

تحلیل کامپیوتری اتصالات پیچی با ورق پیشانی هم‌تراز

محمد رضا بهاری

استادیار گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۶/۱۰/۲۱، تاریخ تصویب ۷۷/۳/۱۶)

چکیده

در این مقاله مشخصه‌های سختی و مقاومت اتصالات پیچی با ورق پیشانی هم‌تراز بکمک مدل اجزاء محدود غیرارتجاعی مورد بحث قرار می‌گیرد و نتایج نظری با ملاحظات آزمایشگاهی موجود مقایسه می‌گردند. برای انجام تحلیل سه بعدی (3D) از نرم‌افزار ANSYS که یک کد اجزاء محدود عمومی است استفاده می‌شود. کلیه اعضای اصلی که پاسخ کلی این اتصالات را تحت تاثیر قرار می‌دهند، شامل ستون، تیر، پیچ، خمیری شدن مواد، سختی کرنشی و اندرکنش بال ستون - ورق پیشانی در نواحی تماس، در این مطالعه لحاظ می‌شوند. رفتار کلی گشتاور - چرخش، هم در شرایط اولیه بیجان‌دستی^(۱) و هم پیش کشیده^(۲) مورد بحث قرار گرفته و با آزمایشات مقایسه می‌شوند.

کلید واژه‌ها: اجزاء محدود، ورق پیشانی هم‌تراز، پیچ، سازه‌های فولادی، اتصالات، نیمه صلب، تیر، ستون

مقدمه

این اتصال توانایی انتقال گشتاور قابل توجهی را دارد. هرکدام از دو اتصال شکل ۱ محدود گسترده‌ای از صلیبیت را از خود نشان می‌دهند که به خواص هندسی و مصالح بکار رفته برای اتصال بستگی دارد. لکن هر دو اتصال از نوع نیمه صلب محسوب می‌شوند. این گستره در مورد اطلاعات آزمایشگاهی اتصال ورق پیشانی که در این مقاله مورد مقایسه قرار می‌گیرند، در شکل ۲ نشان داده شده است. علت استقبال جامعه مهندسی از اتصال ورق هم‌تراز، خصوصاً در قابهای پرتال، هم‌تراز بودن ورق پیشانی با عمق تیر است که کار ساخت و حمل و نصب آنرا بمراتب آسان می‌کند؛ نیز از نظر معماری مشکلی را باعث نمیشود.

با پیشرفت چشمگیر نرم‌افزارها و سخت افزارهای کامپیوتری، موانعی که بدلیل پیچیدگی طرح و ارزیابی اتصالات نیمه صلب آنها را از بکارگیری مهندسی باز می‌داشت، بتدریج کنار می‌روند. امروزه کارهای تحقیقاتی جهت یافتن تاثیر نیمه صلب بودن اتصال بر پایداری و چگونگی طراحی بهینه قاب های حاوی اینگونه اتصالات

اتصال ورق پیشانی هم‌تراز^(۳)، مرکب از ورق پیشانی جوش شده به انتهای تیر و پیچ خورده به بال ستون، امروزه بحدی مقبولیت یافته است که شاید متداولترین نوع اتصال پیچی تیر به ستون سازه‌های ساختمانی در اروپا و آمریکا محسوب می‌شود. استفاده کامل از این اتصالات به دانش فنی مربوط به رفتار آن در بارهای نهایی و بهره‌برداری بستگی دارد.

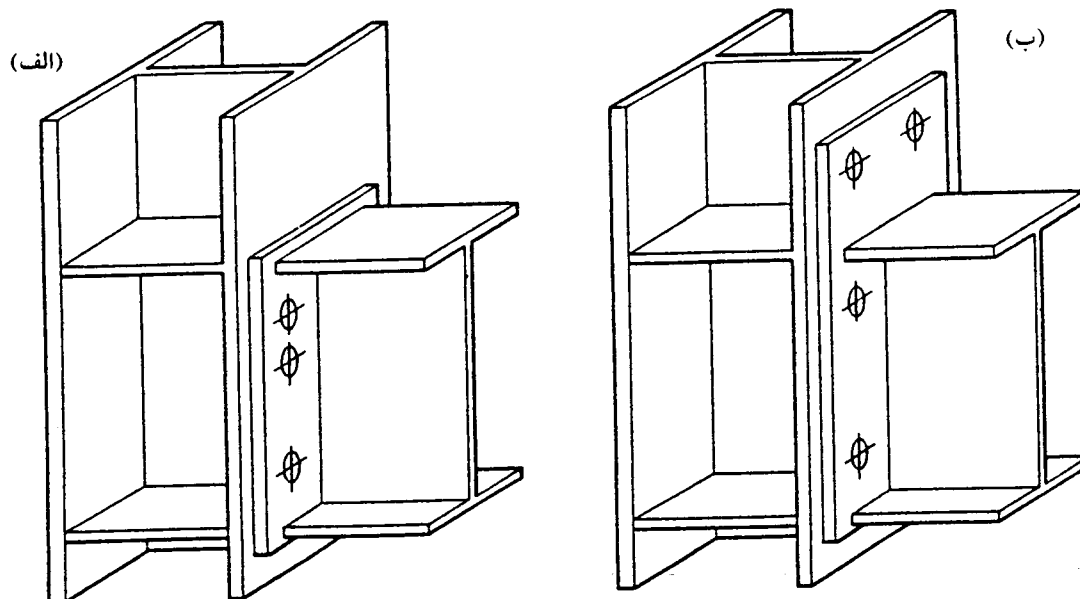
اتصالات با ورق پیشانی با توانایی انتقال گشتاور در دو گونه اصلی بکار می‌روند. اتصالات با ورق پیشانی هم‌تراز و یا ورق بلند^(۴) که در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. در هر دو گونه اتصال، یک ورق در کارگاه به انتهای تیر جوش می‌شود و سپس مجموعه تیر - ورق پیشانی در محل و با کمک پیچهای مقاومت بالای اصطکاکی^(۵) به بال ستون پیچ می‌گردد. اتصال با ورق بلند ظرفیت گشتاور بالاتری از ورق هم‌تراز دارد و بعضاً بعنوان یک اتصال با مقاومت کامل^(۶) طرح می‌شود؛ یعنی گشتاور نهایی مقاوم حداقل برابر گشتاور خمیری تیر است. بعبارت دیگر، ورق هم‌تراز غالباً بعنوان یک اتصال ساده^(۷) تلقی می‌شود هرچند که

