دانشگاه صنعتی امیر کبیر(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد:

تحلیل غیر خطی اتصالات تیر به ستون در قابهای بتن آرمه

توسط:
غلامرضا غدیری اشکذری

استاد راهنما:
دکتر کرامتی

زمستان ۱۳۸۵

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه

کارشناسی ارشد و دکترا

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

تاریخ:.....

پیوست:.....

نام و نام‌خانوادگی: غلامرضا غدیری اشکذری **دانشجوی:** آزاد (×) بورسیه (...) معادل (...) **شماره دانشجویی:**۸۳۱۲۴۱۶۴ **دانشکده:** عمران **رشته تحصیلی:** سازه
نام و نام‌خانوادگی استاد راهنما: دکتر ابوالقاسم کرامتی
عنوان پایان‌نامه به فارسی:تحلیل غیر خطی اتصالات تیر به ستون در قابهای بتن آرمه **عنوان پایان‌نامه به انگلیسی:**Non Linear Analysis Of Beam-Column Joints In RC Frames **نوع پروژه:** کارشناسی ارشد (×) کاربردی (...) بنیادی (...) توسعه‌ای (...) نظری (×) دکتـــــــرا (...)
تاریخ شروع:۸۴/۰۴/۰۶ **تاریخ خاتمه:**۸۵/۰۹/۲۱ **تعداد واحد:** ۶ **سازمان تأمین کننده اعتبار:**
واژه‌های کلیدی به فارسی: مهارآرماتور ، تیر-ستون ، اتصال ، بتن آرمه ، مقاومت برشی **واژه‌های کلیده به انگلیسی:anchorage;beam-column;joint;reinforced concrete;shear strength**
نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه: **استاد راهنما:** **دانشجو:** **امضاء استاد راهنما:** **تاریخ:**
نسخه ۱: معاونت پژوهشی نسخه ۲: کتابخانه و به انضمام دو جلد پایان‌نامه به منظور تسویه حساب با کتابخانه و مرکز اسناد و مدارک علمی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

چکیده پایان نامه ارائه شده توسط: غلامرضا غدیری اشکذری برای اخذ درجه کارشناسی ارشد در مهندسی عمران

تحت عنوان: تحلیل غیر خطی اتصالات تیر به ستون در قابهای بتن آرمه

استاد راهنما : دکتر کرامتی تاریخ تحویل: ۱۳۸۵/۹/۲۱

رفتار اتصالات تیر- ستون در سازه های بتن آرمه از مسایل پیچیده در سازه های بتنی بوده و برای مهندسان طراح چندان روشن نیست. در آئین نامه های طراحی سازه های بتن آرمه از قبیل ACI نیز جزئیات دقیقی از پارامترهای موثر بر رفتار اتصالات دیده نمی شود و در آنها به ارائه توصیه هایی کلی در مورد اتصالات خاص بسنده شده است. بنابراین در این پایان نامه، مدل اجزای محدود چند اتصال تیر به ستون بتن آرمه در نرم افزار ANSYS ساخته شده و تحلیل غیر خطی استاتیکی بر روی آنها انجام گرفته است و در نهایت بر روی نتایج بدست آمده از آنالیز غیر خطی بحث شده است. مباحثی که در این پایان نامه مورد بررسی قرار گرفته اند به ترتیب زیر می باشند:

در فصل اول انواع اتصالات از نظر موقعیت قرارگیری در قاب و نوع رفتار بررسی شده اند.

در فصل دوم به مهمترین تحقیقات انجام شده در زمینه اتصالات اشاره شده است.

در فصل سوم پارامترهای تاثیرگذار بر رفتار اتصالات تشریح شده اند. همچنین در این فصل در مورد تاثیر لغزش مهاری آرماتور تیر بر رفتار غیر خطی اتصالات بحث مفصلی انجام شده است.

ضوابط و توصیه های آئین نامه ACI-318-99 در مورد طراحی اتصالات در فصل چهارم گردآوری شده است.

در فصل پنجم به بررسی روابط مشخصه بتن و فولاد در تحلیل غیر خطی پرداخته شده است.

در فصل ششم ابتدا توضیح مختصری در مورد نحوه مدل سازی بتن و آرماتور در نرم افزار ANSYS ارائه شده و سپس به منظور بررسی صحت مدل سازی و اطمینان از نتایج حاصل از آن یک اتصال بتن آرمه خارجی که در مرجع [۲۶] مورد بررسی تجربی و عددی قرار گرفته بود را مدل سازی کرده و نتایج حاصل را با نتایج مرجع مذکور مقایسه کردیم. وقتی از صحت نتایج بدست آمده مطمئن شدیم، در فصل هفتم سه مدل اتصال تیر- ستون را ساخته و نتایج آنالیز غیر خطی آنها را مورد بحث و بررسی قرار داده ایم.

کلمات کلیدی فارسی: مهارآرماتور ، تیر-ستون ، اتصال ، بتن آرمه ، مقاومت برشی

کلمات کلیدی انگلیسی:anchorage;beam-column;joint;reinforced concrete;shear strength

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : معرفی اتصالات تیر-ستون..... ۱

مقدمه ۱

۱-۱-انواع اتصالات تیر- ستون ۲

۱-۲- طبقه بندی اتصالات بر اساس شکل و بررسی آنها ۳

۱-۲-۱- اتصالات گوشه(Corner Joints) ۵

۱-۲-۲- اتصالات خارجی(Exterior or T Joints)..... ۸

۱-۲-۳- اتصالات داخلی(Interior Joints) ۹

۱-۳- طبقه بندی اتصالات بر اساس شرایط بارگذاری و نحوه تغییر شکل ۹

۱-۴- تقسیم بندی اتصالات از نظر تشکیل حوزه پلاستیک[۷] ۱۰

۱-۴-۱- مشخصات اتصال الاستیک [۷] ۱۲

۱-۴-۲- مشخصات اتصال غیر الاستیک [۷]..... ۱۳

فصل دوم : تحقیقات انجام شده در زمینه اتصالات ۱۵

فصل سوم : عوامل تاثیر گذار بر رفتار اتصالات بتن آرمه ۲۲

۳-۱-لغزش مهاری در اتصالات ۲۳

۳-۱-۱- مطالعات تحلیلی در موردلغزش مهاری..... ۲۴

۳-۲- بررسی رفتار غیر خطی اتصالات بتن آرمه خارجی با در نظر گرفتن لغزش مهاری..... ۲۷

