

مطالعه آزمایشگاهی تاثیر بتن و شبکه های آرماتور افقی چشمه اتصال در رفتار لرزه ای قاب های فولادی CFT

مهدی علیزاده نودری^۱، امید رضایی فر^{۲*}، مجید قلهکی^۳

۱. دانشجوی دکتری سازه، دانشگاه سمنان
۲. استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان
۳. استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

*orezayfar@semnan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۱۷

چکیده

استفاده از سخت کننده های خارجی برای جایگزینی با ورق های پیوستگی مورد توجه پژوهشگران و مهندسان طراح قرار گرفته است و تاکنون اشکال مختلفی از آن ارائه شده است. نتایج تحقیقات گذشته نشان داده که سخت کننده های خارجی جایگزین مناسبی برای ورق های پیوستگی هستند. در این پژوهش به بررسی رفتار قاب های فولادی با ستون های قوطی شکل خالی و پر شده با بتن پرداخته شده است. از طرفی برای بررسی تاثیر استفاده از سخت کننده های خارجی و شبکه های آرماتور افقی در قاب، تمامی اتصال قاب دو طبقه و دهانه تحقیق حاضر از این نوع انتخاب شده است. نتایج بررسی ها نشان می دهد که استفاده از بتن سبب بهبود مقاومت اتصال به علت کاهش کماتش ورق های ستون شده است، ولی شکل پذیری کاهش نشان می دهد. در تمامی نمونه ها از سخت کننده های خارجی استفاده شده است و همانطور که انتظار می رفت مفصل پلاستیک را به داخل تیر منتقل کرده و سبب فراهم نمودن ایده تیر ضعیف - ستون قوی شده است. در بخشی دیگر از پژوهش، رفتار قاب با ستون های فولادی پر شده با بتن و حضور شبکه های آرماتور افقی چشمه اتصال مورد بررسی قرار گرفته است که نشان دهنده تاثیر آن در بهبود رفتار قاب است. استفاده از بتن در مقاطع فولادی سبب می شود مقاومت بتن بیشتر شود اما از آنجایی که در قاب با ستون CFT از تیرهایی با مقاطع ضعیف تر استفاده شده اندکی کاهش نشان می دهد و یا افزایش چندانی نشان نمی دهد که علت آن استفاده از ویژگی های بتن در فشار و فولاد در کشش است. از طرفی حضور بتن سبب کاهش کماتش ورق ستون می شود، علاوه بر این مقاطع پیرامونی بتن سبب محصورشدگی بتن و افزایش مقاومت و جذب انرژی سازه می شود.

واژگان کلیدی: قاب فولادی، CFT، شبکه آرماتور افقی، سخت کننده خارجی، منحنی پوش.

۱- مقدمه

به وزن بالا که فضای کمتری را اشغال نمایند مورد توجه محققان قرار گرفته است. یکی از مقاطعی که برای نیل به هدف مذکور مورد توجه پژوهشگران و مهندسان قرار گرفته است، ستون های مرکب و بطور خاص فولادی پر شده با بتن (CFT) است. این با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و کمبود فضای ساخت، استفاده از ساختمان های بلند مرتبه در سرتاسر جهان امری است اجتناب ناپذیر، بر همین اساس استفاده از مقاطع با نسبت مقاومت

ستون‌ها از مزایای ذاتی فولاد و بتن بطور با هم بهره می‌برند و همچنین دارای مزایایی از قبیل حذف قالب‌بندی ستون در ساخت، فراهم نمودن شرایط کامل محصورشوندگی برای بتن، جلوگیری از قلوه‌کن شدن و کنده شدن قطعه‌های بتنی از پروفیل فولادی ستون و به تاخیر افتادن کمانش غلاف فولادی بواسطه حضور بتن نسبت به سایر ستون‌های مرکب مرسوم شده هستند. همچنین CFT ها مقاومت، سختی جانبی و شکل‌پذیری بیشتری نسبت به ستون‌های بتن مسلح با ابعاد یکسان دارند.

نسیم بیگ و همکاران [1] در سال ۲۰۰۶ مطالعه‌ای آزمایشگاهی بر روی رفتار ستون‌های CFT کوتاه تحت بار فشاری خالص انجام دادند و پارامترهای آزمایش، شکل جدار فولادی و نسبت قطر به ضخامت بوده است. پس از انجام آزمایش، رفتار و مقاومت ستون‌های CFT و HSS با روابط پیشنهادی توسط جیاکوملیس و لم [2] مقایسه شد و رفتار نیرو-تغییر شکل نیز با نتایج یوهانسن و گیلنوت [3] مقایسه شده است. علاوه بر این تاثیر محصورکنندگی جدارهای فولادی روی مقاومت بتن و تاثیر مقاومت بتن روی کمانش موضعی جدار فولادی بررسی، و نتایج نشان داده که مقاومت چسبندگی تاثیری روی مقاومت فشاری ندارد. این امر به این دلیل است که هیچ لغزشی بین هسته بتن و جدار فولادی رخ نمی‌دهد. ناردین و دیس [4] در سال ۲۰۰۷ به بررسی دقیق بعضی از آئین‌نامه‌ها در پیش‌بینی ظرفیت فشاری و تحلیل رفتار مصالح برای اعضای CFT پرداختند. آن‌ها حداکثر ظرفیت بار فشاری خالص نمونه‌ها را بررسی نمودند و همچنین مود تسلیم آن‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. هدف اصلی این تحقیق، مطالعه تاثیر شکل مقطع و ضخامت جدار فولادی روی ظرفیت باربری و رفتار ستون CFT بود. نتایج در قالب نیروهای تسلیم، رفتار و شکل‌پذیری ستون‌ها ارائه شده است. مشاهده شده که بارنهایی در ستون مربع شکل از سایر نمونه‌ها بیشتر و شکل‌پذیری بیشتری نیز مربوط به ستون دایره‌ای است. علاوه بر این نتایج نشان داد که ضوابط در آئین-نامه‌های یوروکد ۴، NBR8800 و AISC تخمینی محافظه‌کارانه در مورد ظرفیت فشاری نمونه‌ها بین ۵٪ تا ۱۷٪ می‌دهد. لیو و جی [5] در سال ۲۰۰۳ ظرفیت فشاری ستون‌های مستطیلی شکل CFT کوتاه با بتن پرمقاومت را به صورت آزمایشگاهی بررسی

