

مقاوم سازی اتصال صلب متداول تیر به ستون مرکب از دو نیمرخ I به وسیله سخت کننده های قائم

اردشیر دیلمی^{۱*}؛ موسی نازککارماهر^۲

چکیده

در بسیاری از قاب های خمشی موجود از ستون های مرکب از دو نیمرخ I استفاده شده و اتصال تیر به آن ها به کمک صفحات روسری و زیرسری انجام شده است. این اتصال به علت تغییر شکل زیاد ورق پوششی ستون، رفتار نیمه صلب، نیمه مقاوم و ترد خواهد داشت. برای تقویت اتصال، استفاده از سخت کننده های قائم پیشنهاد شده است. برای مقایسه رفتار اتصال قبل و بعد از تقویت، مدل پاره سازه یک طرفه با اتصال یاد شده به صورت تقویت شده و تقویت نشده با استفاده از روش اجزاء محدود تحت بار سیکی با برنامه غیرخطی ANSYS تحلیل شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهند که استفاده از سخت کننده های قائم با اصلاح سازوکار انتقال نیرو و کاهش تغییر شکل ورق پوششی ستون دو برابر، سبب می شود که رفتار اتصال تا حد قابل ملاحظه ای بهبود یابد.

کلمات کلیدی

مقاوم سازی اتصال، اتصال باصفحه روسری و زیرسری، ستون مرکب از دو نیمرخ، سخت کننده قائم، رفتار هیسترسیس

Retrofitting of Moment Connection of I-Beam to Double-I built-up Column using Vertical Stiffeners

A. Deylami; M. Nazokkarmaher

ABSTRACT

Double-I-built-up columns are used in most of existing steel moment frames. The traditional moment connection of I-beam to these columns is made using flange plates. Due to flexibility of column cover plate, these connections behave as partially restrained, semi-rigid and brittle connections. Vertical stiffeners are proposed for upgrading the connection.

To compare the behavior of the connection before and after upgrading, non-linear finite element models of one-sided sub-assembly is being analyzed under cyclic loading. Hysteretic moment-rotation curves and stress and strain contours of traditional and retrofitted models were compared. The results show that, vertical stiffeners modify the force transferring mechanism and reduce the deformation of column cover plate, which improve connection behavior considerably.

KEYWORDS

Connection retrofit, Welded-Flange-Plate, Double I-section, Vertical Stiffeners, Hysteretic behavior

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۶/۱۲/۲۵

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۸/۱۲/۹

*^۱ نویسنده مسئول و استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر: deylamia@aut.ac.ir

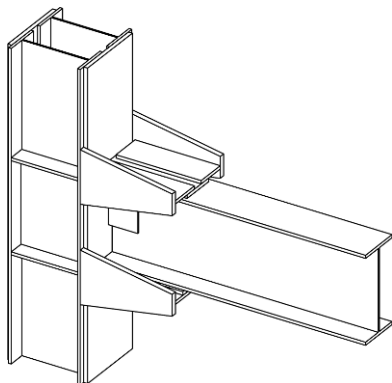
^۲ کارشناسی ارشد، رشته سازه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست :: moosamaher@aut.ac.ir

ستون ها استفاده می شود. بیشتر مقاطع مرکب از دو نیمرخ IPE وصل شده به یکدیگر به وسیله دو ورق پوششی سرتاسری تشکیل شده اند. اتصال خمشی تیر I شکل به ستون مرکب از دو

در ایران به دلیل کمبود مقاطع بال پهن، از مقاطع مرکب برای

۱- مقدمه

سخت‌کننده ذوزنقه‌ای شکل در دو طرف صفحات روسری و زیرسری به اتصال موجود اضافه می‌شود. به علاوه برای انتقال نیروهای کششی و فشاری از تیر به سخت‌کننده‌ها از ورق‌های پوششی بال استفاده می‌شود. سخت‌کننده‌های قائم نیروهای وارده را به بال‌های ستون و از آنجا به ورق‌های پیوستگی انتقال می‌دهند. ورق‌های پیوستگی از خمش بال ستون و کمانش‌های موضعی جان ستون جلوگیری می‌کنند. ورق‌های پوششی بال تیر فاصله بین صفحه روسری و زیرسری موجود و سخت‌کننده‌های قائم را پر کرده و نیرو را از تیر به سخت‌کننده منتقل می‌کنند. نمونه‌ای از اتصال تقویت‌شده با سخت‌کننده‌های قائم در شکل (۲) نشان داده شده است.

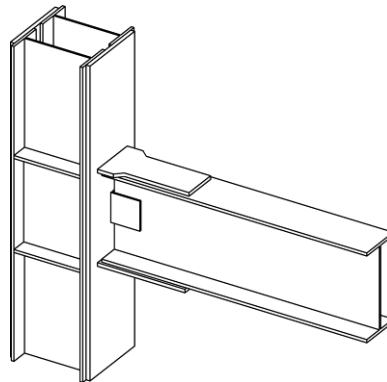


شکل (۲): اتصال تقویت‌شده با سخت‌کننده‌های قائم [۱]

این روش سبب اصلاح ساز و کار انتقال نیرو از تیر به ستون می‌گردد، به این ترتیب که بخش عمده‌ای از نیروها از طریق سخت‌کننده‌های قائم به ستون انتقال می‌یابند. با کاهش نیروهای وارده به ورق پوششی ستون، از تغییرشکل‌های آن به مقدار زیادی کاسته شده و سختی اتصال به مقدار قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. از طرف دیگر مشکل تمرکز تنش در گوشه‌های اتصال صفحات روسری و زیرسری به ستون برطرف شده و مکانیزم شکست به مکانیزم تسلیم و کمانش تغییر می‌یابد. به این معنی که قبل از شکست اتصال، تیر به حالت تسلیم درآمده و در آخر کار اتصال بر اثر کمانش‌های موضعی غیرالاستیک در بال فشاری تیر به حد کرنش‌های پایانی رسیده و گسیخته می‌شود.

اجرای این روش تقویت در سازه‌های موجود امکان‌پذیر است و می‌توان اجزای آن را روی اتصال موجود اضافه نمود. بدین ترتیب که ابتدا ورق پوششی بال پائین به صورت یک‌تکه و ورق پوششی بال بالا برای دوری از جوش بالاسری به صورت دوتکه با استفاده از جوش‌های گوشه روی اتصال موجود اضافه می‌شوند. سپس سخت‌کننده‌های قائم با استفاده از جوش‌های گوشه به ورق‌های پوششی بال و با استفاده از

نیمرخ I توسط صفحات روسری و زیرسری تیر اجرا می‌گردد. نمونه‌ای از این اتصال در شکل (۱) نشان داده شده است. این اتصال به صورت گسترده‌ای در قاب‌های خمشی موجود به عنوان یک اتصال صلب و شکل‌پذیر مورد استفاده قرار گرفته است.

