



## بررسی تاثیر انحراف تیر در اتصال گیردار فلنجی تیر به ستون برافت مقاومت اتصال

مسعود حسین زاده اصل\*، مهسا سعیدزاده

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۲۴ مردادماه ۱۳۹۶  
بازنگری: ۱۷ بهمن ماه ۱۳۹۶  
پذیرش: ۱۸ بهمن ماه ۱۳۹۶  
ارائه آنلاین: ۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۶

### کلمات کلیدی:

اتصال گیردار  
اتصال فلنجی  
تیرمورب  
افت مقاومت اصطکاکی  
لغزش.

**چکیده** در بعضی مواقع به علت مسائل معماری تیرهای فولادی به صورت مورب (زاویه دار) به ستون متصل می شوند. استفاده از تیرهای مورب موجب می شود در براتصال علاوه بر لنگر خمشی، لنگر پیچشی نیز به اتصال وارد شود. در اتصالات گیردار فلنجی تیر به ستون لنگر پیچشی اضافی وارده، موجب افزایش تنش های برشی در صفحه انتهایی می شود که در ترکیب با تنش های برشی ناشی از نیروی برشی موجود در اتصال می تواند منجر به افت مقاومت اصطکاکی و در نتیجه لغزش اتصال در بر ستون شود. در این پژوهش به بررسی لغزش در اتصال تیر مورب به ستون، در اتصالات گیردار فلنجی پرداخته شده است. بدین منظور ۱۲۲ مدل غیرخطی المان محدود تحت زوایای انحراف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۵ در پلان مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج حاکی از آن است که در تیرهای با زاویه انحراف پایین، افزودن یک یا دو ردیف پیچ میانی، روش مناسبی برای کاهش افت مقاومت اصطکاکی در تیرهای مورب می باشد. افت مقاومت اصطکاکی تیرهای با زاویه انحراف ۴۵ درجه قابل توجه می باشد و در نتیجه جهت جبران آن تعداد قابل توجهی پیچ باید به اتصال افزوده شود و ممکن است به لحاظ محدودیت هندسی اتصال افزودن تعداد کافی پیچ برای جبران افت مقاومت میسر نباشد. بنابراین توصیه می شود در تیرهای با انحراف ۴۵ درجه از نوع دیگری از اتصالات استفاده شود.

### ۱- مقدمه

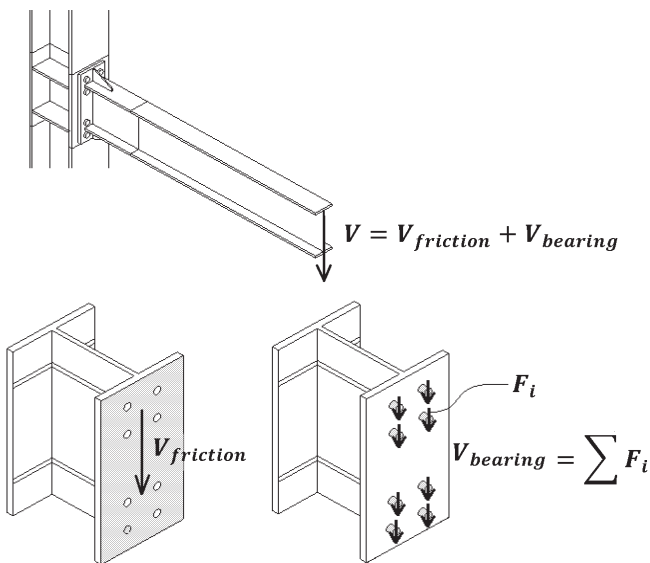
بعد از وقوع زلزله های نورتریج<sup>۱</sup> و کوبه<sup>۲</sup> رفتار نامناسب اتصالات گیردار تیر به ستون قاب های خمشی فولادی، موجب شروع تحقیق های وسیع در مورد رفتار اتصالات در سیستم های مقاوم جانبی شد. اتصال گیردار فلنجی تیر به ستون بدون استفاده از ورق لچکی<sup>۳</sup> و با استفاده از ورق لچکی<sup>۴</sup> می تواند شکل پذیری زیادی را در قابهای خمشی در برابر زلزله ایجاد نماید [۱]. اتصالات مطرح شده در آیین نامه های لرزه ای و تحقیقات پیشین صورت گرفته به طور کلی برای حالتی تعریف شده اند که در آن ها هندسه پلان سازه متقارن بوده و راستای محور طولی تیر، در نقشه پلان سازه، عمود بر بال ستون قرار می گیرد. در مواقعی که به علت وجود موانعی هم چون الزامات معماری، نیاز به اجرای تیر میان ستون هایی می شود که در نقشه پلان در یک راستا قرار ندارند و شکل قرارگیری تیر در پلان به صورت مورب میان دو ستون است؛ در براتصال علاوه بر لنگر خمشی، لنگر پیچشی نیز به اتصال وارد می شود.

