

مقایسه رفتار لرزای دیوار برشی بتنی با میلگرد FRP و میلگرد فولادی S۴۰۰ تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش اور (NSP)

سید علی موسوی داودی^۱

۱- فارغ التحصیل کارشناس ارشد سازه - دانشکده فنی و مهندسی، مرکز آموزش عالی طبری

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط (Ali_mousavii@yahoo.com)

چکیده

امروزه استفاده از میلگردهای ساخته شده با مواد پلیمری FRP در صنعت ساختمانسازی رو به افزایش است، میلگردهای FRP به دلیل اینکه دارای یک رفتار غیرشکل‌پذیر می‌باشند از عملکرد مناسبی نسبت به میلگردهای معمولی برخوردار می‌باشند، کاربرد بیشتر این میلگردها در سازه‌های خواهد بود، که مهمترین مشکل آنها خوردگی یا مشکلات الکترومغناطیسی باشد. رفتار مکانیکی میلگردهای FRP با میلگردهای فولادی تفاوت دارد؛ لذا نحوه طراحی سازه‌های بتنی با استفاده از میلگردهای FRP دارای تغییرات گسترده‌ای نسبت به میلگردهای فولادی می‌باشد. میلگردهای فولادی دارای رفتار تقریباً همسانگرد می‌باشند ولی میلگردهای FRP دارای رفتار ناهمسانگرد هستند. این رفتار ناهمسانگرد در مقاومت برشی و رفتار چسبندگی میلگردهای FRP به بتن تاثیر می‌گذارد. مصالح FRP بر خلاف مصالح فولادی، رفتار الاستیک خطی از خود نشان می‌دهند، با توجه به اهمیت این موضوع و تفاوت رفتاری عملکرد این دو مصالح در این مقاله سعی گردید که ابتدا به مواد تشکیل دهنده FRP و خصوصیات آن پرداخته شود، مدل نرم افزاری که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفت، یک ساختمان ۶ طبقه با سیستم جانبی دارای دیوار برشی بتنی می‌باشد، مدل مذکور یکبار با میلگرد معمولی و بار دیگر با میلگرد FRP در برنامه ETABS ۲۰۱۵ مدلسازی می‌گردد، در ادامه این دو سازه از لحاظ رفتار لرزای از جمله شکل‌پذیری، سختی، مقاومت و جابه‌جایی و تغییرمکان مورد مطالعه قرار گرفت، در انتهای نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که سازه مقاومسازی شده با میلگردهای FRP از لحاظ رفتار لرزایی عملکرد بهتری نسبت به سیستم دیوار برشی با میلگرد معمولی خواهد داشت.

کلمات کلیدی: رفتار لرزای، دیوار برشی بتنی، میلگرد FRP، تحلیل استاتیکی غیرخطی.

۱- مقدمه

دیوار برشی بتنی به دلیل سختی زیاد درون صفحه‌ای خود یکی از اعضای کلیدی برای مقابله با بارهای جانبی در سازه‌های بلند مرتبه به شمار می‌آید. علاوه بر زلزله، اشتباهات در طراحی و ساخت، گذشت زمان، تخریب‌های محیطی و در بسیاری از موارد ایجاد بازشو در دیوار برشی از جمله عوامل ضعف این عضو سازه‌ای در سالیان اخیر می‌باشند، که تقویت آن را به امری اجتناب ناپذیر تبدیل گردانده است. به دلیل قابلیت خوب دیوارهای برشی بتنی در باز توزیع تنش‌ها، ایجاد بازشوهای کوچک تاثیر بسزائی در رفتار دیوار نخواهد داشت، ولی ایجاد بازشوهای بزرگ با کاهش سختی و مقاومت عضو همراه است.^[۱] پارامتر بسیار مهم در دیوارهای برشی دارای بازشو نسبت سختی تیر همبند به دیوارهای ایجاد شده طرفین است. در صورتیکه سختی تیر همبند کم باشد رفتار مجموعه به دو دیوار برشی مجزا نزدیکتر می‌شود، و در صورتیکه سختی تیر همبند زیاد باشد رفتار مجموعه به دیوار برشی یکپارچه نزدیکتر می‌گردد، یکی از بهترین روش‌ها برای مقابله با این کاهش ظرفیت استفاده از ورق‌های کامپوزیتی FRP است. در دهه گذشته استفاده از ورق‌های کامپوزیتی FRP به دلیل مقاومت بالا، دوام در برابر خوردگی، نصب سریع و آسان و وزن کم آنها نسبت به مصالح مقاومسازی سنتی، بسیار افزایش یافته است.^[۶۱]

