

بررسی کارایی روش ستون معادل در مقایسه با روش فایبر در تحلیل‌های غیرخطی دیوار برشی در ساختمان‌های بتن مسلح

محمد علی هادیان فرد (نویسنده مسئول)، دانشیار دانشکده عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی شیراز، hadianfard@sutech.ac.ir
محمد جعفری، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه صنعتی شیراز

چکیده: با پیشرفت نرم‌افزارهای مهندسی این امکان برای کاربران به وجود آمده است که با کنار گذاشتن ایده‌های ساده‌سازی، به درک دقیق‌تری از رفتار سازه به‌ویژه در تحلیل‌های غیرخطی دست یابند. یکی از اجزای سازه‌های بتن مسلح که تأثیر به‌سزایی در مشخص نمودن رفتار کلی سازه دارد دیوار برشی است. امروزه تحلیل غیرخطی دیوار برشی به دو روش فایبر و روش ساده‌شده‌ی ستون معادل انجام می‌شود. در این تحقیق با مدل کردن سه ساختمان ۴، ۸ و ۱۰ طبقه‌ی بتن مسلح همراه با دیوار برشی و تحلیل غیرخطی آنها یک‌بار با دیوار برشی به روش فایبر و یک‌بار با دیوار برشی به روش ستون معادل میزان کارایی ساده‌سازی در روش ستون معادل بررسی شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد در ساختمان‌های مدل شده به روش ستون معادل سطح زیر نمودار بار افزون و سطوح عملکرد مفاصل پلاستیک در تحلیل استاتیکی غیرخطی بیشتر از روش فایبر است؛ به طوری که در تعدادی از مفاصل در محدوده‌ی دیوار برشی سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش در روش فایبر به سطح عملکرد ایمنی جانی در روش ستون معادل تبدیل شده است. همچنین در تحلیل دینامیکی غیرخطی میزان حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات در روش ستون معادل در حدود ۴۰٪ در ساختمان‌های بلند و ۸۰٪ در ساختمان‌های کوتاه کمتر از حداکثر جابه‌جایی نسبی آنها در روش فایبر است. این مطالعه نشان داد که ساده‌سازی مدل‌ها در روش ستون معادل در خلاف جهت اطمینان است.

واژگان کلیدی: ستون معادل، فایبر، دیوار برشی، تحلیل غیرخطی.

۱- مقدمه

تحلیل، فقط اعضای اصلی نشان داده می‌شوند و فرض بر این است که اعضای اصلی غیر سازه‌ای به‌صورت محافظه‌کارانه اثرات کمی را داشته باشند. برای ساده‌تر کردن مدل تحلیلی، فرض‌های دیگری در ارتباط با رفتار خطی و صلبیت کف در نظر گرفته می‌شود که از سختی و تغییر شکل‌های بعضی اعضا نیز چشم‌پوشی می‌شود. میزان دقت مدل‌سازی به مرحله‌ی تحلیل بستگی دارد. از یک

امروزه پایه و اساس اکثر آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای جهان و نیز آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ای کشور، استاندارد ۲۸۰۰ [۱] بر تحلیل‌های غیرخطی استوار است. پارامترهای ضریب رفتار، ضریب اضافه مقاومت و... همه بر اساس نتایج تحلیل‌های غیرخطی به دست آمده و سپس به‌صورت ساده و دسته‌بندی شده به‌وسیله‌ی یک ضریب در مدل‌سازی سازه استفاده می‌شود. همچنین در مدل‌سازی یک سازه برای

همکاران در سال ۲۰۱۰ [۶] به مقایسه‌ی تحلیل استاتیکی غیرخطی دیوار برشی بر اساس سه روش المان رشته‌ای، مدل چندلایه و FEMA 356 پرداختند. میائو و همکاران در سال ۲۰۱۱ [۷] به بررسی تحلیل استاتیکی غیرخطی با بارگذاری یکنواخت در مقایسه با بارگذاری مودال (MPA) در ساختمان‌های بتنی همراه با دیوار برشی بلندمرتبه پرداختند. در گزارش‌های اخیر منتشر شده توسط PEER مسئله‌ی مدل‌سازی دیوارهای بتن مسلح تحت بارهای چرخه‌ای و طرح لرزه‌ای آنها بر اساس عملکرد مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است [۸-۹].

