

بررسی مکانیسم انتقال نیرو از اتصال جوشی خمشی فولاد

محمد قاسمیان بالف، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه سمنان*

سلمان قاسمیان بالف، کارشناس ارشد سازه، فارغ التحصیل دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی**

**پست الکترونیکی Moh_Ghasemian@yahoo.com ، تلفن: 09112125114

**پست الکترونیکی Ghasemian1382@yahoo.com ، تلفن: 09126072622

چکیده :

به کارگیری تئوری تیر کلاسیک برای طراحی اتصال خمشی پس از زلزله Northridge در سال ۱۹۹۴ سؤالات زیادی بوجود آورد. در این بررسی، مکانیسم انتقال نیرو در جوش اتصالات مختلف خمشی بطور جامع مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی در دسترس نشان می‌دهد که تئوری تیر به علت وجود شرایط مرزی، پیشگویی مناسب و صحیحی از مسیرهای تنش در اکثر اتصالات جوشی ندارد. صفحات قائم نزدیک اتصال از قبیل: جان تیر، سخت کننده جان، پشت بندها تا حد زیادی مانند تکیه گاه رفتار می‌کنند. مکانیسم انتقال نیرو در اتصالات مقطع کاهش یافته تیر (RBS) همانند اتصالات یاد شده در بالا حساس است. برخی مدل‌های ساده شده تحلیل می‌توانند به عنوان پروسه طراحی مورد استفاده قرار گیرند و مفید باشند.

واژه‌های کلیدی: اتصالات، قاب خمشی فولادی، طراحی لرزه‌ای، مسیرهای بار، عامل تکیه گاهی.

مقدمه

زمین لرزه Northridge در سال ۱۹۹۴ و kobe در سال ۱۹۹۵ موجب تخریب گسترده اتصالات قاب مقاوم خمشی شدند. این نوع سیستم قابی زمانی به عنوان یک سیستم مناسب و مقاوم لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شد. در پاسخ به تخریب‌های غیر منتظره، تحقیقات بسیاری به منظور دستیابی به راه‌های تعمیر قاب‌های خمشی آسیب دیده و مقاوم سازی آنها به خوبی یک سازه فولادی جدید، صورت گرفت. ایده‌های متنوع و جدیدی در ایالات متحده پیشنهاد گردید [۱۴]. اتصالات خمشی فولادی یک طراحی معمولی به وسیله استفاده از تئوری تیر کلاسیک داشته است که بر اساس فرضیه Bernoulli_Euler می‌باشد و با فرض می‌کند که مقطع عرضی تیر در خمش صفحه‌ای باقی بماند. اما، به کارگیری تئوری تیر کلاسیک در طراحی اتصالات خمشی فولاد بعد از زمین لرزه Northridge سؤالاتی بسیار بوجود آورد. برای مثال، از کارهای قبلی انجام شده توسط Lee و [۵]Uang، بر روی اتصال تقویتی ماهیچه‌ای سه گوش زیر تیر، دریافت شد که این اتصال زیر تیر، محل تیر خنثی تغییر نمی‌دهد. فرمول متداول و کاربردی برش در طراحی اتصالات، توسط پویوف مورد پرسش‌های مهم قرار گرفت [۱۲].

اولین هدف از این بررسی و تحقیق، ارزیابی مکانیسم انتقال نیرو از جوش اتصالات خمشی فولاد بر اساس روابط حاصل از کارهای تئوریک و آزمایشگاهی می‌باشد و همچنین نشان دادن این موضوع که راه‌های انتقال نیرو تقریباً در تمامی جوش اتصالات، تفاوت عمده به دلیل تاثیر شرایط مرزی با پیش بینی تئوری مرسوم تیر دارد.

۱- برش انتقال به روش تئوری کلاسیک تر

دو رابطه پایه برای خمش و برش در طراحی تئوری تیر کلاسیک در روابط ۱ و ۲ داده شده است [۳]. توزیع تنش برشی در مقطع H شکل در شکل ۱ نشان داده شده است که از رابطه ۲ بدست می‌آید. در طراحی‌های کاربردی، ماکسیمم تنش برشی به صورت تقریبی به صورت اعمال تمام نیروی برشی به جان تیر به صورت جدا شده محاسبه می‌گردد که در رابطه ۳ نشان داده شده است. در مورد مقاطع نوع متقارن H شکل، مقدار تنش متوسط برش بر اساس رابطه ۳ محاسبه میگردد، حدود ۱۰ درصد مقدار ماکسیمم مواقعی که در تار خنثی اتفاق می‌افتد. اساساً بیشترین کارایی در ایجاد و تامین مقاومت خمشی در مصالح موجود در محل بال میباشد، در مقطع H شکل هم همین طور است و نیروها جداگانه منتقل می‌شوند.

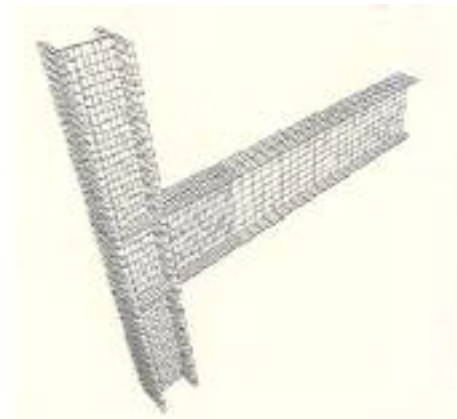
$$\tau_{max} \approx \tau_{avg} = \frac{V}{th_1}$$

(3)

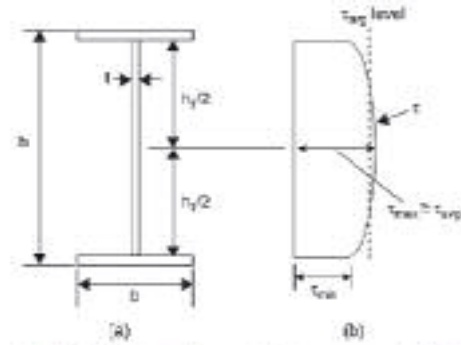
$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{VQ}{It} \quad (2)$$

