

ارائه نوعی اتصال تیر به ستون مقاوم خمشی پیش ساخته با هدف حذف تراکم آرماتور در گره اتصال

جمشید اسماعیلی *

دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

سید نیرم آهوقلندری

دانشجوی دکتری مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

چکیده

پیش ساختگی رویکردی مفید برای ساخت سازه‌هایی به تعداد زیاد در مدتی اندک و یا طرح گونه‌ای خاص از بنا می‌باشد. طرح گسسته و از پیش ساخته شده اعضا در این سازه‌ها باعث کاهش انعطاف پذیری در مرحله ساخت در پای کار و از بین رفتن کارایی یک عضو در موقعیت‌های مختلف می‌شود. در این مطالعه به منظور افزایش کارایی یک تیر پیش ساخته نسبت به قرار گیری آن در پلان و موقعیت آن نسبت به دال‌های پیش ساخته و با هدف رفع مشکل تداخل آرماتورها در گره اتصال تیر به ستون به طرح اتصالی فولادی در انتهای تیر پرداخته شده است. برای این منظور گره میانی یک سازه چهار طبقه دارای سیستم قاب خمشی متوسط در دو سازه پیش ساخته و درجا مقایسه شدند. نتایج نشان می‌دهد که اتصال ارائه شده در مقایسه با اتصال در جای معادل خود عملکرد مطلوبی تحت تلاش‌های وارده در زمینه مقاومت، جذب انرژی و شکل پذیری نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: اتصال تیر به ستون، سازه پیش ساخته، آنالیز اجزای محدود، اتصال پیش ساخته.

۱- مقدمه

این اتصالات انجام دادند و رفتار اتصالات را مناسب ارزیابی کردند. با وجود مقاومت کسب شده، تراکم بالای آرماتور در گره اتصال در حالت دوبعدی آزمایش شده در این تحقیقات، اجرای اینگونه اتصالات را در حالت سه بعدی با چالش جدی روبرو می‌کند (شکل ۱-الف). مایا و همکاران [۶] نیز با ناکارآمد دانستن اینگونه اتصالات برای رسیدن به عملکردی مطلوب سعی کردند که از نوعی بتن الیافی با عملکرد بالا در آنها استفاده کنند. در زمینه اتصالات هیبرید پیش‌ساخته (اتصالاتی که در آنها از تاندون‌های پس‌کشیدگی استفاده می‌شود) هاویل و همکاران [۷] مدل اجزای محدود سه بعدی را برای مطالعه انتخاب کردند. مدل مورد استفاده تاثیرات پیش‌تنیدگی را در تاندون‌های پس‌کشیده و رفتار غیر خطی بتن لحاظ کرده بود. نتایج نشان داد آرماتورهای فولادی طولی منجر به شکست در ناحیه اتصال شده و روش اجزای محدود وسیله‌ای مناسب برای ارزیابی رفتار اتصال پیش‌ساخته است. در این زمینه تحقیقات مشابهی توسط بردلی و همکاران [۸] و ازدن و ارتاس [۹] صورت پذیرفته است (شکل ۱-ب). با وجود تحقیقات صورت گرفته در مورد این اتصالات در هیچ کدام اشاره‌ای به شرایط نصب و اتصال دال‌های سقف به تیرها و ملزومات آنها نشده است و تنها رسیدن به ظرفیت اتصال به عنوان معیار موفقیت آنها ارزیابی گردیده است.

همانطور که مشاهده شد علاوه بر ضعف مشهود در اتصالات خشک پیش‌ساخته رایج کار شده در دنیا و نیاز به بهبود عملکرد آنها برای حفظ سرعت در ساخت، در اکثر موارد در اتصالات شبه یکپارچه پیشنهاد شده توسط محققین به ملزومات ساخت در حین کار و نحوه اتصال تیرها به دال‌ها و همچنین کاربرد اتصال در موقعیت‌هایی نظیر گره‌های اتصال با درصد تراکم آرماتور بالا اشاره‌ای نشده است. این تحقیق بر آن است تا با ارائه اتصالاتی ضمن تامین مقاومت خمشی مناسب، ملزومات یاد شده را برای اعضای سازه پیش‌ساخته رعایت کند.

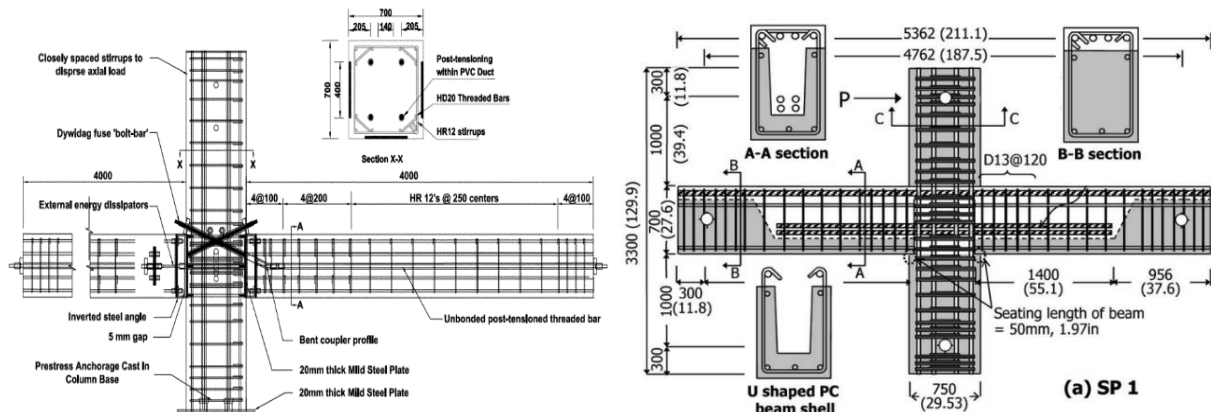
۲- اتصال تیر به ستون پیش‌ساخته کار شده در ایران

در ایران معمولاً اتصالات تیر به ستون پیش‌ساخته به همراه نشیمن ستون بکار می‌روند. نشیمن بکار رفته به منظور ایجاد تکیه‌گاه در منطقه اتصال برای تیر و همچنین ایجاد بستری برای رفع مشکل رواداری‌های نصب ضعیف در کشور ما بکار می‌رود. نمونه‌ای از این نوع اتصالات کار شده در شکل ۲-الف نشان داده شده است.

مطالعات آزمایشگاهی و تحلیلی زیادی بر روی عملکرد اتصالات تیر به ستون پیش‌ساخته تحت بارهای چرخه‌ای غیر الاستیک صورت گرفته است. مسئله اصلی در این مطالعات مربوط به ظرفیت اتلاف انرژی و مقاومت پایین در اتصالات پیش‌ساخته است. با وجود ارائه اتصالات پیشنهادی توسط محققین مختلف برای رفع مشکل ظرفیت این اتصالات، استفاده از تراکم آرماتوری بالا و ملزومات دیگر مورد نیاز برای بکارگیری این اتصالات در موقعیت‌های مختلف، عملاً کاربرد این اتصالات پیشنهادی با چالش‌های گوناگونی روبروست.

در ادامه به تحقیقات انجام شده بر روی اتصالات تیر به ستون بتنی پیش‌ساخته پرداخته می‌شود. این تحقیقات با استفاده از آزمایش‌های تجربی و یا مدل‌های تحلیلی انجام پذیرفته‌اند. در حیطه اتصالات پیش‌ساخته خشک (اتصالاتی که در آنها از ادوات اتصال خشک و بدون بتن ریزی درجا در پای کار استفاده می‌شود) در سال ۲۰۱۳ ردریگز و تورس [۱] با انجام تحقیقی اتصالات مرسوم پیش‌ساخته مورد استفاده در کشور مکزیک را مورد بررسی قرار دادند. این اتصالات برای قاب‌های خمشی پیش‌ساخته بکار می‌رفت. در این نوع اتصال آرماتورهای جوش شده بین صفحات انتهایی مهار شده در اعضای تیر و ستون پیوستگی لازم را ایجاد می‌کردند. در نهایت نتایج نشان داد که اتصالات رایج در آن کشور رفتار ترد و نامناسبی از خود نشان داده و به عنوان اتصالات مقاوم خمشی قابل کاربرد نیستند. تحقیقات مشابهی نیز توسط هنگ و همکاران [۲] و فان و لو [۳] و غیره... در این زمینه انجام شده است. در زمینه اتصالات شبه یکپارچه پیش‌ساخته (اتصالاتی که در آنها از بتن ریزی درجا در پای کار استفاده می‌شود) در سال ۲۰۱۳ چویی و همکاران [۴] تعدادی نمونه اتصال تیر به ستون را تحت بارهای لرزه‌ای مورد آزمایش قرار دادند. این اتصالات شامل ۴ اتصال پیش‌ساخته و یک اتصال یکپارچه بودند. جزئیات مورد استفاده برای گره‌ها برای رسیدن به پیوستگی سازه‌ای و نوع تسلیح ویژه صورت گرفته در ناحیه اتصال در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. در حالت کلی عملکرد اتصالات تیر به ستون رضایت بخش بود و مقاومت متوسط گره‌های پیش‌ساخته در حدود ۱/۱۵ برابر مقاومت گره یکپارچه بدست آمد. هنگ و همکاران [۵] نیز تحقیقات مشابهی بر روی

ارائه نوعی اتصال تیر به ستون مقاوم خمشی پیش ساخته ...



الف) اتصال پیش ساخته کار شده توسط هنگ و همکاران [۵] ب) اتصال پیش ساخته کار شده توسط بردلی و همکاران [۸]

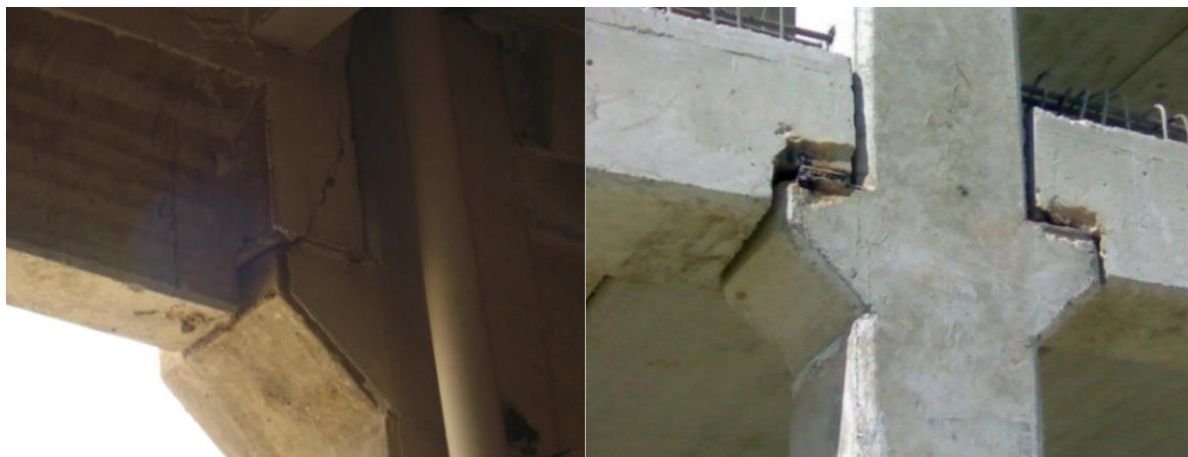
شکل ۱- انواع اتصالات مقاوم خمشی پیشنهادی

به چگونگی اتصال تیرها با دال‌های پیرامونی و ستون‌ها به یکدیگر و ملزومات هر کدام، به ارائه اتصالاتی مقاوم خمشی پرداخته شود.

