

بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمانهای بتنی مسلح شده با میلگردهای FRP و فولادی

آرش دلیلی اسکویی

دانشجوی دکتری، گروه عمران، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران

رامین وفائی پور*

استادیار گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

raminvafaei@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۷/۱۶

چکیده:

با توجه به استفاده‌ی روز افزون میلگردهای FRP، به عنوان مسلح کننده در سازه‌های بتنی، بررسی رفتار دینامیکی اینگونه سازه‌ها و همچنین مقایسه رفتار آن با سازه‌های بتن مسلح شده با میلگرد فولاد امری ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، در تحقیق حاضر ساختمان‌های با طبقات ۲، ۵ و ۱۰ در حالت‌های دو بعدی و سه بعدی، در دو نوع مسلح شده با میلگرد فولادی و FRP مد نظر قرار گرفته و در نرم‌افزار آباکوس مدل‌سازی و تحلیل گردیدند. به منظور بارگذاری لرزه‌ای، داده‌های چهار شتاب‌نگاشت استفاده شده است. با استفاده از نتایج تحلیل‌های انجام یافته، مقایسه‌ی رفتاری بین سازه‌های مذکور با تمرکز بر جابجایی انجام پذیرفت. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن شرایط جابجایی بین ساختمان‌های مسلح شده با FRP بیشتر از سازه مسلح شده با میلگرد فولادی است. همچنین در مدل ساختمان ۲ طبقه، رابطه جابجایی بین ساختمان‌های مسلح شده با میلگردهای فولادی و FRP خطی با ضریب رگرسیون ۹۰٪ مشاهده گردید در حالی که در ساختمان‌های ۵ طبقه و ۱۰ طبقه رفتار غیرخطی، به ترتیب با ضریب رگرسیون ۸۹٪ و ۸۷٪ ملاحظه گردید.

کلید واژگان: ساختمان‌های بتنی، میلگردهای FRP، نرم افزار آباکوس، جابجایی، تحلیلی لرزه‌ای

۱- مقدمه:

که خاک استفاده از FRP به عنوان مصالح ساختمانی بطور چشمگیری در سالهای اخیر افزایش یافته است. دلیل اصلی استفاده روز افزون از این مصالح مقاومت در برابر خوردگی محیط و همچنین دوام دراز مدت آنها می باشد. اهم عواملی که موجب استقبال از این مصالح شده است را می توان در مقاومت کششی بالا نسبت به وزن آنها، غیر مغناطیس بودن این مواد و مقاومت در برابر عوامل شیمیایی خلاصه نمود. کاربرد اصلی FRP در ساختمانها و پلها در فرمهای صفحه‌ای، نواری و دورپیچ برای بهسازی و مقاوم سازی لرزه‌های سازه‌ها می‌باشند. از این رو قسمت اعظمی از کاربرد های FRP مربوط به مقاوم سازی سازه‌هایی می‌شوند که دارای نقص طراحی یا اجرایی می باشند. بکارگیری FRP ها در ساخت و ساز های اخیر نسبتاً جدید و دارای بسیاری از کاربردهای عملی می باشد. بخصوص، استفاده از FRP های میلگردی، بعنوان مسلح کننده در سازه‌های بتنی جدید روشی نوین با اطلاعات تحلیلی و آزمایشگاهی محدود می باشد. کمبود مطالعات هم در بکارگیری و هم در طراحی سازه های بتنی مسلح شده با FRP به چشم می‌خورد.

۲- کارهای انجام شده:

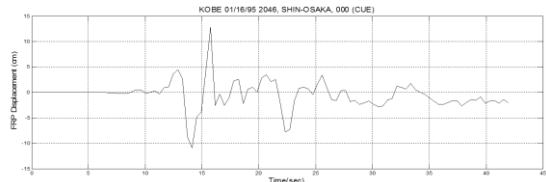
السید و همکاران در سال ۱۹۹۹، پانزده ستون را به منظور جایگزینی GFRP میلگردی بجای میلگرد های فولادی در سازه‌های بتنی مورد آزمایش قرار دادند. ستونها تحت آزمایش بار متحدالمرکز نیروی محوری قرار گرفتند. نتایج کاهش ۱۳٪ ظرفیت محوری ستون هایی که با GFRP مسلح شده بودند را نسبت به ستونهایی که با میلگردهای فولادی مسلح شده بود را نشان داد. همچنین افزایش ۱۰٪ طول مهار GFRP نسبت به فولاد مشاهده گردید. آنها نشان دادند که بیان تحلیل عمومی مورد استفاده برای محاسبه ظرفیت محوری ستونها تحت بار محوری (که از ۸۵٪ مقاومت بتن برای مساحت بتن و تمام مقاومت فولاد برای سطح مقطع فولاد به منظور تعیین مساحت مورد استفاده قرار می گیرد) بعد از اعمال ضریب کاهش ۶۰٪ روی مقاومت FRP میلگردی می تواند برای ستونهای مسلح شده با FRP مورد استفاده قرار گیرد [۱]. شربتدار (۲۰۰۳)، آزمایشهایی را بر روی ستونهای مسلح شده با FRP تحت بار خروج از مرکز و ستونهای استوانه ای تحت بار متحدالمرکز انجام داد. ایشان از CFRP میلگردی برای اعضای اصلی مسلح کننده (به جای میلگرد های طولی) و از CFRP شبکه ای (شطرنجی) برای اعضای مسلح کننده عرضی (بجای میلگردهای عرضی) استفاده نمود که نتایج آزمایشات نشان دادند که ستونها قادر به افزایش ظرفیت خمشی با کنترل پکیدگی می باشند. او همچنین مشاهده کرد بعد از آنکه گسیختگی در بتن اتفاق می افتد CFRP مسلح کننده میتواند در برابر بار محوری مقاومت کند [۲]. سرا سیمیلی و همکاران در سال ۲۰۰۹، دو نوع سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و سازه بتنی مسلح شده با میلگرد FRP در نرم افزار SEQUAKE با طبقات ۲، ۵ و ۱۰ را مدل سازی کردند. آنها پی از تحلیل دینامیکی بصورت تاریخچه زمانی به این نتیجه رسیدند که جابجایی و برش پایه در سازه مسلح شده با FRP نسبت به سازه مسلح شده با فولاد بیشتر است. به عبارت دیگر سازه مسلح شده با فولاد، رفتار بهتری نسبت FRP تحت بارگذاری زلزله دارد [۳]. کاواپاشی و همکاران در