متعددی برای تعیین ضخامت ورق پیشانی پیشنهاد شده است، لکن این روابط بگونه‌ای باهم غیرهماهنگ هستند که بعضاً تا ۱۰۰٪ با یکدیگر تفاوت دارند [۱۵].

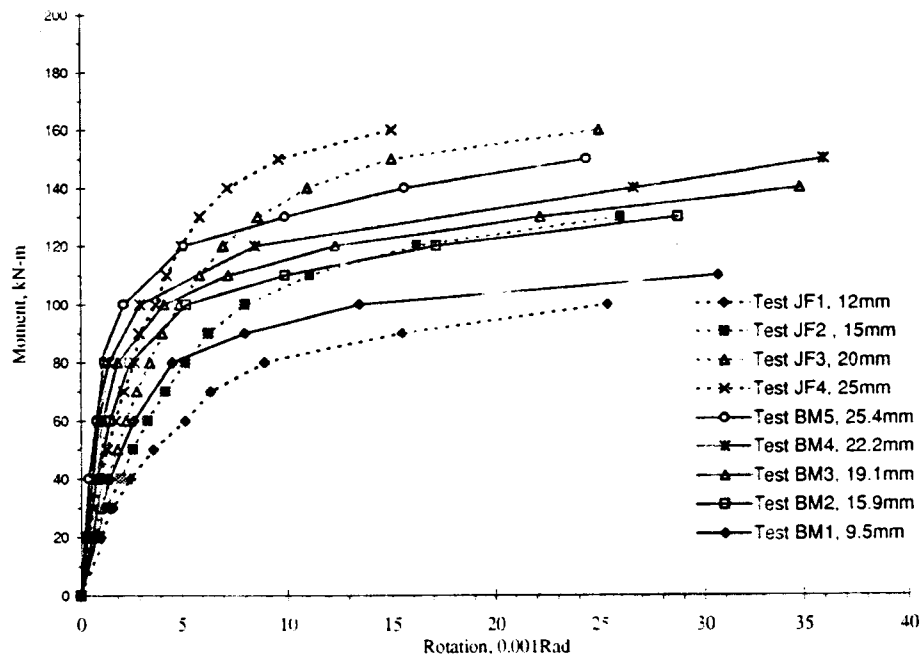
بسیاری از آزمایشات گزارش شده اتصالات از پیچهای HSFG پیش کشیده استفاده کرده‌اند، لکن پیچهای نمره ۸.۸ نیز می‌توانند بطور مشابه استفاده شوند. پیش کشیدگی پیچ و مقدار آن، مقاومت نهایی اتصال را تغییر نمی‌دهد [۱۲، ۲]، لکن پیش کشیدگی سختی اولیه اتصال را افزایش می‌دهد و تنش در پیچ تا هنگام آغاز تسلیم اتصال نسبتاً ثابت می‌ماند که از نظر عمر خستگی مفید است.

بسیاری از تحقیقات سازه‌های فولادی منحصراً پیرامون رفتار اعضای سازه‌ای و یا خود سازه بوده است [۷] و تا اواخر سال ۱۹۷۰، رفتار اتصال بعنوان یک عنصر مستقل کمتر مورد بررسی قرار گرفته بود. لکن از آن زمان تا حال، تلاش قابل توجهی بمنظور پیش بینی وضعیت های نهایی اتصالات صورت گرفته است. برای نمونه رویکرد خط تسلیم^(۱) به جوابهای حد بالایی برای گشتاور نهایی، M_{II} انجامیده است [۱۸، ۱۳]. این رویکرد هیچگونه اطلاعاتی راجع به تغییر شکلهای واقعی اتصال نمیدهد و تغییرات تدریجی گشتاور - چرخش را پیش بینی نمی‌کند. بعلاوه یک روش جامع و کامل باید دربرگیرنده رفتار ارتجاعی و خمیری اتصال باشد [۶]. با روش اجزاء محدود میتوان رفتار پیچیده اتصالات با ورق پیشانی

