



بررسی رفتار لرزه ای ساختمانهای بتنی با دیوارهای برشی غیر پیوسته در ارتفاع

احمد شوشتری، مهدی صفوی

استادیار دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

کارشناس ارشد سازه دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

ashoosht@um.ac.ir
mehdi_safavi@Hotmail.com

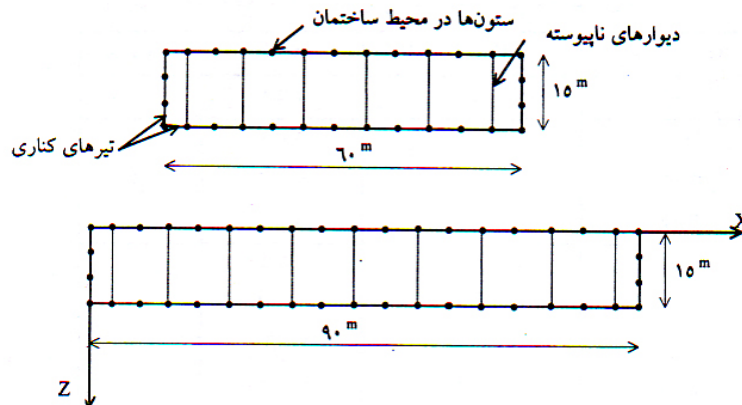
خلاصه

معمولاً در ساختمانهای بتنی برای کاهش تغییر مکان جانبی ناشی از زلزله، از دیوار برشی که به صورت پیوسته در ارتفاع قاب تعبیه شده است استفاده میشود. آنچه بیشتر از همه چیز لزوم به کارگیری قابهای بادباز برشی ناپیوسته را ایجاب می نماید، رفع محدودیت های معماری و برخی مشکلات سازه ای است. برای بررسی رفتار لرزه ای اینگونه قابهای بتنی، در این پژوهش ساختمانهای بتنی پنج و هشت طبقه براساس آیین نامه بتن ایران (آبا) طراحی و با چیدمان های مختلف دیوار برشی با روش تاریخچه زمانی غیر خطی تحت اثر دو زلزله ناغان ویم مورد تحلیل قرار گرفته اند. برای دستیابی به نتایج مقتمن از نرم افزار siesmostruct که با مدلسازی دقیق رفتار عضوهای قاب شامل تیر و ستون و دیوارهای برشی را منظور مینماید استفاده شده است. نتایج حاصل از این پژوهش بخوبی تفاوت لرزه ای قابهای بتنی با چیدمان متفاوت دیوار برشی و به صورت پیوسته و غیرپیوسته در ارتفاع را نمایش میدهد و اگر تمهیدات لازم، از جمله تقویت محل اتصال تیر و ستونهایی که دیوار برشی در آنجا قطع میشود عملی گردد، میتوان از دیوارهای برشی غیر پیوسته در ارتفاع سود جست. بدین ترتیب محدودیت های معماری ناشی از بکارگیری دیواره برشی پیوسته قابل رفع میباشد.

کلمات کلیدی: ساختمانهای بتنی، تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی، دیوار برشی غیر پیوسته، نرم افزار siesmostruct

۱. مقدمه

در روند طراحی های رایج مهندسی همواره دیوارهای برشی در یک دهانه از پایین تا بالاترین تراز در نظر گرفته شده و نیز اجرا میگردد. این پرسش در ذهن مهندسين وجود دارد که آیا میتوان از این قاعده رایج تخطی کرده و دیوارهای برشی را به صورت غیر پیوسته در ارتفاع طراحی و اجرا نمود گرچه آیین نامه ۲۸۰۰ [۱] نسبت به طرح و کاربرد ساختمانهای با دیوارهای برشی ناپیوسته هشدار داده و توصیه نموده که از این نوع سیستمهای لرزه بر استفاده نشود. در مورد استفاده از دیوارهای برشی غیر پیوسته در ایران تحقیقات زیادی صورت نگرفته است، شاید دلیل آن منع آیین نامه ۲۸۰۰ در استفاده از اینگونه دیوارها باشد. از جمله این تحقیقات می توان به پژوهش مستوفی نژاد [۲] اشاره کرد. در این تحقیق سه گونه ساختمان با تعداد طبقات ۵، ۱۵ و ۲۵ طبقه با ارتفاع طبقات ثابت ۳/۵ متر و فاصله ستون ها برابر ۵ متر با استفاده از نرم افزار ANSYS [۳] مورد تحلیل دینامیکی طیفی قرار گرفته اند. لازم به ذکر است در پژوهش انجام شده فقط رفتار خطی در نظر گرفته شده است. پلان این ساختمان ها در شکل ۱، ارائه شده است.



