

بررسی عددی اتصالات پیشنهادی تیر به ستون نیمه صلب در قاب‌های بتنی پیش ساخته تحت بار جانبی

مرتضی مدح‌خوان^{۱*}، سعید بهرامی^۲، نیما ناظمی^۳،

۱- دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- دکترای سازه، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- کارشناس ارشد سازه، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

madhkhan@cc.iut.ac.ir

تاریخ دریافت: [۹۴/۰۶/۲۵]

تاریخ پذیرش: [۹۵/۱۰/۱۸]

چکیده

استفاده از سازه‌های بتنی پیش ساخته با توجه به مزایایی از قبیل سرعت اجرای بالا، کنترل کیفیت بیشتر و ... در سال‌های اخیر رو به افزایش بوده است. به دلیل منقطع بودن قطعات سازه‌ای، اتصالات در این گونه سیستم‌ها نقش بسیار مهمی در رفتار موضعی و کلی سازه ایفا می‌کنند. اجرای اتصالات تیر به ستون کاملاً گیردار عموماً مشکل و زمان‌بر هستند. بنابراین اتصالاتی که علاوه بر برآورده کردن نیازهای مکانیکی سازه، اجرای آن‌ها ساده و سریع باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. در این مقاله دو اتصال پیشنهادی تیر به ستون بتنی پیش ساخته با استفاده از نرم‌افزار آنالیز اجزاء محدود غیر خطی ABAQUS 6.10 مورد بررسی قرار گرفته و پاسخ اتصالات با اتصال معادل یکپارچه از نظر مقاومت جانبی، سختی جانبی، شکل پذیری و جذب انرژی مقایسه شده است. مقاومت جانبی اتصالات پیشنهادی و سختی جانبی آن‌ها به ترتیب بیش از ۹۵ درصد و ۸۰ درصد مقاومت و سختی جانبی اتصال یکپارچه مانند حاصل شد. شکل پذیری اتصالات بین ۷۰ تا ۸۰ درصد اتصال معادل یکپارچه محاسبه شد. البته نتایج حاصل از مطالعات آزمایشگاهی می‌تواند اندکی متفاوت باشد. با توجه به نتایج حاصل از محاسبات، این اتصالات می‌تواند جایگزین مناسبی برای اتصالات تیر به ستون کاملاً گیردار در سازه‌های بتنی پیش ساخته باشند.

واژگان کلیدی: اجزاء محدود، بتن پیش ساخته، جذب انرژی، سختی جانبی، شکل پذیری، مقاومت جانبی

۱. مقدمه

در صورتی که سختی اتصال نیمه صلب بیش از ۸۰ درصد سختی اتصال معادل یکپارچه باشد، ویژگی‌های لرزه‌ای سیستم دچار تغییر فاحشی نخواهد بود [1]. بنابراین ارائه‌ی اتصالاتی که علاوه بر تامین ویژگی‌های مکانیکی مورد انتظار، اجرای آن‌ها ساده و سریع باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در سال ۱۹۸۷، بخش تحقیقات و توسعه‌ی موسسه‌ی بتن پیش ساخته و پیش تنیده در پروژه‌های شماره‌ی یک و چهار خود، به بررسی آزمایشگاهی ۱۶ نمونه اتصال پیش ساخته پرداختند (۸ اتصال مفصلی و ۸ اتصال گیردار). هدف از اجرای این پروژه

با توجه به مزایای بتن پیش ساخته، امروزه استفاده از این گونه سازه‌ها در جهان رو به افزایش است. در سیستم‌های قابی، اتصالات نقش بسیار مهمی در رفتار موضعی و کلی سازه ایفا می‌کنند. به علاوه، به دلیل عدم پیوستگی، اتصالات نقطه‌ی ضعف این گونه سازه‌ها به شمار رفته و توجه ویژه‌ای در طراحی و اجرا می‌طلبند. ایجاد اتصال کاملاً صلب تیر به ستون در این گونه سازه‌ها از دیدگاه اجرایی بسیار مشکل و زمان‌بر بوده و تا حدی ویژگی‌های پیش ساختگی را تحت الشعاع قرار می‌دهد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد

تیر به ستون پیش‌ساخته برای مناطقی با خطر لرزه‌خیزی زیاد بوده است. در این آزمایش‌ها، نمونه‌های صلیبی شکل از ستون پیوسته و تیرهای جدا از هم تشکیل شده‌اند. در ستون یک فرورفتگی برای ایجاد نشیمن تیر ایجاد شده که علاوه بر ایجاد سهولت اجرا، نقش انتقال برش را نیز بر عهده دارد. ناحیه‌ی اتصال مقطع تیرها U شکل بوده و بقیه‌ی مقطع مستطیلی شکل است. نیروهای ناشی از خمش از طریق هم‌پوشانی میلگردهای بیرون زده از ستون و تیر که با بتن‌ریزی درجا مدفون می‌شوند، صورت می‌پذیرد [8,9].

در سال ۲۰۱۴، شریعتمدار و زمانی نتایج آزمایش‌های خود را روی ۳ نمونه اتصال بتنی پیش‌ساخته منتشر نمودند. در دو اتصال پیشنهاد شده، ستون در ناحیه‌ی چشمه‌ی اتصال ناپیوسته بوده و اجرای این ناحیه با گروت ریزی تکمیل می‌گردد. در اتصال سوم، ستون به شکل پیوسته بوده و نشیمن تیر از طریق جوش دادن ورق‌های انتظار موجود در تیر و ستون ایجاد می‌شود [10].

الیوت^۷ و همکاران در پژوهش‌های خود ۴ اتصال نیمه‌صلب را معرفی کرده و آزمایش نمودند. نشیمن این اتصالات کربل‌های فولادی یا پروفیل‌های مهار شده در ستون بوده که وظیفه‌ی انتقال نیرو را نیز بر عهده دارند. میلگردهای بالا از ستون عبور کرده و پیوستگی اتصال را تامین می‌کنند. این اتصالات از دیدگاه اجرایی بسیار ساده هستند [11,12].

۲. معرفی اتصالات پیشنهادی

اجرای بیشتر اتصالاتی که با دیدگاه اتصال کاملاً صلب در سازه‌های بتنی پیش‌ساخته طراحی و ساخته می‌شوند مشکل و زمانبر است. در برخی از آن‌ها نیاز به شمع‌بندی و یا حجم بالای بتن ریزی درجا، ویژگی‌های ذاتی پیش‌ساختگی را زیر سوال می‌برد. بنابراین در صنعت سازه‌های بتنی پیش‌ساخته، به اتصالاتی که اجرای آن‌ها آسان و سریع باشد و ویژگی‌های مکانیکی مورد نیاز را برآورده کند توجه می‌شود. دو نمونه اتصال پیشنهادی در این پروژه بررسی شده است. در هر دو مورد تیر پیش‌ساخته روی نشیمن فولادی قرار گرفته و آرماتورهای پایین تیر با استفاده از پیچ یا جوش به آن متصل می‌شوند. دو آرماتور که از سوراخ‌های موجود در ستون عبور کرده و در بتن‌ریزی درجای دال مدفون می‌شود، پیوستگی اتصال را تامین می‌کنند.