سال (۱۹۹۵) آزمایشات فشار روی ستونهای بتنی مسلح شده با FRP تحت بارهای سیکلی را به منظور بررسی عملکرد آن ها انجام دادند. آنها از CFRP، AFRP و GFRP به عنوان میگرد های طولی مسلح کننده استفاده کردند. مشاهدات نشان داد که ظرفیت فشاری AFRP، ۱۰٪، CFRP، ۳۰٪ الی ۴۰٪ و GFRP، ۵۰٪ ظرفیت کششی هر کدام از آن‌ها است این مساله نشان می‌دهد که بیشتر می‌توان به رفتار کششی این مواد اعتماد نمود [۴]. روفین و همکاران در سال ۲۰۱۲، ظرفیت برشی دالهای بتنی مسلح شده با FRP میلگردی را با استفاده از تئوری میدان تنش مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایشات برای بیست دال بتنی مسلح GFRP با بتن معمولی و همچنین سبک نشان داد، دالهای بتنی سبکی که با برش تک محوره گسیخته شده بودند همان سبک و همان تاثیرات کرنشی را دارند که دالهای بتنی معمولی و یا تیرهای بتن مسلح GFRP از خود داشتند [۵]. احمد حسن در سال ۲۰۱۹، یک روش تحلیلی مبتنی بر روش ماتریس سختی برای پیش بینی جابجایی های حاصل شده تحت بارگذاری لرزه‌ای در سازه های بتنی تقویت شده با FRP میلگردی را بر مبنای انجام کارهای آزمایشگاهی و عددی ارائه نمودند. بر مبنای نتایج مشاهده نمودند که تقویت FRP میلگردی اثر بسازایی در کاهش جابجایی ها دارد. بر این مبنای می‌توان با در نظر گرفتن تقویت‌های مناسب در دهانه‌های وسطی مقدار FRP میلگردی را کاهش داد [۶]. یانگ وی و همکاران، ۲۰۱۸، یک مطالعه تجربی از ۵۶ ستون بتنی که توسط فولاد و FRP تحت نیروی محوری فشاری محصور بود، انجام دادند. نتایج نشان می دهد که هم میگرد FRP و هم میلگرد فولادی مقاومت و کرنش نهایی بتن را تقویت می کنند [۷]. آیین نامه‌های، ACI، از مهمترین آیین نامه‌های موجود در طراحی سازه‌ها با میلگرد فولادی، می‌باشد که مورد استفاده قرار می‌گیرند [۹۰۸].

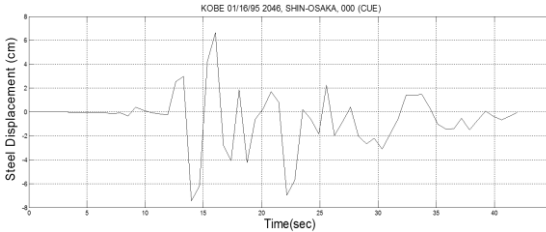
۳- مدل سازی:

۱-۳- سازه ۲ طبقه:

