بررسی شکل پذیری در ساختمانهای بتنی مقاوم در برابر زلزله

مریم کهریزی، دانشجوی مقطع کارشناسی مهندسی عمران، دانشگاه رازی
تلفن:0831-4262198 ، پست الکترونیکی: maryamkahrizi@yahoo.com

چکیده

با توجه به خسارات و تلفات ناشی از زلزله در کشورهای زلزله خیز، لزوم طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله امری انکار ناپذیر است. برای طرح یک ساختمان در مقابل زلزله لازم است اطلاعاتی جامع و کامل از رفتار آن در مقابل نیروهای ناشی از زلزله در دست باشد. باید دانست که رعایت ضوابط و مقررات مندرج در آیین نامه ها تضمین کنندهٔ مقاوم شدن کامل ساختمانها در برابر نیروهای ناشی از زلزله نیست. به همین جهت باید رفتار سازه ها را به طور کلی و به دقت مورد توجه قرار داد. شکل پذیری یکی از خواص بسیار مهم سازه هایی است که اگر تحت تأثیر نیروهای لرزه ای واقع شوند، باید از خود بروز دهند. هر سازهٔ پایدار یا مقاوم در برابر زلزله باید هم به صورت کلی و یک مجموعهٔ کامل، شکل پذیر باشد و هم اعضای آن به تفکیک شکل پذیر باشند. بنابراین با توجه به نوع سازه ای که برای مناطق زلزله خیز طراحی می شود، باید مصالح به کار رفته در آنها به نحوی اختیار و ترکیب شوند که نتیجهٔ رفتار آنها، شکل پذیر بودن را تأمین نماید. که در مورد سازه های بتن مسلح اصلی ترین این مصالح بتن و میلگرد هستند. در این مقاله معیارها و ضوابط تأمین کنندهٔ شکل پذیری در مصالح، تیرها، ستونها، اتصالات تیر به ستون و دیوارهای برشی مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه ها : شکل پذیری، سازه بتن مسلح، مقاوم در برابر زلزله، اتصال تیر به ستون، دیوار برشی.

1- مقدمه

مصالح شکل پذیر به موادی گفته می شود که در حین تحمل بار، کرنش های زیادی را از خود نشان می دهند. برای سازه ها و اعضای بتن مسلح، شکل پذیری به معنای توانایی حمل تغییر شکل های غیر ارتجاعی قابل توجه قبل از تخریب عضو می باشد. یک عضو شکل پذیر باید اولاً قادر باشد به قدر کافی تغییرشکل های غیر ارتجاعی زیادی را تحمل کند بدون اینکه مقاومتش به طور چشمگیری کاسته شود و ثانیاً قادر باشد مقدار قابل توجهی از انرژی زلزله را از طریق چرخه های رفتاری پایدار، جذب و مستهلک نماید. در ساختمانهای بتنی برای اینکه اعضا بتوانند بارهای متناوب ناشی از زلزله را در چندین سیکل متوالی تحمل نمایند، آنها را به صورتی طراحی می کنند که رفتار اعضا از حد ارتجاعی فراتر رود و تغییر شکل هایی در اعضا بوجود آید، در این حالت اگر اعضا و اتصالاتی بتوانند در برابر این تغییر شکلها مقاومت کنند، در این صورت خود قاب به عنوان میرا کنندهٔ بارهای متناوب عمل نموده و مقدار زیادی انرژی زلزله را جذب خواهد کرد.

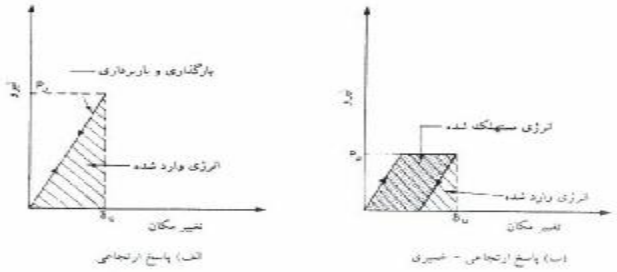
شکل پذیری قاب های بتن مسلح به صورت نسبت تغییر مکان نهایی انتهای قاب به تغییر مکان نظیر حد تسلیم انتهای قاب (بصورت فرمول 1) تعریف می شود.