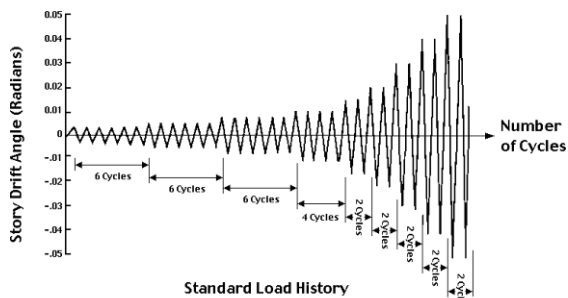


شکل (۱): اتصال صلب متداول با ستون مرکب از دو نیمرخ I

ستون مرکب از دو نیمرخ I به همراه ورق‌های پوششی در دو طرف تشکیل یک قوطی را می‌دهد. به همین دلیل اتصال صفحات روسری و زیرسری به ستون مرکب از دو نیمرخ I دارای همان مشکلات شایع اتصالات تیر به ستون قوطی‌شکل می‌باشد. هنگامیکه تیر تحت لنگ‌های ناشی از بارهای جانبی قرار می‌گیرد، این لنگر به صورت زوج نیروی کششی و فشاری از طریق صفحات روسری و زیرسری به ورق پوششی ستون دوبل انتقال می‌یابد. ورق پوششی ستون که تنها در دو لبه طولی خود به مقاطع دوبل جوش شده است، در مقابل نیروهای عمود بر صفحه بسیار شکل‌پذیر بوده و هنگامیکه تحت کشش قرار می‌گیرد در قسمت میانی کش آمده و دچار تغییرشکل زیاد می‌شود. تغییرشکل ورق پوششی ستون باعث می‌شود تا از سختی اتصال به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای کاسته شود و اتصال رفتار نیمه‌صلب نرم از خود نشان دهد. از طرف دیگر از آنجا که سختی ورق پوششی ستون در کناره‌ها بیشتر از قسمت میانی آن است، تمرکز تنش بالایی در گوشه‌های اتصال صفحات روسری و زیرسری به ورق پوششی ستون در ناحیه کششی بوجود می‌آید. این تمرکز تنش باعث پارگی و در پایان شکست زود هنگام اتصال می‌شود. در این حالت مکانیزم خرابی کنترل‌کننده، مکانیزم شکست ترد است. به همین دلیل لازم است روش مناسبی برای تقویت این نوع اتصال ارائه گردد.

۲- روش تقویت اتصال موجود

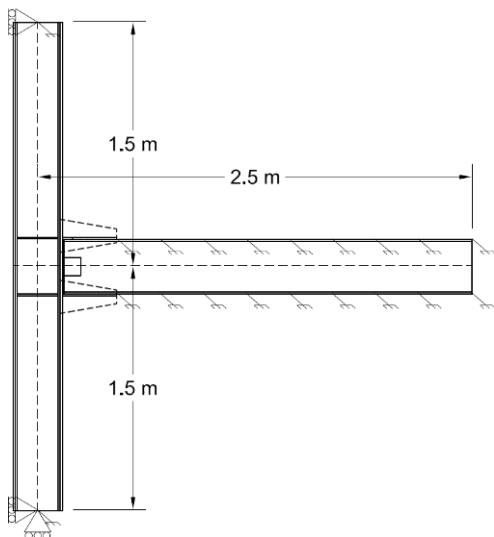
در این تحقیق برای تقویت و اصلاح رفتار اتصال صلب متداول تیر به ستون مرکب از دو نیمرخ I، استفاده از سخت‌کننده‌های قائم پیشنهاد شده است [۱]. در این روش چهار



شکل (۵): الگوی بارگذاری سیکی استاندارد در طرح SAC [۴]

هندسه مدل پاره‌سازه و شرایط مرزی نمونه‌های مورد بررسی در شکل (۶) نشان داده شده است. جزئیات اتصال برای نمونه متداول در شکل (۷) و برای نمونه تقویت‌شده در شکل (۸) نشان داده شده است.

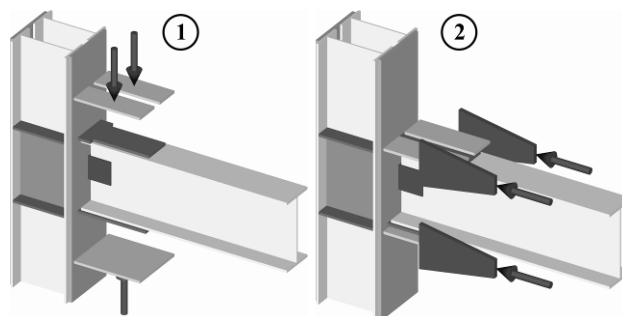
در مدلسازی نمونه‌ها به منظور کاهش زمان تحلیل قسمت‌های دور از اتصال در تیر که در حالت الاستیک باقی می‌مانند با مصالح "خطی الاستیک" و بقیه نواحی با مصالح "غیرخطی غیرالاستیک با سخت‌شوندگی جنبشی" مدلسازی شده‌اند. در این تحقیق از فولاد ST-۳۷ استفاده شده است. برای ساده‌سازی، برای مدلسازی رفتار الاستیک فولاد از منحنی خطی و برای مدلسازی رفتار غیرالاستیک فولاد از منحنی سه‌خطی استفاده شده است. برای فولاد مدول الاستیسیته برابر $E=2/1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ، تنش تسلیم برابر $\sigma_y=2400 \text{ kg/cm}^2$ و کرنش نهایی برابر $\sigma_u=3700 \text{ kg/cm}^2$ و $\epsilon_u=0/2$ فرض شده است.



شکل (۶): هندسه مدل پاره‌سازه و شرایط مرزی نمونه‌ها

برای مدلسازی نمونه‌ها از روش حجمی استفاده شده است. برای تبدیل مدل حجمی به مدل اجزاء محدود از شبکه‌بندی دستی استفاده شده است. به منظور کاهش زمان تحلیل نواحی نزدیک اتصال که تغییرات تنش در آنها زیادتر است به صورت

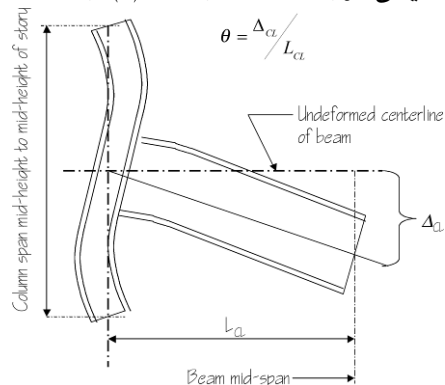
جوش شیاری با نفوذ کامل، یا جوش گوشه دوطرفه، به ستون متصل می‌شوند. مراحل اجراء اجزاء تقویت به صورت طرحواره در شکل (۳) نشان داده شده است.