و نیز تلاش برای ارائه منحنیهای $M - \phi$ تحلیلی مستند بر آزمایشات، فرصت های خوبی برای مهندسين فراهم آورده است. چنانچه منحنی فوق نمایانگر رفتار $M - \phi$ حقیقی اتصال نباشد، نتایج تحلیل اشتباه آمیز خواهد بود و ضرورتاً در جهت اطمینان نخواهد بود. این مشکل در مورد اعضای فشاری بدلیل گیرداری های نادرست اتصال میتواند به ناپایداری آنها بیانجامد [۸]. با توجه به اینکه انجام آزمایشات جامعی که تاثیر کلیه پارامترها را لحاظ کند، غیر اقتصادی و غیر عملی است بهترین راه داشتن مدل های تحلیلی خوب میباشد که با اطلاعات تجربی همخوانی داشته باشند. بعلاوه از نقطه نظر طراحی، اتصال نه تنها باید از نظر مقاومت مناسب باشد، بلکه شرایط لازم در مورد حداقل ظرفیت چرخش را نیز باید برآورده نماید. در ناحیه کششی اتصالات با ورق پیشانی تعدادی حالات حدی باید مدنظر باشند که عبارتند از: (۱) شکست پیچها (۲) گسیختگی ورق پیشانی (۳) ترک خوردن جوشها (۴) گسیختگی بال ستون [۹]؛ در ناحیه فشاری عمده توجه به کمناش جان ستون میباشد. موارد فوق پیچیدگی رفتاری این اتصالات را علیرغم ترکیب هندسی بسیار ساده آن تأیید می‌کند. از نگاهی دیگر رفتار اتصال به تعداد، آرایش هندسی و مقاومت پیچهای بکاررفته، عمق تیر، ضخامت ورق پیشانی و بال ستون و مقاومت های آنها بستگی دارد. هرچند که روشهای طراحی



شکل ۱: اتصالات پیچی با ورق پیشانی (الف) ورق هم تراز (ب) ورق بلند.



شکل ۲: گستره گشتاور دوران اتصالات آزمایشی مختلف با ورق پیشانی هم تراز.

فوق در اینجا فقط به ایجاز صحبت می شود. ترکیب کلی اتصال ورق هم تراز مورد مطالعه در این مقاله در شکل ۱ نشان داده شده است. جان و بال تیروستون و سخت کننده های بال های ستون به همراه ورق هم تراز پیشانی با کمک اعضای پوسته ای چهارگره ای با قابلیت خمیری شدن که در برنامه ANSYS به STIF43 موسوم است، مدل گردیده است. سرپیچ و مهره آن بکمک اعضای توپر هشت گره ای (آجری) که هر گره دارای سه درجه آزادی انتقالی است، یعنی STIF45 مدل شده است. باتوجه به اینکه سر و مهره پیچ به ترتیب با ورق پیشانی و بال ستون در کلیه مراحل بارگذاری در تماس کامل می باشند، لذا آنها به ترتیب با ورق پیشانی و بال ستون بصورت متصل به هم در نظر گرفته شدند؛ یعنی اعضای آجری سر و مهره پیچ هر کدام دارای یک وجه مشترک با اعضای پوسته ای ورق پیشانی و بال هستند. باتوجه به اینکه سر و مهره پیچ بشکل شش وجهی در نظر گرفته شده اند، ابعاد استاندارد آنها را میتوان دقیقاً اعمال نمود. جان پیچ^(۳) با استفاده از شش عضو خرابایی سه بعدی موسوم به STIF52 مدل شده اند که دورترین گره های گوشه ای سر و مهره را به یکدیگر وصل می کنند. بعبارت دیگر با استفاده از شش عضو خرابایی برای مدل کردن جان پیچ، میتوان به مقدار و توزیع نیروی پیچ نیز پی برد. این

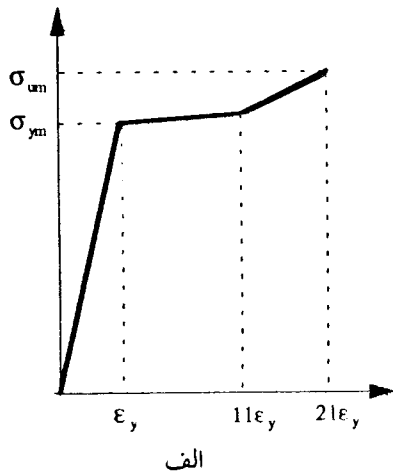
را مدل نمود و در عین حال مسائلی مثل نیروهای تماسی و احیاناً اهرمی^(۱) و نرم شدگی تدریجی با افزایش بار را تا حالات حدی مطالعه نمود.

مطابق پیش نویس آئین نامه جدید اروپایی EC3، اتصالات با ورق هم تراز جزء اتصالات نیمه مقاوم^(۲) محسوب میشوند در حالیکه اتصالات با ورق بلند جزء اتصالات با مقاومت کامل منظور گردیده است. در بریتانیا این اتصال بعنوان اتصالی که تنها گشتاورهای بمراتب کمتر از ظرفیت تیر مربوطه دارد، تلقی می شود [۱۴] ولی به درصد گشتاورپذیری آن اشاره نشده است. بر طبق مطالعه آزمایشگاهی توسط [۱۱] این اتصال بطور متوسط تا ۸۱٪ گشتاور خمیری تیر را میتواند منتقل کند. بهر حال در وضعیت موجود، این اتصال تا موقعیکه روابط قابل اعتمادی در مورد ظرفیت گشتاوری اش ارائه نشده است، بر پایه ظرفیت برشی طراحی می شود.

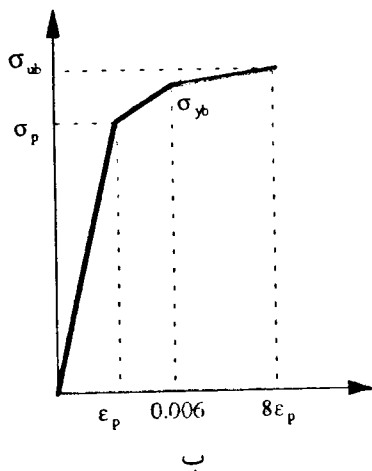
توصیف مدل

قبلاً مدل سه بعدی برای تحلیل اتصالات پیچی ورق بلند با ستون حاوی سخت کننده [۲، ۱۶] و بدون سخت کننده [۳] بطور موفقیت آمیزی استفاده شده است. لذا بدلیل شباهت مدل حاضر با مدل بکار رفته در مقالات

پیش‌تیندگی $\sigma_p^{(3)}$ را به تنش تسلیم وصل می‌کند که فرض میشود در کرنش 0.006 اتفاق می‌افتد؛ خط سوم این نقطه را به تاب نهایی در $8\epsilon_p$ متصل می‌نماید که در آن ϵ_p کرنش متناظر با σ_p است (شکل ۳ - ب).