امروزه با گسترش نرم‌افزارهای تحلیل سازه از دو روش ستون معادل و روش فایبر برای تحلیل غیرخطی دیوار برشی استفاده می‌شود که با توجه به سادگی و سرعت بالای تحلیل در روش ستون معادل، این روش از محبوبیت بیشتری در بین مهندسين برخوردار است. در این تحقیق، سه ساختمان ۴، ۸ و ۱۰ طبقه‌ی بتنی همراه با دیوار برشی به دو روش ستون معادل و فایبر در نرم‌افزار SAP2000, v. 17 مدل شده است. [۱۰]

در روش ستون معادل مقاطع به‌دست‌آمده برای دیوارهای برشی در نرم‌افزار ETABS, v. 9.7.4 [۱۱] به‌صورت ستون هم‌مقطع با دیوار معادل شده است و مفاصل پلاستیک ستون به آنها اختصاص می‌یابد. در این روش امکان اختصاص بتن محصورشده و بتن غیر محصور به دیوار برشی وجود ندارد. درحالی‌که در روش فایبر دیوار برشی به‌صورت المان پوسته‌ای غیرخطی مدل می‌شود. در این روش سطح مقطع عضو به یک سری فایبرهای محوری که در تمام طول مفصل پلاستیک امتداد یافته‌اند تقسیم می‌شود. هر فایبر با توجه به مصالحی که در اطراف آن قرار گرفته است، می‌تواند دارای منحنی تنش-کرنش مستقلی باشد. در این روش این امکان وجود دارد که به لایه‌های مختلف دیوار، بتن محصورشده و نیز بتن غیر محصور اختصاص یابد. المان‌های پوسته در روش فایبر بر اساس

مدل تحلیل تقریبی در تحلیل اولیه و یک مدل کم‌وبیش مشروح برای تحلیل دقیق‌تر نهایی استفاده می‌شود. در مدل‌سازی تقریبی برای تحلیل کامپیوتری ماتریس سختی، همه‌ی مجموعه‌های خمشی شامل قاب‌های صلب، قاب‌های مهاربندی‌شده و دیوار برشی به اعضای ستونی معادل تقلیل یافته و ساده‌سازی می‌شوند. برای تحلیل معادلات دیفرانسیلی حاکم، نیروها و اتصالات بین اعضای قائم اصلی توسط یک محیط پیوسته معادل معرفی می‌شود. در مدل‌سازی دقیق‌تر ستون‌ها و تیرها، قاب‌ها به‌صورت مجزا توسط اجزای محدود تیری و دیوارهای برشی توسط اجزای محدود غشایی معرفی می‌شوند. مدل‌سازی موفق یک ساختمان تابعی از میزان دانش و درک صحیح از رفتار سازه تحت اثر بارهاست. اطلاع دقیق و کافی از روش‌های مدل‌سازی ضمن کمک به پیش‌بینی رفتار سازه، در ایجاد و انتخاب فرم‌های سازه‌ای مناسب نقش به‌سزایی خواهد داشت [۲]. با توجه به موارد گفته‌شده یکی از چالش‌های مهندسی در تحلیل‌های غیرخطی سازه‌های بتن مسلح همراه با دیوار برشی، نحوه‌ی معرفی رفتار غیرخطی به دیوار برشی است. تاکنون پژوهشگران با روش‌های گوناگونی به تحلیل غیرخطی دیوار برشی پرداخته‌اند که در ادامه به برخی از آنها اشاره شده است. ساتچيوگلو و رضوی در سال ۱۹۹۷ [۳] در بررسی رابطه‌ی تنش و کرنش بتن محصور شده در دیوار برشی از یک رابطه‌ی تحلیلی شامل یک‌رشته سهمی‌وار نزولی استفاده کردند. مبنای این رابطه محاسبه‌ی فشار محدود جانبی بوده است. ایلی و رینوارد [۴] در سال ۲۰۰۰ ابتدا یک دیوار برشی را در آزمایشگاه تحت بار سیکلی یکنواخت قرار دادند و نتایج به‌دست‌آمده را با یک مدل نرم‌افزاری با تحلیل اجزای محدود تحت تعداد زیادی بار سیکلی مقایسه کردند. پالرمو و همکاران در سال ۲۰۰۲ [۵] در بررسی اثر سختی دیوارهای برشی فلنجی بر روی مقاومت و شکل‌پذیری سازه از یک مدل اجزای محدود برای تحلیل غیرخطی دیوار برشی استفاده کردند. فاجان و

در این تحقیق از دو روش ستون معادل و فایبر استفاده شده است. در روش ساده شده ستون معادل، ستون هم‌مقطع با دیوار برشی جایگزین دیوار شده است و مفاصل پلاستیک ستون به آن اختصاص یافته است. در این روش امکان معرفی المان‌های مرزی و بتن محصور شده به قسمتی از مقطع وجود ندارد و برای کل مقطع یک نوع رفتار تعریف شده است. در مدل به روش فایبر، دیوار برشی به لایه‌های مختلفی تقسیم شده و به هر لایه، مصالح با رفتار متناسب اختصاص داده شده است، در المان‌های مرزی ساختمان ۸ و ۱۰ طبقه از بتن با خواص غیرخطی محصور شده و در لایه‌ی دیگر دیوارهای برشی از بتن با خواص غیر محصور استفاده شده است. نکته‌ی اساسی در این روش معرفی درست رفتار غیرخطی به مصالح در لایه‌های مختلف دیوار است.