نمودند. نتیجه مهم این تحقیق این بود که ظرفیت فشاری نمونه‌ها با افزایش نسبت ابعادی سطح مقطع کاهش پیدا می‌کند. اوسامی و گه [6] در سال ۱۹۹۲ و کوان و سونگ [7] در سال ۱۹۹۸ بیشتر به صورت تجربی تاثیر این سخت‌کننده‌ها را بر رفتار ستون‌های CFT مربع شکل بررسی کردند. با توجه به نتایج، مقاومت نهایی به دلیل سخت‌کننده‌های طولی افزایش می‌یابد. با این وجود، این روش همچنان منجر به افت شدید مقاومت در محدوده‌ی پس از کمانش می‌شود. لین و همکاران [8] در سال ۱۹۹۳ دریافتند که اگرچه طرح سخت‌کننده‌ها تاثیری در مقاومت ندارد، اما این امر باعث بهبود شکل‌پذیری ستون‌های مربع شکل CFT می‌شود. آن‌ها در مطالعه عددی در برنامه المان محدود آباکوس، از تماس نوع اصطکاکی با ضریب اصطکاک ۰/۲۵ بین جدار فولادی و بتن استفاده کردند. مطالعه عددی آن‌ها نشان داده که طرح و آرایش سخت‌کننده‌ها می‌تواند در ستون‌های مربعی CFT کمانش موضعی را به تاخیر بیاورد.

دینگ و همکاران [9] در سال ۲۰۱۷، رفتار ستون‌های CFT مربع شکل را تحت بار فشاری خالص به صورت آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار دادند. نتایج در قالب ظرفیت باربری نهایی، شکل‌پذیری و تاثیر محصورشوندگی بحث شده است. همچنین دریافت شد که تعبیه یک مقطع فولادی در داخل هسته بتن می‌تواند از بروز ترک‌های برشی جلوگیری نماید. همچنین نسبت مقاومت به وزن برای ستون‌های CFT مسلح شده با پروفیل فولادی بیشتر از حالت بدون تعبیه پروفیل در داخل هسته بتنی بوده است.

دینگ و همکاران [10] در سال ۲۰۱۷ به بررسی روش و راهکاری جدید با تعبیه شکاف با آرایش‌های مختلف در بدنه جدار فولادی ستون‌های CFT مربعی شکل تحت بار فشاری خالص پرداختند. پاسخ‌ها در قالب رفتار نیرو-کرنش، مقاومت فشاری ستون و تاثیر محصورشوندگی بحث شده و نتایج نشان داده که نمونه‌های با شکاف، مودهای تسلیم کاملاً متفاوتی با نمونه‌های سالم دارند. همچنین نتایج نشان داد که نمونه‌های دارای نقص اولیه با شکاف دارای عملکرد پایین‌تری نسبت به ستون‌های سالم هستند.

رضائی‌فر و یونسی [11] در سال ۲۰۱۷ به مطالعه تجربی ۱۰

نمونه اتصال با استفاده از ورق‌های پیوستگی بیرونی و درونی و نیز شبکه‌ی میلگرد در داخل چشمه اتصال پرداختند. آن‌ها در مطالعه خود، چهار نمونه ستون فولادی توخالی و شش نمونه ستون CFT را مورد آزمایش و بارگذاری چرخه‌ای قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که نمونه‌های با سخت‌کننده بیرونی در هر دو حالت ستون توخالی و پر شده با بتن شرایط و پارامترهای لرزه‌ای را تامین می‌کنند و مفصل پلاستیک از لبه ستون به دلیل شکل خاص سخت‌کننده دور می‌شود. بنابراین، سخت‌کننده‌های خارجی پیشنهاد شده در این تحقیق می‌تواند جایگزین مناسبی برای اتصال با ورق‌های پیوستگی باشد.

ژائو و همکاران [12] در سال ۲۰۱۶ به مطالعه آزمایشگاهی رفتار کششی ستون‌های CFT با مقطع مربع شکل پرداختند. نتایج نشان داد که ستون‌های مربع CFT دارای سختی کششی بیشتری از ستون‌های توخالی مربعی به میزان ۳۱/۸٪ هستند. دلیل افزایش سختی کششی در این دانسته شد که ترکیبی از تاثیر سخت شونده‌ی محصور شونده^۱ و سخت شونده‌ی کششی^۲ باعث این امر می‌شود. تاثیر سخت شونده‌ی محصور شده به دلیل وضعیت تنش کششی دو محوره جدار فولادی ناشی از محصورکنندگی جدار فولادی به بتن است.

وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ [13] به مطالعه رفتار چرخه‌ای ستون‌های CFT مربعی با استفاده از تعبیه نمودن میلگردهایی در داخل ستون در طول ارتفاع پرداختند. نتایج نمونه‌های آزمایشگاهی نشان داد که نمونه‌های تقویت شده با میلگرد دارای ظرفیت باربری، سختی و ظرفیت شکل‌پذیری بیشتر و ظرفیت جذب انرژی بهتری دارند. همچنین، کماتش موضعی اولیه برای نمونه‌ها با میلگرد به طور چشمگیری به تاخیر می‌افتد. علاوه بر این، ظرفیت باربری جانبی، ظرفیت شکل‌پذیری نهایی، ظرفیت جذب انرژی و سختی نمونه‌هایی که با میلگرد تقویت شدند با کاهش فاصله بین میلگردها بیشتر و بهتر می‌شود. ظرفیت شکل‌پذیری نهایی با افزایش سطح بار، کاهش می‌یابد. در حالی که جذب انرژی رابطه مستقیمی با سطح بار از خود نشان می‌دهد.