شکل ۱- پلان ساختمانهای مستطیلی شکل با دو نسبت طول به عرض متفاوت [۲]

۲. هدف

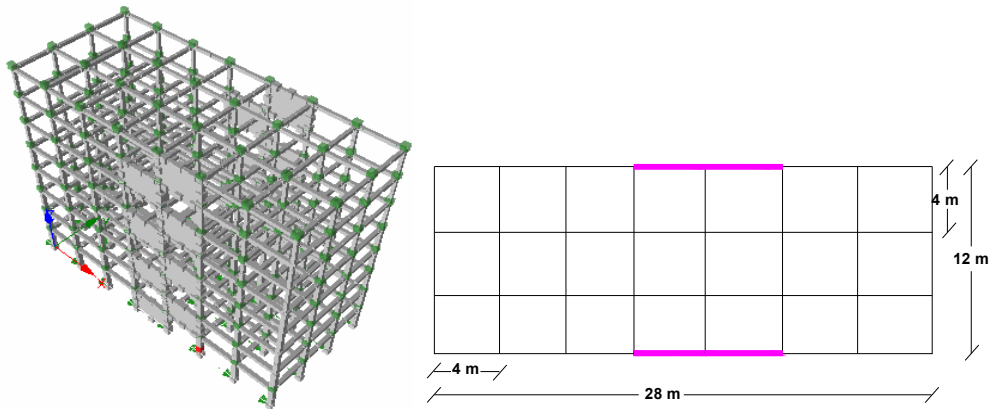
هدف از انجام این پژوهش بررسی رفتار لرزه ای ساختمانهای بتنی با دیوارهای بتنی ناپیوسته میباشد. در تحلیل های این پژوهش رفتار غیر خطی بتن مد نظر قرار گرفته و نتایج ناشی از تحلیل تاریخچه زمانی در مورد ساختمانهای مورد بررسی با یکدیگر مقایسه شده اند. نرم افزار Seismostruct [۴] برای تحلیل های تاریخچه زمانی مورد استفاده قرار گرفته است. برای راستی آزمایی این نرم افزار با انجام تحلیل های مختلف که نتایج تحلیلی و یا آزمایشگاهی آنها موجود است چندین مثال انجام شد [۵] و پس از حصول اطمینان از این نرم افزار در این پژوهش استفاده گردید.

۳. انتخاب ساختمان ها مورد بررسی

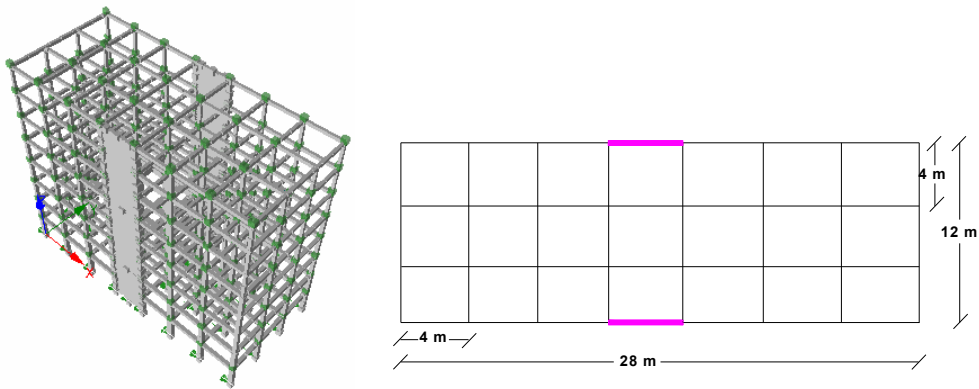
در این پژوهش دو گونه ساختمان بتنی پنج و هشت طبقه بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان [۶] طراحی شده اند. بارگذاری بارهای قائم بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان [۷] و بارگذاری ناشی از زلزله بر اساس آئین نامه ۲۸۰۰ [۱] میباشد. جزئیات کامل این دو گونه ساختمان در مرجع [۵] آمده است. در هریک از این دو نوع ساختمان چیدمانهای مختلفی برای دیوارهای برشی در نظر گرفته شده است. تمامی ساختمانها با چیدمانهای گوناگون بطور مجزا طراحی شده اند. در این مقاله نتایج تحلیل های تاریخچه زمانی سه نمونه از این ساختمانها (D-8,C-8,A-8) ارائه و مقایسه خواهد شد. لذا پلان ونمای سه بعدی این ساختمان ها در شکل های ۲ تا ۴ نشان داده میشود. همچنین ابعاد تیر و ستون ها و آرماتورهای مصرفی در آنها و در دیوار برشی در جدول ۱ برای ساختمان ۸ طبقه ارائه شده است. لازم به ذکر است که ضخامت دیوار برشی در همه گونه های طراحی شده برابر با ۳۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- ابعاد مقاطع انتخابی و آرماتورهای مصرفی برای تیرها و ستون ها و دیوار برشی برای ساختمان ۸ طبقه