۲- تعریف FRP

فیبرهای پلیمری تقویت شده Fiber Reinforced Polymer/Plastic FRP یا همان FRP یا همان Fiber Reinforced Plastic با تقویت و بهسازی انواع سازه‌های بتنی با نصب بر روی سطح (دالها و تیرها، ستون‌ها، دیوارهای حمال، شنازهای و فونداسیون) و در ساختمان‌های مسکونی، اداری و تجاری، ساختمان‌های صنعتی، تکیه‌گاه‌های ماشین‌الات و تأسیسات سنگین، سازه‌های آبی از قبیل سد، کanal، کالورت و غیره، پل‌های جاده‌ای و ریلی، مخازن و منابع آب و مایعات، سیلوها و برج‌های خنک‌کننده به کار برده. با پیشرفت‌های علم و فناوری، امروزه متخصصین امر ساخت و ساز سعی می‌کنند به تکنولوژی ساخت مواد جدیدی دست یابند که علاوه بر انجام وظایف‌های در نظر گرفته شده از جنبه‌های دیگر مؤثر بر سازه مانند وزن، مقاومت، راحتی کاربرد و طول عمر نیز برتری‌هایی داشته باشند. یکی از این مواد که دارای مزیت‌های شمرده می‌باشند، کامپوزیت‌های پلیمری است. این مواد قابلیت استفاده به صورت‌های مختلف و در قسمت‌های مختلف سازه را دارند. [۲]

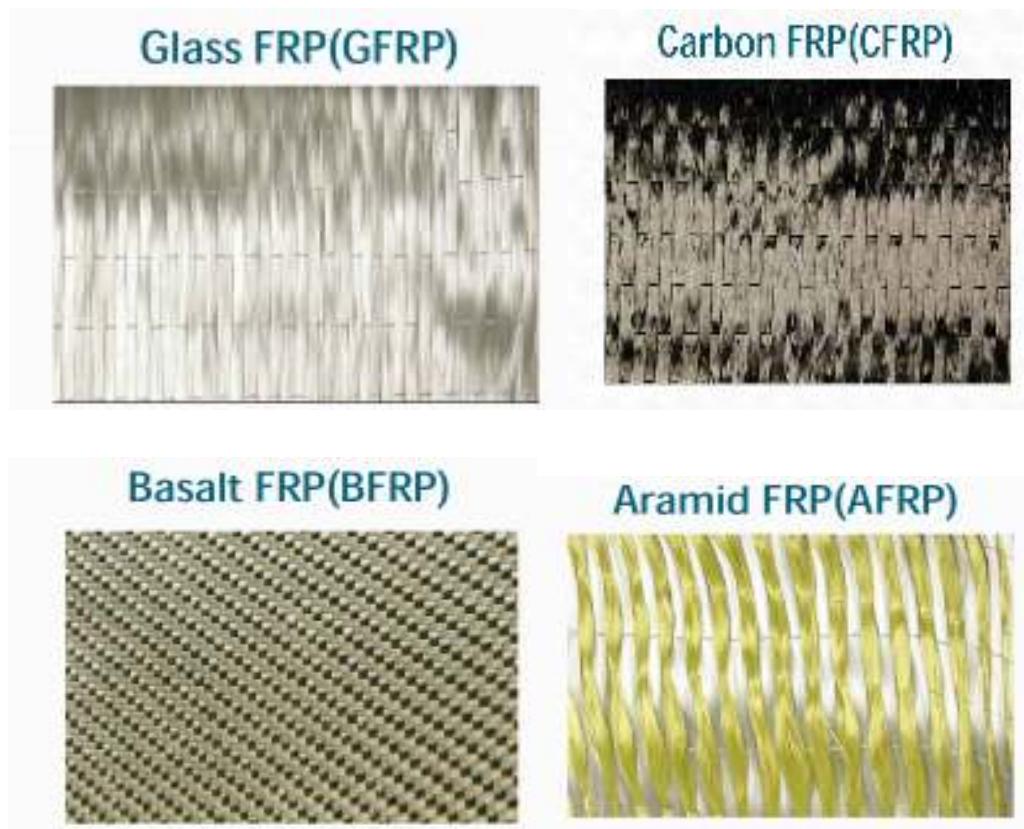


شکل ۱- جزئیات ساختار FRP [۲]

۱-۲ انواع الیاف بافته شده FRP

الیاف بافته شده کامپوزیتی FRP، پارچه‌هایی با ضخامت کمتر از یک میلی‌متر هستند که با ترکیب رزین تولید ورق‌هایی می‌کنند که به ورق FRP (با ضخامت چند میلی‌متر) معروف هستند. مصالح الیاف FRP بر اساس فیبرهای تشکیل دهنده به چندین دسته تقسیم می‌شوند که چهار نوع آن کاربرد بیشتری دارند و عبارتند از: [۲]

- الیاف GFRP که با آنها پلیمرهای کامپوزیت FRP مسلح شده با الیاف شیشه تولید می‌گردد.
- الیاف CFRP که کامپوزیتها را FRP مسلح شده با الیاف کربن از آنها تولید می‌گردد.
- الیاف AFRP آرامید
- الیاف BFRP بازالت