دستیابی به اتصالاتی است که بتواند علاوه بر برآورده کردن ویژگی‌هایی مانند مقاومت، شکل‌پذیری، جذب انرژی و پایداری، اجرای آن‌ها آسان و اقتصادی باشد [2].

بررسی آزمایشگاهی اتصالات بسیار مشکل، زمان‌بر و پرهزینه است. به‌علاوه، تحقیقات آزمایشگاهی انجام‌شده تاکنون بیان‌گر کم بودن اطلاعات در مورد رفتار اتصالات است. در سال ۱۹۸۹، دلان و پسیکی^۱ با ساخت مدل‌های آزمایشگاهی با مقیاس یک دوم و بررسی تحلیلی یکی از اتصال پروژه‌ی PCISFRAD 1/4 نشان دادند که مدل کامپیوتری می‌تواند روش مناسب و ارزان‌قیمتی برای بررسی رفتار اتصالات بتنی پیش‌ساخته باشد [3].

در کشور نیوزلند، روشی برای ایجاد اتصال گیردار تیر به ستون پیش‌ساخته ابداع شده است. این اتصال از قرارگرفتن یک تیر U-شکل بتنی پیش‌تیده در محل اتصال و تکمیل آن توسط بتن درجا همراه با نصب دال‌ها ساخته می‌شود. از این اتصال برای ساخت سازه‌های قابی کم‌ارتفاع استفاده شده است. در این پژوهش بول^۲ و پارک^۳ با ساخت مدل‌های آزمایشگاهی، رفتار لرزه‌ای این اتصال را ارزیابی کردند و روشی برای طراحی آن نمودند [4].

تفکری متفاوت از سیستم‌های اتصالات پیش‌ساخته، این است که می‌توان محل اتصال (که به عنوان نقطه‌ی ضعف سازه مطرح می‌شود) را جایی قرار داد که از محل وقوع مفصل پلاستیک دور باشد. اولین بار این ایده به وسیله فرنچ^۴ و همکاران در سال ۱۹۸۹ ارائه شد. این پژوهشگران ۴ نوع اتصال تیر به ستون را معرفی و آزمایش کردند [5].

پژوهشگران دیگری مانند رستروپو^۵ و همکاران و همچنین خو^۶ و همکاران اتصالاتی را ارائه کردند که در آن‌ها محل اتصال در فاصله‌ای دور از بر ستون و به صورت تیر به تیر شکل می‌گیرد. البته این اتصالات به گونه‌ای طراحی شده‌اند که بتوانند مفصل پلاستیک را مانند اتصال یکپارچه ایجاد کنند [6,7].

در سال ۲۰۰۳، پرستش و خالو نتایج آزمایش‌های خود را روی یک نمونه اتصال پیش‌ساخته‌ی بتنی با مقیاس ۰/۴ منتشر کردند. هدف آن‌ها از انجام این پژوهش‌ها توسعه‌ی اتصال مقاوم خمشی

1 C.W. Dolan & S.P. Pessiki
2 D. K. Bull
3 R. Park
4 C.W. French
5 J. L. Restrepo
6 J. H. Khoo

۳. اتصال تیر به ستون پیچی با کربل فولادی ناودانی شکل (اتصال BCH)

در این اتصال، تیر پیش‌ساخته‌ی بتنی روی کربل فولادی که در ستون مدفون است نشسته و میلگردهای رزوه شده تیر که بین شیارهای کربل قرار می‌گیرد. میلگردهای پایین با استفاده از واشرهای فولادی به ضخامت یک سانتی‌متر و دو عدد مهره بسته می‌شود. سپس فضای خالی ناحیه‌ی اتصال با استفاده از گروت منبسط شونده پر می‌شود شکل‌های (۴، ۶ و ۷). پس از گیرش گروت، دو عدد میلگردهای بالا از دو سوراخ موجود در ستون عبور کرده، داخل سوراخ‌ها نیز گروت ریزی شده و سپس با بتن‌ریزی دال، اجرای اتصال کامل می‌شود. داخل سوراخ‌ها غلاف‌هایی مضرس قرار داده می‌شود که از لغزش میلگردها تا حد امکان جلوگیری می‌نماید.

۴. اتصال تیر به ستون با نشیمن قوطی متصل شده با جوش (اتصال WB)

در این اتصال، قوطی توخالی مدفون در بتن به عنوان نشیمن برای تیر عمل می‌کند. میلگرد پایین تیر نیروی خود را از طریق جوش به یک مقطع ناودانی شکل و سپس از طریق جوش ناودانی به نشیمن به ستون انتقال می‌دهد. جوشکاری میلگرد به ناودانی در محل کارخانه انجام می‌شود شکل‌های (۵، ۶ و ۸).

پس از جوش دادن ناودانی به قوطی، فضای خالی با استفاده از گروت پر مقاومت منبسط شونده پر شده و ناحیه‌ی اتصال تکمیل می‌شود. سپس مانند اتصال قبل، دو آرماتور به قطر ۲۵ میلی‌متر از ستون عبور کرده، سوراخ‌ها با گروت پر شده و با بتن‌ریزی دال، اجرای اتصال کامل می‌شود. ویژگی‌های مکانیکی مصالح به کار رفته در این اتصالات در جدول (۱) آمده است.

بارگذاری اتصالات پیشنهادی به صورت جانبی و به همراه سربار محوری ستون بوده و نیروی جانبی به صورت کنترل جابه‌جایی و مونوتونیک به سیستم اعمال شده است شکل (۹). سربار محوری در دو حالت فشاری، معادل با $0.2f_c' A_g$ و $0.5f_c' A_g$ و همچنین در حالت کششی $0.5f_y A_s$ بر ستون اعمال شده است.

۵. روش مدل سازی

پارامترهای لازم برای مدل‌سازی شامل پارامترهای پلاستیسیته‌ی بتن، منحنی تنش کرنش مصالح بتنی و فولادی و نوع و ابعاد المان‌های استفاده شده است. برای معرفی نمودار تنش-کرنش آرماتورهای فولادی از نمودار سه خطی استفاده شده است. در این مدل، قسمت اول نمودار با شیب برابر مدول الاستیسیته فولاد به صورت خطی تا تنش تسلیم فولاد حرکت می‌کند و پس از آن مرحله تسلیم را طی می‌کند. در این ناحیه تا رسیدن کرنش آرماتور به کرنش سختی، شیب نمودار صفر و پس از آن با شیب ملایم صعودی و به صورت سهمی تا رسیدن تنش آرماتور به تنش نهایی ادامه می‌یابد. کرنش سختی برابر 0.03 و کرنش نهایی 0.2 در نظر گرفته شده است.