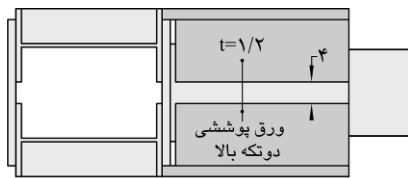
شکل (۳): روش اجرای اجزای تقویت با سخت‌کننده‌های قائم

۳- مدلسازی اجزاء محدود

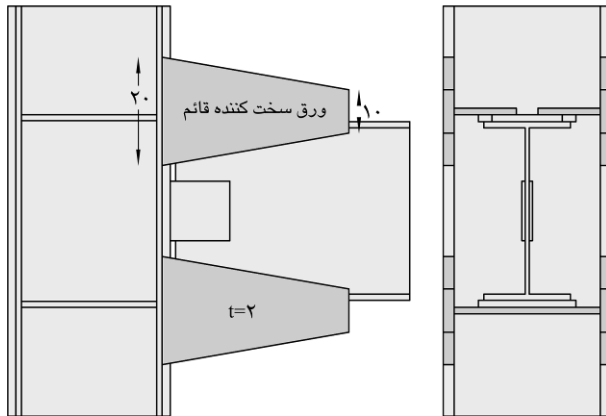
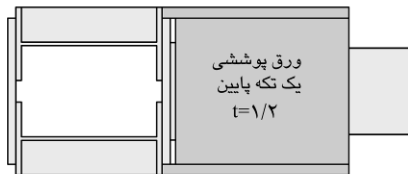
برای بررسی رفتار سیکی اتصال قبل و بعد از تقویت، از روش اجزای محدود به کمک نرم‌افزار ANSYS استفاده شده است. مدل پاره‌سازه، به صورت یک‌طرفه بوده و شرایط مرزی و الگوی بارگذاری سیکی طبق ضوابط آیین‌نامه‌های FEMA ۳۵۱ [۲] و AISC ۳۴۱ [۳] بکار گرفته شده است. فرض شده است که تحت نیروهای جانبی نقاط عطف، بدون لنگر خمشی، در وسط تیرها و ستون‌های قاب خمشی تشکیل می‌شوند. بنابراین طول تیر برابر نصف طول دهانه در قاب و ارتفاع ستون برابر نصف ارتفاع طبقات بالا و پایین در قاب در نظر گرفته شده است. در نتیجه در مدل پاره‌سازه مفروض انتهای تیر و ستون به صورت مفصلی مهار شده‌اند. تیر به منظور جلوگیری از کمانش جانبی-پیچشی، مهار شده است. الگوی بارگذاری سیکی بر اساس زاویه دریفت میان‌طبقه، θ ، است. چگونگی محاسبه زاویه دریفت میان‌طبقه در شکل (۴) و الگوی بارگذاری سیکی مورد استفاده در شکل (۵) ارائه شده است.



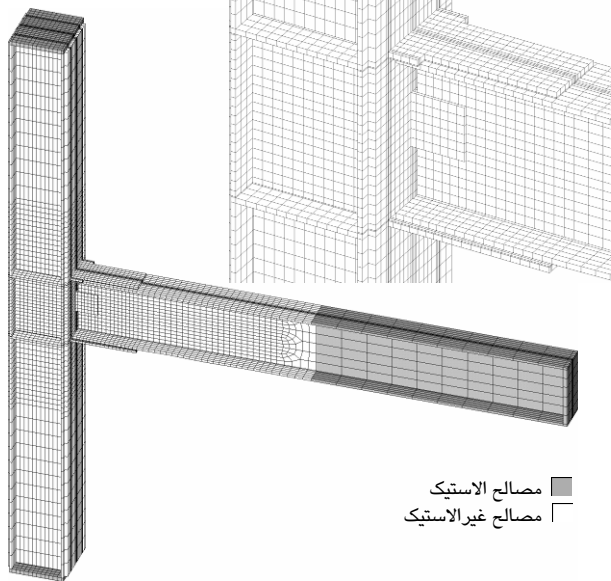
شکل (۴): زاویه دریفت میان‌طبقه در مدل پاره‌سازه یک‌طرفه [۲]



- تمامی ابعاد برحسب سانتی متر می باشد.

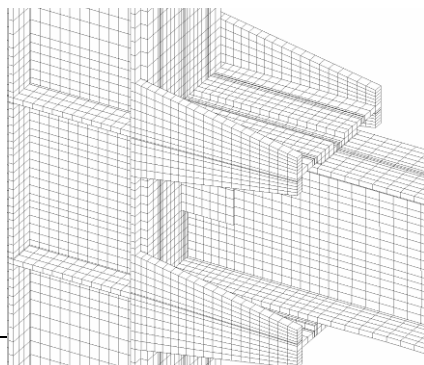


شکل (۸): جزئیات نمونه تقویت شده



■ مصالح الاستیک
□ مصالح غیرالاستیک

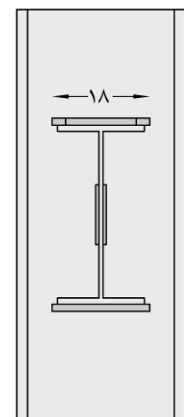
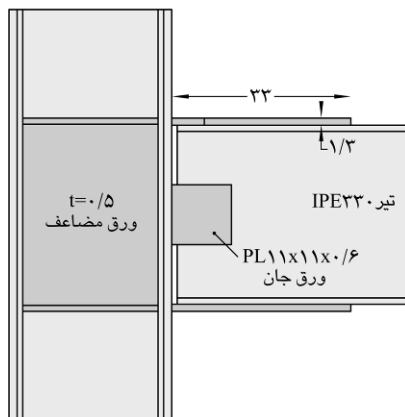
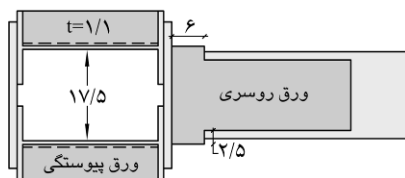
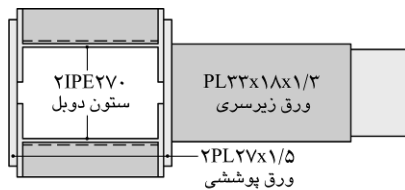
شکل (۹): مدل اجزاء محدود نمونه متداول موجود



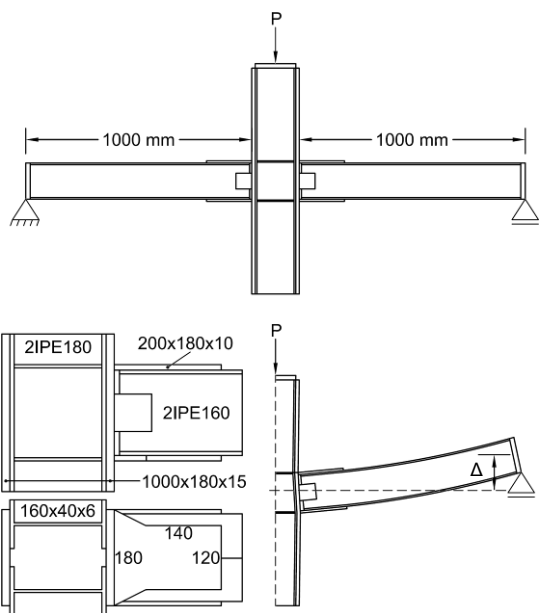
ریزتر و نواحی دورتر که بیشتر در حالت الاستیک باقی میمانند به صورت درشت تر شبکه بندی شده اند. برای مدلسازی از المان SOLID۴۵ استفاده شده است. این المان قابلیت مدلسازی رفتار پلاستیک و تغییر شکل های بزرگ را دارد. مدل اجزاء محدود نمونه متداول و تقویت شده در شکل (۹) و (۱۰) نشان داده شده است. برای جلوگیری از تمرکز تنش در انتهای تیر و ستون، از صفحات الاستیک استفاده شده تا نیرو به صورت یکنواخت روی اعضای اصلی توزیع شود.

