

بررسی پدیده ستون کوتاه در ساختمان‌های بتن آرمه و معرفی تکنیک‌های مقابله با آن

محمد حاجی^۱، حسین نادرپور^{۲*}، علی خیرالدین^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۳- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

*naderpour@semnan.ac.ir

چکیده:

ستون‌ها از اعضای مهم سازه‌ای می‌باشند که عمدتاً در معرض نیروهای محوری با یا بدون ممان خمشی می‌باشند که شکست آن‌ها منجر به انهدام سازه می‌گردد. طراحی ایمن و حفظ ایمنی ستون‌ها همواره از موضوع‌های مورد بحث محققین بوده است. ستون‌های کوتاه در مقایسه با ستون‌های لاغر به دلیل سختی بیشتر نیروی زلزله بیشتری جذب می‌کنند. به همین دلیل ستون‌های کوتاه منبع قابل توجهی در خسارات جدی زلزله می‌باشند. حالت ستون کوتاه از طراحی معماری ساختمان سرچشمه می‌گیرد. این مقاله انواع حالات تشکیل ستون کوتاه و دلایل معماری که چرا این شرایط روی می‌دهد را ارائه می‌دهد و به زبان غیر فنی اثرات مضر آن‌ها را روی پاسخ سازه توضیح می‌دهد، همچنین راه‌حلی برای آن‌ها ارائه می‌گردند. راه‌حل را فقط می‌توان به وسیله یک رویکرد یکپارچه برای طراحی ساختمان که حاصل از تعامل مهندس، معمار و پیمانکار می‌باشد، به دست آورد. در این مقاله مطالعات آزمایشگاهی مربوط به ستون کوتاه و انواع روش‌های تقویت این ستون‌ها با FRP نیز بررسی خواهند شد. از بین روش‌های تقویت اشاره شده در این مقاله استفاده از الیاف FRP به صورت دور پیچ کامل بهترین روش بوده و با توجه به مدل سازی انجام شده در نرم افزار اجزای محدود باعث افزایش ۲/۶ برابری شکل پذیری و همچنین ۱/۲۳ برابری انرژی جذب شده می‌گردد.

کلمات کلیدی: ستون کوتاه، سختی، زلزله، بتن آرمه، مقاوم سازی

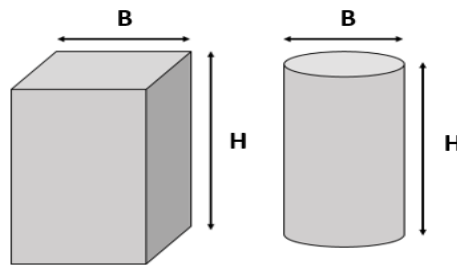
۱. مقدمه

گزارش‌های آسیب زلزله در سراسر جهان موارد متعددی از اثرات ستون کوتاه را ارائه می‌دهد. اگرچه مشکل به‌عنوان آسیب به ستون ظاهر می‌شود، علت معمولاً به المان‌های غیر سازه‌ای تحمیل‌کننده یک الگوی پاسخ به حرکات زلزله، متفاوت از رفتار مورد انتظار ستون بدون عناصر غیر سازه‌ای تکیه دارد. به‌طور کلی مشکل از طراحی معماری ساختمان‌ها سرچشمه می‌گیرد [۱]. بهترین راه‌حل این است که طراحان معماری و پیمانکاران ساخت‌وساز مشکل را درک کنند و از ایجاد این شرایط جلوگیری کنند. پیمانکاران نیاز به درک این مشکل دارند چون اغلب این شرایط بعد از بهره‌برداری به وجود می‌آید، زمانی که پیمانکاران در بخشی از ارتفاع بین ستون‌ها به درخواست صاحب ساختمان بدون ورود معمار یا مهندس دیوارهایی را اضافه می‌کنند. شرایط ستون کوتاه غالباً به‌وسیله اندرکنش عناصر سازه‌ای و غیر سازه‌ای ایجاد می‌شوند که در طراحی و آنالیز سازه در نظر گرفته نشده‌اند [۱].