$$m = \frac{\Delta u}{\Delta y} \qquad (1)$$

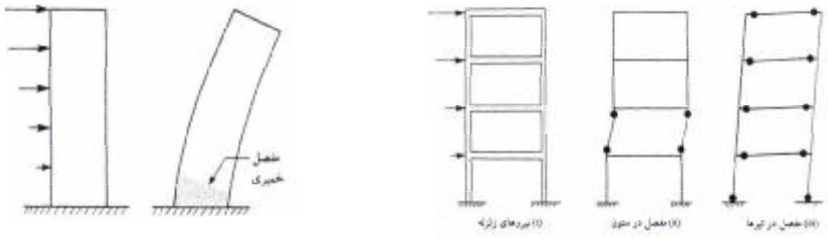
در اغلب موارد شکل پذیری مقاطع بتن مسلح را با انحناء بیان می کنند. در این صورت فاکتور شکل پذیری به صورت نسبت انحناء در بار نهایی حالت پلاستیک به انحناء در اولین تسلیم (بصورت فرمول2) تعریف می شود.

$$m = \frac{fu}{fy} \qquad (2)$$

شکل پذیری به کاهش نیروها در اعضا کمک می کند و انرژی حاصل از اثرهای زلزله را مستهلک می نماید. این موضوع به صورت شماتیک در شکل (1) ، برای حالت سادهٔ یک سیکل بارگذاری و بار برداری استاتیک، نشان داده شده است. به ازای اعمال انرژی یکسان، حداکثر نیروی بوجود آمده، P_u ،در یک سیستم دارای رفتار الاستیک از سیستم دارای رفتار الاستو - پلاستیک بزرگتر خواهد بود. علاوه بر این، سیستم اخیر بخش عمده ای از انرزی را با تغییر شکل های غیر الاستیک مستهلک می سازد. اما حداکثر تغییر مکان، d_u، سیستم الاستو - پلاستیک (شکل پذیر) از مقدار آن در سیستم الاستیک (خطی) بزرگتر خواهد بود. بدین ترتیب، در حالی که شکل پذیری به کاهش نیروها و استهلاک انرژی کمک می کند، همچنین ملزم می دارد که سیستم توان ایجاد تغییر شکل های بزرگ را بدون تخریب های بزرگتر داشته باشد.



شکل (1): *اثر رفتار شکل پذیر سازه بر نیروهای عضوی و استهلاک انرژی*



الف) قاب شکل پذیر **ب) دیوار خمشی شکل پذیر**

شکل (2) : *ایجاد تغییر شکل های غیر الاستیک (مفاصل پلاستیک) در سازهٔ شکل پذیر*

در ساختمانهای متشکل از قابهای شکل پذیر و یا دیوارهای خمشی شکل پذیر و منطبق بر **CSA A23.2 – M84** (بخش 21) ایجاد رفتار غیر الاستیک در اعضاء، مطابق شکل (2) انجام پذیر است. در مورد قابهای شکل پذیر، مفصل های پلاستیک ممکن است در تیرها یا ستونها تشکیل شوند، مطابق شکل (2- الف) مفصل های پلاستیک در تیرها ظرفیت چرخشی بیشتری در مقایسه با مفصل های ستونی دارا می باشند و مکانیسم های شامل مفصل های تیر، با توجه به تعداد افزون تر مفصل های تیری، ظرفیت جذب انرزی بالاتری از خود نشان می دهند. اضافه بر این، در صورت رخ دادن تغییر شکل های پسماند و ایجاد خسارت، مستقیم کردن و تعمیر ستون در مقایسه با تیر مشکل تر است. بنابراین ترجیح داده می شود که قاب به صورتی طراحی شود که تغییر شکل های غیر الاستیک به جای ستونها در تیرها ایجاد شود.

2- مصالح

2 – 1 – بتن:

بتن ساده در کشش ترد و دارای خاصیت غیر ارتجاعی بسیار کمی است. هر چه نرخ بارگذاری افزایش یابد، مقاومت فشاری بتن نیز افزایش یافته و مقدار کرنش در تنش حداکثر، کاهش مییابد. بتن سازه ای سبک از خود دو نوع رفتار تنش – کرنش نشان می دهد. بتن سبک با مقاومت پایین ($f'_c \le 4000 psi$) دارای شکل پذیری بیشتری نسبت به بتن سبک با مقاومت بالا ($f'_c \ge 4000 psi$) که معمولاً در تنش حداکثر به طور ناگهانی شکسته می شود می باشد.