سطوح تماسی بین ورق پوششی ستون و بال های مقاطع I- شکل، تحت کشش تغییر شکل نسبی زیادی دارند و تحت فشار نیروی قابل ملاحظه ای به یکدیگر وارد می نمایند. لازم است این رفتار در مدلسازی، در نظر گرفته شود. برای این منظور، از المان های TARGE۱۷۰ و CONTA۱۷۳ استفاده شده است. این المان ها به صورت صفحه ای هستند و روی سطوح المان های حجمی می نشینند. این المان ها به صورت جفت بکار می روند به طوریکه برای مدلسازی تماس بین دو سطح باید المان TARGE۱۷۰ روی یکی از سطوح و المان CONTA۱۷۳ روی سطح دیگر قرار گیرد. این المان ها قابلیت نشستن روی المان SOLID۴۵ و توانایی پذیرفتن تغییر شکل های بزرگ را دارند.

- تمامی ابعاد برحسب سانتی متر می باشد.

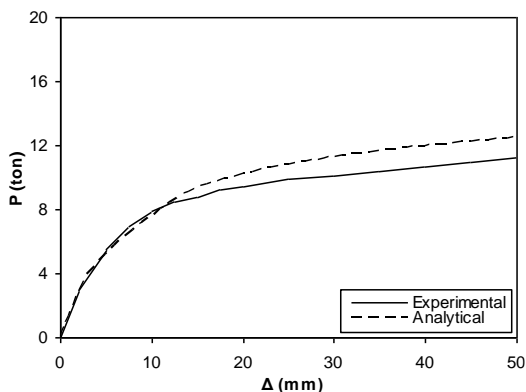


شکل (۷): جزئیات نمونه متداول موجود



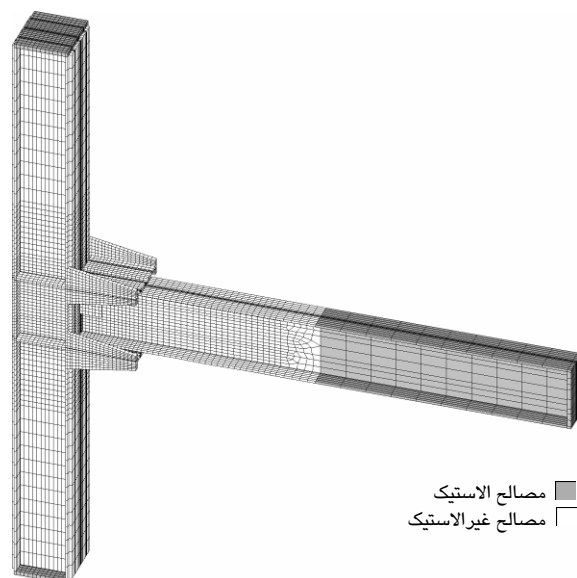
شکل (۱۱): هندسه و جزئیات مدل آزمایشی S.N.2

برای مقایسه، یک مدل اجزاء محدود بطور دقیق مطابق با هندسه و جزئیات مدل آزمایشی S.N.2، توسط روش مدلسازی اجزاء محدود قسمت قبل، ساخته شد و تحلیل استاتیکی غیرخطی تحت بارگذاری یکنواخت افزایشی روی آن انجام گرفت. منحنی بار-تغییر مکان بدست آمده از تحلیل با منحنی بدست آمده از آزمایش در شکل (۱۲) مقایسه شده است.



شکل (۱۲): مقایسه منحنی بار-تغییر مکان حاصل از تحلیل و آزمایش برای مدل S.N.2

به طوریکه دیده می‌شود برابری مناسبی بین نتایج وجود دارد. این برابری در ناحیه الاستیک به طور کامل برقرار است و در ناحیه غیرالاستیک در حد قابل قبول می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان اطمینان داشت که نتایج حاصل از تحلیل با نتایج آزمایش اختلاف قابل ملاحظه‌ای نخواهند داشت و این نتایج را می‌توان روی مدل‌های دیگر گسترش داد.



شکل (۱۰): مدل اجزاء محدود نمونه تقویت شده

بر اساس FEMA ۳۵۰ [۵] و FEMA ۳۵۱ [۲] افزایش دررفت تا جایی ادامه می‌یابد که اتصال گسیخته شود. وضعیت به عنوان گسیختگی در نظر گرفته می‌شود که یا مقدار مقاومت به ۲۰٪ مقدار مقاومت حداکثر کاهش یابد، یا تجهیزات به اندازه‌ای افت یابند که توانایی باقی ماندن پایدار تحت بارهای ثقلی نامعلوم باشد. در این تحقیق فرض می‌شود که با رسیدن کرنش حداکثر به حد کرنش گسیختگی (۰/۲) اتصال گسیخته می‌شود. به معنی دیگر افزایش زاویه دررفت میان طبقه تا بدان جا پیش می‌رود که کرنش حداکثر به ۰/۲ برسد.

۴- معتبرسازی نتایج تحلیل

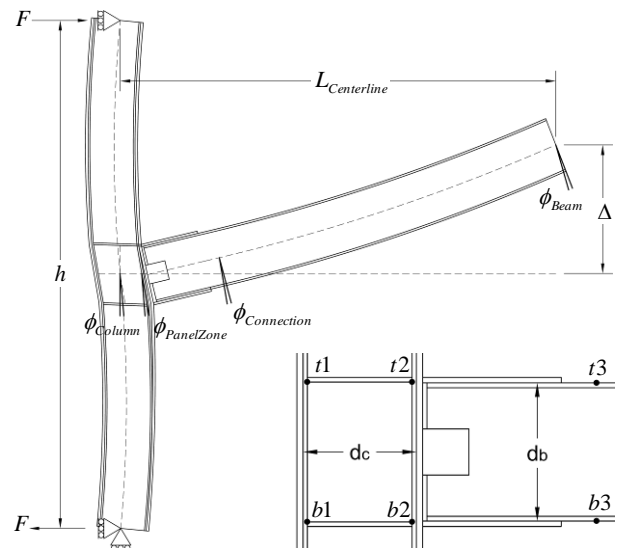
برای کنترل اعتبار روش مدلسازی و تحلیل اجزاء محدود، نتایج بدست آمده از تحلیل با نتایج آزمایش‌های صورت گرفته توسط دکتر مزروعی و همکاران در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن [۶] مقایسه شده است.