منحنی هاگنستاد اصلاح شده برای تنش-کرنش بتن در نظر گرفته شد. در این مدل، رفتار بتن تا کرنش خاصی که بتن بیشترین مقاومت فشاری را کسب می‌کند به صورت سهمی و صعودی و پس از آن به صورت خطی و نزولی تا کرنش نهایی شکست بتن تغییر می‌کند. مدول الاستیسیته‌ی بتن در سختی سیستم اثر تعیین کننده‌ای دارد. مقدار این پارامتر به موارد بسیاری با توجه به ویژگی‌های مصالح وابسته است. مدول الاستیسیته‌ی مصالح بتنی در این مدل‌سازی، در قسمت اولیه نمودار که تقریباً خطی است معادل با $E_c = 4700\sqrt{f_c'}$ تخمین زده شده است [14]. ماده بتنی در نرم افزار با خاصیت خسارت خمیری در نظر گرفته شده است.^۸

المان بتنی استفاده شده، المان ۸ گرهی خطی مرتبه یک با بعد ۳۰ میلی‌متر و المان‌های مربوط به آرماتور دوقطه‌ای خطی مرتبه یک با بعد کمتر از نصف المان بتنی در نظر گرفته شده است. انتگرال‌گیری عددی به کار گرفته شده در نرم‌افزار، روش گوس بوده و روش حل سیستم غیرخطی نرم‌افزار روش نیوتون رافسون است [13]. مدول الاستیسیته‌ی فولاد ۲۰۰ گیگاپاسکال و ضریب پواسون آن برابر 0.3 به نرم‌افزار معرفی شده است. اندرکنش بین میلگرد و بتن نیز با استفاده از قابلیت Embedded در نرم‌افزار در نظر گرفته شده است. این قابلیت جابه‌جایی گره‌ی مربوط به آرماتور را با گره‌های مربوط به المان بتنی درونیابی می‌کند. این قابلیت می‌تواند اندرکنش آرماتور و بتن را تا حد قابل قبولی شبیه سازی

نماید [13].

اجزاء محدود شامل نمودارهای لنگر چرخش نسبی هستند که تشابه مناسبی با نتایج حاصل از بررسی آزمایشگاهی دارند. در اتصال بدون دال هماهنگی بیشتری بین نمودار حاصل از دو روش عددی و نتایج آزمایشگاهی نسبت به اتصال با همراهی دال وجود دارد. در اتصال همراه با دال در روش عددی نیروی ماکزیمم بزرگتر و تغییر مکان نهایی کمتری نسبت به نمونه آزمایشگاهی حاصل شد.

از چسبندگی بین سطوح بتنی با ورق‌های فولادی و همچنین سطوح بین بتن‌های پیش‌ساخته و درجا به دلیل کوچک بودن مقدار آن چشم‌پوشی شده و فقط رفتار مماسی بین سطوح در نظر گرفته شده است. اصطکاک بین سطوح بتنی ۰/۷ بوده و در صورت مضرس بودن سطوح برابر ۱ است. اصطکاک بین سطوح فولادی و بتنی برابر ۰/۶۵ پیشنهاد شده است [15,16].

۷. نتایج مدل‌سازی

نتایج آنالیز اتصالات پیشنهادی در نرم‌افزار به صورت نمودارهای بار-تغییر مکان سر ستون، جذب انرژی، مقاومت و سختی جانبی سیستم ارائه شده و با اتصال معادل یکپارچه در شرایط یکسان مقایسه شده است.

در شکل‌های (۱۰ تا ۱۵) نمودارهای بار-تغییر مکان و جذب انرژی اتصالات دوطرفه تحت سربارهای مختلف محوری ستون ارائه و با اتصال معادل یکپارچه مقایسه شده است.

شکل ۱. اتصال ورق جوش داده شده، پیشنهادی توسط الیوت [11,12]

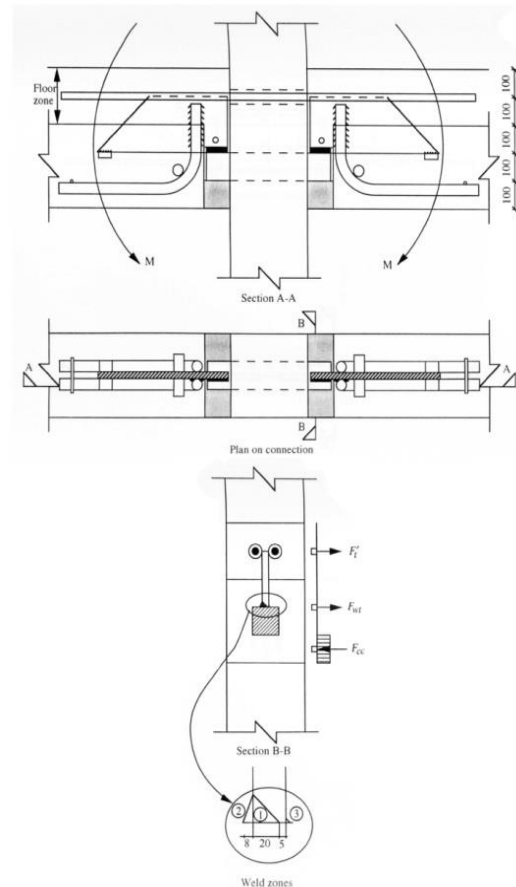


Fig. 1. Welded Connections by plates proposed by Elliot

شکل ۲. نمودار بار-تغییر مکان اتصال ورق جوش داده شده بدون دال

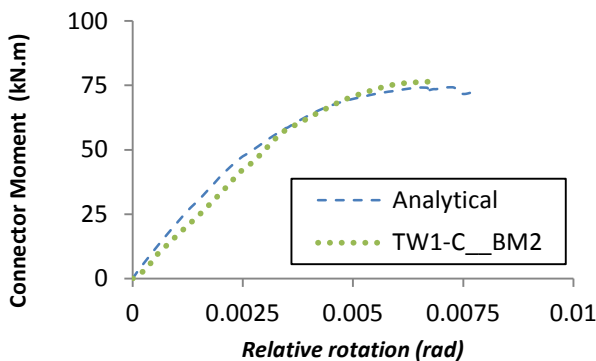


Fig. 2. Load-displacement curve in welded connections without slab

شکل ۳. نمودار بار-تغییر مکان اتصال ورق جوش داده شده همراه با دال

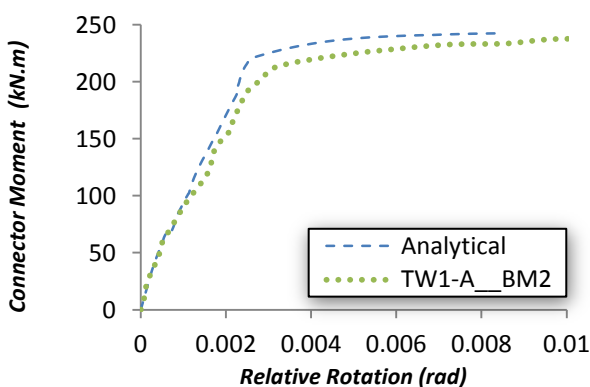


Fig. 3. Load-displacement curve in welded connections with slab

۶. درستی آزمایشی مدل‌سازی

درستی آزمایشی مدل‌سازی، برای اتصال نیمه‌صلب ورق جوش داده شده ارائه شده به وسیله الیوت و همکاران شکل (۱) بررسی شده است [11,12]. این اتصال با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی شده و نتایج حاصل از آنالیز عددی در دو حالت همراه با دال (TW1-A) و بدون دال (TW1-C) با نتایج حاصل از آزمایش مقایسه شده است. با توجه به شکل‌های (۲ و ۳) نتایج حاصل از آنالیز

