



## بررسی آزمایشگاهی اتصالات مفصلی بتنی مرسوم

مجید محمدی<sup>۱</sup>، محمد امین<sup>۲</sup>

۱- استادیار پژوهشکده مهندسی سازه - پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

۲ - کارشناسی ارشد مهندسی عمران زلزله - دانشگاه علوم و تحقیقات تهران

M.Mohammadigh@iiees.ac.ir

Modaamin@gmail.com

### خلاصه

اتصالات مفصلی کاربرد زیادی در سازه ها دارند و در برخی موارد کاربرد آنها باعث بهبود رفتار لرزه ای و یا کاهش ابعاد اعضا می گردد. به رغم اهمیت این اتصالات و همچنین استفاده فراوان از آنها در سازه های فولادی، به علت عدم وجود جزئیات مطمئن کاربرد آنها در سازه های بتنی بسیار اندک است. در این تحقیق دو شکل مختلف این اتصالات که گاهی در سازه های بتنی استفاده می شود، مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار گرفته است. این اتصالات در محل اتصال تیر به ستون به کار رفته و در هر دوی آنها آرماتورهای طولی در محل اتصال به صورت ضربدری در آمده است. برای بررسی اثر کاهش سطح مقطع در محل اتصال، شیارهایی در وجه بالایی و پایینی یکی از نمونه ها ایجاد شده است. نتایج نشان می دهد که به رغم اینکه این جزئیات به عنوان اتصال مفصلی در نظر گرفته میشوند، عملاً رفتار مفصلی ندارند. ضمن اینکه مود شکست آنها به گونه ای است که در بارهای جانبی تکرار شونده مثل زلزله دچار شکست های ترد می گردند و بنابراین استفاده از آنها در ساختمان توصیه نمی گردد.

**کلمات کلیدی:** مفصل، اتصال، گیردار، نیمه گیردار، جاری شدن

### ۱- مقدمه

در سازه های مختلف به المان هایی نیاز است که اجزای مختلف سازه را به یکدیگر متصل سازند. در اصطلاح فنی به این المان ها اتصالات گویند. اهمیت اتصالات در سازه ها بدان سبب است که این گونه اجزای سازه ای، بتوانند نیرو های به وجود آمده در اعضای متصل شده به آنها را بر اساس نوع وظیفه تعیین شده به صورت مناسب انتقال دهند، یا بالعکس از انتقال آنها جلوگیری به عمل آورند.

علل تخریب بسیاری از سازه ها در اثر پدیده های طبیعی ناشی از عدم شناخت و استفاده از اتصالات نامناسب در سازه مورد نظر می باشد. البته تخریب و ویرانی آخرین مرحله در پایان عمر یک سازه می باشند. استفاده نامناسب از اتصالات در سازه ها گاهی موجب ایجاد تنش های مضاعف و نهایتاً تسلیم های موضعی و در نتیجه تضعیف عضو ترک خورده و در نهایت کاهش عمر مفید سازه خواهد شد.

اتصالات بر اساس صلبیت دورانی به سه قسمت تقسیم بندی می شوند. تعیین حد و مرز و آنکه هر اتصال در چه تقسیم بندی قرار می گیرد، منوط به ترسیم منحنی های لنگر-دوران هر اتصال و مقایسه آنها با معیار های رفتاری اتصال می باشند. در پی اعمال این معیار، اتصالات در سه قسمت صلب، نیمه صلب و مفصلی (ساده) تقسیم بندی می شوند [۱].

اتصال صلب به اتصالی اطلاق می شود که در آن اتصال، کلیه تلاش های موجود در یک طرف را به طرف دیگر اتصال منتقل نماید. این تلاش ها شامل نیروی برشی در دو جهت، نیروی محوری، خمش در دو جهت و پیچش می باشد. از جمله خصوصیات این گونه اتصالات عدم تغییر زاویه بین دو عضو متصل شده به هم قبل و بعد از بارگذاری است [۲]. این نوع اتصال در سازه های فولادی و بتنی از کاربرد فراوانی برخوردار است. عمده جزئیات اتصال که در آیین نامه ها و کتب توصیه شده در این دسته قرار می گیرند.

از انواع اتصالات حرکتی اتصال مفصلی است که آزادی حرکت زاویه ای را در راستای مورد نظر در پی خواهد داشت. این دسته اتصالات نیروی برشی

۱ - استادیار پژوهشکده مهندسی سازه - پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

۲ - مهندس ناظر و محاسب

را منتقل نموده ولی لنگر را منتقل نمی نماید. بر خلاف اتصال صلب زاویه بین دو عضو که با این نوع اتصال به یکدیگر وصل شده اند با اعمال بار



تغییر می کند. جزئیات اجرایی این اتصالات در ساختمانها اسکلت فولادی بسیار ساده است و در آن عمدتاً از نبشی نشیمن یا اتصال جان تیر به ستون با استفاده از نبشی یا ورق فولادی استفاده می شود. به رغم سادگی این نوع اتصال در سازه های فولادی، اجرای این نوع اتصال در اعضای بتنی با مشکلات عدیده ای روبرو است و عملاً جزئیات مطمئنی که محققین بتوانند به طور کامل آن را تایید کنند در اختیار سازندگان قرار ندارد. در راهکارهای موجود برای رسیدن به یک اتصال مفصلی بتنی، از کاهش صلیب دورانی (ممان اینرسی) مقطع محل اتصال استفاده می شود. هر مقدار که صلیب دورانی (ممان اینرسی) مقطع کمتر باشد و همچنین طول این اتصال بیشتر باشد، رفتار این اتصال به مفصلی نزدیکتر است. البته محدودیت این دو عمل تا آنجاست که ایمنی سازه را در برابر بارهای وارده به خطر نیندازد.