شکل - ۱ انواع الیاف بافته شده FRP [۲]

۳-۲ کاربرد الیاف FRP

از مهمترین مواردی که توسط مصالح FRP اصلاح و مقاومسازی می‌شوند عبارتند از: [۳]

- خوردگی و فرسایش سازه‌ای در سیستم‌های صنعتی، پالاسگاه‌ها و پتروشیمی
- ترک‌خوردگی و کنده‌شدگی بتن ناشی از خوردگی
- کاهش ظرفیت سازه‌ای
- نفوذ کلریدها
- کربناته شدن
- خوردگی فولادهای پس‌کشیدگی
- تابیدگی دال‌های ریخته شده روی سطوح بستر
- اشتباهات طراحی
- میلگردگذاری نادرست بتن
- اجرای اشتباه خاموت‌ها
- جاداشدگی سنگدانه‌های بتن
- خیز غیرمجاز دال و سقف بتن آرمه
- کرموشیدگی سطح بتن و تجمع سنگدانه‌ها
- تغییر در کاربری سازه‌ها و بارگذاری‌های اضافی ثقلی و جانبی
- خوردگی میلگرد در بتن

ظرفیت خمشی ناکافی بتن
افزایش تعداد طبقات ساختمان‌های بتنی
افزایش ظرفیت برشی ترک در تیر بتنی و عرضه پل
ضعف اتصالات بتن
ترک در ستون‌های ساختمان‌ها و پل‌ها
نیاز به کاهش زمان ایجاد وقفه در حین ترمیم و مقاومسازی [۳]

۴-۲ مزایای الیاف FRP

مهمنترین مزایای مقاومسازی با استفاده از FRP نسبت به سایر روش‌های مقاومسازی به شرح زیر هستند:[۴]

- مقاومسازی با FRP بسیار سریع تر از سایر روش‌های مقاومسازی می‌باشد.
- مقاومسازی با FRP در بیشتر موارد ارزان تر از سایر روش‌های مقاومسازی است.
- مقاومسازی با FRP نیاز به تخریب بخش‌هایی از سازه در مقایسه با سایر روش‌های مقاومسازی ندارد.
- پس از اجرای مقاومسازی با FRP، نیاز به بازسازی بخش‌هایی از سازه در مقایسه با سایر روش‌های مقاومسازی ندارد.
- مقاومسازی با FRP به مرور زمان دچار خوردگی نمی‌شود. (در مقایسه با بعضی روش‌های مقاومسازی سنتی مانند ژاکت فولادی)
- مقاومسازی با FRP در مجاورت مصالح ساختمانی (مانند گچ و خاک) دچار خوردگی نمی‌شود (در مقایسه با برخی روش‌های مقاومسازی سنتی مانند ژاکت فولادی).
- مقاومسازی با FRP مبتنی بر فن آوری‌های نوین است (در مقایسه با سایر روش‌های مقاومسازی سنتی) و بنابراین روش‌های مقاومسازی با FRP هرروز در حال تکامل و پیشرفت می‌باشد.
- مقاومسازی با FRP دارای کدها و آیین‌نامه‌های خاص برای مقاومسازی با FRP می‌باشد در حالیکه بیشتر روش‌های مقاومسازی سنتی مبتنی آیین‌نامه‌های عمومی هستند (مانند مقاومسازی به روش ژاکت بتنی و مقاومسازی به روش ژاکت فولادی).
- برای کنترل کیفیت مقاومسازی با FRP روش‌های مشخصی مانند تست Pull Off وجود دارد که برای اطمینان از عملکرد صحیح سیستم مقاومسازی با FRP باید پس از اجرای عملیات مقاومسازی با FRP انجام شود.
- اجرای عملیات مقاومسازی با FRP نیاز به تجهیزات خاصی در مقایسه با سایر روش‌های مقاومسازی ندارد.
- اجرای عملیات مقاومسازی با FRP نیاز به افراد مختلف با مهارت‌های متعدد در مقایسه با سایر روش‌های مقاوم سازی ندارد.[۴]

۵-۲ معایب الیاف FRP

- امکان وقوع شکست ترد افزایش می‌یابد.
- جداشدن کامپوزیت از بستر بتنی خود.
- آسیب‌پذیری در مقابل آتش‌سوزی.
- استفاده از الیاف FRP در سطوح ناصاف امکان‌پذیر نیست.[۵]

۶-۲ انواع محصولات FRP

از الیاف FRP در صنعت ساختمان‌سازی و در زمینه‌های مختلف از جمله مقاومسازی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها استفاده می‌شود. محصولات FRP که در صنعت ساختمان‌سازی استفاده می‌شود. در شکل‌های گوناگونی به بازار عرضه می‌شود. در زیر به چند مورد از این محصولات که در گستره وسیعی در صنعت ساختمان و همچنین در مقاومسازی و بهسازی لرزه‌ای از آن استفاده می‌شود اشاره می‌گردد و به معرفی هر یک از آنها خواهیم پرداخت [۶].