شکل ۴. جزئیات اتصال BCH

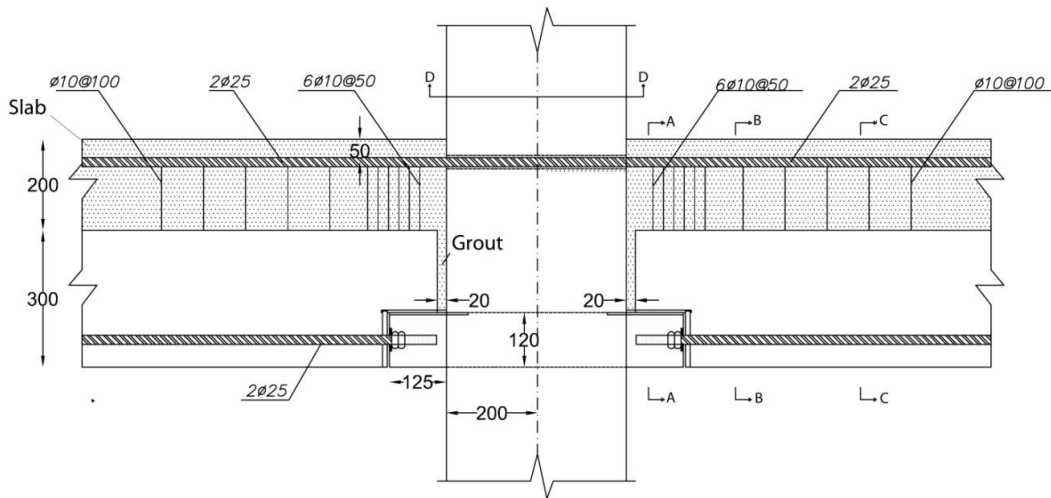


Fig. 4. Details of connection BCH

شکل ۵. جزئیات اتصال WB

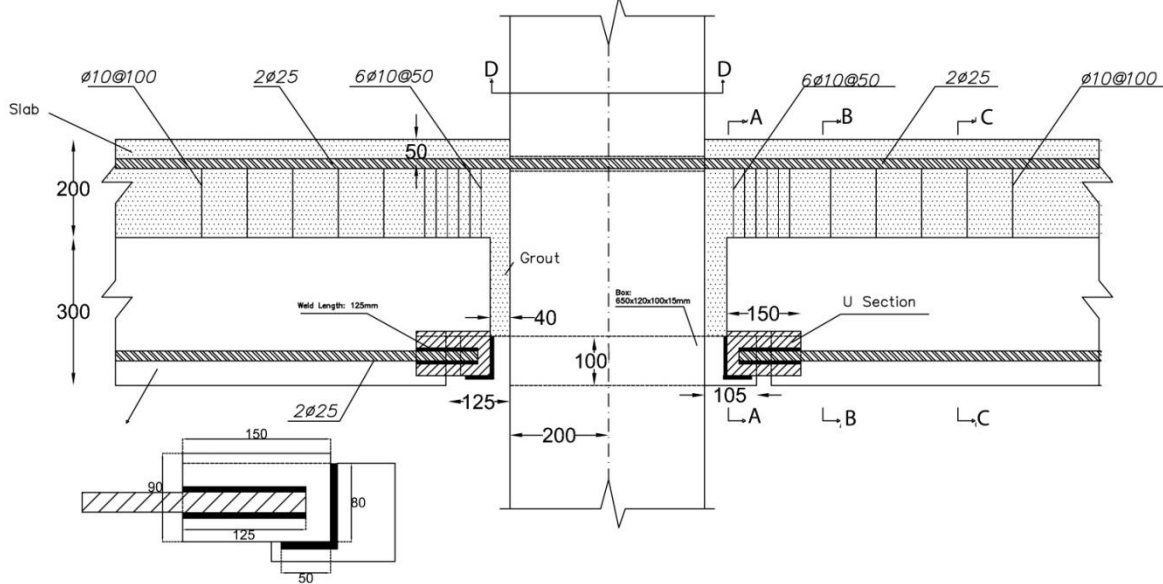


Fig. 5. Details of connection WB

شکل ۶. مقاطع اتصالات (مقاطع A, B, C و D در هر دو اتصال مشترک هستند)

