مطالعه تحلیلی نحوه انتقال برش در ناحیه اتصال تیر به ستون در قاب‌های خمشی فولادی جوشی

مهبان ارغوانی[1]، مسعود خزایی پول[2]، منصور ضیائی‌فر[3]

(دریافت ۹۰/۹/۲۰، پذیرش ۹۱/۱۰/۲۵)

چکیده

در این تحقیق به کمک روش المان محدود، به بررسی نحوه انتقال برش از تیر به ستون در قاب‌های خمشی فولادی، پرداخته شده است. نمونه‌هایی از اتصال جوشی تیر به ستون با جزئیات‌بندی‌های متفاوت، به صورت المان محدود و با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح و نیز دادن اجازه کمانش به سیستم، مدل‌سازی گردیده است. نمونه‌های مورد بررسی تحت بارگذاری بار–افزا (Push-Over) قرار گرفته و نتایج حاصله، مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند. نتایج تحلیلی نشان می‌دهند که انتقال برش در این نوع اتصالات، بر اساس تئوری تیر برنولی (که بر آن اساس قسمت عمده برش توسط جان مقطع منتقل می‌شود)، صورت نگرفته، و وجود اتصال جان تیر به ستون برای انتقال سهم عمده نیروهای برشی، الزامی نیست. در این نوع اتصالات، پس از شکل گیری میدان‌های قطری کششی و فشاری در جان تیر، این مجموعه در کنار بال فشاری و کششی تیر، به صورت یک خرپا عمل نموده، و سبب انتقال برش از تیر به ستون می‌گردد.

کلمات کلیدی

قاب خمشی فولادی، اتصال تیر به ستون، انتقال برش، روش المان محدود، تحلیل غیرخطی

An Analytical Study on Shear Transferring in Beam to Column Connections of Welded Steel Moment Frames

M.Arghavani, M.Khazaei-Poul, M.Ziyaeifar

ABSTRACT

Beam-column connections in steel frames have been traditionally designed by using classical Euler-Bernoulli beam theory which leads to the assumption that the flanges transfer moment while the web connection primarily resists the shear forces. On the other hand, lessons from the past earthquakes imply that some steel connections with weak web connections have adequate performance in transferring shear forces. It is probable that the truss mechanism in such systems helps in transferring shear forces. This mechanism can work without web connection to column face. This work presents the results of finite element analyses of three types of welded beam-column connections subjected to bending and shear forces of beam in the range of nonlinear behavior of materials and inelastic buckling of the cross section. In the first and second model, connection is based on welding flanges of the beam to the face of the column and in the third model; both web and flanges of the beam are connected to the column. The location of plastic hinge of the beam from the face of the column is studied in each case. It is observed that shear transferring capacity of the first and second models are much higher than expected based on the classical Euler-Bernoulli beam theory.

Key Word

Steel Moment Frame, Beam Column Connections, Shear Transferring, Finite Element Method, Nonlinear Analysis

۱.کارشناس ارشد سازه–زلزله، ، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، m.arghavani@iiees.ac.ir(نویسنده مسئول)

۲.کارشناس ارشد سازه–زلزله، ، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، m.khazaei@iiees.ac.ir

۳. دانشیار، سازه–زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، mansour@iiees.ac.ir

۱- مقدمه

رفتار سازه‌های فولادی در برابر بارهای لرزه‌ای به طور مستقیم وابسته به عملکرد اتصالات آن‌ها در انتقال نیروهای برشی و خمشی است. برای طراحی اتصالات خمشی تیر به ستون در سازه‌های فولادی از تئوری کلاسیک تیرها استفاده می‌شود، که بر آن اساس، در مقاطع H شکل مقدار عمده‌ای از نیروهای خمشی به وسیله بال‌های تیر و مقدار نسبتاً کمی از طریق جان تیر به ستون منتقل می‌گردد. در انتقال برش در این نوع اتصالات، بخش عمده‌ای از برش توسط جان تیر انتقال می‌یابد و مقدار کمی که حدوداً زیر ۱۰ درصد است، توسط بال‌ها انتقال پیدا می‌کند. بنابراین اتصال جان تیر به ستون برای انتقال برش در اتصالات خمشی تیر به ستون از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به عبارت دیگر، اگر اتصال جان تیر به ستون حذف گردد، مقدار زیادی از ظرفیت برشی سیستم کاسته می‌شود. از سوی دیگر، تجارب زلزله‌های گذشته مواردی از اتصالات تیر به ستون را نشان داده است، که درحالی‌که تنها بین بال تیر و ستون اتصال قابل قبولی وجود داشته، و اتصال جان تیر به صورت مطلوب نبوده، در مقابل زلزله عملکردی بهتر از حد مورد انتظار، از خود نشان داده‌اند. در نتیجه، این ایده که ضعف اتصال در قسمت جان تیر سبب تضعیف قابل توجه ظرفیت باربری سیستم می‌گردد، ممکن است با واقعیت انطباق کمتری داشته باشد.