در صورتیکه بتن غیرمسلح در معرض فشار جانبی مهارشده قرار گیرد، مقاومت فشاری آن تقریباً به میزان چهار برابر فشار جانبی مهار نشده افزایش می یابد وکرنش هایی که در آن بتن به مقاومت افزایش یافته می رسد نیز چندین برابر مقادیری است که ناشی از بتن مهارنشده است، بنابراین مهار کردن نیز باعث افزایش شکل پذیری بتن مهار شده می گردد. در بتن مسلح می توان فشار سه محوره را با تعبیهٔ خاموت مارپیچ نزدیک به هم یا با تنگ نزدیک به هم با تقریب مناسبی تأمین نمود. با متورم شدن جانبی بتن، تنگها یا فولادهای مارپیچ تحت تنش کششی قرار گرفته و بتن نیز به نوبهٔ خود در معرض تنش فشاری قرار می گیرد. نتایج آزمایشات نشان می دهد که کارایی تنگهای مستطیلی تقریباً نصف مارپیچها یا تنگهای حلقه ای مجزا می باشد. زیرا اضلاع تنگها که به طرف خارج خیز برمی دارند منجر به کاهش فشار مهاری می گردد.

بتن سازه های بتن مسلح به خصوص دراجزای سیستم های باربر جانبی نباید کم مقاومت باشد. با افزایش مقاومت بتن مقدار عمق مؤثر لازم در یک مقطع تحت خمش کاهش خواهد یافت (d) در نتیجه انحناء و شکل پذیری افزایش خواهد یافت.

2 – 2 – فولاد:

فولاد مسلح کننده نسبت به بتن شکل پذیری خیلی بیشتری دارد و شکل پذیری فولاد امکان را برای عملکرد شکل پذیر مقاطع بتن مسلح فراهم می سازد. شکل پذیری و طول دامنه تسلیم هر دو با افزایش رتبه فولاد کاهش می یابد. واستانداردهای مختلف حد پایینی را برای تنش تسلیم مشخص می کنند. با افزایش مقاومت آرماتورهای کششی مصرف شده در مقطع تحت خمش، ارتفاع بتن فشاری جهت مقابله با نیروهای کششی فولاد بیشتر خواهد شد (kd) در نتیجه انحناء و شکل پذیری کاهش خواهد یافت.آزمایش های کشش و خمش برای تعیین شکل پذیری فولاد اطلاعات مفیدی ارائه می دهند. فولاد سرد نورد دارای شکل پذیری کمتری است و نیز رفتار فولادی که تنش تسلیم آن به مقدار زیادی بیش از مقادیر اسمی باشد، چندان شکل پذیر نیست. بنابراین در اکثر ساخت و سازها استفاده از این فولاد توصیه نمی شود.

3- تیر

شکل پذیری در تیرها یا ستونها به صورت نسبت تغییرات زاویهٔ کل q در یک لولا یا نسبت خیزها Δ، در حالت نهایی نسبت به حالت تسلیم بیان میگردد.یعنی $m_r = q_u / q_y$ یا $m_d = \Delta_u / \Delta_y$ است. در نواحی مفصل پلاستیک یعنی در محل مفصل مشترک تیرها با ستونها و در مجاورت این محل، نیاز به تأمین و حفظ استحکام و شکل پذیری عضو در طی تعدادی چرخه های تغییر شکل ناکشسان رفت و برگشتی مستلزم توجه خاص در طراحی است. این توجه خاص عمدتاً به تأمین میلگردهای عرضی، به صورت حلقه های بسته یا دورپیچ، مربوط می شود. میلگردهای عرضی در نواحی مفصل پلاستیک تیرها طوری طراحی می شوند که (1) محصور شدگی هستهٔ بتنی را تأمین کنند، (2) تکیه گاهی برای میلگردهای فشاری طولی در برابر کمانش ناکشسان باشند، (3) در مقابل برش عرضی همراه با بتن محصور شده مقاومت کنند.

یک هدف اصلی در طراحی اعضای بتن مسلح این است که استحکام عضو، به جای آنکه توسط برش یا مکانیسم های شکست با شکل پذیری کمتر کنترل شود، توسط خمش تعیین شود. برای اطمینان از اینکه تیرها به استحکام کل خمشی

خود، قبل از هر گونه خرابی بر اثر برش برسند، پیوست A آیین نامهٔ ACI مقرر می کند که طراحی تیرها برای برش بر اساس برش متناظر با ماکزیمم استحکام خمشی محتمل که می تواند در دو سر تیر ایجاد شود صورت گیرد، نه برای برش حاصل از تحلیل نیروهای جانبی. چنین استحکام خمشی محتمل با فرض تنش میلگردهای کششی برابر $1.25f_y$ و با استفاده از ضریب کاهش استحکام f برابر1 (به جای 0/9) محاسبه می شود.