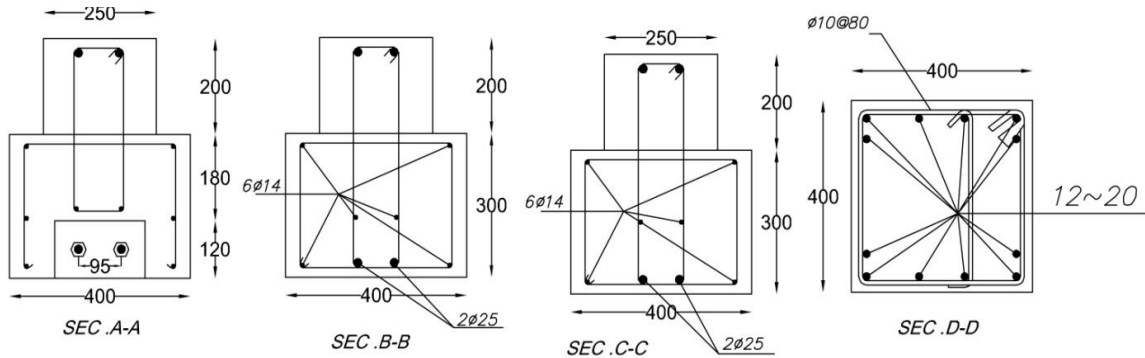


Fig. 6. Sections of Connectors

شکل ۷. جزئیات کربل اتصال BCH

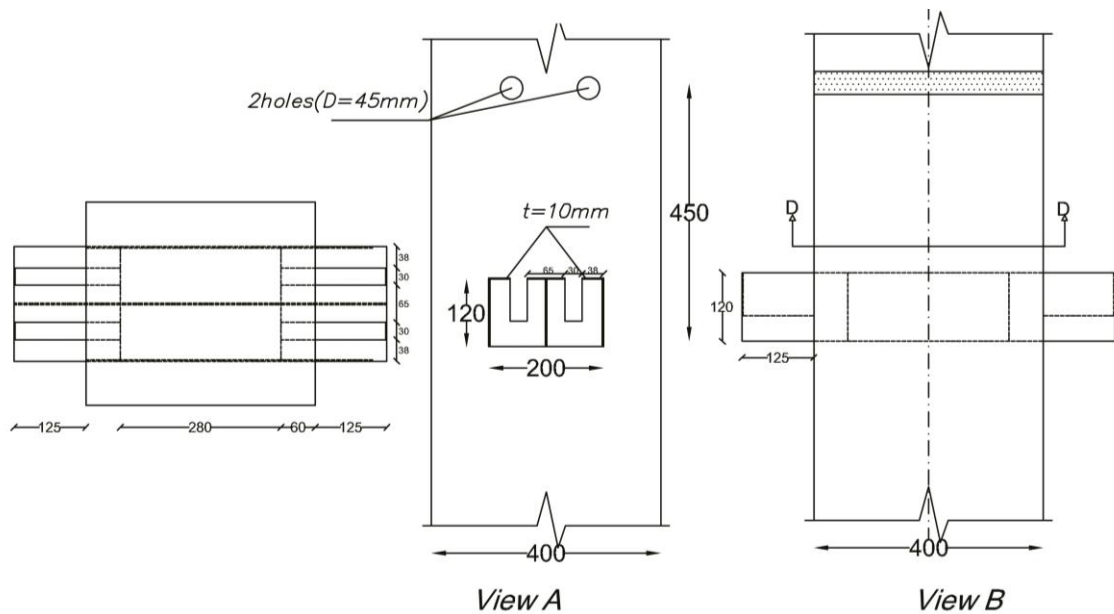


Fig. 7. Detail of corbel in BCH connection

شکل ۸. چگونگی اجرای اتصال WB

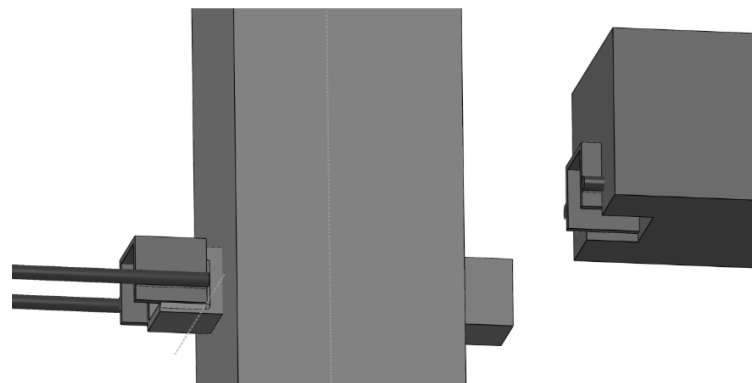


Fig. 8. Details of WB connection

کربل و آرماتورهای بالای تیر در محل عبور از حفره ستون به علت از بین رفتن تنش چسبندگی است. در هر صورت مقاومت و سختی جانبی اتصالات پیش ساخته به میزان قابل قبولی به اتصال معادل یکپارچه نزدیک است. به دلیل مشکل بودن مدل سازی و آنالیز آسیب فشاری بتن، معیار کرنش فشاری نهایی معادل با 0.0084 برای بتن محصور شده (که با مدل کنت و پارک محاسبه شده است [18]) برای پایان آنالیز در نظر گرفته شده و محاسبه‌ی شکل پذیری و جذب انرژی بر این اساس و روش‌های ارائه شده به وسیله پارک^۹ انجام گرفته است [17]. کرنش نهایی بتن محصور شده مطابق مدل کنت و پارک محاسبه شده است [18].

همچنین نتایج آنالیز در جدول‌های (۲ و ۳) خلاصه شده است. سختی جانبی اولیه‌ی اتصال معادل با شیب نمودار بار تغییر مکان در ابتدای منحنی است. مشخص است که با افزایش سربار فشاری ستون، سختی و مقاومت جانبی سیستم افزایش می‌یابد. این موضوع با کاهش تعداد و شدت ترک خوردگی در اثر افزایش سربار محوری ستون قابل درک است. با تغییر سربار فشاری به کششی، پارامترهای مذکور کاهش شدیدی می‌یابند. با مقایسه‌ی نتایج، این نکته مشهود است که اتصالات پیش ساخته نسبت به تغییر سربار محوری حساسیت کمتری از خود نشان می‌دهند. تغییرات سختی و مقاومت جانبی اتصالات در شکل‌های (۱۶ و ۱۷) آورده شده است. علت کمتر بودن پارامترهای فوق در اتصالات پیش ساخته نسبت به اتصال یکپارچه، لغزش آرماتورهای پایین تیر در محل اتصال به

یکی از پارامترهای مهم در بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌ها جذب انرژی آن‌هاست. نمودار جذب انرژی اتصالات با استفاده از محاسبه‌ی سطح زیر نمودار بار-تغییر مکان حاصل شده است. این مقادیر ناشی از استهلاک انرژی تحمیل شده توسط رفتار غیر خطی مصالح است. جذب انرژی اتصال یکپارچه از اتصال پیش ساخته بیشتر است. با افزایش سربار فشاری تغییر مکان نهایی بزرگتر، مقاومت جانبی بزرگتر و در نتیجه جذب انرژی بیشتری حاصل می‌شود.

شکل ۱۰. نمودار بار-تغییر مکان اتصالات تحت سربار محوری فشاری

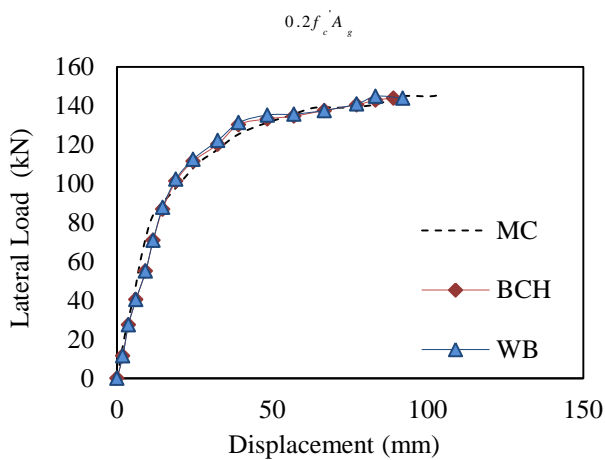


Fig. 10. Lateral load-displacement curves of specimens under compressive load of $0.2f_c A_g$

شکل ۱۱. نمودار جذب انرژی اتصالات تحت سربار محوری فشاری $0.2f_c A_g$

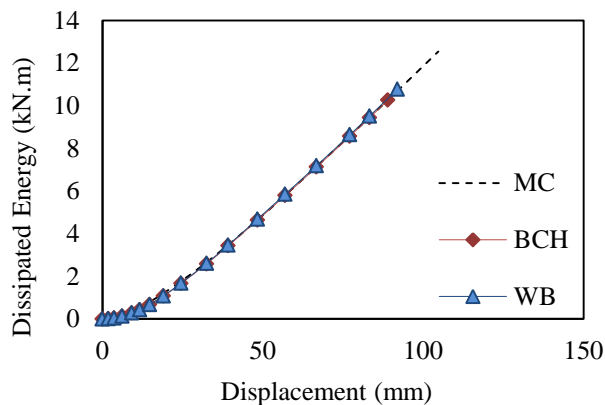


Fig. 11. Energy dissipation curves of specimens under compressive load of $0.2f_c A_g$