بتن به کار برده شده در تحقیق دارای مشخصات $EC = 21458/89$ مگاپاسکال، $f_c = 21$ مگاپاسکال و $WC = 23/5$ کیلو نیوتن بر متر مکعب می‌باشد و مشخصات میلگرد استفاده شده $ES = 199947/98$ مگاپاسکال و $f_y = 400$ مگاپاسکال است. مشخصات رفتار غیرخطی بتن و میلگرد در المان پوسته‌ای بر حسب بتن محصور شده و بتن غیر محصور با استفاده از تئوری مندر [۱۲] در شکل‌های (۳) و (۴) نشان داده شده است.

جدول (۱): مقاطع اجزای سازه‌ی ساختمان‌های تحت مطالعه بر حسب سانتی‌متر.

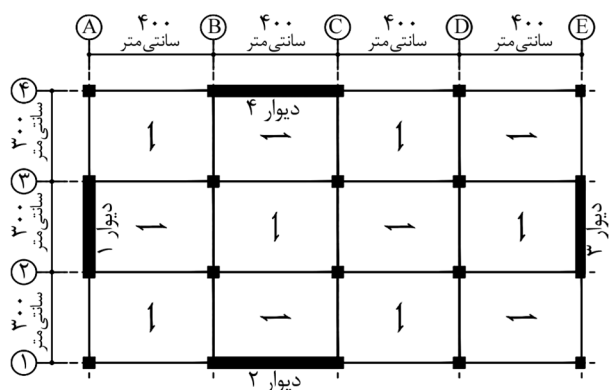
نوع ساختمان	مقاطع تیر	مقاطع ستون	ضخامت دیوار برشی
طبقه ۴	۳۵×۳۵	۳۵×۳۵	۳۵
طبقه ۸	۳۵×۳۵	۳۵×۳۵	۳۵
طبقه ۱۰	۳۵×۳۵	۳۵×۳۵	۳۵

رفتار غیرخطی مصالح بتن و فولاد ساخته می‌شوند و این امکان وجود دارد که رفتار دیوار برشی بر اساس رفتار غیرخطی مصالح بررسی شود. در این تحقیق با انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی و تحلیل دینامیکی غیرخطی رفتار سازه در دو روش مدل‌سازی مختلف مقایسه شده است.

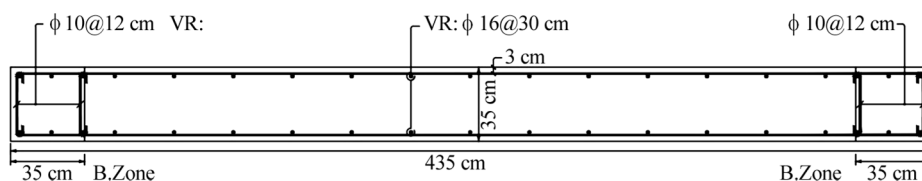
۲- روش مدل‌سازی و تحقیق

۲-۱- مدل‌های مورد بررسی و مشخصات مصالح

در این مطالعه سه ساختمان ۴، ۸ و ۱۰ طبقه با سیستم باربر جانبی دوگانه‌ی قاب خمشی و دیوار برشی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. همان‌گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است پلان ساختمان در هر سه ساختمان دارای ابعاد 9×16 با دو دیوار برشی در هر دو جهت است. مطابق شکل (۲) ضخامت دیوار برشی در هر سه ساختمان ۳۵ سانتی‌متر است و دیوارهای برشی در مدل ۸ طبقه، در ۴ طبقه‌ی اول و در مدل ۱۰ طبقه در پنج طبقه‌ی اول دارای المان مرزی به طول ۳۵ سانتی‌متر است. ابعاد مقاطع مختلف سه مدل در جدول (۱) و میلگردهای استفاده شده در هر مقطع در جدول (۲) نشان داده شده است. در مدل‌سازی دیوار برشی



شکل (۱): پلان ساختمان‌های مورد مطالعه.



شکل (۲): مقطع و حدود المان‌های مرزی دیوار برشی در چهار طبقه‌ی پایین ساختمان ۸ طبقه.

جدول (۲): سائز آرماتورهای استفاده شده در ساختمان‌های مورد بررسی.