انتخاب سازه بصورت سه بعدی امکان تحلیل دقیق و بررسی بهتر رفتار سازه در سه بعد را فراهم می‌سازد. در این حالت رفتار دینامیکی سازه، به واقعیت نزدیک بوده و امکان پیش بینی صحیح تری را خواهد داد. باتوجه به المان بندی انجام یافته توسط نرم افزار و ایجاد درجات آزادی بسیار بالا و در نتیجه تشکیل ماتریس سختی بسیار بزرگ در روش اجزاء محدود، مدت زمان اجرای تحلیل برای سازه‌های بزرگتر و بلند تر در حالت دینامیکی با در نظر گرفتن تاریخچه زمانی ارائه شده برای شتاب نگاشت زلزله ها (بیشتر از ۳۰ ثانیه) بسیار بیشتر بوده و این امر از توان رایانه های معمول شخصی خارج بوده و همین منظور نیاز به رایانه هایی با سرعت بیشتر می باشد. این نوع رایانه‌ها معمولاً امکان تهیه شخصی ندارند و در اختیار مراکز تحقیقاتی بزرگ می باشند. در این راستا سازه در نظر گرفته شده برای حالت سه بعدی در دو طبقه به ارتفاع منظم ۳ متر و دو دهنه طولی و دو دهنه عرضی مطابق با شکل سه بعدی (۱) ارائه گردیده است. همانطوریکه بیان گردید برای سازه ۵ و ۱۰ طبقه فقط تحلیل دو بعدی توسط محقق صورت گرفته است.



(الف)

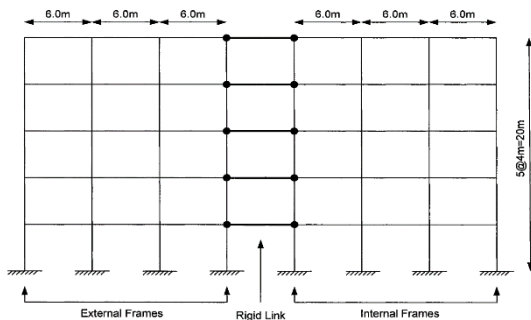


(ب)

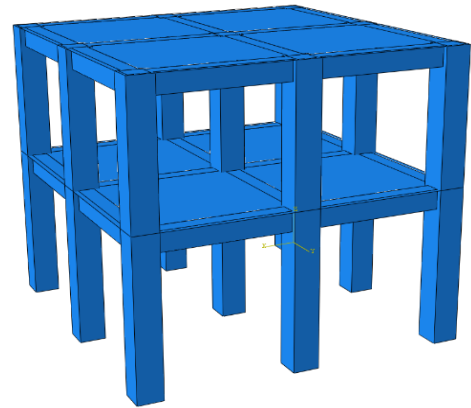
شکل ۲- تاریخچه زمانی جابجایی ساختمان دو طبقه مسلح شده با میلگرد فولادی (الف) و مسلح شده با میلگرد FRP (ب) برای شتاب نگاشت زلزله کوبه

۳-۲- مدل دو بعدی ساختمان ۵ طبقه

همان گونه که در توضیح مدل دو طبقه اشاره شد امکان تحلیل سازه‌های بزرگ و بلند بصورت سه بعدی در نرم افزارهای المان محدود نظیر ABAQUS، SEQUAKE وجود ندارد. به همین منظور محققین در اکثر پروژه تحقیقاتی برای تحلیل سازه‌های بزرگ و بلند به روش اجزا محدود از مدل دو بعدی بهره می‌گیرند. در این تحقیق نیز برای مدل‌سازی و تحلیل، سازه ۵ طبقه که شامل یک سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و یک سازه مسلح شده با میلگرد FRP می‌باشد از مدل دو بعدی استفاده شده است. در این راستا قابهای داخلی و قابهای خارجی توسط Rigid Link به هم متصل شده‌اند که این عمل کمک می‌کند تا شرایط از قبیل تغییر مکان در انتهای قاب خارجی و ابتدای قاب داخلی یکسان باشد. این موضوع در یک نگاه اجمالی در شکل (۳) نیز قابل مشاهده است. که در این تحقیق برای مدل‌های دو بعدی از این روش استفاده شده است. برای مدل‌سازی در نرم افزار ABAQUS با در نظر گرفتن پلان سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و سازه بتنی مسلح شده با میلگرد FRP که در شکل (۴)، آمده‌اند قابهای داخلی و خارجی همانند شکل (۵) به روش مذکور به هم متصل شده‌اند.



شکل ۳- فرم استفاده شده برای مدل‌سازی دو بعدی



شکل ۱- سازه دو طبقه در حالت سه بعدی

۳-۱-۱- مشخصات مصالح مصرفی

مشخصات مکانیکی برای بتن مقاومت فشاری ۲۱ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته ۲۰۰۰۰ مگاپاسکال و کرنش از ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۰۳ و همچنین برای فولاد تنش جاری شدن ۳۰۰ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته ۲۰۰۰۰ مگاپاسکال و کرنش از ۰/۰۰۲ تا ۰/۲ در نظر گرفته شده است.

۳-۱-۲- بارگذاری ثقیل

بارهای ثقیل وارد بر ساختمان شامل بارهای مرده و زنده برای مدل ۲ طبقه سه بعدی به شرح جدول (۱) می‌باشد.