متغیرهای مؤثر در شکل پذیری تیرها:

1 - نمودارهای لنگر- انحناء مربوط به سطح مقطع تیر: نمودارهای لنگر – انحناء و متغیرهای مؤثر بر آن تأثیر اساسی در شکل پذیری تیر مورد نظر دارد. بنابراین الف) شکل پذیری با کاهش درصد فولاد کششی افزایش می یابد. ب) شکل پذیری با افزایش درصد فولاد فشاری r' افزایش می یابد و این روشی بسیار عملی برای افزایش شکل پذیری است. پ) افزایش در مقاومت بتن و یا کاهش در مقاومت تسلیم فولاد منجر به افزایش شکل پذیری می گردد. ت) مهار کردن (محصور کردن) منطقهٔ فشاری با خاموت های بسته روشی مؤثر جهت بهبود شکل پذیری می باشد. ث) مقطعی که ارتفاع بتن فشاری را کاهش دهد، مقطع مناسبی از لحاظ شکل پذیری است. وجود یک بال فشاری بزرگ در مقطع تیرهای T – شکل یا Γ – شکل منجر به کاهش عمق منطقهٔ فشار در حالت نهایی شده و بنابراین منجر به افزایش شکل پذیری می گردد. استفاده از مقاطع با عمق زیاد برای تیرها در طبقات پایین قاب، شکل پذیری قاب را به شدت کاهش می دهد.

2 - برش: برش دو اثر در شکل پذیری عضو دارد، اولاً معمولاً شکست برشی در خیزی کمتر از شکست خمشی اتفاق می افتد و بنابراین انرژی بسیار کمتری نسبت به شکست خمشی جذب می کند. به همین دلیل نمی توان در یک سازهٔ شکل پذیر شکست برشی را پذیرفت. بنابراین لازم است به اندازهٔ کافی از فولاد جان استفاده شود تا از شکستهای برشی جلوگیری شود. ثانیاً مقدار کل چرخشی که می تواند در یک لولای خمیری ایجاد گردد تابعی از تنش های برشی در تیر است.در ناحیه ای که لنگر خمشی خالص وجود دارد، عامل تعیین کنندهٔ چرخش های ایجاد شده، کرنش فشاری بتن $e_u = 0.003$و طول ناحیهٔ لنگر خالص میباشد. اگر برش به اندازهٔ کافی بزرگ باشد به طوری که ترک های مورب اتفاق بیفتد، امکان اینکه چرخش های غیر ارتجاعی به اندازهٔ کافی بزرگ باشند (در صورتی که خاموت ها ممانعت از شکست برشی ننمایند) هست زیرا امکان ایجاد کرنش های فشاری بزرگتر از 0/003 می باشد. همچنین حائز اهمیت است توجه شود که در مناطق گوناگون فولاد قادر به تسلیم شدن هست که این امر خود منجر به گسترش طول لولا می گردد.

3 - پیوستگی ومهاری : معمولاً شکستهای پیوستگی ومهاری طبیعتی ترد دارند و برای جلوگیری از وقوع آنها درسازه هایی که باید رفتاری شکل پذیر داشته باشند، نیاز به توجه ویژه ای به جزئیات مربوط به آنها به خصوص برای سازه هایی که در مناطق زلزله خیز طراحی می گردند می باشد.

4 - ستون

روش فعلی در طراحی قابهای مقاوم خمشی در برابر زلزله از جنس بتن مسلح بدین ترتیب است که کنش ناکشسان یا مفصل پلاستیک شدن به جای ستونها در تیرها اتفاق بیفتد. این مفهوم در طراحی مفهوم ستون قوی – تیر ضعیف نامیده می شود. این ضابطه موجب می شود که تسلیم، قبل از تشکیل مفصل پلاستیک در ستونها که موجب ناپایداری قاب می شود، در تیرها اتفاق بیفتد و در نتیجه پایداری قاب وقتی در معرض جابجایی های بزرگ ناشی از زلزله قرار می گیرد حفظ شود. البته باید توجه داشت که این ضابطه عدم تشکیل مفصل پلاستیک در ستونها را تضمین نمی کند و از طرفی معمولاً موجب می شود که اندازهٔ ستونها مخصوصاً در طبقات فوقانی ساختمانهای چند طبقه با دهانه های بزرگ، از مقدار لازم بیشتر شود. در راستای تأمین ضابطهٔ ستون قوی – تیر ضعیف، پیوست A آیین نامه ACI مقرر می دارد که مجموع مقاومتهای خمشی

ستونهای منتهی به یک گره، تحت بدترین شرایط بار محوری، حداقل 1/2 برابر مجموع مقاومتهای خمشی طرح تیرهای منتهی به همین گره در صفحهٔ قاب باشد. چنانچه این شرط برآورده شود، کافی است که میلگردهای عرضی با فواصل اندک، فقط در فاصلهٔ کوتاهی نزدیک دو سر ستون، جایی که تشکیل مفصل پلاستیک بالقوّه امکان پذیر است، قرار داده شود. در غیر این صورت استقرار میلگردهای عرضی با فواصل اندک در کل ارتفاع ستونها لازم است.