الف: اعضای تیر، ستون و ورق انتهایی.



ب: مولفه‌های پیچ.

شکل ۳: منحنی تنش - کرنش.

شرایط مرزی

ویژگی غیرخطی اتصالات پیچی عمدتاً به دلیل خمیری شدن اعضای اصلی و تاحدودی بخاطر تغییر یافتن نواحی در حال تماس بال ستون و ورق پیشانی با افزایش نیرو

مسئله مخصوصاً در مورد ورق‌های نازک که پیچهای کششی را تحت خمش دو محوره قرار می‌دهند، حائز اهمیت است [۱۶]. برای مدل کردن مرز مشترک ورق و بال ستون از اعضای تماسی سه بعدی استفاده گردید و ضریب اصطکاک برابر 0.5 در حالت بسته بودن این المانها منظور شد. سطوح واقعی هیچگونه تورفتگی نسبت به هم ندارند و سختی آنها در محل تماس عملاً $K = \infty$ میباشد. لیکن چنین سختی‌های بالائی از نظر عددی قابل اعمال نیستند و همگرایی جواب‌ها با توجه به مقدار زیاد اعضای تماسی، تقریباً غیرممکن است. در این مطالعه سختی K بصورت زیر تخمین زده شده است:

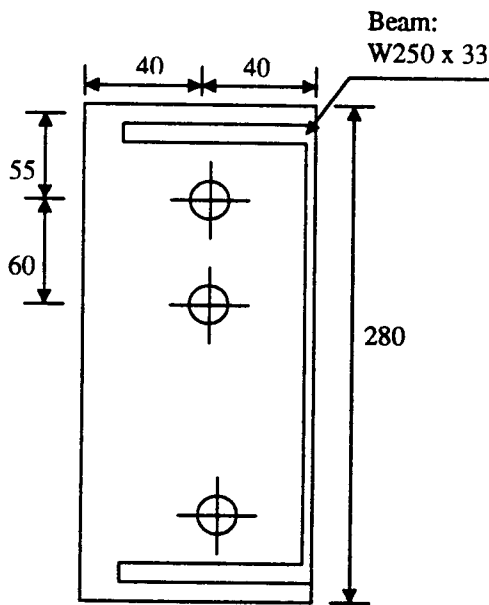
$$K = N \frac{AE}{(n \times t)}$$

که در آن A سطح ورق پیشانی است، یعنی حاصلضرب عرض در ارتفاع $(B_p \times D_p)$ ؛ "E" مدول ارتجاعی ورق؛ "n" تعداد اعضای تماس دهنده دو سطح و "t" کمینه ضخامتهای ورق پیشانی - بال ستون است. ضریب N نشان دهنده میزان بزرگنمایی سختی محدود محوری $(\frac{AE}{t})$ و شبیه ساختن آن با سختی واقعی ورق روی ورق است. در عمل این ضریب بسته به ریزی اعضاء و مقدار اندرکنش دو سطح در تماس متغیر است، لکن $N = 5$ در این مطالعه به جوابهای قابل قبولی در زمان همگرایی مناسب می‌انجامد. (هرچه N بیشتر انتخاب شود، زمان همگرایی نیرو در اعضای تماس بدلیل تکراری^(۱) بودن آن بیشتر می‌شود و خطا نیز کمتر می‌شود).

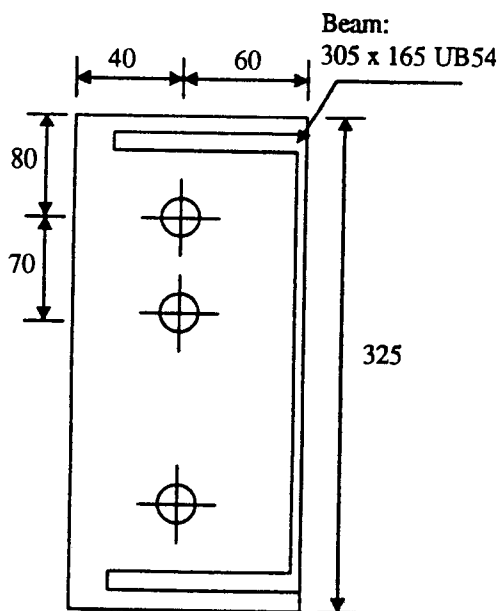
خواص مواد^(۲)

دو گونه منحنی تنش - کرنش در این مدل استفاده شده‌اند. منحنی اول برای اعضای که معمولاً از فولاد سازه‌ای با کربن کم ساخته میشوند، استفاده می‌گردد که شامل جان‌ها و بالهای تیر و ستون و نیز ورق پیشانی است. این منحنی ابتدا و تارسیدن به تنش تسلیم خطی است و سپس با شیب معادل 2% مدول ارتجاعی کرانه خمیری را تا $11\epsilon_p$ تخمین زده و آنگاه فرض میشود که تاب نهایی در $21\epsilon_p$ اتفاق بیافتد (شکل ۳ - الف). منحنی دوم در مورد مواد پیچ است که شامل اعضای جان، سر و مهره آن است. در این منحنی خط دوم تنش موسوم به حد بالایی

آنکه به یک روش هماهنگ برای تبدیل تغییر مکان به چرخش نایل شویم، چرخش در هر مرحله از بارگذاری به صورت حاصل تقسیم "حداکثر جدایی" (۳) ورق (ونه تغییر مکان) نسبت به بال ستون" به "فاصله مرکز به مرکز بال بالا و پایین تیر" تعریف می شود؛ یعنی $\phi_1 = \Delta\delta / D$. در حقیقت این تعریف معادل دوران خود گره است. دوران کلی اتصال، یعنی دوران وتری تیر، با تقسیم تغییر مکان افقی ورق پیشانی به عمق حاصل می گردد.