در بین مدل‌های آزمایش شده مدل S.N.2 به طور کامل با جزئیات اتصال متداول که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته، برابری دارد. هندسه و جزئیات مدل آزمایشی S.N.2 در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

۵- مقایسه نتایج تحلیل

۵-۱- منحنی‌های هیستریسیس لنگر-چرخش

منحنی‌های لنگر-چرخش برای زاویه دررفت میان‌طبقه، چرخش‌های لنگر-چرخش چشمه اتصال، $\phi_{PanelZone}$ ، چرخش اجزاء اتصال، $\phi_{Connection}$ و چرخش گره اتصال، ϕ_{Joint} ، استخراج شده است. چگونگی محاسبه لنگر و چرخش‌های یاد شده در شکل (۱۳) و توسط روابط ۱-۸ ارائه شده است.



شکل (۱۳): چگونگی محاسبه لنگر و چرخش‌های مورد بررسی

$$M_{Centerline} = F \times h \quad (۱)$$

$$\theta_{InterstoryDrift} = \frac{\Delta}{L_{Centerline}} \quad (۲)$$

$$\phi_{PanelZone} = \frac{x_{b1} + x_{b2} - x_{t1} - x_{t2}}{2d_b} + \frac{y_{b1} + y_{b2} - y_{t1} - y_{t2}}{2d_c} \quad (۳)$$

$$\phi_{Connection} = \frac{(x_{b3} - x_{b2}) - (x_{t3} - x_{t2})}{d_b} \quad (۴)$$

$$\phi_{Joint} = \phi_{PanelZone} + \phi_{Connection} \quad (۵)$$

$$\theta_{InterstoryDrift} \approx \theta_{Plastic} + \theta_{Elastic} \quad (۶)$$

$$\theta_{Plastic} \approx \phi_{Joint} \quad (۷)$$

$$\theta_{Elastic} \approx \phi_{Beam} + \phi_{Column} \approx 0.01 \text{ rad} \quad (۸)$$

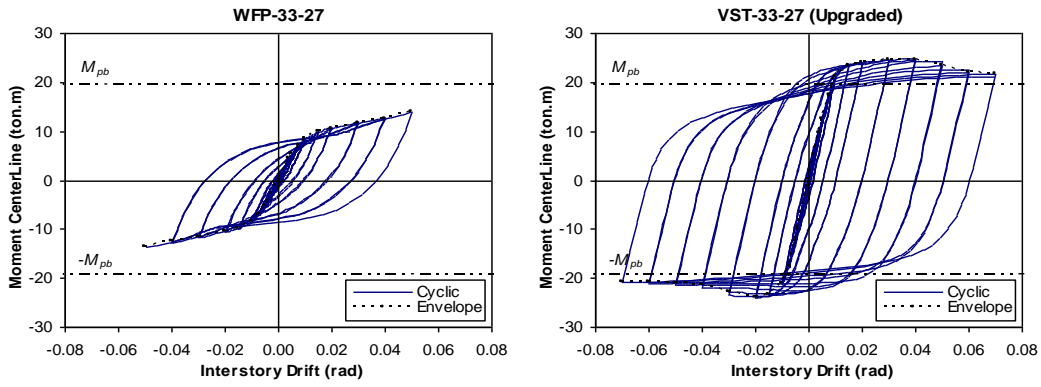
زاویه دررفت میان‌طبقه شامل چرخش‌های الاستیک و غیرالاستیک مدل پاره‌سازه می‌باشد. از آنجا که بیشتر چرخش‌های غیرالاستیک در گره اتصال، شامل چشمه‌اتصال، اجزاء اتصال و قسمت ابتدایی تیر که منطقه پلاستیک را شامل می‌شود، رخ می‌دهد، فرض می‌شود که چرخش غیرالاستیک مدل پاره‌سازه نزدیک و برابر چرخش غیرالاستیک گره اتصال است. در مقابل چرخش‌های الاستیک گره اتصال ناچیز بوده و بیشتر حاصل چرخش‌های تیر و ستون می‌باشد و برابر ۰/۰۱ رادیان فرض می‌شود.

چرخش چشمه اتصال برابر کرنش برشی چشمه اتصال است، که محاسبه آن در این تحقیق بر اساس فرمولی که توسط Mazzolani [۷] ارائه شده، انجام شده است.

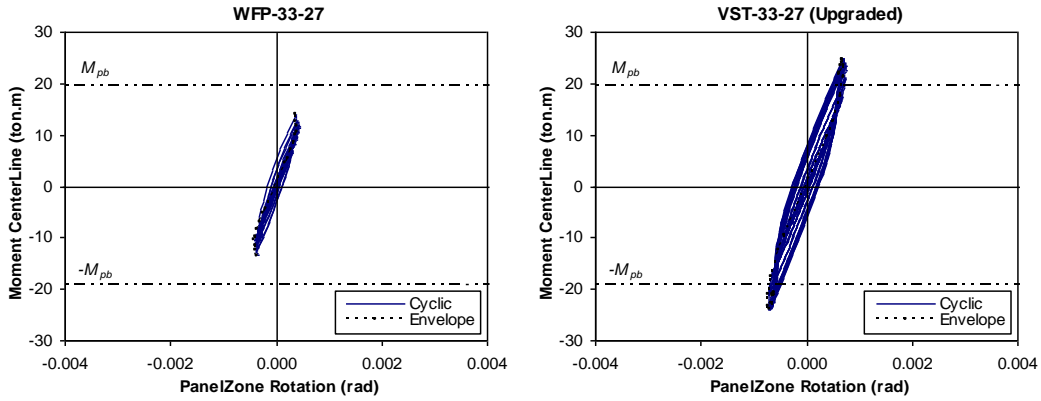
چرخش اجزای اتصال شامل چرخش تمامی قطعات مرتبط به اتصال از جمله جوش، ورق بال، ورق جان، ورق پوششی ستون است. البته قسمتی از ابتدای تیر، شامل منطقه پلاستیک، نیز شامل این چرخش می‌شود.

منحنی‌های هیستریسیس لنگر-چرخش برای مدل متداول و تقویت‌شده برای چهار چرخش یاد شده در شکل (۱۴) نشان داده شده است. دیده می‌شود که حلقه‌های هیستریسیس مدل تقویت‌شده در تمام موارد به طور مشخص از حلقه‌های هیستریسیس مدل متداول بزرگتر است. این بدان معنی است که جذب انرژی غیرالاستیک در مدل تقویت‌شده به مقدار قابل‌توجهی افزایش یافته است. البته مقدار چرخش چشمه اتصال برای هر دو مدل متداول و تقویت‌شده در مقایسه با چرخش گره اتصال ناچیز است. بر این اساس می‌توان گفت که بیشتر چرخش‌های غیرالاستیک برای مدل متداول در قطعات اتصال و برای مدل تقویت‌شده در ابتدای تیر شامل منطقه پلاستیک، اتفاق می‌افتد.

