

تقویت ستونهای دابل پاباز موجود ساختمانها با استفاده از بتن ریزی در حفره میانی

محمد محمدحسینی^۱، علی بیت اللهی^۱، هومن ابراهیم پور کومله^۳، امیرعباس یزدی زاده^۴

^۱ عضو هیأت علمی بخش زلزله شناسی مهندسی و خطرپذیری، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

^۳ دانشجوی دکتری سازه، دانشگاه شهید باهنر کرمان

^۴ کارشناس ارشد سازه

نویسنده مسئول: محمد محمدحسینی، Mmh365@yahoo.com

چکیده

بررسی ساختمانهای فولادی آسیب دیده از مجاورت گودبرداریها یا زلزله و حکایت از مشکلاتی در ظرفیت باربری ستونها بدلیل عواملی نظیر تغییر ضوابط آیین نامه‌ای، سهل انگاری در طراحی اولیه، ضعفهای اجرایی، تغییر در توزیع نیروها و دارد که جهت رفع این نقیصه با در نظر داشت آنالیز مجدد سازه، الزام به مقاوم سازی ستونها و دیگر اعضاء سازه‌ای در راستای سرویس دهی مجدد ساختمان الزامی است. اگر چه راههای متعددی در مقاوم سازی المانهای ستون نظیر افزودن مقاطع فولادی قوی تر یا تغییر نیروهای اعمالی و وجود دارد اما یکی از اقتصادی ترین و در عین حال ساده ترین روشها استفاده از مقطع کمپوزیت بتن و فولاد می باشد. این تحقیق که ظرفیت باربری و شکل پذیری مقطع فولادی مقاوم شده با بتن را بررسی نموده است نشان میدهد که ستونهای دابل پاباز پر شده با بتن تا هنگام گسیختگی به صورت الاستیک عمل می نمایند. این ستونها در محدوده الاستیک با افزایش قابل توجه ظرفیت باربری در مقایسه با ستون دابل پاباز بدون بتن مواجه هستند. حضور بتن در هسته میانی ستونها باعث کاهش تنش در ورق بست موازی در مرکز طولی ستونها میگردد که بیانگر تقویت یا افزایش ظرفیت باربری ستون دابل پاباز پر شده با بتن میباشد.

واژگان کلیدی: مقاوم سازی، ستونهای دابل پاباز، بتن، اجزاء محدود، شکل پذیری

۱- مقدمه

کردن داخل این ستونها با بتن جهت افزایش مقاومت آنها پیشنهاد و میزان کارایی آن بررسی گردد. بدین منظور پس از بررسی برخی از تحقیقات پیشین انجام شده در زمینه مقاوم سازی ستونهای پاباز به روش پر کردن داخل آنها با بتن، مدل سازی نرم افزاری و تحلیل عددی ستون فلزی پاباز قبل و بعد از پر شدن با بتن با هدف مقایسه ظرفیت باربری نهایی انجام گرفته است. امید است که با ارائه این گزارش بتوان با تکیه بر نتایج تحقیق در جهت تقویت عملکرد ستونهای پاباز موجود و مقاوم سازی مناسب آنها گام موثری برداشت.

۱-۱- اهمیت موضوع

ایران بر روی یکی از دو کمربند بزرگ لرزه خیز جهان موسوم به الپا قرار دارد که معمولاً زلزله‌های شدیدی در آن بوقوع می پیوندد. از سال ۱۳۴۰ تا کنون زمین لرزه‌های مختلف و در مواقعی ویران کننده مناطق مختلف کشور را با خسارت و تلفات

بررسی خرابی زلزله‌های اخیر نشان دهنده اعمال نیروهای شدید به سازه و اعضای سازه‌ای در هنگام وقوع زمین لرزه می باشد. ضعیف بودن ستونهای بعضی از ساختمانهای فولادی موجود در مقابل بارهای وارده (بویژه بارهای لرزه‌ای) یکی از مشکلات اساسی آنها و گاهاً عامل تخریب سازه‌ها می باشد.

بمنظور رفع چنین مشکلاتی که ناشی از عوامل مختلفی نظیر تغییر ضوابط آیین نامه‌ای، سهل انگاری در طراحی اولیه، ضعفهای اجرایی، تغییر در توزیع نیروها و می باشد می توان از طرحهای مقاوم سازی استفاده کرد.