(الف): نمونه های مرجع [۱۵].



(ب): نمونه های مرجع [۶].

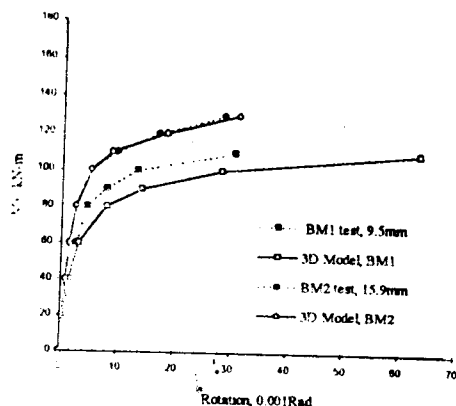
شکل ۴: توصیف هندسه نمونه های آزمایشی بکاررفته.

است. بنابراین ضرورت دارد که بارها به تدریج و در گامهای کوچک اضافه شده و اعمال شوند. چون اتصال تحت بار خمش خالص مطالعه می شود معادل کوپل آنرا میتوان بصورت توزیع دوخطی (۱) در نظر گرفت که در امتداد ضخامت بال تیر مقدار نیرو بر واحد طول یکنواخت و در امتداد عمق جان بطور خطی از کششی در بالا به فشاری در پایین تغییر می کند. شرایط مرزی تغییر مکانی قرینه در امتداد خط میانی عمق ستون از یک طرف و نیز در امتداد صفحه ای که از وسط ضخامت جان های تیر و ستون می گذرند، از طرف دیگر، تعریف شدند. لذا نتایج فقط برای اتصالات دوطرفه، یعنی اتصالاتی که در هروجه بال ستون اتصال مشابهی وجود دارد و تنها یک چهارم کل اتصال مورد تحلیل قرار می گیرد، معتبر است.

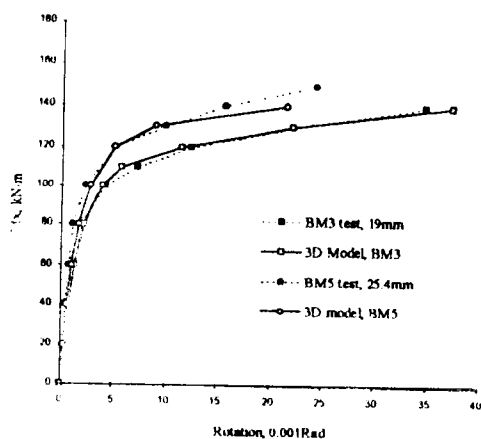
تعریف گشتاور - دوران

برای نایل به رابطه ای که تغییر مکان ورق پیشانی را به دوران متناظرش مربوط سازد، لازم است به چگونگی تغییر شکل آن توجه شود. ورق پیشانی، در امتداد خط جوشش به جان تیر، از بال ستون جدا می شود و تمایل دارد حول بال فشاری تیر بچرخد. لیکن، مقدار جداشدگی در راستای عمق تیر خطی نیست. بال کششی تیر ابتدا به نظر میرسد که حول اولین ردیف از پیچهای موجود در ناحیه کششی کنسول می گردد و ردیف دوم از پیچهای این ناحیه جز در حوالی مقاومت نهایی اتصال، نیروی بمراتب کمتری را تحمل می کنند. از طرف دیگر، بال ستون در اثر کشش حاصل از پیچها تمایل به خم شدن حول جان ستون دارد. در اتصال به ستونی که دارای بال بسیار منعطف است، هرچند که تغییر شکل در مجاورت سخت کننده ها بسیار ناچیز است، ولی مقدار قابل توجهی خمش مابین دو سخت کننده واقع در کشش و فشار نمایان می گردد که حداکثر مقدارش درست بالای پیچهای ردیف اول اتفاق می افتد. بر اثر تغییر شکل زیاد بال نازک ستون، ورق پیشانی تحت دوران جسم صلب (۲) واقع می شود و طبعاً به تغییر مکان (کل) زیاد در بال کششی تیر می انجامد. بمنظور یافتن دوران اتصال، لازم است تا چرخش ناشی از انعطاف پذیری ستون کنار گذاشته شود. بنابراین، و برای

مقایسه نتایج تحلیلی



شکل ۵: مقایسه مدل سه بعدی با آزمایش های ورق نازک (مرجع ۶).



شکل ۶: مقایسه مدل سه بعدی با آزمایش های ورق ضخیم (مرجع ۶).