روش پارک یک روش معروف برای محاسبه تغییر مکان تسلیم است. در این روش منحنی نیرو تغییر مکان سیستم با منحنی دو خطی که مساحت زیر نمودار آن با مساحت زیر منحنی واقعی سیستم برابر است (انرژی جذب شده برابر) جایگزین می‌شود. تغییر مکان نهایی منحنی دو خطی برابر با تغییر مکان نهایی واقعی و شیب خط دوم صفر در نظر گرفته می‌شود. تغییر مکان تسلیم که برای محاسبه شکل پذیری مورد نیاز است با روش پارک محاسبه شده است. همان گونه که از شکل‌های (۱۰ تا ۱۵) مشخص است تغییر مکان نهایی اتصال یکپارچه در تمامی حالات سربار محوری از اتصالات پیش ساخته پینهادی بیشتر است. علت این موضوع تمرکز تنش در محل اتصال تیر به کربل فولادی، و عدم توزیع تسلیم در طول آرماتورهای پایین است.

شکل ۹. شرایط مرزی و بارگذاری سیستم

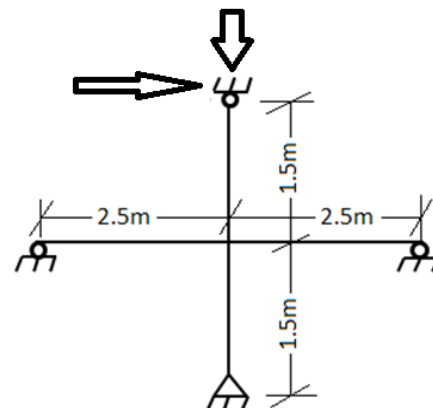


Fig. 9. Boundary conditions and loading protocol

جدول ۱. مشخصات مکانیکی مصالح

Ultimate strain	Ultimate stress	Yield stress (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)	
0.0084	25	-----	23500	concrete
0.0094	50	-----	33500	grout
0.12	485	347	200000	steel A572
0.14	600	400	200000	steel A-III
0.14	490	400	200000	weld E70

Table 1. Mechanical properties of materials

شکل ۱۵. نمودار جذب انرژی اتصالات تحت سربار محوری کششی $0.5f_y A_s$

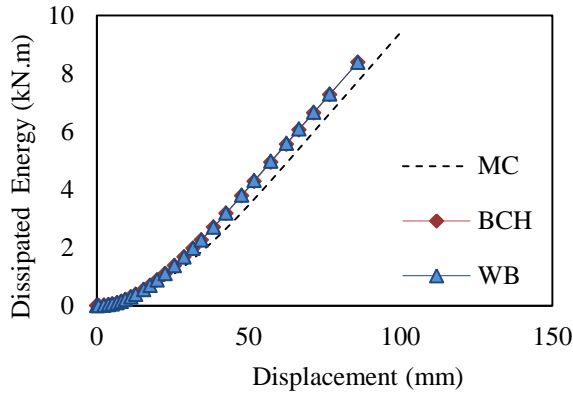


Fig. 15. Energy dissipation curves of specimens under tensile load of $0.5f_y A_s$

شکل ۱۲. نمودار بار- تغییر مکان اتصالات تحت سربار محوری فشاری $0.5f_c A_g$

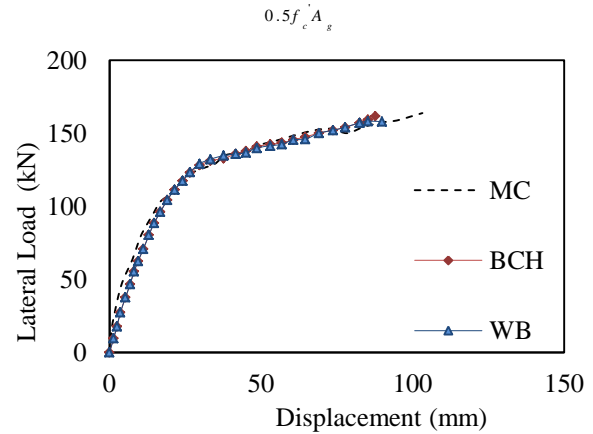


Fig. 12. Lateral load-displacement curves of specimens under compressive load of $0.5f_c A_g$

شکل ۱۶. مقاومت اتصالات در حضور سربارهای محوری مختلف ستون

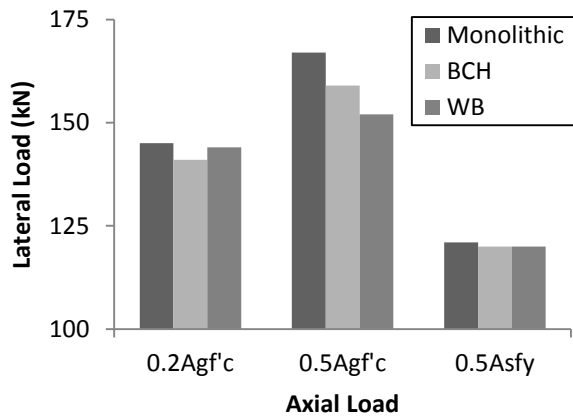


Fig. 16. Lateral resistance load of specimens under various axial forces

شکل ۱۳. نمودار جذب انرژی اتصالات تحت سربار محوری فشاری $0.5f_c A_g$

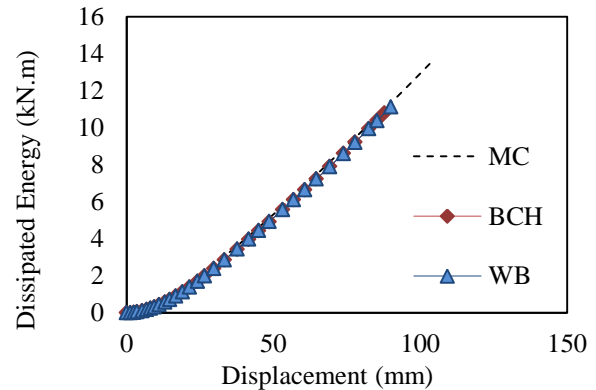


Fig. 13. Energy dissipation curves of specimens under compressive load of $0.5f_c A_g$