در طی دهه‌های گذشته به خصوص بعد از زلزله نورتریج در سال ۱۹۹۴، مطالعات فراوانی برای بررسی رفتار اتصالات خمشی تیر به ستون انجام شده است. محققان ژاپنی مطالعات زیادی برای بررسی اثر دما بر روی عملکرد اتصالات فولادی جوشی، خصوصیات مکانیکی فلز مبنا و جوش، اثرات هندسه جوش و جزئیات آن، بر اساس آزمایش‌های دینامیکی انجام داده‌اند[۱]. به علت ضعف‌های فروان اتصالات در سازه‌های فولادی در زلزله نورتریج و کوبه، محققان آمریکایی مطالعات وسیعی برای پیدا کردن راه حلی برای تقویت و بازسازی اتصالات موجود در قاب‌های خمشی فولادی و همچنین طراحی اتصالات با آسیب پذیری کمتر در مقابل بارهای لرزه‌ای انجام داده‌اند، که بر اساس این مطالعات، ایده‌های جدیدی برای اتصال تیر به ستون در قاب‌های خمشی پیشنهاد شده است [۲]. اتصالات فولادی عموماً بر اساس تئوری کلاسیک تیرها که بر مبنای تئوری تیر برنولی می‌باشد و بر اساس آن، مقطع تیر بعد از خمش به صورت صفحه باقی می‌ماند، طراحی می‌شوند. در هر حال، کاربرد تئوری کلاسیک تیرها برای استفاده در طراحی اتصالات خمشی پس از زلزله نورتریج به چالش کشیده شده است. یوانگ و همکارانش نشان داده‌اند، که استفاده از ورق‌های سه گوش در زیر بال فشاری، می‌تواند از اصلاح جوش بال فشاری جلوگیری کند. آن‌ها همچنین نشان دادند که تئوری کلاسیک تیرها نمی‌تواند پیش‌بینی قابل اعتمادی از توزیع تنش در اتصالات خمشی جوشی داشته باشد[۳]. اعتبار استفاده از روابط ارائه شده در تئوری کلاسیک تیرها برای استفاده وسیع در طراحی اتصالات، توسط پوپوف و همکاران به طور کامل به چالش کشیده شده است [۴]. گل و همکاران برای طراحی اتصالات خمشی جوشی یک مدل خرپایی پیشنهاد دادند، که می‌تواند انتقال برش و خمش را در ناحیه اتصال به شکل واقع بینانه تری نسبت به روش‌های کلاسیک نشان دهد [۵]. لی مطالعاتی برای بررسی نحوه انتقال برش در اتصالات خمشی جوشی به صورت آزمایشگاهی و تحلیلی انجام داده، و نشان داده است که توزیع تنش در این نوع اتصالات، به طور قابل ملاحظه‌ای با تئوری کلاسیک تیرها متفاوت است [۶].

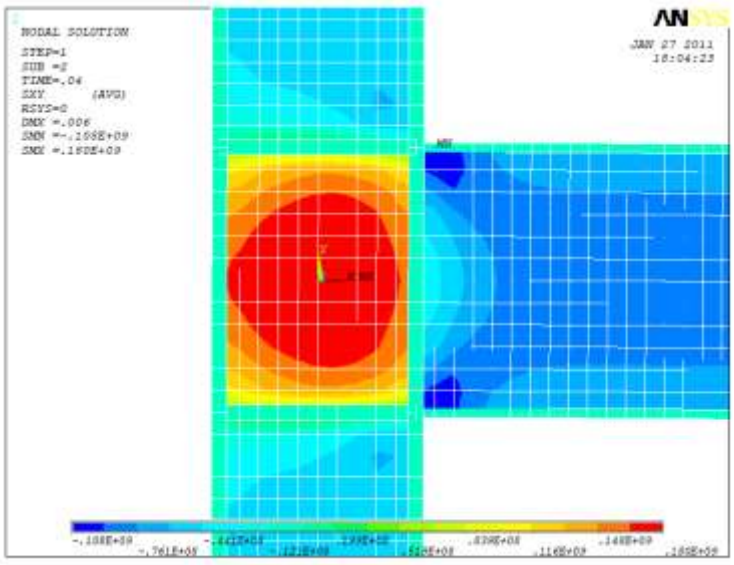
در این تحقیق، برای مطالعه دقیق‌تر نحوه انتقال برش از تیر به ستون در سازه‌های فولادی، به کمک برنامه المان محدود ANSYS، نمونه‌هایی از اتصال خمشی جوشی با جزئیات‌بندی‌های متفاوت اتصال تیر به ستون به صورت المان محدود و با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح و

نیز دادن اجازه کمانش به سیستم، مدلسازی گردیده است. نمونه‌های مورد بررسی تحت بارگذاری بار-افزا قرار گرفته و نتایج حاصله، بررسی شده‌اند. میزان شرکت‌پذیری جان در انتقال برش، بررسی ناحیه مفصل پلاستیک در اتصالات خمشی فولادی در حالتی که اتصال جان تیر به ستون وجود داشته باشد، و یا حذف گردد، و نیز لزوم اتصال بین جان تیر و بال ستون در انتقال برش، مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- انتقال برش بر اساس تئوری کلاسیک تیرها