تعریف ستون از دیدگاه آبا [۲]:

$$\frac{H}{B} \leq 3 \rightarrow \text{پداستال یا ستونچه} \quad (۱)$$

$$\frac{H}{B} > 3 \rightarrow \text{ستون} \quad (۲)$$



شکل ۱- نمایش ابعاد ستون

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌کنید H و B به ترتیب ارتفاع و بعد ستون می‌باشد.

برای بررسی کوتاه بودن ستون باید علاوه بر $\frac{H}{B} > 3$ شرط زیر نیز برقرار باشد:

الف) ستون با حرکت جانبی (مهاربندی نشده)

$$\frac{KL_u}{r} \leq 22 \rightarrow \text{ستون کوتاه است} \quad (۳)$$

که در آن K ضریب طول مؤثر ستون، L_u طول آزاد قطعه فشاری و r شعاع ژیراسیون در صفحه قاب می‌باشد.

ب) ستون‌های بدون حرکت جانبی

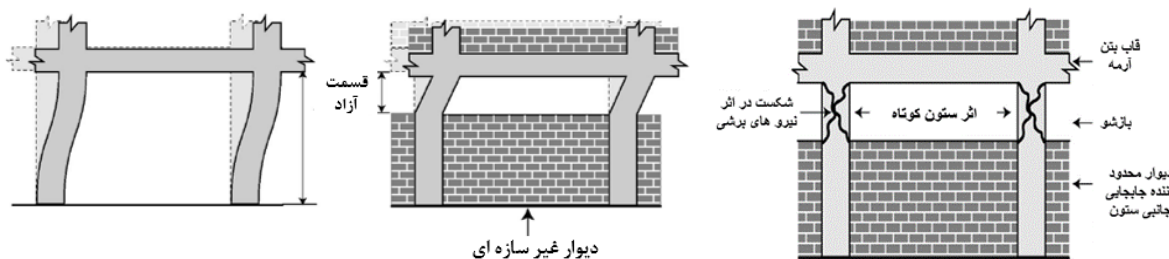
$$\frac{KL_u}{r} \leq 34 \pm 12 \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \rightarrow \text{ستون کوتاه است} \quad (۴)$$

که در آن M_{1b} و M_{2b} به ترتیب ممان کوچک‌تر و بزرگ‌تر در ستون می‌باشند.

۲. منشأ ایجاد ستون کوتاه در سازه‌های بتن آرمه

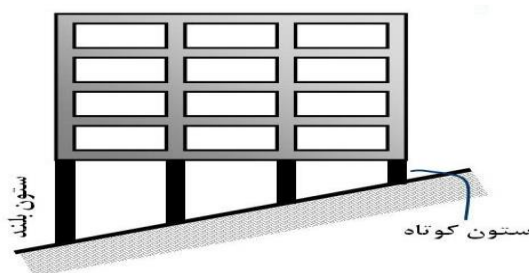
۱- ستون کوتاه ناشی از وجود تیرهای عمیق: تیرهای محیطی که به منظور شکل‌دهی نما و یا نصب تابلو و... ممکن است عمیق‌تر از بقیه تیرها طرح شوند باعث کاهش طول و افزایش سختی ستون‌های متصل به آن در قاب می‌گردد و باعث عدم ایجاد تیر ضعیف و ستون قوی گشته و در زلزله باعث شکست برشی ستون می‌گردند. وجود تیرهای عمیق باعث تبدیل مود حرکت سازه از خمشی به برشی می‌شود [۳].

۲- ستون کوتاه ناشی از وجود پرکننده‌ها و عناصر غیر سازه‌ای: نیاز به جا دادن بازشوها در دیوارهای یک ساختمان به منظور فراهم کردن نور طبیعی و تهویه منجر به محصورشدگی جانبی جزئی در ارتفاع ستون توسط عناصر صلب و در نتیجه تشکیل ستون کوتاه می‌شود. (شکل ۲).