جدول ۱- بارهای ثقیل

موقعیت	بار مرده (کیلوگرم بر مترمربع)	بار زنده (کیلوگرم بر مترمربع)
کف طبقات	۲۵۰	۲۰۰
کف بام	۳۱۰	۱۵۰

۳-۱-۳- بارگذاری جانبی زلزله

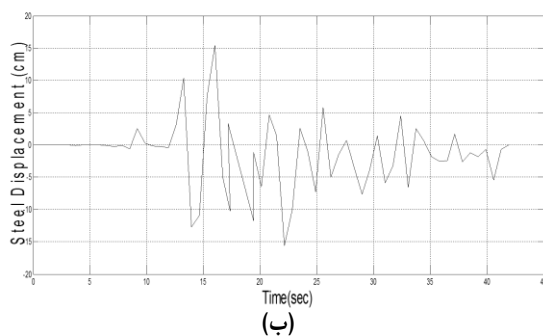
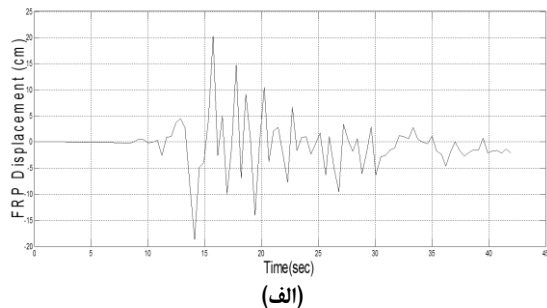
برای تحلیل دینامیکی سازه بایستی شتاب زلزله به سازه در مدت زمان شتاب نگاشت اعمال گردد. با توجه به اعتبار داده‌های ثبت شده در دستگاه‌های شتاب نگار دانشگاه برکلی که در سایت پیپر موجود است. در این تحقیق نیز از شتاب نگاشت زلزله‌های کوبه، پرتا، نورث ریج، که در سایت مذکور موجودند، بهره گرفته شده است. به منظور اعمال بارگذاری جانبی سازه دو طبقه از شتاب نگاشت‌های زلزله‌های نام برده استفاده شده است. برای مقایسه کردن، شتاب نگاشت‌ها در ضرایب مقایسه که برای زلزله کوبه، ۱/۳۷، پرتا، ۰/۸۳، نورث ریج، ۱/۴۱ می‌باشند، ضرب شده‌اند.

۳-۱-۴- جابجایی

پس از تحلیل نتایج جابجایی‌های هر دو سازه (بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و یک سازه مسلح شده با میلگرد FRP با بارگذاری زلزله‌های کوبه، پرتا، نورث ریج، به صورت تاریخچه‌ی زمانی بدست آمدند که بصورت خلاصه جابجایی برای زلزله کوبه، در شکل (۲) ارائه شده است.

۳-۲-۳- جابجایی

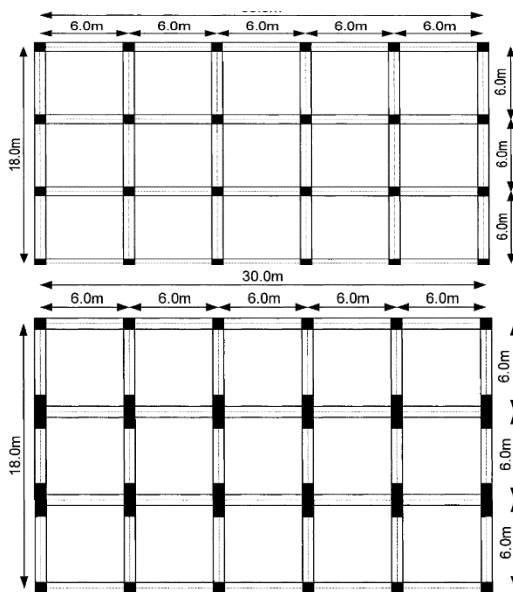
با در نظر گرفتن تحلیل دینامیکی نتایج جابجایی بصورت تاریخچه زمانی برای هر دو سازه در شکل (۶) ارائه شده‌اند.



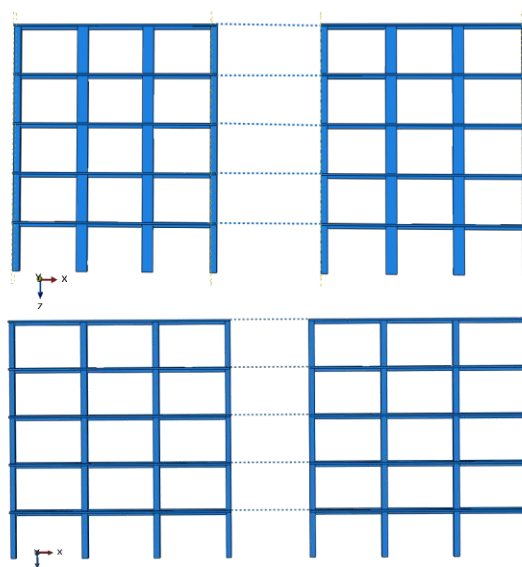
شکل ۶- تاریخچه زمانی جابجایی ساختمان ۵ طبقه مسلح شده با میلگرد فولادی (الف) و میلگرد FRP (ب) برای شتاب نگاشت زلزله کوبه

۳-۳- مدل دو بعدی سازه ۱۰ طبقه

همانطوریکه در توضیح مدل سازه ۵ طبقه اشاره شد به سبب طولانی بودن زمان تحلیل در مدل‌سازی سازه‌های بزرگ و بلند مرتبه، سازه‌ی ۱۰ طبقه نیز بصورت دو بعدی مدل شده است. شکل (۷) مدل‌سازی انجام یافته را در نرم افزار مربوطه نشان می‌دهد.