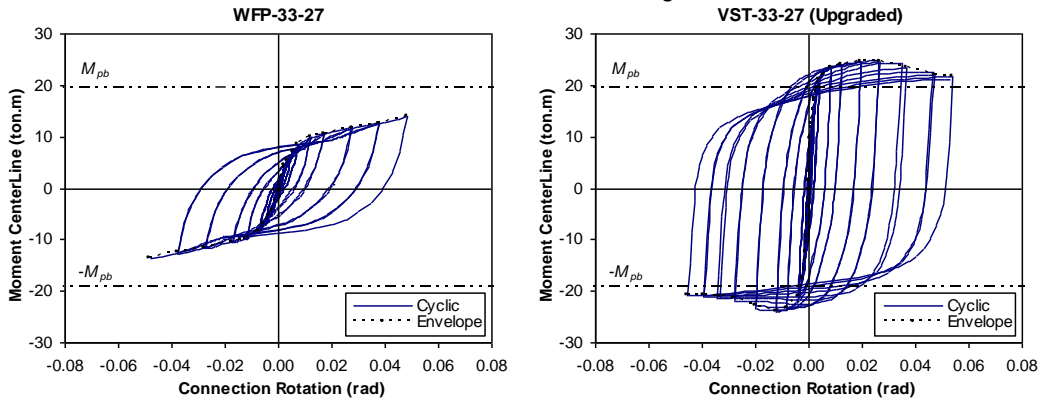
الف) منحنی لنگر-زاویه دررفت میان‌طبقه



(ب) منحنی لنگر- چرخش چشمه اتصال

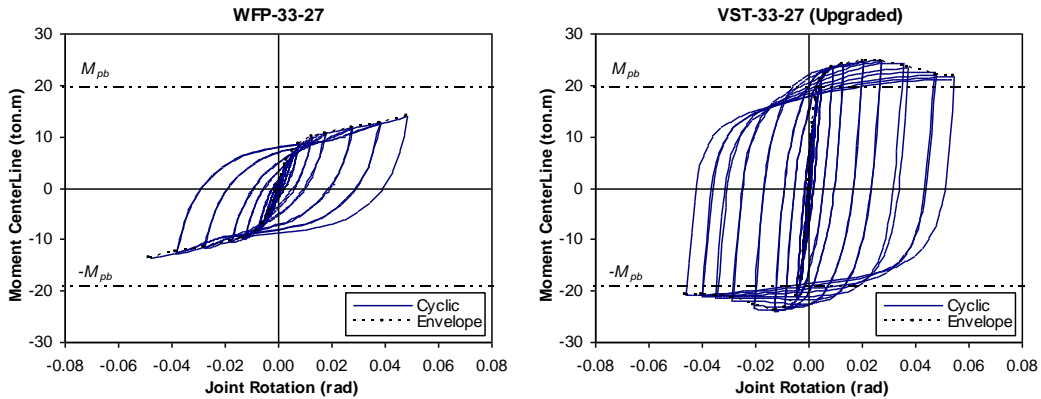


(ج) منحنی لنگر- چرخش اجزاء اتصال



شکل (۱۴): منحنی‌های هیستریسیس لنگر- چرخش برای مدل متداول و تقویت‌شده

(د) منحنی لنگر- چرخش گره اتصال



ادامه شکل (۱۴): منحنی‌های هیستریسیس لنگر- چرخش برای مدل متداول و تقویت‌شده

۵-۲- طبقه‌بندی اتصال طبق ضوابط AISC و FEMA

بیشتر باشد آنگاه اتصال خمشی ویژه است. طبق تعریف، دررفت افت مقاومت، برابر زاویه دررفت میان طبقه، هنگامیکه مقاومت اتصال به کمتر از مقاومت حداکثر کاهش یابد و دررفت نهایی، برابر زاویه دررفت میان طبقه در هنگام گسیختگی اتصال در نظر گرفته می‌شود.

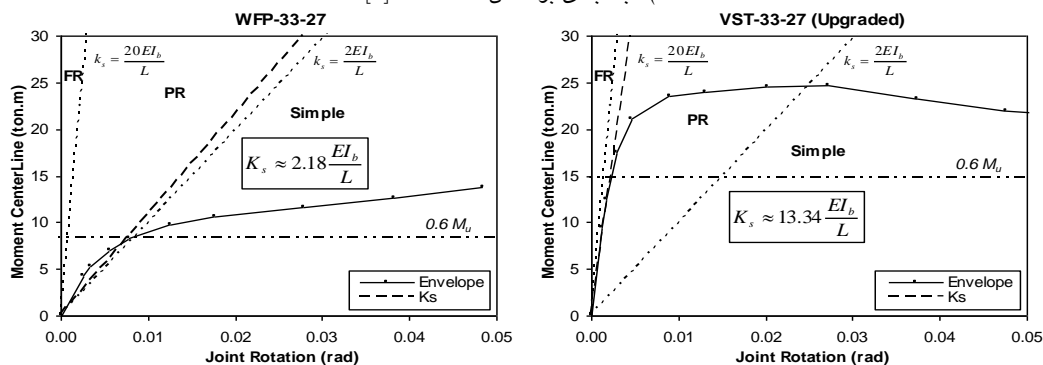
طبقه‌بندی مدل متداول و تقویت‌شده طبق آیین‌نامه‌های یاد شده بر اساس منحنی پوش هیستریسیس در شکل (۱۵) نشان داده شده است. در طبقه‌بندی بر اساس AISC ۳۶۰ [۸] دیده می‌شود که سختی اتصال به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافته است به طوری که رفتار اتصال از نیمه‌صلب نرم به نیمه‌صلب سخت تبدیل شده است. این بدان دلیل است که بیشتر نیروها از طریق سخت‌کننده‌های قائم انتقال می‌یابد و تغییرشکل ورق پوششی ستون تا میزان زیادی کاهش یافته است. در طبقه‌بندی بر اساس آیین‌نامه‌های FEMA ۳۵۱ [۲] و AISC ۳۴۱ [۳] دیده می‌شود که مدل متداول به هیچ‌وجه شرایط استفاده در یک قاب ویژه را ندارد در صورتیکه مدل تقویت‌شده به طور کامل این شرایط را فراهم نموده است. این بدان دلیل است که بر اثر تقویت با سخت‌کننده‌های قائم، مکانیزم شکست به مکانیزم تسلیم و کمانش تبدیل شده است. این مسأله باعث شده است که رفتار ترد و شکننده اتصال متداول به رفتار شکل‌پذیر و مقاوم تبدیل شود.