شکل ۲- محدودیت جابجایی جانبی ستون و ایجاد پدیده ستون کوتاه [۱]

۳- ستون کوتاه ناشی از احداث ساختمان بر روی سطح شیب‌دار: منشأ بسیاری از تغییرات در طول ستون‌ها در ملاحظات معماری است که از آن جمله احداث ساختمان بر روی زمین شیب‌دار مانند دامنه کوه را می‌توان نام برد. در طی زلزله ستون‌های کوتاه‌تر مستعد جذب انرژی بیشتر و در نتیجه خرابی و خسارت بیشتر می‌باشند. از این رو ضروری است ستون‌های کوتاه‌تر را با مقاومت بیشتری طرح نمود [۴] (شکل ۳).



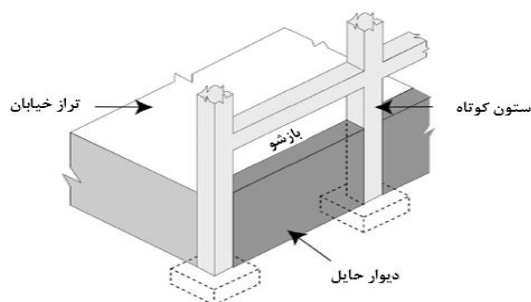
شکل ۳- پدیده ستون کوتاه در سازه شیب‌دار [۴]

۴- ستون کوتاه در حدفاصل پاگردها تا تراز طبقات: راه‌پله‌ها در اکثر طراحی‌ها به صورت اجزای غیر سازه‌ای منظور شده و جداگانه طرح می‌گردند. در حالی که در اکثر ساختمان‌ها چون تیر پاگرد در ارتفاع ستون به آن متصل است حدفاصل پاگرد تا سقف طبقه به یک ستون کوتاه تبدیل شده و نیروی برش زیادی در هنگام زلزله جذب که در طراحی و محاسبات منظور نمی‌شود.

۵- ستون کوتاه ناشی از وجود نیم‌طبقه در ساختمان: طراحی نیم‌طبقه (بالکن) در داخل واحدهای تجاری و یا طبقات ساختمان باعث ایجاد پدیده ستون کوتاه می‌گردد [۵].

۶- ستون کوتاه ناشی از دوبلکسی شدن سازه‌ها: طول مؤثر ستون‌های واقع در فصل مشترک این سازه‌ها به اندازه‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شود که هر یک از آن‌ها به صورت یک ستون کوتاه عمل می‌کنند [۶].

۷- ستون کوتاه ناشی از زیرزمین نیمه مدفون: استفاده از دیوارهای حائل در زیرزمین با ستون‌های تعبیه شده در آنها که بخش کوچکی از ارتفاع ستون تا سقف طبقه بعدی ادامه می‌یابد به منظور ایجاد تهویه و روشنایی منجر به ایجاد ستون کوتاه می‌شود (شکل ۴).



شکل ۴- ستون کوتاه ناشی از ایجاد بازشو به منظور تهویه در زیرزمین نیمه مدفون [۱]

۸- ستون کوتاه ناشی از راهروهای باز در مجتمع‌های مسکونی: محصور شدن بخشی از ارتفاع خالص ستون در مجتمع‌های مسکونی ساخته شده در کشورهای متعدد با پیروی از معماری مدرن توسط ایجاد راهروها در سمت چپ نمای ساختمان و استفاده از نرده و دیوارهای سخت به جای به کارگیری چراغ. همچنین در صورتی که بدون در نظر گرفتن محاسبات و جزئیات اجرایی مناسب توسط مهندس محاسب، در هنگام اجرا در قسمتی از ارتفاع یک ستون تکیه‌گاه ایجاد گردد و یا طول اجرایی ستون کمتر از طول محاسباتی شود، امکان ایجاد پدیده ستون کوتاه وجود دارد.

