Archive of SID

بررسی رفتار لرزه‌ای ستون‌های کوتاه بتن آرمه ناشی از احداث سازه برروی سطح شیبدار

علی‌خیرالدین[۱،*]، علی‌کارگران[۲]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: تیر ۱۳۸۸

پذیرش مقاله: آذر ۱۳۸۸

واژگان کلیدی:

ستون کوتاه

بتن آرمه

سطح شیبدار

مقاومت برشی

زلزله

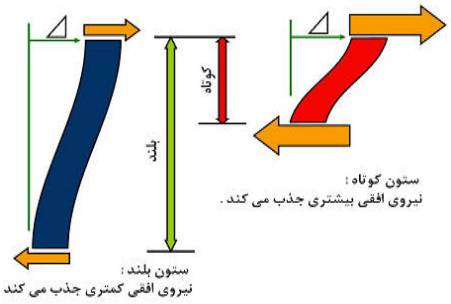
تحلیل استاتیکی خطی و غیرخطی

چکیده

وجود ستون کوتاه یکی ازعوامل موثر در خرابی ساختمان‌ها در زلزله‌های گذشته می‌باشد. این پدیده مخرب به دلیل اختلاف طول ستون در یک طبقه مشخص رخ می‌دهد که عمدتاً به دلیل قرار گرفتن ساختمان روی زمین شیبدار یا محدود شدن ستون و دیوار با عناصر غیر سازه‌ای نظیر دیوارهای آجری و بازشوها، وجود اختلاف تراز طبقه در سازه‌های دوبلکسی و ... می‌باشد. ستون‌های کوتاه در مقایسه با ستون‌های لاغر بدلیل سختی بیشتر، نیروی زلزله بیشتری جذب می‌کنند. در این مقاله با استفاده از آنالیز استاتیکی خطی و غیرخطی (Push Over) نتایج حاصل از احداث سازه برروی سطوح افقی و شیبدار مورد مطالعه قرارگرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در سازه شیبدار به دلیل وجود پدیده ستون کوتاه، درصد جذب نیروی زلزله افزایش یافته و ستون‌ها نیاز به مقاطع پرفولادتر دارند و نیز وجود این پدیده درطبقه باعث افزایش سختی و کاهش تغییرمکان نسبی سازه می‌گردد.

۱- مقدمه

ستون کوتاه در مقایسه با ستون بلند دارای سختی و قابلیت جذب انرژی زلزله بیشتری است. مطابق شکل ۱ از آنجائی که سختی ستون با عکس توان سوم ارتفاع آن ارتباط دارد، اگر ارتفاع ستون نصف شود، سختی و جذب نیروی زلزله در آن ۸ برابر می‌گردد [۱].



شکل ۱- مقایسه ستون کوتاه و بلند [۱]

چنانچه یک ستون کوتاه به طور مناسب برای چنین نیروی بزرگی طرح نشود، خسارات فراوانی در طول زلزله به آن وارد خواهد شد. خسارات ایجاد شده در این ستون‌ها غالباً به شکل ترک‌های ضربدری هستند که این نوع خرابی ناشی از شکست برشی می‌باشد. چنانچه نسبت دهانه برشی به عمق مقطع ($\frac{L}{d}$) کوچکتر شده و به سمت یک میل کند، انهدام برشی ستون رخ خواهد داد. ستون‌های کوتاه با نسبت کم دهانه برش به عمق ستون، هنگامی که تحت بارهای سیکلی و دوره‌ای قرار می‌گیرند تمایل به رفتاری ترد و شکننده دارند. هنگامی که نسبت برش ($\propto_S$) کمتر از ۲/۵ شود یعنی $\alpha_s = \frac{m}{v.d} = \frac{1}{2d} < 2.5$ به ستون، ستون کوتاه اطلاق می‌گردد.

