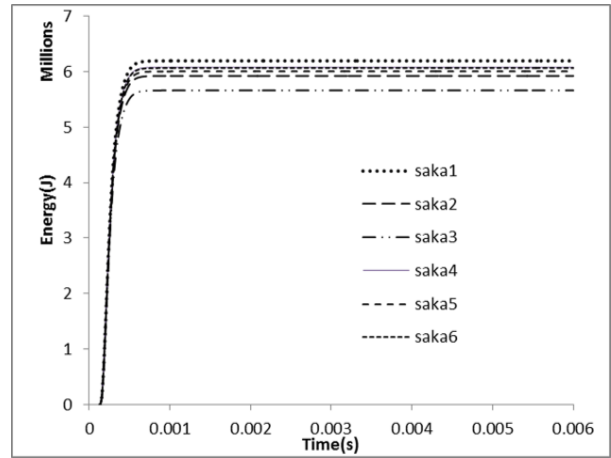
جدول ۹. نتیجه تغییر مکان وسط برای نمونه‌های مختلف (خرج ۴۶۰ گرمی و ۴۰ سانتی مرکز)

موضوع	SAKA1	SAKA2	SAKA3	SAKA4	SAKA5	SAKA6
مساحت پوششی (cm ²)	۰	۱۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۸۲۰۰۰	۸۳۵۰۰۰	۸۲۰۰۰
حجم FRP در SAKA3/حجم FRP	۰	%۵۰	%۱۰۰	%۲۷/۳	%۲۷/۸	%۲۷/۳
تغییر مکان وسط (mm)	۶۷/۶۸	۶۴/۶۴	۶۲/۴۳	۶۴/۹۳	۶۵/۶۹۵	۶۶/۲۷
تأثیر در کاهش تغییر مکان (درصد)	-	۳/۰۴	۵/۲۵	۲/۷۵	۱/۹۸۵	۱/۴۱
هم‌پایه کردن نتایج (درصد)	-	۱/۶۷	۱/۴۳	۲/۷۵	۱/۹۵	۱/۴۱

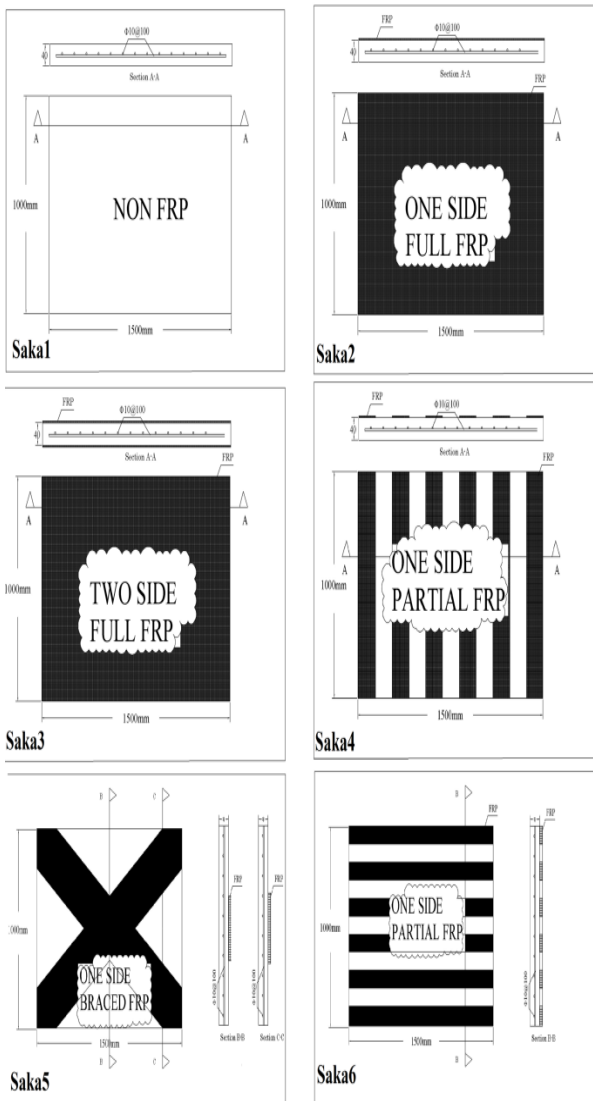
به منظور تعیین شکل مناسب چیدمان FRP در انفجار، مقدار تغییر مکان و مقدار FRP اضافه‌شده، نسبت به حالتی که در آن FRP استفاده نشده است هم‌پایه شده است.