تجربه زلزله‌های اخیر بویژه زلزله بم نشان می دهد که عملکرد ستونهای پاباز با بستهای موازی در مقابل بارهای لرزه ای وارده بسیار نامناسب بوده است. در این تحقیق سعی شده است یکی از روشهای مقاوم سازی ستونهای پاباز یعنی روش پر

برای ستون‌های پاباز پر شده با بتن تحقیقات پیشین محدود می‌باشد. Rai و Sahoo تحقیقات آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های ناودانی با بست موازی ارائه کردند [۹]. بر اساس نتایج اعلام شده آن‌ها با کاهش فاصله بست‌های موازی در انتهای طول به نصف آن ستون‌ها قادر به تحمل مقاومت خمشی مورد انتظار می‌باشند که این موضوع بدلیل تغییر منطقه پلاستیک از انتهای ستون می‌باشد.

در سال ۲۰۰۳ گروهی از محققین با انتخاب ستون‌های جداره نازک با سه نوع سطح مقطع دایره، مربع و مربع دارای سخت کننده و تحلیل نرم افزاری و آزمایشگاهی نمونه‌ها در دو حالت خالی و پر شده از بتن، افزایش جذب انرژی، مقاومت و شکل‌پذیری ستون‌ها را پس از پر شدن با بتن بررسی نمودند [۱۰].

تحقیقات آن‌ها نشان داد که مقاطع دایره‌ای اثر محصورشدگی بهتر بتن را خصوصاً در شرایطی که دارای نسبت قطر به

$$\left(\frac{D}{t} \leq 40\right)$$

ضخامت کم هستند. تامین می‌کنند در حالیکه در ستون‌ها با مقاطع مربع شکل اثر محصورشدگی بتن قابل توجه نیست خصوصاً در حالاتیکه نسبت عرض به ضخامت ستون زیاد

$$\left(\frac{B}{t} \geq 30\right)$$

است. بر همین اساس آنها نتیجه‌گیری کردند که جهت افزایش اثر محصور شدگی در ستون‌های مربع شکل پر شده با بتن بایستی مسلح کردن بتن مد نظر قرار گیرد که نتیجتاً اثر محصورشدگی به نحو قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و آن بسته به فاصله خاموتها و قطر آنها متغیر است.

در همین سال تحقیقات تحلیلی و آزمایشگاهی مشابهی بر روی ستون‌های باکس ساخته شده از ورقهایی که به هم جوش شده‌اند و تحت بار محوری قرار گرفته‌اند انجام شد [۱۱]. که نتایجی در مورد نحوه کمانش و عملکرد ترکیبی این ستون‌ها پس از پر شدن با بتن ارائه گردید. آن‌ها نیاز بیشتر به تحقیقات با در نظر داشت شرایط مرزی و تأثیر آن بر رفتار خیز بار ستون‌های پر شده با بتن را پیشنهاد دادند.

در سال ۲۰۰۵، مطالعاتی روی ۲۷ نمونه ستون فلزی جدار نازک پر شده با بتن توسط گروهی از محققین انجام شد [۱۲]. آنها با ساخت نمونه‌های ستون با مشخصات بتن استفاده شده متفاوت، به بررسی اثر تغییرات پارامترهای فنی بتن داخل ستون، بر مقاومت و رفتار ستون تحت بار محوری پرداختند. در نهایت مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج تحلیل عددی و نتایج حاصل از روش Euro code 4 صورت گرفت که این نتایج

سنگینی رو به رو کرده است که یکی از فاجعه‌بارترین آن‌ها زمین‌لرزه‌ی شهرستان بم می‌باشد.

بررسی‌های انجام شده روی ساختمان‌ها ویران شده و یا آسیب دیده در این زلزله نشان‌دهنده ضعف‌های عمیق اجرایی و یا محاسباتی موجود در آن‌ها می‌باشد. چنین مشاهداتی بیانگر نیاز به اصلاحات و دادن طرح‌های مقاوم‌سازی در مورد سازه‌های مهم نظیر مدارس و دیگر سازه‌های با اهمیت متوسط یا بالا می‌باشد.