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: kheyroddin@semnan.ac.ir

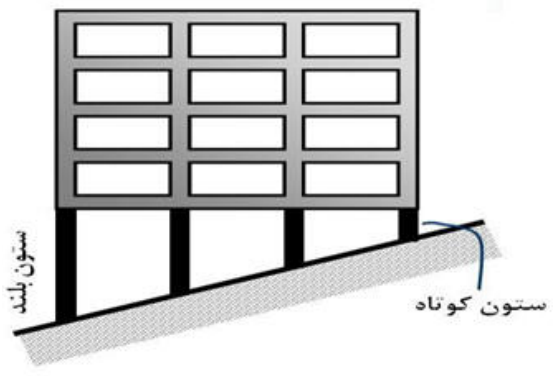
۱. استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

www.SID.ir

Archive of SID

۲-ستون کوتاه ناشی از احداث سازه روی زمین شیبدار

ملاحظات معماری منشاء بسیاری از تغییرات در ارتفاع ستون‌ها است که احداث ساختمان بر روی سطوح شیبدار مانند دامنه کوه از آن جمله است که عامل ایجاد نامنظمی در ارتفاع می‌باشد و حاصل این کار ایجاد پدیده مخرب ستون کوتاه در طبقه زیرین سازه است (شکل ۲). در طول زلزله تمامی ستون‌ها به همراه دیافراگم سقف در یک تراز معین دارای تغییر مکان افقی یکسانی هستند که این عمل، دیافراگم کف صلب نام دارد. حال اگر ستون‌های واقع در یک تراز طبقه دارای ارتفاع های مختلف باشند، در طی زلزله، ستون‌های کوتاهتر زلزله بیشتری را جذب کرده و دچار خسارات بیشتری نسبت به ستون‌های بلند می‌گردند و از طرفی ایده ستون قوی، تیر ضعیف برآورده نشده و سازه دچار انهدام می گردد. از این رو ضروری است تا از احداث سازه بر روی زمین‌های شیبدار و به خصوص در مناطق با لرزه خیزی بالا اجتناب گردد و نیز شالوده سازه حتی المقدور برروی یک سطح افقی ساخته شود و در صورت احداث سازه برروی سطح شیبدار برای مقابله با پدیده مخرب ستون کوتاه باید تدابیر ویژه اتخاذگردد.



شکل ۲-ستون کوتاه ناشی از احداث سازه بر روی سطح شیب دار[۱]

۳-تحقیقات گذشته و روش های متداول تقویت ستون‌های کوتاه بتن مسلح

در زمینه ستون‌های کوتاه تحقیقات تئوری و آزمایشگاهی گسترده‌ای صورت گرفته است برخی از این تحقیقات عبارتند از:

در تحقیقی که توسط خیرالدین و میرنظامی انجام شده با آنالیز سه سازه فلزی ۵، ۱۰ و ۱۵طبقه، پارامترهای لرزه‌ای مانند پریود، تغییرمکان و برش پایه ونیز چندین روش پیشنهادی برای بارگذاری استاتیکی معادل در سازه‌های دوبلکسی دارای ستون کوتاه مورد مطالعه و بررسی قرارگرفته است[۲].

در یک تحقیق آزمایشگاهی، Galal و Ghobarah به بررسی افزایش عملکرد ستون کوتاه بتن مسلح باکم و زیاد نمودن میزان فولاد عرضی و بهسازی آن باالیاف پلیمری FRP پرداخته‌اند. در این تحقیق، ۷ نمونه ستون کوتاه بتن‌آرمه تحت بارگذاری سیکلی و محوری ثابت با شرایط کاملا یکسان تحت آزمایش قرارداده شده که تنها تفاوت آنها در میزان و نحوه محصورشدگی و اتصال ورقه های الیاف و تعداد لایه های آن می‌باشد [۳].

درتحقیق آزمایشگاهی دیگری که توسط Marina و همکاران انجام پذیرفت، با اندازه گیری کرنش مصالح فولاد و بتن، عملکرد ۸ نمونه ستون کوتاه بتن آرمه تحت بارهای سیکلی مورد بررسی قرارگرفته است و یک مدل خرپائی کلی برای شبیه سازی ستون‌های کوتاه درگسیختگی پیشنهادشده است [۴].