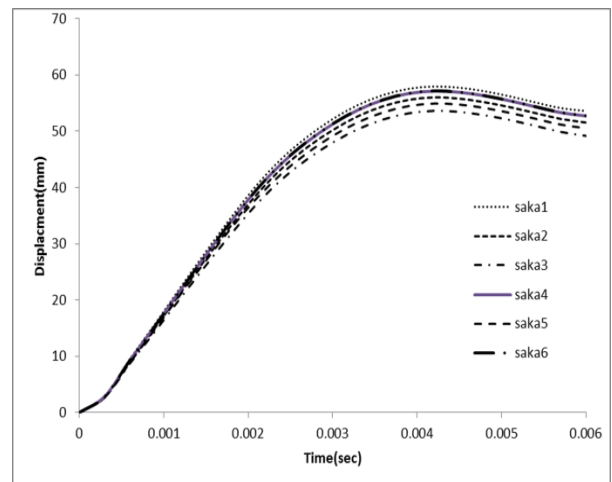
شکل ۱۰. تغییر شکل بزرگنمایی شده دیوار تحت بار انفجار (میلی متر)



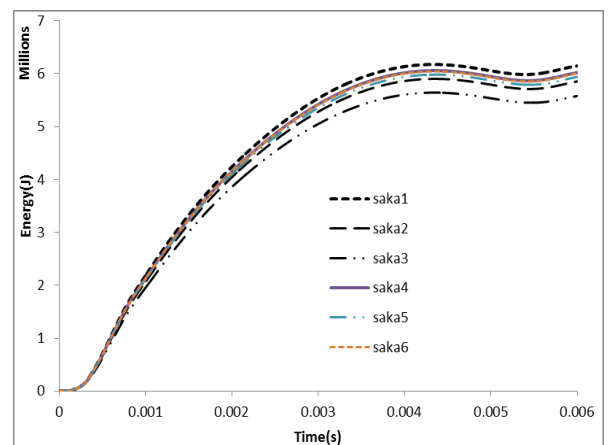
شکل ۷. کار انجام شده در اثر انفجار (خرج ۱۰۰۰ گرمی فاصله ۵۰ سانتی مرکز)



شکل ۱۱. نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ۸. تغییر مکان نقطه بحرانی نمونه (خرج ۱۰۰۰ گرمی فاصله ۵۰ سانتی مرکز)



شکل ۹. انرژی دفع شده کل (خرج ۱۰۰۰ گرمی فاصله ۵۰ سانتی مرکز)

4. C. Zhao and J. Chen, "Damage mechanism and mode of square reinforced concrete slab subjected to blast loading," *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 63, pp. 54-62, 2013.
5. U. Army, U. Navy, and U. A. Force, "Structures to resist the effects of accidental explosions," TM5-1300, p. 1400, 1990.
6. F. FEMA, "426: Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings-Buildings and Infrastructure Protection Series," ed: Federal Emergency Management Agency, 2003.
7. J. Lubliner, J. Oliver, S. Oller, and E. Onate, "A plastic-damage model for concrete," *International Journal of solids and structures*, vol. 25, pp. 299-326, 1989.
8. J. M. Adam, S. Ivorra, F. Pallarés, E. Giménez, and P. Calderón, "Axially loaded RC columns strengthened by steel cages," *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, vol. 162, pp. 199-208, 2009.
9. J. B. Mander, M. J. Priestley, and R. Park, "Theoretical stress-strain model for confined concrete," *Journal of structural engineering*, vol. 114, pp. 1804-1826, 1988.
10. A. V. Oskouie, S. V. Aminnejad, and Mousa, "Behavior comparison of passive & active frp confined rectangular & wall-like columns," 1999.
11. D. Simulia, "Abaqus 6.11 analysis user's manual," *Abaqus 6.11 Documentation*, p. 22.22, 2011.