در رابطه با اتصال مورب تیر به ستون تحقیقات محدودی انجام شده است. از جمله بررسی مطالعات تحلیلی بر روی رفتار لرزه ای اتصال صلب تیر مورب در پلان به ستون با استفاده از ورق های زیرسری و روسری نشان می دهد که کاهش مقاومت در نمونه های اتصال مورب نسبت به اتصال تیر عمود بر ستون در زوایای دوران پایین تری رخ می دهد [۲]. نتایج بررسی مطالعات تحلیلی بر روی رفتار لرزه ای اتصال مورب تیر با مقطع کاهش یافته به ستون در زوایای مختلف حاکی از آن است که برای زوایای انحراف بیش از ۳۰ درجه، کاهش مقاومت و سختی در اتصال ایجاد می گردد و در حالتی که زاویه بین تیر و ستون صفر باشد، مفصل پلاستیک در ناحیه کاهش یافته اتفاق می افتد [۳]. بررسی هایی بر روی رفتار اتصال مورب تیر به تیر و تیر به ستون انجام گرفته شده و ضوابطی برای این نوع اتصال ها ارائه داده شده است. طبق این ضوابط، اتصال تیر مورب به بال ستون فقط برای انحراف زاویه ماکزیمم ۳۰ درجه امکان پذیر است [۴]. بررسی رفتار اتصالات با ورق برشی جان با اتصال مورب در زوایای مختلف نشان داد که با افزایش زاویه اتصال لنگر پیچشی اتصال افزایش می یابد و از طرفی جابجایی قائم اتصال کاهش می یابد. در حالت اتصال مورب روابط مربوط به مقاومت پیچشی ورق اتصال جان که در AISC [۵] ارائه شده است، نیاز به اصلاح دارد [۶]. در حالتی که ورق برشی به

1 Northridge  
2 Kube  
3 BUEEP  
4 BSEEP

نویسنده عهده دار مکاتبات : mailto:hoseinzadeh.m@tabrizu.ac.ir

با افزایش نیروی وارده، در صورت لغزش صفحات، قسمتی از نیروی برشی توسط نیروی اتکای پیچ‌ها منتقل خواهد شد.



شکل ۱: انتقال نیروی برشی تیر در محل اتصال

Figure 1. Shear force transfer at the connection face.

شکل ۲ نحوه انتقال لنگر در اتصال قائم و مورب تیر را نشان می‌دهد. در اکثر موارد اتصال تیر به ستون مطابق شکل ۲-الف به صورت قائم می‌باشد. در این حالت با اعمال جابجایی قائم به انتهای تیر، لنگر خمشی  $M$  به اتصال اعمال می‌شود. در صورتی که مطابق شکل ۲-ب اتصال تیر به ستون به صورت مورب انجام شود، لنگر تیر به صورت زاویه‌دار به محل اتصال وارد می‌شود که مطابق شکل ۲-ب یک مولفه آن به صورت لنگر خمشی برابر با  $M$  و مولفه دیگر به صورت لنگر پیچشی برابر با عمل می‌کند. لنگر پیچشی در صفحه‌ی تماس ورق انتهایی با ستون، تنش‌های برشی ایجاد می‌کند؛ این تنش‌ها مطابق شکل ۲-پ به تنش‌های ناشی از نیروی برشی تیر در بر اتصال اضافه می‌شود. با افزایش زاویه انحراف تیر، مقدار لنگر پیچشی و در نتیجه تنش‌های ناشی از آن افزایش می‌یابد که این تنش مضاعف می‌تواند موجب لغزش اتصال اصطکاکی شود.