هدف از مقاوم سازی، افزایش و تامین مقاومت برشی ستون‌های کوتاه می باشد که به سه روش زیر صورت می گیرد: الف- استفاده از مواد کامپوزیت الیافی (FRP) که در سالهای اخیر استفاده از این مواد در تقویت و بهسازی سازه‌های بتن آرمه رواج یافته است.

ب- استفاده از ورق فولادی (ورق پوش فولادی)، که با چسباندن و اتصال ورق فولادی به سطوح بتنی ستون

www.SID.ir

Archive of SID

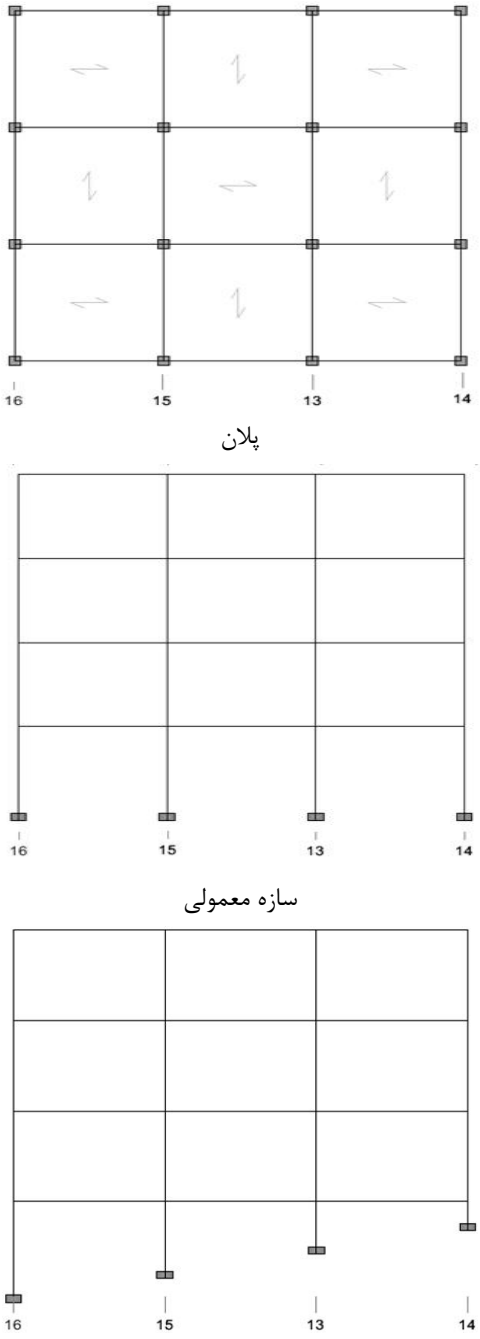
ضمن اینکه از ستون بتنی در برابر آتش سوزی محافظت کرده، باعث تقویت برشی و خمشی عضو می‌گردد.

ج- استفاده از لایه پوشش بتن یا ملات مسطح (زره پوش بتنی)، که یکی از روش‌های رایج و قدیمی جهت بهسازی اعضای بتنی به شمار می رود که ارزان بودن مصالح در این روش و نیاز کمتر به مراقبت‌های بعدی از مزایای آن است.

شکل پذیری و قابلیت جذب انرژی ، تسلیم و خرابی تیرها قبل از ستون‌ها،شکست خمشی قبل از شکست برشی و طراحی قویتر اتصالات نسبت به اعضای اتصال دهنده خود ازجمله ملاحظات طراحی برای سازه‌های دارای ستون کوتاه می‌باشند [۵].