معمولاً اجرای این اتصالات در سازه های بتنی با استفاده از ضریب کردن آرماتورها طولی عضو در محل اتصال انجام می شود [۳] که تمرکز آرماتور ها در مرکز مقطع باعث کاهش ممان اینرسی مقطع می شود. در برخی موارد برای کاهش بیشتر ممان اینرسی در بالا و پایین مقطع محل اتصال شیارهایی ایجاد می شود [۴ و ۵]. در این تحقیق میزان کارایی این نوع جزئیات در ایجاد مفصل مورد مطالعه قرار میگیرد. برای این منظور سه نمونه ساخته و مورد آزمایش قرار گرفته است. نمونه نخست دارای اتصال صلب مورد قبول آیین نامه ها است [۶] و به عنوان نمونه شاهد به کار می رود. نمونه های دوم و سوم مشابه نمونه قبلی هستند با این تفاوت که در نزدیکی اتصال تیر به ستون آرماتورهای طولی آنها به صورت ضریب در آمده است. در نمونه سوم در بالا و پایین محل ضریب شیارهایی ایجاد شده تا اثر آنها نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

در بخشهای بعدی ابتدا مزایای استفاده از اتصال مفصلی بیان و در ادامه جزئیات آزمایش و نتایج به دست آمده ارائه می گردد.

## ۲- مزایای استفاده از اتصال مفصلی خمشی

استفاده از اتصال مفصلی در ساختمان از اهمیت زیادی برخوردار است و در برخی موارد باعث بهبود رفتار لرزه ای سازه یا کاهش ابعاد اعضا می شود. در ذیل برخی از موارد کاربرد این گونه اتصالات بیان می گردد:

۱- در دهانه های کوتاه در ساختمان بلند: چنانچه در این دهانه ها اتصال قاب صلب باشند به جذب بیشترین نیروی زلزله می پردازد که هرچه مقطع آن نیز فویتر انتخاب گردد نیروی وارد به آن نیز بیشتر از ظرفیت آن می شود. در این حالت دو گزینه پیش رو است. گزینه اول تقویت بیشتر این عضو همچنین سایر اعضای سازه تا در نهایت ظرفیت هزیک جواب گوی بار های وارده باشند. این حالت معمولاً منجر به سازه غیر اقتصادی می شود که ممکن است اشکالاتی را در طرح معماری نیز ایجاد نماید. گزینه دوم که بسیار مناسب تر است، استفاده از مفصلی در دو سر تیر کوتاه می باشد.

۲- اتصال تیر فرعی به تیر اصلی: در اینگونه اتصالات ممان انتهایی تیر فرعی باعث اعمال پیچش در تیر اصلی می گردد که در برخی موارد تامین ظرفیت لازم برای این پیچش منجر به ایجاد مقاطع غیر اقتصادی بزرگ و پر آرماتور می شود. در صورت استفاده از اتصال مفصلی در انتهای تیر فرعی، دیگر خمشی در انتهای تیر فرعی وجود نخواهد داشت و تنها برش آن به تیر اصلی منتقل می شود.

۳- در مواردی که بدلیل ملاحظات معماری به اعضای سازه ای کوچکتر نیاز است: از مزایای اتصالات مفصلی نسبت به اتصالات صلب کاهش ابعاد اعضا میباشد. در سازه با اتصال مفصلی ابعاد ستون و به ویژه تیر کوچکتر تر از همان سازه با اتصال صلب است. همچنین در صورت استفاده از اتصال مفصلی در سازه های بتنی، مصرف آرماتور ها در تیر زمانی که اتصالات تیر به ستون مفصلی است بسیار کمتر از زمانی است که اتصال صلب می باشد.

۴- در مواردی که تراکم زیاد آرماتور ها در محل اتصال مانع از بتن ریزی مناسب می شود: با استفاده از اتصالات مفصلی در محل اتصال تیر به ستون چنین سازه هایی میتوان تراکم آرماتور ها را کم و بتن ریزی را تسهیل نمود

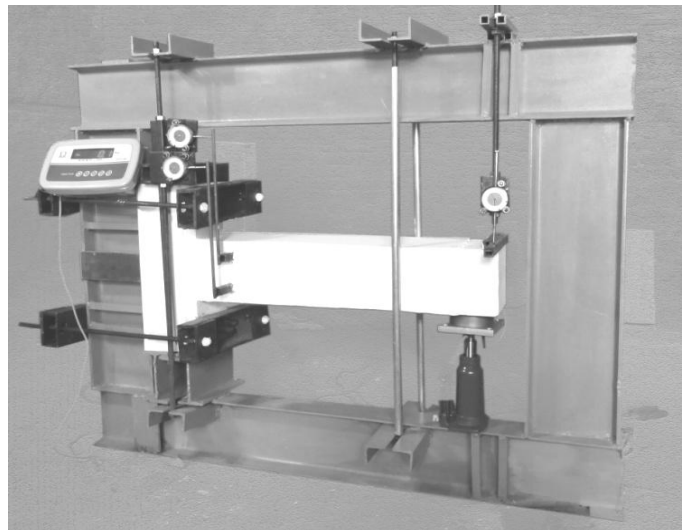
۵- معمولاً سازه هایی که با اتصالات مفصلی ساخته می شوند اقتصادی تر از سازه هایی هستند که با اتصال صلب ساخته می شوند. زیرا آیین نامه ها [۷] قوانین سخت گیرانه تری را براس سازه های دارای اتصالات خمشی قائل هستند.