بال‌ها در ابتدا خمش تیر را منتقل می‌کنند و در صورتی که جان تمام برش تیر را تحمل می‌کند و در تحمل بخش کمی از لنگر تیر کمک می‌کند. یک محاسبه بر اساس رابطه ۲ نشان می‌دهد که تنش برش جان ۹۸-۹۰ درصد کل نیروی برشی است. بال‌ها مشارکت کمی در تحمل کار نیروی برشی وارد به مقطع دارند و نیاز به توجه آنها در طراحی برشی نیست. بنابراین، این فرض کلی و با قطعیت مناسبی منتقل می‌گردد. این فرض تنها وقتی توجیه شده است که فرضیه Bernoulli_Euler ناحیه اتصال را چسبیده بداند. اما، ناحیه اتصال تیر به ستون یک منطقه مرزی است (یا ناحیه توزیع تنش) که چند ورق فولادی با آرایش هندسی پیچیده به هم می‌رسند. توزیع تنش در نزدیکی اتصالی به دلیل تاثیر اتمام اتصال (یا اثر St.venant) تغییرات مهمی دارد. دستیابی به تقسیم بندی نقش بین بال و جان بر اساس تئوری کلاسیک تیر، ممکن نیست، که در بخش بعد نشان داده خواهد شد.



شکل ۲. مدل عددی اتصال تیر - ستون با برنله اجزا، محدود.



شکل ۱ - توزیع تنش برشی در جان تیر یا مقطع H شکل

۳- ارزیابی مجدد مکانیسم انتقال نیرو

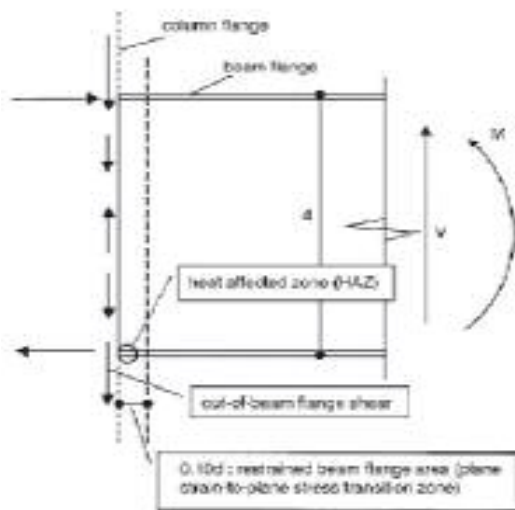
۱-۳ نوع اتصالات قبل از Northridge (PN)

در ابتدا مکانیسم انتقال نیرو در اتصالات نوع PN مورد بررسی قرار می گیرد ، بر اساس نتایج حاصل از آنالیز اجزا محدود توسط Lee و Uoon [۶].
شکل ۲ جزء کردن (مش بندی) نمونه UCSDI که اتصالات نوع PN است را بر اساس اجزا محدود نشان می دهد .

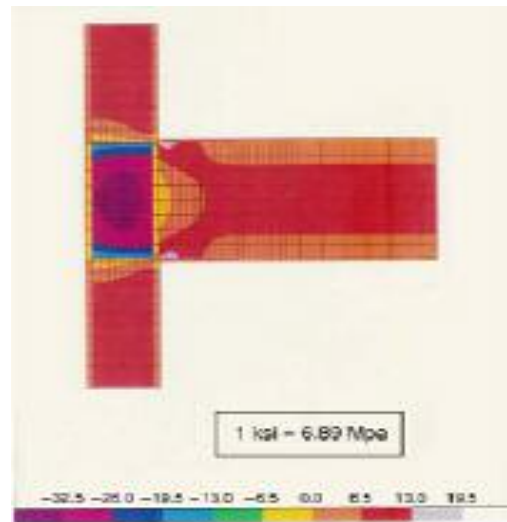
این جزء صلب (Solid Element) به صورت یک مدل سه بعدی به هدف بررسی خطی اجزا محدود توسط برنامه SAP2000 مورد آنالیز قرار گرفت . یک نیروی متمرکز به عنوان نیروی برشی شبیه سازی شده بر اثر نیروی جانبی زمین لرزه بر روی تیر به کار گرفته شد.

رابطه حاصل از آنالیز اجزا محدود و نتایج آزمایشگاهی رضایت بخش بود (این نتایج نشان داده نشده است)

شکل ۳ توزیع تنش حاصل از آنالیز اجزا محدود را نشان می دهد . تا زمانی که نیروی متمرکز در سر تیر به کار می رود ، مقدار تنش برشی در دهانه تیر با تئوری کلاسیک تیر نباید تفاوت داشته باشد ولی انتقال نیروی برشی در نزدیکی بال ستون موجب تغییرات مهم در توزیع تنش می شود .



شکل ۴ - انتقال نیرو در اتصالات نوع PN

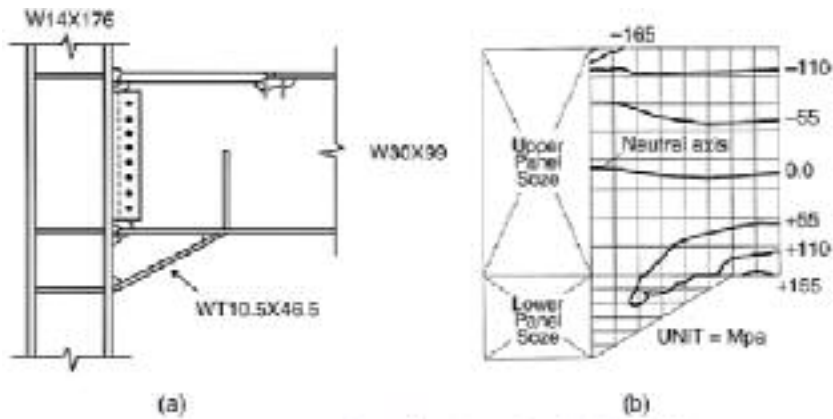


شکل ۳ - توزیع تنش برشی (واحد = Ksi)

نتایج حاصل از اجزا محدود همچنین حاکی است که فرضیه Bernoulli_Euler در نزدیکی بال ستون نقض می شود. اثر شرایط مرزی در فاصله ۴۰ درصدی عمق تیر نسبت به بال ستون پدیدار می شود. مقدار تنش برشی در وسط عمق تیر کمی کمتر از مقدار ماکسیمم است. حتی گرایش به برش منفی در بخش میانی جان تیر رخ وجود دارد. تمامی جان تیر در انتقال برش تیر به بال ستون فعالیت ندارد. بر اساس نتایج، تنش بیشتر بال تیر در اتصالات نوع PN اجتناب ناپذیر است. برش ناخواسته بال تیر وقتی با اثرات مخرب و زیان آور موجود در اطراف جوش اتصالات تیر - ستون ترکیب می شود، باعث افزایش تمایز شکست تیر می شود. با توجه به این تمایل که موجب شکست اتصالات بخصوص بعد از اتصال می گردد (در **شکل ۴** مشاهده می شود). Bruneau [۱۲] به طور جامع در مورد این تمایل که موجب شکست اتصالات بخصوص بعد از زمین لرزه Northridge در سال ۱۹۹۴ شد ، بحث کرده است .