۳-۲-۱- محاسبات مربوط به خمش تیر ۲۷

۳-۲-۲- دورانهای ناشی از لغزش مهاری..... ۲۸

۳-۳- شکل پذیری دراتصالات بتن آرمه..... ۳۵

فصل چهارم : ضوابط طراحی اتصالات در آیین نامه ACI ۳۷
۴-۱-نیروهای طراحی ۳۸
۴-۲-محصورشدگی و آرماتورهای عرضی ۴۱
۴-۳-طرح برشی اتصال ۴۳
۴-۴-طرح خمشی اتصال ۴۸
۴-۵-طول مهاری میلگرد تیر در داخل اتصال ۴۸
۴-۶- مدل STRUT-AND-TIE برای بررسی رفتار اتصال ۵۱
۴-۷-محاسبه سطح مقطع اتصال بر حسب برش ستون(برش طبقه)[۲۹] ۵۴
۴-۸- ضوابط فصل بیست و یکم آئین نامه ACI- 318-99 در مورد اتصالات ۵۹
۴-۹- نکات تکمیلی در طراحی اتصالات ۶۱
فصل پنجم : روابط مشخصه در تحلیل غیر خطی سازه های بتنی ۶۲
مقدمه ۶۲
۵-۱- بررسی مدل های مشخصه بتن ۶۳
۵-۲- قانون کلی هوک ۶۴
۵-۳- مدل های مبتنی بر نظریه الاستیسیته ۶۴
۵-۳-۱ مدل های ارتجاعی خطی ۶۵
۵-۳-۲- مدل های ارتجاعی غیر خطی ۶۶
۵-۴- مدل مشخصه بتن ترک نخورده(در حالت دو بعدی) [۳۱] ۶۸
۵-۵- مدل مشخصه های بتن ترک خورده (در حالت دو بعدی) ۶۸
۵-۵-۱- مدل ترک خوردگی مجزا [۳۱] ۶۸
۵-۵-۲- مدل ترک خوردگی گسترده(پخش شده) [۳۱] ۶۹
۵-۶-روابط مشخصه آرماتور [۳۱] ۷۱
۵-۷-رفتار بتن در فشار و کشش و معیارهای شکست [۳۱] ۷۳

۵-۷-۱- رفتار تک محوری بتن در فشار و منحنی های تنش - کرنش مربوطه ۷۳
۵-۷-۲-رفتار تک محوری بتن در کشش و منحنی های تنش-کرنش مربوطه ۷۵
۵-۷-۳- رفتار دو محوری بتن ۷۶
۵-۷-۴- رفتار سه محوری بتن و معیار شکست در نرم افزارANSYS ۷۷
فصل ششم : مدلسازی غیر خطی به روش اجزای محدود و بررسی صحت آن ۸۰
مقدمه ۸۰
۶-۱-مفهوم آنالیز غیرخطی[۲] ۸۱
۶-۲-مدل سازی اجزاء محدود بتن آرمه در ANSYS ۸۲
۶-۲-۱-پارامترهای مورد نیاز برای مدل سازی اجزاء محدود بتن آرمه [۲] ۸۲
۶-۲-۲- المانهای مورد استفاده در ANSYS برای مدل سازی بتن و آرماتور ۸۴
۶-۳- مدلسازی یک اتصال بتن آرمه خارجی و بررسی نتایج آن ۸۷
۶-۳-۱- مشخصات اتصال مدل سازی شده ۸۷
۶-۳-۲-نحوه مدلسازی اتصال در نرم افزار ۸۹
۶-۳-۳-بارگذاری و شرایط مرزی ۹۰
۶-۳-۴-نوع و نحوه تحلیل اتصال [۳۴] ۹۱
۶-۳-۵-نتایج آنالیز اتصال ۹۲
فصل هفتم : نمونه های مدل سازی شده با نرم افزار..... ۹۸
مقدمه ۹۸
۷-۱- معرفی اتصال BCJ ۹۸
۷-۲- معرفی اتصال BCJ-BEAM ۹۹
۷-۳- معرفی نمونه BCJ-SHEAR ۱۰۳
۷-۴- مشخصات مواد مورد استفاده در مدل های ساخته شده در نرم افزار ۱۰۳
۷-۵- مدل سازی اتصالات ۱۰۵

۷-۶-بارگذاری و شرایط مرزی ۱۰۶
۷-۷-بررسی نتایج تحلیل نمونه ها ۱۰۷
۷-۷-۱-نتایج تحلیل اتصال **BCJ** ۱۰۸
۷-۷-۲-نتایج تحلیل اتصال **BCJ-BEAM** ۱۱۴
۷-۷-۳-نتایج تحلیل اتصال **BCJ-SHEAR** ۱۲۲
۷-۸-تاثیر محصور شدگی بر رفتار اتصال ۱۲۵
۷-۹- مقایسه رفتار اتصالات مدل سازی شده ۱۲۹
فصل هشتم : جمع بندی و نتیجه گیری ۱۳۳
مراجع ۱۳۵

فصل اول

معرفی اتصالات تیر-ستون

مقدمه

اکثر گسیختگی هایی که در سازه های بتن مسلح رخ می دهد نه بـه خـاطر عـدم آنـالیز صـحیح سـازه و یـا طراحـی نادرست اعضاء که به علت عدم توجه کافی به جزییات آرماتور گذاری است. در اکثـر مواقـع ایـن مشـکل در اتصـالات اعضای سازه ای اصلی وجود دارد. امروزه در کارهای سازه ای مدرن تمایل رو به افزایشـی در مهندسـین بوجـود آمـده است که طراحی اتصال را به عهده یک دیتایلر واگذار کنند . یقیناً در بسـیاری از حـالات جزئیـات اسـتاندارد هماننـد آنچه در ACI Detailing Manual یافت میشود می تواند مورد استفاده قرار گیرد. اما تنها مهنـدس طـراح بـا در دست داشتن نتایج کامل آنالیز سازه می تواند از عهده این کار بر آیـد. در بسـیاری از حـالات دیگـر، آرایـش آرمـاتور ویژه ای نیاز است تا بتواند انتقال نیرو را انجام دهد و ترسیم مهندسی خاصی که بتواند مشـکل خـم آرمـاتور و نقـاط قطع آرماتورهای اصلی و آرماتورهای تکمیلی را نشان بدهد ضروری است [۱].