هررا و همکاران [14] در سال ۲۰۰۴ به مطالعه آزمایشگاهی

قاب متشکل از ستون‌های CFT تحت بار لرزه‌ای پرداختند. برای شبیه‌سازی اثر زلزله بر قاب آزمایشگاهی، از روش کنترل تغییر مکانی شبه استاتیکی استفاده شد. در این روش، تغییر مکان‌ها از طریق تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی بدست آمدند. نتایج تحت تحلیل نشان داد که قاب در اثر زلزله‌های سطح DBE افت مقاومتی نداشته در حالی که برای زلزله سطح MCE بدون فروریزش سازه دچار افت مقاومت شده است. مفصل پلاستیک نیز تنها در نواحی نزدیک به انتهای تیر و در ناحیه اتصال و در پای ستون‌های طبقه اول ایجاد شدند. جینگ [15] در سال ۲۰۱۵ به مطالعه آزمایشگاهی رفتار لرزه‌ای قاب‌های مرکب CFT پرداختند. پارامترهای اصلی در این پژوهش، نسبت نیروی محوری فشاری ستون و نسبت سختی الاستیک و لاغری تیر به ستون بودند. نتایج حاکی از عملکرد مناسب این نوع سیستم در مناطق لرزه‌ای داشت. در این تحقیق یک مدل قاب با مقیاس یک‌دوم یک دهانه یک طبقه ساخته شد. این مقیاس به دلیل جنبه‌های اقتصادی و تجهیزات آزمایشگاه و نیز ساده بودن مدل در نظر گرفته شده است. هشت قاب با ابعاد مختلف تیر و ستون ساخته شدند. کین و همکاران [16] در سال ۲۰۱۴ به مطالعه تجربی دو نمونه اتصال با دیافراگم جدید تیر به ستون CFT تحت بارگذاری چرخه‌ای پرداختند و از دو ورق دوزنقه‌ای شکل در دو طرف بال بالا و پایینی تیر برای عریض‌تر کردن بال در نزدیکی اتصال استفاده کردند. مقاومت اتصال‌ها در هر دو نمونه بیشتر از ظرفیت خمشی پلاستیک کامل تیر فولادی بوده و رفتار هیستریزس نمونه‌ها نیز هیچ باریک شدگی‌ای را نشان نداده است. دوو همکاران [17] در سال ۲۰۱۲ به مطالعه تجربی قاب مرکب (فولاد مدفون شده در بتن) تک دهانه دو طبقه با ستون CFT پرداختند. عملکرد قاب در قالب مود تسلیم، شکل‌پذیری، قابلیت جذب انرژی، تغییر شکل‌های ماندگار و ظرفیت باربری بررسی شد. کاواگوچی و همکاران [18] در سال ۲۰۰۲ تحقیقی آزمایشگاهی روی قاب پرتال متشکل از تیر فولادی I-شکل و ستون‌های مربع شکل CFT تحت بارگذاری چرخه‌ای انجام دادند. نتایج نشان داد که کماتش موضعی تاثیری بر پاسخ چشمه اتصال نداشت. دو نمونه نیز تحت بار ۳۰٪ نیروی محوری مجاز

قوطی تو خالی (HSS)، قوطی پر شده با بتن (CFT) و قوطی پر شده بتن به همراه شبکه های آرماتور افقی بطور آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته اند و پارامترهای مختلف اعم از مقاومت، شکل پذیری، سختی، جذب انرژی و رفتار چرخه ای آنها بررسی شده است. علاوه بر این تاثیر حضور بتن و شبکه های آرماتور افقی نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱ نمونه های آزمایش

در تحقیق حاضر برای بررسی رفتار لرزه ای قاب های خمشی با ستون قوطی شکل و تیرهای فولادی I شکل، سه نمونه با مشخصات ارائه شده در جدول (۱) مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق برای بررسی تاثیر پر نمودن مقاطع قوطی شکل ستون با بتن و حذف ورق های پیوستگی و جایگزینی آن با شبکه های آرماتور افقی در چشمه اتصال (۶ میلیگرد افقی در هر دو امتداد مقطع ستون)، ستون ها با بتن پر شده اند و در محل چشمه اتصال از شبکه های آرماتور افقی استفاده شده است. با توجه به اینکه مدل های مورد بررسی برگرفته از جزئیات اجرایی سازه واقعی است برای انجام آزمایش هایی از مقیاس ۰/۳۷ استفاده شده است تا هم قابلیت آزمایش در آزمایشگاه را داشته باشد و هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. در شکل و جدول (۱) جزئیات نمونه های مورد بررسی ارائه شده است.

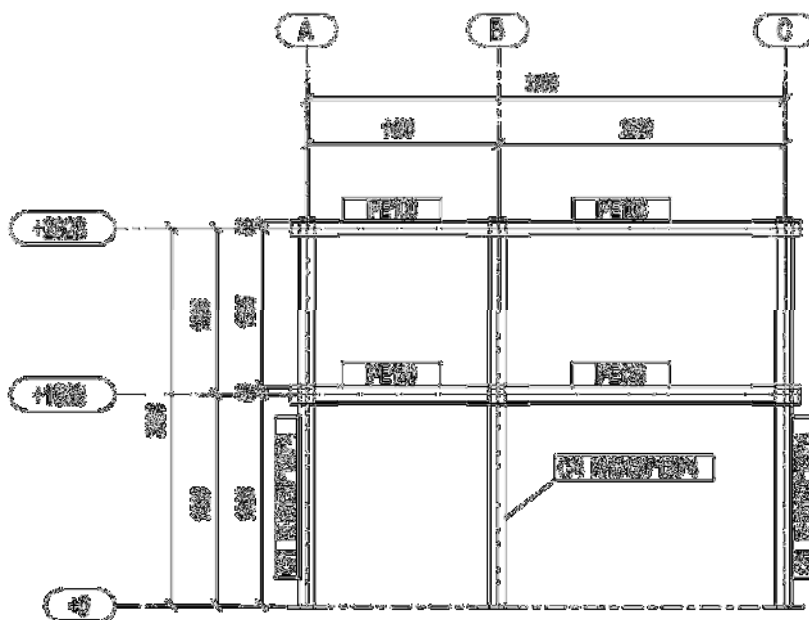
ستون CFT قرار گرفتند که تسلیم ستون در این نمونه ها از کماتش موضعی تبعیت نمود. تسلیم در چشمه اتصال نیز تابعی از کماتش برشی آن است. با این وجود برای هر دو قاب، افت مقاومت قابل ملاحظه ای مشاهده نشد و رفتار پس از بار بیشینه آن ها شکل پذیرتر و پایدار شد. در پایان چنین نتیجه گرفته شد که کماتش موضعی انتهای ستون و کماتش برشی چشمه اتصال تاثیری قابل ملاحظه بر مقاومت قاب ندارد. لای و همکاران [19, 20] در سال ۲۰۱۷ به بررسی رفتار قاب های خمشی با شکل پذیری ویژه با ستون های CFT تحت آنالیز لرزه ای پرداختند. برای مدل سازی اعضا از مقاطع فایبر و برای اتصال از المان های فنر استفاده کردند. در مطالعه ای جالب تیلور و همکاران [21] در سال ۲۰۱۷ به مطالعه ای مقایسه ای بین رفتار یک ساختمان فولادی با سیستم قاب خمشی با شکل پذیری متوسط و یک ساختمان فولادی با دو نوع ستون CFT مربع و دایره ای تحت بار لرزه ای پرداختند. در این مطالعه دو نوع بارگذاری استاتیکی و دینامیکی به سازه اعمال شد و عملکرد لرزه ای و هزینه ساخت آن ها با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان داده که استفاده از ستون های CFT مربعی، درصد دریافت سازه را نسبت به دو سیستم دیگر بیشتر کاهش می دهد. هنرور و همکاران [22] به ارزیابی رفتار قاب های خمشی با ستون های کامپوزیت CFT تحت بارهای لرزه ای پرداختند تا به شناختی از رفتار آنها و همچنین چگونگی تعیین ضریب رفتار قاب های مذکور بپردازند. در تحقیق حاضر سه نمونه قاب دو دهانه و دو طبقه با ستون های