۷- نتیجه گیری

با توجه حساسیت سنجی در انتخاب پارامترهای مدل سازی رفتار مصالح با نتایج آزمایشگاهی و همچنین صحت سنجی انجام شده در بارگذاری انفجاری با نتایج آزمایشگاهی، نتایج حاصل از این تحقیق قابل اعتماد بوده که بخشی از نتایج مرتبط با تحقیق که از نتایج مدل سازی قابل استخراج می باشد به شرح ذیل می باشد:

بررسی نتایج این تحقیق نشان می دهد که مقاومت سازی با استفاده از FRP در این نوع ماهیت بارگذاری که در زمان بسیار اندکی وارد می گردد تأثیر در زیادی در مقاومت سازه در برابر تغییر مکان در برابر انفجار سازه ایجاد نمی کند. به عبارت دیگر در بارگذاری های انفجاری استفاده از بالا بردن جرم سازه روش مناسبی برای مقاوم سازی جهت کاهش تغییر مکان می باشد که در روش مقاوم سازی با استفاده از FRP با توجه به گران بودن این ماده و ضخامت کمتر آن روش مناسبی نمی باشد.

منحنی انرژی دفع شده ناشی از اثر خرابی نشان دهنده این است که مقاوم سازی با این روش مقاومت بتن را در برابر خرابی و خرد شدن افزایش می دهد به عبارت دیگر این سیستم مقاومت بتن را در برابر خرد شدن و پخش شدن در محیط که در برخی موارد می تواند بسیار خطرناک باشد، افزایش می دهد.

مقایسه بین شکل های مختلف مقاوم سازی در این تحقیق مؤید این است که استفاده از ورق های موازی با یال دهانه کوچک تر (موازی با میلگردهای طراحی) بهترین تأثیر را نسبت به بقیه موارد از خود نشان می دهد البته پیشنهاد می شود که این روش مقاوم سازی بیشتر در مواردی استفاده گردد که هدف اصلی افزایش مقاومت بتن در برابر پخش شدن ناشی از خرد شدن تحت بارگذاری انفجاری در محیط می باشد، استفاده گردد.

۸- مراجع

۱. مبحث بیست و یکم مقررات ملی ساختمان، پدافند غیر عامل، ویرایش اول، ۱۳۹۱.
۲. کریمی، صیاد، ارائه مدلی جدید برای بدست آوردن منحنی تنش-کرنش برای ستون مربعی تقویت شده با استفاده از ژاکت قفسه ای فلزی، کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۲.
3. A. G. Razaqpur, A. Tolba, and E. Contestabile, "Blast loading response of reinforced concrete panels reinforced with externally bonded GFRP laminates," *Composites Part B: Engineering*, vol. 38, pp. 535-546, 2007..

Determining the Appropriate Configuration of FRP in Retrofitting of Concrete Walls Against Blast Loading

S. Peyman^{*}, S. Karimi

Abstract

Because of terrorist attacks, the safety of buildings against blast loading are important. As precode structures or existing buildings have designed for gravity or earthquake loads, blast loading ignored, investigation in the rehabilitation of the structure for blast loading is necessary. Sometimes the charge of terrorist has exploded in the near of the structures in the air and makes a critical pressure on the building in the less than one second. One of the elements in structures that subjected to this pressure is building's wall and must be strengthened and ductile i.e. no crushing manner in explosion loading. There are a lot of methods for strengthening and ductiling for walls and rehabilitation with FRP laminate is appropriate and it doesn't change the stiffness and mass of structure. In this article, by using the finite element software, ABAQUS, the walls that retrofitted by FRP laminates, subjected to blast loading and verified by experimental data in the literature review and the behavior of traditional configuration investigated. The results indicated that retrofitting by this method, increase the ductility but it couldn't decrease the midpoint's displacement of wall significantly and it is investigated that the best direction of the laminates are the same as the steel reinforcement's design direction.

Key Words: *ABAQUS, finite Element, Blast Loading, Retrofitting, FRP*