بر اساس تئوری کلاسیک تیرها، توزیع نیروهای برشی و خمشی در مقاطع فولادی H شکل، به گونه‌ای است که سهم عمده در انتقال لنگر خمشی بر عهده بال‌ها بوده و نقش اصلی جان، در انتقال برش و مقدار نسبتاً کمی از لنگر خمشی است. در این مقاطع، سهم جان در انتقال برش بین ۹۰ تا ۹۸ درصد است، و سهم بال در تحمل نیروهای برشی، ناچیز (در حدود ۲ تا ۱۰ درصد) است، تا جایی که در طراحی اتصالات از سهم بال در تحمل و انتقال برش صرف نظر شده، و فرض می‌گردد که تمام نیروی برشی توسط جان انتقال می‌یابد [۷]. در شکل (۱) توزیع تنش‌های برشی در یک مدل المان محدود از اتصال تیر به ستون با مقطع H شکل در یک قاب فولادی تحت بارگذاری برشی، نشان داده شده است. با فرض قبول کردن تئوری کلاسیک تیرها، باید توزیع تنش برشی در ارتفاع مقطع در محل اتصال نسبتاً یکسان باشد، اما همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند، در این مدل توزیع تنش‌های برشی با تئوری تیر برنولی مطابقت ندارد.

۳- مطالعه تحلیلی

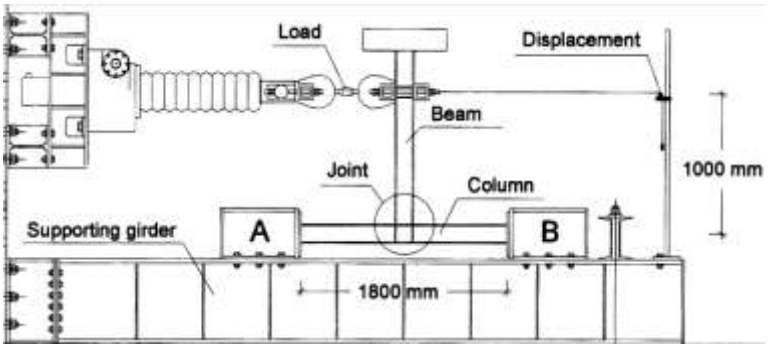


شکل (۱): توزیع تنش‌های برشی در اتصال تیر به ستون

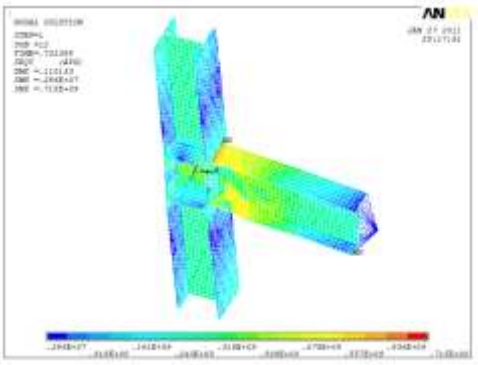
۳-۱- اعتبار سنجی نتایج تحلیلی

برنامه المان محدود مورد استفاده در این تحقیق، از طریق مقایسه یک مدل تحلیلی با یک مدل آزمایشگاهی از اتصال تیر به ستون فولادی، مورد اعتبار سنجی قرار گرفته است. مدل آزمایشگاهی انتخاب شده برای اعتبار سنجی مربوط به مطالعات انجام شده توسط النا مل و همکاران است [۸]. چیدمان مدل آزمایشگاهی در شکل (۲) نشان داده شده است. در این نمونه آزمایشگاهی، مقطع تیر و ستون از نوع پروفیل استاندارد اروپایی IPE300 و HE240B است. در این نمونه طول تیر و ستون به ترتیب برابر با ۱ و ۰,۹ متر می‌باشد.

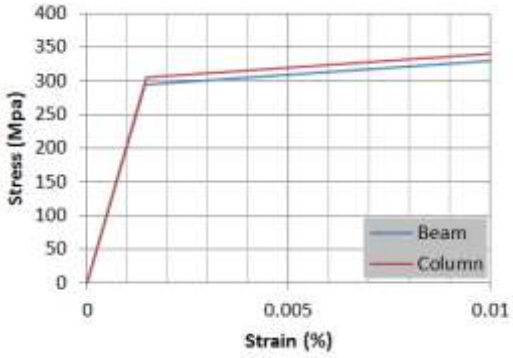
این مدل آزمایشگاهی به صورت المان محدود در نرم افزار ANSYS (Ver. 12)، مدل‌سازی شده است. المان مورد استفاده برای مدل سازی تیر و ستون از نوع پوسته‌ای ۱۸۱ (Shell-181) است. این المان به صورت چهار گره‌ای است، و هر گره از آن دارای سه درجه آزادی انتقالی و سه درجه آزادی دورانی است.



