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 وفائی‌پور*
استادیارگروه 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 مسلح‌کننده در سازه‌های بتنی، بررسی رفتار دینامیکی اینگونه سازه‌ها و همچنین مقایسهٔ رفتاری 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 مدّ 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 یکسان، جابجایی در سازه‌های مسلح شده با FRP بیشتر از سازهٔ مسلح شده با میلگرد فولادی است. همچنین در مدل ساختمان ۲ طبقه، رابطهٔ 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 خورندگی محیط و همچنین دوام دراز مدت آنها می باشد. اهم عواملی که موجب استقبال از این مصالح شده است را می‌توان 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 ومقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشند. از این رو قسمت اعظمی از کاربرد های FRP مربوط به مقاوم سازی سازه هایی می‌شوند که دارای نقص طراحی یا اجرایی می باشند. بکارگیری FRP ها در ساخت و ساز های اخیر نسبتاجدید 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.

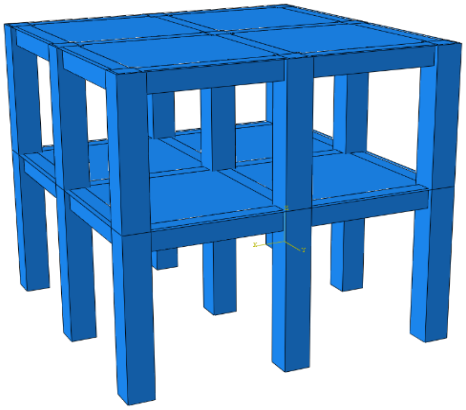
۲-کارهای انجام شده:

السید و همکاران در سال۱۹۹۹، پانزده ستون را به منظور جایگزینی GFRP میلگردی بجای میلگرد های فولادی در سازه ههای 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 ازآنکه گسیختگی در بتن اتفاق می‌افتد 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 طبقات۲، ۵ و۱۰ را مدل‌سازی 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] .کاوایاشی 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 AFRP، CFRP وGFRP 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 هرکدام از آن‌ها است این مساله نشان می‌دهد که بیشتر می‌توان به رفتار کششی این مواد اعتماد نمود[۴] . روفین وهمکاران 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 سایز 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 FRPمیلگردی را برمبنای انجام کارهای آزمایشگاهی و عددی ارائه نمودند. بر مبنای نتایج مشاهده نمودند که تقویت FRP میلگردی اثر بسزایی در کاهش جابجایی ها دارد. بر این مبنا 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 بتونی 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 [۸و۹].

۳- مدل‌سازی:

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 صحیح‌تری را خواهد داد. باتوجه به المان بندی انجام یافته توسط نرم افزار و ایجاد درجات آزادی بسیار بالا و درنتیجه 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 از۳۰ 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 معمولا 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.



شکل ۱- سازه دو طبقه درحالت 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 ۲۰۰۰۰۰ مگاپاسکال و کرنش از ۰/۰۰۲ تا ۰/۲ در نظر گرفته شده است.

۳-۱-۲- بارگذاری ثقلی

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

جدول۱ – بارهای ثقلی

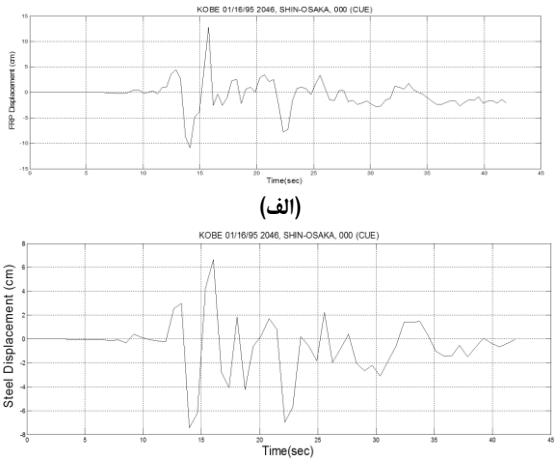
موقعیت	بار مرده (کیلوگرم بر مترمربع)	بار زنده (کیلوگرم بر مترمربع)
کف طبقات	۲۵۰	۲۰۰
کف بام	۳۱۰	۱۵۰