طبق آیین‌نامه AISC ۳۶۰ [۸] اتصالات بر اساس سختی به اتصالات صلب، نیمه‌صلب و ساده طبقه‌بندی می‌شوند. این طبقه‌بندی بر اساس منحنی لنگر-چرخش گره اتصال صورت می‌گیرد. سختی سکانت تحت بارهای سرویس، K_s ، به عنوان پارامتر اصلی طبقه‌بندی است به طوری که اگر $K_s \geq 20EI/L$ باشد اتصال صلب، اگر $K_s \leq 2EI/L$ باشد اتصال ساده و اگر بین دو میزان یاد شده باشد اتصال نیمه‌صلب خواهد بود.

آیین‌نامه‌های FEMA ۳۵۱ [۲] و AISC ۳۴۱ [۳] اتصالات را بر اساس میزان مقاومت و شکل‌پذیری طبقه‌بندی می‌نمایند. این طبقه‌بندی بر اساس زاویه دررفت میان طبقه مدل پاره‌سازه صورت می‌گیرد و اتصالات را برای استفاده در قاب‌های خمشی ویژه، متوسط و معمولی دسته‌بندی می‌کند.

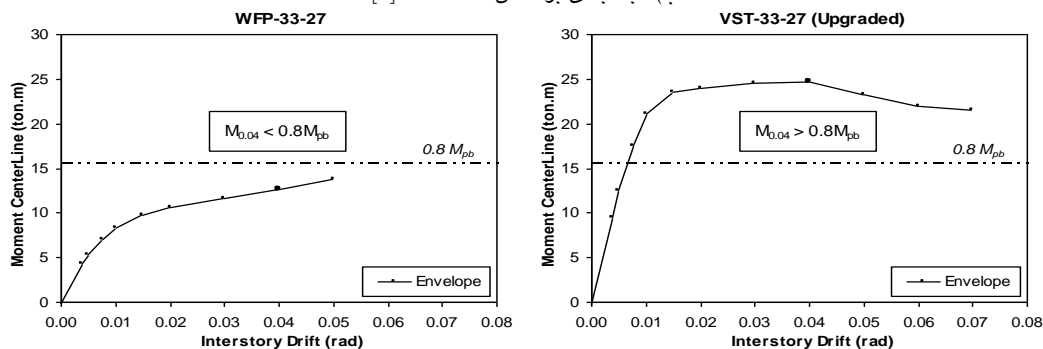
در آیین‌نامه AISC ۳۴۱ [۳] اگر مقاومت اتصال از ظرفیت خمشی تیر، M_{pb} ، بیشتر باشد اتصال بطور کامل مقاوم، در غیر این صورت اتصال نیمه مقاوم یا بدون مقاومت است. اگر مقاومت خمشی در زاویه دررفت 0.04 رادیان از 0.8 ظرفیت خمشی تیر، M_{pb} ، بیشتر باشد اتصال مناسب قاب خمشی ویژه است. بر اساس آیین‌نامه FEMA ۳۵۱ [۲] اگر دررفت افت مقاومت، θ_{SD} ، از 0.04 رادیان و دررفت نهایی، θ_U ، از 0.06

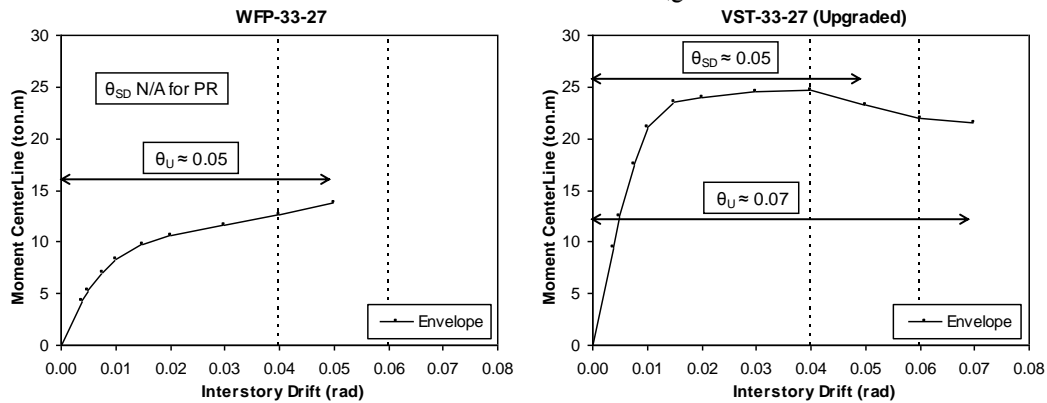
الف) طبقه بندی بر اساس AISC ۳۶۰ [۸]



شکل (۱۵): طبقه‌بندی اتصال بر اساس ضوابط AISC و FEMA برای مدل متداول و تقویت‌شده

ب) طبقه بندی بر اساس AISC ۳۴۱ [۳]





ادامه شکل (۱۵): طبقه بندی اتصال بر اساس ضوابط AISC و FEMA برای مدل متداول و تقویت شده

قاب‌های خمشی موجود این نوع اتصال به ستون‌های مرکب از دو نیم‌رخ I همانند اتصال به ستون‌های بال‌پهن با فرض قاب خمشی ویژه یا متوسط طراحی شده‌اند. در این حالت فرض شده است که این اتصالات می‌توانند شرایط یک اتصال صلب، مقاوم و شکل‌پذیر را برآورده نمایند.

گرچه این اتصال با ستون‌های بال‌پهن ممکن است بتواند شرایط لازم را برآورده نماید، اما هنگامیکه با ستون مرکب از دو نیم‌رخ I به کار می‌رود، به دلیل تغییر شکل ورق پوششی ستون، اتصال رفتار نیمه‌صلب نرم از خود نشان می‌دهد. از طرف دیگر به دلیل تمرکز تنش در گوشه‌های اتصال ورق روسری به ستون، گسیختگی اتصال به صورت ترد است. در این حالت مکانیزم شکست، مکانیزم کنترل‌کننده است. این اتصال به هیچ‌وجه شرایط یک اتصال ویژه یا متوسط را برآورده نمی‌نماید.

با تقویت اتصال یاد شده با سخت‌کننده‌های قائم ساز و کار انتقال نیرو اصلاح شده و بیشتر نیروها از طریق سخت‌کننده‌ها به ورق‌های پیوستگی انتقال می‌یابد. با کاهش تغییر شکل ورق پوششی ستون، سختی اتصال به مقدار قابل‌توجهی افزایش یافته و اتصال رفتار نیمه‌صلب سخت از خود نشان می‌دهد. با حذف مشکل تمرکز تنش حاصل از نیروهای کششی، مکانیزم شکست به مکانیزم تسلیم و کمانش تغییر می‌یابد. به طوریکه قبل از گسیختگی، تیر به حالت تسلیم درآمده و مقاومت اتصال به دلیل کمانش‌های موضعی غیرالاستیک در بال فشاری تیر کاهش می‌یابد تا جایی که به گسیختگی اتصال منجر می‌شود. در این حالت گسیختگی با افت مقاومت همراه است و رفتار اتصال به صورت شکل‌پذیر است. در نهایت اتصال تقویت شده به طور کامل می‌تواند شرایط یک اتصال ویژه را برآورده نماید.