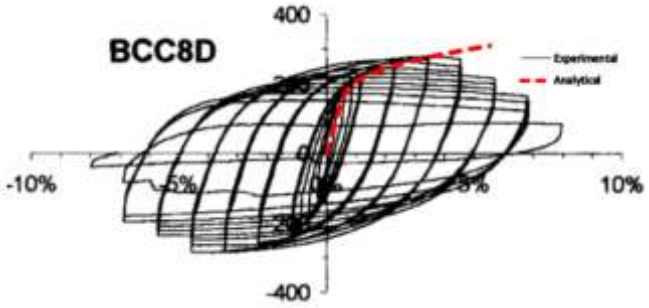
شکل (۲): چیدمان مدل آزمایشگاهی



شکل(۳): تنش‌های وان-میزز در نمونه تحلیلی



شکل (۴): منحنی تنش-کرنش مصالح فولادی
در مدل المان محدود



شکل (۵): انطباق خوب بین نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی

این نوع از المان برای مدل‌سازی ورق‌ها و پوسته‌ها مناسب می‌باشد. از ویژگی‌های مهم این نوع المان می‌توان به کاربرد آن در محدوده‌های خطی و غیرخطی، و نیز دوراها و کرنش‌های بزرگ غیرخطی اشاره نمود. ابعاد المان‌ها نیز به گونه‌ای انتخاب شده است که، با کوچکتر شدن ابعاد المان، تغییر قابل ملاحظه‌ای در نتایج تحلیل ایجاد نشود. رفتار مصالح استفاده شده در مدل المان محدود، به صورت رفتار خمیری سخت شونده سینماتیک[1] و به صورت مستقل از سرعت[2] در نظر گرفته شده است. در این نوع رفتار، از مدل بسلینگ استفاده شده، و اثر بوشینگر نیز در نظر گرفته شده است.

بر اساس نتایج تست کشش انجام شده بر روی مصالح فولادی، مقدار متوسط تنش تسلیم برای مقطع تیر و ستون به ترتیب برابر با ۲۹۵ و ۳۰۵ مگاپاسگال است. همچنین مدول الاستیسیته برای مقطع تیر و ستون برابر با $۲,۰۵\times۱۰^{۱۱}$ نیوتن بر متر مربع است. در مدل تحلیلی مقدار سخت شوندگی مصالح فولادی یا همان سختی ثانویه برابر با ۲% سختی اولیه فرض شده است. مدل دو خطه نمودار تنش-کرنش مورد استفاده در تحلیل المان محدود برای مصالح در شکل (۳) نشان داده شده است.

نوع تحلیل انجام شده در این تحقیق، از نوع تحلیل غیر خطی با تغییر مکان‌های بزرگ است. نوع بارگذاری وارد بر نمونه به صورت کنترل-تغییر مکان بوده، و با اعمال تغییر مکان در انتهای تیر صورت گرفته است. در شکل (۴) وضعیت تنش‌های وان-میزز و وضعیت تغییر شکل مدل تحلیلی نشان داده شده است. در مدل تحلیلی بیشینه تنش‌های به وجود آمده در محل اتصال تیر به ستون قابل مشاهده است. مقایسه منحنی نیرو-تغییر مکان مدل المان محدود و مدل آزمایشگاهی در شکل (۵) نشان داده شده است. نتایج نشان‌دهنده آن است که مدل المان محدود، ظرفیت سختی سیستم را به خوبی برآورد کرده است.

۳-۲- بررسی نقش جان بر روی انتقال برش

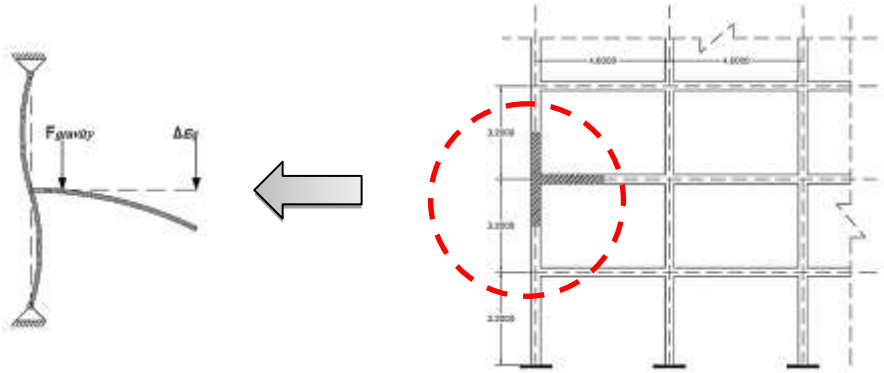
پس از اطمینان از اعتبار نتایج تحلیلی، نمونه‌هایی از اتصال تیر به ستون به منظور بررسی مکانیزم انتقال برش در ناحیه اتصال به صورت المان محدود مورد بررسی قرار گرفت. در این مدل‌ها، مکانیزم انتقال برش در اتصالات خمشی فولادی، اثر نحوه اتصال جان تیر به ستون بر ظرفیت برشی سیستم و همچنین میزان شرکت‌پذیری جان در انتقال برش مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به استفاده گسترده از سیستم قاب خمشی فولادی در ساختمان‌های با ارتفاع کوتاه به عنوان سیستم باربر جانبی، نمونه‌های تحلیلی مورد بررسی در این تحقیق از قاب خمشی فولادی موجود در شکل(۶-الف) انتخاب شده است. در مدل المان محدود تنها قسمتی از قاب که در شکل(۶-ب) نشان داده شده، مدل‌سازی گردیده است. در این مدل با فرض تشکیل مفصل پلاستیک در وسط طول تیر و ستون تحت بار جانبی، در مدل المان محدود نصف طول تیر و ستون مدل‌سازی گردیده است. همچنین در این مدل، از اثرات نیروی محوری صرف نظر شده است (شکل(۶-ب)).