۳- اتصالات مورد بررسی

برای بررسی اتصال پیش ساخته پیشنهادی و مقایسه آن با اتصال درجا، سازه‌ای چهار طبقه با کاربری مسکونی که دارای سیستم باربرجانی به صورت قاب خمشی بود با استفاده از آنالیز دینامیکی طیفی در نرم افزار Etabs طراحی شد. طراحی این سازه بر اساس ضوابط لرزه‌ای آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران [۱۰]، در منطقه‌ای با شدت زلزله بسیار زیاد صورت گرفت. سازه مدلسازی شده دارای ارتفاع طبقاتی برابر ۳/۲ متر و تعداد دهانه‌هایی برابر ۴ و با طول دهانه‌ای برابر ۶ متر در نظر گرفته شده است.

به دلیل حساسیت کرنشی بالا در ناحیه جوش و طول جوش کم در ناحیه نشیمن تیر، این اتصالات معمولاً در این منطقه دچار شکست زود هنگام می‌شوند. همچنین ایجاد ترک‌های قطری برشی در ابتدای ناحیه فرو رفته جزو آسیب‌های رایج ایجاد شده در این اتصال هستند. شکل ۲-ب نمونه‌ای از شکست‌های اتفاق افتاده در این اتصالات را نشان می‌دهد. با توجه به عملکرد ضعیف این اتصال از آن دیگر به صورت اتصال مقاوم خمشی استفاده نمی‌شود. در این تحقیق سعی بر آن است تا با توجه به چگونگی تولید قطعات پیش ساخته در فرایند ساخت داخلی و حفظ سادگی به منظور جلوگیری از تراکم بیش از حد آرماتورها در گره اتصال و توجه



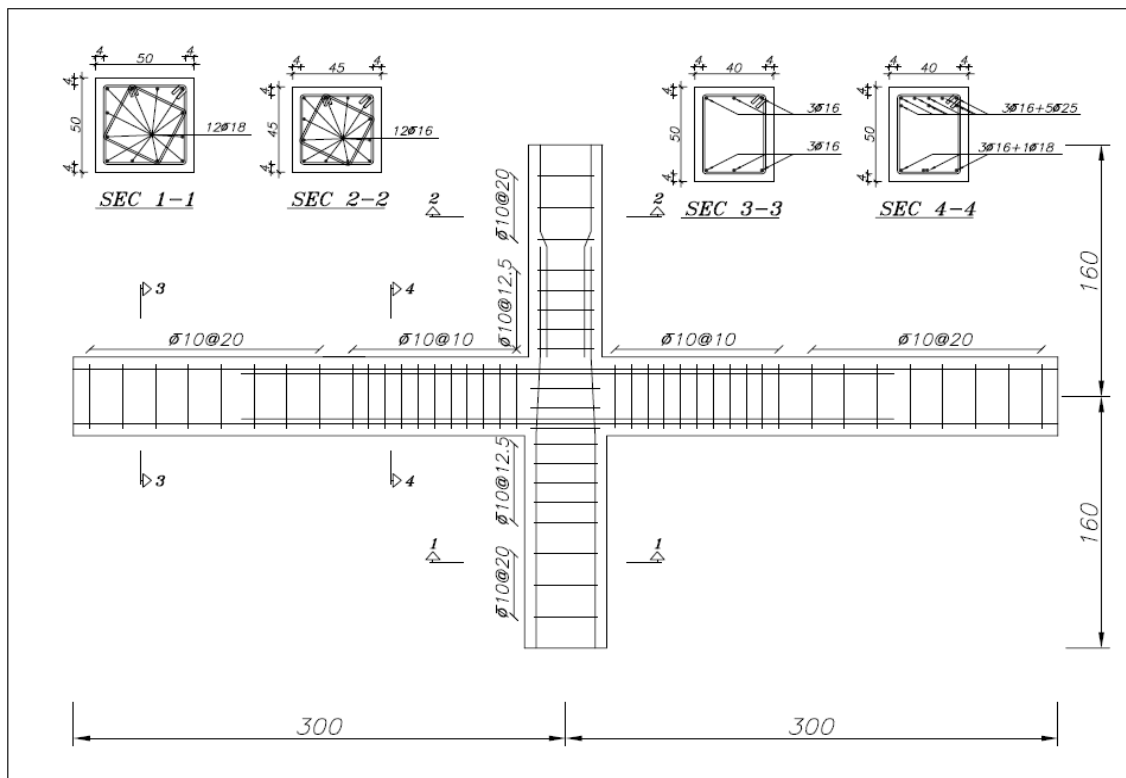
ب) نمونه‌ای از شکست‌های اتفاق افتاده در اتصال

الف) جزئیات گره تیر به ستون پیش ساخته

شکل ۲- اتصال تیر به ستون پیش ساخته کار شده در ایران

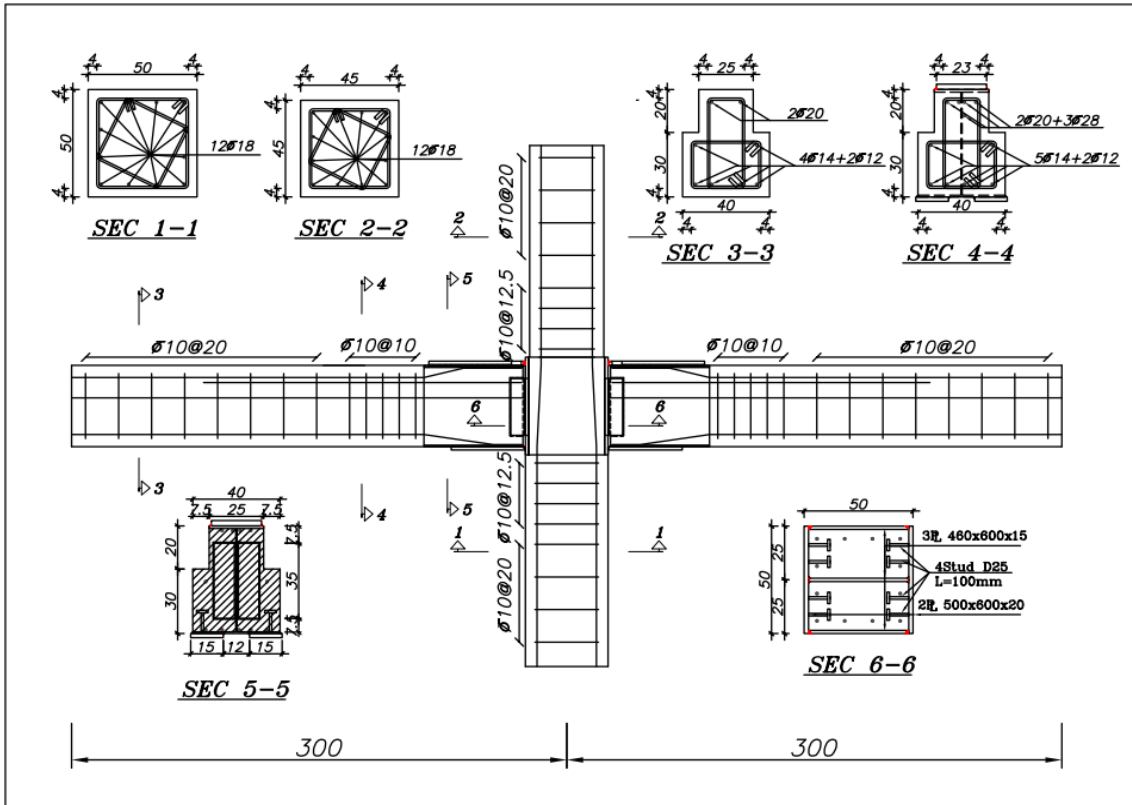
پیش ساخته پیشنهادی را نشان می‌دهد. در اتصال پیشنهادی از تیر ورق انتهایی در تیر استفاده شده است. برای اتصال مناسب تیر ورق انتهایی به ستون پیش ساخته غلافی تقریباً به اندازه ارتفاع تیر ناحیه گرهی اتصال را محصور کرده است. این غلاف علاوه بر محصور کردن گره به کاهش تغییر شکل گره اتصال کمک کرده و فضای مناسبی را برای اتصال ستون‌های پیش ساخته در ارتفاع فراهم می‌کند. این غلاف با استفاده از ورقی سخت کننده در وسط و گل میخ‌هایی با فواصل معین در بتن ستون مهار شده تا در هنگام وارد آمدن تلاش‌ها از طریق تیر اعوجاجی در آن پدید نیاید. قسمت فوقانی تیر پیش ساخته با عرض کمتر طراحی شده است تا فضای مناسب برای نشیمن دال‌های پیش ساخته با هسته توخالی (هالوکور) بر روی آن فراهم شده و ارتفاع مفید طبقه کاهش پیدا نکند. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود اتصال تیر ورق انتهایی به غلاف ستون از طریق ورق‌های زیرسری، روسری و نبشی جان برقرار می‌شود. همچنین اتصال قسمت بتنی تیر به تیر ورق انتهایی از طریق وصله جوشی آرماتورهای تیر به بال تیر ورق انجام می‌پذیرد. ابعاد ورق‌های روسری و زیرسری متصل به بال تیر ورق انتهایی و جفت نبشی جان برای اتصال جان تیر ورق انتهایی به غلاف ستون در شکل نشان داده شده است.

مدل مورد بررسی کاملاً متقارن فرض شد. بارهای اعمالی بر سازه شامل بارهای مرده، زنده و زلزله است. بارگذاری طوری جزئیات دهی شد تا قاب‌های مدل شده بتوانند نماینده خوبی از یک بنای مسکونی با تعداد طبقات یاد شده باشند. قاب‌های مدل شده از نوع قاب خمشی متوسط در نظر گرفته شده و طوری جزئیات دهی شدند تا تامین کننده ملزومات لرزه‌ای برای این نوع قاب باشند. برای ارزیابی گره اتصال، یک گره میانی از قاب داخلی این سازه متقارن در طبقه دوم آن انتخاب شد. با توجه به تلاش‌های وارده بر گره انتخاب شده، طراحی گره مذکور در دو حالت درجا و پیش ساخته با استفاده از آیین‌نامه‌های ACI318-08 [۱۱] و آیین‌نامه PCI 2004 [۱۲] و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۱۳] انجام گرفت. در طراحی گره مورد بررسی ظرفیت خمشی، برشی، طول مهاری و محل قطع میلگردها، ظرفیت مربوط به اندرکنش نیروی محوری و خمش در ستون‌ها، ظرفیت برشی ستون و ملزومات خاموت گذاری مربوط به قاب خمشی متوسط و همچنین چگونگی و توالی طراحی در قطعات اتصال و جوشکاری‌های لازم و برش در چشمه اتصال مورد توجه قرار گرفته است. اشکال ۳ و ۴ به ترتیب جزئیات گره طراحی شده مربوط به سازه درجا و