۳. بررسی تحلیلی و مکانیسم ستون کوتاه

ستون کوتاه در مقایسه با ستون بلند دارای سختی و قابلیت جذب انرژی زلزله بیشتری است. مطابق شکل ۱۳ از آنجائی که سختی با عکس توان سوم طول ستون ارتباط دارد (معادله ۵)، اگر طول ستون نصف شود سختی و جذب نیروی زلزله در آن ۸ برابر می‌گردد [۶].

$$K = 12 \frac{EI}{L^3} \quad (5)$$

K = سختی جانبی ستون با انحنای مضاعف، L = طول ستون، EI = صلبیت خمشی ستون

در اثر بار جانبی ستون‌های کوتاه و بلند به یک‌میزان (Δ) در جهت افقی جابه‌جا می‌شوند. با توجه به آن که سختی جانبی ستون‌ها با توان سوم طول نسبت عکس دارد لذا ستون‌های کوتاه سختی جانبی بیشتری دارند. در نتیجه میزان نیروی لازم برای ایجاد تغییر شکل در ستون کوتاه به مراتب بیشتر از ستون‌های بلند است (با توجه به فرمول ساده $F = K\Delta$)؛ بنابراین چنانچه ستون‌های کوتاه برای این چنین بار بیشتری طراحی نشده باشند، در اثر زلزله دچار خسارت‌های بیشتری و حتی زوال می‌گردند. این زوال که با عنوان "اثر ستون کوتاه" نامیده می‌شوند، غالباً به صورت ترک‌های X شکل در ستون نمایان می‌شوند. نوع زوال این ستون‌ها، زوال برشی می‌باشد. شکست ترد برش در ستون‌های کوتاه به عنوان یکی از خطرناک‌ترین مدهای شکست در سازه‌های بتنی شناخته شده است. غالباً طراحی‌ها به گونه‌ای صورت می‌گیرد که زوال برشی تا قبل از رسیدن سازه به حداکثر ظرفیت مورد نظر، در هیچ عضو سازه رخ ندهد [۳].

ارتباط بین ممان‌های خمشی داخلی در انتهای ستون‌ها و نیروی برشی مرتبط با آن‌ها به راحتی از طریق اصل معادلات تعادل و بی‌توجهی به اثر $P - \Delta$ به دست می‌آید:

$$V = \frac{M_a + M_b}{h} \quad (6)$$

$M_a + M_b =$ جمع جبری ممان‌های انتهای ستون، $h =$ ارتفاع خالص ستون

در ستون کوتاه به دلیل حضور المان خارجی مهارکننده، ارتفاع خالص به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد و به‌طور معکوس نیروی برشی افزایش می‌یابد.

آیین‌نامه‌های طراحی مقاوم در برابر زلزله ملزم می‌کنند که نیروی برشی طراحی (V_e) در المان باید با استفاده از ممان مقاوم خمشی احتمالی (M_{pr}) در انتهای المان به دست بیاید. ممان مقاوم خمشی احتمالی باید با به‌کارگیری مساحت میلگردهای طولی واقعی در وجه المان، مقاومت گسیختگی برای میلگرد فولادی معادل با ۱/۲۵ برابر مقاومت تسلیم اسمی و ضریب کاهش مقاومت (ϕ) برابر با یک به دست بیاید. در نتیجه نیروی برشی طراحی باید با استفاده از معادله زیر به دست بیاید:

$$V_e = \frac{(M_{pr})_a + (M_{pr})_b}{h} \quad (7)$$

مقدار h به کار گرفته شده در معادله (۷) باید مطابق با محدودیت‌های تغییر شکل‌های واقعی اعمال شده به وسیله المان‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای باشد.