بطور کلی ستونهای تنگدار دارای شکل پذیری چندان زیادی خصوصاً در ساختمانهای بلند در صورتیکه نسبت خروج از مرکزیت e/h کم باشد، نیستند. در حالیکه، ستونهای مارپیچ شده دارای شکل پذیری خیلی بیشتری بوده و مؤثرترین بست های فولادی هستند، ولی معمولاً ضروری است که از تنگهای بستهٔ مستطیل شکل یا خاموت ها در تیرها و ستون ها استفاده گردد. نکتهٔ مهم در این زمینه این است که آرماتورهای عرضی در صورتی به عنوان بستها، خاموتها و تنگها مؤثرند که انتهای آنها پس از اینکه بتن فشاری شروع به پوسته شدن کرد، همچنان گیردار باشد. بدین منظور آیین نامه ACI گیرداری با یک ختم 135 درجه حول فولاد طولی و ادامه داشتن طولی برابر با ده برابر قطر خاموت را الزامی می داند.

جدای از میلگردهای جانبی عادی مورد نیاز برای ستونها، میلگردهای جانبی محصور کنندهٔ ویژه ای در نزدیکی گره ها (مناطق لنگرهای بزرگ) و در طرفین هر مقطعی که تسلیم خمشی بر اثر جابجایی جانبی غیر الاستیک قاب امکان وقوع دارد، باید فراهم گردد. درستونهایی که امکان ظهور مفصل های پلاستیک در آنها وجود دارد، نظیر ستونهای پای ساختمان، و ستونهایی که اعضای ناپیوستهٔ سخت نظیر دیوارها و خرپاها را حمل می کنند، فولادگذاری محصور کنندهٔ مخصوص برای تمامی ارتفاع ستون ضروری می باشد.

5 - اتصالات تیر به ستون

نیروها در اتصال به وسیلهٔ چسبندگی میان بتن و آرماتور و قلابهای مهاری انتقال می یابند. در ناحیهٔ اتصالات تمرکز تنش های سنگینی وجود دارد. اتصالات باید از مقاومت کافی برخوردار باشند تا امکان ایجاد چرخش های بزرگ غیر الاستیک تیرها را در وجه اتصال تسهیل نمایند. انتقال تنش های خمشی توسط تیرها به وجه های اتصال ، تولید نیروهای برشی بزرگی در داخل اتصال روی صفحات برشی افقی و در نتیجه ترکهای مورب و نیروهای مورب فشاری در گره می نماید. آزمایش ها نشان داده اند که مقاومت برشی داخل گره را می توان به صورت تابعی از مقاومت فشاری بتن گرفت. صرف نظر از بزرگی نیروی برشی در اتصال، به منظور محصور نمودن هستهٔ بتن در اتصال، بایستی گرداگرد میلگردهای ستون در درون اتصال با میلگردهای جانبی محصور شود و چون میلگردها در معرض وارونگی تنش قرار گیرند، ضابطهٔ طول مهار در درون اتصال دارای اهمیت بحرانی است. در واقع تنش های پیوستگی قابل توجهی به صورت رفت و برگشتی در گره، هم در فولاد تیر و هم در فولاد ستون وجود دارند.اینها باعث بوجود آمدن تنشهای دو نیم شدن (splitting stresses) در بتن اطراف فولادها می شوند.در صورتی که قسمت هستهٔ مرکزی گره تیر – ستون با خاموتها یا با تیرهایی در تمام جهات گره محصور نشده باشند، گره در اثر ترکیب آثار ناشی از بار ستون، نیروهای فشاری مورب و نیروهای دو نیم شدن که ناشی از مهار کردن فولادهاست، تخریب می شود. چنین شکستی از نوع شکست شکل پذیر نیست و امکان دارد در باری کمتر از ظرفیت لولایی تیرها یا ستونها بوقوع پیوندد. در حالت کلی رفتار اتصالات به شکل هندسی اتصال، مقدار محبوسیت هستهٔ بتنی اتصال، مقاومت برشی و جزئیات آرماتور گذاری اتصال بستگی دارد. به منظور بررسی عوامل مؤثر بر رفتار اتصالات می توان آنها را به سه دستهٔ اتصالات داخلی، خارجی و زانویی تقسیم بندی کرد.