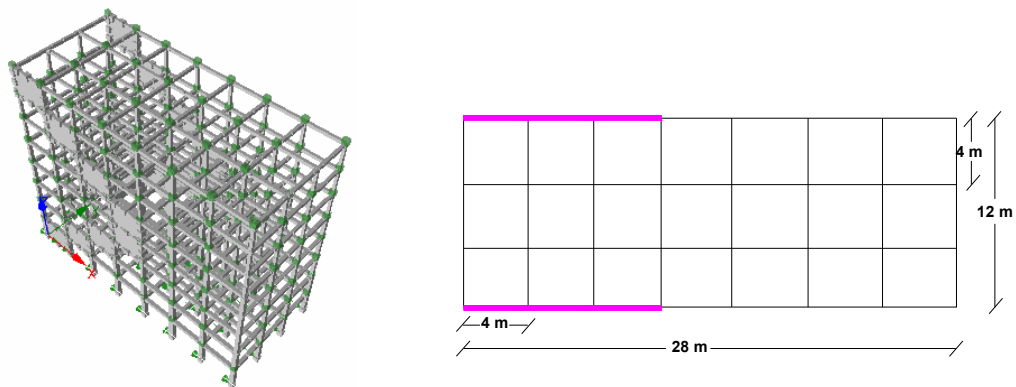
طبقات	ابعاد ستون (سانتیمتر)	ابعاد تیر (سانتیمتر)	آرماتور ستون	آرماتور تیر	آرماتور دیوار
۲-۱	۴۰×۴۰	۳۵×۴۰	۱۲Φ۱۸	۸Φ۱۸	Φ۲۰@۸cm (در بالا و پایین)
۵-۳	۳۰×۳۰	۳۰×۳۵	۸Φ۱۸	۸Φ۱۶	Φ۲۰@۸cm (در بالا و پایین)
۸-۶	۲۵×۲۵	۲۵×۳۰	۸Φ۱۶	۸Φ۱۶	Φ۲۰@۸cm (در بالا و پایین)