۶- در تیر هایی که احتمال نشست نامتقارن در دو تکیه گاه دو طرف تیر وجود داشته باشد: این مورد بیشتر برای پلها مطرح می شود. در این سازه ها بدلیل فاصله زیاد بین پی زیر ستونها که معمولاً به صورت منفرد اجرا میشود باید اتصال تیر با ستون به صورت مفصلی باشد تا در صورت نشست نامتقارن دچار آسیب نشود. با توجه به اهمیت فراوان این موضوع، اتصال تیر به ستون در عمده پلهای بتنی موجود به صورت نشیمن اجرا میگردد تا امکان انتقال خمش از تیر یا عرشه به ستون ممکن نباشد [۸].

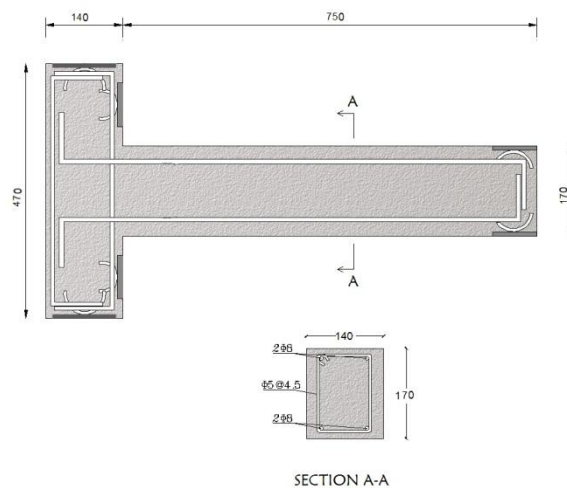
۷- در اتصال تیر رابط بین دو سازه: در برخی موارد از جمله نامنظمی سازه که با درزهایی به تعدادی سازه منظم تبدیل شده ممکن است نیاز باشد که سازه ها با استفاده از تیرهای رابطی به یکدیگر متصل گردند. اتصال تیرهای رابط به سازه ها باید به صورت مفصلی باشد تا جابجایی مختلف سازه ها موجب خرابی آن نگردد [۹].

## ۳- مطالعه آزمایشگاهی اتصالات مرسوم

در این مقاله سه نوع اتصال بتنی که دارای ابعاد یکسان و مصالح مشابهی هستند، مورد مطالعه قرار میگیرد. به منظور مطالعه دقیق تر و حذف عوامل موثر دیگر، تمامی اتصالات در محل اتصال تیر طره به ستون اجرا و آزمایش شده است. نمونه نخست اتصال صلب است (شکل ۲) که به عنوان نمونه شاهد از آن استفاده شده است و دو نمونه دیگر دارای اتصال مفصلی هستند که در برخی پروژه های ساختمانی به کار گرفته می شوند. همانگونه که در شکل ۱ مشاهده میگردد جزئیات مورد مطالعه، در محل اتصال یک تیر طره به ستون اجرا شده اند. ستون های این نمونه ها کاملاً قاب آزمایش بسته شده اند به گونه ای که امکان حرکت و یا دوران آن میسر نیست. بار وارد به نمونه ها توسط یک جک به انتهای آزاد تیر وارد میگردد. مقدار بار با استفاده از یک نیرو سنج و جابجایی آن نیز با یک تغییر مکان سنج اندازه گیری میگردد. با توجه به کوچکی مقدار دوران ها، در محل اتصال دو میله به بالا و پایین وجه جانبی نمونه ها متصل و جابجایی افقی راس آنها اندازه گیری می شود. با محاسبات مثلثاتی میتوان به راحتی رابطه بین تغییر مکان افقی راس و میزان دوران اتصال را به دست آورد. به منظور جلوگیری از حرکت عرضی و افقی تیر در حین بارگذاری دو میله قائم در نزدیکی انتهای آزاد به صورت مماس با تیر به قاب بارگذاری متصل شده اند.