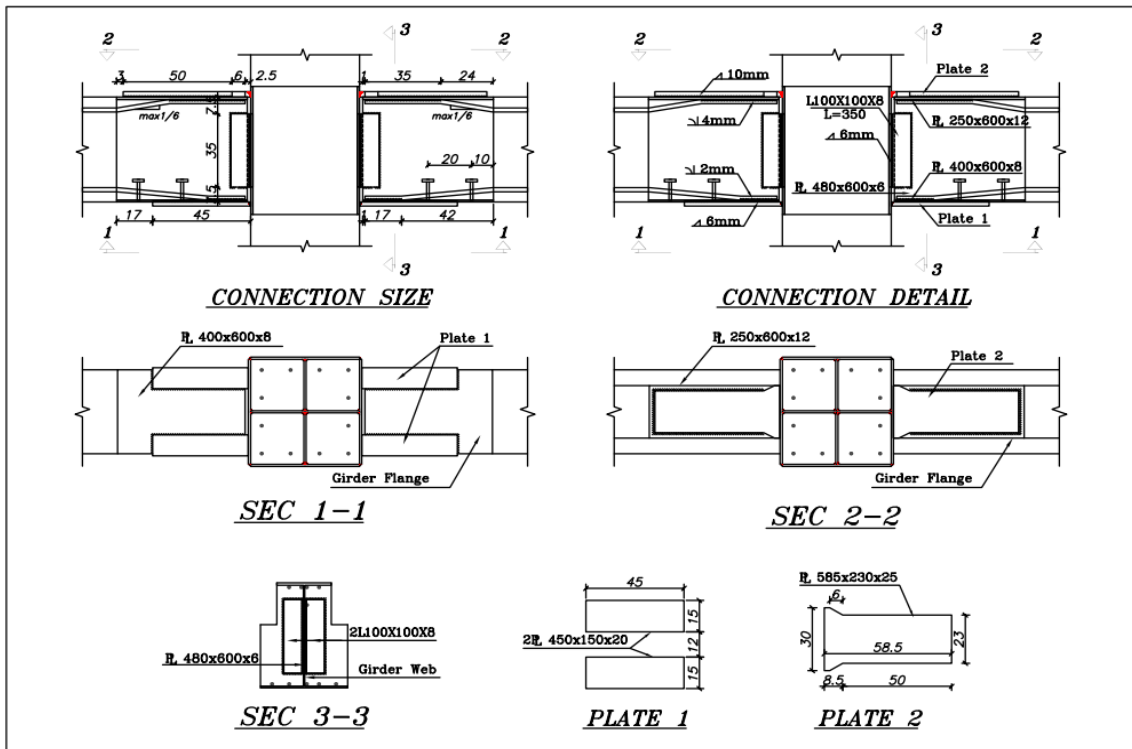


شکل ۳- ابعاد و جزئیات گره درجای طراحی شده

ارائه نوعی اتصال تیر به ستون مقاوم خمشی پیش ساخته ...

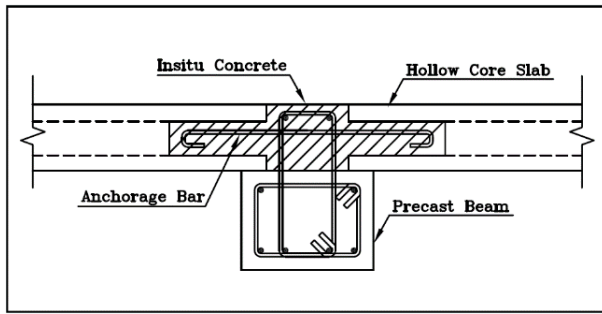


شکل ۴- ابعاد و جزئیات گره پیش ساخته طراحی شده

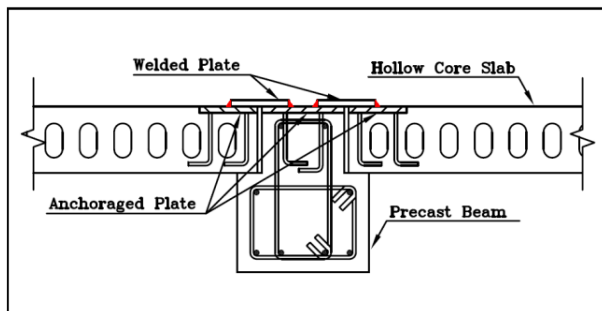


شکل ۵- جزئیات اتصال تیر ورق انتهایی به ستون

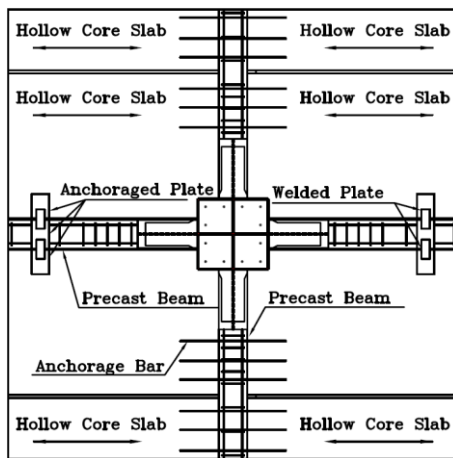
طراحی ورق‌های رو سری و زیر سری و نشی جان بگونه‌ای انجام شده است که حتی بعد تشکیل مفصل پلاستیک در تیر بتنی این اعضا به تسلیم نرسند. همچنین طراحی جوش آرماتورها به تیر ورق انتهایی برای تنش به اندازه $1.25F_y$ انجام پذیرفته است. برای جلوگیری از تابیدگی غلاف ستون به خاطر تلاش‌های وارد از طریق نیروهای کششی از ورقی در وسط سطح مقطع ستون استفاده



شکل ۸- اتصال تیر و دال پیش ساخته در حالتی که تیر عمود بر جهت قرار گیری دال هاست



شکل ۹- اتصال تیر و دال پیش ساخته در حالتی که تیر موازی جهت قرار گیری دال هاست

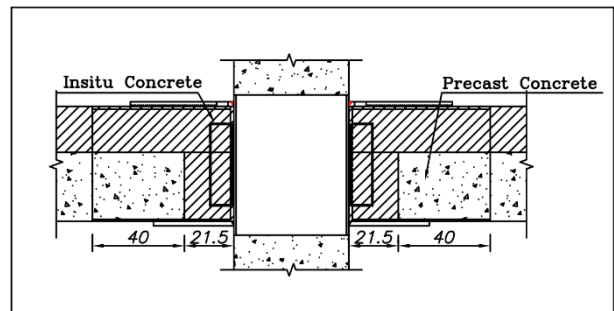


شکل ۱۰- پلان تیر ریزی با اتصال پیشنهادی و نحوه اتصال تیر پیش ساخته به دال های پیرامونی

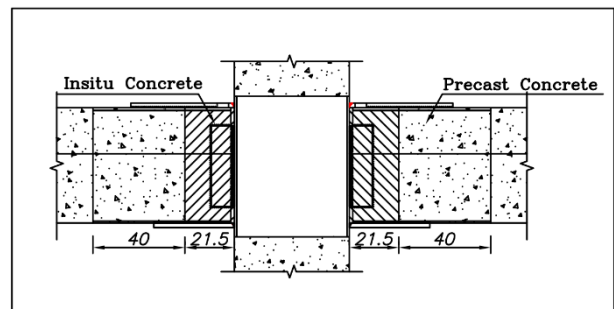
مراحل ساخت ستون و تیر پیش ساخته در کارخانه با توجه ملزومات ناحیه اتصال آنها به این صورت است:

- ۱- ساخت و قرار دادن غلاف ستون در قالب
- ۲- عبور آرماتورهای طولی از غلاف ستون و قرار دادن آنها به همراه آرماتورهای عرضی با توجه به فواصل ارائه شده در قالب
- ۳- بتن ریزی ستون به صورت مجزا
- ۴- ساخت تیر ورق انتهایی تیر با توجه به ابعاد ارائه شده

شده است این ورق و ورقهای پیرامونی بگونه ای طراحی شده اند تا تحت تاثیر نیروهای کششی بعد از تشکیل مفصل در تیر به کرنش های تسلیم نرسند. در ادامه برش در چشمه اتصال با استفاده از کوپل حاصل از نیروهای موجود در مفصل پلاستیک و فاصله احتمالی آن از بر ستون مورد بررسی قرار گرفت. بر خلاف تیرهای پیش ساخته رایج که قسمت کم عرض فوقانی آن در پای کار بتن ریزی می شود، در این حالت تیر پیش ساخته هم می تواند به صورت کاملاً پیش ساخته در موقعیتی موازی و هم به صورت نیمه پیش ساخته در موقعیتی عمود بر دال های پیش ساخته توخالی بکار رود. اشکال ۶ و ۷ نحوه بتن ریزی پای کار را برای تیر پیش ساخته در دو حالت یاد شده نشان می دهد. اتصال تیر به دال های پیرامون خود در حالت عمود بر جهت آنها از طریق عبور مهارهایی از درون سوراخ های دال های پیش ساخته که از درون ناحیه بالای تیر عبور می کنند انجام می شود. اما اتصال تیر در حالت موازی با دال های یاد شده از طریق جوش ورقهای مدفون قرار داده شده در دال و تیر به ورق اتصال صورت می گیرد. شکل ۸ و ۹ نحوه اتصال تیر به دال های پیرامونی بر حسب موقعیت عمود و موازی با دال های پیش ساخته و شکل ۱۰ پلان گره تیر به ستون را با اتصال یاد شده و دال های پیرامونی نشان می دهد.



شکل ۶- نحوه بتن ریزی تیر در حالت عمود بر دال های پیش ساخته



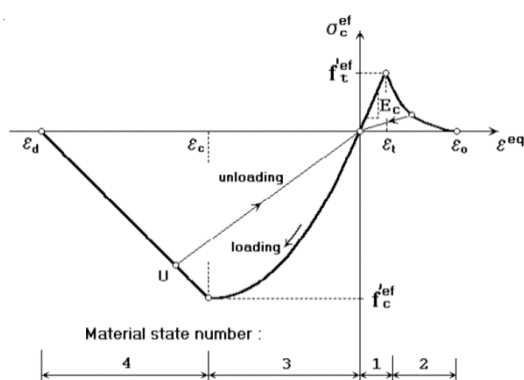
شکل ۷- نحوه بتن ریزی تیر در حالت موازی با دال های پیش ساخته

از مزایای کاربرد چنین اتصالی در مراحل ساخت و نصب نسبت به اتصالات رایج می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- حذف نشیمن ستون و جلوگیری از هدر رفتن فضا و ارتفاع مفید طبقات
- ۲- وجود اتصالی خشک در انتهای تیر و جلوگیری از تداخل آرماتورهای تیر به ستون در پای کار به ویژه هنگامی که درصد آرماتور در گره تیر به ستون بالاست
- ۳- اتصال مناسب تیر به دال های پیرامونی در جهت موازی و عمود بر آنها و به طبع آن ایجاد دیافراگمی صلب
- ۴- ایجاد بستری مناسب برای نشیمن تیر پیش ساخته از طریق نصب صفحه زیرسری در محل اتصال تیر پیش ساخته و همچنین فراهم آوردن فضایی مناسب برای انتقال لنگر
- ۵- ساخت و قالب بندی راحت تر ستون های پیش ساخته در کارخانه به خاطر حذف نشیمن آنها
- ۶- ایجاد بستری مناسب برای وصله ستون های پیش ساخته در طبقات با بکار بردن غلاف فلزی در ناحیه گرهی

۴- مدل رفتاری مصالح مورد استفاده

بررسی عملکرد گره اتصال از طریق آنالیز اجزای محدودی غیر خطی نیازمند تعریف دقیق مصالح به صورت کامل و ایده آل سازی شده دارد. برای این منظور در ابتدا به تعریف بتن مصرفی در ناحیه گره اتصال می پردازیم. برای تعریف منحنی تنش- کرنش بتن مطابق شکل ۱۱ در این تحقیق از مدل رفتاری CEB-FIP [۱۴] استفاده شده است.