جدول ۱. مشخصات نمونه ها

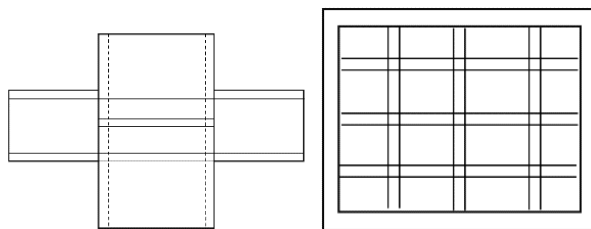
Connections	Column	Beam	Specimen's name
External Stiffener	Box 120x120x4	First Floor: IPE120 Second Floor: IPE100	Hollow Steel Section (HSS)
External Stiffener	Box 120x120x4	First Floor: IPE100 Second Floor: IPE100	Concrete Filled Tube (CFT)
External Stiffener+ 6#Bar Mats	Box 120x120x4	First Floor: IPE100 Second Floor: IPE100	Concrete Filled Tube+6#Bar (CFT+Q6)

Table 1. Specimens Properties

شکل ۱. نمای کلی قاب فولادی



(الف) نمای کلی اتصال



(ب) شماتیک اتصال با شبکه‌های میلگرد

Fig. 1. General view of steel frame

این ستون‌ها، ابتدا جداره فولادی ساخته می‌شود و سپس داخل آن با بتن پر می‌شود. مشخصات فولاد و بتن مصرفی مطابق جدول (۲) است.

۲-۲ مشخصات مصالح

در قاب فولادی از تیرهای فولادی و ستون‌های قوطی شکل و CFT استفاده شده است. در ستون CFT از دو مصالح پرکاربرد مهندسی شامل بتن و فولاد استفاده شده است. در

جدول ۲. مشخصات مکانیکی فولاد و بتن

f_u (MPa)	f_y (MPa)	f'_c (MPa)	E (MPa)	Poation's Ratio	Specific gravity (kN/m ³)	Materials
501.14	409.43	-	200000	0.3	78.50	Steel
-	-	57	35484	0.2	24	Concrete

Table 2. Mechanical properties of steel and concrete

جک هیدرولیک در فاصله یک‌سوم ارتفاع طبقه دوم از تراز طبقه دوم و به فاصله ۲۵۰۵ میلی‌متری از تراز تکیه‌گاه مطابق شکل (۲) استفاده شده است.

۲-۳ راه اندازی آزمایش و ابزارگذاری

پای ستون‌های قاب دو دهانه-دوطبقه استفاده شده در تحقیق حاضر مفصلی است. برای اعمال بار به قاب از یک

۳- نتایج آزمایش

۳-۱- مشاهدات کلی

پس از راه اندازی ستآپ آزمایش و جانمایی تغییر مکان سنج ها و نیروسنج، سازه تحت بار چرخه ای مطابق پروتکل بارگذاری تعریف شده قرار گرفته است. مطابق شکل (۵) در فاصله ای به اندازه طول سخت کننده های خارجی و در طول تیر مفصل پلاستیک تشکیل شده است، که نشان می دهد سخت کننده های خارجی به خوبی توانسته اند مفصل پلاستیک را به نقطه امن و قابل اعتمادی منتقل نمایند و ایده تیر ضعیف و ستون قوی را فراهم نمایند. پس از اعمال منحنی بار-تغییر مکان و لنگردوران نمونه ها استخراج شده است.

شکل ۵. چگونگی تشکیل مفصل پلاستیک در تیر



Fig. 5. How to form of plastic hinge in beam

همانطور که از منحنی های شکل (۶) پیداست حضور بتن و شبکه های آرماتور افقی سبب شده که مقاومت اتصال و در نهایت کل قاب افزایش یابد. چراکه حضور بتن پرکننده در ستون قوطی شکل سبب کاهش کمانش ورق های ستون و محصورشدگی بتن مدفون می شود و بطور کلی سبب ایجاد اثر اندرکنشی بین بتن و فولاد می شود تا علاوه بر بهره مندی از اثر فولاد و بتن، اثر استفاده توامان این دو ماده نیز ملحوظ شود. مطابق مشاهدات عینی آزمایش و نتایج ارائه شده سازه های با ستون CFT دارای تغییر شکل کمتر بوده اند.

شکل ۲. ستآپ آزمایش

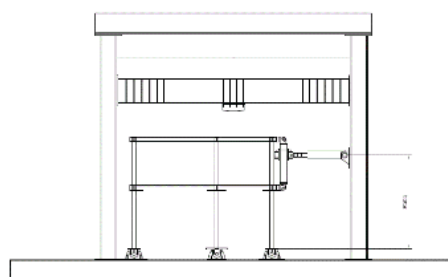


Fig. 2. Test Setup

چگونگی اعمال نیرو به صورت رفت و برگشتی است. شکل (۳) نمای کلی آزمایش و محل نصب تغییر مکان سنج ها و نیروسنج را نشان دهد.

شکل ۳. نمای کلی آزمایش



Fig. 3. General view of test

۲-۴ تاریخچه بارگذاری

در این تحقیق برای اعمال بار چرخه ای به سازه از پروتکل بارگذاری AISC341-16 [23] استفاده شده است و بارگذاری به صورت کنترل تغییر مکان بوده و توسط تغییر مکان انتهای ستون که برابر حاصل ضرب زاویه دوران نسبی طبقه بدست آمده از تاریخچه بارگذاری در ارتفاع ستون است، کنترل می شود. شکل (۴) تاریخچه بارگذاری تحقیق را نشان می دهد.