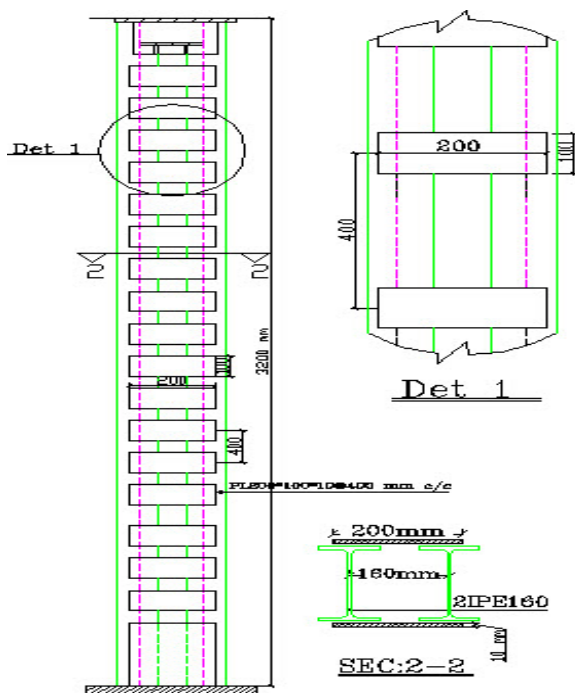
در مجموع مقاوم‌سازی ساختمان‌ها برای سازه‌های آسیب‌دیده در اثر زلزله یا گودبرداری، تغییر کاربری ساختمان (مانند مسکونی به آموزشی)، افزایش تعداد طبقات ساختمان موجود و در موارد نیاز به بروزرسانی طراحی سازه و تقویت سازه و ستون‌ها با توجه به تغییرات ضوابط آئین‌نامه‌ای قابل استفاده است. بنابراین مقاوم‌سازی ساختمان‌ها امروزه ضرورتی است که علاوه بر اینکه هزینه نیست بلکه سرمایه است.

مشاهدات حاصل از زلزله‌های رخ داده نشان می‌دهد بسیاری از ستون‌های پاباز با بست‌های موازی تحت بارهای لحظه‌ای در راستای بست‌های خود دچار کمانش شده‌اند. اگر چه این امر در اکثر موارد ناشی از عدم طراحی صحیح و یا اجرای نادرست است، اما به هر حال می‌توان چنین نتیجه گرفت این ستون‌ها در برابر بار زلزله بسیار ضعیف عمل می‌کنند. لذا بسیاری از صاحب‌نظران توصیه می‌کنند از این نوع ستون در قاب‌های خمشی هرگز استفاده نشود. اما در رابطه با ساختمان‌های ساخته شده با این نوع ستون‌ها چه باید کرد؟ آیا آن‌ها در مواقع بحرانی توانایی مقابله با بارهای وارده را دارند؟ اگر پاسخ منفی است چگونه بایستی با این امر مقابله کرد و به کمک این ستون‌ها آمد؟ مقاوم‌سازی ستون‌های پاباز با پر کردن آن‌ها از بتن چه تأثیری در ظرفیت باربری نهایی آن‌ها و عملکرد لرزه-ای‌شان دارد؟ در این گزارش سعی شده است که در جهت یافتن پاسخ مناسب به این سوالات تحقیق شود.

۱-۲- تحقیقات پیشین

یکی از روش‌های پیشنهادی برای مقاوم‌سازی و افزایش ظرفیت باربری ستون‌ها پر کردن آن‌ها از بتن است. مطالعات صورت گرفته در این مورد گسترده است به‌طوری‌که اکثراً در مورد تقویت ستون‌های باکس و با سطح مقطع مربع یا دایره‌ای جدار نازک، بوسیله پر کردن با بتن تحقیقات صورت گرفته است [۸-۱۱]

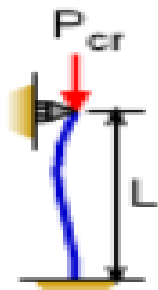
۱۶ سانتیمتر و ارتفاع ۳.۲۰ متر با فاصله بست های موازی ۴۰ سانتیمتر مرکز تا مرکز است (شکل ۱).