در این پژوهش هدف بررسی تاثیر انحراف تیر بر کاهش مقاومت اصطکاکی بین صفحات انتهایی در اتصال با ورق انتهایی می‌باشد. اتصال با ورق انتهایی یکی از اتصالات از پیش پذیرفته در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۱] می‌باشد و در اتصالات لرزه‌ای تلاش بر این است که اتصال تیر به ستون با رفتار اصطکاکی باشد و تا حد ممکن انتقال نیرو به صورت اصطکاکی انجام شود. وجود لنگر پیچشی در محل اتصال می‌تواند منجر به افزایش تنش‌های برشی اصطکاکی بین صفحات شده و موجب لغزش بین آن‌ها شود.

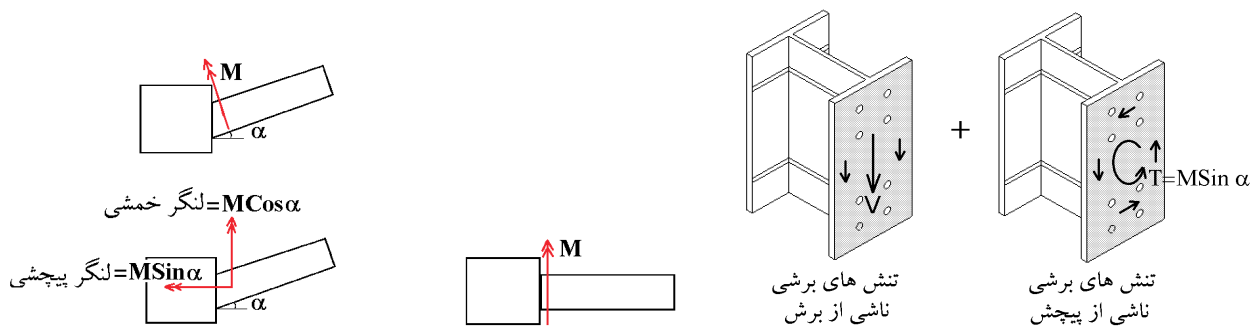
بال عضو تکیه‌گاهی جوش شود، این روابط قابل استفاده نخواهند بود [۷]. بررسی اتصالات با ورق برشی مورب، نشان داده است که با افزایش زاویه انحراف ورق برشی، لنگر پیچشی اتصال افزایش می‌یابد؛ با وجود این، نوع خرابی اتصال مورب ورق برشی و اتصال عمود ورق برشی یکسان می‌باشد. روابطی در مورد ارتباط زاویه انحراف ورق برشی و پیچش اتصال ارائه شده است که پیچش اتصال بدون انحراف ورق برشی و با انحراف را به هم مرتبط می‌سازد [۸]. بررسی رفتار اتصالات با ورق برشی مورب همراه با سخت‌کننده نشان داده است که جابجایی اتصال بدون انحراف ورق برشی، با افزایش زاویه انحراف ورق برشی نوع عضو باربر نقش بسزایی در رفتار پیچشی این نوع اتصالات دارد. در اتصالاتی که ستون، عضو تکیه‌گاهی باشد؛ با افزایش زاویه انحراف ورق برشی، سختی پیچشی افزایش می‌یابد. از طرف دیگر در اتصالاتی که شاه‌تیر، عضو تکیه‌گاهی باشد؛ با افزایش زاویه انحراف ورق برشی، سختی پیچشی کاهش می‌یابد [۹]. همچنین مطالعات تحلیلی رفتار اتصال با مقطع کاهش یافته نشان داده است که تغییرات زاویه انحراف تیر نسبت به محور مرکزی ستون، تاثیر کمی بر روی رفتار چرخه‌ای اتصال دارد [۱۰].