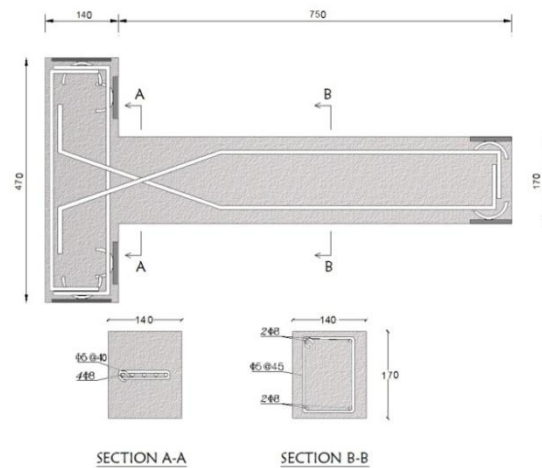
شکل ۱- نمونه اتصال صلب در قاب آزمایش



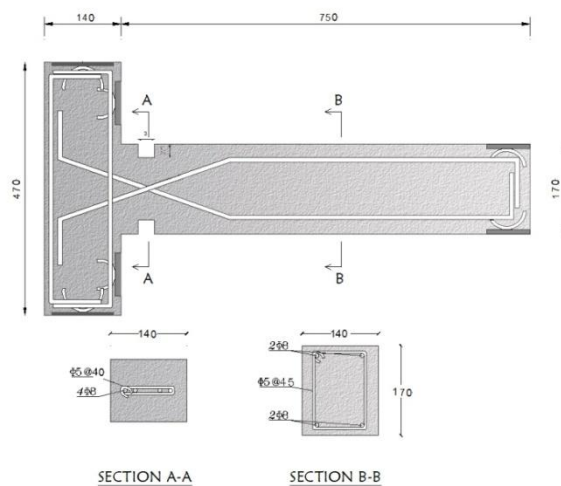
شکل ۲- جزئیات اتصال صلب (ابعاد به میلیمتر)

تیر در همه نمونه ها دارای عرض ۱۴۰ و ارتفاع مقطع ۱۷۰ میلیمتر و چهار آرماتور طولی آجدار نمره ۸ می باشد. آرماتور عرضی به کار رفته در خاموتها

بدون آج و دارای قطر ۵ میلیمتر بود. شکل ۲ نحوه آرماتور بندی نمونه دارای اتصال صلب را نشان میدهد. در دو نمونه دیگر، آرماتور طولی تیر پس از طی طول مستقیمی با زاویه ۳۰ درجه رو به پایین خم خورده و در نهایت بر روی آرماتور طولی ستون خم می شود. در این صورت آرماتور های فوقانی و تحتانی تیر در فاصله نزدیک به محل اتصال تیر به ستون به هم می رسند و به صورت ضربدری از کنار هم عبور می نمایند. جزئیات بیشتر این دو نمونه در شکل های ۳ و ۴ دیده می شود. تصور موجود این است که تجمع آرماتور ها در یک نقطه سبب کاهش صلبیت دورانی (ممان اینرسی) مقطع و ایجاد یک اتصال مفصلی می شود. نمونه سوم علاوه بر آرماتور ضربدری، در محل اتصال دارای شیارهایی به عمق ۲۵ میلیمتر در وجوه بالایی و پایینی مقطع است. این دو شیار در بالا و پایین محل ضربدری شدن آرماتور ها قرار داده شده اند. در نمونه های مورد آزمایش این تحقیق - شکل ۴، شیاری شدن مقطع با حذف دو مکعب مستطیلی به ابعاد  $140 \times 30 \times 25$  (واحد میلیمتر) از بالا و پایین بدنه تیر ایجاد گردید. این مکعب مستطیل ها در فاصله ۲ سانتیمتری از بر اتصال تیر به ستون از بدنه تیر جدا شد. البته باید توجه نمود که شیار مقطع نباید به اندازه ای باشد که مقطع به وجود آمده به گونه ای باشد که دچار شکست ترد گردد. در این خصوص باید دقت کرد که در مقطع باقیمانده مقدار درصد آرماتور از درصد بالانس کمتر باشد که با توجه به این شرط میتوان حداکثر ارتفاع حفره ایجاد شده رانیز محاسبه نمود. لازم به ذکر است که اتصال دارای آرماتور ضربدری شیاردار فوق یکی از اتصالاتی است که در صنعت پل سازی از آن استفاده شده و پیش از این مطالعاتی و تحقیقی پیش از این توسط محققان کشور انگلستان بر روی آن صورت پذیرفته است.



شکل ۳- جزئیات اتصال با آرماتور ضربدری (ابعاد به میلیمتر)



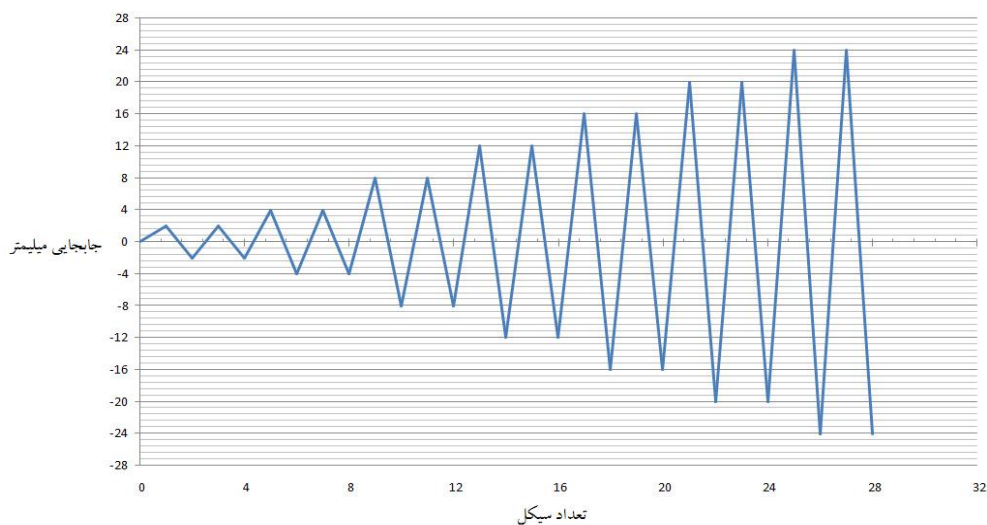
شکل ۴- جزئیات اتصال با آرماتور ضربدری و بتن شیار دار (میلیمتر)