شکل ۱- تصویر ستون دابل با و بدون بتن

جهت بررسی و تحلیل مدل فوق از مدل مشابه [۱۳] که در فصل اول شرح داده شد، استفاده شد. بدین منظور ستون با مشخصات کاملاً مشابه ستون A1 مشابه فصل اول با نرم افزار ABAQUS مدل سازی شده است و با المان چهارگره ای Shell المان بندی گشته است. صفحات صلب ابتدا و انتهای ستون ها نیز مانند نمونه های آزمایش شده مدل سازی شدند. مدل های مورد مطالعه با اتصالات از نوع Pinned-Fixed مطابق شکل ۲ میباشند.

Pinned - Fixed



شکل ۲- اتصال نوع Pinned-Fixed

حاکمی از تطابق بار آزمایشگاهی گسیختگی با آنچه آیین نامه Euro code 4 برای ستون های خمشی تک محوره با حالت بارگذاری شده بصورت بار محوری و بار خروج از مرکز داشت اما برای حالت ستونهای خمشی دو محوره بار پیش بینی شده توسط آیین نامه Euro code 4 بالاتر و غیر مطمئن نشان داد.

در سال ۲۰۰۹ گروهی از محققین با آزمایش ستونهای پاباز با بست موازی در دو حالت خالی و پر شده با بتن، تحت بار محوری و مقایسه نتایج با تحلیل عددی نرم افزاری انجام شده تاثیر پر شدن ستون با بتن در باربری نهایی، همخوانی مناسب نتایج آزمایشگاهی و تحلیل عددی، اثرات تغییر فواصل بست ها در بار نهایی و عملکرد ستون را بررسی کردند [۱۳]. آنها نتیجه گیری کردند که پر کردن ستونهای دابل با بتن با افزایش ظرفیت باربری بین ۴۲ تا ۵۵ درصد و سختی قابل ملاحظه و بدون افزایش قابل ملاحظه ای در قیمت خواهد شد.

در سال ۲۰۱۲، Patil ستونهای با مقطع دایره ای جدارنازک پر شده با بتن را مدل سازی و تحت بار محوری تحلیل عددی کرد و نتایج خود را با نتایج روش Eurocode 4 و نتایج تحقیقات آزمایشگاهی Zeghiche و Chaoui مقایسه نمود [۱۴]. همچنین شرایط و نحوه انتقال نیروها بین فولاد جداره و بتن هسته مورد مطالعه قرار گرفت. مقایسه بار آزمایشگاهی گسیختگی با بار نهایی پیش بینی شده آیین نامه Eurocode تطابق قابل قبولی را ارائه داد.

خلخالیها و رزاقی عملکرد ستونهای با بست موازی را در مناطق زلزله خیز با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی مطالعه و جهت به سازی این ساختمان ها با پر کردن هسته داخلی ستون های آن با بتن برای ایجاد ستون مختلط پیشنهاد دادند [۱۵]. نتایج تحلیل آن ها نشان می دهد به سازی ساختمان با روش پیشنهادی باعث بهبود قابل توجه سطح عملکرد سازه در هر دو جهت می شود.

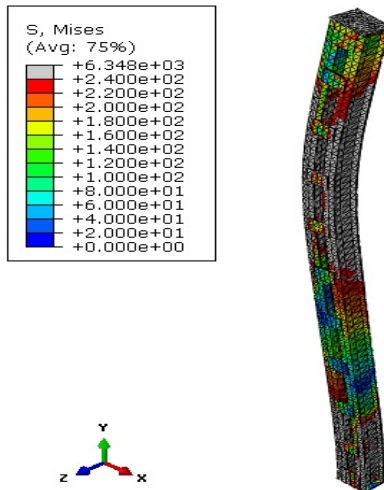
۲- روش تحقیق

جهت تحقیق از روش اجزای محدود با اعتبارسنجی آن با نمونه های قبلی تأیید شده استفاده شد. در این فصل با توجه به نیاز به ارائه تحقیق کاربردی، مدل ستون پاباز متداول در طراحی سازه های فلزی ایران در نظر گرفته شده است. این مدل ستونی متشکل از دابل IPE160 با فاصله مرکز تا مرکز

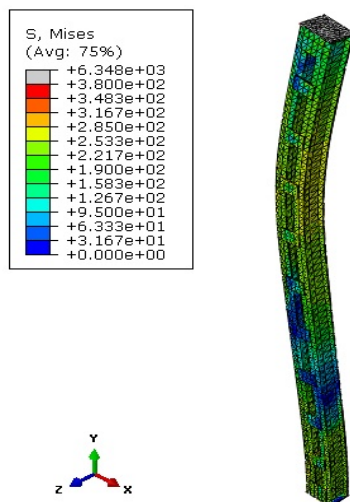
عملیات بار دیگر بر روی ستون مشابه که با بتن پر و مدل‌سازی شده (ستون B1A1) تکرار شده است. در ادامه نتایج تحلیل اجزای محدود صورت گرفته ارائه و با نتایج بدست آمده تحقیقات سال ۲۰۰۹ مقایسه شده اند.