۳-۱-۳- بارگذاری جانبی زلزله

برای تحلیل دینامیکی سازه بایستی شتاب زلزله به سازه در مدت زمان شتاب نگاشت اعمال گرد. با توجه به اعتبار داده‌های ثبت شده‌ی دستگاه‌های شتاب نگار دانشگاه برکلی که در سایت پیِر موجود است. دراین تحقیق نیز از شتاب نگاشت زلزله‌های کوبه، پریتا، نورثریج، 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. برایِ مقایس کردن، شتاب نگاشت‌ها در ضرایب مقایس که برای زلزله کوبه، ۱/۳۷، پریتا،۰/۸۳ نورثریج، 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، پریتا، نورثریج، به صورت تاریخچه‌ی زمانی بدست آمدند که بصورت خلاصه جابجایی برای زلزله کوبه، در شکل (۲) ارائه شده است.



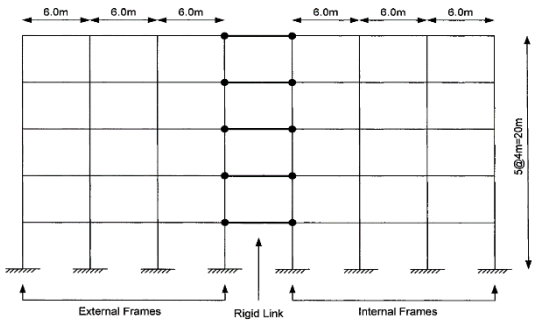
(الف)

(ب)

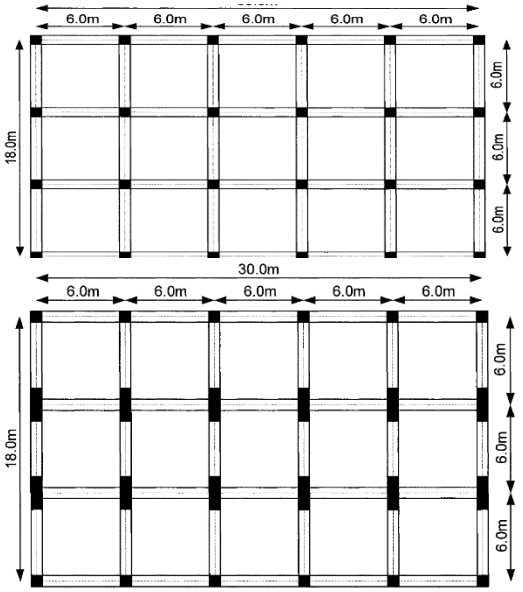
شکل ۲- تاریخچه زمانی جابجایی ساختمان دو طبقه مسلح شده با میلگرد فولادی(الف) و مسلح شده با میلگرد FRP (ب) برای شتاب نگاشت زلزله کوبه

۳-۲- مدل دو بعدی ساختمان ۵ طبقه

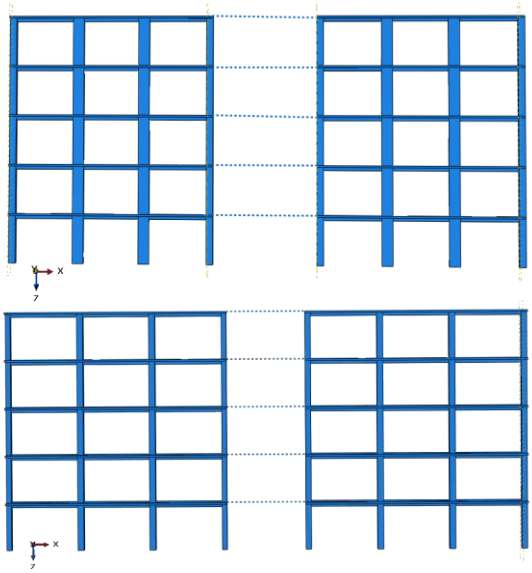
همان‌گونه که در توضیح مدل دو طبقه اشاره شد امکان تحلیل سازه‌های بزرگ و بلند بصورت سه بعدی در نرم افزارهای المان محدود نظیر ABAQUS، SEQUAKE وجود ندارد. به همین منظور محققین در اکثر پروژه تحقیقاتی برای تحلیل سازه‌های بزرگ و بلند به روش اجزا محدود از مدل دو بعدی بهره می‌گیرند. در این تحقیق نیز برای مدل‌سازی و تحلیل، سازه ۵ طبقه که شامل یک سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و یک سازه مسلح شده با میلگرد FRP می باشد 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 دراین تحقیق برای مدل‌های دو بعدی از این روش استفاده شده است. برای مدل سازی 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 شده اند.