مقایسه در مورد کلیه اتصالات ارائه شده در گزارشات فوق انجام گردید و به نظر می رسد مدل ارائه شده با تعریفی که برای تبدیل تغییر مکان به دوران بکار رفت، مناسب است. شکل های ۵ و ۶ نتایج $M - \phi$ مربوط به گزارش اول را ارائه می دهند. نتایج مدل سه بعدی در مورد کلیه ضخامت های ورق پیشانی کاملاً قابل قبول هستند، مگر مورد BM1 که در آن مدل رفتاری منعطف تر از آزمایش دارد. البته این رفتار نرم پس از آنکه تنش های ورق پیشانی در قسمت سختی کرنش هستند یعنی $M = 60 \text{ KN.m}$ اتفاق می افتد (شکل ۵). شکل های ۷ و ۸ حاوی نتایج ورق های هم تراز به ترتیب نازک، یعنی JF1 و JF2 و ضخیم یعنی JF3 و JF4 است که از گزارش دوم اخذ گردیده اند. مدل و نتایج آزمایشگاهی تا رسیدن به گشتاور تسلیم در

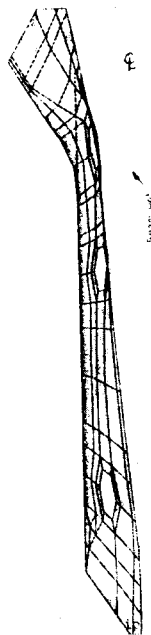
مطابق آزمایشات گزارش شده توسط مرجع [۱۷] در مورد اتصال ورق بلند به یک میز صلب، و مقاله مروری [۱۰] که رفتار تجربی انواع اتصالات متداول تیر به ستون را بر پایه کارهای [۱۱، ۵] خلاصه نموده اند، منحنی های گشتاور - دوران در مورد اتصالات با ورق پیشانی در حالت کلی یک محدوده اولیه خطی دارند که تقریباً تا ۶۰٪ ظرفیت نهایی ادامه می یابد. متعاقب آن طی یک زانوی گرد^(۱) اتصال نرم می گردد و مجدداً یک ناحیه تقریباً خطی دیگری با شیب حدود $\frac{1}{4}$ شیب اولیه در ناحیه خمیری آغاز می شود. سختی اتصال و ظرفیت گشتاور آن نیز عمدتاً به ضخامت ورق، فاصله بال کششی تیر تا اولین ردیف پیچ های کششی و فاصله عرضی پیچ های موجود در یک ردیف از یکدیگر^(۲) بستگی داشته است. افزودن سخت کننده های ستون در مقابل بال های تیر، ظرفیت تحمل گشتاور اتصال را افزایش می دهد، لیکن سختی اولیه چندان تغییر نمی کند.

برای آنکه دقت مدل پیشنهادی آزموده شود، نتایج آزمونه های گزارش شده توسط [۱۵] به همراه نتایج [۶] با نتایج تحلیلی مقایسه می شوند. توصیف هندسی هر دو نمونه آزمایشگاهی در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود تیر بکاررفته توسط گزارش اول W250x33 Grade 300 W با تنش تسلیم 363MPa و شش پیچ M22 (7/8") از نوع A325 برای اتصال ورق به بال بسیار ضخیم و سفت (شماره ستون گزارش نشده است) استفاده گردیده که تا ۱۷۵ KN پیش کشیده شده بوده اند. ضخامت ورق هم تراز از ۹/۵ م تا ۲۵/۴ م در تغییر است (آزمایشات BM1 تا BM5). تیر و ستون گزارش دوم 54UB (305 × 165 × 305) (معادل W310x54kg/m) و 354x254x132UC (معادل W250x131kg/m) بوده اند. از شش پیچ M20 از نوع 8.8 که معادل A325 است بصورت پیچاندن دستی استفاده شده است. لازم به توضیح است که کشش اولیه پیچها از نوع تغییر مکانی است نه نیرویی لذا، با لحاظ کردن کرنش اولیه^(۳) معادل در مورد اعضای خریایی که نمایندگان جان پیچ در مدل هستند، سیستم پیش کشیده گردید.

الگوهای توزیع تنش و تغییرشکل^(۱)

در اتصال BM1، یعنی ورق نازک، هر دو تنش افقی σ_x و عمودی σ_y قابل توجه اند. بیشینه σ_x در امتداد محل جوش جان تیر به ورق در ناحیه کششی است و بیشینه σ_y در تراز اولین ردیف پیچها خود را نشان می دهد. توجه شود که σ_x مولود خمش ورق حول جان تیر و σ_y نتیجه خمش ورق حول ردیف های افقی پیچها است. لذا تغییر شکل ورق کاملاً سه بعدی است. در امتداد جان تیر، ورق تقریباً بطور خطی حول بال فشاری خم می شود، در صورتیکه در لبه آزاد، تقریباً بدون تغییر می ماند (شکل ۹). در میان این دو حد نیز تغییرات شکل در عرض ورق کاملاً غیرخطی است.

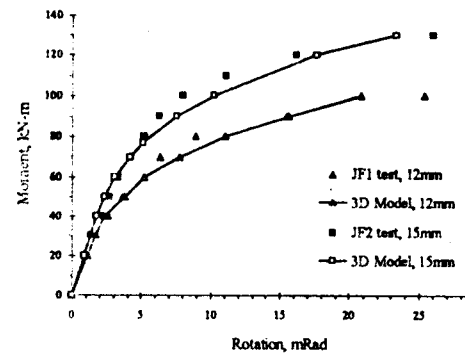
با افزایش تدریجی ضخامت ورق، یعنی از BM2 به BM6، تغییر شکلها مستقیم تر می شوند و تنها تنش عمودی، σ_y در مجاورت پائینی پیچهای ردیف اول قابل توجه است و تنش عمود بر آن عمدتاً نتیجه اثر پواسون است. تغییر شکل متناظر در مورد ورق ضخیم طبیعی دو بعدی دارد و عمدتاً خمش حول پیچهای ردیف اول صورت می گیرد. چگونگی تغییر شکل ورق در بار نهایی که البته برای وضوح بیشتر ۵ برابر بزرگ تر شده است در شکل ۱۰ آورده شده است.