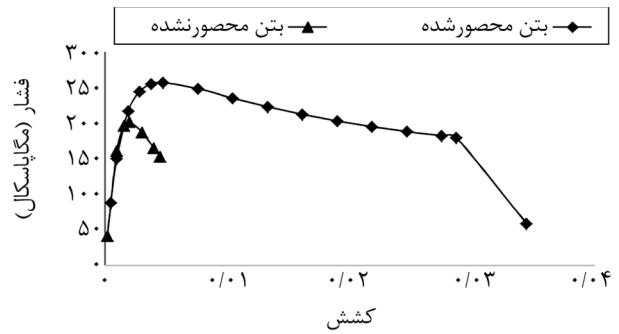
نوع ساختمان	تیر	طبقات	ستون	دیوار برشی
طبقه ۴	آرماتور بالا ۸ سانتی‌متر مربع و آرماتور پایین ۴ سانتی‌متر مربع	تمامی طبقات	۸Φ۱۴	Φ۱۲@۳۰ cm
طبقه ۸	آرماتور بالا ۸ سانتی‌متر مربع و آرماتور پایین ۴ سانتی‌متر مربع	چهار طبقه تحتانی	۸Φ۱۸	Φ۱۶@۳۰ cm
		چهار طبقه فوقانی	۸Φ۱۴	Φ۱۲@۳۰ cm
طبقه ۱۰	آرماتور بالا ۸ سانتی‌متر مربع و آرماتور پایین ۴ سانتی‌متر مربع	پنج طبقه تحتانی	۸Φ۱۸	Φ۱۶@۳۰ cm
		پنج طبقه فوقانی	۸Φ۱۴	Φ۱۲@۳۰ cm

سه و پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای نسبی زیاد به صورت استاتیکی معادل تحلیل شده‌اند. در این تحلیل با احتساب پیچش تصادفی ۵٪، ضریب زلزله در ساختمان ۴ طبقه ۰/۱۶۵ و در ساختمان ۸ و ۱۰ طبقه ۰/۱۹۶ به دست آمده است. حدود المان مرزی دیوارهای برشی بر اساس آیین‌نامه‌ی بتن ACI318-14 [۱۳] مشخص شده است. سپس بار دیگر ساختمان‌ها در نرم‌افزار SAP2000 مدل شده‌اند که دیوارهای برشی یک بار به روش ستون معادل و بار دیگر به روش فایبر در نظر گرفته شده‌اند و ساختمان‌ها بر اساس آیین‌نامه‌ی FEMA356 [۱۴] به صورت استاتیکی غیرخطی (بار افزون) و دینامیکی غیرخطی تحلیل شده‌اند. توزیع بار در تحلیل استاتیکی غیرخطی متناسب با موده‌های سازه است، شتاب‌نگاشت‌های تحلیل دینامیکی غیرخطی از نشریه FEMA P695 [۱۵] انتخاب و از سایت PEER [۱۶] استخراج شده‌اند که جزئیات آن در جدول (۳) نشان داده شده است. طیف‌های پاسخ شتاب‌نگاشت‌ها در شکل (۵) نشان داده شده است.

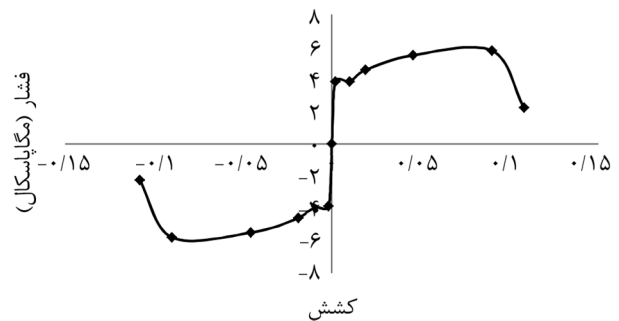
۳- مقایسه‌ی نمودارهای تحلیل‌های غیر خطی

۳-۱ مقایسه‌ی نمودار تحلیل استاتیکی غیر خطی (بار افزون)

با انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی و رسم نمودار بار افزون



شکل (۳): مشخصات رفتار غیرخطی بتن محصور شده و محصور نشده در المان‌های پوسته‌ای.



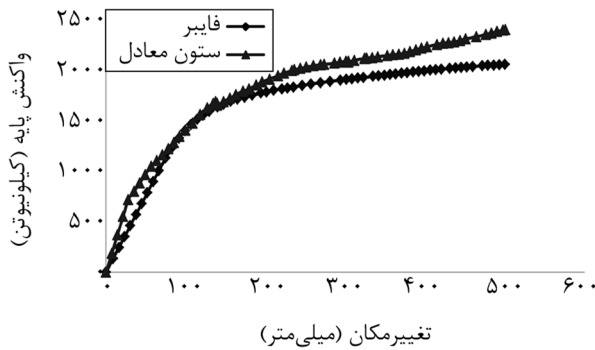
شکل (۴): مشخصات رفتار غیرخطی میلگرد در المان‌های پوسته‌ای.