۴. روش‌های مقابله با پدیده ستون کوتاه

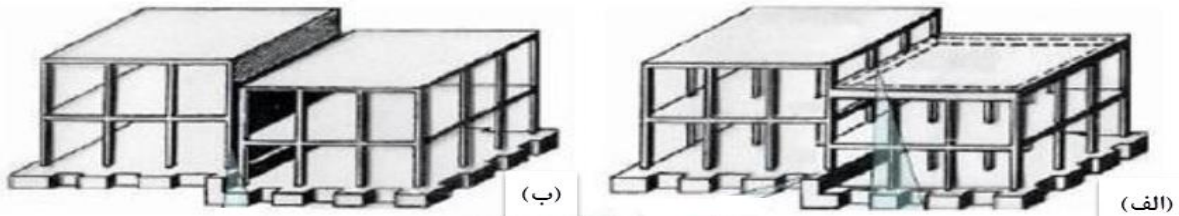
از آنجایی که پدیده ستون کوتاه در بسیاری از سازه‌ها اجتناب‌ناپذیر است، لازم است که طراحان تمهیداتی را برای کاهش اثرات مخرب آن پیش‌بینی نمایند. برای این منظور برای حالتی که به دلایل معماری یا کاربری تمام ستون‌های طبقه کوتاه‌تر از طبقات دیگر می‌شوند، پیشنهاد می‌شود که ستون‌های سازه‌ای کاملاً با طبقات دیگر هم‌ارتفاع انتخاب شوند و برای جبران ارتفاع‌های زیاد از سقف‌های کاذب استفاده گردد تا نامنظمی‌ها به حداقل برسند. در موارد خاص که سازه بر روی سطح شیب‌دار بنا می‌شود و به‌ناچار تعدادی از ستون‌های طبقه همکف کوتاه‌تر از باقی ستون‌ها اجرا می‌شوند، برای جلوگیری از پیچش ناشی از اختلاف سختی ستون‌های کوتاه و بلند در طبقه می‌توان با کمک مهاربندی‌هایی در مجاورت ستون‌های بلند، سختی این ستون‌ها را نیز افزایش داد تا توزیع سختی در طبقه یکنواخت‌تر گردد.

در مورد سازه‌های دوبلکسی نیز از آنجاکه قاب‌های فصل مشترک سخت تراز باقی قاب‌ها هستند، طراح باید عناصر برابر جانبی را در طبقه توزیع نماید که مرکز سختی و مرکز جرم حتی‌المقدور کمترین فاصله را نسبت به هم داشته باشند.

در ساختمان‌هایی که میانقاب یا پرکننده‌های سخت باعث ایجاد ستون کوتاه شده‌اند، می‌توان عناصر غیر سازه‌ای را از ستون‌ها به‌طور کلی جدا نمود به‌طوری‌که ستون آزادی کافی را برای عدم کاهش طول مهار نشده خود داشته باشد. یک‌راه‌حل دیگری نیز وجود دارد و آن مدنظر قرار دادن رفتار اعضای غیر سازه‌ای در محاسبات سازه‌ای است به‌طوری‌که اعضای غیر سازه‌ای سخت و ترد همانند دیوارهای کناری ساختمان‌ها، آسیب‌پذیرتر از اعضای سازه‌ای باشند دلیل آن‌هم انعطاف‌پذیری کم آن‌هاست. بعلاوه رفتار پسماند سیستم سازه‌ای وقتی که چنین اعضای غیر سازه‌ای در آن‌ها باشد بسیار پیچیده‌تر می‌شود. در این حالت پیچیدگی مسئله و درک و فهم درست پاسخ سازه مشکل می‌گردد. یک روش بسیار مناسب برای مدل‌سازی میانقاب آجری استفاده از میله معادل می‌باشد و فرض بر آن است که این میله‌ها فقط در فشار عمل می‌نمایند [۷]. ایده میله معادل به‌جای میانقاب آجری برای اولین بار در سال ۱۹۶۷ توسط پولیاکف مطرح شد [۸].