به منظور عمل آوری، تمامی نمونه ها ۱۲ ساعت بعد از بتن ریزی تحت عملیات حفاظت رطوبتی به وسیله گونی خیس بر روی نمونه درون قالب قرار

گرفتند. این عملیات تا ۳۶ ساعت بعد از بتن ریزی یعنی تا زمانی که نمونه از قالب بیرون آورده نشد، ادامه یافت و بعد از این ۳۶ ساعت قالب ها از نمونه جدا شد و درون حوضچه آبی به صورت کاملاً غرقاب قرار گرفت و این حفاظت به مدت تقریبی ۷ روز ادامه یافت. پس از اتمام این دوره نمونه ها از داخل حوضچه آب خارج شده و پس از آن تا زمان آزمایش هر دو روز یک بار توسط سطل آب کاملاً خیس شدند. دمای نگهداری در کلیه عملیات حفاظت رطوبتی بین ۱۸ تا ۳۱ درجه سانتیگراد بود.

#### ۴- تاریخچه گام های جابجایی وارد به نمونه

بارگذاری وارد به نمونه ها بر اساس کنترل گام های جابجایی صورت پذیرفت و در طی آن هر جابجایی در دو سیکل به نمونه اعمال گردید. تاریخچه بارگذاری وارد به نمونه ها بر اساس آیین نامه ATC-24 [۱۰] محاسبه و در اولین گام، ۲ میلیمتر جابجایی به نمونه وارد شد که البته قبل از آن نیز دو سیکل با گام جابجایی کوچکتر برای ثبت رفتار اولیه مقطع، مانند ترک خوردگی انجام شد. جابجایی های نشان داده شده در در شکل ۵ توسط چک هیدرولیکی به راس آزاد تیر طره اعمال شده است.



شکل ۵- نمودار اعمال جابجایی به سه نمونه مورد آزمایش قرار گرفته

لازم به ذکر است که بر اساس معیار موجود در آیین نامه مذکور [۱۰]، حداکثر جابجایی گام ابتدایی متناظر ترک خوردگی در مقطع می باشد بنابراین گام دو میلیمتر بدین سبب انتخاب شده است که برای هر سه نمونه ترک خوردگی در این درون سیکل اول این جابجایی صورت می پذیرد. مراد از ترک خوردگی، آغاز ترک خوردن قسمت کششی بتن، بدلیل آنکه تنش کششی بتن کمتر از تنشی است که به آن اعمال شده است، می باشد.