۲-۳ اتصال ماهیچه ای مثلثی(سه گوش)

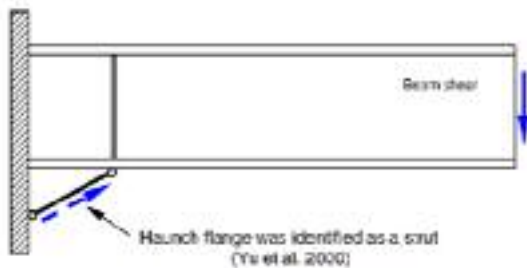
شکل ۵ نمونه ترمیم و تقویت شده آزمایش با اضافه کردن ماهیچه مثلثی در زیر تیر را نشان می دهد . [۱۳ و ۱۶] و مقدار تنش خمشی نمونه توسط آنالیز اجزا محدود محاسبه شد [۵] . همانطور که در شکل نشان داده شده است ، محل تار خنثی در مقابل ستون تغییر نمی کند که این به دلیل اضافه کردن ماهیچه می باشد . تار خنثی در وسط عمق تیر باقی می ماند . که تنش نا خواسته انتقالی توسط تئوری تیر تشریح نشده بود .



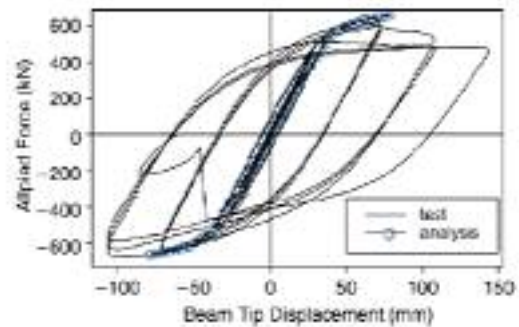
شکل ۵. اتصال تئویت شده ماهیچه ای و منحنی تنش خمشی

به هر حال، Yu و Uang در دانشگاه San Diego کالیفرنیا (UCSD) یک ایده جالب را که بتواند برای شرح این تناقض بکار رود پیشنهاد دادند. آنها یک مدل انتقال بار ساده سازی شده و روش طراحی ماهیچه زیر بال تیر را پیشنهاد دادند. در شکل ۶ بینید. یکی از دلایل استفاده از مدل استفاده شده این بود که آنها قادر باشند برش معکوس تیر مشاهده شده در حالت وجود ماهیچه در آزمایش را تشریح کنند. نیاز به گفتن نیست، این برش معکوس به وسیله تئوری تیر کلاسیک قابل تشریح نیست. مطالعات آنها همچنین نشان داد که بیشتر انتقال برش تیر به ستون توسط این ماهیچه صورت می گیرد. کاهش برش تیر در ناحیه ماهیچه فاکتور کمی مهمی در بهبود توانمندی نمونه های ماهیچه ای بود.

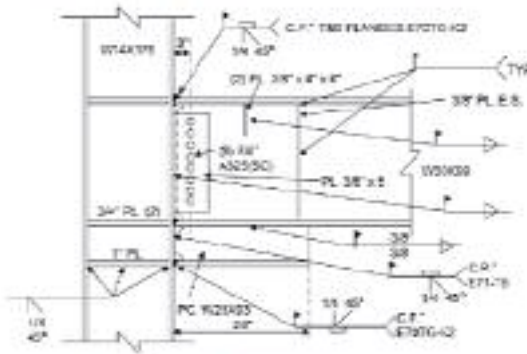
مطالعات آنها همچنین نشان داد که بیشتر انتقال برش تیر به ستون توسط این ماهیچه صورت می گیرد. کاهش برش تیر در ناحیه ماهیچه فاکتور کمی مهمی در بهبود توانمندی نمونه های ماهیچه ای بود.



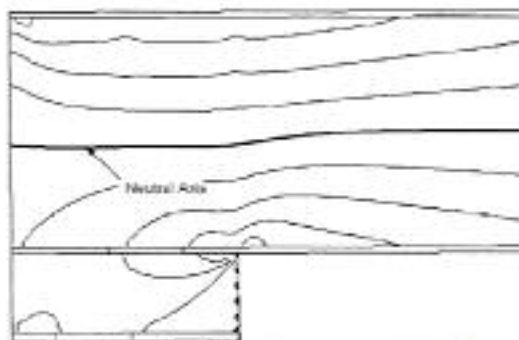
شکل ۶. مدل ساده سازی شده از اتصال مثلثی



شکل ۸. رابطه نتایج آزمایشگاهی و محاسباتی



شکل ۷. نمونه UCSD با ماهیچه مستطیلی

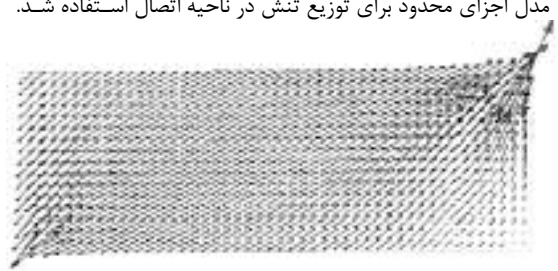
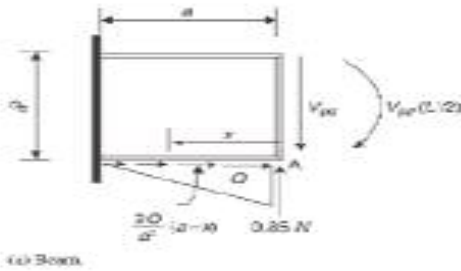