اتصالات یکی از اجزاء مهم سازه های بتن آرمه محسوب می شوند. زمانی که یک سازه بتن آرمه برای تحمل بار زلزلـه طرح می گردد، انتظار می رود سازه در برابر زلزله های متوسط بدون آسیب دیدگی مقاومت کند، در برابر زلزلـه هـای شدید که برای عمر مفید آن پیش بینی می شود، بدون آسیب دیدگی جدی مقاومت کند و در برابر زلزله های شـدید غیر عادی، دچار تخریب کلی نگردد [۲]. طبیعتا چنین رفتاری سبب ایجاد تغییر شکل های زیاد در اعضاء قاب هـای خمشی مورد بررسی می شود. سهم اتصالات یک قاب خمشی در تحمل تغییر شکل های ناشی از زلزلـه سـهم زیـادی است. زمانی که قاب خمشی بتن آرمه تحت اثر نیروهای جانبی ناشی از زلزله قرار می گیرد، در اتصالات آن نیروهـای

برشی قابل توجهی ایجاد می شود. ایجاد این نیروهای برشی با تغییر شکل های زیادی همراه است. بنـابراین اتصـالات سازه های بتن آرمه علاوه بر مقاومت، باید از شکل پذیری کافی نیز برخوردار باشند [۳]. در طراحی قابها برای تحمـل زلزله عموما سعی می شود قاب های خمشی از نوع شکل پذیر باشند.

در سیستم های خمشی شکل پذیر اتصالات سهم به سزایی در رفتار قاب دارند. تغییر در سختی یا مقاومـت اتصـالات این سازه ها، تاثیر چشمگیری در مقاومت آنها در تحمل بارهای جـانبی دارد. در زمـان وقـوع زلزلـه، خرابـی اتصـالات سبب افزایش ناگهانی تغییر مکان طبقه و افزایش امکان خرابی سازه به علت تشدید اثر $P\text{-}\Delta$ می شود. به همین علـت اتصال در سازه های خمشی شکل پذیر به عنوان یک خط ضعف شناخته می شود [۲].

طراحی اتصالات تیر- ستون بتن آرمه عموما برای مهندسین سازه امر دشواری به نظر می رسد. مخصوصـا زمـانی کـه طراح لازم است یک منطقه محدود اتصال را طراحی کند که ابعاد آن بر اساس ابعاد تیرها و ستون های متصـل بـه آن تعیین می شود. این محدوده کوچک نیروهای مختلفی را از تیر و ستون دریافت می کند و در حقیقت یک اتصال باید این نیروها را که مقادیر درخور توجهی دارند، به همراه تغییر شکل های ناشی از آن ها به خوبی تحمل کرده و انتقـال دهد. بر اساس ضوابط موجود برای طرح اتصالات بتن آرمه، در یک اتصال قاب شکل پذیر خمشـی، لازم اسـت مقـدار قابل توجهی آرماتور عرضی در تیر و ستون(در ناحیه هسته اتصال) قـرارداده شـود تـا بـه ایـن ترتیـب محصورشـدگی اتصال رعایت شود [۲].

اجرای این سیستم آرماتور گذاری در حجم محدود ناحیه اتصال، امری دشوار است و بتن ریزی این ناحیه را با مشـکل روبرو می کند(شکل۱-۱). به همین علت تا به امروز بهبود رفتار اتصالات از مهمترین مسائل مورد بحـث در مهندسـی سازه بوده و هست.

از طرف دیگر رفتار اتصالات ماهیتا پیچیده است و عوامل مختلفی بر رفتار اتصالات بتن آرمه اثر می گذارند.به همـین علت تحقیقات در این زمینه از سال ۱۹۶۷ آغاز شده و تاکنون نیز ادامه دارد [۴].

۱-۱-انواع اتصالات تیر- ستون

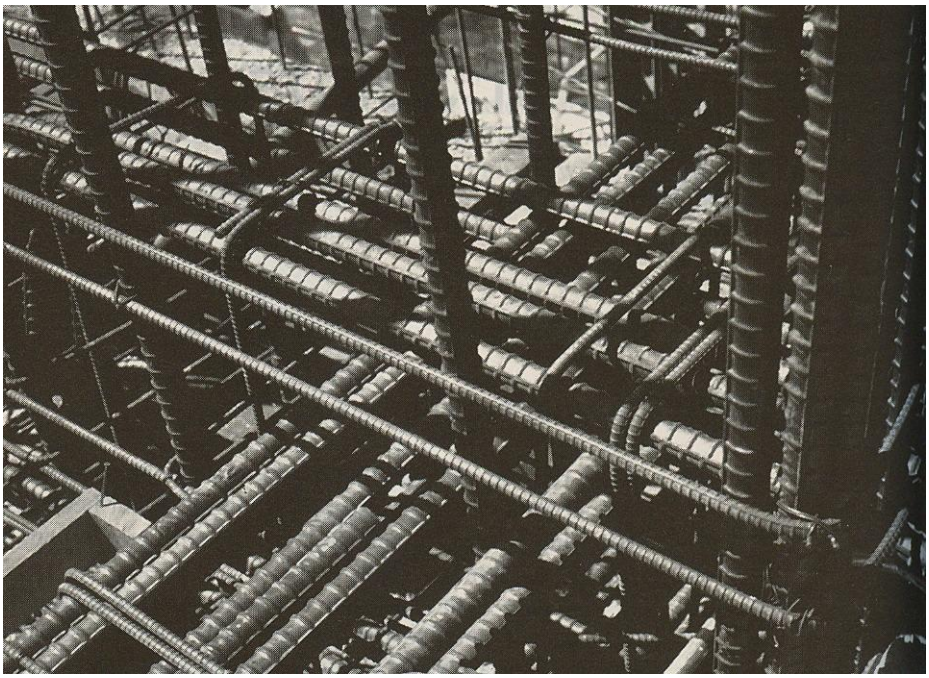
از نقطه نظر رفتار اتصالات و طراحی آن ها، سه تقسیم بنـدی کلـی از اتصـالات بـتن آرمـه وجـود دارد[۲]. ایـن سـه تقسیم بندی عبارتند از:

۱- تقسیم بندی بر اساس شکل اتصال

۲- تقسیم بندی بر اساس شرایط بارگذاری و نحوه تغییر شکل اتصال تحت اثر بار زلزله

۳- تقسیم بندی بر اساس تشکیل ناحیه پلاستیک در قاب

در این قسمت به این سه نوع تقسیم بندی اتصالات اشاره می شود.