[1] Kinematic Hardening plasticity
[2] Rate Independent

مقطع ستون‌ها و تیر نشان داده شده در شکل (۶)، به ترتیب از نوع پروفیل استاندارد اروپایی IPB300 و IPE300 در نظر گرفته شده است. اتصال تیر به ستون‌ها به صورت خمشی با جوش کامل نفوذی و با سه نوع جزئیات بندی متفاوت انتخاب شده، که جزئیات دقیق آن در شکل(۷) نشان داده شده است.

در نمونه S1، بال و جان تیر به طور کامل به بال ستون، و با جوش نفوذی کامل متصل شده است (شکل(۷–الف)).

در نمونه S2، اتصال تیر به ستون تنها از طریق بال تیر صورت گرفته است، و جوش جان تیر به ستون از سیستم حذف شده است (شکل (۷–ب)). در نمونه S3 اتصال تیر به ستون تنها ار طریق بال تیر مانند نمونه S2 صورت گرفته است. البته باید توجه شود که در نمونه S3 همان‌طور که در شکل (۷–پ) مشاهده می‌شود، بخشی از جان تیر نیز حذف شده است (شکل (۷–پ)).



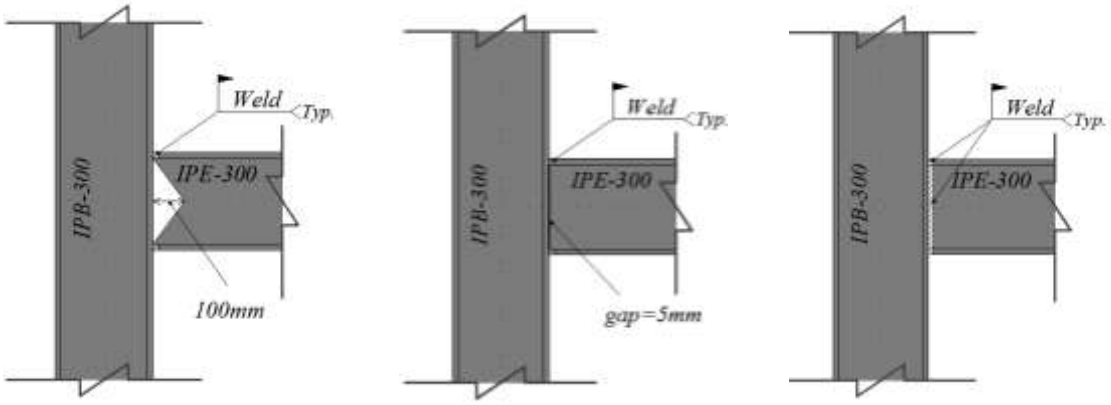
الف: قاب خمشی با اتصال جوشی **ب: مدل انتخاب شده برای مدل‌سازی المان محدود**

شکل (۶): انتخاب مدل تحلیلی

مدل‌های مورد بررسی در نرم افزار ANSYS مدل‌سازی شده‌اند. به منظور مدل‌سازی تیرها و ستون‌ها، از المان پوسته‌ای ۱۸۱ (Shell181)، و برای ایجاد مفصل خمشی در انتهای دو ستون از المان MPC184، استفاده شده است. به منظور جلوگیری از ایجاد تمرکز تنش در محل اعمال بار ثقلی در تیر، از المان Coupling استفاده شده است. با استفاده از این قابلیت، بار به صورت یکنواخت بر روی گره‌هایی که در موقعیت ۵۰ سانتیمتری تیر قرار دارند، اعمال شده است. رفتار مصالح استفاده شده در مدل المان محدود، به صورت رفتار خمیری سخت شونده سینماتیک دو خطه و به صورت مستقل از سرعت در نظر گرفته شده است. تنش تسلیم برای تیرها و ستون‌ها در هر سه نمونه به صورت یکسان، و برابر با ۲۴۰ مگاپاسگال فرض شده است. در مدل‌های تحلیلی، مدول الاستیسیته برای تیرها و ستون‌ها نیز، یکسان و برابر با $۲,۰۵\times۱۰^{۱۱}$ نیوتن بر متر مربع در نظر گرفته شده است. همچنین در تمام مدل‌ها، مقدار سخت شوندگی مصالح فولادی (سختی ثانویه) برابر با ۲ % سختی اولیه فرض شده است. به منظور در نظر گرفتن اثرات بار ثقلی در نمونه‌ها، بار ثقلی برابر با ۸۵ کیلو نیوتن و در فاصله ۵۰ سانتیمتری محور ستون‌ها (در حدود ۰,۱ طول دهانه قاب)، و به صورت محوری (با فرض عرض بارگیر ۵ متر و بار گسترده کف طبقات برابر با ۸ کیلو نیوتون بر متر مربع)، اعمال گردیده است. همچنین بار جانبی نیز در انتهای تیر، و به صورت بار افزا، مطابق شکل (۷–ب) پس از اعمال بار ثقلی وارد شده است. نوع تحلیل انجام شده بر روی سه نمونه، از نوع تحلیل غیر خطی با تغییر مکان‌های بزرگ است. در مرحله بارگذاری ابتدا بار ثقلی به صورت کنترل–نیرو اعمال گردیده، و در مرحله بعد بار جانبی به صورت کنترل–تغییرمکان به انتهای تیر اعمال شده است.