در تحقیقاتی که تاکنون انجام شده است، عمدتاً به بررسی اتصال مفصلی مورب با ورق جان پرداخته شده است و در رابطه با اتصال فلنجی مورب تیر به ستون با ورق انتهایی تحقیقی انجام نشده است. باید در نظر داشت که در اتصال مورب علاوه بر لنگر خمشی، لنگر پیچشی نیز ایجاد می‌شود. این لنگر منجر به ایجاد تنش‌های برشی بین صفحات انتهایی اتصال می‌شود و در نتیجه ممکن است موجب لغزش صفحات در اتصالات اصطکاکی شود. بنابراین در اتصالات گیردار با ورق انتهایی، منظور کردن اثر انحراف تیرهای مورب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در این پژوهش عملکرد لرزه‌ای اتصال گیردار فلنجی تیر به ستون تحت زوایای مختلف در پلان و اثرات زاویه‌دار بودن تیرها بر افت مقاومت اتصال مورد ارزیابی قرار گرفته و با بررسی پارامترهای مختلف، راهکارهایی برای رفع مشکل زاویه‌دار بودن تیرها ارائه شده است.

## ۲- مکانیزم انتقال نیرو در اتصال مورب

مطابق شکل ۱ انتقال نیروی برشی در محل اتصال تیر به ستون به دو طریق انجام می‌گیرد. بخشی از نیروی برشی توسط اصطکاک بین سطوح منتقل می‌شود که در شکل ۱ با نشان داده شده است. بخشی دیگر از نیرو توسط اتکای بدنه پیچ منتقل می‌شود که در شکل ۱ با نشان داده شده است. در ابتدای بارگذاری که هنوز لغزش رخ نداده است، عمده نیروی برشی را نیروی اصطکاک تشکیل می‌دهد.



شکل ۲: انتقال لنگر در اتصال قائم و مورب.

Figure 2. Moment transfer at the connection face.

- (الف) اتصال قائم (ب) اتصال مورب (پ) افزایش تنش های برشی در اتصال در اثر لنگر پیچشی  
 a) Connection of beam without deviation angle, b) Connection of beam with deviation angle,  
 c) increasing shear stress at the connection face due to torsional moment.

در این پژوهش هدف بررسی تاثیر انحراف تیر بر کاهش مقاومت اصطکاکی بین صفحات انتهایی در اتصال با ورق انتهایی می باشد. اتصال با ورق انتهایی یکی از اتصالات از پیش پذیرفته در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۱] می باشد و در اتصالات لرزه ای تلاش بر این است که اتصال تیر به ستون با رفتار اصطکاکی باشد و تا حد ممکن انتقال نیرو به صورت اصطکاکی انجام شود. وجود لنگر پیچشی در محل اتصال می تواند منجر به افزایش تنش های برشی اصطکاکی بین صفحات شده و موجب لغزش بین آن ها شود.

انتهای تیر اعمال شده است. دوران اتصال ( $\phi$ )، با دوران نسبی محور مرکزی بال های تیر در انتهای تیر محاسبه می شود که مطابق شکل ۴ شامل دو بخش دوران برشی ( $\phi_s$ )، دوران ایجاد شده توسط چشمه اتصال ستون و دوران ورق انتهایی ( $\phi_p$ )، دوران ناشی از تغییر شکل نسبی بین ورق انتهایی و بال ستون که شامل تغییر شکل خمشی ورق انتهایی و بال ستون بعلاوه افزایش طول پیچ ها می باشد (روابط ۱ و ۲).