در راه‌پله‌ها نیز می‌توان ستون‌های اطراف راه‌پله که با پاگرد تلاقی دارند را نوعی ستون کوتاه محسوب کرد و در محاسبات لحاظ نمود. اگر راه‌پله در خارج از سازه اصلی و به‌طور مجزا طراحی گردد ولی به دلیل ملاحظات معماری الزام به طراحی راه‌پله در فضای داخلی سازه و در اتصال با ستون‌های اصلی سازه باشد، باید اثر تیرهای پاگرد بر ستون‌ها در محاسبات مدنظر قرار بگیرد تا برش‌های ناشی از نیروی زلزله تهدیدی برای ستون‌ها ایجاد ننماید [۹].

در ساختمان‌های موجود (ساختمان‌های ساخته‌شده مورد بهره‌برداری) با پتانسیل به وجود آمدن ستون کوتاه، روش‌های بهسازی لرزه‌ای و مقاوم‌سازی متفاوتی می‌تواند از بروز خسارت ناشی از ستون کوتاه در زلزله‌های آینده جلوگیری نماید. زمانی که دیواری در قسمتی از ارتفاع ستون اجرا گردیده و قسمت دیگر ارتفاع ستون آزاد است، پیشنهاد می‌گردد با استفاده از مواد و مصالح مناسب تمام ارتفاع آزاد ستون قرارگرفته در قاب را محصور کنیم. این کار می‌تواند از به وجود آمدن پدیده ستون کوتاه جلوگیری کند. اگر استفاده از این روش امکان‌پذیر نبود، باید قسمت آزاد ستون (که پتانسیل تشکیل ستون کوتاه را دارد) موردبررسی و با استفاده از یک روش فنی مقاوم‌سازی شود [۱۰ و ۱۱].

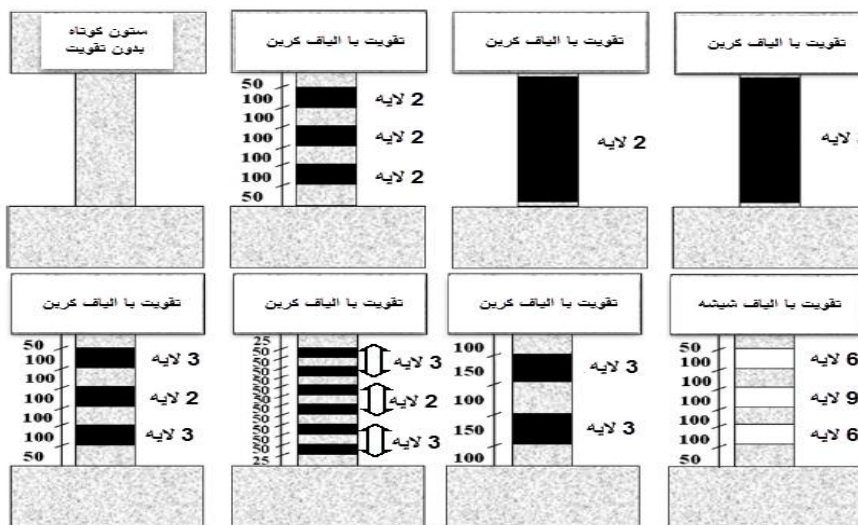


شکل ۵- پرهیز از تعبیه اختلاف سطح در کف‌ها تا حد امکان [۵]

در شکل (۵-الف) باید از ایجاد اختلاف سطح پرهیز شود در شکل (۵-ب) نیز در اختلاف سطح بیش از ۶۰ سانتی‌متر باید دو ساختمان که اختلاف سطح دارند به‌وسیله درز انقطاع از یکدیگر جدا شوند.