شکل ۹. منحنی تنش های خمشی و محل تار خشی

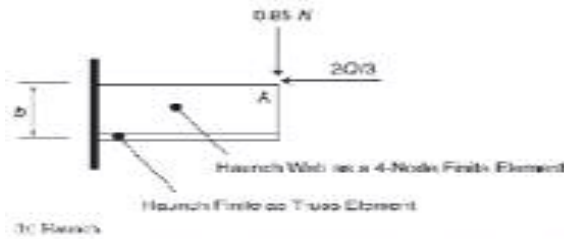
۳-۳- اتصال ماهیچه راست (چهار گوش)

در اتصال ماهیچه مثلثی، جوش شیباری با نفوذ کامل در دو طرف بال ماهیچه با زاویه مورد نیاز و به صورت جوش بالا سری انجام می گیرد. برای به حداقل رساندن هزینه اجرا، استفاده از ماهیچه راست (چهار گوش) با یک انتهای آزاد SAC Joint Venture پیشنهاد شد [۱۳]. اگر چه Yu [۱۸] مراحل طراحی اتصال ماهیچه مثلثی با رفتاری مشابه تکیه گاه را توسعه داده است، آن برای اتصال ماهیچه راست مناسب نبود چرا که مکانیسم انتقال نیرو متفاوت است. بر اساس نتایج حاصل از آنالیز اجزای محدود بر روی یک مدل ساده سازی شده تحلیلی، بررسی و رسیدگی کافی به اندرکنش نیرو و سازگاری تغییر شکل بین تیر و ماهیچه توسط Lee و Uang صورت گرفت [۷]. همچنین پیگیری تحقیقات و بررسی ها و آزمایشات مداوم به پیشنهاد مدل راهنما توسط Lee منجر گردید [۹]. در ادامه، مکانیسم انتقال نیرو در جوش اتصال ماهیچه راست (چهار گوش) به طور خلاصه ارائه شده است که بر اساس بررسی ها تحلیلی و تحقیقات آزمایشگاهی می باشد. نمونه آزمایشی دارای ماهیچه راست در UCSD [۱۳] برای بررسی جزئیات اتصال به کمک برنامه آنالیزی اجزای محدود ABAQUS [۱۱] مدل سازی و آنالیز شد (در شکل ۷ می بینید). هر دو بال و جان تیر و ستون با المان پیوسته ۸ گرهی (المان نوع C3D8R در ABAQUS) مدل شدند. مواد غیر خطی با ملاک تسلیم Von Mises در آنالیز در نظر گرفته شد. در تحلیل بار در انتهای تیر تغییر شکل خمشی رابطه مشابه با پاسخ حلقه ای حاصل از نتایج محاسبه شده در

آزمایش شکل ۸ می باشد که انتظار دامنه تغییر شکل بیشتر می رود. پشت بند ها (سخت کننده ها) بین تیر و ماهیچه برای کاهش آن منطقی به نظر می آید.

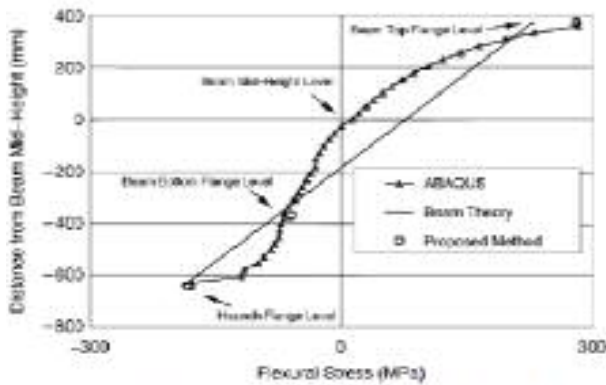


شکل ۱۰ - توزیع تنش های اصلی در جان ماهیچه

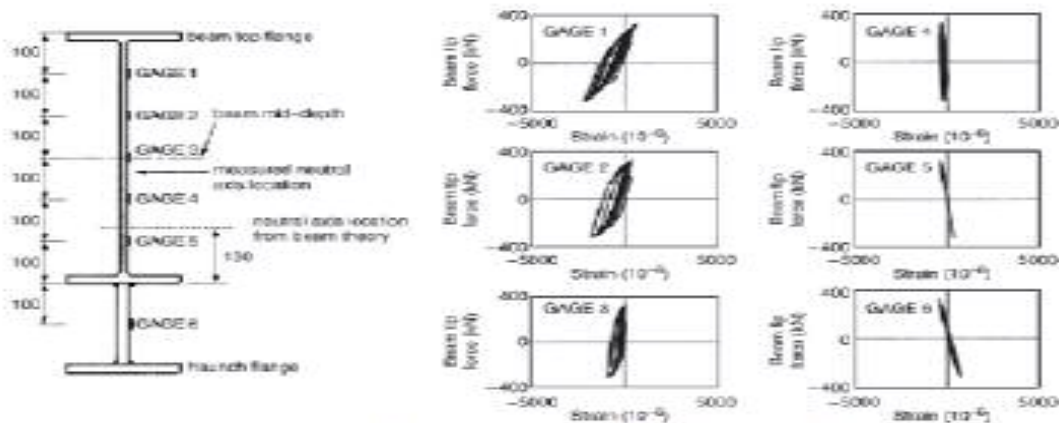


طبق مفهوم طراحی ظرفیت ، رخ دادن پلاستیک در نزدیکی ماهیچه انتظار می رود، از آنجا که انتظار داریم ناحیه ماهیچه در حالت الاستیک باقی بماند، یک آنالیز الاستیک با نیروی متمرکز رو به پایین در سر تیر برای بررسی مکانیسم انتقال نیرو در اتصال انجام شد. بر اساس نتایج آنالیز، محل تار خنثی در سراسر دهانه تیر و نزدیک ناحیه ماهیچه در شکل ۹ نشان داده شده است. در مقایسه با انتظار ما از تئوری تیر کلاسیک که رفتار تیر و ماهیچه در مقطع مشترک و ترکیبی بوده، در ناحیه ماهیچه تار خنثی فقط کمی به سمت پایین میل می کند. توزیع تنش اصلی نشان داده شده در شکل ۱۰ تکیه گاههای قطری را برای جان ماهیچه پیشنهاد می کند. بیشترین تمرکز تنش در گوشه بالایی مشاهده می شود. این همان محلی است که در آزمایشات جوش نشده است. با ایده در نظر گرفتن تنش قائم و برش در سطح بین تیر و ماهیچه ، یک مدل ساده سازی شده تحلیلی که به اندرکنش نیروها و سازگاری تغییر شکل ها بین تیر و ماهیچه توجه دارد پیشنهاد گردید (در شکل ۱۱ ببینید). به صورت نظری درجات آزادی در طول لبه ماهیچه بی نهایت است. برای حل دو مولفه