۲-۲ بارگذاری و روش‌های تحلیل و طراحی

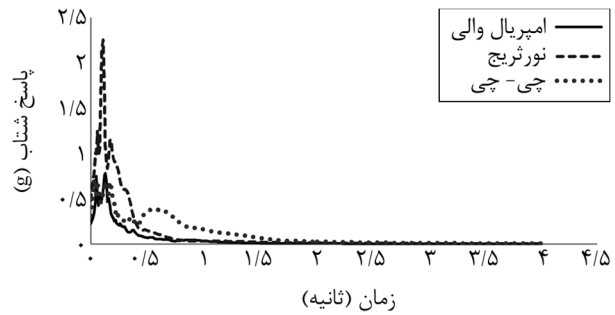
سازه‌های مورد بررسی ابتدا در نرم‌افزار ETABS با بار مرده ۵/۸۸۴ کیلونیوتن بر مترمربع (شامل وزن دال و بار مرده‌ی اضافی) و بار زنده ۱/۹۶ کیلونیوتن بر مترمربع به صورت گسترده در تمامی سقف‌ها مدل شده است و طبق آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ای ۲۸۰۰ [۱] با احتساب زمین نوع

جدول (۳): شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده از FEMA P695.

ردیف	نام زلزله	سال وقوع	بزرگی زلزله (ریشتر)	نوع گسل	شماره ضبط	نوع فاصله از مرکز
۱	نورث‌ریچ	۱۹۹۴	۶/۷	Thrust	۹۵۳	دور
۲	امپریال ولی	۱۹۷۹	۶/۵	Strike-slip	۱۶۹	دور
۳	چی-چی، تایوان	۱۹۹۹	۷/۶	Thrus	۱۲۴۴	دور



شکل (۸): نمودار تحلیل بار افزون ساختمان ۱۰ طبقه.



شکل (۵): طیف پاسخ شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده در این مطالعه.

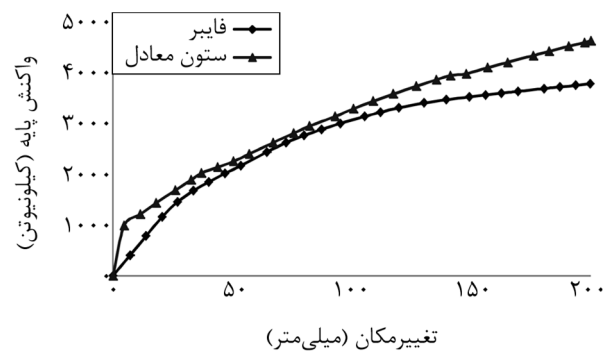
۳-۲- مقایسه‌ی سطوح عملکرد مفاصل پلاستیک در تحلیل استاتیکی غیرخطی (بار افزون)

از مقایسه‌ی سطوح عملکرد مفاصل پلاستیک در تحلیل استاتیکی غیرخطی در روش‌های ستون معادل و فایبر در مدل‌های ۴، ۸ و ۱۰ طبقه که در شکل‌های (۹) تا (۱۱) ارائه شده است، می‌توان دریافت مفاصل پلاستیک در محدوده‌ی دیوار برشی در روش ستون معادل عملکرد بالاتری در مقایسه با روش فایبر نشان می‌دهد و در فاصله‌های دورتر از دیوار برشی مفاصل پلاستیک با سطح عملکرد یکسانی در اعضا در دو روش تشکیل شده است. همچنین در ساختمان‌های ۸ و ۱۰ طبقه که در روش فایبر که دارای المان مرزی و بتن محصور شده هستند سطوح عملکرد مفاصل پلاستیک در محدوده‌ی دیوار برشی هم‌خوانی بیشتری با روش ستون معادل دارد.

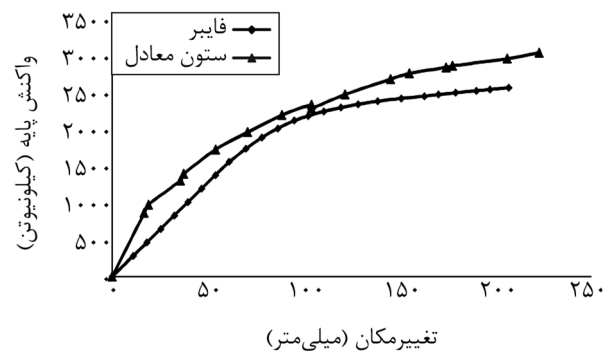
۳-۳- مقایسه‌ی جابه‌جایی نسبی طبقات در تحلیل دینامیکی غیرخطی

تحلیل دینامیکی غیرخطی برای مدل‌های ذکر شده انجام شد و با استفاده از پاسخ‌های دینامیکی تاریخچه زمانی نقاط مختلف هر سازه، حداکثر جابه‌جایی طبقات به دست آمده است. در شکل (۱۲) نمونه‌هایی از پاسخ‌های دینامیکی تاریخچه‌ی پاسخ ساختمان‌های ۱۰ طبقه نشان داده شده است. با استناد به شکل‌های (۱۳) تا (۱۵) حداکثر جابه‌جایی نسبی طبقات ساختمان‌های ۴، ۸ و ۱۰ طبقه به دست آمده از روش ستون معادل کمتر از روش فایبر است.