۳- تحلیل مدل کاربردی

پس از آنالیز المان‌های تعریف شده اشکال تغییر مکان و مقادیر مربوط به تغییر مکان‌ها و کرنش منطبق بر بارهای مربوطه استخراج و ارائه گردید. در همین راستا وضعیت تغییرات تنش-کرنش در بست‌های موازی مورد ارزیابی واقع شد. جهت مقایسه بهتر تغییرات مذکور در بست‌های واقع در پای ستون و در مقطع میانی ارائه شده است. شکل‌های ۳ تا ۹ بیانگر تغییر شکل ستون مورد نظر در حالات تسلیم و بار نهایی است.



شکل ۳- ستون دابل پاباز در حالت تسلیم فولاد (□□)



شکل ۴- ستون دابل پاباز در حالت نهایی فولاد (□□)

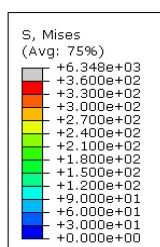
جهت مدل‌سازی در نرم‌افزار از المان C3D10 و مشخصات فولاد و بتن به شرح زیر استفاده شده است. نوع المان:

C3D10 (10-node quadratic tetrahedron)
مشخصات مصالح:

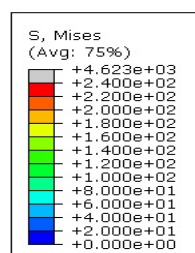
فولاد:

Elastic-Plastic with strain hardening
بتن:
Damage Plasticity

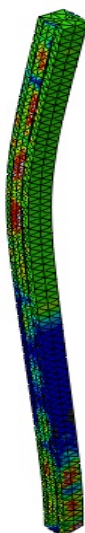
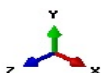
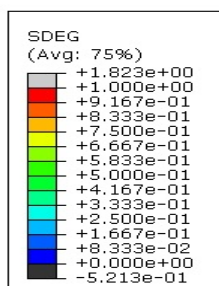
در ابتدا با توجه به تحقیق تقریباً مشابه [۱۳] جهت اعتبارسنجی نرم‌افزار مورد استفاده پروسه مدل‌سازی و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت و نتایج مدل حکایت از تطابق کامل با آنچه در مقاله مورد بررسی مبنا ارائه شده دارد. اگر چه در تحقیق انجام شده [۱۳] نتایج بار نهایی مدل‌های بارگذاری شده نرم‌افزاری و آزمایشگاهی با اختلاف حدود ۱۰٪ قابل رویت است که این اختلاف عمدتاً ناشی از تعریف شرایط مرزی بوده است. در هر دو روش آزمایشگاهی و تحلیل عددی افزایش قابل توجه ظرفیت باربری ستون دابل فلزی پس از پر شدن بتن قابل مشاهده است. برای ستون B1A1 افزایش ۴۲٪ و برای ستون C1A2 افزایش ۵۵٪ باربری نهایی پس از پر شدن ستون دابل پاباز با بتن نتیجه شد. همچنین با ملاحظه نمودار کرنش بتن و فولاد آزمایش شده و نیز با کنترل نتایج نرم‌افزاری عملکرد مناسب ترکیبی بتن و فولاد در محل تماس مصالح، در سطح مقطع ستون دیده شد. با توجه به نتایج تحلیلی، مشخص شد که تعریف نوع اندرکنش تماسی بتن و فولاد (Merged-contact) در نتایج باربری نهایی تأثیر چندانی ندارد. با وجود اینکه بارگذاری آزمایشگاهی به صورت بار محوری خالص انجام گرفت، بهترین هم خوانی نتایج عددی و آزمایشگاهی همانطور که تحقیقات پیشین نشان داده بود، در تحلیل با خروج از مرکزیت ۱ میلی‌متر بدست آمد که این امر تأییدکننده استفاده از خروج از مرکزیت حداقل آئین‌نامه‌هاست. با توجه به نتایج قابل قبول اعتبار سنجی نرم‌افزار مورد استفاده سه تیپ ستون مدل‌سازی شدند. در مدل اول ستون دابل پاباز با بست موازی و در دو مدل دیگر همان ستون بصورت پر شده با بتن C25 و C35 مد نظر قرار گرفت. جهت مدل با استفاده از نرم‌افزار از نمودارهای اندرکنش بتن و فولاد مورد استفاده در تحقیق قبلی [۱۳] استفاده شد. بارگذاری به صورت فشاری روی مدل اعمال شده و تا لحظه رسیدن به بار نهایی ادامه یافته است. این