شکل ۴. نمودار تاریخچه زمانی بارگذاری [23]

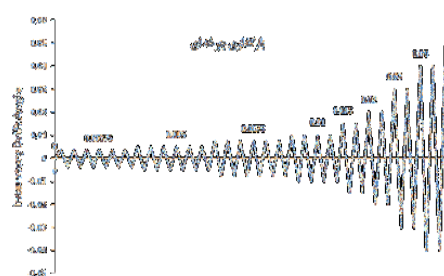
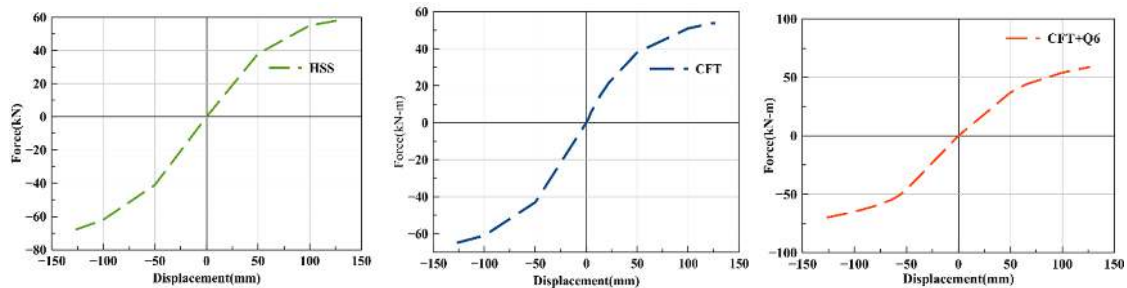


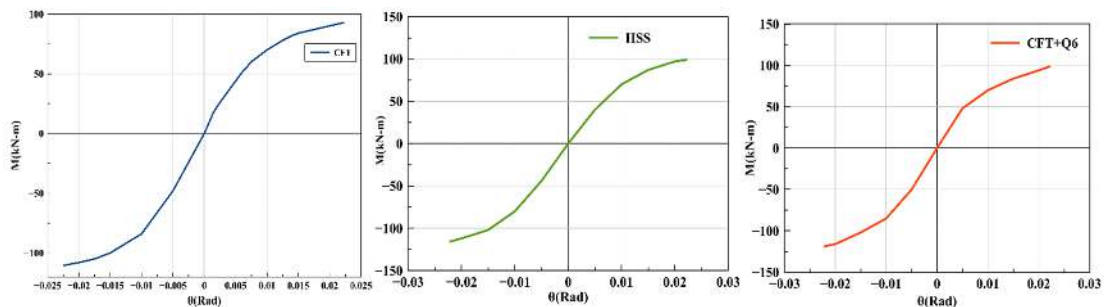
Fig. 4. Time history loading curve [23]

شکل ۶. مقایسه منحنی پوش نمونه‌ها تحت بار جانبی
(الف) منحنی نیرو-تغییر مکان نمونه‌ها



a. Force-Displacement curve of specimens

(ب) منحنی لنگر-دوران نمونه‌ها



b. Moment-Rotation curve of specimens

Fig. 6. Comparison of envelope curve of specimens under lateral load)

مطابق شکل (۴) استفاده می‌شود (بطور مشابه برای منحنی لنگر دوران نیز عمل می‌شود). پس از تعیین تغییر شکل‌های (دوران‌های) نهایی و حد تسلیم مطابق روابط ۱ و ۲ شکل پذیری نمونه‌ها تعیین می‌شود.

مطابق شکل (۶)، استفاده از بتن و شبکه‌های آرماتور سبب افزایش مقاومت نهایی و سختی قاب شده و سطح زیر منحنی (استهلاک انرژی) را نیز افزایش می‌دهد.

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (1)$$

$$\mu = \frac{\theta_{max}}{\theta_y} \quad (2)$$

شکل ۷. منحنی ایده‌آل دوخطی برای محاسبه شکل‌پذیری

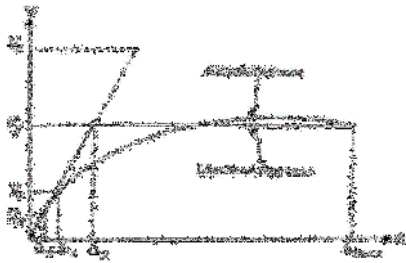


Fig. 7. The Ideal bilinear curve to calculate the ductility)

۳-۲ نتایج و تفسیر آن

یکی از پارامترهای مهم در بررسی کفایت قاب‌ها و اعضای متعلقه، مقاومت نهایی و گیرداری (صلبیت) آن است. پارامتر مهم دیگری که در بررسی رفتار قاب‌ها باید مدنظر قرار گیرد شکل‌پذیری قاب است که این پارامتر بیانگر توانمندی سازه در تحمل بارهای بزرگ با مستهلک کردن انرژی ناشی از بار وارده می‌باشد. در جدول (۳) قاب‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

برای محاسبه تغییر شکل‌ها و دوران‌های حد نهایی و حد تسلیم به منظور تعیین شکل‌پذیری از منحنی ایده‌آل دوخطی

جدول ۳. مقایسه شکل پذیری قابها

Difference with control specimen(%)	Ductility(Rotation)			Difference with control specimen(%)	Ductility(Displacement)			Specimen's name
	$\frac{\theta_u}{\theta_y}$	$\theta_u(Rad)$	$\theta_y(Rad)$		$\frac{\Delta_u}{\Delta_y}$	$\Delta_u(mm)$	$\Delta_y(mm)$	
0.0	1.982	0.0222	0.0112	0.0	2.228	127	57	HSS
+26.1	2.500	0.0250	0.010	-6.50	2.083	125	60	CFT
+1.36	2.009	0.0223	0.0111	-12.43	1.953	127	65	CFT+Q6

Table 3. Comparison of frame's ductility

که در نمونه با شبکه های آرماتور افقی به دلیل حضور آرماتورها در چشمه اتصال و کاهش تاثیر بتن در این ناحیه درصد افزایش چندان قابل ملاحظه نیست (۱/۳۶ درصد).

مطابق جدول (۳) حضور بتن سبب کاهش حفاصل تغییر شکل حد نهایی و حد تسلیم نمونه ها می شود که کاهش شکل پذیری را به دنبال دارد. از طرفی دوران نهایی را به تاخیر می اندازد و سبب افزایش شکل پذیری می شود

جدول ۴. مقایسه ظرفیت، جذب انرژی و سختی قابها

Difference with control specimen(%)	Energy Disipation $10^3(kJ)$	Difference with control specimen(%)	$k_i (kN/m)$	Difference with control specimen(%)	$M_{max} (kN-m)$	Difference with control specimen(%)	$P_{max} (kN)$	Specimen's name
۰/۰	۶۹/۳۱	۰/۰	۰/۹۴۹	۰/۰	۱۱۶/۱۱	۰/۰	۶۸/۳۰	HSS
-۲۷/۴۸	۵۰/۲۶	-۶/۰۰۶	۰/۸۹۲	-۴/۸۳	۱۱۰/۵۰	-۴/۸۳	۶۵	CFT
-۲۶/۷۶	۵۰/۷۶	-۶/۰۳۸	۰/۸۹۱۷	+۲/۶۳	۱۱۹/۱۷	+۲/۶۳	۷۰/۱۰	CFT+Q6