شکل ۱۷- سختی جانبی اتصالات در حضور سربارهای محوری مختلف ستون

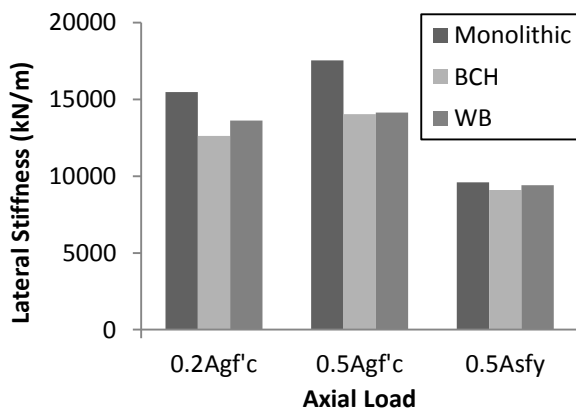


Fig. 17. Lateral stiffness of specimens under various axial forces

شکل ۱۴. نمودار بار- تغییر مکان اتصالات تحت سربار محوری کششی $0.5f_y A_s$

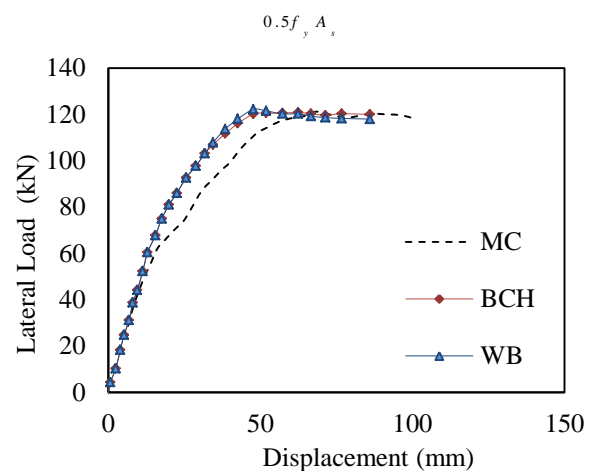


Fig. 14. Lateral load-displacement curves of specimens under tensile load of $0.5f_y A_s$

جدول ۲. نتایج آنالیز اتصالات دوطرفه تحت سربارهای محوری مختلف ستون

Energy dissipation (kN.m)	ductility	Lateral resistance (kN)	stiffness (kN/m)	Type of connection	axial load
12.54	5.78	145	15480	Monolithic	$0.2f_c' A_g$
10.3	4.65	141	12678	BCH	
10.8	4.75	144	13268	WB	
13.45	5.82	167	17543	Monolithic	$0.5f_c' A_g$
10.8	4.66	159	14042	BCH	
11.1	4.73	161	14043	WB	
9.50	4.79	121	9600	Monolithic	$0.5f_y A_s$
8.40	3.33	121	9078	BCH	
8.40	3.39	120	9407	WB	

Table 2. Numerical results of two way connections under various axial forces

جدول ۳. نسبت نتایج حاصل از آنالیز اتصالات دوطرفه‌ی پیشنهادی به نتایج حاصل از آنالیز اتصال معادل یکپارچه

Energy dissipation	ductility	Lateral resistance	stiffness	Type of connection	Axial load on column
67.20	77.3	97.2	81.6	BCH	$0.2f_c' A_g$
73.4	79.3	99.3	88.0	WB	
73.6	75.0	95.2	88.0	BCH	$0.5f_c' A_g$
75.0	77.5	98.8	88.5	WB	
67.9	67.80	99.2	94.7	BCH	$0.5f_y A_s$
69.8	70.0	99.2	98.0	WB	

Table 3. Ratio of numerical results of proposed precast connections to those of monolithic connections

۸- خلاصه و نتیجه‌گیری

در این پژوهش دو اتصال تیر به ستون نیمه‌صلب تیر به ستون پیش‌ساخته معرفی و با استفاده از نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS، تحت بار جانبی و حالت‌های مختلف سربار محوری ستون بررسی شد. به طور خلاصه می‌توان گفت:

- اتصالات پیشنهادی، با توجه به سربار محوری ستون، مقاومت جانبی بین ۱۲۰ تا ۱۶۷ کیلو نیوتون را از خود نشان می‌دهند. مقادیر به‌دست‌آمده بیشینه ۵ درصد از مقاومت جانبی اتصال معادل یکپارچه کمتر است.
- سختی اتصالات پیش‌ساخته در مقایسه با اتصال یکپارچه کمتر ارزیابی شده است (بین ۱۰ تا ۲۰ درصد، بسته به میزان سربار محوری ستون).
- تفاوت سختی و مقاومت جانبی اتصالات پیشنهادی نسبت به اتصال معادل یکپارچه را می‌توان در متفاوت بودن سازوکار انتقال نیرو و وضعیت چشمه‌ی اتصال (حضور کربل، چگونگی انتقال نیروی آرماتورها، گروت ریزی چشمه‌ی اتصال و ...) جست‌وجو کرد.

برای تحلیل حساسیت روش اجزاء محدود به کار رفته برای بتن دو المان انتخاب و نتایج نیرو و تغییر مکان انتهای ستون در اتصال BCH با یکدیگر در نمودار شکل (۱۸) مقایسه شد. المان اول ۸ گرهی مرتبه یک (C3D8) و المان دوم ۲۰ گرهی مرتبه دو (C3D20). همان‌گونه که از شکل مشخص است هر دو نمودار تقریباً بر هم منطبق‌اند و هماهنگی خوب این دو نمودار نشان از حساسیت کم المان‌ها نسبت به مرتبه المان دارد.

شکل ۱۸. نمودار نیرو برحسب جابه‌جایی انتهای ستون در اتصال BCH با المان‌های مرتبه یک و دو

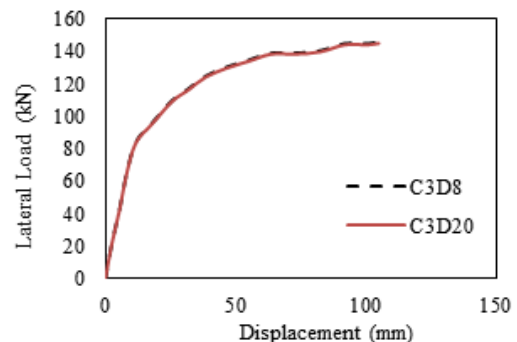


Fig. 18. Lateral load-displacement curves of specimen BCH with elements C3D8 and C3D20