شکل ۱۱ - مدل نیروهای ساده سازی شده بین تیر و ماهیچه

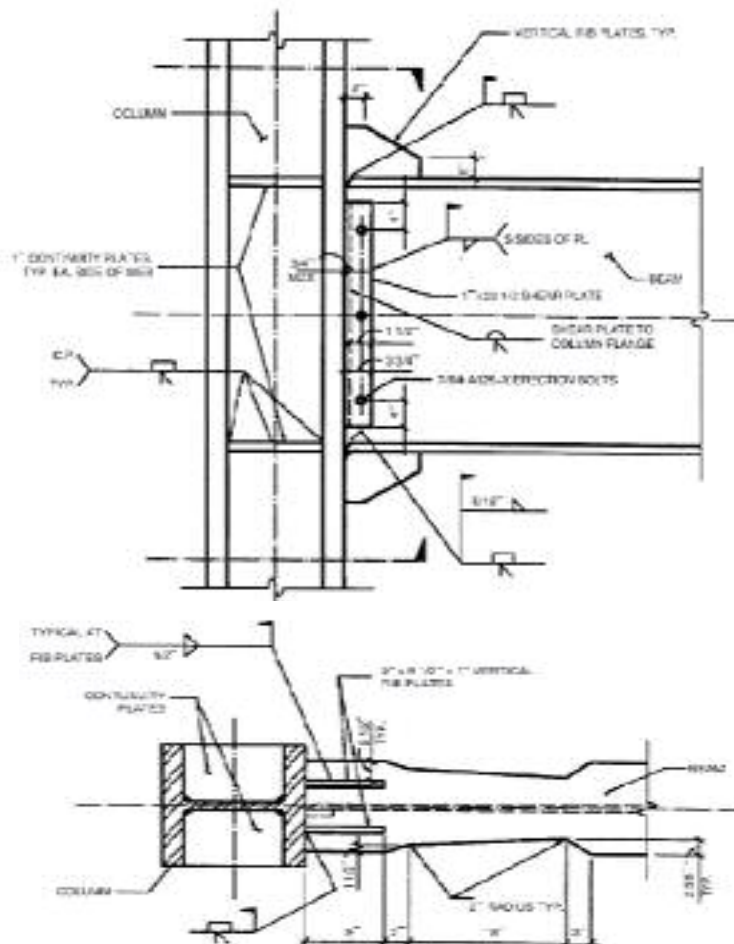


شکل ۱۲ - رابطه تنش خمشی در عمق جان مقطع



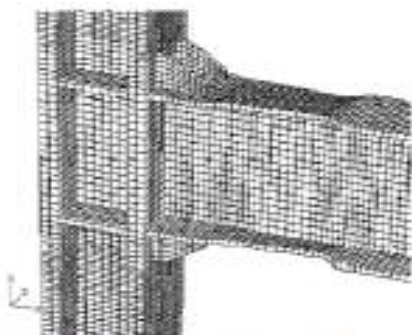
شکل ۱۳ - حلقه های کرنش خمشی در ناحیه ماهیچه

ناشناخته نیرو ، N و Q ، در سطح بین تیر و ماهیچه ، سازگاری تغییر شکل قائم و افقی در ماهیچه مورد توجه قرار می گیرد (نقطه A در شکل ۱۱). جان و بال ماهیچه با صفحه مستطیلی ۴ گرهی و اجزای محدود با تنش صفحه ای و یک المان خرپایی در نظر گرفته شدند . بر اساس مفهوم بار نقطه ای معادل ، دو سوم کل بار برشی Q به صورت افقی و ۸۵ درصد کل بار قائم N در بالای ماهیچه به کار گرفته شد . با هم ارز سازی مولفه های افقی و قائم تغییر شکل تیر و ماهیچه ها و در بالای ماهیچه با روابط سازگاری تغییر شکل دو مقدار نامشخص N و Q بدست می آیند. روش پیشنهادی نتایج رضایت بخش را مهیا کرده است .

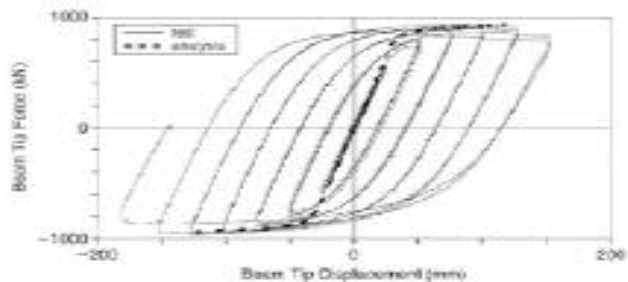


شکل ۱۴ - یک نمونه از اتصال ریب (نمونه COH1). (۱۸)

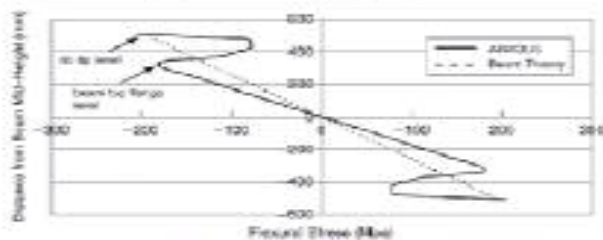
پایینی تیر). به هر حال ، در شکل ۱۳ نشان داده شده است که جهت حلقه پاسخ ها در فاصله بین کرنش سنج ۳ و ۴ تغییر می کند. این تغییر به دلیل اثر تار خنثی نیست و در محاسبات قبل اشاره شد که به دلیل تاثیرات انتها (اتصال تیر به ستون) است.