5 – 1 – اتصالات خارجی:

عوامل مؤثر بر رفتار اتصالات خارجی عبارتند از :

1) وجود تنگ های بسته و فاصلهٔ آنها از یکدیگر2) نوع فولاد استفاده شده در تنگها: با توجه به اینکه طراحی قابهای مقاوم در بارهای متناوب بر این اساس است که لولاهای پلاستیکی در تیرها تشکیل گردد و رفتار آرماتورهای عرضی اتصال و نیز رفتار ستون در مرحلهٔ الاستیک باقی بماند، بنابراین لازم می شود که فولاد مصرفی در اتصال شکل پذیری کمی داشته باشد و فولاد نسبتاً ترد باشد. 3) نسبت ظرفیت خمشی ستونها به ظرفیت خمشی تیرها 4) هندسه و شکل اتصال: وجود ریشهٔ تیر در اتصالات خارجی مقدار محبوسیت اتصال را بالا برده و ترکهای پشت اتصال را تقلیل می دهد. ریشهٔ تیر در طول گیرایی آرماتورهای تیر نیز مؤثر است. 5) بار محوری ستون: بار محوری ستون در حد معمول در بهبود رفتار اتصال کمک کرده وبه دلیل ایجاد حالت محبوس کننده در اتصال، اثر مثبتی دارد و در جهت بستن ترکهای قطری ایجاد شده عمل می نماید.6) مهار کردن آرماتورهای تیر در اتصال: به علت بارگذاری متناوب، اگر برای این آرماتورها مهار کافی در نظر گرفته نشود چسبندگی از بین رفته و آرماتورها در بتن می لغزند و انهدام مهاری حاصل می شود.

5– 2 – **اتصالات داخلی**:

عواملی که در رفتار اتصالات خارجی مؤثرند، کم و بیش در رفتار اتصالات داخلی نیز مؤثرند، دراتصالات داخلی به دلیل اینکه نیروهای برشی به مراتب بیشتراز اتصالات خارجیی است، مسئلهٔ عمده، مهار ودرگیرساختن آرماتورهای خمشی تیر و ارضاء مقاومت برشی اتصال است. برای این اتصالات نیز محبوس نمودن هستهٔ اتصال مسئلهٔ مهمی است. رفتار این اتصالات با افزایش تعدادآرماتورهای تیروکاهش قطر آرماتورها بهبود یافته و چسبندگی بین آرماتورها و بتن افزایش می یابد.در این اتصالات وجود آرماتورهای عرضی جهت محبوسیت و تحمل نیروهای برشی باعث چرخش ستون شده و چرخش تیرها را افزایش می دهد. وجود بار محوری ستون درآنها، ازیکطرف درجهت بهبود عرض ترکهای قطری عمل کرده و از طرف دیگر، در گوشه های بالا و پایین اتصال، اثر مخرب داشته و خرد شدن بتن گوشه ها و از بین بردن چسبندگی بین فولاد و بتن در این ناحیه را سبب می شود. وجود دالهای کف در اطراف اتصال سختی تیرها را به مقدار قابل توجهی افزایش داده و باعث کاهش شکل پذیری قاب می گردد و باید در محاسبهٔ ظرفیت خمشی تیرهای مجاور اتصال در نظر گرفته شود.

5 – 3 – **اتصالات زانویی**:

اتصالات گوشهٔ طبقات بالا در قابهای بتن مسلح از نوع اتصالات زانویی است. در این اتصالات محبوسیت اتصال به علت نبودن ستون بالای اتصال کم بوده و اثر مثبت بار محوری در جلوگیری ازگسترش ترکها وجود ندارد. در قابهای بتنی مقاوم در برابر زلزله اتصالات گوشه هم تحت نیروهای باز کنندهٔ اتصال و هم تحت نیروهایی که تمایل به بستن اتصال دارند، قرار می گیرند. بنابراین ساده ترین راه جهت بهبود رفتار اتصال و کم کردن ترکها استفاده از خاموتهای افقی و قائم در اتصال مطابق شکل (3- الف) است. همچنین برای جلوگیری از بازشدگی اتصال بر اثر بارهای بازکننده ضروری است که آرماتورهای مورب عمود بر قطر مطابق شکل (3 - ب) در گوشهٔ داخلی اتصال فراهم شود.