شکل ۱۱- مدل رفتاری CEB-FIP برای بتن [۱۴]

این منحنی متشکل از چهار ناحیه است. ناحیه کششی قبل از ترک خوردگی: رفتار بتن در این ناحیه به صورت ماده با خواص الاستیک خطی در نظر گرفته شده است.

۵- چینی آرماتورهای طولی و عرضی با توجه به فواصل ارائه شده

- ۶- جوش انتهای آرماتورهای طولی به بال تیر ورق انتهایی
- ۷- قرار دادن اسکلت ساخته شده در قالب و بتن ریزی آن (در حالت عمود بر دال، بتن ریزی تا ابتدای قسمت کم عرض فوقانی انجام شده و در حالت موازی با دال، بتن ریزی کامل خواهد بود). توالی نصب تیر پیش ساخته به شرح زیر است.
- ۱- قرار گرفتن تیر پیش ساخته (یا نیمه پیش ساخته در جهت عمود بر دال های هالوکور) بر روی صفحه نشیمن اتصال
- ۲- جوش ورق زیرسری، روسری و نشی جان به غلاف ستون
- ۳- قرار دادن دال های هالوکور بر روی نشیمن تیر
- ۴- قرار دادن ادوات مهار بین تیر و دال در قسمت کم عرض فوقانی (در حالت موازی) و یا جوش ورق های اتصال به ورق های مهار شده در قسمت کم عرض فوقانی تیر و دال پیش ساخته (در حالت عمود)
- ۵- بتن ریزی در جای قسمت کم عرض فوقانی تیر در حالت استفاده از تیر نیمه پیش ساخته

در طراحی گره پیش ساخته علاوه بر در نظر گرفتن تلاش های حین بهره برداری، ملزومات خاص ساخت قطعات پیش ساخته در کارخانه، حمل و نصب قطعات مورد توجه قرار گرفته است. این ملزومات به شرح زیر اند.

- ۱- قابلیت ساخت قطعات با توجه به شرایط خط تولید در کارخانه
- ۲- توجه به رواداری های ساخت قطعات پیش ساخته
- ۳- هندسه متعارف برای حمل و انبار در کارخانه
- ۴- عدم استفاده از قسمت های طره و پیش آمدگی های آسیب پذیر در طراحی قطعات به منظور جلوگیری از شکست آنها حین حمل
- ۵- تامین ملزومات نیرویی در حین برداشت و نصب قطعات با استفاده از جرثقیل

۶- توجه به رواداری های نصب قطعات پیش ساخته در پای کار

۷- تامین مقاومت و کنترل خیز توسط خود تیر پیش ساخته بعد از قرار دادن دال های هالوکور روی آن و قبل از بتن ریزی رویه تیر در حالت قرارگیری تیر عمود بر دال های پیش ساخته بدون نیاز به شمع

۸- تامین مقاومت و کنترل خیز بعد از گیرش بتن قسمت فوقانی تیر و قبل از گیرش بتن رویه سقف بر روی دال های هالوکور

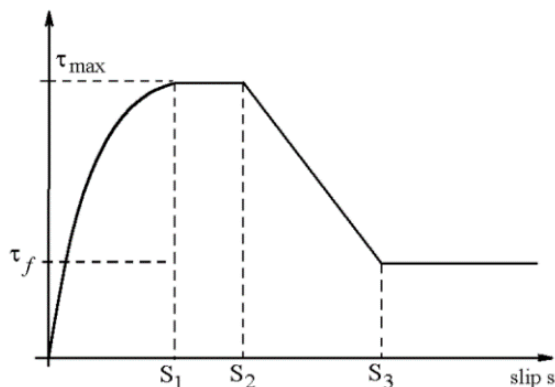
آل سازی شده و دو خطی با در نظر گیری سخت شوندگی کرنشی E_{sh} معادل ۰.۲٪ از مدول الاستیسیته اولیه E_s تعریف شد. برای در نظر گرفتن چسبندگی آرماتور به بتن اطراف آن از مدل رفتاری ارائه شده توسط آیین نامه CEB-FIP استفاده شد. نمودار چسبندگی لغزش ارائه شده توسط آیین نامه CEB-FIP در شکل ۱۲-ب نشان داده شده است. در این مدل، پارامترهای S_1 ، S_2 و S_3 بر اساس مقاومت فشاری بتن، قطر و نوع آرماتور تعریف می‌گردد. پارامتر مهم دیگر شرایط محصور شدگی و کیفیت بتن ریخته شده است. در این تحقیق پارامترهای یاد شده بر اساس نوع آرماتورهای آج‌دار و شرایط محصور شدگی با چسبندگی مطلوب انتخاب شد. برای تعریف قطعات اتصالی فولادی از مدل پلاستیسیته فون میسر [۱۸] که مدل پلاستیسیته J_2 نیز نامیده می‌شود و بر پایه پارامتر k قرار دارد، استفاده شد. تابع تسلیم در این مدل طبق رابطه ۱ بدست می‌آید.

$$F^P(\sigma_{ij}) = \sqrt{J_2} - k(\epsilon_{eq}^P) = 0 \quad (1)$$

در این رابطه J_2 اشاره به ثابت دوم از تانسور تنش انحرافی دارد. پارامتر k تنش برشی حداکثر طبق رابطه ۲ است.

$$k(\epsilon_{eq}^P) = \sigma_y + H\epsilon_{eq}^P \quad (2)$$

پارامتر H شیب مربوط به ناحیه سخت شوندگی فولاد است.



الف- منحنی دو خطی همراه با سخت شوندگی کرنشی آرماتور ب- مدل رفتاری چسبندگی آرماتور به بتن در آیین نامه CEB-FIP
شکل ۱۲- منحنی‌های رفتاری انتخاب شده برای آرماتور مدفون در بتن [۱۴]

بین دو ماده بستگی به جنس سطح و تنش‌های نرمال و مماسی ایجاد شده در سطح مشترک دارد. نمودار تنش در سطح مشترک المان‌ها با استفاده از رابطه تئوری مور-کولمب در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

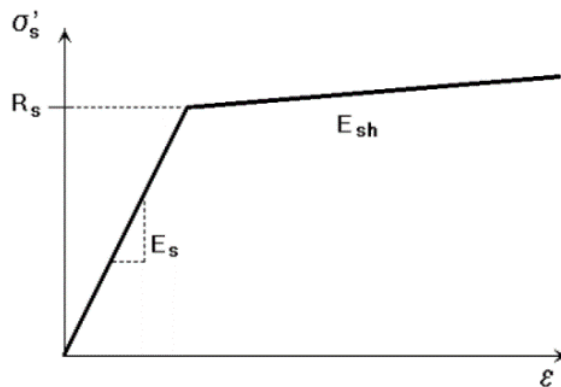
E_c به عنوان مدول الاستیسیته بتن و f_c^{ef} مقاومت کششی موثر برگرفته از تابع تنش دوبعدی است.

ناحیه کششی بعد از ترک خوردگی: برای این ناحیه از تابع بازشدگی ترک توانی هردیک [۱۵] که به صورت آزمایشگاهی بدست آمده است، استفاده می‌شود.

ناحیه فشاری قبل از تنش حداکثر: رابطه ارائه شده برای این قسمت منطبق با مدل رفتاری ارائه شده توسط CEB-FIP برای بتن است. این رابطه قادر به در نظر گیری دامنه وسیعی از نمودارها از حالت خطی تا منحنی است. در این ناحیه f_c^{ef} مقاومت فشاری موثر بتن، ϵ_c کرنش در تنش حداکثر است.

ناحیه فشاری بعد از تنش حداکثر: در این تحقیق از مدل صفحه فشاری فرضی که بر پایه تئوری انرژی تلف شده قرار دارد استفاده شده است. این تئوری توسط آزمایش‌های صورت گرفته توسط وان مایر [۱۶] مورد تایید قرار گرفته است. ϵ^d در این ناحیه نشان دهنده کرنش معادل تنش صفر است.

در این تحقیق معیار شکست بتن در تنش چند محوره منطبق بر روابط ارائه شده توسط کوپفر و همکاران [۱۷] در نظر گرفته شد. برای مدل‌سازی آرماتور از مدل رفتاری "مجزا" استفاده شده است. در این مدل آرماتور مستقل از بتن و به صورت جداگانه و در تماس با بتن اطراف آن مدل‌سازی می‌گردد. منحنی رفتاری آرماتور هم همانطور که در شکل ۱۲-الف نشان داده شده است به صورت ایده



در سطوح مشترک برای شبیه‌سازی صفحه تماس بین دو ماده و پیش‌بینی رفتار مصالح در سطح مشترکشان از مدل رفتاری بر پایه تئوری مور-کولمب [۱۸] کمک گرفته شد. در این تئوری رفتار سطوح مشترک

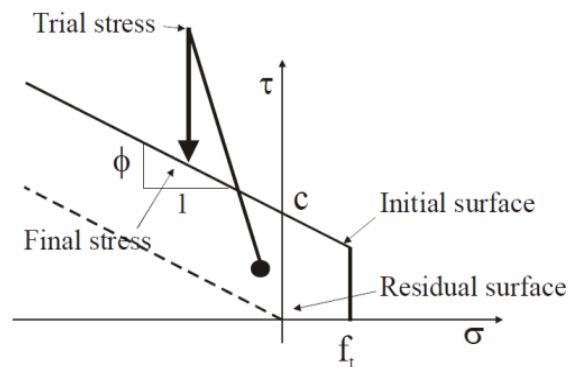
گرهی و آجری ۲۰ گرهی به صورت توام استفاده شده است. هنده و گرهای المان‌های مذکور در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

۶- هندسه و برنامه بارگذاری

برای انجام آنالیز در این تحقیق از نرم‌افزار Atena 3D بهره گرفته شده است. این نرم‌افزار قابلیت رصد رفتار غیر خطی منطقه اتصال، تمرکز تنش‌ها و کرنش‌ها در بتن، آرماتورهای طولی، عرضی و ترک خوردگی در مناطق مختلف بتن را داراست. شکل ۱۵ هندسه طرح شده برای بارگذاری گرّه تیر به ستون را در دو مرحله نشان می‌دهد.

جزئیات و ابعاد المان‌های مربوطه در اشکال ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند. در مرحله اول ستون تحت بار محوری فشاری برابر ۷۰ تن قرار گرفت. این بار تقریباً معادل سهم بارگیر ستون از بارهای مرده و زنده وارد بر کف طبقات در تراز مربوطه است. این مرحله بارگذاری به صورت کنترل شونده توسط نیرو و در ۲۰ گام انجام شد. در مرحله دوم بار در انتهای یکی از تیرهای متصل بر گرّه تیر و ستون قرار گرفته و در سه انتهای المان‌های دیگر تکیه‌گاه‌های مفصلی قرار داده شد. این مرحله بارگذاری کنترل شونده توسط تغییر مکان انجام شده و در هر گام، تغییر مکانی در حد یک میلی متر بر انتهای تیر در دو جهت مخالف اعمال گشت. بارگذاری برای بررسی عملکرد اتصال در لنگر مثبت و منفی تا رسیدن به جابجایی نسبی ۰/۶ ادامه پیدا کرد.