شکل ۲- پلان ونمای سه بعدی ساختمان ۸ طبقه با دیوار برشی چیدمان A-8

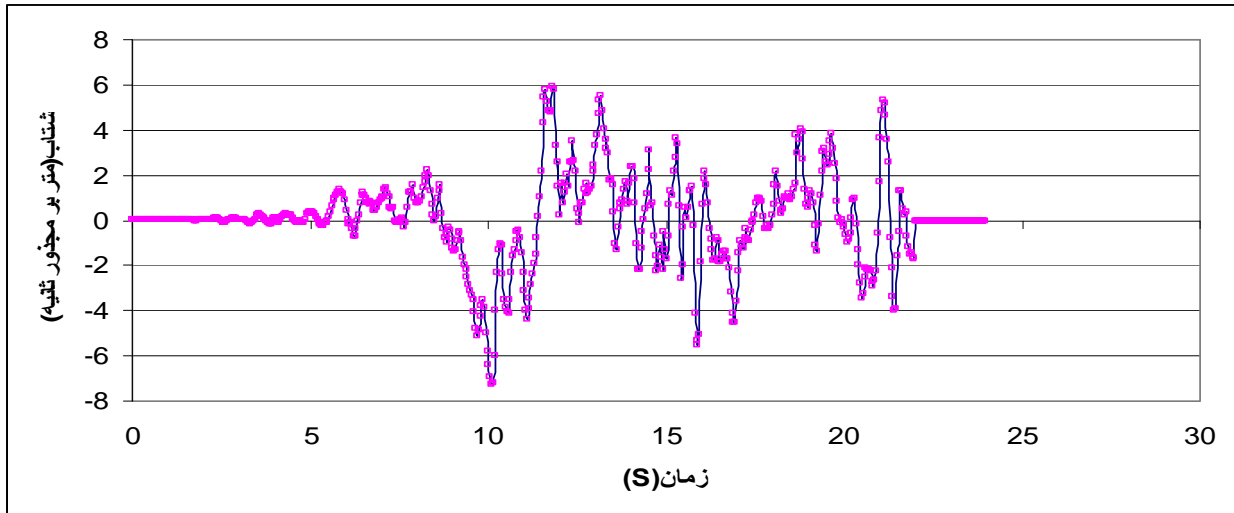


شکل ۳- پلان ونمای سه بعدی ساختمان ۸ طبقه با دیوار برشی چیدمان C-8



شکل ۴- پلان ونمای سه بعدی ساختمان ۸ طبقه با دیوار برشی چیدمان D-8

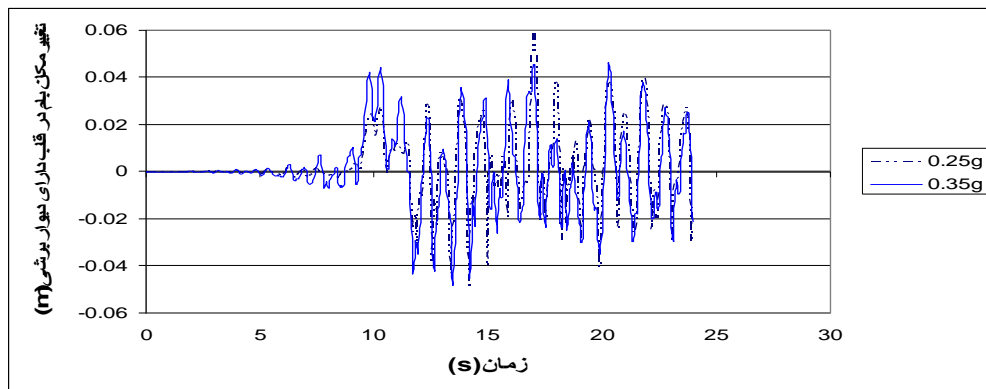
در این پژوهش از شتابنگاشت ناغان و بم استفاده شد و برای بررسی اثر شدت زلزله، حداکثر شتاب زمین (PGA) به صورت درصدی از شتاب گرانشی زمین (g) مقیاس گردید. در شکل ۵ شتابنگاشت زلزله بم به نمایش در آمده است. لازم به توضیح است که طول زمان ثبت شده برای این زلزله حدود ۹۰ ثانیه است ولی با توجه به اینکه از ثانیه ۲۲ به بعد به شتاب زمین بسیار کاهش می یابد در تحلیلها فقط ۲۲ ثانیه اول زلزله در نظر گرفته شده است. همچنین ۲ ثانیه نیز با شتاب صفر منظور شده است تا ارتعاش آزاد پس از وقوع زلزله را شبیه سازی نماید.



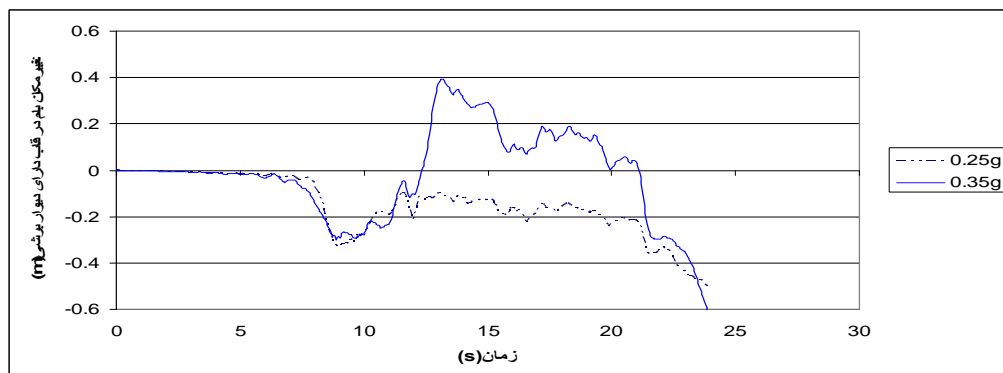
شکل ۵- نمودار شتاب تکاشت بزم

۴. نتایج تحلیل های تاریخچه زمانی

در این بخش به قسمتی از نتایج تحلیلهای تاریخچه زمانی غیر خطی برای ساختمانهای اشاره شده در بخش قبل اشاره میشود. در شکل های ۶ و ۷ نمودار تغییر مکان بام برحسب زمان برای هردو ساختمان A-8, B-8 برای حداکثر شتاب زمین برابر با ۲۵٪ و ۳۵٪ شتاب گرانشی زمین به نمایش درآمده است.



شکل ۶- تغییر مکان بام ساختمان B-8 تحت اثر زلزله بزم

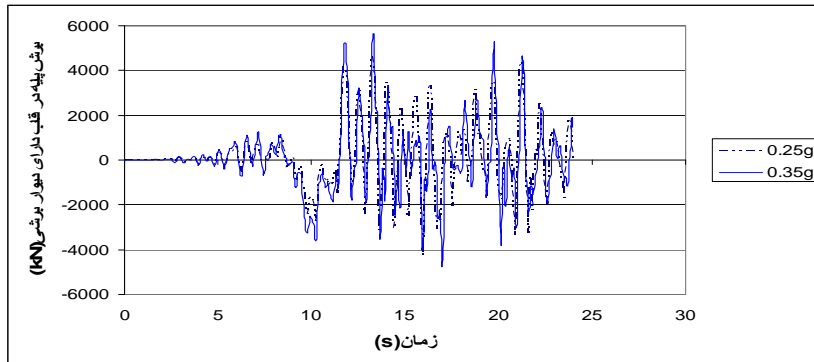


شکل ۷- تغییر مکان بام ساختمان A-8 تحت اثر زلزله بزم

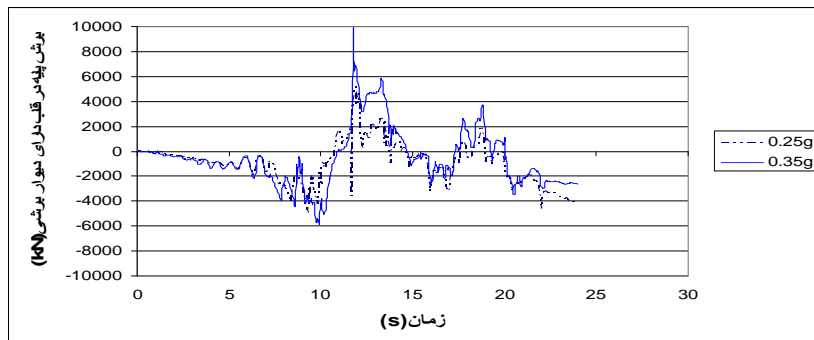


همانطور که در شکل ۷ مشاهده میشود پس از پایان ارتعاش زمین، در ساختمان A-8 تغییر شکل دائمی بوجود آمده است و تغییر مکان بام برابر با صفر نشده است. در حالی که تغییر مکان بام ساختمان B-8 پس از وقوع زلزله به سمت صفر میل می کند که نشان از رفتار ساختمان در محدوده خطی می باشد.