۷-۲ ورقه‌های FRP

تسمه‌های FRP، ورقه‌های با ضخامت چند میلی‌متر از جنس FRP هستند. این ورقه‌ها با چسب‌های مستحکم و مناسب به سطح بتن چسبانده می‌شوند. از تسمه‌های FRP جهت تعمیر و تقویت سازه‌های آسیب دیده یا غیر مقاوم (عوامل مختلف از جمله خطر زلزله و یا خوردگی در آب‌های یون‌دار) استفاده می‌شود. در مقابل تسمه‌های FRP پارچه‌های FRP قرار دارند که بسیار شکل پذیرند و می‌توانند به هر شکلی در بیانند. این پارچه‌ها می‌توانند دارای الیاف در یک یا دو جهت باشند. تسمه‌ها برخلاف الیاف پارچه‌ای، شکل پذیر نیستند و در ضخامت و عرض‌های مختلف یافت می‌شوند. [۷]



شکل-۳ نمای تسمه‌های FRP [۷]

۸-۲ کابل، نوار و تاندن‌های پیش‌تنیدگی

محصولاتی شبیه میله‌های FRP ولی به صورت انعطاف‌پذیر هستند که در سازه‌های کابلی و بتن پیش‌تنیده در محیط‌های دریایی و خورنده کاربرد دارند. این محصولات در اجزاء پیش‌تنیده در مجاورت آب نیز بکارگرفته می‌شوند. [۷]



شکل-۴ نمای کابل و نوار و تاندن FRP [۷]

۹-۲ میلگردهای FRP

میلگردهای FRP در شکل و الگوی ظاهری شبیه میلگردهای فولادی می‌باشند. این میلگردها تا اواخر دهه ۱۹۷۰ به صورت تجاری در دسترس نبودند. میلگردهای موجود در بازار دارای انواع مختلفی از سطح مقطع‌ها مانند مربعی، حلقه‌ای، دایره‌ی توپر، استخوانی و توخالی می‌باشند. [۸]



شکل-۵ اشكال مختلف میلگردهای دایره‌ای از جنس FRP

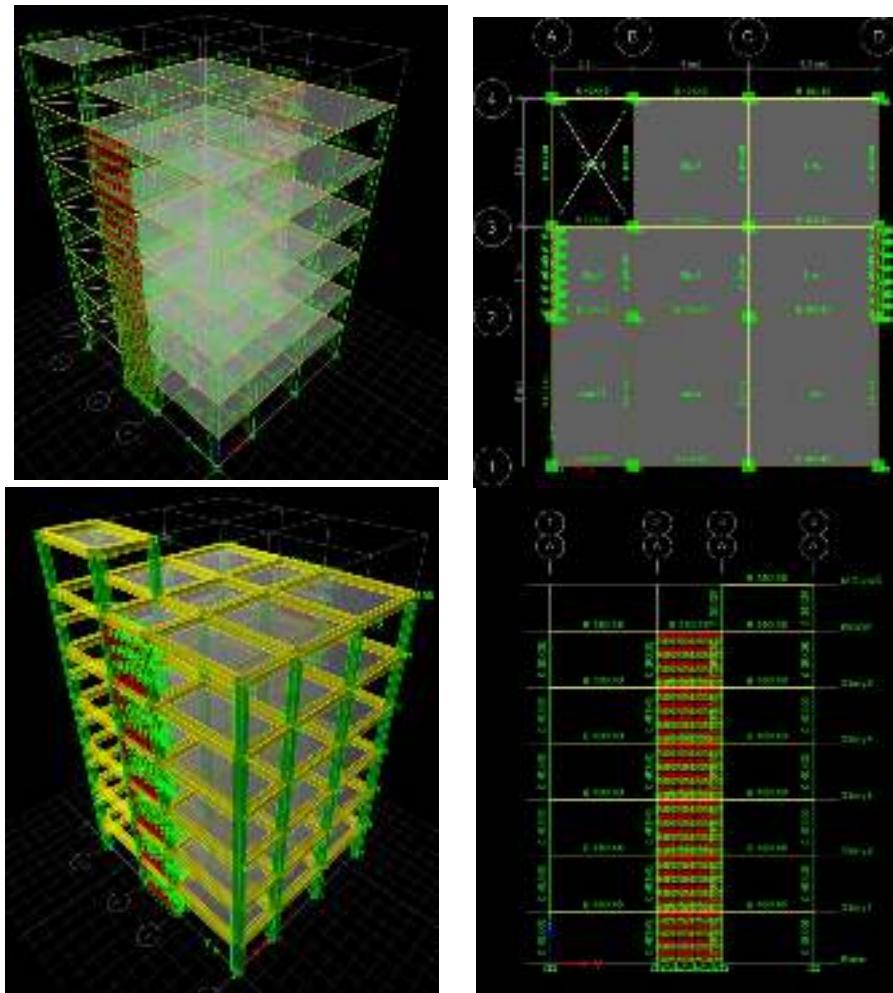
به کار رفته در این میلگردها را به روش‌های گوناگون و با تکنیک‌های مختلفی مانند کششی پیچشی، نواری و موج‌دهی می‌سازند و برای تبدیل به میلگرد به طرق مختلف شکل‌دهی می‌شوند. [۸]