الف) ب)

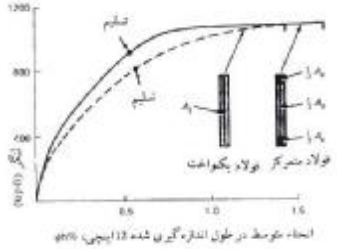
شکل (3): *الف - آرماتورهای عرضی افقی و قائم در اتصالات زانویی. ب - دتیل نمونه برای اتصالات زانویی تحت نیروهای باز کننده.*

به طور کلی در اتصالات تیر به ستون، ناحیهٔ اتصال در معرض تراکم زیاد میلگرد قرار دارد، که شامل میلگرد تیرها، میلگرد ستونها و میلگرد جانبی در محل اتصال می باشد. بسیاری از خرابیها در ساختمانهای تحت اثر بارگذاری زلزله ای، ریشه در فولادگذاری نامناسب، بخصوص دراتصالات تیر–ستون دارد. توجه بسیارزیادی باید به انتقال مناسب تنش و پرهیزازتراکم فولاد و مشکلات فولاد گذاری هم در رابطه با بتن و هم میلگردها مبذول گردد.

6 - دیوارهای برشی

دیوارهای برشی به خاطر صلبیت و مقاومت مناسب در بسیاری از سازه های مقاوم در برابر زلزله به کار می روند. مشاهدات عینی در زلزله های اخیر نشان میدهد که دیوارهای برشی علاوه بر ایمن سازی سازه باعث جلوگیری از بروز خسارت غیر سازه های سنگین و پرهزینه در خلال زلزله های با شدت متوسط می گردند. برای مقاوم بودن دیوارهای برشی در مقابل زلزله لازم است آنها دارای استحکام بالا، ظرفیت اتلاف انرژی خوب و حداقل تنزل سختی باشند.

در دیوارهای شکل پذیر، تغییر شکل های غیر خطی معمولاً به صورت تشکیل مفصل های پلاستیک در پای دیوار همانطور که در شکل (2 –ب) نشان داده شده است، و یا در نقاط تغییر ناگهانی مقاومت و سختی در سیستم باربر جانبی، رخ میدهد. دیوارهای برشی باید به صورت تیرهای دارای بار محوری، و قادر به تشکیل مفصل های پلاستیک معکوس شونده با ظرفیت چرخشی کافی، طراحی شوند. به دلیل ضخامت کم دیوار، نواحی در معرض کرنش های فشاری زیاد باید از نظر پایداری (کمانش) کنترل شوند. پایداری مناطق فشاری با افزایش ضخامت دیوار در این مناطق و یا با ایجاد نگهدارنده های جانبی نظیر بال یا دیوار متقاطع بهبود می یابد. فولادهای عمودی هم می توانند در تمام عمق دیوار به صورت یکنواخت و هم به نحوی که قسمتی از آنها در دو لبهٔ دیوار تمرکز دارند، پخش شوند. در حالت دوم اغلب تمرکز فولادها در اعضاء مرزی که مشابه یک ستون تنگدار با محصور کردن فولاد است صورت می گیرد. نمودارهای اندازه گیری شدهٔ لنگر – انحناء برای هر دو نوع دیوار در شکل (4) نشان داده شده است. دیوار با فولاد متمرکز در دو لبه در بار بیشتری تسلیم شده و دارای مقاومت نهایی یکسانی است لیکن نسبت به دیوار دیگر هر چند که دارای فولاد عمودی کمتر است، دارای شکل پذیری بیشتری می باشد. بعلاوه نمودار لنگر – انحناء چنین دیواری خیلی نزدیک به یک نمودار ارتجاعی –خمیری است و بنابراین چنین دیواری قادر به جذب انرژی بیشتری نسبت به دیوار دارای پخش یکنواخت فولاد است. بنابراین در طراحی چنین دیواری، میلگردهای قائم و افقی در تمام پهنای دیوار پخش می شوند، و در دو انتهای دیوار میلگردهای قائم دارای تراکم بیشتری می گردند. میلگردهای پخش شده مقاومت برشی را تأمین کرده و ترک خوردگی را کنترل می نمایند، از تخریب موضعی در هنگام زلزله های شدید جلوگیری کرده، و در برابر تنش های حرارتی و جمع شدگی مقاومت می کنند. میلگردهای متراکم و پخش شدهٔ قائم مقاومت خمشی و محوری را بوجود می آورند.