در شکل های ۸ و ۹ نیز نمودار تغییرات برش پایه در قاب دارای دیوار برشی بر حسب زمان رسم شده است.



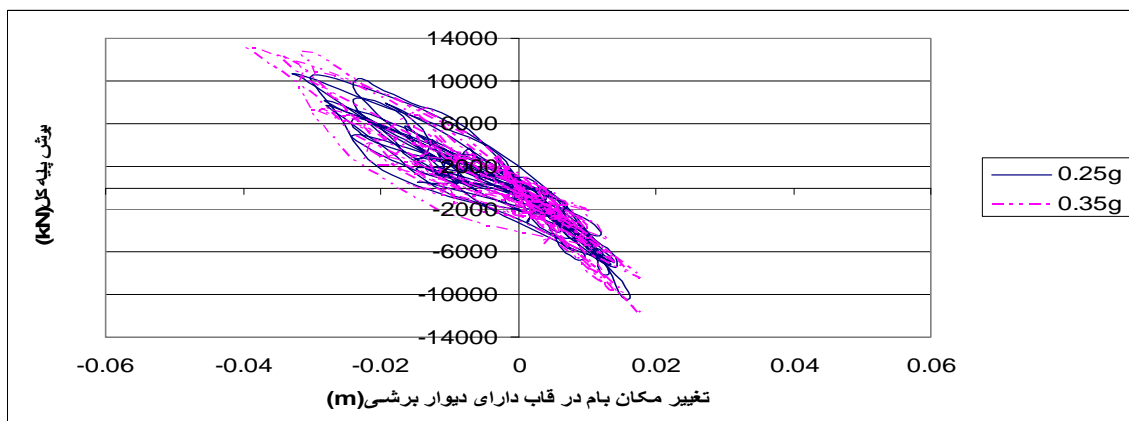
شکل ۸- تغییرات برش پایه در قاب دارای دیوار برشی بر حسب زمان ناشی از زلزله بم در ساختمان B-8



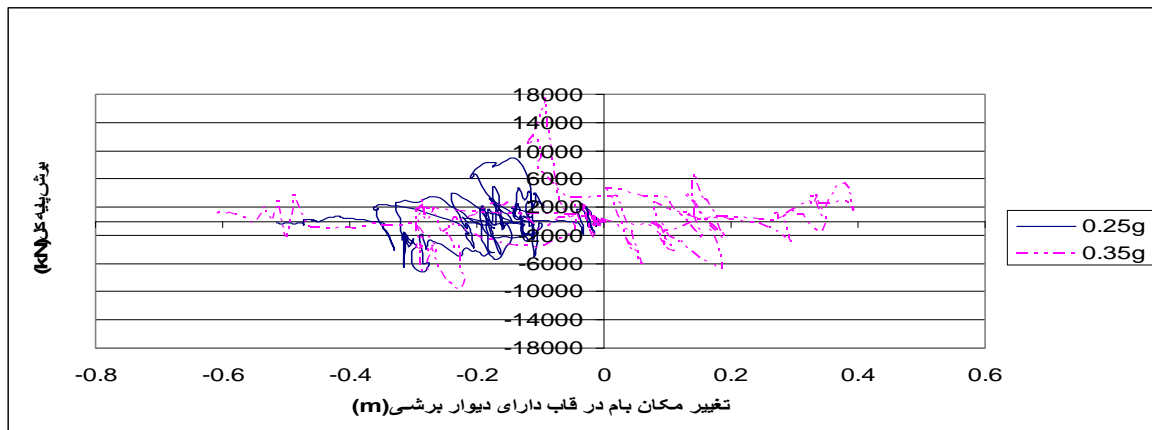
شکل ۹- تغییرات برش پایه در قاب دارای دیوار برشی بر حسب زمان ناشی از زلزله بم در ساختمان A-8

همانطور که از دو شکل ۸ و ۹ پیداست در زمان ارتعاش آزاد برش پایه در قاب دارای دیوار برشی در ساختمان B-8 به سمت صفر میل می کند، در حالی که در ساختمان A-8 پس از زمان ارتعاش آزاد و مثلاً برای PGA، مقدار برش پایه در قاب دارای دیوار برشی 6000KN، می باشد، که تاییدی بر خیر خطی شدن رفتار ساختمان A-8 می باشد.