شکل ۱-۱ تراکم آرماتورها در محدوده اتصال[۱]

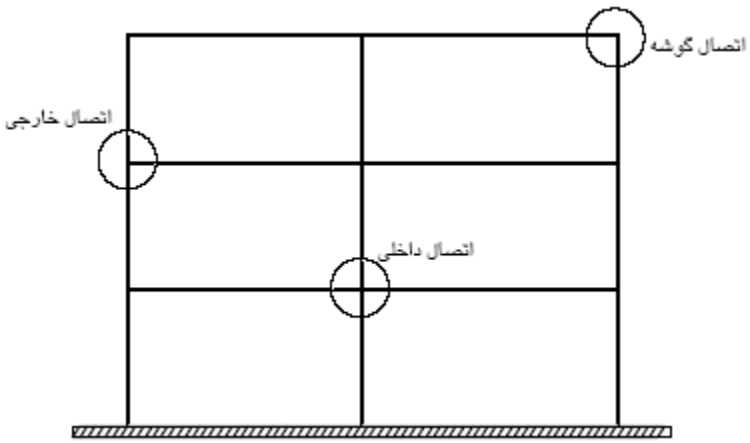
۱-۲- طبقه بندی اتصالات بر اساس شکل و بررسی آنها

بر اساس شکل اتصال و محل آن در قاب خمشی، اتصالات تیر-ستون به سه دسته تقسیم می شوند. ایـن سـه دسـته که در شکل ۱-۲ نشان داده شده عبارتند از:

الف – اتصال داخلی

ب – اتصال خارجی

ج – اتصال گوشه



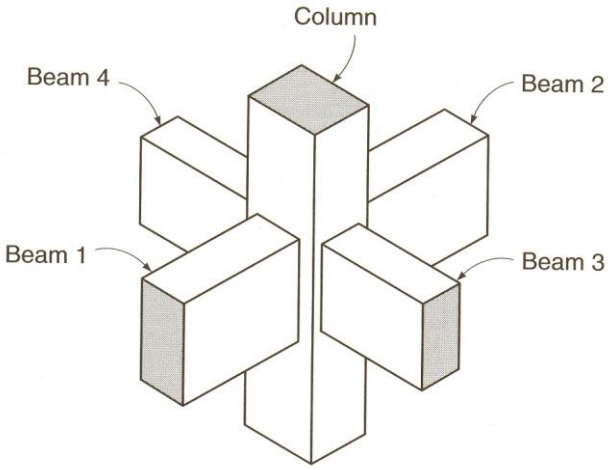
شکل ۱-۲ انواع اتصالات[۲]

شکل۱-۳ یک اتصال داخلی (میانی) را نشان می دهد. همان طور که در شکل دیده می شود تیرهای ۱و۲ در دو وجه مقابل ستون و تیرهای ۳و۴ در جهات عمود بر وجوه ستون به آن وارد می شوند.

یک اتصال خارجی میتواند شامل تیرهای ۱و۲و۳ یا در بعضی حالات فقط شامل تیرهای ۱و۲ باشد. یک اتصال گوشه می تواند تنها شامل تیرهای ۱و۳ و یا احیاناً فقط تیر۱ باشد.

بر اساس آنچه در مراجع موجود به چشم می خورد، علت این نحوه تقسیم بندی را باید در رفتار هر یک از این سه نوع اتصال توسط تیرها و ستون های متصل به آن جستجو کرد. به عنوان مثال رفتار اتصالات گوشه به دلیل آنکه هسته اتصال از محصور شدگی کمتری برخوردار است از دو نوع دیگر اتصالات بحرانی تر است و پس از آن رفتار اتصالات خارجی بحرانی تر از اتصالات داخلی است.

در ادامه رفتار این سه دسته از اتصالات را به اختصار مورد بررسی قرار داده ایم.



شکل ۱-۳ اتصال داخلی (میانی) [۱]

۱-۲-۱- اتصالات گوشه(Corner Joints)

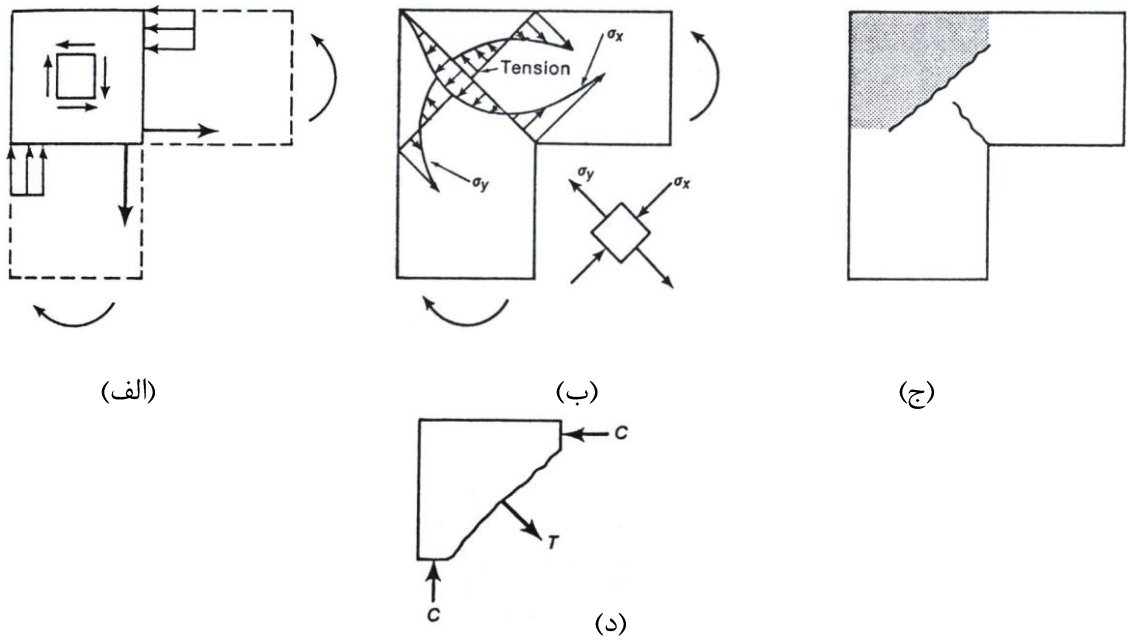
وقتی اتصالات را در تقاطع تیر و ستون در گوشه یک قاب در نظر می گیریم، لازم است که بین اتصالاتی که در اثر ممانهای اعمالی تمایل به باز شدن (opening) دارند و اتصالاتی که در اثر ممانهای اعمالی میل به بسته شدن (closing) دارند، تفاوت قائل شویم [۵].