شکل ۱۵ - مش بندی نمونه COH1 با برنجه اجزاء محدود



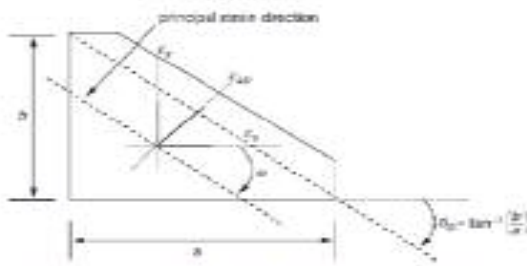
شکل ۱۶ - رابطه پاسخ اصلی آزمایشگاهی و محاسباتی



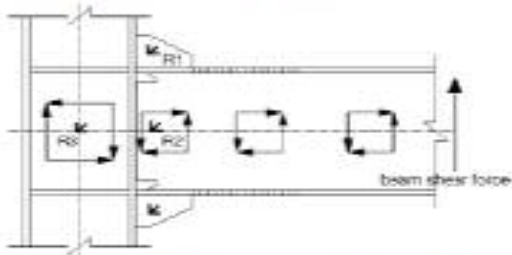
شکل ۱۷ - منحنی مقایسه تنش های خمشی

مقایسه تنش خمشی محاسبه شده در روش مدل پیشنهادی در شکل ۱۲ با تنش محاسبه شده در روش تئوری تیر کلاسیک و روش اجزای محدود نشان داده شده است. این مقایسه نشان می دهد که روش تئوری تیر کلاسیک ، مقدار تنش خمشی در بال بالایی تیر تفاوت ناچیز دارد. طراحی پیشنهادی توصیه شده توسط Lee و Uang دارای کمترین تمرکز تنش در بالای ماهیچه بوده است. در تحلیل پیش بینی و محاسبه شده بود به دلیل واکنش جان ماهیچه تار خنثی در منطقه ماهیچه تنها مقدار کمی به سمت پایین تمایل پیدا می کند (در شکل ۹ ببینید). شکل ۱۳ محل کرنش سنج ها و حلقه های کرنش خمشی محاسبه شده در راستای تیر و ماهیچه را نشان می دهد.

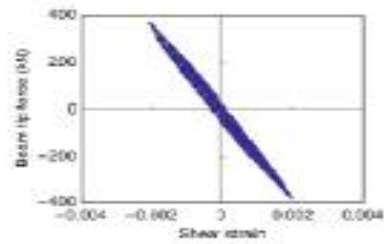
اطلاعات کرنش خمشی اندازه گیری شده توسط کرنش سنج ۱-۳ غیر معمول به نظر می رسد. داده ها کمی به سمت طرف فشاری حرکت کرده است که مورد انتظار نبوده است. بهر حال این انتقال به سمت ناحیه فشاری به دلیل مشکلات تجهیزات اندازه گیری می باشد. اما اطلاعات هنوز در مورد محل تار خنثی مفید و مورد استفاده بود. اگر در تئوری تیر کلاسیک، که رفتار تیر و ماهیچه به عنوان یک مقطع در نظر گرفته می شود، محل تار خنثی به سمت پایین حرکت می کند و تقریباً در نزدیکی کرنش سنج ۵ (یا ۱۳۰ میلی متر دورتر از بال



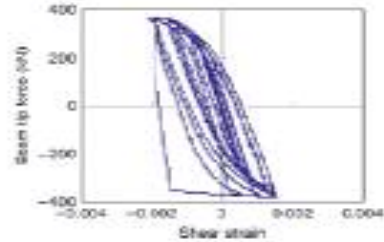
شکل ۲۲. کرنش های اصلی و زاویه قطر ریب



شکل ۲۳. محل کرنش سنج ها و راستای تنش برشی بر اساس تئوری تیر کلاسیک



(c) Panel zone.

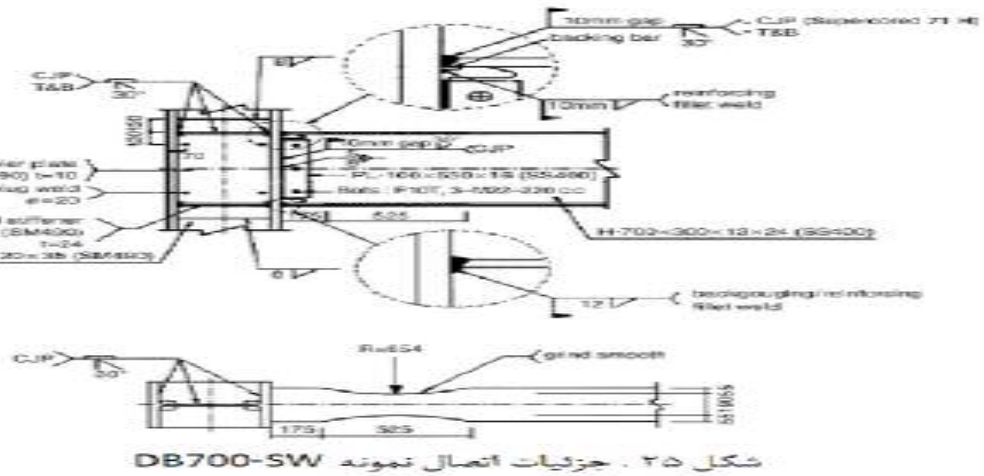


(d) Beam web.

شکل ۲۴. حلقه کرنش محاسبه شده یا

کرنش سنج R2 (جان تیر) و کرنش سنج R3 (چشمه اتصال)

ستون در شکل ۱۸ نشان داده شده است. ریب ها ۱۶۸ درصد نیرو برشی تیر را انتقال می دهند و جریان برش معکوس (برش منفی) در جان تیر وجود دارد. علاوه بر این ، این توزیع سهم انتقال نمی تواند توسط روش تیر کلاسیک تشریح گردد. توزیع تنش اصلی در شکل ۱۹ نشان داده شده است. که یک ورق قطری در ریب باید پیش بینی گردد تا به عنوان پایه عمل کند. این پایه می تواند در توصیف مولفه برش منفی مورد توجه در بالا استفاده شود.