شکل ۴- پلان سازه ۵ طبقه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و میلگرد FRP



شکل ۵- مدل دو بعدی سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و میلگرد FRP در نرم افزار

۳-۲-۱- مشخصات مصالح مصرفی

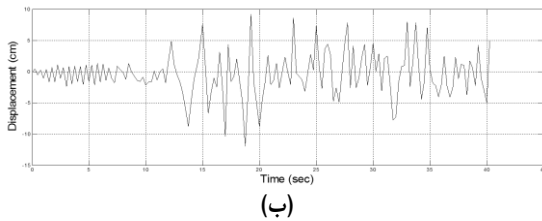
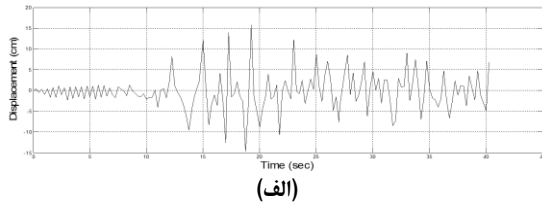
مصالح مصرفی در سازه ۵ طبقه مطابق بند ۳-۱-۲، که در مدل ۲ طبقه استفاده شده است می‌باشد.

۳-۲-۲- بارگذاری

بارهای ثقیلی شامل بارهای مرده و زنده برای مدل سازه ۵ طبقه مطابق بند ۳-۱-۳ مشابه با سازه ۲ طبقه می‌باشد. بارهای جانبی در مدل ۵ طبقه برای مقایسه رفتار دو سازه در شرایط بارگذاری یکسان از شتاب نگاشت مقیاس شده زلزله کوبه استفاده شده است.

۳-۳-۳ جابجایی

با توجه به بارگذاری و مدل سازی هردو سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و سازه بتنی مسلح شده با میلگرد FRP بصورت دوی بعدی نتایج تحلیل تاریخچه زمانی بدست آمده اند. که جابجایی برای هر دو سازه در به در شکل های (۸) ارائه گردیده است.



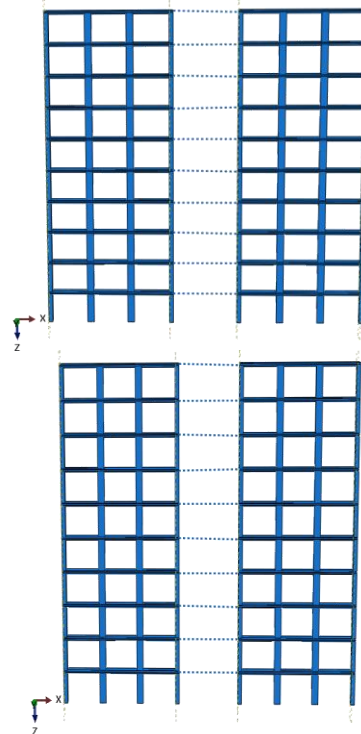
شکل ۸- جابجایی سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی (الف) و میلگرد FRP (ب) تحت بارگذاری زلزله برای ساختمان ۱۰ طبقه در حالت ۲ بعدی

۴- تحلیل نتایج

به منظور بهره گیری از نتایج بدست آمده از تحلیل های انجام یافته، بررسی و تحلیل نتایج لازم و ضروری خواهد بود. در این راستا، بر مبنای نتایج بدست آمده از تحلیل های مختلف صورت پذیرفته در بندهای قبلی، مقایسه بین رفتار و عملکرد سازه های بین دو نوع سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و سازه بتنی مسلح شده با میلگرد FRP در ساختمان های با طبقات مختلف صورت می پذیرد. رفتار سازه های، با در نظر گرفتن جابجایی، برش پایه و تنش پسماند بین دو نوع سازه انجام می گیرد که در این مقاله صرفاً نتایج و تحلیل جابجایی ارائه شده است. به همین منظور از نتایج تحلیل، سازه های ۲، ۵، ۱۰ طبقه در حالت دو بعدی و سه بعدی استفاده شده است و در نهایت مقایسه رفتار سازه های بین دو نوع سازه مذکور انجام پذیرفته است.

برای مقایسه رفتار دو سازه ذکر گردیده، نتایج تحلیل بصورت تاریخچه زمانی جابجایی در فصل سوم بندهای مربوط به تحلیل دینامیکی برای ساختمان های ۲ طبقه سه بعدی، ۵ طبقه دو بعدی، ۱۰ طبقه دو بعدی و سه بعدی آورده شده اند.