الف- اتصالات گوشه باز (Opening)

در شکل ۱-۴-الف و ب توزیع تنش الاستیک در یک اتصال گوشه (opening) قبل از ترک خوردگی نمایش داده شده است. تنش های کششی بزرگی که در گوشه داخلی و وسط اتصال ایجاد می شود سبب توسعه ترک خوردگی می گردد(شکل ۱-۴-ج).

دیاگرام آزاد قسمت خارجی ترک خورده در شکل ۱-۴-د نشان داده شده است.

برای برقراری تعادل نیروی T لازم است. اگر آرماتور کافی برای انتقال این نیرو وجود نداشته باشد اتصال بلافاصله پس از ایجاد ترک قطری خواهد شکست [۵].



(الف) (ب) (ج)

(د)

شکل ۱-۴ اتصال گوشه باز [۵]

تیرهای معمولی حدوداً (یک درصد) آرماتور دارند در این نسبت آرماتور، اتصالات با آرایش آرماتورهای متداول که در اشکال ۱-۵-الف و ب نشان داده شده اند تنها قادرند ۲۵ تا ۳۵ درصد ظرفیت ممان بری تیر را انتقال دهند. "نیلسون" و "لوزبرگ" بصورت تجربی نشان دادند که یک اتصال که بصورت آرایش نشان داده شده در شکل ۱-۵-ج آرماتور گذاری شده باشد می تواند بدون تغییر شکل های زیاد ، ظرفیت ممان بری مورد نیاز را تامین کند این اتصال شامل دو میلگرد است که در انتها بصورت قلاب در آمده اند و آرماتور های قطری که مجموع سطح مقطع آنها نصف آرماتور تیر است. کشش موجود در میلگرد قلاب شده مولفه ای در راستای ترک قطری دارد که به ایجاد نیروی T در شکل ۱-۴-dکمک می کند. میلگرد مایل از گسترش و توسعه ترک در گوشه داخلی اتصال جلوگیری کرده ، سرعت انتشار ترک را کم می کند[۵].

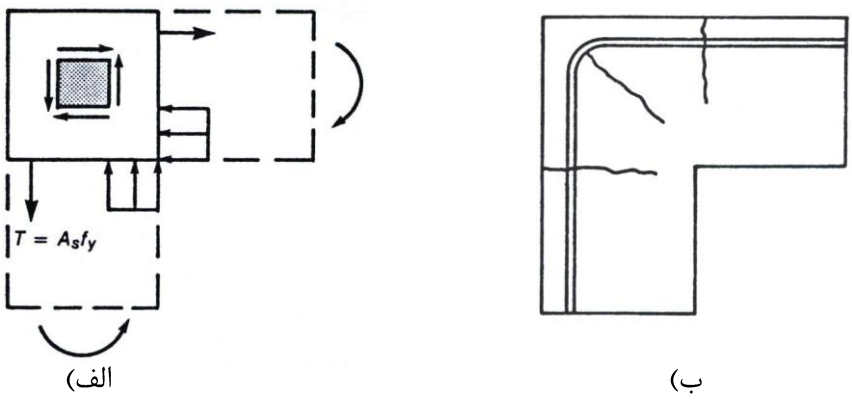
الف) ب) ج)

شکل ۱-۵ آرایش متداول آرماتور در اتصالات گوشه[۵]

ب- اتصالات گوشه بسته (Closing)

تنشهای الاستیک در یک اتصال گوشه بسته دقیقاً بر عکس آن در اتصال باز است .

نیروهای انتهایی تیر در اتصال ایجاد برش می کند(شکل۱-۶-الف). در نتیجه ترک خوردگی در چنین اتصالی بصورت شکل ۱-۶-ب اتفاق می افتد. ترک اصلی، ترک قطری است [۵].



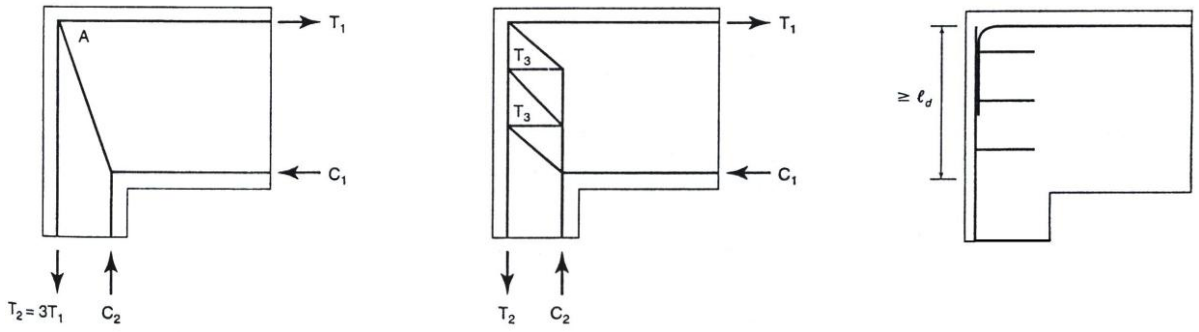
شکل ۱-۶ اتصال گوشه بسته [۵]

مشکل چنین اتصالاتی از آنجا نتیجه می شود که میلگردهای خم شده گوشه اتصال نیرویی معادل $\sqrt{2}A_s f_y$ به بتن در اتصال بصورت قطری وارد می کنند به همین علت افزایش شعاع میلگردهای خم شده گوشه خارجی اتصال مطلوب به نظر می رسد. در نتیجه عمق تیر بزرگتر از عمق ستون خواهد شد(شکل ۱-۷-الف). در این حالت بازوی نیروهای T,C در تیر بزرگتر از بازوی نیروی های کششی- فشاری ستون است و لذا نیروی کششی در فولاد ستون بیش از نیروی کششی در فولاد تیر می باشد . به عنوان نمونه در شکل ۱-۷-الف نیروی T_2 سه برابر نیروی T_1 می باشد [۵].