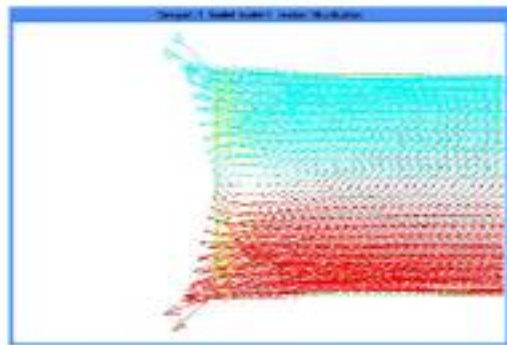
شکل ۲۵. جزئیات اتصال نمونه DB700-SW

بر اساس مشاهدات نتایج آنالیز اجزا محدود، یک مدل پایه معادل که به عکس العمل پایه در ریب رسیدگی داشته باشد با طراحی کاربردی به منظور اندرکنش نیرو در سطح بین تیر و ریب پیشنهاد شد، که توسط روش ساده می تواند تعیین شود. ترکیب مدل پیشنهادی به صورت خلاصه

جدول ۱. مقایسه کرنش های اصلی و زاویه قطر ریب

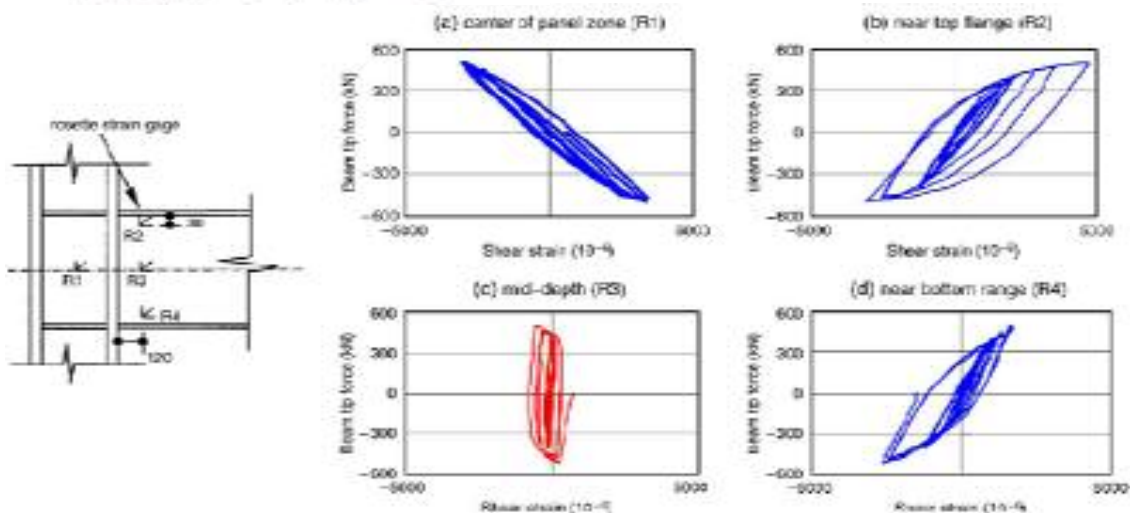
Story drift ratio (%)	Rosette strain ($\times 10^{-6}$)			Principal strain ($\times 10^{-6}$)		α (deg)	θ_p (deg)
	ϵ_x	ϵ_y	ϵ_z	ϵ_1	ϵ_2		
.375	190	-64	19	294	-84	32	34
1.0	389	-127	108	690	-152	35	34
1.5	432	-102	142	702	-128	35	34
2.0	486	-73	163	754	-104	34	34
3.0	557	-63	176	837	-103	33	34
4.0	611	-26	157	852	-85	31	34

در شکل ۲۰ نشان داده شده است و اشاره به مطالعات و بررسی های قبلی Lee در مورد جزئیات بیشتر دارد [۸]. اخیراً یک برنامه آزمایشگاهی برای بررسی جریان پیشنهادی توسط Lee انجام شد [۱۱]. که این برنامه توسعه یافته به منظور جلوگیری از ترک های بالایی ریب صورت گرفته است. بسیاری از نتایج آزمایشگاهی رفتار پایه (strut) را که در ریب مفید می باشد نشان داده است. شکل ۲۱ جزئیات اتصال در نمونه آزمایش RIB-DB30-PW را نشان می دهد. این طرح نمونه، طرح ریب تقویتی به همراه کاهش بال تیر است که به دلیل کاهش تمایل به ترک خوردگی در نوک ریب به خاطر کشیدگی ناشی از مفصل پلاستیک و همچنین دور ماندن ریب ها از محل کمانش تیر می باشد. برای تشخیص رفتار و واکنش پایه (strut) ریب ها و برش معکوس (منفی) تیر کرنش سنج هایی به نمونه متصل شد که در شکل ۲۲ و ۲۳ نشان داده شده است. راستای کرنش های اصلی ماکسیمم بر اساس اطلاعات بدست آمده از کرنش سنج R_1 محاسبه شد. زاویه راستای کرنش ماکسیمم اصلی و زاویه قطر ریب ها در جدول ۱ مقایسه شده است.



شکل ۲۶. توزیع تنش های اصلی در جان تیر

زاویه راستای کرنش های اصلی با قطر ریب در تمام مدت پاسخ متناسب دارد. مقادیر محاسبه شده تائید می کند که ریب باید به صورت مایل و شیب دار باشد. اگر مکانیسم انتقال نیرو در اتصال ریب از تئوری تیر کلاسیک پیروی کند بایست علامت تنش برشی اندازه گیری شده در گیج های R_2 و R_3 مخالف یکدیگر باشند. حلقه های کرنش برشی اندازه گیری شده در شکل ۲۴ نشان داده شده است. در مقایسه با انتظار ما از تئوری تیر کلاسیک علامت دو گیج یکسان است؛ این به این معناست که برش منفی رخ داده در جان تیر در محل و ناحیه ریب ناشی از عکس العمل ریب ها است. از مزایای طرح های جدید که بعد از زلزله Northridge ۱۹۹۴



شکل ۲۷. مقایسه کرنش های برشی

پیشنهاد شد، کاهش مقطع تیر در اتصالات (RBS) بوده که در بسیاری از آزمایشات شکل پذیری رضایت بخش از خود نشان داده است و باعث استقبال گسترده در مدت کوتاهی شد. در اتصال RBS، بخشی از بال تیر در فاصله کمی از سطح ستون بر اساس یک استراتژی بریده شده تا حالت پایداری برای ایجاد تسلیم در آن بوجود آید و در محل کاهش مقطع به همین خاطر حفاظت بیشتر از اتصال جوش به وجود آید. استراتژی کاهش سطح و ضعیف کردن مقطع، تقاضای نیروی زلزله را در ستون و چشمه اتصال ستون کاهش می دهد. اگر چه اتصال RBS در سال های اخیر به صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است، مکانیسم انتقال نیرو در این نوع اتصال خمشی نیاز به روشن شدن بیشتر دارد.