۳–۳– تفسیر نتایج

نمودار نیرو- تغییر مکان برای سه نمونه مورد بررسی S1، S2 و S3 در شکل(۸) نمایش داده شده است. در بین این نمونه‌ها، نمونه S1 دارای بیشترین ظرفیت است. منحنی نیرو- تغییر مکان نمونه‌ها نشان دهنده این پدیده است که، با حذف اتصال بین جان تیر و ستون (نمونه S2)، و حتی حذف بخش وسیع‌تری از ناحیه جان (نمونه S3)، به میزان کمی از ظرفیت سیستم کاسته می‌شود. با حذف اتصال جان تیر به ستون در نمونه S2 ظرفیت و سختی سیستم نسبت به نمونه S1 به طور تقریبی به ترتیب به میزان ۷ و ۵,۵ درصد و در نمونه S3 به ترتیب به میزان ۹ و ۱۵ درصد نسبت به نمونه S1 کاهش یافته است. همانطور که مشاهده می‌شود تئوری تیر برنولی در این نوع اتصال، نمی‌تواند برآورد قابل اعتمادی از ظرفیت این نوع سیستم داشته باشد. بر اساس تئوری کلاسیک تیرها، نمونه‌های S2 و S3 حداکثر، توانایی تحمل ۱۰٪ نیروی برشی نمونه S1 را، به علت حذف اتصال جان تیر به ستون دارند. این در حالی است که، نتایج تحلیلی ظرفیت بیشتری را برای نمونه‌های S2 و S3 نشان می‌دهند.



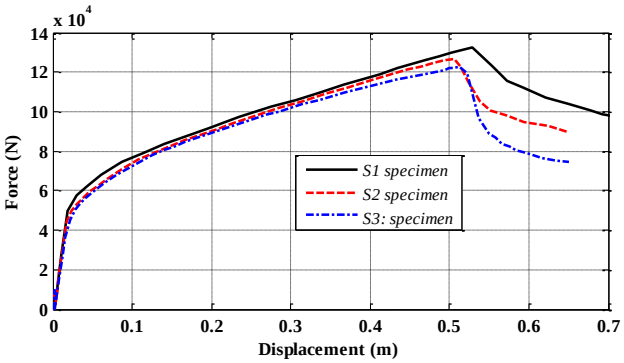
الف: نمونه S1 : اتصال کامل بال و جان تیر به ستون با جوش نفوذی کامل

ب: نمونه S2 : اتصال بال تیر به ستون با جوش نفوذی کامل و حذف جوش جان

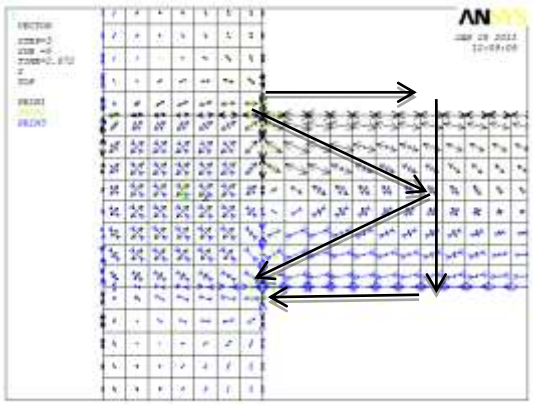
پ: نمونه S3 : اتصال کامل بال تیر به ستون با جوش نفوذی کامل و حذف بخشی از جان

شکل (۷): جزئیات مدل‌های تحلیلی

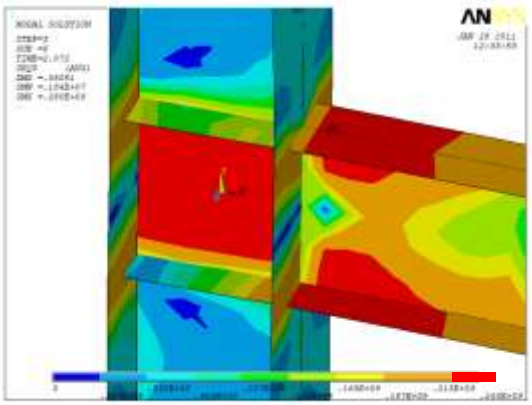
در شکل(۹) وضعیت تنش‌های وان میزز و کانتور تنش‌های اصلی در سه نمونه‌ی S1، S2 و S3 در تغییر مکان جانبی نسبی ۲,۵ درصد نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، تمامی نمونه‌ها در این تغییرمکان به حد تسلیم خود رسیده‌اند. در نمونه S1 که جان تیر به بال ستون با جوش متصل شده است، بال و جان به طور کامل وارد ناحیه پلاستیک شده‌اند. این مسأله، نشان دهنده تسلیم کامل مقطع تیر تحت نیروهای وارده است (شکل(۹-ب)). ناحیه پلاستیک در نمونه S2 در قسمت بال تیر و بخش کمی از جان تیر تشکیل شده است. در نمونه S3 نیز ناحیه پلاستیک مشابه با نمونه S2 است. در تمام نمونه‌ها طول مفصل پلاستیک در بال تیر، تقریباً برابر است. مسأله مهم و قابل توجه در این نمونه‌ها، عدم کاهش قابل توجه ظرفیت سیستم، در اثر حذف اتصال بین جان تیر و بال ستون است. با توجه به رفتار بهتر از حد انتظار نمونه‌های S2 و S3 می‌توان این طور استنباط نمود، که تئوری تیر کلاسیک یا همان تئوری تیر برنولی که بر اساس آن بخش زیادی از انتقال برش به وسیله جان صورت می‌گیرد، در این ناحیه دارای کارایی لازم نیست. بر اساس این تئوری ظرفیت نمونه های S2 و S3، باید در حدود ۱۰ درصد ظرفیت نمونه S1 باشد، اما نتایج المان محدود خلاف این را، نشان داده است. در شکل‌های (۹-الف)، (۹-پ) و (۹-ث) کانتور تنش‌های اصلی برای سه نمونه مورد مطالعه، نشان داده شده است. توزیع تنش‌های اصلی در جان تیر در