گرچه مدل Strut & Tie نشان داده شده در شکل ۱-۷-الف متعادل می باشد (در حال تعادل است)، اما نیروی میلگرد در نقطه A بصورت ناگهانی با فاکتور سه برابر پرش می کند [۵].

مدل Strut & Tie که نشان دهنده چنین تغییری در نیروی میلگرد در این ناحیه باشد در شکل ۱-۷-ب دیده می شود. می توان ملاحظه کرد که از روی این مدل Strut & Tie خاموتها در ناحیه اتصال بایستی نیروی کششی

معادل $\sum T_3$ را تحمل کنند بصورتی که $\sum T_3 = T_2 - T_1$ باشد.جزئیات آرماتورگذاری در شکل ۱-۷-ج نشان داده شده است [۵].

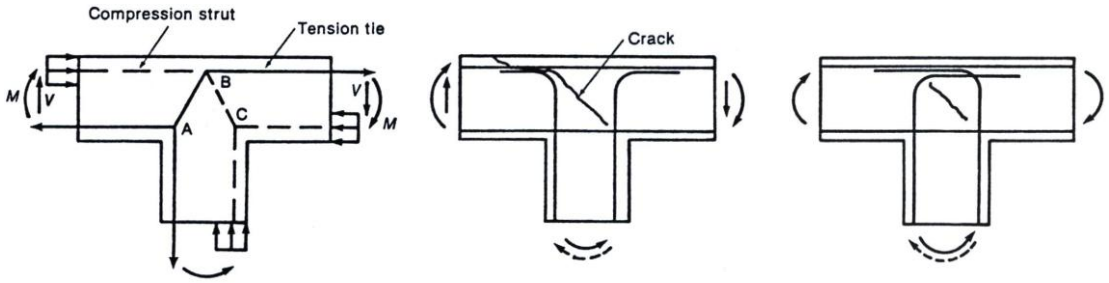


الف) ب) ج)

شکل ۱-۷ اتصال گوشه[۵]

۱-۲-۲- اتصالات خارجی(Exterior or T Joints)

اتصالات T در اتصال تیر به ستون خارجی تشکیل می شود. نیروهای موثر بـر چنـین اتصـالی را مـی تـوان بصـورت نشان داده شده در شکل۱-۸-الف ایده آل سازی کرد [۵].



الف) ب) ج)

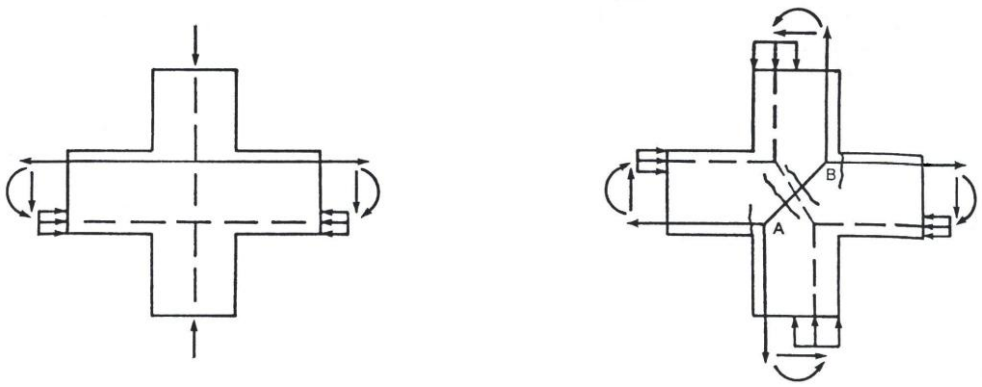
شکل ۱-۸ اتصال خارجی[۵]

در این شکل استرات های (strut) فشاری با خطوط بریده و اعضای کششی با خطوط پر دیده می شوند. دو الگـوی متفاوت آرماتور گذاری اتصال ستون به تیر سقف در اشکال۱-۸-ب و ج دیده می شود.

عمومی ترین جزئیاتی که در عمل از آن استفاده می شود همان است که در شکل ۱-۸-ب دیده می شود. اما این آرایش آرماتور کار آیی پایینی را ایجاد می کند. اتصالاتی که بصورت شکل ۱-۸-ج مسلح می شوند کار آیی بهتری در تست های به عمل آمده از خود نشان می دهند. قلاب ها در این الگوی آرماتور بندی مانع از باز شدن ترک قطری شده، استرات فشاری قطری را نیز مهار می نمایند [۵].

۱-۲-۲- اتصالات داخلی(Interior Joints)

یک اتصال میانی (داخلی) تحت اثر بارهای ثقلی نیروهای کششی و فشاری در انتهای تیر و ستون را مستقیماً از طریق اتصال (از درون اتصال) انتقال می دهد (شکل ۱-۹-الف). اما در یک قاب که تحت اثر نیرو های جانبی قرار می گیرد بواسطه تشکیل نیروهای قطری فشاری و کششی (strut&tie) درون اتصال ، انتقال نیرو ها ممکن می گردد . راستای ترک ها در داخل اتصال در امتداد عمود بر قطر کششی می باشد. در وجوه اتصال نیز در محل برخورد تیر با ستون ترک هایی تشکیل می شود(شکل ۱-۹-ب) [۵].