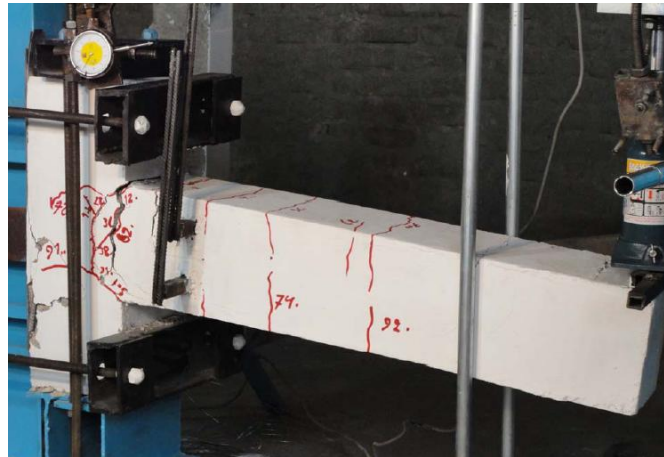
#### ۵- رفتار نمونه ها در آزمایش

##### ۵-۱- نمونه دارای اتصال صلب

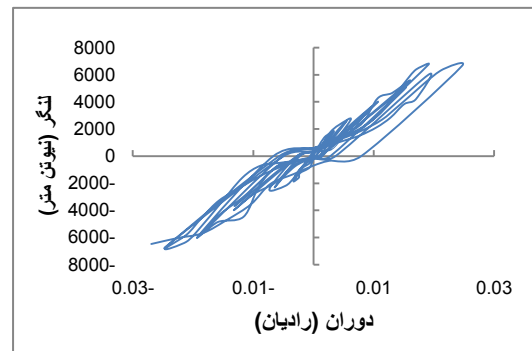
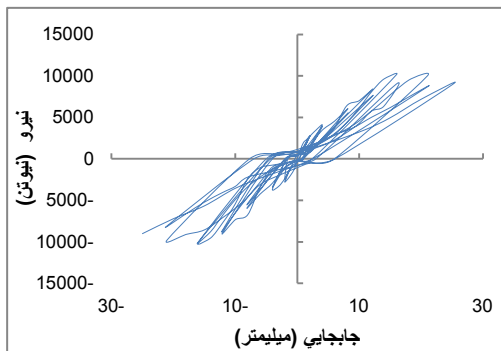
ترک های ابتدایی مقطع که شکل ۶ نیز مشاهده میشود، در محل اتصال تیر به ستون و چند سانتیمتر داخل ستون شروع و با افزایش جابجایی بازتر شدند و گسترش پیدا کردند. با اعمال جابجایی در گام های نهایی دهانه ترک های ایجاد شده بازتر شد و حتی بعد از بار برداری این ترک ها باز ماندند، تا آنکه بار معکوس باعث بسته شدن ترک گردید. و در گام های نهایی ترک هایی که به صورت قائم در نقاط مختلف تیر ایجاد شده بودند به هم رسیدند. این ترک های فقط در محل اتصال ایجاد نشدند بلکه حتی تا وسط تیر نیز پیشروی نمودند (شکل ۶) که البته فراوانی آنها در نزدیکی اتصال بسیار بیشتر از سایر نقاط بود. بعد از جاری شدن مقطع با اعمال جابجایی بیشتر بر میزان ترک ها افزوده نخواهد شد و همان ترک های موجود باز و بسته میشوند. در نهایت ترک ها درون ستون نفوذ کرده و به شکل نیم دایره ای در محل اتصال، ستون را تخریب نمودند. این رفتار با تاکید محققین مبنی بر حفظ سلامت ستونهای ساختمان و آموزه های موجود کاملاً مغایرت دارد. در جابجایی معادل ۱۲ سانتیمتر در راس تیر تمامی بتن پوشش آرماتور ها از مقطع جدا شد و تنها هسته بتنی که آرماتور های طولی و عرضی آن را در بر گرفته اند در مقطع باقی ماند.

اثر ایجاد نخستین ترک های مقطع در قسمت کششی ناشی در گامهای نخست بارگذاری به صورت شکستگی منحنی سیکل اول قابل مشاهده است (شکل ۷). حداکثر ظرفیت در این اتصال، برای قسمت مثبت نمودار در دوران ۰/۰۱۴۷/۰ رادیان به مقدار لنگر ۶۷۲۰ نیوتن-متر، و برای قسمت منفی

نمودار در دوران ۰/۰۱۳۴ به مقدار لنگر ۶۹۹۰ نیوتن- متر مشاهده گردید (شکل ۵-ب).



شکل ۶- ترکهای ایجاد شده در نمونه دارای اتصال صلب



(ب) نمودار خمش- دوران در محل اتصال

(الف) نمودار نیرو- جابجایی سر تیر

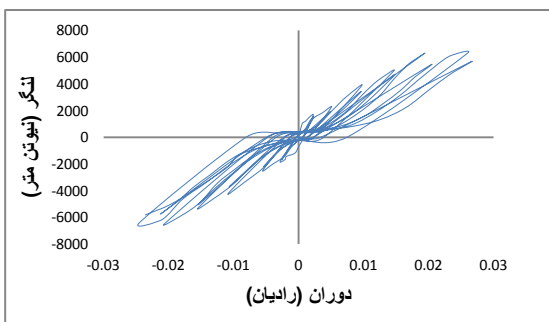
شکل ۷- نتایج به دست آمده از آزمایش نمونه دارای اتصال گیردار

### ۲-۵- نمونه دارای آرماتور ضربدری

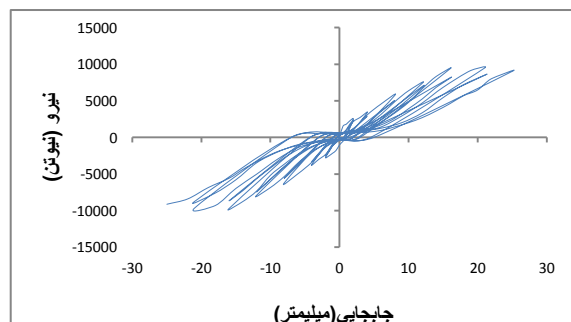
در گامهای نخست و جابجایی های اولیه سر تیر این نمونه، ترک هایی مویی در محل اتصال تیر به ستون ایجاد شدند. پس از آن و با اعمال جابجایی بیشتر، ترک ها در مقطع نمونه پیشروی کرده و بازتر گشتند. در گامهای پایانی آزمایش، در طول تیر ترک ها خمشی در دو سوی مقطع در فاصله ی وسط تیر تا محل اتصال تیر به ستون به وجود آمدند که با اعمال جابجایی بیشتر این ترک های قائم دیگری در مقطع به وجود آمدند و در این گام ها و در زمانی که نمونه به تسلیم رسید، بسیاری از ترک هایی که در قسمتهای فوقانی و تحتانی نمونه قرار داشتند با گسترش بیشتر به یکدیگر متصل شدند ضمن اینکه این ترک ها در بدنه ستون نیز پیشروی نمودند.

در گامهای بعد مشاهده گردید که در محل اتصال در قسمت فشاری تکه هایی از مقطع خرد و از مقطع جدا شدند و در جابجایی های بیشتر از ۲۵ میلیمتر تکه هایی از پوسته بتنی مقطع از محل اتصال جدا شدند. بدنبال جابجایی هایی در حدود ۱۲ سانتیمتر که به صورت رفت و برگشتی به نمونه اعمال می شود. تمامی پوشش اطراف آرماتور های طولی و عرضی از مقطع جدا شده و مقطع در محل اتصال تنها به صورت هسته بتنی که اطراف آن را آرماتورهای طولی و عرضی گرفته بودند باقی می ماند. با مشاهدات دقیق تر به غیر از چند ترک مختصر درون ستون آثار تخریبی دیگری در آن مشاهده نگردید.