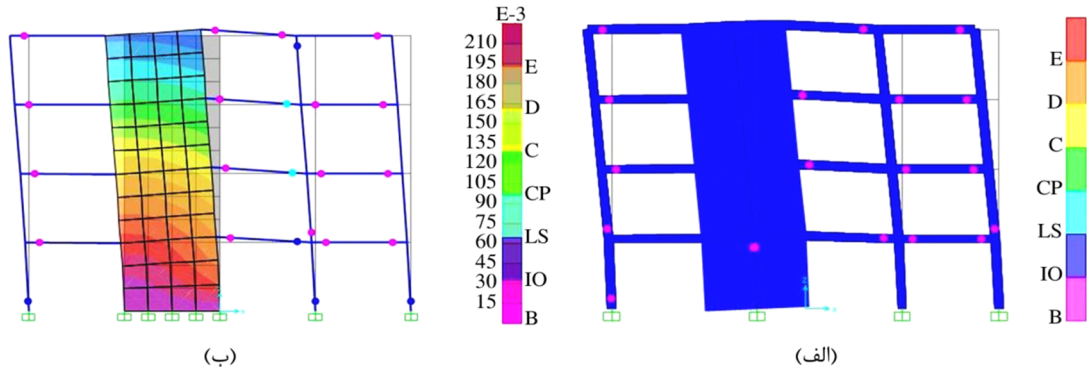
مشاهده شد در نمودار بار افزون مدل‌ها با دیوار برشی به روش ستون معادل هم در ساختمان ۴ طبقه و نیز در ساختمان‌های ۸ و ۱۰ طبقه مقادیر بیشتری در مقایسه با دیوار برشی به روش فایبر نشان می‌دهد. شکل‌های (۶) تا (۸) این نتایج را ارائه می‌دهند. همچنین نمودارهای ستون معادل از پیوستگی و نظم کمتری در مقایسه با نمونه‌های مدل فایبر برخوردار است. مقایسه‌ی نمودارها نشان می‌دهد که در ساختمان‌های ۸ و ۱۰ طبقه که در روش فایبر دارای المان مرزی با بتن محصور شده است، همگرایی بیشتری بین نمودارهای مدل ستون معادل و فایبر وجود دارد.



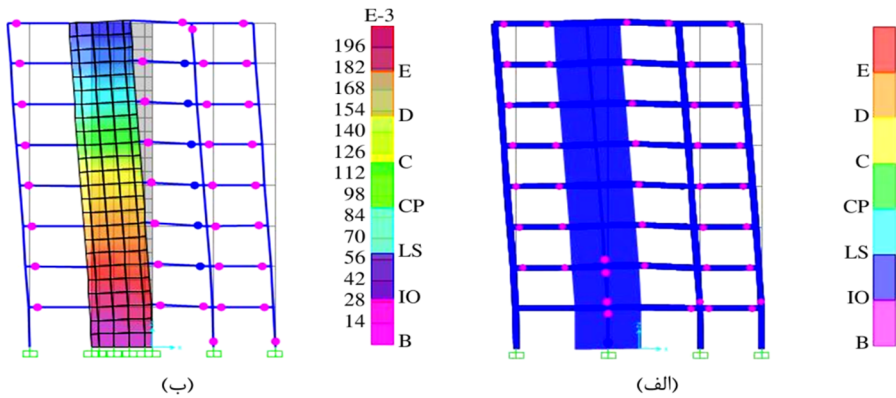
شکل (۶): نمودار تحلیل بار افزون ساختمان ۴ طبقه.



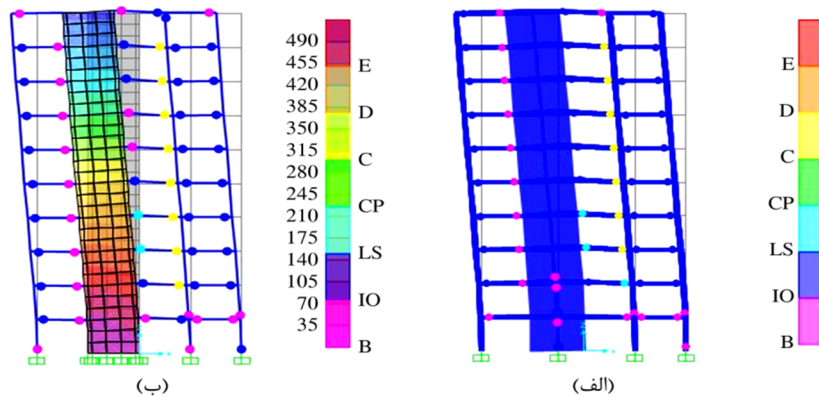
شکل (۷): نمودار تحلیل بار افزون ساختمان ۸ طبقه.



