دومین کنفرانس ملی صنعت بتن
۱۳ و ۱۴ آذر ۱۳۹۲
دانشگاه سمنان

بررسی عملکرد ستون عریض (کتابی) و مربعی در سیستم قاب خمشی بتن آرمه

علی خیرالدین[۱]، مسعود احمدی[۲*]، مهدی عبادی جامخانه[۲]

۱- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان؛ و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی دانشگاه تهران

۲- دانشجوی دکتری ، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

m.ahmadi@students.semnan.ac.ir

چکیده

سیستم قاب خمشی از جمله سیتم های مقاوم در برابر نیرو های جانبی در سازه های بتن آرمه است که به صورت گسترده مورد استفاده قرار می گیرد. یکی از مشکلات این سیستم تغییر مکان جانبی زیاد آن است. یکی از راهکارهای کنترل این تغییر مکان استفاده از ستون های عریض (کتابی) است، همچنین استفاده از ستون های کتابی به عنوان راهکاری برای تطابق با معماری مورد نیاز قابل توجه می باشند. این ستونها دارای عرض کم و طول زیاد می باشند. هدف از این مقاله بررسی اثر رفتار این نوع ستون بر رفتار کل ساختمان می باشد که در این راستا دو ساختمان بتن آرمه چهار طبقه با پلان یکسان که یکی دارای ستون کتابی و دیگری ستون مربع شکل می باشند مورد تحلیل قرار گرفته و رفتار دو نوع ساختمان بررسی شده است .

کلمات کلیدی: ستون کتابی ، تغییر مکان جانبی ، طول مهاری

۱. مقدمه

از مهم ترین مسائل وخصوصیت های سازه ها در مقابل نیرو های لرزه ای و بطور ویژه نیرو های ناشی از زلزله پایدار ماندن سازه پس از اعمال این چنین نیروهایی است. به عبارت دیگر هر سازه پایدار باید هم بصورت کلی یک مجموعه کاملا پایدار باشد و هم اعضای آن به تفکیک پایداری لازم را داشته باشند،که ستون ها بعنوان رکنی اساسی در سازه از اهمیت بیشتری برخوردارند.

بتن بعلت خاصیت اصطکاکی نسبت به فشار هیدرو استاتیک از خود عکس العمل نشان می دهد. در اوایل سال 1906 ، که کونسیدر موفق به شناسایی اثرات مفید تنش های جانبی بر مقاومت و شکل پذیری بتن گردید، از آن زمان بیشتر تحقیقات صورت گرفته این حقیقت را که اگر از انبساط جانبی بتنی که تحت تنش تک محوری قرار گرفته جلوگیری شود، بتن از خود ظرفیت مقاومت و شکل پذیری محوری بیشتری به نمایش می گذارد. در سازه هایی که تنها از سیستم های قاب خمشی استفاده می شود بعلت توضیح یکنواخت سختی، پیچش به طور قابل توجهی کاهش می یابد ولی تغییر شکل جانبی افزایش می یابد. برای برآورده کردن کنترل های آیین نامه ای در این سازه ها بایستی ابعاد مقطع را برای افزایش سختی افزایش داد. یکی از راه حل های که می تواند این مشکل را حل کند استفاده از ستون های کتابی است.

۲. مشخصات سازه های آنالیز شده

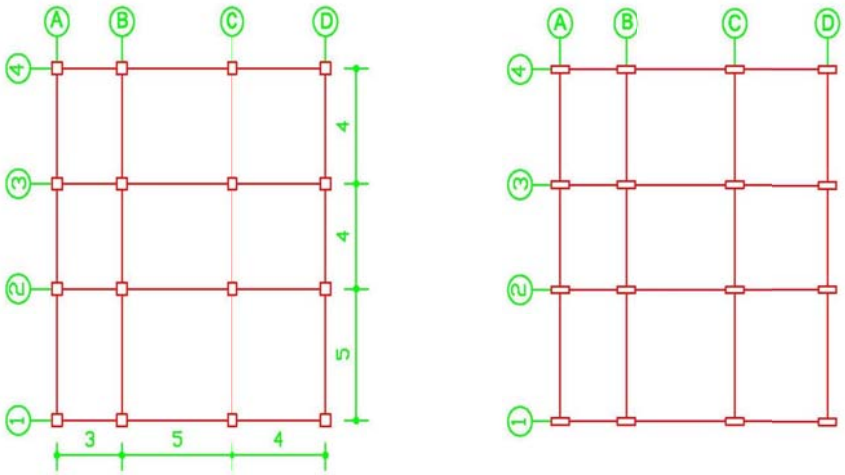
برای مطالعه رفتار ستون های کتابی دو ساختمان ۴ طبقه بتن آرمه که دارای پلان یکسان می باشند و دارای سه دهنه در راستای X و سه دهنه در راستای Y و ارتفاع طبقه ۳متر انتخاب شده است. کاربری این دارای سه دهنه در راستای X و سه

دهنه در راستای Y و ارتفاع طبقه ۳متر انتخاب شده است. در جدول -۱ بارهای وارده بر ساختمان به طور خلاصه آورده شده است.