برای بررسی دقیق تر رفتار لرزه ای ساختمان ها از نمودار هیستریسیس آنها استفاده شده است. شکل های ۱۰ و ۱۱ نمودار تغییر مکان بام در قاب دارای دیوار برشی را بر حسب برش پایه کل ساختمان نشان می دهد:



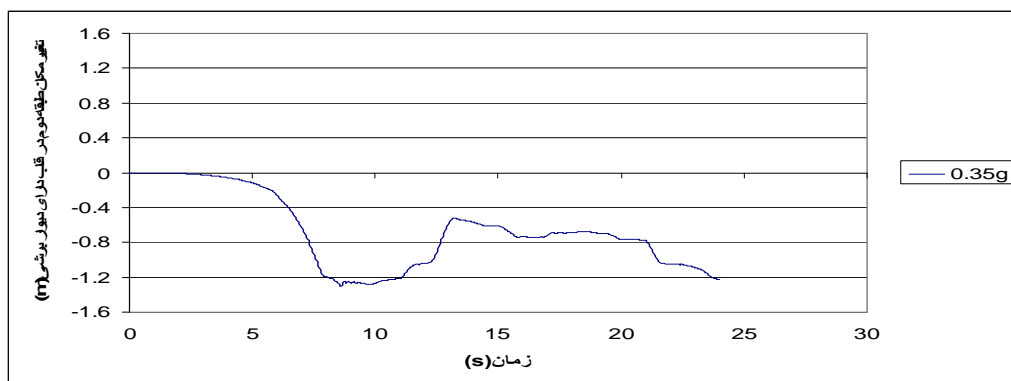
شکل ۱۰- تغییر مکان بام در قاب با دیوار برشی بر حسب برش پایه کل در ساختمان B-8



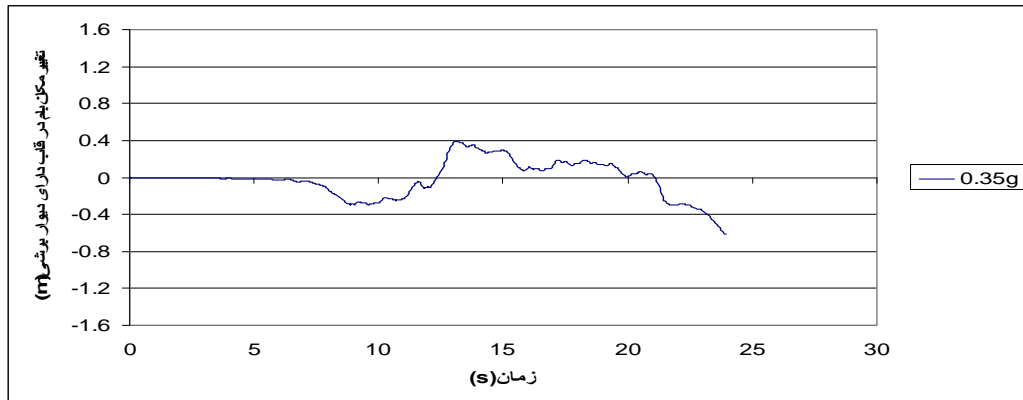
شکل ۱۱- تغییر مکان بام در قاب دیوار برشی بر حسب برش پایه کل در ساختمان A-8

با توجه به شکل های فوق ساختمان B-8 نودار هیسترسیس بسته ای دارد در حالی که ساختمان A-8 نمودار هیسترسیس پراکنده و نامنظمی دارد، که می تواند مجددا تاییدی بر رفتار غیر خطی این ساختمان باشد.