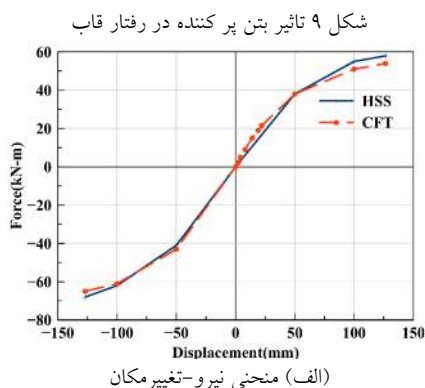
Table 4. Comparison of Strength, Energy Dissipation and Stiffness of frames

است. از طرفی مقدار استهلاک انرژی نمونه HSS بیشتر از سایر نمونه ها است که علت آن رفتار چرخه ای بهتر و یا به عبارتی تعداد سیکل های بیشتر این نمونه تحت بار بخاطر رفتار نرم تر فولاد نسبت بتن است.

در جدول (۴) حداکثر ظرفیت نمونه ها و میزان انرژی جذب شده توسط هر یک ارائه و مقایسه شده است. علاوه بر این برای پی بردن به تاثیر بتن و شبکه های آرماتور افقی مقدار سختی اولیه (شیب منحنی بار-تغییر مکان و لنگر-دوران) نمونه ها مقایسه شده است. برای تعیین میزان سختی اولیه مطابق شکل (۵) رفتار می شود.

۱-۲-۳ تاثیر بتن پر کننده

برای بررسی تاثیر بتن پر کننده در رفتار قاب با ستون قوطی شکل فولادی، دو نمونه HSS و نمونه CFT با هم مقایسه شده اند. برای پی بردن به این تاثیر منحنی نیرو-تغییر مکان و لنگر-دوران دو نمونه تحت بار کششی و فشاری مطابق شکل (۶) مورد مقایسه قرار گرفته است.



شکل ۸ چگونگی تعیین سختی اولیه نمونه ها

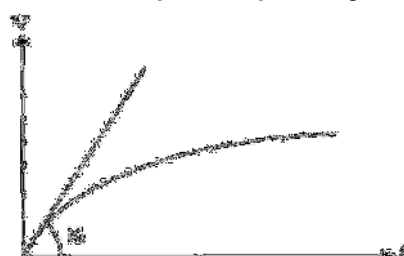
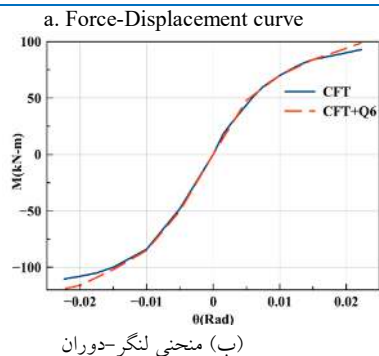


Fig. 8. How to determine the initial stiffness of the specimens

برای تعیین مقدار انرژی مستهلک شده توسط هر نمونه سطح زیر منحنی بار-تغییر مکان (یا لنگر-دوران) را باید محاسبه نمود. مطابق جدول (۴)، نمونه CFT+Q6 در هر دو پارامتر نیرو و لنگر بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده که بیانگر تاثیر بتن پر کننده و شبکه های آرماتور افقی



b. Moment-Rotation curve

Fig. 10. Effect of horizontal bar mats in frame's behavior مطابق شکل (۷)، حضور شبکه‌های آرماتور افقی سبب افزایش بار حداکثر قاب هم در کشش و هم در فشار شده است. از طرفی سبب افزایش سطح زیر منحنی و میزان اتلاف انرژی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که حضور شبکه آرماتور در چشمه اتصال سبب نرم‌تر شدن رفتار اتصال و کاهش سختی اولیه قاب شده است.

۳-۲-۳ سازوکار شکست

در تمامی نمونه‌های تحقیق حاضر از سخت‌کننده‌های خارجی دوزنقه‌ای استفاده شده که به عبارتی جایگزین ورق‌های پیوستگی داخلی هستند. یکی از مزایای سخت‌کننده‌های خارجی اجرای راحت و ایمن آنها و انتقال مفصل پلاستیک از بر اتصال به منطقه ایمنی در تیر (به اندازه طول سخت‌کننده) است. در شکل (۸) محل تشکیل مفصل پلاستیک در تیر (ریخته شدن آهک در تیر) نشان داده شده است.

شکل ۱۱. چگونگی تشکیل مفصل پلاستیک در نمونه‌ها

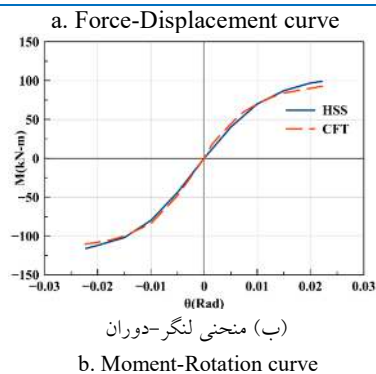


الف) نمونه HSS

HSS Specimen



ب) نمونه CFT



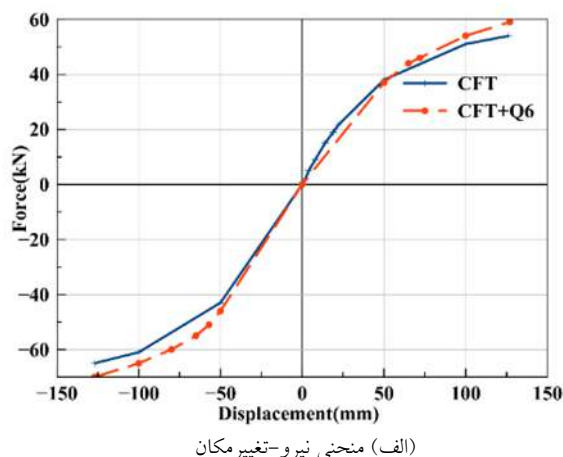
b. Moment-Rotation curve

Fig. 9. Effect of filler concrete in behavior of frame مطابق شکل (۹) حضور بتن سبب افزایش سختی سیستم (افزایش شیب منحنی) در هر دو حالت کشش و فشار شده است ولی مقاومت نهایی اتصال به دلیل حضور بتن و شروع ترک خوردگی آن کاهش نشان می‌دهد. در تحقیق از این مرحله به بعد مشابه نمونه فاقد بتن عمل کرده و بار بیشتری را تحمل می‌کند و به گونه‌ای اعلام هشدار می‌کند.