مقاومت فشاری بتن (نمونه استوانه ای) fc=25MPa در نظر گرفته شده است.تنش تسلیم فولاد های اصلی $f_y = 400\text{MPa}$ و خاموت ها $f_y = 300\text{MPa}$ منظور شده است. سیستم باربر جانبی در جهت X وY قاب خمشی می باشد، برای بارگذاری از استاندارد ۲۸۰۰ ایران و برای مباحث طراحی از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان استفاده می شود. زمین محل ساخت از نوع II و محل ساخت با خطر نسبی زیاد در محاسبات آورده شده است. برای محاسبه بار زلزله از روش تحلیل طیفی استفاده شده است. ابتدا برش پایه محاسبه گردیده و آنگاه به نسبت وزن در طبقات پخش شده است. نیروی زلزله در هر دو جهت همراه با در نظر گرفتن برون مرکزی اتفاقی طبقات به ساختمان وارد شده است. ابعاد ستون مربعی ۴۵ سانتی متر و ستون کتابی هم مساحت با ستون مربعی و به عرض و ارتفاع، ۲۵ و ۸۰ سانتی متر در محاسبات آورده شده است. پلان سازه در شکل ۱ آورده شده است.

جدول ۱- بارهای وارد بر سازه

نوع بار	kg/m^2	نوع بار	kg/m^2
بار مرده طبقات	570	بار زنده بام	150
بار زنده طبقات	200	بار معادل پارتیشن	145
بار مرده بام	590	بار دیوار پیرامونی	210



شکل-۱ پلان ساختمان های مورد بررسی

۳. آنالیز سازه ۱ (ستون مربعی)و سازه ۲ (ستون کتابی)

پس از مدل سازی سازه در برنامه ETABS سازه مورد تحلیل اولیه قرار گرفته است که در این مرحله نتایج زیر از تحلیل بدست آمده است.

۱.۳ کنترل تغییر مکان جانبی

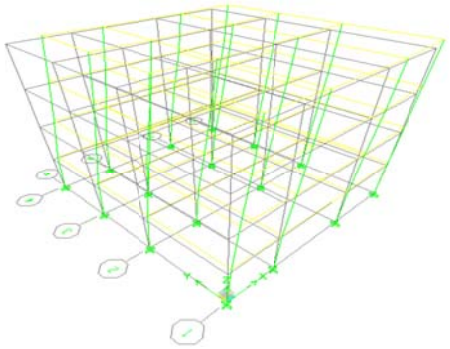
پس از به مقیاس در آوردن نتایج تحلیل دینامیکی کنترل تغییر مکان جانبی انجام می شود،که بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران نسبت تغییر مکان جانبی در محل مرکز جرم هر طبقه نباید از مقادیر مجاز آیین نامه بیشتر باشد. در این سازه زمان تناوب در هر دو جهت کمتر از ۰.۷ ثانیه می باشد که در این حالت مقدار مجاز تغییر مکان جانبی برابر ۰/۰۰۵۱ m می باشد که تحت تمام بارگذاری ها مقدار تغییر مکان جانبی از مقدار مجاز کمتر است (جدول ۲ و ۳). تغییر شکل سازه نیز در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در شکل های ۴ و ۵ تغییر مکان مرکز جرم دیافراگم ها تحت بار طیفی در دو جهت نشان داده شده است.

جدول۲- حداکثر جابه جایی ساختمان-۱

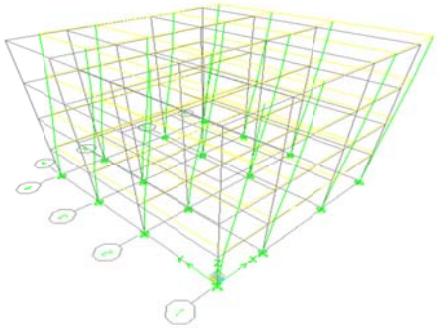
ترکیب بارگذاری	حداکثر مقدار جابه جایی(m)
SPX	۰/۰۰۲۳۸
SPXT	۰/۰۰۲۶۱
SPY	۰/۰۰۲۵۵
SPYT	۰/۰۰۲۷٤