شکل ۳- فرم استفاده شده برای مدل‌سازی دو بعدی



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



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

۳-۲-۱- مشخصات مصالح مصرفی

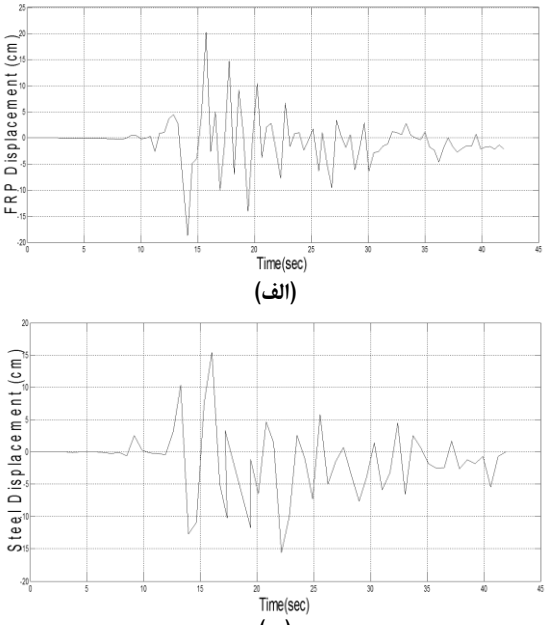
مصالح مصرفی در سازه ۵ طبقه مطابق بند ۳-۱-۲، که در مدل ۲طبقه استفاده شده است می‌باشد.

۳-۲-۲ - بارگذاری

بارهای ثقلی شامل بار های مرده و زنده برای مدل سازه ۵ طبقه مطابق بند ۳-۱-۳ مشابه با سازه ۲ طبقه می‌باشد. بارهای جانبی در مدل۵ طبقه برای مقایسه رفتار دو سازه در شرایط بارگذاری یکسان از شتاب نگاشت مقیاس شده زلزله کوبه استفاده شده است.

۳-۲-۳- جابجایی

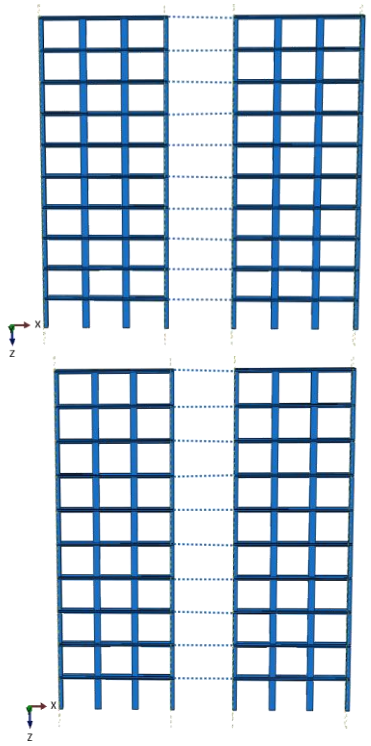
با در نظر گرفتن تحلیل دینامیکی نتایج جابجایی بصورت تاریخچه زمانی برای هردو سازه در شکل (۶) ارائه شده‌اند.



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 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.

جدول۲- مشخصات مصالح بکار رفته برای هر دو سازه ۱۰طبقه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و سازه بتنی مسلح شده با میلگرد FRP

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

۳-۳-۲- بارگذاری

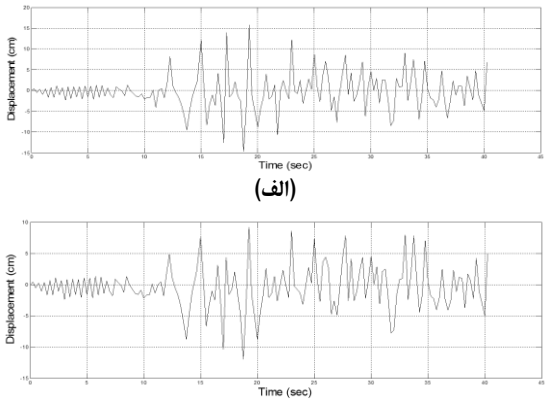
بارهای ثقلی بارهای ثقلی برای مدل سازه ۱۰ طبقه شامل بارهای مرده و زنده بشرح زیر می‌باشد.