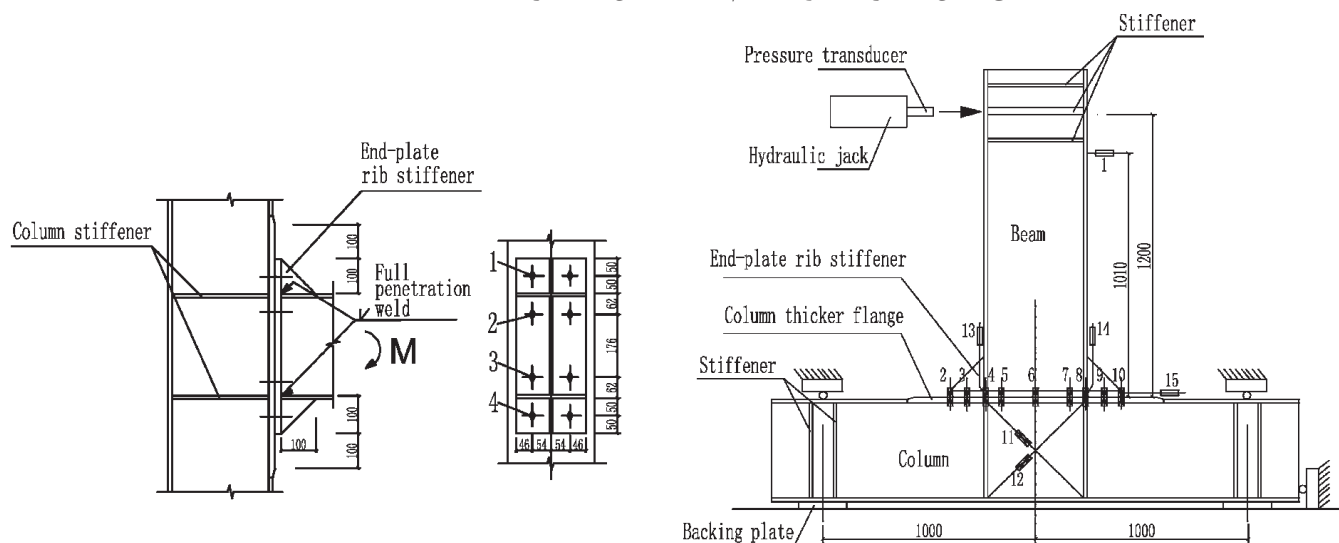
$$\phi_s = \frac{\Delta}{h_t} \delta \quad (1)$$

$$\phi_p = \frac{\delta}{h_t} \quad (2)$$

که در آن  $\delta$  اختلاف جابجایی چشمه اتصال ستون بین محور مرکزی بال های تیر در انتهای تیر؛  $\delta$  عرض فاصله ایجاد شده بین ورق انتهایی و بال ستون در محور مرکزی بال کششی تیر و  $h_t$  فاصله بین محور مرکزی بال های تیر است [۱۱].

### ۳- مدل سازی

۳-۱- مدل آزمایشگاهی جهت صحت سنجی روش مدل سازی برای ارزیابی مدل های المان محدود از مدل آزمایشگاهی شای ۱ و همکاران (EPC-1) استفاده شد. مطابق شکل ۳، نیرو به صورت قائم به

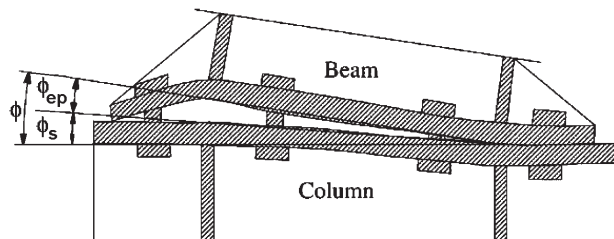


شکل ۳. جزئیات اتصال و شرایط مرزی [۱۱].

Figure 3. Detail of connection and boundary condition [11].

۳-۲- مشخصات هندسی مدل‌ها

شکل ۶ و ۷ هندسه مدل و بارگذاری آن را نشان می‌دهد. ابعاد بال ستون ۴۰۰×۳۰ میلی‌مترمربع و جان ستون ۴۰۰×۲۰ میلی‌مترمربع انتخاب شده‌است. پنج نمونه تیر با زاویه انحراف صفر درجه، برای اتصالات چهارپیچه با ورق انتهایی و سخت‌کننده (گیردار فلنجی) در نظر گرفته شده‌است. تمامی نمونه‌ها براساس آیین‌نامه AISC ۳۶۰- نظر گرفته شده‌است. [۱۲] طراحی شده‌اند. مشخصات نمونه‌ها در جدول ۱ آمده است. برای مدل‌سازی اجزاء محدود در این پژوهش از نرم‌افزار ANSYS Workbench [۱۳] استفاده شده‌است.