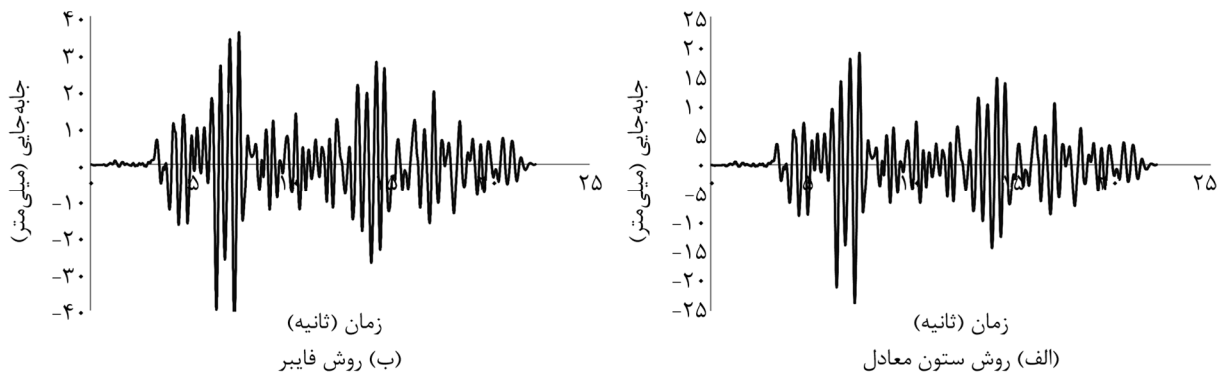
شکل (۹): (الف) سطوح عملکرد مفاصل پلاستیک ساختمان ۴ طبقه مدل ستون معادل (ب) سطوح عملکرد مفاصل پلاستیک ساختمان ۴ طبقه مدل فایبر.



شکل (۱۰): (الف) سطوح عملکرد مفاصل پلاستیک ساختمان ۸ طبقه مدل ستون معادل (ب) سطوح عملکرد مفاصل پلاستیک ساختمان ۸ طبقه مدل فایبر.



شکل (۱۱): (الف) سطوح عملکرد مفاصل پلاستیک ساختمان ۱۰ طبقه مدل ستون معادل (ب) سطوح عملکرد مفاصل پلاستیک ساختمان ۱۰ طبقه مدل فایبر.



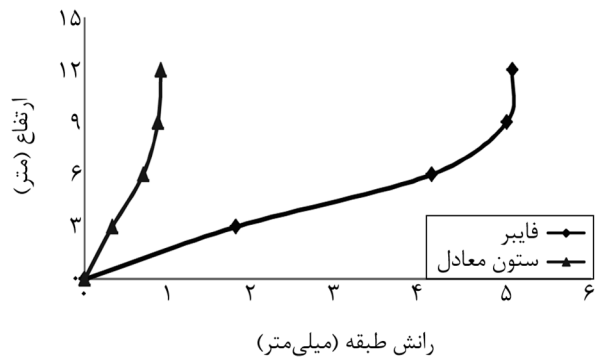
شکل (۱۲): پاسخ‌های دینامیکی تاریخچه زمانی سازه‌ی ۱۰ طبقه.

۴- نتیجه‌گیری

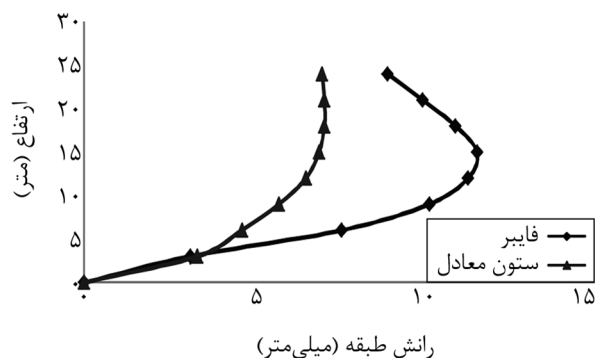
روش ستون معادل در تحلیل غیرخطی دیوار برشی در مقایسه با روش فایبر به دلیل سادگی و سرعت بالای تحلیل، از محبوبیت بیشتری در بین مهندسين برخوردار است. عدم امکان معرفی المان‌های مرزی و تفکیک بتن محصور و غیر محصور در روش ستون معادل، باعث بالا رفتن سطوح عملکرد مفاصل پلاستیک و نیز سطح زیر نمودار منحنی بار افزون می‌شود. این افزایش در دیوارهای برشی ساختمان‌های کوتاه که در روش فایبر فاقد المان‌های مرزی و بتن محصور شده هستند مشهودتر است. حداکثر جابه‌جایی نسبی سازه‌های مدل شده به روش ستون معادل در تحلیل دینامیکی غیرخطی، در حدود ۴۰ درصد در ساختمان‌های بلند و ۸۰ درصد در ساختمان‌های کوتاه کمتر از حداکثر جابه‌جایی نسبی به دست آمده از روش فایبر است. در این نوع تحلیل نیز وجود المان‌های مرزی و بتن محصور شده در دیوار برشی مدل فایبر باعث کاهش اختلاف پاسخ‌های دو روش می‌شود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت ایده‌های ساده‌سازی در روش ستون معادل، رفتار غیرخطی دیوار برشی را به دیواری دارای المان مرزی و بتن محصور شده نزدیک می‌کند که این ویژگی در خلاف جهت اطمینان است.