۳-۲-۲ تاثیر شبکه آرماتور افقی داخلی

یکی از مشکلات اجرای قاب‌های با ستون CFT، جانمایی ورق‌های پیوستگی داخلی در تراز بال‌های تیر در چشمه اتصال است. در تحقیق حاضر برای رفع این مشکل از شبکه‌های آرماتور افقی استفاده شده است که اجرای آن به علت عملیات سوراخکاری قبل از اجرا به مراتب ساده‌تر و سریع‌تر از ورق‌های پیوستگی است.

شکل ۱۰. تاثیر شبکه‌های آرماتور افقی در رفتار قاب



الف) منحنی نیرو-تغییر مکان

منحنی عریض تر دارد و اتلاف انرژی بیشتری دارد که علت آن حضور بتن و تحمل بارهای بیشتر پس از ترک خوردگی بتن است که سبب افزایش شکل پذیری سیستم می شود ولی نمونه HSS به علت ضعف مقاومتی در چرخه های پایانی در اثر پدیده خستگی تسلیم شده و از سیستم خارج می شود.

۴- نتیجه گیری

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و کمبود فضای ساخت، استفاده از ساختمان های بلند مرتبه در سرتاسر جهان امری است اجتناب ناپذیر، بر همین اساس استفاده از مقاطع با نسبت مقاومت به وزن بالا که فضای کمتری را اشغال نمایند مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. بر همین اساس در تحقیق حاضر به بررسی رفتار قاب های فولادی با ستون های مرکب پر شده با بتن و بررسی تاثیر استفاده از سخت کننده های خارجی و شبکه های آرماتور افقی چشمه اتصال به عنوان جایگزینی برای ورق های پیوستگی پرداخته شده است.

نتایج نشان می دهد که استفاده از بتن سبب بهبود رفتار قاب از نظر سختی و مقاومت می شود، اما از آنجایی که در تحقیق حاضر براساس طراحی سازه واقعی عمل شده و تیرهای طبقه اول قاب در نمونه های با بتن نسبت به نمونه HSS ضعیف تر است، اندکی کاهش نشان می دهد. از طرفی حضور سخت کننده های خارجی در تمامی نمونه ها سبب شده مفصل پلاستیک به داخل تیر منتقل شود. شبکه های آرماتور بکارگیری شده در نمونه CFT+Q6 سبب رشد ۷/۸ درصدی مقاومت نسبت به نمونه CFT شده است. نتیجه دیگری که از تحقیق حاضر بدست آمده این است که حضور بتن در ستون قوطی شکل فولادی سبب کاهش استهلاک انرژی نسبت به نمونه خالی از بتن (HSS) به علت خرد شدن بتن در سیکل های میانی می شود.

۵- تقدیر و تشکر

نویسندگان کمال تقدیر و تشکر خود را از شرکت فولاد ماشین نکا بابت حمایت های مالی، پیشنهادهای حین اجرا و انجام آزمایش ها را دارند.

• CFT Specimen

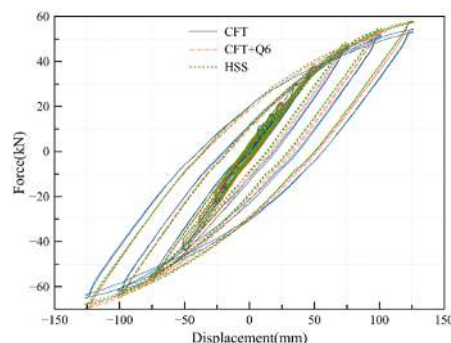


(ب) نمونه CFT+Q6

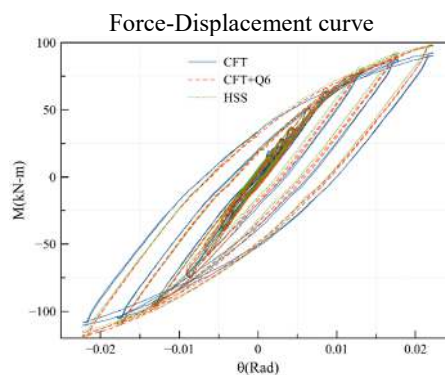
CFT+Q6 Specimen

۲-۳-۴ مقایسه منحنی هیستریزس نمونه ها یکی از روش های اصلی تعیین کفایت قاب ها بررسی رفتار چرخه ای (هیستریزس) آنها می باشد. در شکل (۹) منحنی هیستریزس نمونه ها در دو حالت نیرو-تغییر مکان و لنگر دوران ارائه شده است.

شکل ۹. منحنی هیستریزس نمونه ها



(الف) نیرو-تغییر مکان



(ب) لنگر-دوران

Moment-Rotation

Hysteresis curve of specimens

در هر دو حالت مقایسه ای (یعنی مقایسه منحنی هیستریزس بار-تغییر مکان و لنگر-دوران) نمونه CFT نسبت به دو نمونه دیگر