۴-مدلسازی و روش تحقیق

در این تحقیق دو ساختمان چهار طبقه بتن آرمه با سیستم مقاوم قاب خمشی با شکل پذیری متوسط که یکی بر روی سطح افقی و مسطح و دیگری بر روی سطح شیبدار که زمین آن دارای شیب ۲۰ درجه می‌باشد مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند (شکل ۳). پلان سازه‌ها کاملاً متقارن و شبیه هم و هر دو دارای سقف تیر چه بلوک با کاربری مسکونی و زمین نوع ۲ در منطقه‌ای با خطر نسبی بالای زلزله و دارای شرایطی مشابه از نظر بارگذاری [۶] و [۷] و مشخصات مصالح هستند. مدلسازی و تحلیل و طراحی استاتیکی خطی با کمک نرم افزار ETABS2000 و تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه‌ها با نرم افزارSAP2000 انجام شده است. مشخصات مفصل خمیری بکار رفته برای تیرها ازنوع مفصلM3 و برای ستون‌ها ازنوع مفصل خمشی- محوریPM2M3 می باشد [۸]. ابعاد ستون‌ها در دو طبقه اول 40×40 و دو طبقه دوم 35×35 و ابعاد تیرها در دو طبقه اول35×40 و در دو طبقه دوم 30×35 می‌باشند.



شکل۳- پلان و برش سازه ها

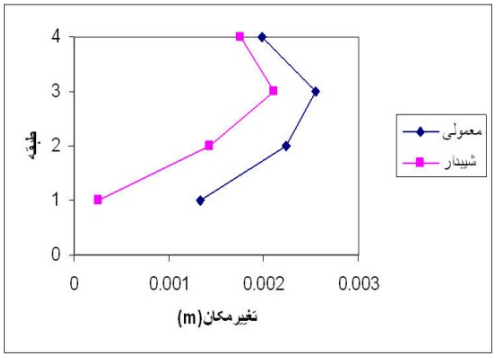
۵-بررسی و تحلیل نتایج استاتیکی خطی

بررسی و مقایسه نتایج حاصل از نمودار شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که تغییر مکان طبقات در سازه معمولی نسبت به سازه شیبدار در جهات x و y بیشتر است که

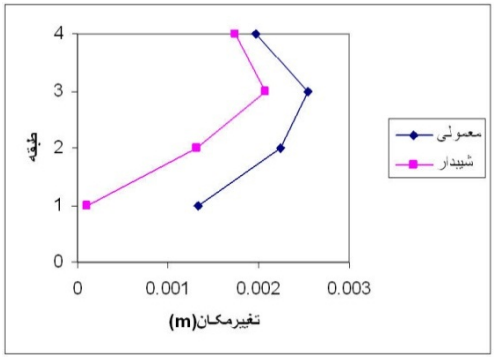
www.SID.ir

Archive of SID

دلیل این امر در اثر کوتاه بودن ارتفاع ستون‌ها در سازه شیبدار است. این اختلاف در ستون‌های طبقه اول بیشتر می باشد به طوریکه تغییرمکان در سازه معمولی حدود ۶ برابر تغییرمکان در سازه شیبدار است. همانطور که قبلاً بیان شد هر چه ارتفاع ستون کمتر باشد، جذب انرژی زلزله آن بیشتر و تغییر مکانش کمتر می گردد. از این رو در طبقه اول سازه شیبدار، میانگین ارتفاع ستون‌ها کمتر از ارتفاع ستون‌ها در سازه معمولی است و طبقه اول به یک طبقه با صلبیت و سختی بالائی تبدیل می‌شود که تحت زلزله، تغییر مکان کمتری از خود نشان می‌دهد. مطابق نمودارها در طبقات بالایی این اختلاف به حداقل می‌رسد و تغییرمکان‌ها تقریبا برابر می‌شوند به طوریکه تغییرمکان در سازه معمولی حدود ۱/۲ برابر بیشتر از سازه شیبدار می‌باشد.