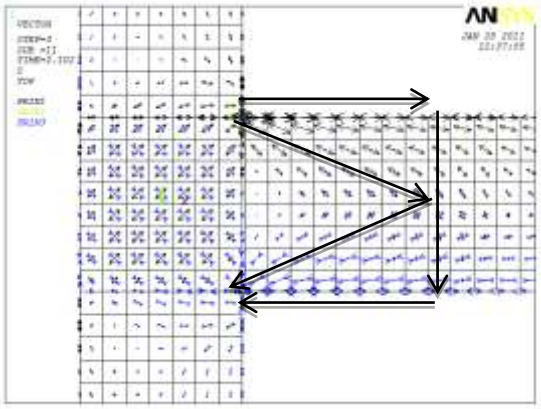
شکل (۸): مودار نیرو- تغییر مکان برای نمونه‌های S1، S2 و S3



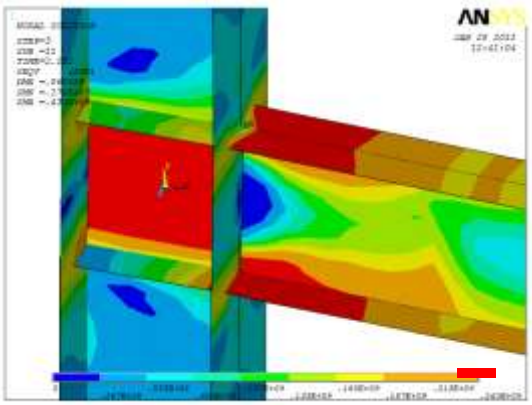
الف: کانتور تنش‌های اصلی در نمونه **S1**
در تغییرمکان نسبی ۲,۵ درصد



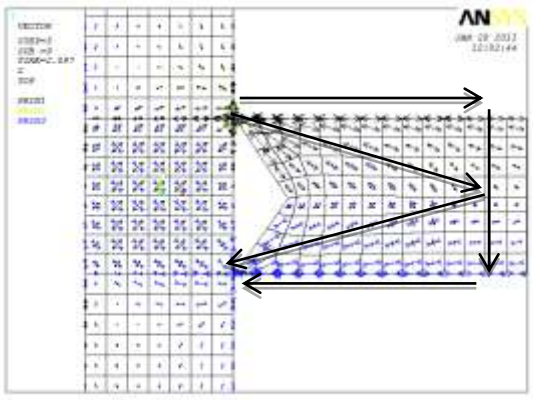
ب: وضعیت تنش‌های وان میزز در نمونه **S1**
در تغییرمکان نسبی۲,۵ درصد



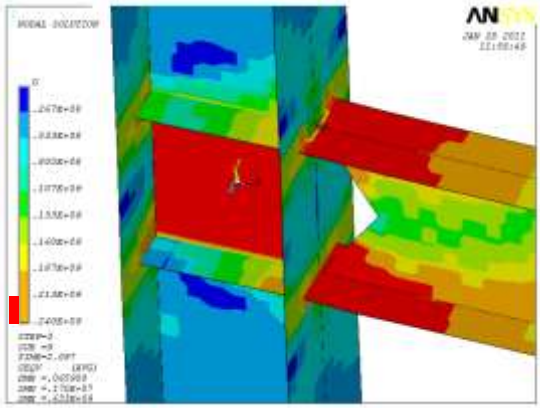
پ: کانتور تنش‌های اصلی در نمونه **S2**
در تغییرمکان نسبی ۲,۵ درصد