نمودار نیرو- تغییر مکان سر تیر این نمونه و نمودار لنگر و دوران در محل اتصال که در شکل ۸ نشان داده شده است شامل ۶ گام رفت و برگشتی می باشد که هر گام در دو سیکل تکرار شده است. همانگونه که مشاهده میشود بیشترین مقاومت خمشی این اتصال در دوران ۰/۰۱۹۷ رادیان به مقدار ۶۲۱۰ نیوتن- متر در قسمت مثبت و در دوران ۰/۰۲۰۵ رادیان به مقدار ۶۴۷۰ نیوتن- متر در قسمت منفی نمودار، اندازه گیری شده است.



۶

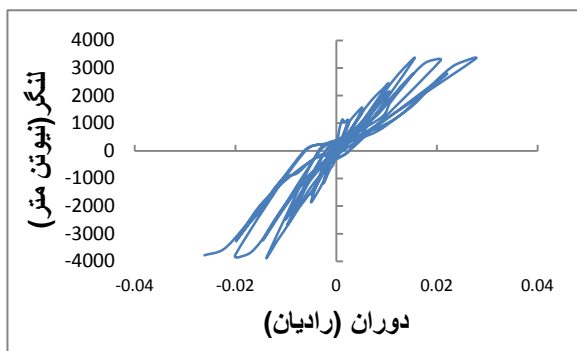


الف) نمودار نیرو-جابجایی سر تیر (ب) نمودار خمش-دوران در محل اتصال  
شکل ۸- نتایج به دست آمده از آزمایش نمونه دارای اتصال ضربدری

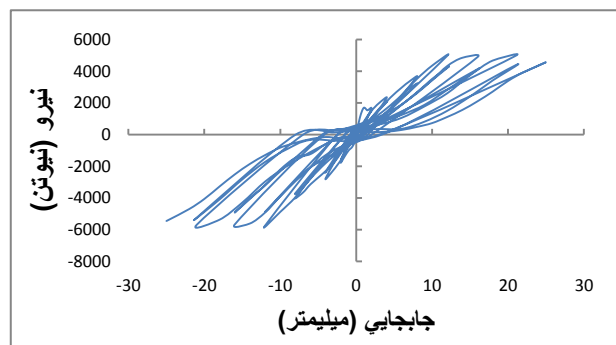
۳-۵- نمونه دارای آرمانتور ضربدری و بتن شیاردار

در گام های اولیه آزمایش این نمونه مشاهده گردید که ترک های ابتدایی و ریز در محل مفصل ایجاد گردید که با افزایش دامنه بارگذاری این ترک ها بازتر شده و در امتداد مسیرشان پیشروی نمودند. البته بر خلاف دو نمونه ای که پیش از این اشاره شد با اعمال جابجایی بیشتر، شاهد ایجاد ترک های خمشی در قسمت های مرکز تیر نبودیم بلکه در این نمونه شاهد رشد و افزایش ترک ها تنها در محل خود(در محل دندانان ای شدن اتصال) اتصال بودیم.

نمودار نیرو- تغییر مکان سر آزاد تیر و همچنین نمودار خمش- دوران در محل اتصال این نمونه در شکل ۹ نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده میگردد این اتصال در دوران ۰/۰۱۳۱ رادیان بیشترین مقاومت خمشی خود را که برابر ۳۳۱۲ نیوتن- متر می باشد برای قسمت مثبت نمودار در دوران ۰/۰۱۳۰ رادیان بیشترین مقاومت خمشی ۳۸۱۸ نیوتن- متر را در قسمت منفی نمودار، از خود نشان داد



ب) نمودار خمش- دوران در محل اتصال

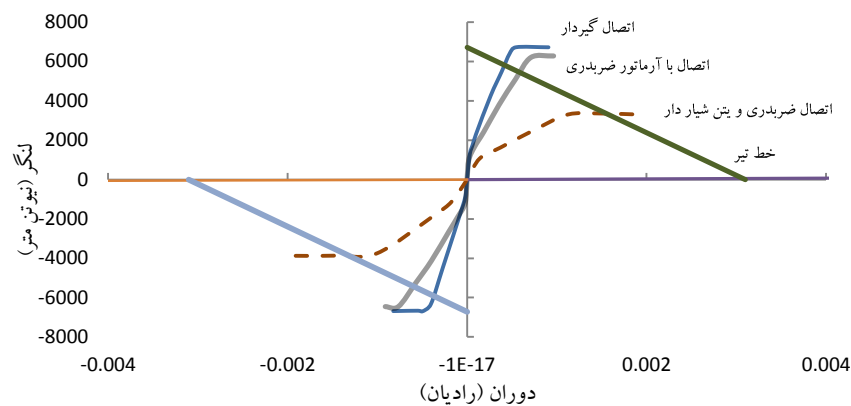


الف) نمودار نیرو- جابجایی سر تیر

شکل ۹- نتایج به دست آمده از آزمایش نمونه دارای اتصال با آرمانتور ضربدری و بتن شیار دار

با توجه به اینکه در این تحقیق برای دقت بیشتر مقدار  $M_f$  از آزمایش اتصال صلب به دست آمده است به راحتی می توان میزان گیرداری هر کدام از اتصالات مورد مطالعه را به دست آورد. با انجام محاسبات لازم، مقدار صلیبیت اتصال در اتصال دارای آرمانتور ضربدری در هر دو قسمت پوش مثبت و منفی برابر ۸۱٪ به دست می آید (شکل ۱۰) و بنابراین این اتصال جزو اتصالات نیمه گیردار به حساب می آید که البته با توجه به نزدیکی این عدد به یک رفتار این اتصال بسیار به اتصال صلب شبیه است.