جدول ۳- حداکثر جابه جایی ساختمان-۲

ترکیب بارگذاری	حداکثر مقدار جابه جایی(m)
SPX	۰/۰۰۱۸۲
SPXT	۰/۰۰۲۰٦
SPY	۰/۰۰٤٦۸
SPYT	۰/۰۰٤۸۹



شکل۲- سازه با ستون کتابی تحت بار طیفی



شکل ۳- سازه با ستون مربعی تحت بار طیفی

نتایج نشان می دهد سازه با ستون مربعی تحت بار طیفی در راستای x دارای تغییر مکان بیشتری نسبت به سازه با ستون کتابی تحت بار طیفی در راستای x می باشد که تفاوت در تغییر مکان ها بخاطر ممان اینرسی بیشتر ستون کتابی در این راستاست. نسبت ممان اینرسی ستون مربعی نسبت به ستون کتابی در این راستا ۰/۳۲۰ می باشد. اما در راستای Y نسبت ممان اینرسی ستون مربعی نسبت به ستون کتابی ۳/۲۸۰ می باشد که همانطور که انتظار می رود تغییر مکان سازه با ستون کتابی تقریبا دو برابر سازه دیگر است.

۲.۳ نقش افزایش آویز تیر و ابعاد تیر در کاهش تغییر مکان جانبی

در بررسی این پارامتر تیر های هر دو راستا در طبقات مختلف را تغییر داده و تغییر مکان جانبی در راستای Y را کنترل می کنیم که در حالات زیر بررسی و نتایج در جدول ارائه شده است.

۱) تغییر ابعاد تیر های راستای Y در طبقه چهارم

جدول ۴- تغییر مکان ساختمان با ستون کتابی در راستای-Y

ابعاد (cm)	۳۵*۶۵	۵۰*۵۰	۳۵*۵۵
تغییر مکان سازه در بار دینامیکی طیفی(mm)	۴/۷۴	۴/۷۴	۴/۹۲

۲) تغییر ابعاد تیر های محور های A وD در طبقه چهارم

جدول ۵- تغییر مکان ساختمان با ستون کتابی در راستای-Y

ابعاد(cm)	۳۵*۶۵	۵۰*۵۰	۳۵*۵۵
تغییر مکان در بار دینامیکی طیفی(mm)	۴/۷۱	۴/۷۲	۴/۷۰

۳) ابعاد تیر های محور های B و C در طبقه چهارم

جدول ۶- تغییر مکان ساختمان با ستون کتابی در راستای-Y

ابعاد(cm)	۳۵*۶۵	۵۰*۵۰	۳۵*۵۵
تغییر مکان در بار دینامیکی طیفی(mm)	۴/۷۱	۴/۷۱	۴/۷۰

۴) تغییر ابعاد تیر ها در طبقه چهارم

جدول ۷- تغییر مکان ساختمان با ستون کتابی در راستای-Y

ابعاد (cm)	۳۵*۶۵	۵۰*۵۰	۳۵*۵۵
تغییر مکان در بار دینامیکی طیفی(mm)	۴/۷۶	۴/۷۸	۴/۷۳

۵) تغییر ابعاد ستون های محور های A و D در طبقات سوم و چهارم

جدول ۸- تغییر مکان ساختمان با ستون کتابی در راستای-Y

ابعاد (cm)	۳۵*۶۵	۵۰*۵۰	۳۵*۵۵
تغییر مکان در بار دینامیکی طیفی(mm)	۴/۷۸	۴/۷۸	۴/۷۴

۶) تغییر ابعاد ستون های محور های A و D در تمام طبقات

جدول ۹- تغییر مکان ساختمان با ستون کتابی در راستای-Y

ابعاد (cm)	۳۵*۶۵	۵۰*۵۰	۳۵*۵۵
تغییر مکان در بار دینامیکی طیفی(mm)	۴/۴۱	۴/۵۰	۴/۲۵

از جداول فوق می توان نتیجه گرفت که تغییر در ابعاد و بخصوص افزایش آویز در تیر های راستای Y باعث کاهش در تغییر مکان در این راستا می شود که بهترین حالت در افزایش ابعاد در تیر های پیرامونی و در تمام طبقات مشاهده می شود اما بایستی توجه داشت که که افزایش آویز در تیر های میانی و کناری متفاوت عمل می کند.

۴. کنترل طول مهاری آرماتور تیر در ستون کناری

از جمله مشکلات موجود در سازه هایی که از ستون کتابی استفاده می کنند، نحوه اتصال تیر به ستون می باشد. با توجه به اینکه ستون های کتابی دارای بعد عرضی کوچک می باشند معمولا تیر های منتهی به آنها دارای بعد عرضی بزرگتری نسبت به ستون ها می باشند که این موضوع ایجاد مشکلات فنی و اجرایی را در اتصال تیر به ستون به دنبال دارد.