۵. روش‌های متداول تقویت ستون‌های کوتاه بتن‌آرمه

استفاده از مواد کامپوزیت الیافی (FRP) که در سال‌های اخیر استفاده از این مواد در مقاوم‌سازی و بهسازی سازه‌های بتن‌آرمه رواج یافته است. در شکل (۶) انواع روش‌های متداول تقویت ستون‌های کوتاه را مشاهده می‌کنید که از صفحات FRP از جنس کربن (CFRP) و شیشه (GFRP) و همچنین لایه‌های متفاوت (۲ و ۳ و ۶ و ۹) با شکل‌های متفاوت استفاده شده است.

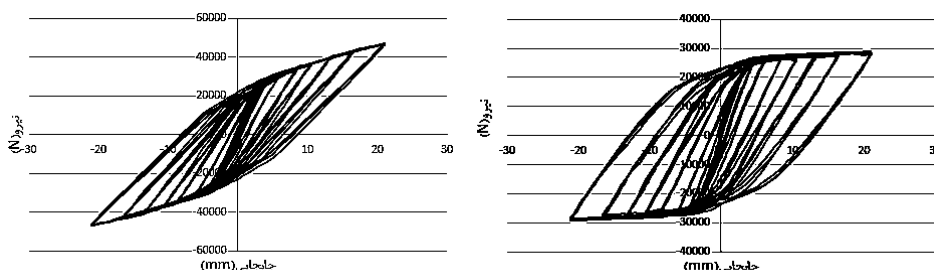


شکل ۶- روش‌های تقویت ستون‌های کوتاه با استفاده از الیاف [۱۲]

استفاده از ورق فولادی (ورق پوش فولادی) که با چسباندن و اتصال ورق فولادی به سطوح بتنی ستون ضمن اینکه از ستون در برابر آتش سوزی محافظت کرده، باعث تقویت برشی و خمشی عضو می‌گردد. استفاده از لایه پوشش بتن یا ملاط مسطح (زره پوش بتنی) که یکی از روش‌های رایج و قدیمی جهت بهسازی اعضای بتنی به شمار می‌رود. ارزان بودن مصالح در این روش و نیاز کمتر به مراقبت‌های بعدی از مزایای این روش است [۱۳ و ۱۴].

۶. مدلسازی

دو ستون کوتاه دایره ای (یک ستون مرجع و یک ستون مقاوم‌سازی شده به صورت دور پیچ کامل یک لایه با الیاف CFRP) با استفاده از نرم افزار اجزای محدود ABAQUS مدلسازی شد که نتایج و منحنی های آن به قرار زیر می‌باشد:



ب) مدل مقاوم‌سازی شده

الف) مدل مرجع

شکل ۷- منحنی های هیستریزیس

جدول ۱- شکل پذیری و انرژی جذب شده ستون‌ها

ستون تقویت شده	ستون مرجع	شکل پذیری
۲/۶	۱	انرژی جذب شده (N.mm)
۲۳۲۹۸۴۰۸/۸	۱۸۸۶۲۹۸۹/۳۲	

همان گونه که ملاحظه می‌شود استفاده از الیاف FRP به صورت دور پیچ کامل به میزان قابل توجهی باعث افزایش شکل پذیری و انرژی جذب شده می‌گردد، همچنین باعث تغییر مود شکست از حالت برشی به خمشی می‌شود.

۷. نتیجه گیری

ستون کوتاه یکی از پدیده‌های مخرب در سازه‌های بتن آرمه می‌باشد. مشکل اصلی، در طراحی معماری ساختمان‌ها می‌باشد. مهم‌ترین راه حل مقابله با پدیده ستون کوتاه، لحاظ نمودن شرایط طرح معماری و اجرا به گونه‌ای است که از وقوع چنین پدیده‌ای جلوگیری به عمل آید. در سازه‌هایی که المان غیر سازه‌ای مانند دیوار باعث ایجاد پدیده مخرب ستون کوتاه می‌شود (ساختمان‌های آموزشی و...) که نیاز به نورگیر و تهویه می‌باشد، باید طراح سازه تأثیر دیوارهای پرکننده بنایی را در رفتار سازه ناشی از بارگذاری جانبی یا با ایجاد فاصله جداکننده از ستون در نظر بگیرد. اگر فاصله جداکننده تأمین شود، باید اقدامات مناسب جهت پایداری خارج از صفحه دیوار بنایی هنگام بارگذاری جانبی باد یا زلزله انجام شود.