مراجع

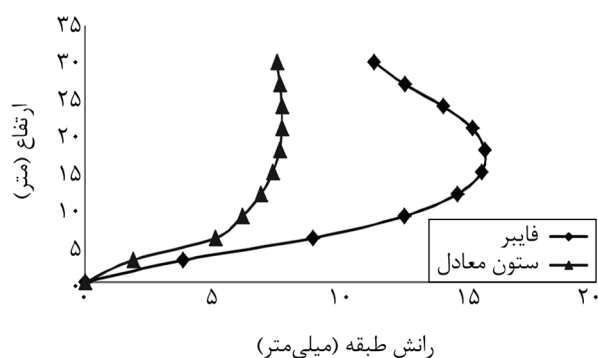
۱. آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (۱۳۹۲) استاندارد ۲۸۰۰. ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی.
2. Stafford Smith, B. and Cruvellier, M. (1990) Planar Modelling Techniques for Asymmetric Building Structures. *Proc. Inst. Civil Engineers Part 2*, **89**(1), 1-14.
3. Saatcioglu, M. and Razvi, S. (1997) *Strenght and Ductility of Finite Element Method with Explicit Analytical Proceture*.
4. Ile, N. and Reynouard, J.M. (2000) Nonlinear analysis of reinforced concrete shear wall under



شکل (۱۳): نمودار جابه‌جایی نسبی ساختمان ۴ طبقه در تحلیل تاریخچه پاسخ غیرخطی.



شکل (۱۴): نمودار جابه‌جایی نسبی ساختمان ۸ طبقه در تحلیل تاریخچه پاسخ غیرخطی.



شکل (۱۵): نمودار جابه‌جایی نسبی ساختمان ۱۰ طبقه در تحلیل تاریخچه پاسخ غیرخطی.

مقایسه‌ی نمودارها نشان می‌دهد که در ساختمان‌های ۸ و ۱۰ طبقه که در المان‌های مرزی روش فایبر از بتن محصور شده استفاده شده است، بیشترین اختلاف در حداکثر جابه‌جایی در حدود ۴۰ درصد و در ساختمان ۴ طبقه که در مدل فایبر فاقد المان مرزی و بتن محصور شده است در حدود ۸۰ درصد است.

15. FEMA P695 (2009) *Quantification of Building Seismic Performance Factors*. Federal Emergency Management Agency.
16. PEER Ground Motion Database, <http://ngawest2.berkeley>.
- earthquake loading. *Journal of Earthquake Engineering*, 4(2), 183-213.
5. Palermo, D., Vecchio, F.J., and Solanki, H. (2002) Behavior of three-dimensional reinforced concrete shear walls. *ACI Structural Journal*, 99(1), 81-89.
6. Fahjan, Y.M., Kubin, J., and Tan, M.T. (2010) Nonlinear Analysis Methods for Reinforced Concrete Buildings with Shear walls. *14th European Conference on Earthquake Engineering*, Ohrid.
7. Miao, Z., Ye, L., Guan, H., and Lu, X. (2011) Evaluation of modal and traditional pushover analyses in frame shear wall structures. *Advances in Structural Engineering*, 14(5), 815-836.
8. PEER Report 2015/12 (2015) *Shear-Flexure Interaction Modeling for Reinforced Concrete Structural Walls and Columns under Reversed Cyclic Loading*. Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), University of California, Berkeley.
9. PEER Report 2017/06 (2017) *Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings*. Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), University of California, Berkeley.
10. SAP2000 (2017) *Structural Analysis Program User Manual*. Copyright 2017 Computers and Structures, Inc.
11. User's Guide ETABS (2016) *Integrated Building Design Software*, Computers and Structures, Inc.
12. Mander, J.B., Priestley, M.J., and Park, R. (1988) Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Engineering*, 114(8), 1804-1826.
13. ACI 318-14 (2014) *Building Code Requirements for Structural Concrete*. American Concrete Institute (2014).
14. FEMA356 (2000) *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Federal Emergency Management Agency.