همانطور که از شکل (۲) ملاحظه می گردد حداکثر جابجایی برای سازه ۲ طبقه در حالت سه بعدی با بارگذاری زلزله کوبه، برای سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی، ۱۵/۸۵ سانتی متر و برای سازه بتنی مسلح شده با میلگرد FRP، ۲۰/۷۱ سانتی متر می باشد. که این امر حکایت از رفتار بهتر سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی نسبت به FRP از حیث جابجایی می باشد. سازه های فولادی ۴۳٪ نسبت به FRP جابجایی کمتری دارد. این مقایسه فقط برای ماکزیمم های جابجایی انجام پذیرفته است. در صورتیکه اگر مقایسه برای کل جابجایی در طول تاریخچه زمانی بین دو سازه با در نظر گرفتن زمانهای نظیر به نظیر انجام گیرد، شکل (۹) حاصل می آید.



شکل ۷- مدل دو بعدی سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی (الف) و میلگرد FRP (ب)

۳-۳-۱- مشخصات مصالح مصرفی

مشخصات مصالح بکار رفته برای هر دو سازه ۱۰ طبقه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و سازه بتنی مسلح شده با میلگرد FRP در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲- مشخصات مصالح بکار رفته برای هر دو سازه ۱۰ طبقه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و سازه بتنی مسلح شده با میلگرد FRP

۴۰	مقاومت فشاری بتن بر حسب مگاپاسکال
۲۸۴۶۰	مدول الاستیسیته ی بتن بر حسب مگاپاسکال
۴۰۰	حد جاری شدن فولاد بر حسب مگاپاسکال
۲۰۰۰۰۰	مدول الاستیسیته ی فولاد بر حسب مگاپاسکال
۱۵۹۶	مقاومت کششی میلگرد FRP بر حسب مگاپاسکال
۱۱۱۱۰۰	مدول الاستیسیته ی میلگرد FRP بر حسب مگاپاسکال

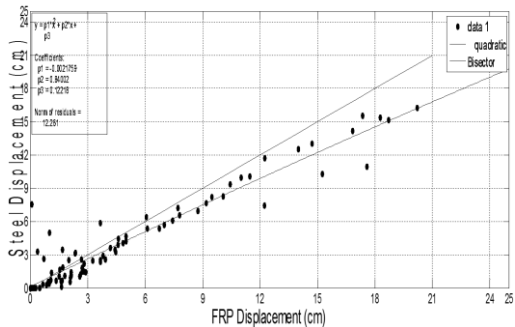
۳-۳-۲- بارگذاری

بارهای ثقلی بارهای ثقلی برای مدل سازه ۱۰ طبقه شامل بارهای مرده و زنده بشرح زیر می باشد.

جدول ۳- بارهای ثقلی

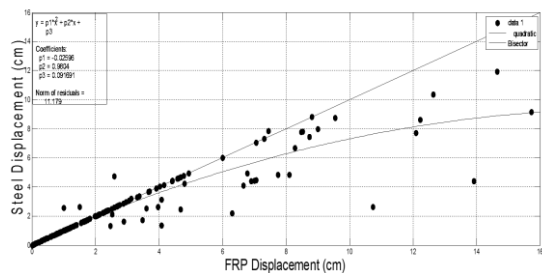
موقعیت	بار مرده (کیلوگرم بر مترمربع)	بار زنده (کیلوگرم بر مترمربع)
کف طبقات	۳۵۰	۲۲۰
کف بام	۵۰۰	۲۴۰

مذکور نمایان است که با یک دید کلی می‌توان مشاهده نمود که خط برازش یافته بین خط افقی و نیمساز می‌باشد.



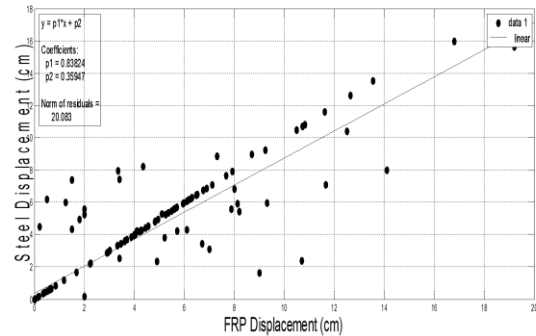
شکل ۱۱- نمودار برازش یافته بین جابجایی میلگرد فولادی و FRP در سازه ۵ طبقه و نیمساز

برای سازه ۱۰ طبقه در حالت دو بعدی نیز با در نظر گرفتن شتاب نگاشت زلزله کوبه، ضریب رگرسیون ۸۷٪ می‌باشد. در این حالت نیز رفتار بهتر میلگرد فولادی نسبت به FRP قابل ملاحظه است. شکل (۱۲) نمودار درجه دوم بین، جابجایی فولاد و FRP را نشان می‌دهد.