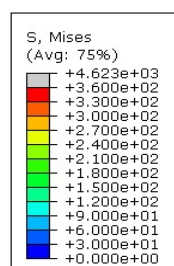
شکل ۸- کمانش ستون دابل پاباز پر شده با بتن C ۳۵



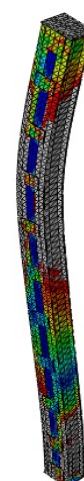
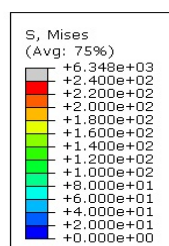
شکل ۵- تشکیل مفاصل پلاستیک در ستون دابل پاباز پر شده با بتن C ۲۵



شکل ۹- کمانش بتن هسته مرکزی ستون دابل پاباز پر شده با بتن C ۳۵



شکل ۶- کمانش ستون دابل پاباز پر شده با بتن C ۲۵

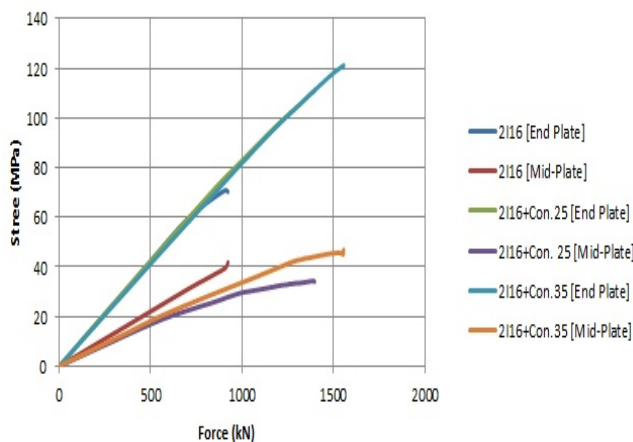


شکل ۷- تشکیل مفاصل پلاستیک در ستون دابل پاباز پر شده با بتن C ۳۵

اشکال ۳ و ۵ و ۷ نشان‌دهنده موقعیت تشکیل مفاصل پلاستیک در ستون هستند که با رنگ خاکستری در پای ستون و موقعیت تقریباً برابر ۰.۷۰ طول از بالای ستون است. اشکال ۴ و ۶ و ۸ نشان‌دهنده کمانش نهایی ستون پر شده با بتن است که تقریباً موقعیتی معادل را نشان می‌دهند. البته با توجه به اثرات محدودشدگی بتن تغییرات مقاومت چندان در کمانش نهایی مؤثر نشان نمی‌دهد.

جهت بررسی شکل‌پذیری المان‌های مورد مطالعه نمودار بار- تغییر مکان در دو حالت ستون پر شده با بتن ۱۶۰ IPE ۲ FILLED و ۱۶۰ IPE ۲ FILLED (C250kg/cm²) و ستون دابل پاباز ۱۶۰ IPE ۲ شده (C350kg/cm²) و ستون دابل پاباز ۱۶۰ IPE ۲ ارائه شده است. لازم بذکر است از بتن با رده C25 و C35 جهت

نشان‌دهنده تغییرات تنش-کرنش در بست‌های موازی پای ستون و در محدوده میانی ستون با تغییرات مقاومتی بتن است.