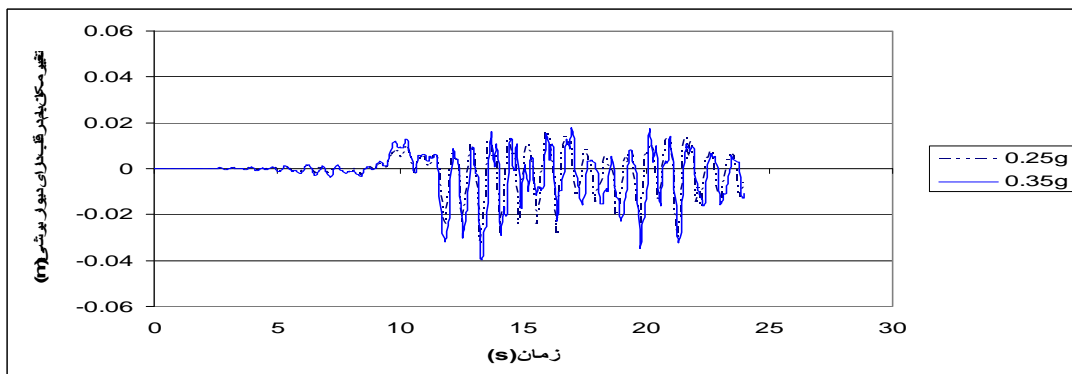
با وجود اینکه در طراحی اولیه سازه ها، برای تیر ها و ستون های اطراف دیوارهای برشی مقاطعی با آرما توره های بیشتر در نظر گرفته شد ولی در سازه هایی که وارد محدوده غیر خطی شده اند مفاصل پلاستیک در المان های ستونی اطراف دیوار ها تشکیل شده است. برای مثال در مدل B-8 و با مقاطعی که در بالا ذکر شد و همانطور که از نمودارهای فوق مشخص است وارد محدوده غیر خطی نشده اند، لذا این بار با کاهش سطح مقطع به میزان ۱۰ سانتیمتر در هر بعد و با ثابت نگه داشتن دیگر شرایط مجددا مورد تحلیل قرار گرفتند. پس از تحلیل مشخص شد که در ساختمان B-8، ۵۴ المان ستونی در چهار طبقه اول و در اطراف دیوارهای برشی و تقریباً بصورت متقارن، مفاصل پلاستیک تشکیل شده است. سایر مفاصل پلاستیک در مدل B-8 در المان های ستونی در قاب های دارای دیوار و در دو ستون کناری دیوار برشی و همچنین در تیرهای مابین دو دیوار و در جهت عمود بر آنها تشکیل شده است. کرنش بتن در مفاصل پلاستیک شکل گرفته در تمامی سازه ها از ۰,۰۰۴ فراتر نرفته و به حد گسیختگی (پکیدن) بتن نمی رسد. بنابراین با اطمینان نسبی می توان گفت که سازه های فوق اگر چه به حد تشکیل مفاصل پلاستیک رسیده اند، ولی هنوز در محدوده بهره برداری قرار دارند. نکته مهم و قابل ذکر دیگر که در تحلیل های فوق مشخص شد تغییر مکان این سازه ها در طبقات دوم و سوم (به علت تشکیل مفاصل پلاستیک در این ترازها) حتی بیشتر از تراز بام می باشد. راهکار مناسب برای کنترل رفتار سازه و کاهش تغییر مکان های طبقات پایین، تقویت ستون های در محل این طبقات می باشد. در نمودارهای زیر تغییر مکان تراز بام و طبقه دوم از سازه A-8 تحت زلزله بم با $PGA = 0.35g$ آمده است: (سازه A-8 یکبار و بدون کاهش سطح مقطع مورد تحلیل قرار گرفته است).



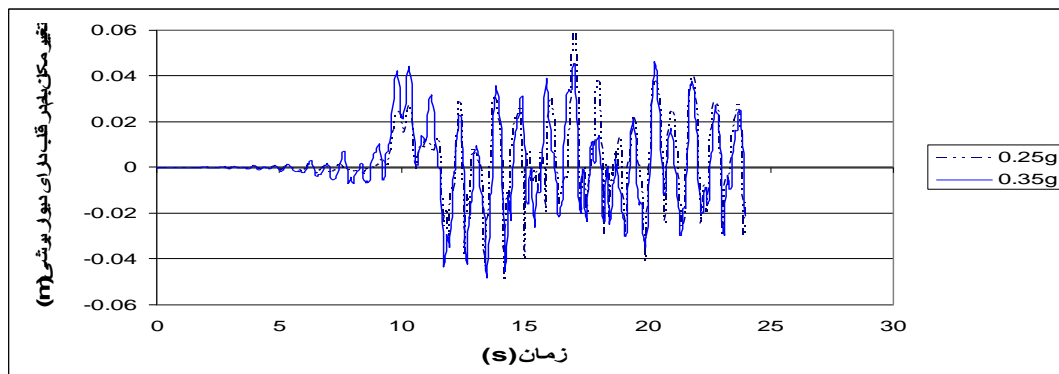
شکل ۱۲- تغییر مکان طبقه دوم ساختمان A-8 تحت اثر زلزله بم



شکل ۱۳- تغییر مکان بام ساختمان A-8 تحت اثر زلزله بم



شکل ۱۴- تغییر مکان طبقه دوم ساختمان B-8 تحت اثر زلزله بم



شکل ۱۵- تغییر مکان بام ساختمان B-8 تحت اثر زلزله بم

تغییر مکان بام در طبقه دوم از سازه A-8، در پایان زمان زلزله بم (ثانیه ۲۳،۹۸) حدود ۱،۳ متر می باشد در حالی که در همین زمان و در طبقه بام حدود ۶۰cm می باشد. همچنین با توجه به شکل های ۱۴ و ۱۵ متوجه می شویم که در محدوده خطی تغییر مکان بام ساختمان از تغییر مکان طبقه دوم ساختمان بیشتر می باشد. الگوی تشکیل مفاصل پلاستیک ساختمان A-8 در شکل ۱۶ آمده است.