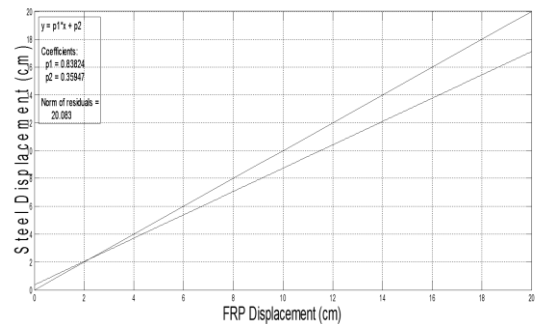
شکل ۱۲- نمودار برازش یافته بین جابجایی میلگرد فولادی و FRP در سازه ۱۰ طبقه دو بعدی و نیمساز

با وجود آنکه رفتار بین فولاد و FRP در سازه ۲ طبقه خطی می‌باشد ولی در سازه ۵ طبقه و ۱۰ طبقه رفتار غیر خطی بصورت سهموی قابل مشاهده است. با احتمال زیاد می‌توان برای طبقات بالاتر نیز رفتار غیر خطی را پیش بینی نمود. این بدان مفهوم است که در سازه‌های با ارتفاع کم رفتار FRP مشابه رفتار فولاد می‌باشد ولی با افزایش ارتفاع بایستی احتیاط بیشتری نمود. همچنین باتوجه به شکل-های مذکور مشاهده می‌شود که انحراف خط برازش یافته با افزایش ارتفاع بیشتر به سمت افق متمایل می‌گردد. به عبارت بهتر هر چقدر ارتفاع ساختمان بیشتر می‌شود، رفتار فولاد، مطمئن تر و بهتر از FRP خواهد بود. بصورت شماتیک این موضوع در شکل (۱۳) قابل مشاهده است.



شکل ۹- خط برازش یافته برای جابجایی بین جابجایی میلگرد فولادی و FRP در سازه ۲ طبقه

همانطوریکه از شکل (۹) ملاحظه می‌گردد خط برازش یافته در نمودار جابجایی بین جابجایی دو سازه با ضریب رگرسیون ۹۰٪ و RMSE، ۱/۳۶ تقریباً حالت خطی خواهد داشت. لازم به ذکر است که با بررسی درجات بالاتر ضریب رگرسیون، کاهش یافت. بعنوان نمونه برای برازش درجه دوم (سهموی) مقدار ضریب رگرسیون به ۸۷٪ رسید. بنابراین می‌توان با تقریب مناسب رفتار خطی برای جابجایی سازه دو طبقه بین دو نوع سازه را پیش بینی نمود. همچنین پس از رسم نیمساز مشاهده می‌گردد که خط برازش یافته برای مقایسه جابجایی بین دو سازه، با ضریب شیب کمتر از یک به یک (نیمساز) می‌باشد. لذا می‌توان در حالت کلی پیش بینی نمود، که جابجایی سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی کمتر از سازه بتنی مسلح شده با میلگرد FRP خواهد بود. این موضوع در یک نگاه اجمالی در شکل (۱۰) نیز قابل مشاهده است. (خط برازش یافته بین نیمساز و محور افقی قرار گرفته است).



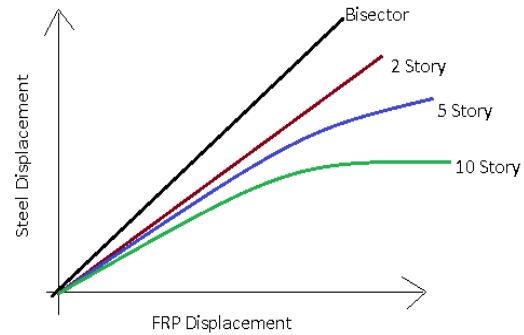
شکل ۱۰- خط برازش یافته و نیمساز

برای مقایسه حداکثر جابجایی در سازه ۵ طبقه در حالت دو بعدی همانند سازه ۲ طبقه سه بعدی عمل شده است، که حداکثر جابجایی با برگذاری زلزله کوبه، برای سازه‌ی بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی ۱۵/۵۳ سانتی‌متر و سازه‌ی بتنی مسلح شده با میلگرد FRP ۲۰/۲۰ سانتی‌متر استخراج گردیده است. در این حالت نیز رفتار بهتر میگرد فولادی نسبت به FRP مشهود است. همچنین شکل (۱۱) که نمودار جابجایی FRP و درمقابل جابجایی فولاد می‌باشد. که برای کلیه جابجایی‌ها نشانگر عملکرد بهتر فولاد نسبت به FRP است. رفتار غیر خطی درجه دوم (سهموی) با ضریب رگرسیون ۸۹٪/۰ بین دو نوع سازه نیز، در شکل

رگرسیون ۹۰٪ مشاهده گردید در حالی که در ساختمان‌های ۵ طبقه و ۱۰ طبقه رفتار غیرخطی، به ترتیب با ضریب رگرسیون ۸۹٪ و ۸۷٪ ملاحظه گردید.