۱.۴ طول مهاری یک میلگرد مستقیم در کشش

$$l_d = \left[\frac{f_y}{\sqrt{f_c}} * \frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\frac{c + k_{tr}}{d_b}}\right] * d_b > 300\ mm$$

که در این رابطه f_y مقاومت مشخصه جاری شدن آرماتور ها بر حسب مگا پاسکال،f_c: مقاومت مشخصه بتن بر حسب مگا پاسکال ،α:ضریب موقعیت میلگرد ها ،β : ضریب اندود میلگرد ، γ: ضریب قطر میلگرد λ : ضریب نوع بتن ، c : ضریب فاصله میلگرد ها ، k_{tr} : ضریبی است که بر اساس مقدار آرماتور عرضی موجود تعیین می شود ، d_b : قطر میلگرد.

که برای شرایط معمولی و با فرض حداقل مقدار پوشش بتن از مرکز آرماتور ها برابر ۵ سانتی متر طول مهاری برای آرماتور های با قطر ۱۶،۱۸و۲۰ میلیمتر به ترتیب برابر با ۶۶۶، ۷۴۹ و ۸۳۲ میلیمتر است.

۲.۴ طول مهاری یک میلگرد قلابدار در کشش

$$l_{dh} = \left[0.25\ k_1 k_2 \beta\lambda \frac{f_y}{\sqrt{f_c}}\right] * d_b > \max(8d_b, 150mm)$$

که با در نظر گرفتن k_1, k_2 برابر یک، طول مهاری برای آرماتور های با قطر ۱۶،۱۸و۲۰ میلیمتر به ترتیب برابر با ۳۲۰،۳۶۰و ۴۰۰ میلیمتر است.

۳.۴ طول مهاری یک میلگرد در فشار

$$l_{dc} = \max\{\left[0.25\frac{f_y}{\sqrt{f_c}}\right] * d_b, 0.04 d_b f_y\}$$

که با در نظر گرفتن fc=25Mpa و $f_y = 400\text{Mpa}$ ، طول مهاری برای آرماتور های با قطر ۱۶،۱۸و۲۰ میلیمتر به ترتیب برابر با ۳۲۰،۳۶۰ و ۴۰۰ میلیمتر است.

در ستون های کتابی گوشه طول مهاری میلگردهای کششی قلابدار و طول مهاری میلگرد های فشاری با توجه به عرض ستون تامین نخواهد شد اما می توان بر اساس بند ۹-۱۸-۲-۱-۳ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان از هرگونه وسیله

مکانیکی که بتواند بدون ایجاد خسارت به بتن نیروی مقاومت میلگرد ها را به بتن منتقل کند و همچنین توانایی این وسیله در انتقال نیرو بر اساس آزمایش مورد تایید باشد استفاده کرد.

۵. نتیجه گیری

بر اساس مدلسازی های انجام شده استفاده از ستون های کتابی در یک راستا از ساختمان های با سیستم قاب خمشی و با ارتفاع محدود می تواند مورد استفاده قرار گیرد، اما در ساختمان های با تعداد طبقات بیشتر از چهار طبقه و دارای سیستم قاب خمشی و با هر گونه نامنظمی، استفاده از این ستون ها توصیه نمی شود زیرا تغییر مکان جانبی این سازه ها بیشتر از مقدار استاندارد آیین نامه خواهد شد.استفاده از ترکیب این ستون ها به همراه ستون های با نسبت ارتفاع به عرض مناسب در ساختمان های کوتاه و در ساختمان های بلندتر همراهی سیستم مهاربند با ترکیب ذکر شده می تواند مورد استفاده قرار گیرد. یکی از مهمترین پارامتر ها برای انتخاب عرض مناسب تامین شدن طول مهاری میلگرد های طولی تیر ها در این ستون ها می باشد که توصیه می شود عرض ستون را بیشتر از این طول در نظر گرفته گرفت. همچنین بایستی توجه شود که نحوه چیدمان و چگونگی قرارگیری و جهات استقرار و نسبت ابعادی ستو ن های کتابی از مواردی است که تاثیز بسزایی بر ملاحظات فنی و اقتصادی سازه خواهد داشت.

۶. مراجع

[۱] آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن۱۳۸۴.۷

[۲] مقررات ملی ساختمان ، مبحث نهم (طرح و اجرای ساختمانهای بتنی)/دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، معاونت نظام مهندسی و اجرای ساختمان وزارت مسکن و شهرسازی - نشر توسعه ایران-۱۳۸۷.

[۳] مستوفی نژاد، د.، (۱۳۸۷) سازه های بتن آرمه، جلد اول، چاپ هشتم،انتشارات ارکان،اصفهان.