ب) الف)

شکل ۱-۹ اتصال داخلی[۵]

۱-۳- طبقه بندی اتصالات بر اساس شرایط بارگذاری و نحوه تغییر شکل

توصیه نامه طراحی اتصالات تیر – ستون در قاب های بتن آرمه منتشر شده توسط کمیته مشترک ACI-ASCE 352، اتصالات بتن آرمه را به دو نوع ۱ و نوع ۲ تقسیم کرده است [۶].

۱ -اتصال نوع ۱

این اتصال بر اساس تعریف توصیه نامه ACI-ASCE 352 اعضایی را به هم متصل می کند که بر اساس ACI-318 برای تامین مقاومت مورد نیاز در مقابل بارهای ثقلی و بار باد طراحی شده اند، ولی تغییر شکل های غیر الاستیک قابل توجهی را تحمل نمی کنند.

۲ -اتصال نوع ۲

این نوع اتصال اعضایی را به هم متصل می کند که علاوه بر داشتن مقاومت کافی، دامنه تغییر شکل های آن ها به محدوده غیر الاستیک نیز کشیده می شود. عناصر متصل شونده به اتصال نوع ۲ به دلیل داشتن شکل پذیری زیاد، عموما جذب انرژی زیادی در رفتار چرخه ای(مثلا هنگام وقوع زلزله) دارند. بنابراین اتصالات مناسب برای اغلب سازه های بتن آرمه که با نام سازه های خمشی شکل پذیر شناخته می شوند و برای طرح آن ها بار زلزله در نظر گرفته می شود، از این نوع هستند.

۱-۴- تقسیم بندی اتصالات از نظر تشکیل حوزه پلاستیک[۷]

چنانچه یک اتصال تیر – ستون بتن آرمه تحت اثر بارهای وارد شده بر آن، به آستانه شکست برسد، این شکست ممکن است به شکل های مختلفی صورت بگیرد. به طور کلی دو نوع رفتار مشخص از اتصالات بتن آرمه شناخته شده است. در رفتار نوع اول شکست اتصال در تیر اتفاق می افتد. به عبارت بهتر به دلیل آن که ظرفیت خمشی ستون های اتصال بسیار بیشتر از ظرفیت خمشی تیر است، تیر دچار شکست شده و ناحیه پلاستیک(مفصل پلاستیک) در تیر تشکیل می شود. این رفتار مبنای نظریه معروف "تیرضعیف-ستون قوی" می باشد. در این مکانیزم شکست عموما یک رفتار نرم مشاهده می شود که این رفتار نرم و شکل پذیر سبب جذب انرژی زیادی در سازه در هنگام وقوع زلزله می گردد.

در مکانیزم دیگر ستون دچار شکست می گردد. این پدیده طبیعتا زمانی اتفاق می افتد کـه تیرهـای اتصـال مقاومـت خمشی بسیار زیادی دارند و همچنین مهار آرماتورها در هسته اتصال به خوبی صورت گرفته است.یکی از پارامترهـای تعیین کننده در طراحی اتصالات تیر-ستون در سازه های خمشی شکل پذیر نسبت مقاومت خمشـی سـتون بـه تیـر (M_R) است.

$$M_R = \frac{\sum M_C}{\sum M_B} \qquad (۱-۱)$$

این نسبت در آیین نامه ACI 352 نیز مطرح شده است.تحقیقات نشـان مـی دهـد کـه بـرای جلـوگیری از تشـکیل مفصل پلاستیک در اتصال و ستون، باید M_R بیش از ۱/۴۰ باشد[۸].

علاوه بر این مساله لغزش آرماتورهای تیر از داخل هسته اتصال در موقعی که سازه تحت بار زلزله قرار مـی گیـرد، بـه جهت آن که مقاومت چسبندگی آرماتور و بتن در موقع زلزله کاهش می یابد، مساله بسیار مهمی تلقی می شود.

این مساله در کنار افزایش ناگهانی برش اتصال در هنگام زلزله، اتصال را به سوی تخریب بیشتر پیش می برد. به ایـن ترتیب می توان عوامل مختلفی را در رفتار اتصال تا آستانه شکست دخیل دانست. با این مقدمه می تـوان اتصـالات را به شکل دیگری تقسیم بندی کرد.این تقسیم بندی اتصالات را به دو دسته الاستیک و غیر الاستیک تقسیم می کنـد. آنچه در مورد تشکیل مفصل پلاستیک در تیر یا ستون گفته شد یک نگاه کلی بر رفتار قاب خمشی اسـت. بـا انـدکی دقت می توان از همین دریچه به رفتار اتصال به طور مشخص نگاه کرد.

ضابطه طراحی "تیر ضعیف-ستون قوی" در سازه های خمشی بتن آرمه قاب را چنان طرح می کند که ستون و اتصال تحت تاثیر بار زلزله تقریبا در محدوده الاستیک عمل کنند [۹]. این رفتار همانطور که قبلا نیز اشاره شد سبب جذب انرژی و پایداری جانبی سازه(کنترل تغییر شکل نسبی طبقات) می شود.

برای آن که یک اتصال بتن آرمه در محدوده خطی باقی بماند به نظر می رسد باید دوشرط عمده لحاظ شود [۷]:

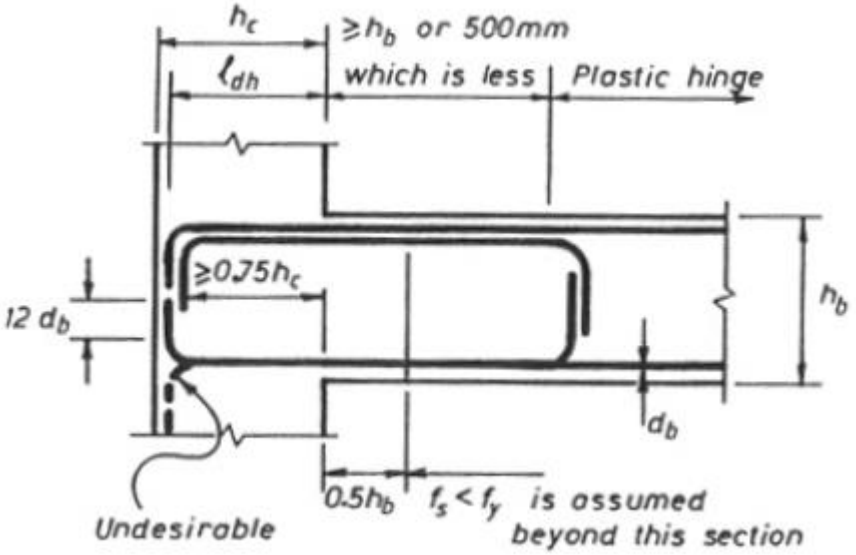
۱ -لغزش مهاری آرماتورهای طولی تیر سبب ایجاد شکست در اتصال نگردد.این مساله به ویژه در اتصالات کناری وگوشه اثر مهمی دارد.