۵- مراجع

- [12]. Zhou, M., Fan, J.S., Tao, Mu.X. & Nie, J.G. 2016 Experimental study on the tensile behavior of square concrete-filled steel tubes. *Journal of Constructional Steel Research*, 121, 202–215.
- [13]. Wang, Y.T, Cai, J. & Long, Y.L. 2017 Hysteretic behavior of square CFT columns with binding bars, *Journal of Constructional Steel Research*, 131,162–175.
- [14]. Ricardo HERRERA, Brian LEWIS, James RICLES & Richard SAUSE. 2014 EXPERIMENTAL STUDIES ON STEEL MOMENT RESISTING FRAMES WITH CONCRETE FILLED TUBE COLUMNS UNDER EARTHQUAKE LOADING CONDITIONS, *13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada August 1-6*, 1591.
- [15]. Jing-jing, Q. & Li-zhong, J. 2015 Experimental study on seismic behaviors of steel-concrete composite frames. *J. Cent. South Univ.* 22, 4396–4413.
- [16]. Ying Qin, Zhihua Chen & Xiaodun. 2014 Wang, Experimental investigation of new internal-diaphragm connections to CFT columns under cyclic loading, *Journal of Constructional Steel Research*, 98, 35–44.
- [17]. Derun Du, Kun Dong, Jitong Jiang & Song Yang. 2012 Experimental Study on Seismic Capacity of Steel Encased Concrete Composite Frames. *Advanced Materials Research*, 368-373, 505-510.
- [18]. Jun Kawaguchi, Shosuke Morino, Toshikazu Sugimoto and Junya Shirai. EXPERIMENTAL STUDY ON STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF PORTAL FRAMES CONSISTING OF SQUARE CFT COLUMNS. *Composite Construction in Steel and Concrete IV*.
- [19]. Lai, Z, Huang, Z. & Varma, A.H. 2017 Modeling of high-strength composite special moment frames (C-SMFs) for seismic analysis. *Journal of Constructional Steel Research*, 138, 526–537.
- [20]. Lai, Z, Huang, Z. & Varma, A.H. 2017 Seismic Analysis and Performance of High Strength Composite Special Moment Frames (C-SMFs). *Structures*, 9, 165–178.
- [21]. Tailor, A., Dalal, S.P. & Desai, A.K. 2017 Comparative Performance Evaluation of Steel Column Building and Concrete Filled Tube Column Building under Static and Dynamic Loading. *Procedia Engineering*, 173, 1847-1853.
- [1]. Muhammad Naseem Baig, FAN Jiansheng & NIE Jianguo. 2006 Strength of Concrete Filled Steel Tubular Columns. *Tsinghua science and technology issn 1007-0214 05/15*, 11(6), 657-666.
- [2]. Georgios Giakoumelis & Dennis Lam. 2004 Axial capacity of circular concrete-filled tube columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 60,1049–1068.
- [3]. Johansson, M. & Gylltoft, K. 2002 Mechanical Behavior of Circular Steel-Concrete Composite Stub Columns. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 128(8), 1073-1081.
- [4]. De Nardin, S., & El Debs, A. L. H. C. 2007 Shear transfer mechanisms in composite columns: An experimental study. *Steel and Composite Structures*, 7(5), 377-390.
- [5]. Liu Dalin, Gho Wie-Min & Yuan Jie. 2003 Ultimate capacity of high-strength rectangular concrete filled steel hollow section stub columns. *J Constr Steel Res*, 59, 1499–515.
- [6]. Ge, H. B. & Usami, T. 1992 Strength of Concrete-Filled Thin-Walled Steel Box Columns: Experiment. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 118(11), 3036-3054.
- [7]. Kwon, Y. B., & Song, J. Y. 1998 A study on the structural behavior of concrete-filled steel box sections. *Proc., Sixth Asia-Pacific Conf. on Structural Engineering and Construction, National Science Council, Taipei, Taiwan*, 701–706.
- [8]. Lin, T. I., Huang, C. M., & Chen, S. Y. 1993 Concrete-filled tubular steel columns subjected to eccentric axial load. *J. Chin. Inst. Civil Hydraulic Eng.*, 5(4), 377–386 ~in Chinese.
- [9]. Ding, F.X., Zhang, T., Liub X., Lua, Z., Guo, Q. & Jiang, G. 2017 Behavior of steel-reinforced concrete-filled square steel tubular stub columns under axial loading. *Thin-Walled Structures*, 119, 737–748.
- [10]. Ding, F.X., Fua, L. & Yua, Z. 2017 Behaviors of axially loaded square concrete-filled steel tube (CFST) Stub columns with notch in steel tube. *Thin-Walled Structures*, 115, 196–204.
- [11]. Omid Rezaifar & A. Younesi. 2017 Experimental study discussion of the seismic behavior on new types of internal/external stiffeners in rigid beam-to-CFST/HSS column connections. *Construction and Building Materials*, 136(1), 574-589.

- Architecture, *Urbanism and Civil Engineering (MJAUCE)*, 3(1), 1-16.
- [23]. AISC (American Institute of Steel Construction). 2016 Seismic provisions for structural steel buildings. *ANSI/AISC 341-16, Chicago, IL.*
- [22]. Honarvar, H., AghBayat, S., Zarei, S., Baradaran, M. F., & Babakhani, B. 2020 Performance assessment of moment frame with CFT composite columns under different seismic records. *Mapta Journal of*

Experimental study of the effect of concrete and horizontal bar mats of panel zone on seismic behavior of CFT steel frames

Mehdi Alizadeh Nozari¹, Omid Rezaifar^{*2}, MajidGholhaki³

1- Structural Ph.D. student, Semnan university, Semnan, Iran

2- Professor of the Faculty of Civil Engineering, Semnan university, Semnan, Iran

3- Professor of the Faculty of Civil Engineering, Semnan university, Semnan, Iran

*orezayfar@semnan.ac.ir

Abstract

Due to the increasing population and lack of construction space, the use of high-rise buildings around the world is inevitable, so the use of sections with high strength to weight ratio that take up less space has been considered by researchers. One of the sections that has been considered by researchers and engineers to achieve this goal is composite columns, especially steel filled with concrete (CFT). These columns use the advantages of steel and concrete both and also have advantages such as eliminating column formwork in construction, providing complete enclosure conditions for concrete, preventing concrete parts from collapsing and tearing from the steel profile of the column and delay. The buckling of steel sheaths due to the presence of concrete is more common than other composite columns. CFTs also have higher strength, lateral stiffness and ductility than reinforced concrete columns of the same dimensions. The use of external stiffeners for replacement with continuity plates has been considered by researchers and design engineers and various forms have been proposed so far. The results of previous research have shown that external stiffeners are a good alternative to continuity plates.

In the present study, the behavior of steel frames with Hollow Steel Sections(HSS) and Concrete Filled Tube(CFT) Columns has been investigated. After launching the test setup and locating the displacement meters and dynamometers, the structure is subjected to cyclic loads according to the defined loading protocol. Three samples of two-opening and two-story frames with hollow box columns (HSS), concrete filled box (CFT) and concrete filled box with horizontal reinforcement nets have been evaluated experimentally and different parameters Their strength, ductility, hardness, energy absorption and cyclic behavior have been studied. In addition, the impact of the presence of concrete and horizontal reinforcement nets has been evaluated. On the other hand, in order to investigate the effect of using external stiffeners and horizontal bar mats in the frame, all connections of the two-story frame of the present study selected of this type. The results show that the use of concrete has improved the strength of connection due to the reduction of the buckling of the column plates, but the ductility has decreased. External stiffeners are used in all specimens, and as expected, the plastic hinge is moved into the beam, providing the idea of strong column-weak beam. In another part of the research, the behavior of the CFT frame and The presence of horizontal bar networks of the panel zone, which shows its effect of it in improving the behavior of the frame. The use of concrete in steel sections increases the strength of the frame, but since it is used in frames with CFT columns, beams with weaker sections show little reduction or little increase due to the use of concrete properties in pressure and Steel is in tension. On the other hand, the presence of concrete reduces the buckling of the column plate. In addition, the box-shaped sections around the concrete cause the concrete to be enclosed and ultimately increase the strength and energy absorption of the structure.

Keywords: Steel Frame, CFT, Horizontal Bar Mats, External Stiffeners, Envelope Curve.