ت: وضعیت تنش‌های وان میزز در نمونه **S2**
در تغییرمکان نسبی ۲,۵ درصد



ث: کانتور تنش‌های اصلی در نمونه **S3**
در تغییرمکان نسبی ۲,۵ درصد



ج: وضعیت تنش‌های وان میزز در نمونه **S3**
در تغییرمکان نسبی ۲,۵ درصد

شکل (۹): وضعیت تنش‌های وان میزز و کانتور تنش‌های اصلی در نمونه‌های مورد بررسی

نمونه S1، نشان دهنده آن است که بخشی از نیروی برشی در محل اتصال، بر اساس میدان‌های کششی و فشاری در جان تیر انتقال یافته است. در واقع، جان و بال‌های فشاری و کششی، همانند یک خرپا در این ناحیه برش را انتقال داده‌اند (شکل(۹-الف)). ظرفیت بیش از انتظار نمونه S2 را نیز می‌توان با شکل گیری میدان‌های کششی و فشاری در ورق جان تیر و ایجاد مکانیزم خرپایی در تیر برای انتقال برش توجیه نمود. میدان‌های کششی قطری به وجود آمده در حالت S1 به علت وجود اتصال بین جان تیر و بال ستون، زاویه‌ای در حدود ۴۵ درجه دارد. ولی در نمونه S2 به علت حذف اتصال، زاویه میدان‌های کششی نسبت به محور افقی کاهش یافته است. این پدیده سبب کاهش ظرفیت نمونه S2 نسبت به نمونه S1 شده است. در نمونه S3 با وجود حذف بخشی از جان، میدان‌های کششی و فشاری در امتداد قطری ورق جان و با شیب کمتری نسبت به نمونه‌های S1 و S2 شکل گرفته‌اند. بر اساس این نتایج، می‌توان مشاهده نمود که در اتصال تیر به ستون، نیروهای برشی با شکل گیری میدان‌هایی کششی و فشاری قطری در جان تیر و تشکیل مکانیزم خرپایی در ناحیه اتصال، انتقال پیدا می‌کنند.

نتیجه

در این مقاله، به صورت تحلیلی، به بررسی نحوه انتقال برش در اتصال تیر به ستون در قاب‌های خمشی فولادی و همچنین بررسی نقش جان تیر در انتقال برش پرداخته شده است. نتایج تحلیلی نشان داده‌اند که انتقال برش در این نوع اتصالات، بر اساس تئوری تیر برنولی (که بر آن اساس قسمت عمده برش توسط جان مقطع منتقل می‌شود)، صورت نگرفته، و وجود اتصال جان برای انتقال سهم عمده نیروی برشی، الزامی نیست. پس از شکل گیری میدان‌های قطری کششی و فشاری در جان تیر، این مجموعه در کنار بال فشاری و کششی تیر، به صورت یک خرپا عمل نموده، و سبب انتقال برش بین تیر و ستون می‌گردد. مهمترین نتایج حاصل از تحقیق انجام شده به شرح زیر است:

۱. نتایج حل المان محدود، ظرفیت و سختی نتایج آزمایشگاهی را، به خوبی برآورد کرده است.

۲. در اثر حذف اتصال جان تیر به بال ستون در اتصالات خمشی فولادی جوشی بررسی شده، ظرفیت و سختی سیستم کمتر از ۱۰ درصد کاهش یافته است.

۳. تأثیر جوش جان بر صلبیت اتصالات خمشی فولادی، ناچیز و کمتر از ۶ درصد است.

۴. ناحیه پلاستیک ایجاد شده در هر سه نمونه، تقریباً با طول یکسان، در بال تیر فولادی تشکیل شده است. در حالتی که اتصال جان تیر به ستون وجود داشته باشد، بخش‌هایی از جان تیر نیز وارد ناحیه پلاستیک شده و ظرفیت سیستم افزایش می‌یابد.

۵. انتقال برش در اتصالات تیر به ستون با مقاطع H شکل با مکانیزم خرپایی در ناحیه اتصال صورت می‌گیرد، به طوری که بال‌های فشاری و کششی به همراه میدان‌های فشاری و کششی قطری در جان، تشکیل یک خرپا را داده، و برش بدین نحوه انتقال می‌یابد.

مراجع

1. Nakashima, M.; Roeder, CW.;Maruoka, Y.; Steel moment frames for earthquakes in United States and Japan. Journal of Structural Engineering, ASCE 2000; 126(8):861–8.

2. SAC.;Seismic design criteria for new moment-resisting steel frame construction. Report No. FEMA 350. SAC Joint Venture, Sacramento, CA. 2000.

3. Lee, CH.; Uang,CM.;Analytical modeling of dual panel zone in haunchrepaired steel MRFs. Journal of Structural Engineering ASCE 1997;123(1):20–9.

4. Popov, EP.; Yang,TS.;Balan T.;Steel MR connection design criticallyreviewed.In: Proceedings of EERC-CUREe symposium in honor ofVitelmo V. Bertero. 1997.

5. Goel, SC.;Stojadinovic, B.; Lee,KH.;Truss analogy for steel momentconnections. Engineering Journal AISC 1997;34(2):43–53.

6. Choel-Ho,Lee.; Review of force transfer mechanism of welded steel moment connections,Journal of Constructional Steel Research 62 (2006) 695–705.

7. Gere, JM.; Timoshenko, SP.;Mechanics of materials. Monterey (CA):Brooks/Cole Engineering Div.; 1984.

8. Mele, E.; Calado, L.; De Luca,A.;Experimental Investigation on European WeldedConnections, Journal ofStructural Engineering, Vol. 129, No. 10, October 1, 2003.

9. Chen, W.; Zhang, H.;Structural plasticity theory, problems, and CAE software, Springer-Verlag New York Inc (1991).