شکل-۶ میلگردهای FRP فرم‌دهی شده با روش‌های گوناگون [۸]

۳- روش تحقیق

در این تحقیق بمنظور مطالعه مقایسه رفتار لرزه‌ای دیوار برشی بتنی با میلگرد FRP و میلگرد فولادی S^{۴۰۰} تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌اور (NSP) از دو مدل مطالعاتی با نام‌های مدل A و B استفاده شده است، مشخصات این دو مدل به شرح ذیل می‌باشد. مدل A یک سازه ۶ طبقه با سیستم (قاب خمشی متوسط+دیوار برشی با میلگرد معمولی) و مدل B یک سازه ۶ طبقه با سیستم (قاب خمشی متوسط+دیوار برشی با میلگرد FRP) می‌باشد. تفاوت این دو سازه در نوع میلگرد مصرفی و به کار رفته در طراحی دیوار برشی بتنی می‌باشد.

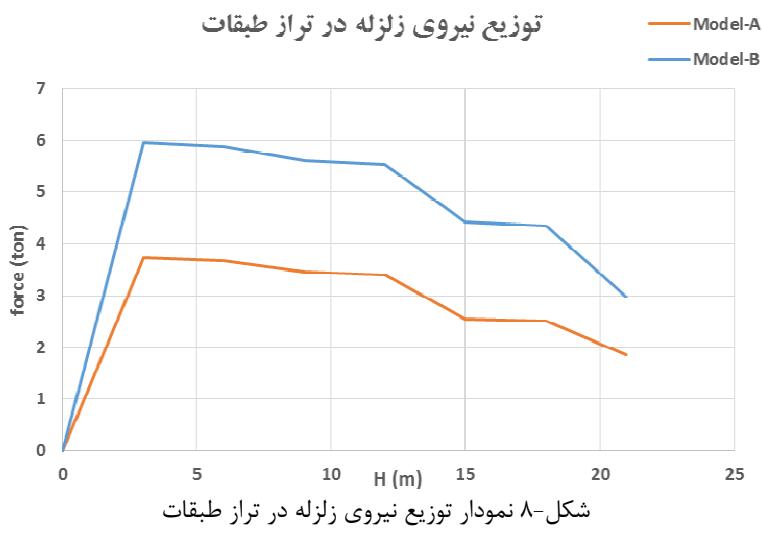


شکل ۷- جزئیات هندسی مدل A, B

۴- نتایج تحلیل

۱-۴ نتایج تحلیل استاتیکی خطی نمونه A و B

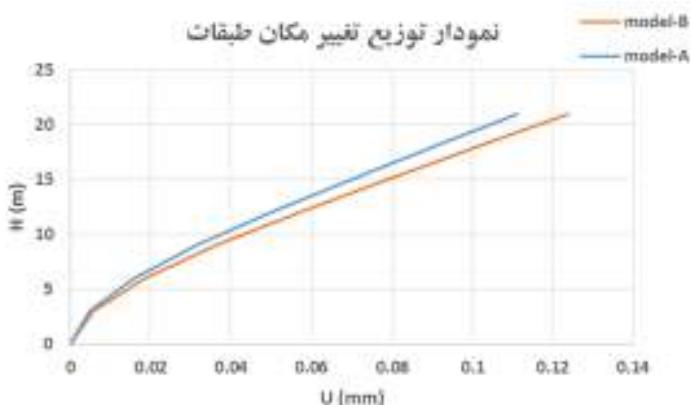
بعد از انجام تحلیل مدل مطالعاتی نمونه A (سازه ۶ طبقه قاب خمши متوسط + دیوار برشی بتنی با میلگرد فولادی ۵۴۰۰) و مدل B (سازه ۶ طبقه قاب خمши متوسط+دیوار برشی بتنی با میلگرد FRP). نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی خطی در زیر ارائه شده‌اند، در شکل (۹) می‌توان توزیع نیروی زلزله از تراز پایه در مدل A و مدل B را در ارتفاع طبقات مشاهده کرد.