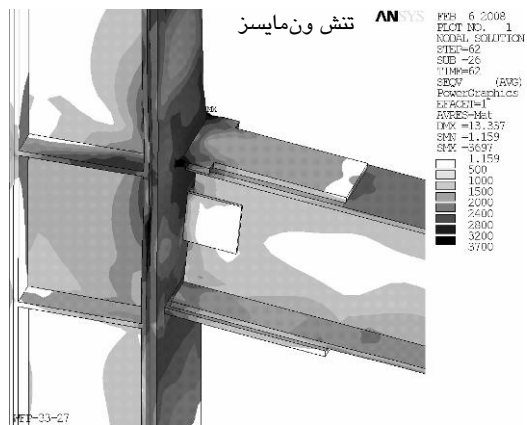
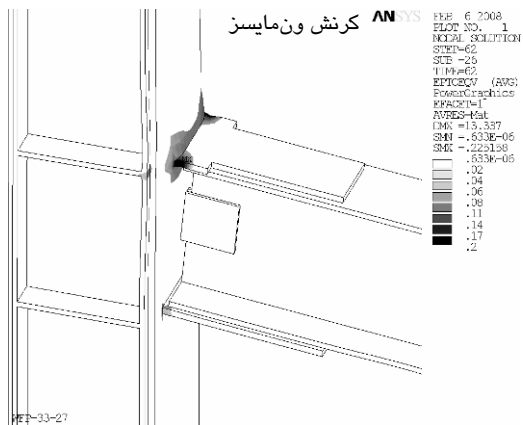
۳-۵- مکانیزم گسیختگی در لحظه شکست
شکست در لحظه‌ای در نظر گرفته شده است که کرنش‌های حداکثر از مقدار کرنش نهایی فولاد (برابر ۰/۲ فرض شده است) تجاوز نماید. بر اساس تعریف آیین‌نامه FEMA ۳۵۱ [۲] مقدار زاویه دررفت در لحظه شکست برابر زاویه دررفت نهایی در نظر گرفته شده است.

در شکل (۱۶) توزیع تنش و کرنش مدل متداول در زاویه دررفت نهایی ۰/۰۵ رادیان نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود در مدل متداول نیروهای کششی باعث ایجاد تمرکز تنش و افزایش کرنش‌ها در گوشه‌های اتصال ورق روسری به ستون شده‌اند. در نتیجه تجاوز کرنش‌های حداکثر از حد کرنش نهایی فولاد، پارگی مصالح و در پایان گسیختگی اتصال بوجود آمده است. در این حالت مکانیزم کنترل‌کننده مکانیزم شکست بوده و گسیختگی به صورت ترد و زود هنگام است و ظرفیت دررفت نهایی اتصال پایین است.

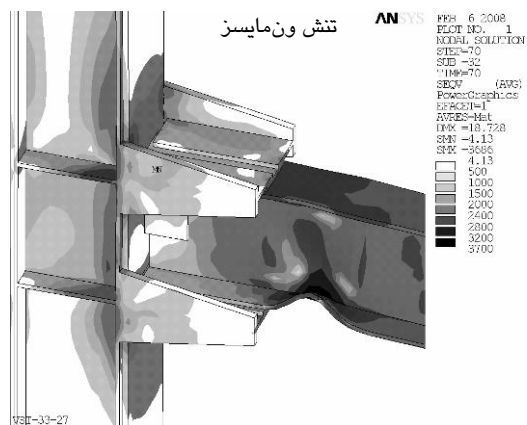
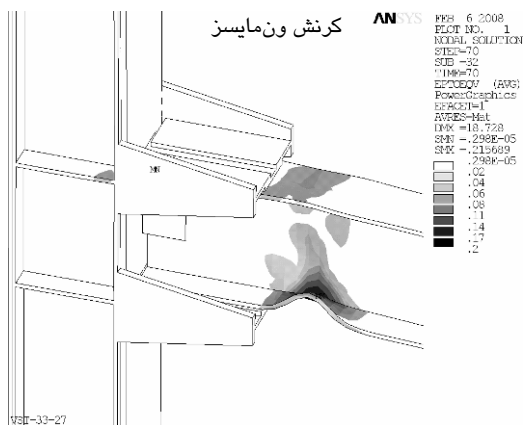
در شکل (۱۷) توزیع تنش و کرنش مدل تقویت شده در زاویه دررفت نهایی ۰/۰۷ رادیان نشان داده شده است. در مدل تقویت شده به دلیل اصلاح ساز و کار انتقال نیرو مشکل تمرکز تنش در گوشه‌های اتصال ورق روسری به ستون برطرف شده است. همانطور که دیده می‌شود قبل از شکست اتصال، تیر به حالت تسلیم درآمده و در نهایت اتصال بر اثر کمانش‌های موضعی غیرالاستیک در بال فشاری تیر به حد کرنش‌های نهایی رسیده و گسیخته می‌شود. در این حالت مکانیزم کنترل‌کننده به مکانیزم تسلیم و کمانش تغییر یافته است و گسیختگی با افت مقاومت همراه است. رفتار اتصال شکل‌پذیر است و ظرفیت دررفت نهایی اتصال بالا است.

۶- نتیجه

اتصال صلب تیر به ستون به صورت متداول توسط صفحات روسری و زیرسری انجام می‌شود. در بسیاری از



شکل (۱۶): چگونگی کسبختگی برای مدل متداول در زاویه دریفت نهایی ۰/۰۵ رادیان



شکل (۱۷): چگونگی کسبختگی برای مدل تقویت شده در زاویه دریفت نهایی ۰/۰۷ رادیان

۷- مراجع

- [۱] نازک کارماهر، موسی؛ بهسازی فابهای خمشی سازه‌های فولادی با ستونهای مرکب I-شکل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما دکتر اردشیر دیلمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۸۶.
- [۲] FEMA 351; Recommended Seismic Evaluation and Upgrade Criteria for Existing Welded Steel Moment-Frame Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 2000.
- [۳] AISC/ANSI 341-05; Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, IL, 2005.
- [۴] FEMA 355D; State of the Art Report on Connection Performance, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 2000.
- [۵] FEMA 350; Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 2000.
- [۶] مزروعی، ع؛ سیمونیان، و؛ نیکخواه عشقی، م؛ ارزیابی اتصالات صلب جوشی متداول در ایران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۷۸.
- [۷] Mazzolani, F.M.; "Moment Resistant Design of Steel Frames in Seismic Areas", E & FN SPON, London, 2000.
- [۸] AISC/ANSI 360-05, Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, IL, 2005.