- [7] Khoo, J.-H., Li, B., and Yip, W.-K., "Tests on Precast Concrete Frames with Connections Constructed Away from Column Faces", *ACI Structural Journal*, Vol. 103, pp. 18-27, 2006.
- [8] Khaloo, A.R., and Parastesh, H., "Cyclic Loading of Ductile Precast Concrete Beam-Column Connection", *ACI Structural Journal*, Vol. 100, pp. 291-296, May-June 2003.
- [9] Khaloo, A.R., and Parastesh, H., "Cyclic Loading Response of Simple Moment-Resisting Precast Concrete Beam-Column Connection", *ACI Structural Journal*, Vol. 100, pp. 440-445, 2003.
- [10] Shariatmadar, H., and ZamaniBeydokhti, E., "An Investigation of Seismic Response of Precast Concrete Beam to Column Connections: Experimental Study", *Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)*, Vol. 15, pp. 53-71, 2014.
- [11] Elliott, K.S., Davies, G., Ferreira, M., Gorgun, H., and Mahdi, A.A., "Can Precast Concrete Structures be Designed as Semi-Rigid Frames? part 1- The Experimental Evidence", *The Structural Engineer*, Vol. 81, pp. 14-25, August 2003.
- [12] Gorgun, H., "Semi-rigid Behavior of Connections in Precast Concrete Structures", PhD Thesis, University of Nottingham, Department of Civil Engineering, Vol., 1997.
- [13] ABAQUS/Theory Manual 6.10, 2010.
- [14] Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary, ACI 318-11, ACI Committee 318, Detroit, MI, 2011.
- [15] Rabbat, B.G., and Russell, H.G., "Friction Coefficient of Steel on Concrete or Grout", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 111, pp. 505-511, March 1985.
- [16] Lee, Y.-H., Joo, Y.T., Lee, T., and Ha, D.-H., "Mechanical properties of constitutive parameters in steel-concrete interface", *Engineering Structures*, Vol. 33, pp. 1277-1290, April 2011.
- [17] Park, R., "Evaluation of Ductility of Structures and Structural Assemblages from Laboratory Testing", *Bulletin of the New Zealand national society for earthquake engineering*, Vol. 22, pp. 155-166, 1989.
- [18] Kent, D.C., Park, R., Flexural Members with Confined Concrete, *Journal of the Structural Division, ASCE*, Vol. 97, pp. 1969-1990, July-1971.

- شکل‌پذیری و جذب انرژی اتصالات پیشنهادی حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد اتصال معادل یکپارچه به دست آمده است.
- با افزایش سربار فشاری ستون، سختی جانبی، مقاومت جانبی، شکل‌پذیری و جذب انرژی اتصالات افزایش می‌یابد؛ لیکن حساسیت اتصالات پیش‌ساخته نسبت به این موضوع کمتر از اتصال یکپارچه است.
- اتصالات با اعمال سربار کششی دچار ضعف می‌شوند. بنابراین لازم است در طراحی سازه و اتصالات آن، اثر کاهنده‌ی سربار کششی در نظر گرفته شود.
- با وجود محدودیت‌های نرم‌افزار ABAQUS، استفاده از این ابزار می‌تواند تا حد قابل قبولی پدیده‌های حاکم بر رفتار مکانیکی مصالح بتنی را شبیه‌سازی کند. البته امکان مدل‌سازی بسیاری از پدیده‌ها در نرم‌افزار وجود ندارد؛ اما نتایج حاصل شده، تخمین مناسب و قابل قبولی از رفتار اتصالات پیشنهادی به دست می‌دهد.

References

۹- مراجع

- [1] Sucuoglu, H., "Effect of Connection Rigidity on Seismic Response of Precast Concrete Frames", *PCI Journal*, Vol. 40, pp. 94-103, 1995.
- [2] Dolan, C.W., Stanton, J.F., and Anderson, R.G., "Moment Resistant Connections and Simple Connections", *PCI Journal*, Vol.(?), pp. 62-74, 1987.
- [3] Dolan, C.W., and Pessiki, S.P., "Model Testing of Precast Concrete Connections", *PCI Journal*, Vol. 56, pp. 84-103, March-April 1989.
- [4] Park, R., and Bull, D.K., "Seismic Resistance of Frames Incorporating Precast Prestressed Concrete Beam Shells", *PCI Journal*, Vol. 31, pp. 54-93, July-August 1986.
- [5] French, C.W., Amu, O., and Tarzikhan, C., "Connections Between Precast Elements- Failure Outside Connection Region", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 115, pp. 316-340, 1989.
- [6] Restrepo, J.I., Park, R., and Buchanan, A.H., "Tests on Connections of Earthquake Resisting Precast Reinforced Concrete perimeter Frames of Buildings", *PCI Journal*, Vol. 40, pp. 44-61, July-August 1995.

Numerical Investigation of Proposed Semi-Rigid Beam to Column Frame Connections

A. Morteza Madhkhan^{1*}, B. Saeed Bahrami², C. Nima Nazemi³

1- Assoc. Prof., Civil Engineering Dept., Isfahan University of Technology

2- PhD, Structural Engineering, Civil Engineering Dept., Isfahan University of Technology

3- M.Sc, Structural Engineering, Civil Engineering Dept., Isfahan University of Technology

*madhkhan@cc.iut.ac.ir

Abstract:

Precast concrete structures have been widely used since the last century. Fast production, quick erection, higher quality, economical aspects, lower labor costs etc. are of noticeable advantages of such structures, compared to those of in-situ concrete structures. Considering frame structures, connections play a vital role in local and global behavior of precast concrete structures. Catastrophic failures and losses are incurred globally due to failure in connection regions. Thus, connections are considered to be the weak spots in precast concrete structures. Consequently, a great amount of attention and care is required in designing and forming connections, especially in precast concrete structures. In addition, compared to monolithic structures, it is relatively more difficult and more time consuming to achieve rigidity in connections due to the nature of pre-casting. Plus, difficulties arising from construction and structural details will neutralize inherent characteristics of pre-casting. Thus, obtaining a connection with details that are simple enough to be constructed easily on site, which, of course, satisfies demanding mechanical characteristic, can be of great importance. In this paper, two new types of beam to column connections are proposed. These connections are designed, modeled and analyzed numerically using nonlinear finite element software, ABAQUS. The main goal of the research was to achieve constructible and easily erectable connection detail which can provide satisfactory lateral strength, stiffness, ductility and energy absorption.

Embedded steel corbels are used as members which transmit tension due to imposed positive moment and shear in negative moment in addition to their role as seating in initial stages of construction. Continuity is provided with bolting or welding of bottom bars to the corbel and then connection area is filled completely with expansive grout. Eccentricity of transmitted forces is a decisive factor especially in dynamic loadings, thus, in design, it is minimized by adjusting bar and corbel size and position and welding locations, sizes and shapes. Top bars are passed through holes, previously cast into the precast concrete column and are embedded in in-situ concrete of slabs. T shaped assemblies of the connections are modeled and laterally loaded until ultimate concrete strain is reached. In terms of strength, both connections were capable of achieving 95% of equivalent monolithic assembly. Considering lateral stiffness, proposed connections were able to provide initial stiffness of more than 80% of equivalent monolithic connection. Precast connections were 20% to 30% less ductile than their monolithic counterpart. Noticing relative geometric complexity and difference in force transmission mechanisms of connections, lower ductile behavior of connections is justifiable. Effects of axial column load are studied on the response of the assemblies. Compressive axial load relatively improves lateral stiffness and energy absorption of the connections. By imposing axial tension on column, lateral stiffness and strength is significantly reduced.

Comparing before mentioned mechanical characteristics of proposed connections with their equivalent monolithic assembly, satisfactory response under lateral monotonic loading is observed. Based upon results derived from this study, proposed connections may be used as semi rigid beam to column connections in precast concrete frames, instead of fully rigid connections.

Keywords: Non-linear FEM, Stiffness, Ductility, Energy Absorption, monotonic loading