شکل ۱۱- تغییرات تنش در بست‌های موازی در میانه و پای ستون

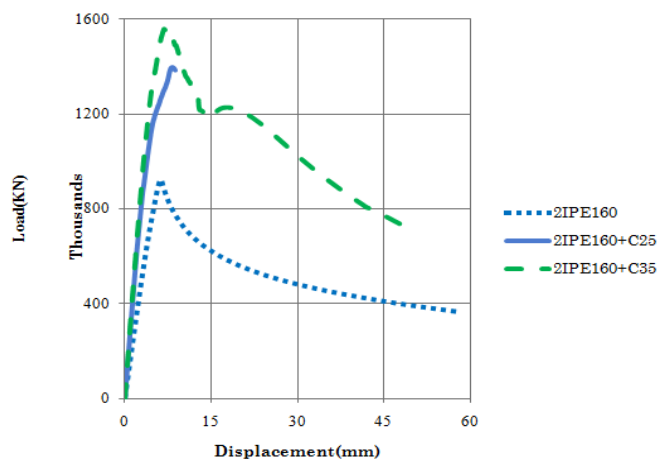
نمودار فوق بیانگر این است که حضور بتن در هسته میانی ستون‌ها باعث کاهش تنش در ورق بست موازی در مرکز طولی ستون‌ها می‌گردد که این موضوع بیانگر تقویت عملکرد ستون دابل پاباز پر شده با بتن می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق که اثر پرشدگی بتن در مقاطع دابل پاباز ستون بررسی شده است پس از اعتبار سنجی نرم‌افزار abaqus با تحقیق مشابه، سه مقطع ستون 2IPE160 FILLED (C250Kg/cm²) و 2IPE160 FILLED (C350Kg/cm²) و ستون دابل پاباز 2IPE160 مدل و نتایج آنالیز به شرح زیر است:

نتایج نمودار بار- تغییر مکان ستون‌های دابل پاباز پر شده با بتن از عملکرد الاستیک این مقاطع تا هنگام گسیختگی نشان می‌دهد. اگر چه این ستون‌ها در محدوده الاستیک با افزایش قابل توجه ظرفیت باربری در مقایسه با ستون دابل پاباز بدون بتن روبرو هستند اما در بعد شکل‌پذیری بصورت مقطع انفرادی عملکرد ضعیف‌تری را نشان می‌دهد در حالیکه با افزایش ظرفیت باربری ستون‌های تقویت شده، بواسطه اینکه در برگیرنده مبحث ستون قوی در مقابل تیر ضعیف می‌باشد افزایش شکل‌پذیری سازه و ضریب رفتار سازه کل مجموعه را به نحوه قابل قبولی افزایش می‌دهد ضمن اینکه اثر این افزایش سختی در رفتار سایر طبقات باید مد نظر قرار گیرد. اضافه شدن بتن در هسته میانی ستون‌ها باعث کاهش تنش یا

مقاوم‌سازی استفاده شده است. شکل ۱۰ نشان‌دهنده نمودار بار- تغییر مکان دو مقطع مورد مطالعه است.



شکل ۱۰- نمودار بار- تغییر مکان

بر اساس شکل ۱۰ ستون‌های دابل پاباز پر شده با بتن به صورت الاستیک تا هنگام گسیختگی عمل می‌نماید. اگر چه این ستون‌ها در محدوده الاستیک با افزایش قابل توجه ظرفیت باربری در مقایسه با ستون دابل پاباز بدون بتن عملکرد خوبی نشان می‌دهد اما در بعد شکل‌پذیری به تنهایی عملکرد ضعیف‌تری را نشان می‌دهد.

از نگاه دیگر چنانچه مقاوم‌سازی به صرف افزایش ظرفیت باربری مد نظر باشد در مجموعه کل سازه عملکردهای فوق در برگیرنده مبحث ستون قوی در مقابل تیر ضعیف می‌باشد که شکل‌پذیری کل مجموعه را به نحوه قابل قبولی افزایش می‌دهد. همانگونه که در شکل ۱۰ محرز است افزایش مقاومت بتن تأثیر چندانی بر رفتار بار- تغییر مکان در محدوده الاستیک ندارد. ضمن اینکه حضور بتن در مقایسه با پروفیل دابل پاباز بدون بتن باعث افزایش قابل ملاحظه باربری المان‌ها می‌گردد. از طرفی شیب نمودارهای بار- تغییر مکان هر سه مقطع با افزایش مقاومت بتن تغییرات اندکی دارد در حالیکه در مقایسه با پروفیل دابل پاباز بدون بتن افزایش سختی را شاهد هستیم. در نتیجه در ساختمان‌های چند طبقه جهت فائق آمدن بر مشکلات مربوط به طبقه نرم (Soft Story) یا طبقه ضعیف (Weak Story) شیوه مقاوم‌سازی ستون‌ها با پرکردن مقاطع با بتن اثر قابل توجهی بر افزایش سختی طبقه دارد که بایستی تأثیر آن بر سایر طبقات نیز لحاظ و مد نظر قرار گیرد. با توجه به اینکه از اهم اهداف این مطالعه بررسی وضعیت و تغییرات تنش در بست‌های موازی است شکل ۱۱