مقدار صلیبیت اتصال در نمونه دارای آرمانتور ضربدری و بتن شیار دار در قسمت مثبت نمودار ۵۱٪ و در قسمت منفی نمودار ۵۸٪ به دست می آید (شکل ۱۰) و بنابراین هر چند که این نمونه نسبت به نمونه قبلی ارجح است ولی این اتصال را نیز باید جزو اتصالات نیمه گیردار به حساب آورد. بنابراین به راحتی میتوان نتیجه گیری کرد که هیچکدام از این اتصالات را نمیتوان اتصال مفصلی در نظر گرفت و با توجه به ضوابط هر دوی آنها در زمره اتصالات نیمه صلب طبقه بندی می شوند ضمن اینکه با توجه به شکست ترد، نباید استفاده از آنها را در عمل توصیه نمود. لازم به ذکر است بر اساس یافته های این تحقیق و ضرورت استفاده از اتصال مفصلی در برخی سازه های بتنی، مطالعه برای دستیابی به جزئیات مناسب اینگونه اتصالات توسط نویسندگان متن حاضر در حال انجام است.



شکل ۱۰- بررسی و مقایسه منحنی پوش لنگر- دوران اتصالات مورد مطالعه

#### ۶- نتیجه گیری:

در حال حاضر معمولاً دو سری جزئیات برای اتصال مفصلی در سازه های بتنی در نظر گرفته میشود. در هر دوی این اتصالات سعی میگردد تا ممان اینرسی مقطع به حداقل ممکن رسانده شود. برای این منظور در هر دوی آنها پیشنهاد شده است که در محل اتصال آرماتورهای طولی مقطع به صورت ضربه‌ریزی در آید. در محل اتصال مقطع بتنی میتواند بدون تغییر باقی بماند یا اینکه در وجوه بالا و پایینی آن شیارهایی ایجاد گردد تا باعث کاهش بیشتری در ممان اینرسی مقطع گردد. در این تحقیق رفتار این دو نوع اتصال با انجام آزمایشاتی مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا و به منظور دستیابی به خط تیر که ملاک اصلی سنجش صلبیت اتصال می باشد یک نمونه اتصال صلب مورد آزمایش قرار گرفته است. در ادامه دو نمونه با جزئیات متداول در محل اتصال، دارای آرماتور ضربه‌ریزی با و بدون شیار در پوشش وجوه بالا و پایینی مقطع، نیز ساخته و آزمایش شده است. نتایج نشان میدهد که نمونه دارای آرماتور ضربه‌ریزی دارای صلبیت بیشتر از ۸۰٪ است. صلبیت نمونه دارای آرماتور ضربه‌ریزی و بتن شیار دار نیز بیشتر از ۵۰ درصد اندازه گیری شده است. این نتایج نشان میدهد که این جزئیات را نمیتوان برای اتصالات مفصلی در نظر گرفت. ضمن اینکه نحوه ترکخوردگی و خردشدگی های ایجاد شده در این دو نمونه نیز با رفتار شکل پذیر فاصله زیادی دارد و بنابراین استفاده از آنها در ساختمانهای بتنی توصیه نمی گردد.

#### ۷- منابع:

1. AISC, "Qualifying Cyclic Tests of Beam - to - Column and Link - to Column Connections", Seismic Provisions for Steel Building, Appendix S, pp. 25-32.
۲. طاحونی شاپور - ۱۳۸۷ "طراحی ساختمان های بتن مسلح (بر مبنای آیین نامه بتن ایران)" موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
3. Reynolds Chales E, Steedman James C -1999-"Reinforced Concrete Designer`s Handbook "10<sup>th</sup> Edition.
4. Mac.Ginley T.J, Choo B.S.-1990 "Reinforced Concrete Design Theory And Examples" London & New York.
5. Holford K. M , Pullin R and Lark R. J. -2004-" Acoustic Emission Monitoring of Concrete Hinge Joint Models", pp 211-217
6. ACI 318 -2005. "Building Code Requirement For Structural Concrete and Commentary"
۷. آستاندارد ۲۰۰۸ - "آیین نامه طراحی ساختمان در برابر زلزله"، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۶
8. DesRoches, Reginald; Fenves, Gregory L., "Design Procedures For Hinge Restrainers and Hinge Seat Width For Multiple Frame Bridges", University of California , MCEER 98-0013, Berkeley-1998.
9. Bussll MN. And Cather R.-19950-" Design And Construction of Joint in Concrete Structures"
10. ATC 24-1992-"Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures"-Nation center For Earthquake Engineering Research-pp 11-13.
۱۱. بدیعی مجید- ۱۳۸۳ "تنوری مقدماتی سازه ها" انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
۱۲. فروغی محمد- ۱۳۸۷ "پی بعد کردن محور لنگر دوران ، راه حلی برای مقایسه صلبیت اتصالات مختلف با شرایط متفاوت" چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه تهران.