از میان روش‌های بررسی شده در این تحقیق جهت مقاوم‌سازی ستون‌های کوتاه، بهترین روش استفاده از صفحات FRP به ویژه به صورت دور پیچ کامل می‌باشد زیرا نسبت به دو روش دیگر (ورق پوش فولادی و زره پوش بتنی)، با توجه به افزایش سختی ستون و در نتیجه جذب نیروی زلزله در این روش‌ها، برتری دارد.

مراجع

- [1] Guevara, L., EERI, M., Garcí'a, L. (2005). "The Captive- and Short-Column Effects". The Professional Journal of the Earthquake Engineering Research Institute, Vol. 21 (1), pp 141-160.
- [۲] نشریه شماره ۱۲۰ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (آیین‌نامه بتن ایران (آبا)).
- [۳] کارگران، علی. عملکرد لرزه‌ای غیرخطی ستون کوتاه در سازه‌های بتن آرمه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، ۱۳۸۶.
- [۴] خیرالدین، علی. کارگران، علی. "بررسی رفتار لرزه‌ای ستون‌های کوتاه بتن آرمه ناشی از احداث سازه بر روی سطح شیب‌دار"، مجله علمی پژوهشی مدل‌سازی در مهندسی، دانشگاه سمنان، سال هفتم، شماره ۱۸، پاییز ۱۳۸۸.
- [۵] خیرالدین، علی. نادرپور، حسین. حسینی واعظ، سید روح‌الله. "بررسی تأثیر فرم معماری بر نحوه آسیب پذیری سازه‌ای"، اولین کنفرانس سازه و معماری، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، ۱۳۸۶.
- [۶] خیرالدین، علی. میر نظامی، علیرضا. بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های فلزی با اختلاف تراز، سومین همایش ملی نقد و بررسی آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، تهران، اسفند ۱۳۸۱.
- [۷] تابش پور، محمدرضا. بخشی، علی. "ارزیابی محاسباتی شکست ستون کوتاه در هنگام زلزله"، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال هشتم، شماره اول، بهار ۸۴.
- [8] Polyakov, S. V. (1960). "On the interaction between masonry filler walls and enclosing frame when loaded in the plane of the wall," in Translation in Earthquake Engineering, pp. 36-42, Earthquake Engineering Research Institute (EERI), San Francisco, Calif, USA.
- [9] Ramin, K., Mehrabpour, F. (2014), "Study of Short Column Behavior Originated from the Level Difference on Sloping Lots during Earthquake (Special Case: Reinforced Concrete Buildings)", Open Journal of Civil Engineering, Vol. 4, pp 23-34.
- [۱۰] مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم، (۱۳۸۵)، "بارهای وارد بر ساختمان"، وزارت مسکن و شهرسازی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان.
- [11] Wang, D.Y., Wang, Z.Y., Smith, S.T., Yud, T. (2016). "Size effect on axial stress-strain behavior of CFRP-confined, square concrete columns". Construction and Building Materials, vol. 118, pp 116-126.
- [12] Colomb, F., Tobbi, H., Ferrier, E., Hamelin b, P. (2008). "Seismic retrofit of reinforced concrete short columns by CFRP materials". Composite Structures, Vol. 8(2), pp 475-487.
- [13] American Concrete Institute (ACI), Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec), and Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), 2002. Essential Requirements for Reinforced Concrete Buildings, International Publication Series 1, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 246 pp.
- [14] Committee 318, American Concrete Institute (ACI), 1971. Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-71), Detroit, MI, 102 pp.