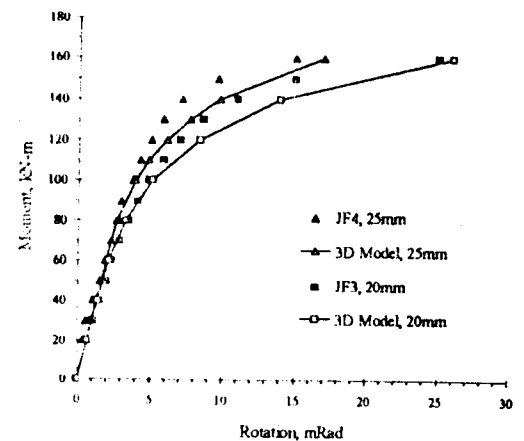
شکل ۹: چگونگی تغییر شکل ورق پیشانی نازک.

هماهنگی عالی هستند، و بعد از آن مدل تا حدودی نرم تر می شود، هر چند که در این سطح نیز بعنوان جواب حد پایینی هنوز قابل قبول هستند.

همانطور که دیده می شود افزایش ضخامت ورق پیشانی سختی و مقاومت اتصالات را افزایش می دهد، لکن در محدوده ورقهای نازک این تغییر محسوس تر است. بعنوان مثال افزایش ضخامت از ۱۵ م.م به ۲۵ م.م، یعنی ۶۵٪ افزایش ضخامت، مقاومت نهایی را ۳۰٪ و سختی اولیه را ۶۰٪ اضافه می کند. حائز توجه اینکه مقاومت ورق پیشانی هم تراز در حدود ۶۰-۷۰٪ اتصال مشابه با ورق بلند است. بنابراین در شرایط مساوی، این اتصال از نوع نیمه مقام محسوب می گردد.



شکل ۷: مقایسه مدل سه بعدی با آزمایش های ورق نازک (مرجع ۱۵).



شکل ۸: مقایسه مدل سه بعدی با آزمایش های ورق ضخیم (مرجع ۱۵).

تأثیر پیچهای ردیف دوم

بمنظور مطالعه اثر پیچهای ردیف دوم روی مقاومت و سختی اتصالات ورق هم تراز، اتصالات JF مجدداً با حذف ردیف دوم تحلیل گردید. سختی اولیه به نظر نمی رسد تغییر زیادی بکند (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). لیکن اتصالات تغییر شکل پذیرتر می شوند و ظرفیت های چرخشی آنها اضافه می شوند. سختی مماسی منحنی $M-\phi$ در محدوده خمیری، برای ورقهای ضخیم تر تندتر افقی می شود. مقاومت نهایی اتصال کاسته می شود و در حالت عمومی مقدار کاهش برای اتصالات ضخیم تر بیشتر است؛ مثلاً مقدار کاهش مقاومت JF2 (ورق نازک) و JF4 (ورق ضخیم) به ترتیب ۱۰٪ و ۲۵٪ بوده است.

خلاصه و نتیجه گیری

رفتار اتصالات با ورق هم تراز از ابتدا تا بار نهایی می تواند بکمک یک مدل سه بعدی کامل مدل گردد. مدل پیشنهادی برای ۱۱ مورد آزمایش گزارش شده با ضخامت های مختلف ورق پیشانی و نیز با تفاوت در هندسه تیر و ستون و پیچ مقایسه گردید و نتایج پیش بینی شده در هر دو مورد محکم کردن دستی و یا با پیش تنیدگی دارای دقت قابل قبول هستند. نتایج زیر نیز قابل توجه میباشند.

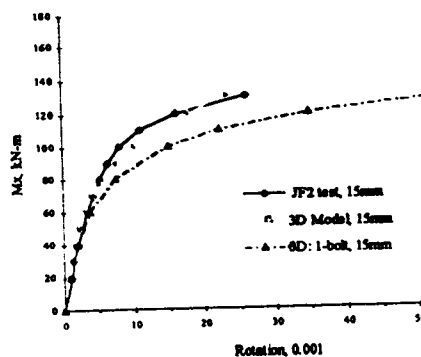
۱- مدل اجزاء محدود غیرارتجاعی که قبلاً در مورد ورق پیشانی بلند بکاررفته بود، می تواند بطور موفقیت آمیزی برای مدل کردن رفتار ورق هم تراز نیز بکار برده شود. نتایج هم از جنبه مقاومتی و هم سختی با آزمایشات همگونی دارند.

۲- علیرغم ظاهر ساده اتصالات، مشخصات $M-\phi$ می تواند با تغییر در مولفه های اتصال بنحو چشمگیری تغییر نماید. این حساسیت بعلت نامعین بودن زیاد اتصال و خمیری شدن موضعی می باشد. لیکن، تیپ منحنی های $M-\phi$ مشابه یکدیگرند و ابتدا یک منطقه تقریباً خطی وجود دارد و متعاقباً با یک زانوی گرد به کرانه خمیری منتقل می شود که سختی نیز بشدت کاهش می یابد.

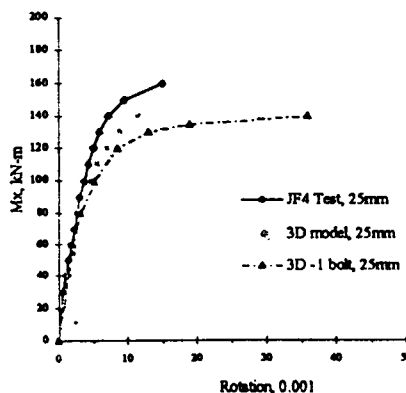
۳- اتصالات با ورق هم تراز مطمئناً از نوع نیمه مقاوم هستند و اطلاق "مفصلی" به آنها صحیح بنظر نمی رسد.