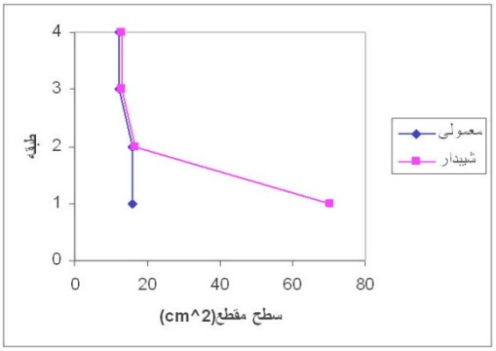


شکل ۴- تغیرمکان طبقات در جهت x



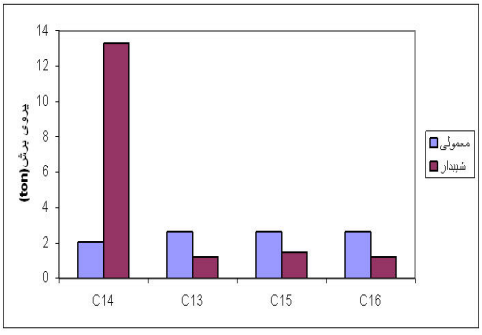
شکل ۵- تغیر مکان طبقات در جهتy

در شکل۶، میزان فولاد مصرفی برای ستون C14 در دو سازه مورد مقایسه قرار داده شده است. در سازه شیبدار به دلیل وجود ستون کوتاه و بالا بودن سختی و جذب درصد انرژی، در طراحی نیاز به مقطع قوی و پر فولاد می‌رود به طوری که سطح مقطع فولاد مصرفی در این ستون در سازه شیبدار نسبت به سازه معمولی حدود ۴/۴ برابر است. این اختلاف در میزان فولاد مصرفی فقط در طبقه اول به چشم می‌خورد و در طبقات بالایی بدلیل یکسان بودن ارتفاع و سختی ستون‌ها، سطح مقطع فولاد در دو سازه تقریباً یکسان و برابر است.



شکل ۶- میزان فولاد ستون

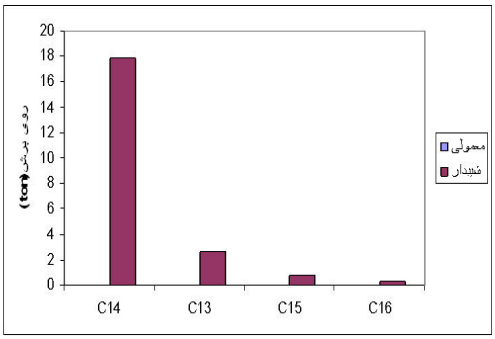
بررسی و مقایسه نتایج حاصل از نمودار شکل های ۷، ۸، ۹ و ۱۰ نشان می‌دهد که سختی دورانی نسبی ستون کوتاه در محل پی و گره اتصال به تیرها و ستون طبقات بالائی بیشتر از سختی ستون‌های نظیر در سازه معمولی است و در نتیجه لنگر این ستون‌ها بیشتر است. نسبت سهم ستون کوتاه‌تر در جذب لنگر خمشی و نیروی برشی ناشی از بارهای لرزه ای در سازه شیبدار نسبت به دیگر ستون‌های آن حدود ۹ برابر بیشتر است ولی ستون‌های سازه معمولی بدلیل سختی یکسان، به نسبت مساوی از لنگر خمشی و برش پایه سهم می‌برند.



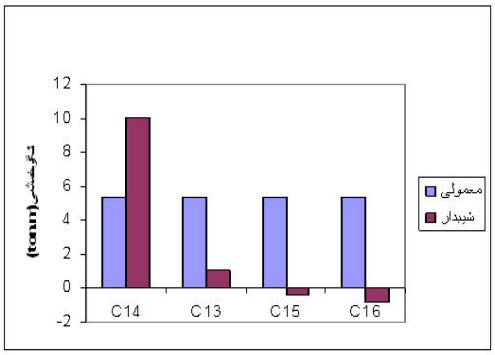
شکل ۷- نمودار برش ستون‌های طبقه اول در جهت x