جدول ۳- بارهای ثقلی

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

۳-۳-۳ جابجایی

با توجه به بارگذاری و مدل‌سازی هردو سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و سازه بتنی مسلح شده با میلگرد FRP بصورت دوبعدی نتایج تحلیل تاریخچه زمانی بدست آمده‌اند. که جابجایی برای هر دو سازه در به در شکل‌های (۸) ارائه گردیده است.



(الف)

(ب)

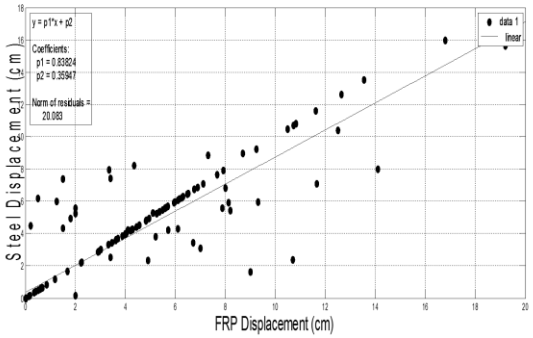
شکل ۸- جابجایی سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی (الف) و میلگرد FRP (ب) تحت بارگذاری زلزله برای ساختمان ۱۰ طبقه در حالت ۲ بعدی

۴- تحلیل نتایج

به منظور بهره‌گیری از نتایج بدست آمده از تحلیل‌های انجام یافته، بررسی و تحلیل نتایج لازم و ضروری خواهد بود. در این راستا ، بر مبنای نتایج بدست آمده از تحلیل‌های مختلف صورت پذیرفته در بندهای قبلی، مقایسه بین رفتار و عملکرد سازه‌ای بین دو نوع سازه‌ی بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی و سازه‌ی بتنی مسلح شده با میلگردFRP در ساختمانهای با طبقات مختلف صورت می‌پذیرد. رفتار سازه‌ای، با درنظر گرفتن جابجایی، برش پایه و تنش پسماند بین دو نوع سازه انجام می‌گیرد که در این مقاله صرفاً نتایج وتحلیل جابجایی ارائه شده است. به همین منظور از نتایج تحلیل، سازه‌های ۲، ۵، ۱۰ طبقه در حالت دو بعدی و سه بعدی استفاده شده است و در نهایت مقایسه رفتار سازه‌ای بین دو نوع سازه مذکور انجام پذیرفته است.

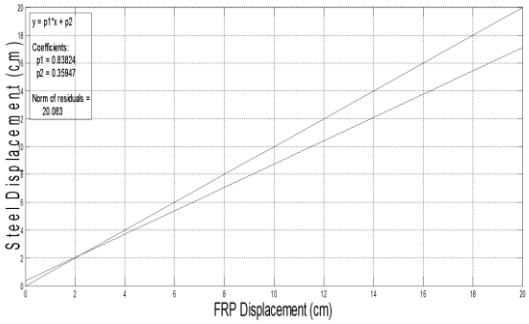
برای مقایسه رفتار دو سازه ذکر گردیده، نتایج تحلیل بصورت تاریخچه زمانی جابجایی در فصل سوم بندها ی مربوط به تحلیل دینامیکی برای ساختمانهای ۲طبقه سه بعدی، ۵ طبقه دو بعدی، ۱۰طبقه دو بعدی و سه بعدی آورده شده‌اند.

همانطوری که از شکل (۲) ملاحظه می‌گردد حداکثر جابجایی برای سازه ۲ طبقه درحالت سه بعدی با بارگذاری زلزله کوبه، برای سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی، ۱۵/۸۵ سانتی‌متر و برای سازه بتنی مسلح شده با میلگرد FRP، ۲۰/۷۱سانتی‌متر می باشد. که این امر حکایت از رفتار بهتر سازه بتنی مسلح شده با میلگرد فولادی نسبت به FRP از حیث جابجایی می‌باشد. سازه‌ی فولادی۴۳٪ نسبت به FRP، جابجایی کمتری دارد. این مقایسه فقط برای ماکزیمم‌های جابجایی انجام پذیرفته است. درصورتیکه اگر مقایسه برای کل جابجایی در طول تاریخچه مانی بین دو سازه با در نظر گرفتن زمانهای نظیر به نظیر انجام گیرد، شکل (۹) حاصل می آید.