گره مدل شده در نرم‌افزار برای دو حالت پیش ساخته و درجا در شکل ۱۶ نشان داده شده است. در محل بارگذاری و تکیه‌گاه‌ها برای جلوگیری از تمرکز تنش و خرد شدگی زودرس بتن در آن نواحی از صفحات فولادی استفاده شد. بر روی این صفحات و در نقاط بارگذاری تغییر مکان و نیروی اعمالی در هر گام اندازه‌گیری شد. همچنین کرنش در فواصل معین از گرّه اتصال بر روی آرماتورهای بالا و پایین تیر رصد شد تا ناحیه تشکیل مفصل پلاستیک و تسلیم شدگی آرماتورها مشخص گردد. در حین بارگذاری و در گام پایانی الگوی ترک خوردگی و تمرکز آن در نواحی مختلف و چگونگی به مکانیسم رسیدن گرّه مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۱۳- منحنی رفتاری در سطح مشترک بر پایه تئوری مور-

کولمب [۱۸]

شرایط مربوط به سطح اولیه شکست در تئوری مور کولمب از رابطه ۳ بدست می‌آید.

$$\begin{aligned} |\tau| &\leq c - \sigma \cdot \phi, \sigma \leq f_t \\ \tau &= 0, \sigma > f_t \end{aligned} \quad (3)$$

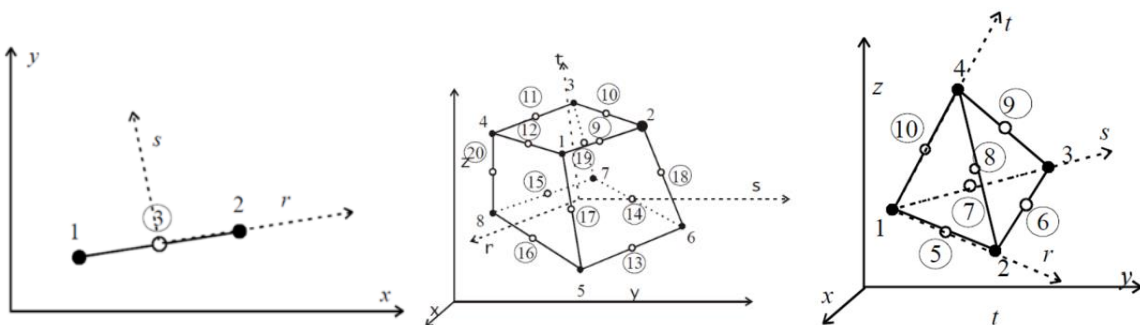
در این روابط، c چسبندگی و ϕ زاویه اصطکاک داخلی است. بعد از اینکه تنش‌های وارده بیش از مقاومت موجود در سطح شد، سطح مشترک خرد شده و مقاومت باقی مانده فقط ناشی از اصطکاک موجود در سطح باقی مانده خواهد بود. از این مدل رفتاری در این تحقیق برای تعریف سطح مشترک بتن و فولاد و مقاومت معادل جوش سطح مشترک ورق‌های روسری و زیر سری با بال تیر ورق انتهایی و اتصال نبشی جان با جان تیر ورق انتهایی و غلاف ستون استفاده شده است. در جدول ۱ پارامترهای مهم تعریف شده برای مصالح ذکر شده‌اند.

۵- مدل اجزای محدودی

برای استفاده از آنالیز اجزای محدود در حل مسئله نیازمند استفاده از المان‌های خربایی و سه بعدی برای مش بندی عناصر یک بعدی و سه بعدی هستیم. این المان‌های ایزوتروپیک در حالت یک بعدی از انتگرال گیری گوس در یک نقطه (با توجه به درون یابی خطی) برای المان‌های دو گرهی و یا دو نقطه (با توجه به درون یابی توانی) برای المان‌های سه گرهی استفاده می‌کنند. اینگونه المان‌ها برای مش بندی عناصر خطی در آنالیزهای سه بعدی مناسب‌اند. همچنین به منظور مش بندی عناصر سه بعدی نیز از المان‌های گوه‌ای ۱۰

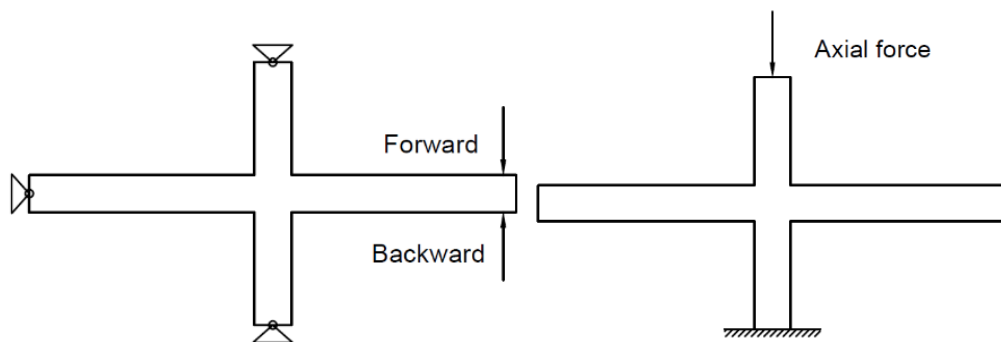
جدول ۱- پارامترهای مربوط به تعریف مصالح

پارامتر	تعریف پارامتر	رابطه یا توضیحات ارائه شده	مقدار	واحد
بتن				
f'_c	مقاومت استوانه‌ای	$f'_c = -0.85f'_{cu}$	300	kg / cm ²
f'_t	مقاومت کششی	$f'_t = 0.24(f'_{cu})^{2/3}$	25.8	kg / cm ²
E_c	مدول الاستیک اولیه	$E_c = (6000 - 15.5f'_{cu}) \times (f'_{cu})^{1/2}$	3.24E + 5	kg / cm ²
ν	نسبت پواسون	-	0.2	-
آرماتور عرضی				
E_s	مدول الاستیک	-	2.1E + 6	kg / cm ²
σ_y	تنش تسلیم	-	3000	kg / cm ²
H	شیب ناحیه سخت شونده‌گی کرنشی	معادل ۰.۲ مدول الاستیسیته اولیه	42000	kg / cm ²
آرماتور طولی				
E_s	مدول الاستیک	-	2.1E + 6	kg / cm ²
σ_y	تنش تسلیم	-	4000	kg / cm ²
H	شیب ناحیه سخت شونده‌گی کرنشی	معادل ۰.۲ مدول الاستیسیته اولیه	42000	kg / cm ²
چسبندگی آرماتور				
f_{cu}	مقاومت بتن مورد استفاده	-	350	kg / cm ²
-	نوع آرماتور مورد استفاده	آرماتور از نوع آجدار است	-	-
-	شرایط محصور شدگی	آرماتور از نوع محصور شده است	-	-
-	کیفیت چسبندگی	کیفیت چسبندگی مطلوب در نظر گرفته شد	-	-
سطح تماس بال تحتانی تیر ورق با صفحه زیر سری				
c	چسبندگی سطوح	مقاومت معادل جوش گوشه بین دو صفحه	127.1	kg / cm ²
ϕ	زاویه اصطکاک داخلی	-	0	-
سطح تماس بال فوقانی تیر ورق با صفحه روسری				
c	چسبندگی سطوح	مقاومت معادل جوش گوشه بین دو صفحه	98.8	kg / cm ²
ϕ	زاویه اصطکاک داخلی	-	0	-
سطح تماس نبشی جان با جان تیر ورق				
c	چسبندگی سطوح	مقاومت معادل جوش گوشه بین نبشی و صفحه	65.0	kg / cm ²
ϕ	زاویه اصطکاک داخلی	-	0	-
سطح تماس نبشی جان با غلاف ستون				
c	چسبندگی سطوح	مقاومت معادل جوش گوشه بین نبشی و صفحه	55.3	kg / cm ²
ϕ	زاویه اصطکاک داخلی	-	0	-



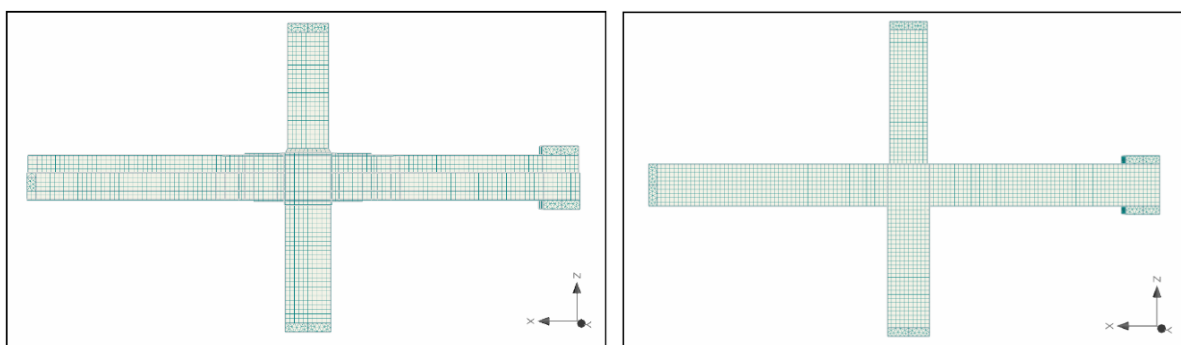
الف- المان ۳ گرهی خطی ب- المان آجری ۲۰ گرهی سه بعدی ج- المان گوه ای ۱۰ گرهی سه بعدی

شکل ۱۴- المان‌های اجزای محدودی مورد استفاده در نرم‌افزار [19]



الف- بارگذاری محوری ستون در مرحله اول ب- بارگذاری در انتهای تیر در مرحله دوم

شکل ۱۵- هندسه در نظر گرفته شده و مراحل بارگذاری در نرم افزار



الف- گره درجا

ب- گره پیش ساخته پیشنهادی

شکل ۱۶- مدل اجزای محدودی و مش بندی صورت گرفته در نرم افزار

مورد بررسی قرار می گیرد. این حدود در شکل برای بررسی عملکرد اتصال مورد نظر نشان داده شده است. برای بررسی صحت نتایج، علاوه بر صحت سنجی آنالیز با استفاده از تحقیقات قبلی [۲۲] مقادیر حاصل از مقاومت خمشی گره اتصال با مقادیر مقاومت بدست آمده از ظرفیت تیر بر اساس فرضیه سازگاری کرنش ها و تئوری بلوک تنش ویتنی مطابق رابطه ۴ مقایسه شد.

$$M_n = 0.85f'_c ab(d - a/2) + A_s'f'_y(d - d') \quad (4)$$

در این رابطه M_n مقاومت اسمی خمشی تیر، a ارتفاع بلوک تنش، b عرض بال فشاری، f'_c مقاومت مشخصه بتن، A_s' مساحت فولاد فشاری، f'_y مقاومت تسلیم فولاد فشاری و d و d' به ترتیب فاصله آرماتور کششی و فشاری تا آخرین تار فشاری تیر بتنی است. همانطور که در شکل ۱۷ برداشت می شود حداکثر لنگر منفی بدست آمده برای گره درجا و پیش ساخته به ترتیب (در محل

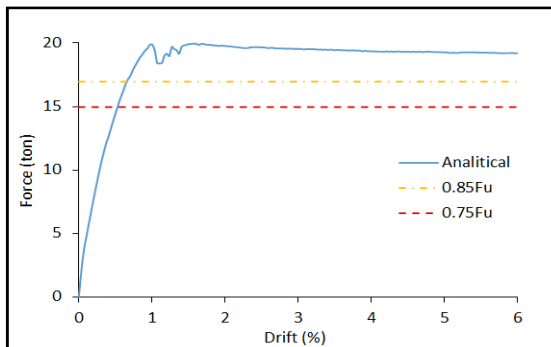
۷- بحث در مورد نتایج آنالیز

آنالیز انجام شده بر روی گره درجا و پیش ساخته تحت لنگر منفی و مثبت و به صورت یکنواخت انجام شد. نمودارهای نیرو بر حسب جابجایی نسبی (دریفت)، الگوی ترک خوردگی تا مرحله شکست، کرنش های اندازه گیری شده و محل تشکیل مفاصل پلاستیک جداگانه مورد بررسی قرار گرفت.