www.SID.ir

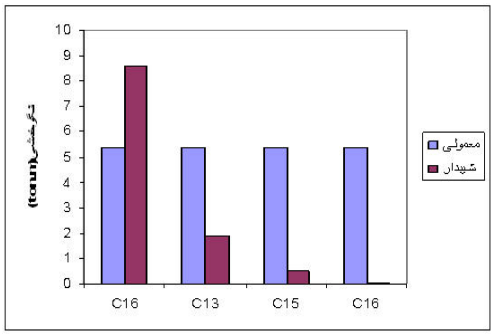
Archive of SID



شکل ۸- نمودار برش ستون‌های طبقه اول در جهتy

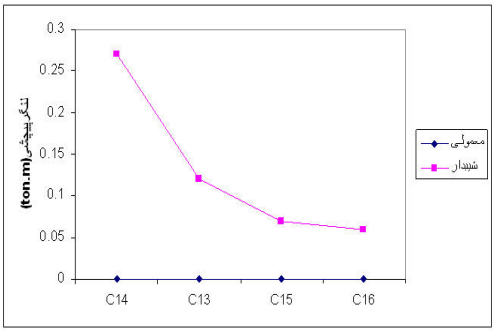


شکل ۹-نمودار لنگر پای ستون‌های طبقه اول در جهتx



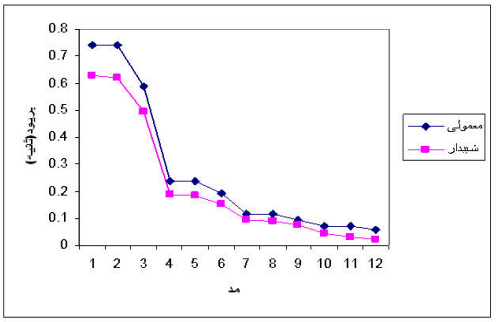
شکل ۱۰-نمودار لنگر پای ستون‌های طبقه اول در جهت y

پیچش باعث آسیب در ستون‌ها و شکست برشی ستون‌ها قبل از شکست خمشی تیرها و نهایتاً انهدام و فروپاشی کل سازه می‌گردد. در شکل ۱۱، لنگر پیچشی در ستون‌های دو سازه مورد مقایسه قرار گرفته است. پیچش فقط در سازه شیبدار رخ داده و علت این امر را می توان در کوتاه بودن ستون‌های واقع در یک سمت سازه و بلندی ستون‌های سمت دیگر آن دانست که در اثر این نامنظمی و عدم تقارن در ارتفاع ستون‌های طبقه اول سازه شیبدار، تغییر مکان ستون‌ها نامساوی و ناهمگون بوده و باعث ایجاد پیچش زیاد در ستون‌ها و طبقه اول و کل سازه می گردد. این در حالی است که سازه معمولی فاقد هر گونه پیچش می‌باشد.



شکل ۱۱- نمودار لنگر پیچشی ستون‌های طبقه اول

در شکل۱۲، مقادیر پریود سازه معمولی و شیبدار بر روی ۱۲ مد اول مقایسه شده اند. نتایج نشان میدهد بدلیل افزایش سختی سازه شیبدار، فرکانس طبیعی آن افزایش و در نتیجه پریودش کاهش می یابد و پریود سازه معمولی در ۳ مد اول بیش از سازه شیبدار است و تقریباً از مد چهارم به بعد این مقادیر بسیار به هم نزدیک می‌شود.