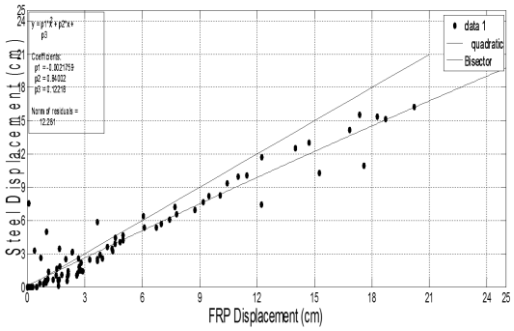
شکل ۹- خط برازش یافته برای جابجایی بین جابجایی میلگرد فولادی و FRP درسازه ۲ طبقه

همانطوریکه از شکل (۹) ملاحضه 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 می توان با تقریب مناسب رفتارخطی برای جابجایی سازه دو طبقه بین دو نوع سازه را پیش بینی نمود. همچنین پس از رسم نیمساز مشاهده می گردد 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.)



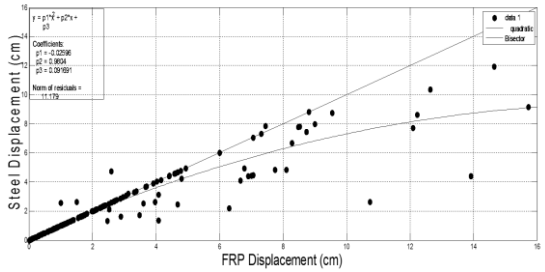
شکل ۱۰- خط برازش یافته و نیمساز

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/ ۲۰سانتی‌متر 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 ۰/۸۹ بین دو نوع سازه نیز، در شکل مذکور نمایان است که با یک دید کلی می‌توان مشاهده نمود که خط برازش یافته بین خط افقی و نیمساز می‌باشد.



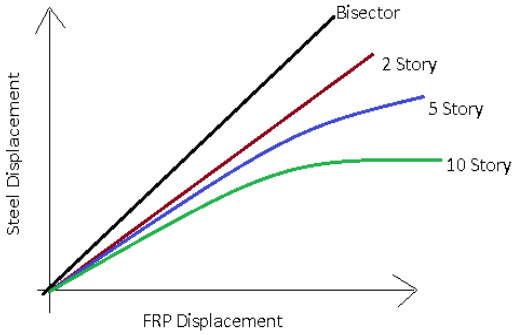
شکل ۱۱- نمودار برازش یافته بین جابجایی میلگرد فولادی و FRP درسازه ۵ طبقه و نیمساز

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.



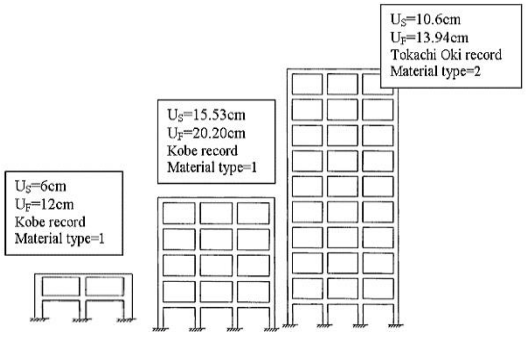
شکل ۱۲- نمودار برازش یافته بین جابجایی میلگرد فولادی و FRP درسازه ۱۰ طبقه دو بعدی و نیمساز

با وجود آنکه رفتار بین فولاد و FRP در سازه ۲ طبقه خطی می‌باشد ولی در سازه ۵ طبقه و ۱۰طبقه 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 بیشری 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 بیشر می‌شود. رفتار فولاد، مطئمن تر و بهتر از FRP خواهد بود. بصورت شماتیک این موضوع در شکل (۱۳) قابل مشاهده است.



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 میلگردFRP

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، نورثریج، 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 شدکه 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 بیشری نمود. در مدل ساختمان ۲ طبقه، رابطهٔ 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، رابطهٔ 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.

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, l.,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

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 Vafaeipoor *
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