شکل-۸ نمودار توزیع نیروی زلزله در تراز طبقات

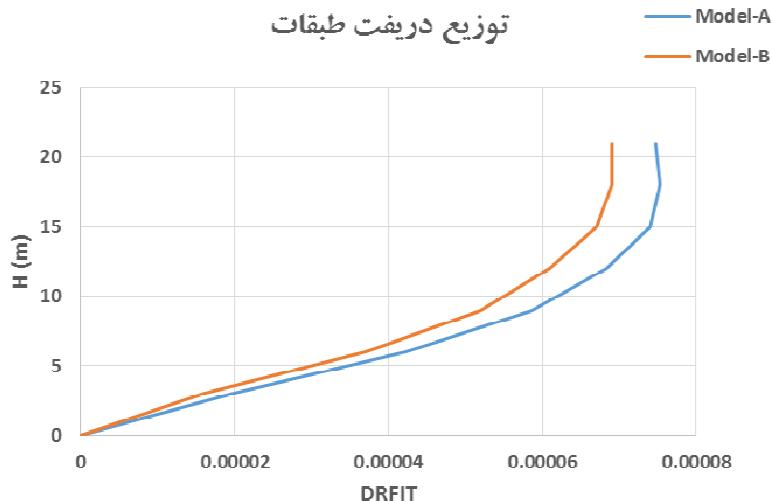
در شکل (۸) می‌توان توزیع نیروی زلزله در ارتفاع طبقات را مشاهده کرد، با توجه به این که مقدار نیروی برش پایه برای مدل A و مدل B برابر بود با توجه به وزن سازه، اما با مشاهده میانگین نیروی توزیع شده در ارتفاع طبقات مشاهد گردید که به طور متوسط در مدل B (با میلگرد FRP) مقدار نیروی توزیع شده $\frac{59}{35}\%$ درصد کمتر از مدل A (با میلگرد فولادی معمولی) می‌باشد.

بعد از انجام تحلیل استاتیکی خطی معادل در شکل زیر می‌توان توزیع تغییرمکان طبقات را در مدل A و مدل B مشاهده کرد.



شکل-۹ نمودار توزیع تغییر مکان طبقات

با مشاهده شکل (۹) نمودار توزیع تغییرمکان طبقات مشاهده می‌گردد که مقدار تغییرمکان طبقات در مدل B (با میلگرد FRP) به مقدار $\frac{8}{4}\%$ درصد کمتر از مدل A (با میلگرد معمولی) می‌باشد. در شکل (۱۰) می‌توان دریافت (جابجایی نسبی بین طبقات) را در مدل A و مدل B ناشی از تحلیل استاتیکی خطی معادل مشاهده کرد.



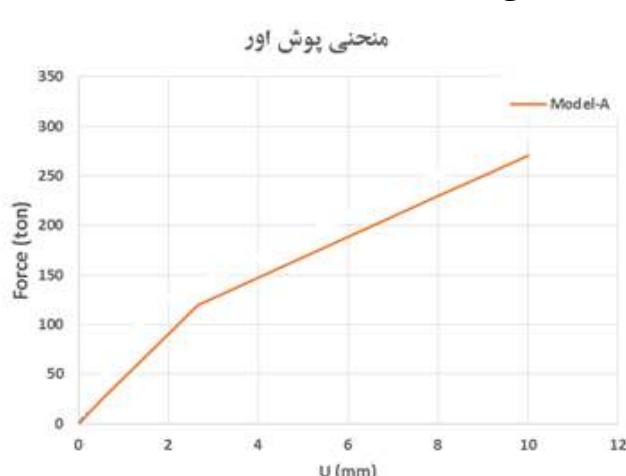
نمودار ۱۰- نمودار توزیع دریفت (جابجایی نسبی بین طبقات) در تراز طبقات

با مشاهده نمودار توزیع دریفت (جابجایی نسبی بین طبقات) مشاهده گردید، که مقدار دریفت (جابجایی نسبی) سازه در مدل B (با میلگرد FRP) به طور میانگین $8/2\%$ نسبت به مدل A (با میلگرد معمولی) کاهش داشته است.

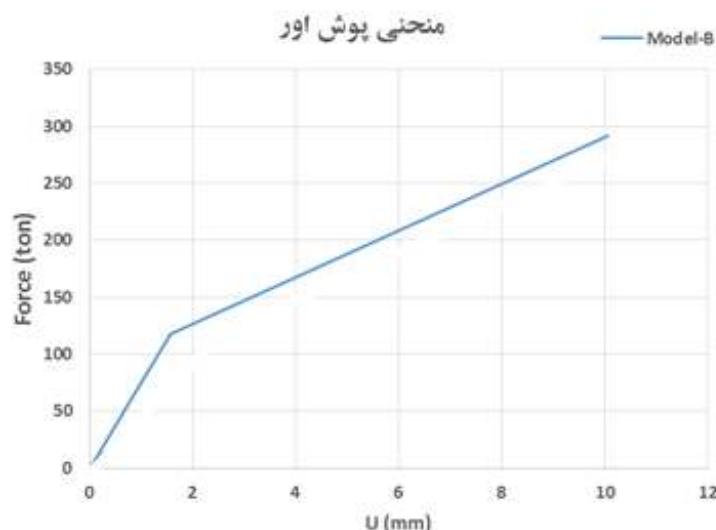
۴-۴ نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش اور (NSP)