۲ -هسته اتصال در اثرتحمل نیروهای وارد بر آن مخصوصا نیروهای برشی روی هسته، دچار شکست نشود.

رعایت ضابطه "تیرضعیف-ستون قوی" در کنار تمهیدات خاص دیگری که ذیلا به آن اشاره می شود، سبب برآورده شدن دو شرط فوق ودر نتیجه ایجاد نوع خاصی از اتصال به نام اتصال خطی می گردد.

۱-۴-۱- مشخصات اتصال الاستیک [۷]

مهمترین ویژگی یک اتصال خطی آن است که ناحیه تسلیم آرماتورهای تیر درست در بر اتصال قرار ندارد. این مساله سبب می شود که ناحیه تسلیم(پلاستیک)کمتر به داخل هسته کشیده شود، و لذا هم نیروی کششی ناشی از آرماتورهای تیر در کنار هسته کمتر است و هم لغزش مهاری کمتری اتفاق می افتد. برای برقراری چنین وضعیتی کافی است انتهای تیر در محل اتصال به ستون قوی تر گردد [۷]

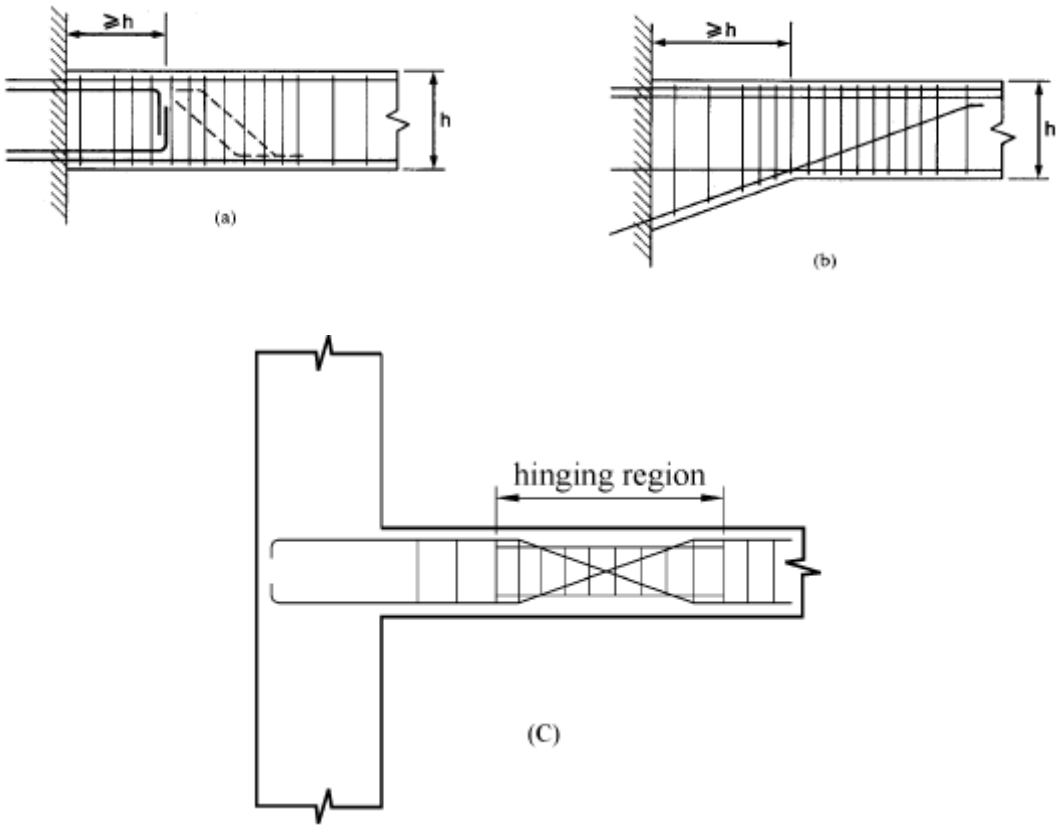


شکل ۱-۱۰ تغییر محل تشکیل مفصل پلاستیک از مقطع انتهایی برستون[۷]

به عنوان مثال با قرار دادن آرماتورهای اضافی در این ناحیه مطابق شکل ۱-۱۰، محل تشکیل مفصل پلاستیک در تیر به ناحیه ای جلوتر از بر اتصال منتقل شود. به نظر می رسد هر چه تیر قوی تر باشد، هسته در معرض خطر

بیشتری قرار دارد. بنابراین رعایت طول نشان داده شده در شکل۱-۱۰ برای ناحیه تقویت شده انتهای تیر الزامی است.

روش های مختلف برای جلوگیری از توسعه کرنش آرماتور طولی تیر به اتصال در شکل ۱-۱۱ نشان داده شده است. در شکل ۱-۱۱-a با قرار دادن آرماتور اضافی در طولی از تیر در مجاورت اتصال، این محدوده تقویت شده است. در شکل ۱-۱۱-b مقطع تیر در کنار اتصال بزرگ تر شده است. شکل ۱-۱۱-c یک آرایش آرماتورگذاری خاص را نشان می دهد که در فاصله ای مشخص از بر اتصال در تیر میلگردهای فوقانی و تحتانی تیر به صورت ضربدری همدیگر را قطع کرده اند. به این ترتیب در این مقطع از تیر مقاومت خمشی از سایر نقاط کمتر می باشد و مفصل پلاستیک نیز در همین منطقه تشکیل می گردد [۱۰].



شکل ۱-۱۱ جزئیات پیشنهادی در تیر برای دور کردن مفصل پلاستیک از بر ستون[۱۰]

۱-۴-۲- مشخصات اتصال غیر الاستیک [۷]