ASCE, Vol. 122, pp. 1169-1177.

[8] Zhang, W., Shahrooz, B., 1999, Comparison between ACI and AISC for concrete-filled tubular columns, J. Struct. Eng. ASCE, Vol. 125, pp. 1213-1223.

[9] Sahoo, Dipti, R., Rai, Durgesh, C. 2007, Built-up batten columns under lateral cyclic loading, Thin-Walled Structures, Vol. 45, pp. 552-562

[10] Hu, H.T., Huang, C.S., 2003, Nonlinear Analysis of Axially Loaded Concrete-Filled Tube Columns With Confinement Effect, Journal of Structural Engineering, ASCE.

[11] Mursi, M., Uy, B., 2003, Strength of Concrete Filled Steel Box Columns Incorporating Interaction Buckling, J. Struct. Eng., ASCE.

[12] Zeghiche, J., Chaoui, K., 2005, An Experimental Behaviour of Concrete Filled Steel Tubular Columns, Journal of Constructional Steel Research.

[13] Szmigiera, E., Kwasniewski, L., Siennick, M., 2009, Experimental and Numerical Investigation of Two Chord Steel Columns Filled with Concrete Architecture Civil Engineering Environment.

[14] Patil, V.P., 2012, Finite Element Approach to Study The Elastic Instability of concrete Filled Steel Tubular Column under Axial Load, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol.2.

[۱۵]. خلخالی‌ها، محمد، سید رزاقی، مهران، ۱۹۹۱، بررسی

ساختمان فولادی با ستون‌های با بست موازی به روش تحلیل

استاتیکی غیرخطی و پیشنهاد روشی جدید برای بهسازی آن.

اولین کنفرانس ملی بهسازی و مقاوم سازی بافت‌های شهری در

مجاورت گسل‌های فعال. تبریز، ایران.

افزایش ظرفیت باربری در ورق بست موازی در مرکز طولی ستون‌ها می‌گردد که این موضوع بیانگر تقویت عملکرد ستون دابل پاباز پر شده با بتن می‌باشد.

تقدیر و تشکر:

نویسندگان این مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود از اداره کل نوسازی مدارس استان کرمان به لحاظ فراهم آوردن زمینه این تحقیق بر مبنای قرارداد شماره ۵۱۲-۷/۹۲/۱ را اعلام می‌دارند.

۵- مراجع

[1] Ge, Usami, H. T., 1994, Strength analysis of concrete-filled thin-walled steel box column, J. Constr. Steel Res., Vol. 30, pp. 259-281.

[2] Schneider, S. P., 1998, Axially loaded concrete-filled steel tubes, J. Struct. Eng., ASCE, Vol. 124, pp. 1125- 1138.

[3] Shams, M., Saadeghvaziri, M. A., 1999, Nonlinear response of CFT columns under axial load", Struct. J. ACI, Vol. 96, pp. 1009-1017.

[4] Uy, B., 2000, Strength of concrete filled steel box columns incorporating local buckling, J. Struct. Eng., ASCE, Vol. 126, pp. 341-352.

[5] Usami, T., Ge, H., 1994, Ductility of concrete-filled steel box columns under cyclic loading, J. Struct. Eng., Vol. 120, pp. 2021-2039.

[6] Shams, M., Saadeghvaziri, M. A., 1997, The state-of-the-art of concrete-filled steel tubular columns, Struct. J. ACI, Vol. 94, pp. 558-571.

[7] Ge, H., Usami, T., 1996, Cyclic tests of Concrete-Filled Steel box columns, J. Struct. Eng.