بعد از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی (NSP) منحنی پوش اور (نمودار نیرو-تغییرمکان) مدل A (دیوار برشی بتونی با میلگرد معمولی) ترسیم شد، مقدار تغییرمکان هدف محاسبه شده در مدل A برابر $10/0\text{ mm}$ سانتی متر بود. مقدار ضریب شکل بذیری که از رابطه فوق محاسبه گردید ($\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = 8/7$) برابر با $\mu = 8/7$ بود، همچنین مقدار سختی موثر (k_e) محاسبه شده مطابق

آیین نامه ۱۴ ASCE برابر $K_e = 44.98$ می باشد.



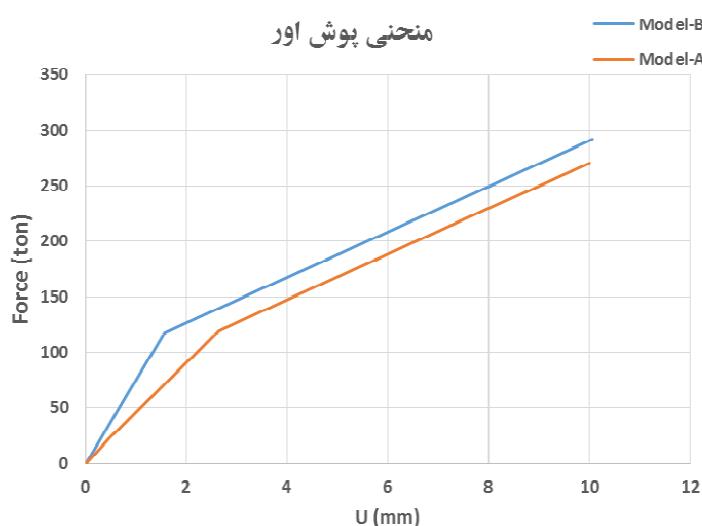
شکل ۱۱- منحنی پوش اور قاب خمسی بتونی مدل A (با میلگرد معمولی)



شکل ۱۲- منحنی پوش اور مدل B (با میلگرد FRP)

بعد از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی (NSP) منحنی پوش اور یا نمودار نیرو-تغییرمکان مدل B (دیوار برشی بتنی با میلگرد FRP) ترسیم شد، مقدار تغییرمکان هدف محاسبه شده در مدل B برابر $10/01$ سانتی متر بود. مقدار ضریب شکل-پذیری که از رابطه فوق محاسبه گردید $\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} = 3/66$ بود، همچنین مقدار سختی موثر (ke) محاسبه شده مطابق آیین نامه ۱۴ ASCE برابر $52/6$ می باشد.

در شکل (۱۴) می توان مقایسه نتایج حاصل از منحنی پوش اور (نیرو-تغییرمکان) ناشی از تحلیل استاتیکی غیرخطی (NSP) را در مدل های A (با میلگرد معمولی) و مدل B (با میلگرد FRP) مشاهده کرد.



شکل ۱۳- منحنی پوش اور قاب مدل A,B

همانطور که از شکل (۱۳) مشخص است مدل B (قاب خمی بتنی متوسط+دیوار برشی بتنی با میلگرد FRP) از لحاظ مقاومت سازه‌ایی به طور میانگین ۳,۴۴٪ درصد مقاومت بیشتری نسبت به مدل A (قاب خمی بتنی متوسط+دیوار برشی بتنی با میلگرد معمولی) داراست همچنین شکل پذیری مدل B نسبت به مدل A بیشتر می‌باشد، مدل B نیز نسبت به مدل A دارای سختی بیشتری می‌باشد. در نتیجه از منحنی پوش اور مدل A و مدل B می‌توان به این نتیجه دست یافت که مدل B عملکرد بهتری نسبت به مدل A دارد.

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی و مقایسه قاب مدل A (قاب خمی بتنی متوسط با دیوار برشی با میلگرد معمولی) و مدل B (قاب خمی بتنی با دیوار برشی با میلگرد FRP) و بررسی تحلیل‌های استاتیکی خطی و غیرخطی نتایج زیر حاصل شدند:

- گرچه مقدار نیروی برش پایه برای مدل A (قاب خمی بتنی متوسط با دیوار برشی با میلگرد معمولی) و مدل B (قاب خمی بتنی با دیوار برشی بتنی متوسط با میلگرد FRP) با یکدیگر برابر هستند اما میانگین نیروی توزیع شده در ارتفاع طبقات به طور متوسط در مدل B ۵۹/۳۵٪ درصد کمتر از مدل A می‌باشد، و نشان دهنده این نکته هست که مدل B (قاب خمی بتنی با دیوار برشی بتنی متوسط با میلگرد FRP) دارای عملکرد لرزه‌ایی بهتری نسبت به مدل A (قاب خمی بتنی متوسط با دیوار برشی با میلگرد معمولی) می‌باشد.