شکل ۱۰: چگونگی تغییر شکل ورق پیشانی ضخیم.



شکل ۱۱: تأثیر پیچهای ردیف دوم بر رفتار ورق هم تراز نازک.



شکل ۱۲: تأثیر پیچهای ردیف دوم بر رفتار ورق هم تراز ضخیم.

۶ - چون گشتاور اعمالی تیر ابتدا به ورق پیشانی منتقل می شود، مود رفتاری این ورق چگونگی تغییر شکل بال ستون را تحت تاثیر قرار می دهد. در عین حال، بسته به سختی نسبی بال ستون، این بال می تواند در تغییر مکان ورق پیشانی مشارکت یا مخالفت داشته باشد.

۴ - ورق پیشانی ضخیم اساساً حول پیچهای کششی ردیف اول خم می شود و خمش عرضی در آن ناچیز است.

۵ - ورق پیشانی نازک دارای رفتار خمشی دو محوری است و بمقدار زیادی از جان تیر متصل به آن تاثیر می پذیرد.

مراجع

- 1 - Aggarwal, A. K. (1994). "Comparative tests on endplate beam-to-column connestions." *Journal of Constructional Steel Research*, 30, 151-175, U.K.
- 2 - Bahaari, M. R., and Sherbourne, A.N. (1995). " Structural Behavior of Endplate Connected to Stiffened Column." *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 122(8), 926-935, USA
- 3 - Bahaari, M. R., and Sherbourne, A. N. (1996). "3D Simulation of Bolted Connections to Unstiffened Columns: Part 2: Extended Endplate Connections." *Journal of Constructional Steel Research*, 40(3), 184 - 224, U.K.
- 4 - Eurocode No. 3(EC3), Design of Steel Structures, Part 1. 1: General Rules for Buildings. ENV 1993-1-1, *European Committee for Standardization*, Brussels, 1994.
- 5 - Goverdhan, A. V. (1983). "A Collection of Experimental Moment-Rotation Curves and Evaluation of Predicting Equations for Semi-Rigid Connection," *Master of Science Thesis*, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee.
- 6 - Jenkins, W. M., Tong, C. S., and Presott, A. T. (1986). "Moment-transmitting endplate connections in steel construction, and a proposed basis for flush endplate design." *The Structural Engineer*, 64A(5), 121-132.
- 7 - Jenkins, W. M.(1989). "Moment-transmitting bolted endplate connections." *In Structural Connections: Stability and Strength*, Ed. by Narayanan, Elsevier Applied Science Publishers, London, 121-134.
- 8 - Lindsey, S. D., Socrates A., Loannides A, and Goverdhan, A. V. (1985). "The effect of Connection flexibility on steel members and frame stability." *In Connection Flexibility and Steel Frames*, Ed. by W. F. Chen, Published by ASCE, 6-12.
- 9 - Mann, A. P., and Morris, L. J. (1979). "Limit State design of extended endplate connections." *J. of Structural Div.*, ASCE, 105(ST3), 511-526, U.S.A.
- 10 - Morris, G. A., and Packer, J. A. (1987). "Beam-Column Connections in Sreel Frames." *Can. J. Civil Eng.*, 14, 68-76.
- 11 - Nethercot, D. A. (1985). "Steel Beam-Column Connections : A Review of Test Data and Their Application to the Evaluation of Joint Behavior on the Performance of Steel Frames." *CIRIA Project, Record 338*, London.
- 12 - Packer, J. A., and Morris, L. J. (1978). Closure to their Paper "A limit state design method for the tension region of bolted beam column connections." *The Structural Engineer*, 56A(8), London, England, 217-223.
- 13 - Packer, J. A., and Morris, L. J. (1977). "A limit state design method for the tension region of bolted beam column connections." *The Structural Engineer*, 55(10), London, England, 446-458.
- 14 - Pask, J. W. (1982). "Manual on Connections for Beam and Column Construction." *British Constructional Steel*

Work Association, Publication 9. 82, London.

- 15 - Phillips, J., and Packer, J. A. (1981). "The effect of Plate Thickness on Flush Endplate Connections." *In Joints in Structural Steelwork, Supplementary Paper*, Proc. of the Int'l Conf. held at Tesside Polytechnic, Cleveland, April 6-9, Pentech Press, 6.77-6.92.
- 16 - Sherbourne, A. N., and Bahaari, M. R. (1994). "3D Simulation of end-Plate bolted connections." *Journal of Struct. Engrg*, ASCE, 120(11), 3122-3136, U.S.A.
- 17 - Zandonini, R., and Zanon, P. (1987). "Experimental Analysis of Endplate Connections." *In Connections in Steel Structures*, (Ed. by R. Bjorhovde et al.), 41-51.
- 18 - Zoetemeijer, P. (1974). "A design method for the tension side of statically loaded, bolted beam to column connections." *Heron*, 20(1), 1974, 59.

واژه‌نامه

1 - Hand-Tight	پیچاندن دستی
2 - Pretension	پیش کشیده
3 - Flush Endplate	ورق پیشانی هم تراز
4 - Extended	ورق پیشانی ورق بلند
5 - HSFG	پیچ اصطکاکی با مقاومت بالا
6 - Full-Strength	مقاومت کامل
7 - Prying Forces	نیروهای اهرمی
8 - Partial Strength	نیمه مقاوم
9 - Shank	جان پیچ
10 - Proof Stress	پیش تنیدگی اولیه
11 - Rigid Body Rotation	دوران جسم صلب
12 - Gage	فاصله افقی پیچها
13 - Initial Strain	کرنش اولیه
14 - Stress & Deformation Patterns	تنش و تغییر شکل