شکل ۱۲- نمودار پریود در ۱۲ مد اول

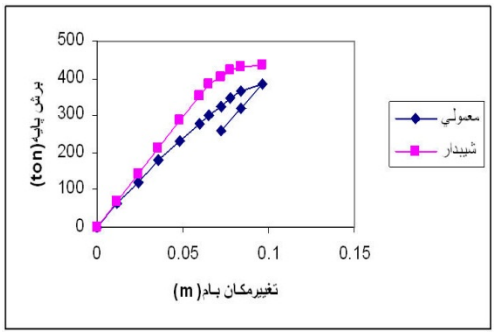
۶-بررسی و تحلیل نتایج استاتیکی غیرخطی

مطابق شکل ۱۳، درسازه شیبدار بدلیل افزایش درصدجذب نیروی زلزله، ستون‌های کوتاه با مقاطع پرفولاد و با خاموت فشرده طرح گشته‌اند، از این رو سازه

www.SID.ir

Archive of SID

شیبدار طرح شده در برابر بار جانبی نسبت به سازه معمولی حدود ۱۲ درصد افزایش مقاومت دارد که علت این افزایش در سخت شدگی کرنشی می باشد. با توجه به نمودارها، بدلیل طراحی قویتر سازه شیبدار، سطح زیرمنحنی آن که بیانگر میزان اتلاف انرژی در سازه است، بیشتر از سطح زیر منحنی مربوط به سازه معمولی می باشد. رفتار الاستیک دو سازه نیز با یکدیگر تفاوت داشته و در سازه شیبدار بدلیل وجود ستون‌های کوتاه، سختی سازه بیشتر می‌گردد.



شکل۱۳- نمودار برش پایه- تغییرمکان بام (طیف ظرفیت سازه‌ها)

۷-نتیجه گیری

با بررسی و مقایسه نتایج و نمودارهای برش، لنگرخمشی و پیچشی، پریود، تغییر مکان و میزان فولاد مربوط به دو سازه چهار طبقه بتن آرمه معمولی و شیبدار تحت شرایط کاملاً مشابه و یکسان نتایج زیر حاصل می‌شود:

۱- در ستون‌های کوتاه ، بدلیل کاهش ارتفاع، سختی مقطع افزایش چشم گیری یافته و درصد جذب نیروی برشی و لنگر خمشی بالا می‌رود و در نتیجه نیاز به مقطع پر فولاد و مقاوم‌تری برای ستون می‌باشد.

۲- وجود ستون‌های کوتاه در یک طبقه، باعث افزایش سختی طبقه گشته و تغییرمکان نسبی طبقه مذبور و درنتیجه تغییرمکان کل سازه را کاهش می‌دهد.

۳- در صورت وجود اختلاف ارتفاع در ستون‌های واقـع در یک طبقه، پیچش غیرقابل انتظار نیست و ضـروری اسـت در طراحی پیچش لحاظ گردد.

۸- مراجع

1. Murty , C.V.R, (2004), “Why are Short columns more Damaged During Earthquakes?” Indian Institute of Technology Kanpur.

۲. خیرالدین، ع. و میر نظامی، ع.، (۱۳۸۱)، "بررسی رفتار لرزه ای ساختمان های فلزی با اختلاف تراز "، سومین همایش ملی نقد و بررسی آئین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ، تهران.

3. Galal, K, Arafa, A. and Ghobarah, A., (2005), “ Retroft of RC Square Short Columns,” Engineering Structures , V.27 , No.5, PP. 801-813.

4. Marina, L., Moretti; Th. and Tassios, P., (2006), ”Behavior and Ductility Of Reinforced Concrete Short Columns Using Global Truss Model ,” ACI Structural Journal , V.103, No.3.

۵. برقی، م. و عباس نیا، ر.، "پیش بینی نوع انهدام ستون بتن آرمه تحت اثر بار جانبی دوره ای"، هفتمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران ، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی ، تهران، اردیبهشت ۱۳۸۵.

۶. آیین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله، (۱۳۸۴)، استاندارد ۲۸۰۰ ایران ، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم.

۷. مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم، (۱۳۸۵)، "بارهای وارد بر ساختمان"، وزارت مسکن و شهر سازی ، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان.

۸. نشریه ۱۲۰، (۱۳۸۰)، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، آیین نامه بتن ایران (آبا)، تجدید نظر اول، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

www.SID.ir