- گرچه مقدار نیروی زلزله در مدل A (قاب خمی بتنی متوسط با دیوار برشی با میلگرد معمولی) و B (قاب خمی بتنی با دیوار برشی بتنی متوسط با میلگرد FRP) یکسان می‌باشد، اما مشاهده گردید، که مقدار دریفت ایجاد شده به طور میانگین در مدل B (قاب خمی بتنی با دیوار برشی بتنی متوسط با میلگرد FRP) نسبت به مدل A (قاب خمی بتنی متوسط با دیوار برشی با میلگرد معمولی) کاهش داشته است.

- بعد از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش اور (NSP) و ترسیم منحنی نیرو-تغییرمکان (پوش اور) مشاهده گردید که مدل B (قاب خمی بتنی با دیوار برشی بتنی متوسط با میلگرد FRP) از لحاظ مقاومت سازه‌ایی معادل ۴۴/۳٪ می‌باشد. درصد مقاومت بیشتری نسبت به مدل A (قاب خمی بتنی متوسط با دیوار برشی با میلگرد معمولی) داراست یعنی مدل B از لحاظ پارامتر موثر مقاومت، مقاومت بیشتری را نسبت به مدل A دارا می‌باشد، همچنین با توجه به محاسبه مقدار شکل پذیری مشاهده گردید، که مقدار شکل پذیری مدل B (قاب خمی بتنی با دیوار برشی بتنی متوسط با میلگرد FRP) در حدود ۵۷/۳۰٪ درصد نسبت به مدل A (قاب خمی بتنی متوسط با دیوار برشی با میلگرد معمولی) بیشتر می‌باشد، در مقایسه پارامتر سختی دو قاب با توجه به منحنی پوش اور مشاهده گردید، که سختی مدل B در حدود ۲۵/۳۵٪ نسبت به مدل A بیشتر می‌باشد.

۶- مراجع

[۱] بهفرنیا، کیاچهر و علیرضا سیاح، ۱۳۸۹، بررسی اثر تقویتی ورقهای FRP بر ظرفیت نهایی دیوار برشی بتنی دارای بازشو با استفاده از روش اجزاء محدود، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد

[۲] علی خیرالدین، وح سین نادرپور، "بررسی رفتار لرزه ای دیوارهای برشی مرکب"، نشریه انجمن بنی ایران، سال چهارم، شماره ۱۶، زمستان ۱۳۸۳

[۳] ح سین نادرپور، "بررسی عملکرد لرزه ای دیوارهای برشی مرکب"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سمنان، دانشکده مهندسی، ۱۳۸۴

[۴]. پناهی بروجنی، مینو، ۱۳۹۲، معرفی روش نوین مقاوم سازی تیربتنی با استفاده از الیاف پلیمری FRP به روش نزدیک به سطح NSM، اولین کنفرانس ملی بنای ماندگار، مشهد، معاونت شهرسازی و معماری شهرداری مشهد

[۵]. کریمی، جمال الدین و امید کهنه پوشی، ۱۳۹۴، ارزیابی و مقاوم سازی دیوار برشی بتی با استفاده از ورقهای پلیمری کربنی مسلح شده به الیاف CFRP، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و زیرساخت های شهری، تبریز، دبیرخانه دائمی کنفرانس

[۶]. شاکری بروجنی، رضا؛ حامد صفاری و هونم ابراهیم پور کومله، ۱۳۹۴، بررسی تحلیلی تاثیر جنس FRP ها بر روی مقاوم سازی تیرهای بتی به روش NSM ، کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در علوم، مهندسی و فناوری با محوریت پژوهش های نیاز محور، مشهد، مؤسسه فراز اندیشان دانش بین الملل

[۷]. Ehsani, M.M and saadatmanesh, H., (۱۹۹۷), “Fiber composites: An economical alternative for retrofitting earthquake-damaged precast-concrete walls”, Earthquake Spectra, Vol. ۱۳, No. ۲, ۲۲۵-۲۴۱.

[۸]. Lombard, J and Lau, D.T and Humar, J.L and Foo, S and Cheung, M.S., (۲۰۰۰), “Seismic strengthening and repair of reinforced concrete shear walls”, Proceedings, Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand Society for Earthquake Engineering, Silverstream, New Zealand, Paper No ۲۰۳۲

[۹]. Sugiyama, T and Uemura, M and Fukuyama, H and Nakano, K and Matsuzaki, Y., (۲۰۰۰), “Experimental study on the performance of the RC frame in filled cast-in place non-structural RC walls retrofitted by using carbon fiber sheets”, proceedings, Twelfth World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand Society for Earthquake Engineering, Silverstream, New Zealand, Paper No. ۲۱۵۳.