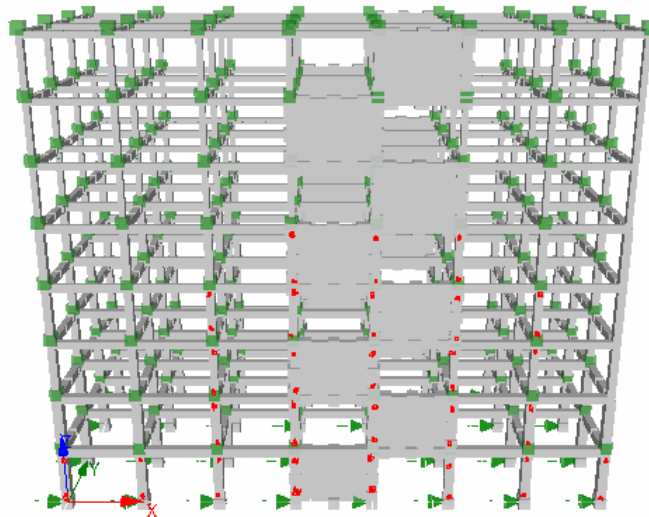
۵. نتیجه گیری

می توان خلاصه نتایج حاصل از تحلیل های این پژوهش را بصورت زیر طبقه بندی کرد:

- ۱- در آرایش که المان های دیوار بصورت پیوسته نمی باشد نسبت به حالت پیوسته تغییر مکان را دو برابر نشان می دهد همچنین تغییر آرایش در حالت غیر پیوسته تغییری در رفتار لرزه ای را نشان می دهد.



- ۲- مقایسه بین A-8 و B-8 که هر دو دارای دیوار در قاب خارجی و در دهانه وسط می باشند صرفاً با جابجایی دیوار برشی در دو طبقه دوم و چهارم تغییر مکان تفاوت عمده ای داشته است و در ضمن افزایش حدود دو برابر، رفتار لرزه ای سازه نیز تغییر کرده است.
- ۳- با توجه به نتیجه ارائه شده در بند ۱ و مقایسه رفتار لرزه ای ساختمان های A-8 و B-8 مشخص می شود که با افزایش ارتفاع تفاوت بین این دو ساختمان افزایش بیشتر می باید و حتی در ساختمان A-8 تحت زلزله ناغان و بم رفتار غیر خطی می گردد و پس از پایان زلزله نیز تغییر مکان دائمی در قاب ها باقی می ماند.



شکل ۱۶- مفاصل پلاستیک تشکیل شده در سازه A-8 در قاب دارای دیوار برشی تحت زلزله بم

- ۴- در مقایسه بین برش های پایه نیز مشاهده می شود که چیدمان دیوار برشی اثر قابل ملاحظه ای بر میزان برش مادامیکه رفتار سازه در ناحیه غیر خطی پیشرفت زیادی نداشته است، ندارد. در حالیکه در ساختمان A-8 و تحت زلزله بم افزایش برش چشمگیر است.
- ۵- یافتن پاسخ های لرزه ای دقیق سازه ها نیازمند ملاحظات صریحی در رفتار غیر خطی آنها می باشد، از آنجایی که روش تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی بعنوان دقیق ترین روش در ارائه پاسخ های دقیق استفاده می شده است ولی بکار گیری این روش همواره با مشکلاتی همراه بوده است که باعث شده اند علی رغم دقت بالای آن، تنها در گستره مطالعات پژوهشی از آن استفاده شود. در راستای همین امر مهندسین در کارهای رایج همواره بدنبال روش های ساده تری بوده اند که بتواند جوابهای قابل قبولی را ارائه دهد. همانگونه که بحث شد زمان بسیار زیاد تحلیل ها و همچنین حجم فوق العاده زیاد را می توان از جمله مشکلات مر بوطه نام برد.
- ۶- صلب کردن سقف ها تاثیر بسزایی در کاهش پرورد سازه و تغییر مکان ها و تلاش های داخلی اعضا دارد. در تحقیق حاضر این فرض در نظر گرفته نشده است. علت این امر نیز نداشتن المان صفحه ای با خصوصیات Slab، در نرم افزار Seismostruct می باشد.
- ۷- استفاده از دیوار های برشی غیر پیوسته برای سازه هایی با نسبت طول به عرض بزرگتر از ۲ توصیه می شود.

۶. مراجع

- [۱] آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش دوم، ۱۳۷۸.
- [۲] مستوفی نژاد، داوود، داود نبی، مهدی، "آنالیز ساختمان های بتنی با دیوار های برشی ناپیوسته"، اولین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه ۱۳۸۰، ۱۹۰-۱۸۱.

[3] ANSYS 5.4 Software, ANSYS Element Reference, SAS IP, Inc., 1997;9: 469-477.

[4] Seismostruct Software, Version 4.3.5.

[۵] صفوی، مهدی، "بررسی رفتار لرزه ای دیوارهای برشی غیر پیوسته در ارتفاع"، دانشگاه فردوسی مشهد ۱۳۸۷، ۴۶-۳۳.

[۶] وزارت مسکن و شهرسازی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمانی، ۱۳۸۴، مبحث نهم.

[۷] وزارت مسکن و شهرسازی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمانی، ۱۳۸۴، مبحث ششم.