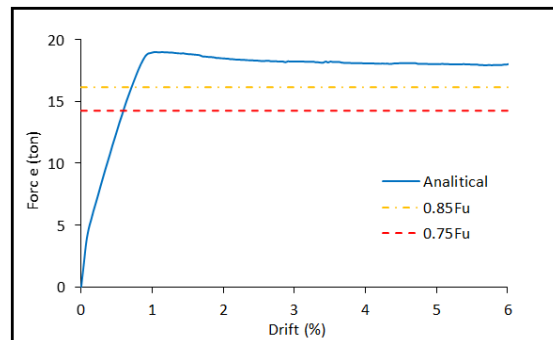
۷-۱- نمودار نیرو-جابجایی نسبی اتصالات

نمودار نیرو-جابجایی نسبی گره درجا و پیش ساخته در انتهای تیری که تحت بارگذاری یکنواخت قرار داشت، در شکل ۱۷ و ۱۸ نشان داده شده است. طبق آیین نامه ACI374.1-05 [۲۰] جابجایی نسبی انتهای المان تحت بار در هندسه مورد استفاده برای گره تیر به ستون باید بیش از ۳/۵٪ باشد. بر اساس آیین نامه ACI1.01 [۲۱] مقاومت گسیختگی باید در حد ۰/۷۵ مقاومت حداکثر و همچنین شکل پذیری در مقومتی در حد ۰/۸۵ مقاومت حداکثر

تشکیل مفصل پلاستیک) $49/85 \text{ ton.m}$ و $39/60 \text{ ton}$. بدست می آید. بنابراین با داشتن اختلاف مقاومتی در حد ۱۱٪ برای مگره درجا و ۲٪ برای مگره پیش ساخته، تطابق خوبی بین نتایج حاصل شده است. برای این دو مگره به ترتیب $44/20 \text{ ton.m}$ و $38/92 \text{ ton.m}$

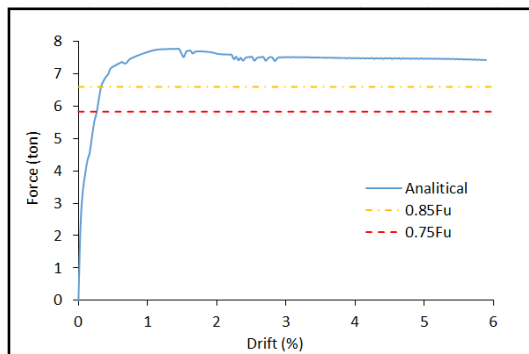


(ب) اتصال پیش ساخته

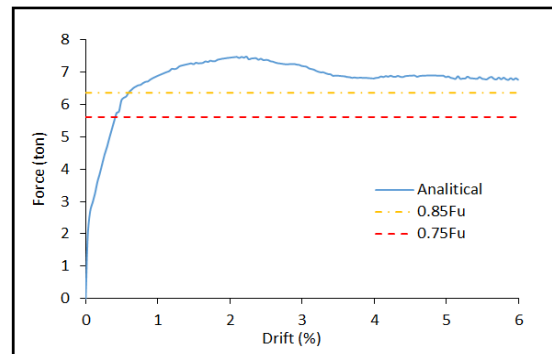


(الف) اتصال درجا

شکل ۱۷- منحنی نیرو-جابجایی نسبی اتصالات تحت لنگر منفی



(ب) اتصال پیش ساخته



(الف) اتصال درجا

شکل ۱۸- منحنی نیرو-جابجایی نسبی اتصالات تحت لنگر مثبت

۲-۲- الگوی ترک خوردگی در اتصال

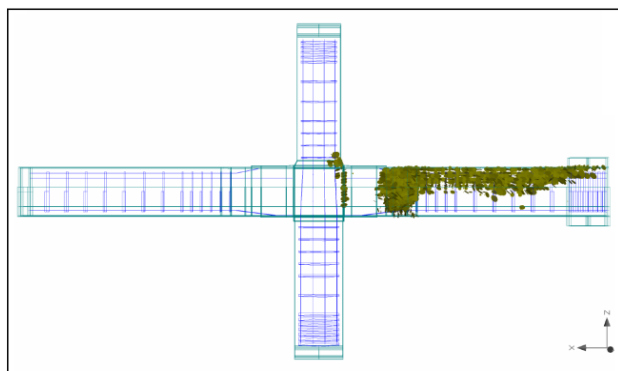
در مراحل بارگذاری حین انجام آنالیز، چگونگی گسترش ترک ها در هر مرحله مورد بررسی قرار گرفت. در اشکال ۱۹ و ۲۰ تمرکز ترک های گسترش یافته تا جابجایی نسبی ۶٪ نشان داده شده است. ترک های نشان داده شده شامل کلیه ترک های ایجاد شده در قطعات بتنی نیست و تنها شامل ترک هایی است که در جابجایی های نسبی پایانی دارای عرض بیشتر و در حال گسترش هستند. تحت لنگر منفی و در مگره درجا شروع بارگذاری در گام های نخستین با ترک هایی در ناحیه بتن پوشش بالای انتهای تیر همراه بود. در ادامه گسترش ترک ها به سمت قسمت میانی تیر ادامه یافت و ناحیه مگره اتصال نیز دچار ترک خوردگی مایل شد. در گام های پایانی با افزایش تغییر مکان اعمالی همانطور که در شکل نیز مشخص است عرض ترک ها در

ظرفیت نهایی حاصل از دو مگره درجا و پیش ساخته تحت لنگر مثبت همانطور که از شکل ۱۸ بر می آید، به ترتیب (در محل تشکیل مفصل پلاستیک) $19/45 \text{ ton.m}$ و $15/42 \text{ ton.m}$ است. این مقادیر در مقایسه با ظرفیت های بدست آمده از رابطه ۴ که برای مگره درجا و پیش ساخته $15/94 \text{ ton.m}$ و $12/82 \text{ ton.m}$ است، با داشتن اختلافی به ترتیب در حدود ۱۸٪ و ۱۷٪ همخوانی نسبتاً خوبی را نشان می دهد. مقاومت گسیختگی در جابجایی نسبی حداکثر در لنگر منفی برای دو اتصال درجا و پیش ساخته به ترتیب (در محل تشکیل مفصل پلاستیک) $47/27 \text{ ton.m}$ و $38/11 \text{ ton.m}$ و برای لنگر مثبت به ترتیب (در محل تشکیل مفصل پلاستیک) $17/75 \text{ ton.m}$ و $14/73 \text{ ton.m}$ است. این در حالی است که در تمام موارد تا جابجایی نسبی ۶٪ مقاومت گسیختگی بیش از مقادیر مجاز یاد شده است.

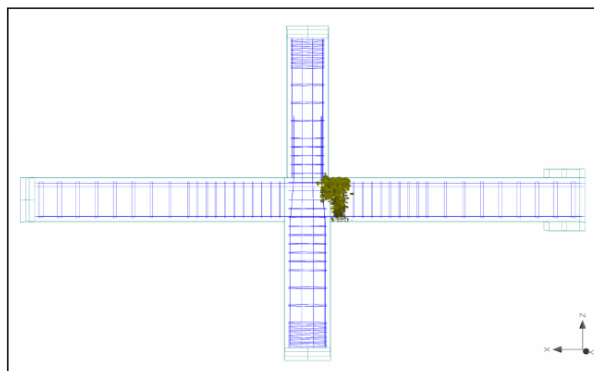
در گره پیش ساخته پیشنهادی تحت لنگر منفی ترک خوردگی از پوشش روی بتن در ابتدای تیر ورق انتهایی آغاز شد و در ادامه بارگذاری ترک های این ناحیه به نواحی میانی و ابتدایی تیر نیز گسترش یافت. در گام های میانی در ناحیه داخلی غلاف و در گره اتصال ترک خوردگی محدودی نیز ایجاد شد که گسترش بیشتری نیافت. این در حالی است که چگالی ترک ها با عرض بیشتر همانطور که در شکل ۱۹- ب نشان داده شده است در ابتدای تیر ورق انتهایی تیر بوده و از گره تیر به ستون فاصله دارد. اما تحت لنگر مثبت ترک خوردگی محدودتری در تیر پیش ساخته ایجاد و گسترش ترک ها به نواحی گره اتصال بسط پیدا نکرد. این در حالی است که تمرکز ترک های اصلی همانطور که در شکل ۲۰- ب نیز نشان داده شده است در ناحیه ابتدایی تیر ورق اتفاق افتاد.

ناحیه انتهای تیر بیشتر شده و قسمت های تحتانی تیر متصل به تکیه گاه و ستون نیز دچار ترک خوردگی شدند. نمای جانبی الگوی ترک خوردگی پایانی در این حالت در شکل ۱۹- الف نشان داده شده است.

تحت لنگر مثبت ترک خوردگی از ناحیه زیرین تیری که تحت بارگذاری قرار داشت شروع شد و با افزایش نیروی اعمالی گسترش ترک به سمت نواحی میانی تیر ادامه یافت. الگو و محل تمرکز ترک های اصلی همانطور که در شکل ۲۰- الف نیز مشخص شده مانند حالت قبل است. گسیختگی نهایی در این حالت با باز شدن عرض ترک ها در ناحیه انتهای تیر همراه بود، این در حالی است که ستون و تیر مقابل تا کرنش گسیختگی دچار ترک خوردگی محسوسی نشدند.