شکل (4): *نمودارهای لنگر - انحناء اندازه گیری شده در دیوارهای برشی*

میلگردهای متراکم قائم در نزدیکی انتها بایستی توسط تنگهای جانبی، همانند میلگردهای یک ستون به هم بسته شوند. نسبتهای شکل پذیری خیلی زیادی برای تیرهای رابط که دو دیوار برشی را همدیگر وصل می کنند الزامی است.

ازآزمایشات چنین تیرهایی توصیه می شود که کل نیروی برشی در تیر رابط در دیواری که در معرض بار معکوس (رفت و برگشتی) قرار گرفته است باید توسط فولاد برشی گرفته شود. شکل پذیری خوبی از نتایج آزمایشات تیرهای رابطی که در آنها از فولادهای اصلی مورب استفاده شده بدست آمده است.

7 – نتیجه گیری

با توجه به مطالب بررسی شده می توان گفت قواعد مهم طراحی برای سازه های بتن مسلح ضد زلزله عبارتند از:

1) باید شکل پذیری و ظرفیت بالای اتلاف انرژی (با تنزل پایین سختی) تأمین شود. 2) تیرها باید قبل از ستونها به حالت تسلیم برسند.3) گسیختگی خمشی بر شکست برشی تقدم داشته باشد. 4)اتصالات باید قویتر از اعضاء منتهی به آنها باشند.

به منظور اطمینان از شکل پذیری، مهندس طراح همچنین باید قطع میلگردها، وصله ها و مهمتر اینکه جزئیات گره را نیز مد نظر داشته باشد. خوشبختانه می توان با در نظر گرفتن تعداد اندکی جزئیات طراحی نسبتاً ساده و کم خرج، با اطمینان به مقدار قابل توجهی شکل پذیری نائل شد.

- باید مقدار فولاد کششی تیرها محدود گردد و در نواحی که شکل پذیری ضروری است، استفاده از فولاد فشاری و تنگهای لازم، مناسب است.
- به منظور افزایش شکل پذیری اعضا باید ازخاموتهای تنگ بسته یا مارپیچ برای محصور کردن بتن در مناطق لنگر حداکثر و خصوصاً در قسمت های انتهایی ستون و در بین گره های تیر به ستون استفاده شود.
- از آنجا که تیرها شکل پذیر تر از ستونها هستند، باید در محل اتصال تیر به ستون مجموع ظرفیت های لنگر ستونها بیش از مجموع مقاومتهای لنگر تیرها در طول هر صفحهٔ اصلی باشد.
- به منظور افزایش مقاومت برشی در مقایسه با خمش باید فولاد برشی به اندازهٔ کافی تعبیه شود و به منظور جلوگیری از شکست های پیوستگی، وصله ها و مهاری میلگردی کافی باشند و حتی الامکان از ایجاد وصله در نقاط حداکثر تنش جلوگیری کرد. در محل وصله استفاده از خاموتها و تنگهای بسته بسیار مناسب است.
- باید گره ها به گونه ای آنالیز و طراحی شوند که در صورت ایجاد لولای تسلیم در تیرها یا ستونها توان تحمل نیروهای دریافتی را داشته باشند. یعنی در طراحی آنها باید مهار فولاد تیر در گره، تنش های برشی و کشش های قطری و نیز قلابهای اطراف گره مد نظر قرار گیرد. باید به منظور ممانعت از صفحات ضعیف ناشی از وصلهٔ بیش از حد، توجه خاص به جزئیات مربوط به میلگردها ، خم یا قطع میلگردها منظور گردد.
- فولاد گذاری مناسب و با جزئیات خاص در دیوار های برشی باعث رفتار شکل پذیر این دیوارها می شود.

8 – منابع

1 –مک گریگور. ج. گ. " شکل پذیری سازه های بتن آرمه ویژهٔ مناطق زلزه خیز" ترجمه: دکتر علی اکبرمقصودی

2 – عادلی، حجت ا... " مهندسی زلزله" جلد اول

3 – معرفت ، محمد صادق " طراحی سازه ها بتن آرمه" (ترجمه)

4 –کف، پولیا "ساختمانهای مقاوم در برابر زلزله" تألیف:– ترجمه: مهندس احد نبیی

5 –شریفی، علی - میر قادری، رسول "طراحی سازه های ضد زلزله"(ترجمه)

6 – تسنیمی، عباسعلی "رفتار و طرح لرزه ای ساختمانهای بتن مسلح" جلد اول

7 – مرادی شقاقی، طالب، مقاله: "اتصالات سازه های بتنی مقاوم در برابر زلزله"