شکل ۲۵ جزئیات اتصال RBS در نمونه آزمایش DB700-SW که توسط Lee آزمایش شد را نشان می دهد [۱۰].

توزیع تنش های اصلی در جان تیر از آنالیز اجزای محدود نمونه بدست آمده است و همان طور که در شکل ۲۶ نشان داده شده است، در مورد اتصال RBS، واکنش پایه های (STRUT) قوی در جان تیر مشخص است. ناحیه وسط جان تیر در نزدیکی ستون خالی از تنش است و جریان نیرو به سمت گوشه های جان تیر هدایت شده است. بنا براین تنش های بیشتری به سمت بال تیر هدایت شده است. کرنش برشی اندازه گیری شده در آزمایشات در شکل ۲۷ با یکدیگر مقایسه شده اند. این مقایسه نشان می دهد که برش منفی در وسط جان تیر رخ می دهد.

مکانیسم انتقال نیرو در اتصال RBS اساساً با نوع اتصالات قبل از زلزله Northridge (PN)، یکسان است.

۴- خلاصه و نتیجه گیری

در این بررسی مکانیسم انتقال نیرو در بسیاری از جوش اتصالات خمشی در فولاد بر اساس مطالعات تحلیلی و بررسی آزمایشگاهی به صورت جامع مورد بازبینی قرار گرفت و نتایج زیر می تواند در نظر گرفته شود.

- (۱) نتایج تحلیل تئوریک و آزمایشگاهی نشان می دهد که تئوری تیر کلاسیک قادر به تعیین دقیق مسیر بار، تقریباً در جوش همه اتصالات خمشی فولاد به دلیل وجود شرایط مرزی نیست. انتقال نیرو در اتصال RBS اساساً با اتصالات نوع PN یکسان است.
- (۲) ورقه های قائم در نزدیکی اتصال، مانند جان تیر، جان ماهیچه و ریب همانند تکیه گاه عمل می کند و برش منفی تیر به دلیل عمل تکیه گاهی ماهیچه و ریب در جان تیر رخ می دهد.
- (۳) تعیین دقیق مسیر بار در اتصالات و بنا نهادن مدل پیشنهادی ساده سازی شده در تحلیل و تشخیص مسیر بار در توسعه روش طراحی معقول و کاربردی ضروری هستند. برخی مدل های تحلیلی ساده سازی شد که براساس موارد بالا مورد توجه قرار گرفتند مفید و مناسب نشان دادند.

منابع

- [1] ABAQUS. ABAQUS user's manual, version 5.8. Hibbit, Karlson & Sorenson, Inc.; 1998.
- [2] Bruneau M, Uang CM, Whittaker A. Ductile design of steel structures. New York: McGraw-Hill; 1998.
- [3] Gere JM, Timoshenko SP. Mechanics of materials. Monterey (CA): Brooks/Cole Engineering Div.; 1984.
- [4] Goel SC, Stojadinovic B, Lee KH. Truss analogy for steel moment connections. Engineering Journal AISC 1997;34(2):43-53.
- [5] Lee CH, Uang CM. Analytical modeling of dual panel zone in haunch repaired steel MRFs. Journal of Structural Engineering ASCE 1997; 123(1):20-9.
- [6] Lee CH, Yoon TH. Analytical re-examination of shear transfer in welded steel moment connection. In: Proceedings of the 1st Japan-Korea joint seminar on earthquake engineering for building structures. 1999.
- [7] Lee CH, Uang CM. Analytical modeling and seismic design of steel moment connections with welded straight haunch. Journal of Structural Engineering ASCE 2001;127(9):1028-35.
- [8] Lee CH. Seismic design of rib-reinforced steel moment connections based on equivalent strut model. Journal of Structural Engineering ASCE 2002; 128(9):1121-9.
- [9] Lee CH, Jung JH, Oh MH, Koo ES. Cyclic seismic testing of steel moment connections reinforced with welded straight haunch. Engineering Structures 2003;25(14):1743-53.
- [10] Lee CH, Jeon SW, Kim JH, Uang CM. Seismic performance of reduced beam section steel moment connections: effects of panel zone strength and beam web connection method. In: 13th world conference on earthquake engineering. 2004.
- [11] Lee CH, Jung JH, Oh MH, Koo ES. Experimental study of cyclic seismic behavior of steel moment connections reinforced with ribs. Journal of Structural Engineering ASCE 2005;131(1):108-18.
- [12] Popov EP, Yang TS, Balan T. Steel MR connection design critically reviewed. In: Proceedings of EERC-CUREE symposium in honor of Vitelmo V. Bertero. 1997.
- [13] SAC. Technical report: experimental investigations of beam-column subassemblies. Report No. SAC-96-01. SAC Joint Venture, Sacramento, CA. 1996.
- [14] SAC. Seismic design criteria for new moment-resisting steel frame construction. Report No. FEMA 350. SAC Joint Venture, Sacramento, CA. 2000.
- [15] SAP 2000. Analysis reference, version 7.00. Berkeley (CA): CSI; 1998.
- [16] Uang CM, Bondad D, Lee CH. Cyclic seismic performance of haunch repaired steel moment connections: experimental testing and analytical modeling. Engineering Structures 1998;20(4-6):552-61.
- [17] Uang CM, Yu QS, Noel S, Gross J. Cyclic testing of steel moment connections rehabilitated with RBS or welded haunch. Journal of Structural Engineering ASCE 2000;126(1):57-68.
- [18] Yu QS, Uang CM, Gross J. Seismic rehabilitation design of steel moment connection with welded haunch. Journal of Structural Engineering ASCE 2000;126(1):69-78.
- [19] Zekioglu A, Mozaffarian H, Chang KL, Uang CM. Designing after Northridge. Modern Steel Construction 1997;37(3) : 36-42.