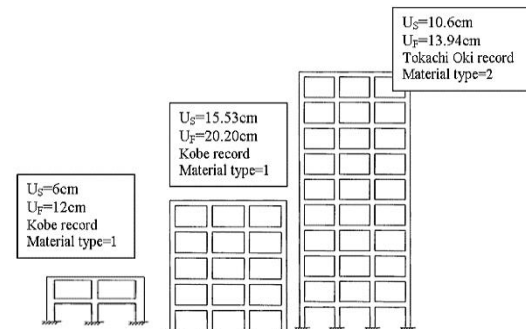
۸- مراجع

- [1] Alsayed, S. H., Al-Salloum, Y. A., Almusallam, T. H. and Amjad, M.D. 1999, "Concrete Columns Reinforced by Glass Fiber Reinforced Polymer Rods", Proceedings of Fourth International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Reinforced Concrete Structures, ACI-SP-No: 188, pp:103-112.
- [2] Sharbatdar, M. K. ,2003,, "Concrete Columns and Beams reinforced with FRP Bars and Grids under Monotonic and Reversed Cyclic Loading", PhD Dissertation, Ottawa University, Ottawa, Ontario, Canada, 371 pp.
- [3] Cimilli Erkmen, 2009, " Analysis and design of earthquake resistant FRP reinforced concrete buildings ", PhD Dissertation, Ottawa University, Ottawa, Ontario, Canada, 339 pp
- [4] Kobayashi, K., Fujisaki, T., 1995, "Compressive Behavior of FRP Reinforcement in Non-pressed Concrete Members", Pros ending of Second International RILEM Symposium on Nonmetallic (FRP), Gent, Belgium, pp.267-2743
- [5] Rufin, I.,p. 2012, "Shear Capacity of Concrete Slabs Reinforced with Glass-Fiber-Reinforced Polymer bars Using the Modified Compression Field Theory, PCI Journal, Summer 2012,P.P:83-98
- [6] Ahmed Hassan, Fouad Khairallah, Hala Mamdouh, Mahmoud Kamal, 2019, "Evaluation of Self-Compacting Concrete Columns Reinforced with Steel and FRP Bars with Different Strengthening Techniques", Structures, 15, 82-93,
- [7] Yang Wei, Xi Zhang, Gang Wub, Yongfeng Zhou, (2018), "Behaviour of concrete confined by both steel spirals and fiber-reinforced polymer under axial load", Composite Structures, 192, 577- 591
- [8]- ACI Committee 440, 2008, Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures (440.2R-08), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- [9]-ACI Committee 318, 2005, "Building Code Requirements for Structural Concrete (318R-05)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI



شکل ۱۳- شکل شماتیک مقایسه جابجایی بین دو نوع سازه در طبقات مختلف

به منظور نمایش بهتر شکل (۱۴) مقادیر حداکثر جابجایی در هر سه مدل بین دو نوع سازه‌ی بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و سازه‌ی بتنی مسلح شده با میلگرد FRP را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴- مقادیر حداکثر جابجایی در هر سه مدل بین دو نوع سازه‌ی بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و سازه‌ی بتنی مسلح شده با میلگرد FRP

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله با مدلسازی یک سازه بتنی مسلح شده با میلگرد FRP و یک سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی برای شتاب نگاشت زلزله کوبه، پریتا، نورث‌ریچ، در نقاط بیشینه، جابجایی بیشتر میلگرد FRP نسبت به جابجایی میلگرد فولادی مشاهده گردید. همچنین با مقایسه کل جابجایی در طول تاریخچه مانی بین دو سازه با در نظر گرفتن زمانهای نظیر به نظیر نتیجه مشابهی بدست آمد. که این امر حکایت از رفتار بهتر سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی نسبت به FRP از حیث جابجایی می‌باشد. همچنین نتیجه شد که با افزایش ارتفاع ساختمان رفتار غیر خطی خواهد بود. در سازه‌های با ارتفاع کم رفتار FRP مشابه رفتار فولاد می‌باشد ولی با افزایش ارتفاع بایستی احتیاط بیشتری نمود. در مدل ساختمان ۲ طبقه، رابطه جابجایی بین ساختمان‌های مسلح شده با میلگردهای فولادی و FRP خطی با ضریب رگرسیون ۹۰٪ مشاهده گردید در حالی که در ساختمان‌های ۵ طبقه و ۱۰ طبقه رفتار غیرخطی، به ترتیب با ضریب رگرسیون ۸۹٪ و ۸۷٪ ملاحظه گردید. در مدل ساختمان ۲ طبقه، رابطه جابجایی بین ساختمان‌های مسلح شده با میلگردهای فولادی و FRP خطی با ضریب

Investigation of Seismic Behavior of Concrete Structures Reinforced with FRP and Steel Bars

Arash Dalili

Department of civil engineering, Maragheh Branch, Islamic azad University, Maragheh, Iran

Ramin Vafaeipour *

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Abstract:

Considering the increasing use of FRP bars, as reinforcement in concrete structures, the study of the dynamic behavior of these types of structures and its behavioral comparison with steel reinforced concrete structures seem to be necessary. In this regard, in the present study, buildings with floors 2, 5, and 10 in two-dimensional and three-dimensional states were considered in two types of steel reinforced and FRP reinforced were modeled and analyzed in ABAQUS software. By using the results of the analysis, behavioral comparisons between these structures were carried out with a focus on displacement. By considering in the same conditions, the results of the analysis reveal that displacement in FRP-reinforced structures is more than steel-reinforced structures. Also, in the 2-storey building model, the relation between steel structures and FRP structures is linear with 90% regression coefficient was observed while in 5-storey buildings and 10-storey building's behavior are nonlinear, with a regression coefficient of 89% and 87%, respectively.

Keywords: Reinforced Concrete, FRP Bars, ABAQUS, Displacement