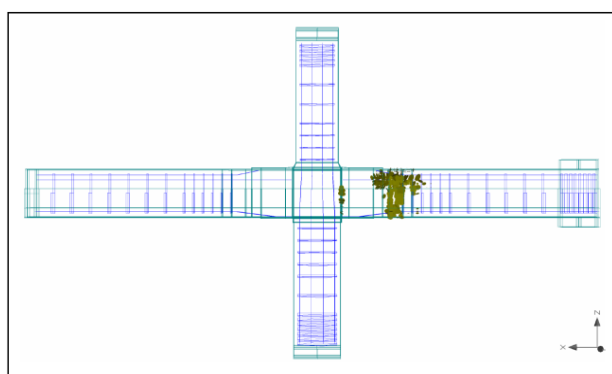


(ب) اتصال پیش ساخته

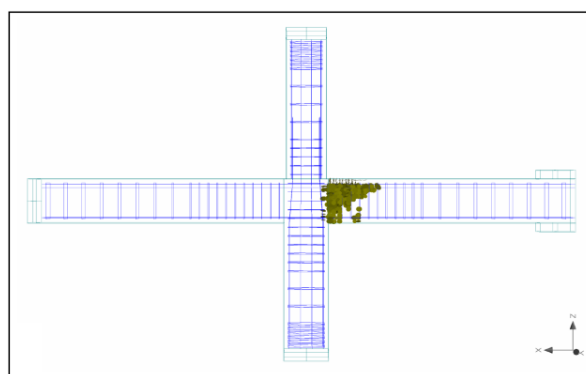


(الف) اتصال درجا

شکل ۱۹- الگوی ترک های گسترش یافته تا جابجایی نسبی ۰/۶٪ تحت لنگر منفی



(ب) اتصال پیش ساخته



(الف) اتصال درجا

شکل ۲۰- الگوی ترک های گسترش یافته تا جابجایی نسبی ۰/۶٪ تحت لنگر مثبت

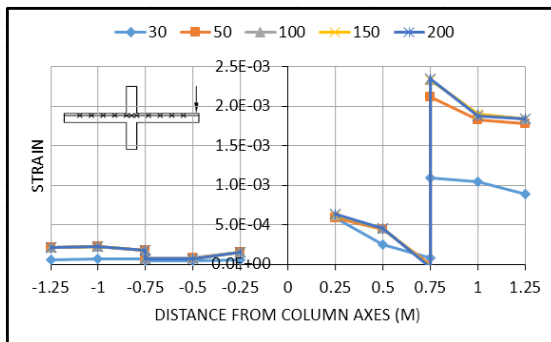
۰/۷۵، ۰/۵۰، ۰/۲۵ (بر ستون)، ۰ (وسط گره)، ۰/۲۵- (بر ستون)،
 ۰/۵۰، -۰/۷۵، -۱/۰۰ و -۱/۲۵- متری از محل محور ستون
 اندازه گیری شد. اندازه گیری های انجام شده مربوط به گام های ۳۰

۷-۳- کرنش اندازه گرفته شده در اتصال

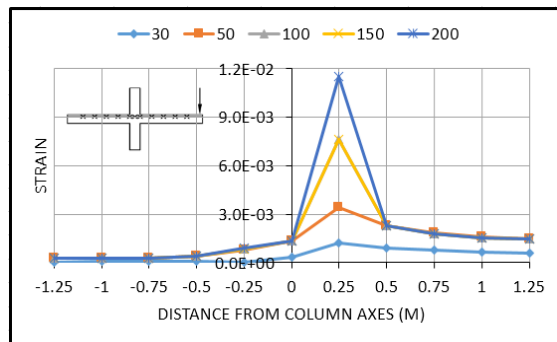
میزان کرنش ایجاد شده در آرماتورهای فوقانی (تحت لنگر منفی) و تحتانی (تحت لنگر مثبت) اتصال درجا در فواصل ۱/۲۵، ۱/۰۰،

تمرکز کرنش‌های اندازه‌گیری شده تحت لنگر منفی و مثبت در بر ستون در ناحیه گره اتصال رخ داده است. در حالی که در خود گره و تیر مقابل کرنش اندکی ایجاد شده است. کرنش تسلیم در حالت لنگر منفی بعد از گام ۳۰ (معادل تغییر مکان ۱cm بارگذاری) و تحت لنگر مثبت بعد از گام ۵۰ (معادل تغییر مکان ۳cm بارگذاری) روی داده است.

(معادل تغییر مکان ۱cm نقطه بارگذاری)، ۵۰ (معادل تغییر مکان ۳cm نقطه بارگذاری)، ۱۰۰ (معادل تغییر مکان ۸cm نقطه بارگذاری)، ۱۵۰ (معادل تغییر مکان ۱۳cm نقطه بارگذاری) و ۲۰۰ (معادل تغییر مکان ۱۸cm نقطه بارگذاری) هستند. در اشکال ۲۱- الف و ۲۲- الف میزان کرنش اندازه‌گیری در اتصال درجا نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود،

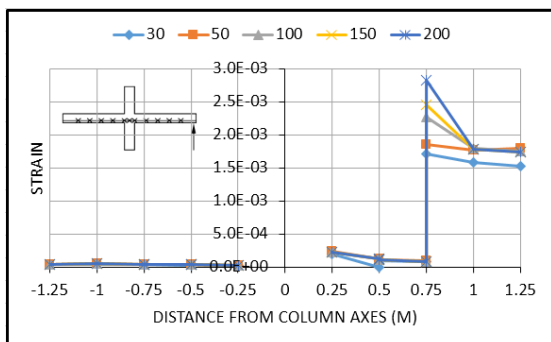


(ب) اتصال پیش ساخته

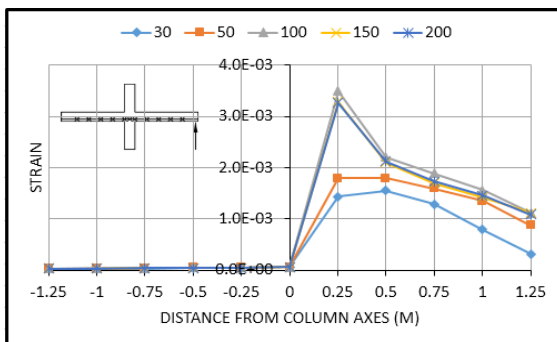


(الف) اتصال درجا

شکل ۲۱- مقادیر کرنش اندازه‌گیری شده در فواصل معین از آرماتورهای فوقانی تحت لنگر منفی



(ب) اتصال پیش ساخته

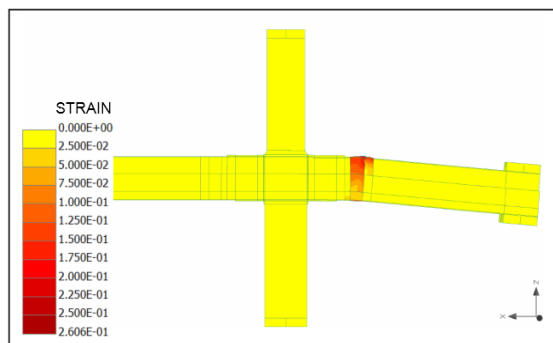


(الف) اتصال درجا

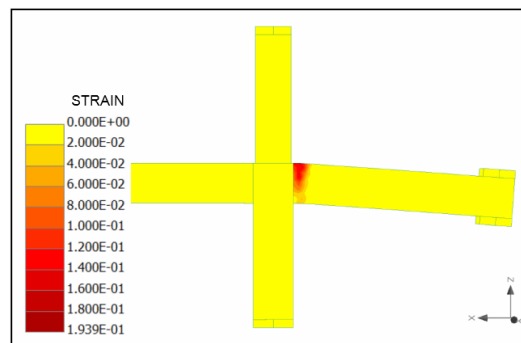
شکل ۲۲- مقادیر کرنش اندازه‌گیری شده در فواصل معین از آرماتورهای تحتانی تحت لنگر مثبت

انتهایی تحت لنگر منفی و مثبت دارد. این در حالی است که بال تیر ورق و ورق‌های روسری و زیر سری با وجود تلاش‌های وارده به کرنش تسلیم نرسیده‌اند. کرنش‌های بدست آمده در تیر مقابل در این اتصال هم به خصوص تحت لنگر مثبت در حد صفر است. همانطور که در اشکال ۲۱- ب و ۲۲- ب مشاهده می‌شود، کرنش تسلیم در حالت لنگر منفی بعد از گام ۳۰ (معادل تغییر مکان ۱cm نقطه بارگذاری) و تحت لنگر مثبت بعد از گام ۵۰ (معادل تغییر مکان ۳cm نقطه بارگذاری) روی داده است. برای مشاهده هر چه بهتر تغییر شکل‌های روی داده، محل تشکیل مفاصل پلاستیک در گام پایانی در اشکال ۲۳ و ۲۴ نیز نشان داده شده است.

میزان کرنش ایجاد شده در بر فوقانی (تحت لنگر منفی) و تحتانی (تحت لنگر مثبت) تیر پیش ساخته در فواصل ۱/۲۵ (بر روی آرماتور)، ۱/۱۰ (بر روی آرماتور)، ۰/۷۵ (بر روی آرماتور)، ۰/۷۵ (بر روی بال تیر ورق)، ۰/۵۰ (بر روی بال تیر ورق) و بر روی ورق روسری و زیر سری، ۰/۲۵ (بر ستون و بر روی ورق روسری و زیر سری)، ۰/۵۰ (بر روی بال تیر ورق)، ۰/۷۵ (بر روی بال تیر ورق)، ۰/۷۵ (بر روی آرماتور) و ۱/۱۰ (بر روی آرماتور) و ۱/۲۵ (بر روی آرماتور) از محل محور ستون اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌های انجام شده حاکی از به تسلیم رسیدن آرماتورها در ابتدای تیر ورق پس از اتصال به بال تیر ورق

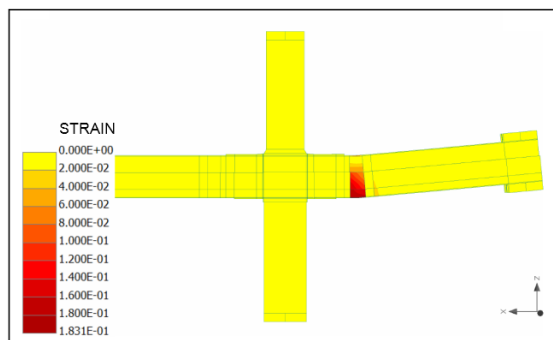


(ب) اتصال پیش ساخته

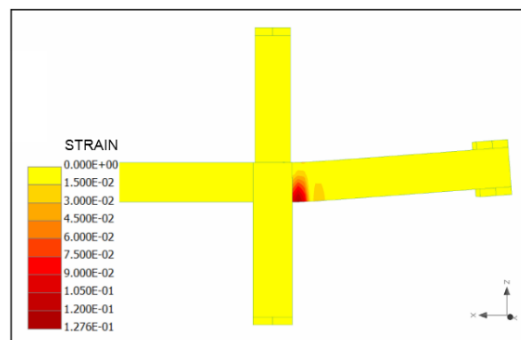


(الف) اتصال درجا

شکل ۲۳- محل تشکیل مفاصل پلاستیک در جابجایی نسبی ۰.۰۶٪ تحت لنگر منفی



(ب) اتصال پیش ساخته



(الف) اتصال درجا

شکل ۲۴- محل تشکیل مفاصل پلاستیک در جابجایی نسبی ۰.۰۶٪ تحت لنگر مثبت

را داراست. این در حالی است که افت مقاومت حاصل از اتصال

پیش ساخته پیشنهادی از اتصال درجای معادل خود کمتر است.

اتصال پیش ساخته پیشنهادی مانند اتصال درجا تا جابجایی نسبی ۰.۰۶٪

مقاومتی بیشتر از $0.85 F_u$ داشته و شکل پذیری مطلوبی را نیز از

خود نشان داده است. اما این اتصال با جذب انرژی ۱/۰۸ و ۱/۰۵

برابری به ترتیب تحت لنگر منفی و مثبت جذب انرژی بیشتری از

خود نشان داده و در نتیجه برابر نیروهای لرزه‌ای عملکرد بهتری

خواهد داشت. در زمینه سختی اولیه نیز اتصال پیشنهادی عملکرد

بهتری نشان داده و به ترتیب تحت لنگر منفی و مثبت سختی این

اتصال ۱/۲۴ و ۱/۶۶ برابر اتصال درجاست.

جدا از عملکرد مطلوب اتصال پیش ساخته در تمامی فاکتورهای

مورد بررسی محل تشکیل مفصل پلاستیک در این اتصال دور تر

از ناحیه گرهی بوده و در خود تیر تشکیل شده است. محل تشکیل

مفصل در این نوع اتصال به توالی گسیختگی مناسب در سازه طی

زلزله و تئوری ایجاد تیر ضعیف و ستون قوی در سازه‌های

پیش ساخته کمک خواهد کرد.

۸- مقایسه پارامترهای مختلف اتصالات

به منظور بررسی و مقایسه عملکرد اتصال درجا و پیش ساخته

پارامترهای مربوط به منحنی نیرو-جابجایی نسبی آنها در جدول ۲

آورده شده است. این پارامترها شامل مقاومت نهایی، مقاومت

تسلیم، مقاومت گسیختگی، میزان جذب انرژی، درصد افت

مقاومت در جابجایی نسبی حداکثر (یا جابجایی نسبی نهایی

اندازه‌گیری شده)، جابجایی نسبی حداکثر و جابجایی نسبی در

مقاومت تسلیم، شکل پذیری و سختی اولیه اتصال است. میزان

جذب انرژی از مساحت زیر نمودار و میزان شکل پذیری با استفاده

از نسبت جابجایی نسبی گسیختگی (یا جابجایی نسبی حداکثری

اندازه‌گیری شده) به جابجایی نسبی نظیر مقاومت تسلیم تعریف

شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود اتصال پیش ساخته پیشنهادی تحت

لنگر منفی و مثبت توانست به ترتیب به مقاومت ۱/۰۵ و ۱/۰۴

برابری اتصال درجا برسد. بنابراین اتصال پیش ساخته پیشنهادی

ظرفیت کاربرد به عنوان اتصال مقاوم خمشی در سازه پیش ساخته

جدول ۲- پارامترهای مربوط به منحنی نیرو- جابجایی نسبی اتصالات

اتصال :				پارامتر اندازه گیری شده
اتصال درجا تحت لنگر منفی	اتصال درجا تحت لنگر مثبت	اتصال پیش ساخته پیشنهادی تحت لنگر منفی	اتصال پیش ساخته پیشنهادی تحت لنگر مثبت	
۱۸/۹۹	۷/۴۸	۱۹/۹۵	۷/۷۷	مقاومت نهایی (ton)
۱۸/۳۵	۷/۰۱	۱۹/۴۴	۷/۳۹	مقاومت تسلیم (ton)
۱۸/۰۱	۶/۷۶	۱۹/۲۰	۷/۴۲	مقاومت گسیختگی (ton)
۵	۱۰	۴	۵	میزان افت مقاومت تا جابجایی نسبی حداکثر (%)
۱/۰۴	۰/۴۱	۱/۱۱	۰/۴۳	جذب انرژی تا جابجایی نسبی حداکثر (ton)
۶ <	۶ <	۶ <	۶ <	جابجایی نسبی نهایی (%)
۰/۷۰	۰/۴۱	۰/۵۹	۰/۲۳	جابجایی نسبی تسلیم (%)
۸/۵۵	۱۴/۶۱	۱۰/۰۲	۲۲/۹۹	شکل پذیری
۲۶۰۷	۱۷۰۵	۳۲۴۴	۲۸۳۲	سختی اولیه (ton)

۹- نتیجه گیری

پلاستیک دور از گره تیر به ستون و در ابتدای تیر ورق انتهایی تیر

در این تحقیق سعی شد با حفظ سادگی و کارایی در هنگام ساخت،

۴- علاوه بر رفتار قابل مقایسه این اتصال با اتصالات پیشنهادی قبلی به دلیل استفاده از تیر ورق فولادی در محل اتصال و جلوگیری از عبور آرماتورها از گره ستون از تداخل آرماتورها در این ناحیه جلوگیری به عمل آمده و نصب قطعات پیش ساخته سهل تر می گردد.

حمل و نصب قطعات پیش ساخته، اتصالی با قابلیت کاربرد عملی در قاب های ساختمانی پیش ساخته موجود به ویژه در محل هایی که تراکم آرماتور گره تیر به ستون بالا بوده و یا نیاز به وصله ستون های پیش ساخته در ارتفاع است، ارائه گردد. خلاصه نتایج حاصله از عملکرد اتصالات بررسی شده در این مطالعه را می توان به صورت زیر ارائه کرد:

۵- استفاده از غلاف فلزی در پیرامون گره اتصال علاوه بر محصور کردن آن شرایط برای وصله ستون ها به یکدیگر در ارتفاع فراهم می کند.

۱- تیر پیش ساخته پیشنهادی به همراه اتصال فولادی انتهایی خود با داشتن عملکردی مطلوب در مقایسه با اتصالات درجا و اتصالات پیشنهادی شبه درجای قبلی که توسط محققین مختلف پیشنهاد شده اند در زمینه مقاومت، جذب انرژی و شکل پذیری رفتار مناسبی از خود نشان داد.

۶- در اتصال ارائه شده بر خلاف اتصالات پیشنهادی قبلی توسط سایر محققین ملزومات و نشیمن مناسب برای قرار گرفتن دال های پیش ساخته بر روی تیر پیش ساخته مدنظر قرار گرفته و نحوه اتصال مناسب این دو ارائه شده است.

۲- اتصال پیشنهادی با داشتن افت مقاومتی ناچیز، شکل پذیری مناسبی از خود نشان داد و تا جابجایی نسبی حداکثر اعمالی جذب انرژی ۱/۰۸ و ۱/۰۵ برابری تحت لنگر منفی و مثبت از خود ارائه داد.

۷- اتصال ارائه شده نسبت به موقعیت های مختلف قرار گیری در دال های پیش ساخته است.

۳- تشکیل مفصل پلاستیک همانند اتصال درجا در اتصال پیشنهادی در اثر به تسلیم رسیدن آرماتورها در تیر روی داد. این در حالی است که در اتصال ارائه شده بر خلاف بسیاری از اتصالات شبه درجای پیشنهادی توسط محققین مختلف مفصل

بر خلاف اتصالات پیشنهادی توسط سایر محققین که دارای رواداری های نصب آزمایشگاهی هستند، اتصال ارائه شده با رعایت رواداری های طراحی و نصب معقول، ساخت و نصبی منطقی و بدون هزینه اضافی خواهد داشت.

[12] PCI-04, "Precast/Prestressed Concrete Institute, Design Handbook", 6th Edition, Chicago, Illinois, 2004.

[۱۳] آیین نامه طرح و اجرای ساختمان های فولادی (مبحث دهم مقررات ملی ساختمان)، ویرایش چهارم، دفتر مقررات ملی ساختمان، تهران، ۱۳۹۲.

[14] CEB-FIP Model Code 1990, First Draft, Committee Euro-International du Beton, Bulletin information No. 195, 1990.

[15] Hordijk, D.A. "Local Approach to Fatigue of Concrete", Delft University of Technology, Netherland, (ISBN 90/9004519-8), 1991.

[16] Mier, V., "Multi-axial Strain-Softening of Concrete, Part I: Fracture, Materials and Structures", RILEM, 19(111), 1986.

[17] Kupfer, H., Hilsdorf, H.K., and Rusch, H. "Behavior of Concrete under Biaxial Stress", Journal ACI, 66(8), 656-666, 1969.

[18] Chen, W.F, and Saleeb, A.F. "Constitutive Equations for Engineering Materials", John Willey & Sons, (ISBN 0-471-09149-9), 1982.

[19] Atena Theory, "Atena Program Documentation", Cervenka Consulting, Prague, 2007.

[20] ACI 374.1-05, "Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary" American Concrete Institute (ACI) Committee, Farmington Hills, Michigan 2005.

[21] ACI T1.1R-01, "Commentary on Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing" ACI Manual of Concrete Practice, 1-7, 2002.

[22] Kaya, M., and Arslan, A. S., "Analytical Modeling of Post-Tensioned Precast Beam-to-Column Connections" Materials and Design, 30, 3802-3811, 2009

۱۰- منابع

[1] Rodriguez, M., and Torres, M., "Seismic Behavior of a Type of Welded Precast Concrete Beam-to-Column Connection", PCI Journal, 81-94, 2013.

[2] Hong, W., Kim, S., Park, S., Kim, J., Lee, S., Yoon, K., and Kim, S., "Composite Beam Composed of Steel And Precast Concrete (Modularized Hybrid System)", The Structural Design of Tall and Special Buildings, 19, 707-727, 2010.

[3] Fan, L., and Lu, X., "Investigation on Seismic Behavior of Jointed Precast Concrete Frame Structures", The 14 World Conference on Earthquake Engineering, China, 12-17, 2008.

[4] Choi, H., Choi, Y. and Choi, C., "Development and Testing of Precast Concrete Beam-to-Column Connections", Engineering Structure, 56, 1820-1835, 2013.

[5] Hyeong, I., Hong, P. and Tae, E., "Cyclic Loading Test for Reinforced-Concrete-Emulated Beam-Column Connection of Precast Concrete Moment Frame", ACI Structural Journal, 110(1), 115-125, 2007.

[6] Maya, L., Zanuy, C., Albajar, L., Lopez, C., and Portabella, J., "Experimental Assessment of Connections for Precast Concrete Frames Using Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete Construction", 48, 173-186, 2013.

[7] Hawileh, R. A., Rahman, A., and Tabatabai, H., "Nonlinear finite analysis and modeling of a precast hybrid beam-column connection subjected to cyclic loads", Applied Mathematical Modeling, 34, 2562-2583, 2010.

[8] Bradley, B. A., Dahkal, R. P., Mander, J. B., and Li, L., "Experimental Multi-Level Seismic Performance Assessment of 3D RC Frame Designed for Damage Avoidance", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 37, 1-20, 2007.

[9] Ozden, S., and Ertas, O., "Behavior of Unbonded, Post-Tensioned, Precast Concrete Connections with Different Percentage of Mild Steel Reinforcement", PCI Journal, 32-44, 2007.

[۱۰] آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۹۲.

[11] ACI 318M-08, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary" American Concrete Institute (ACI) Committee, Farmington Hills, Michigan, 318, 2008.

Introducing a Typical of a Precast Moment Resistant Beam-to-Column Connection with the Purpose of Eliminating Reinforcement Congestion in the Connection Joint

J. Esmaili *

Associated professor of civil engineering, University of Tabriz, Iran

S. N. Ahooghalandary

PHD student of civil engineering, University of Tabriz, Iran

Abstract

Precasting is a useful approach for building structures in large numbers over a short period of time or for a specific type of them. The discrete and pre-fabricated design of the members in these structures will reduce the flexibility of the construction phase. This reduction in flexibility leads to the loss of performance of a member in a variety of situations. In this study, in order to increase the efficiency of a prefabricated beam in association with its position relative to the prefabricated slabs in the plan and with the aim of eliminating reinforcement congestion in beam – column joint, a steel girder at the end of the beam has been considered. For this purpose, the interior joint of a four-story structure with an intermediate moment frame system was compared in two precast and in-situ structures. The results show that the presented connection, in comparison with its equivalent in-situ connection, performs satisfactorily under the efforts of resistance, energy dissipation and ductility.

Keywords: Beam to column connection, Precast structure, Finite element analysis, Precast connection.

* Corresponding Author: esmailij@yahoo.co.uk