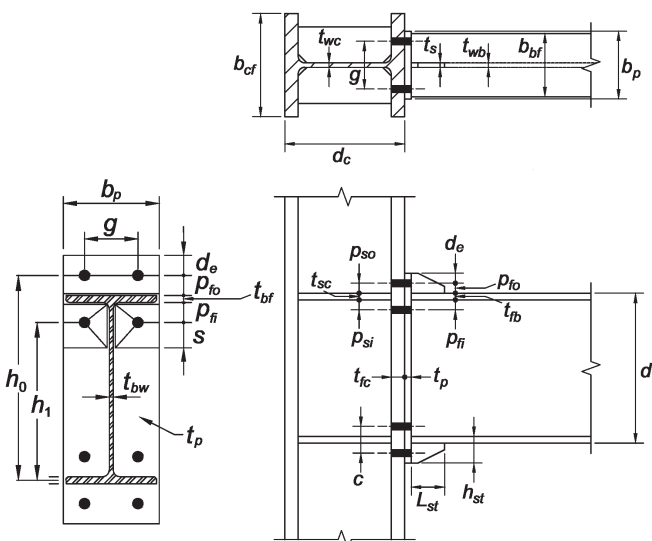
شکل ۴. دوران اتصال [۱۱].

Figure 4. Joint rotation [11].

انطباق مطلوب نتایج حاصل از تحلیل به روش اجزا محدود و نتایج آزمایشگاهی طبق شکل ۵ مشاهده می‌شود.

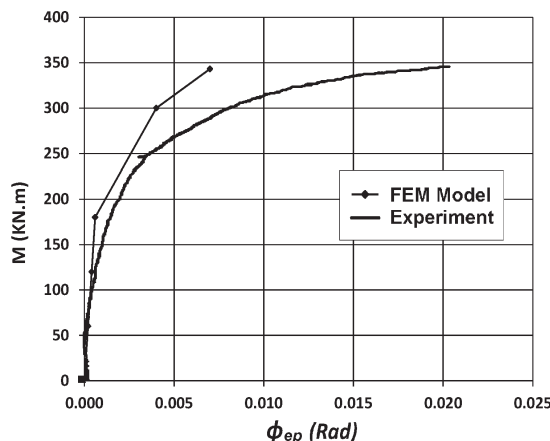
شکل ۵. مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی.

Figure 5. Comparison of FEM and experimental results.

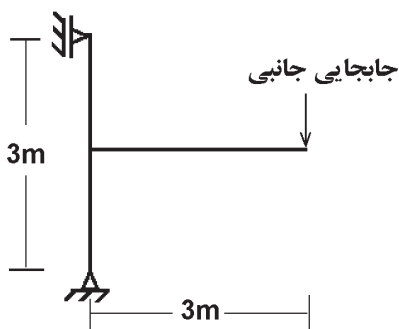


شکل ۶. هندسه اتصال گیردار فلنجی چهارپیچه با سخت‌کننده ورق انتهایی (لچکی) [۱۴].

Figure 6. Four-bolt extended stiffened endplate connection [14].

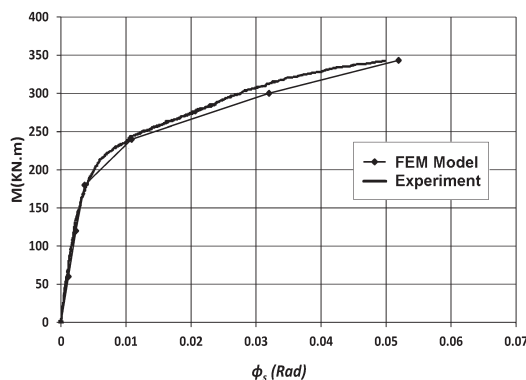


الف) لنگر - دوران برشی آزمایشگاهی [۹] و تحلیلی  
a) Moment-Shear rotation [9]



شکل ۷. شرایط مرزی و بارگذاری.

Figure 7. Loading and Boundary conditions.



ب) لنگر - دوران ورق انتهایی آزمایشگاهی [۹] و تحلیلی  
b) Moment-Endplate rotation [9].

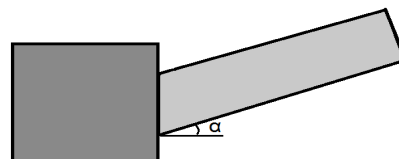
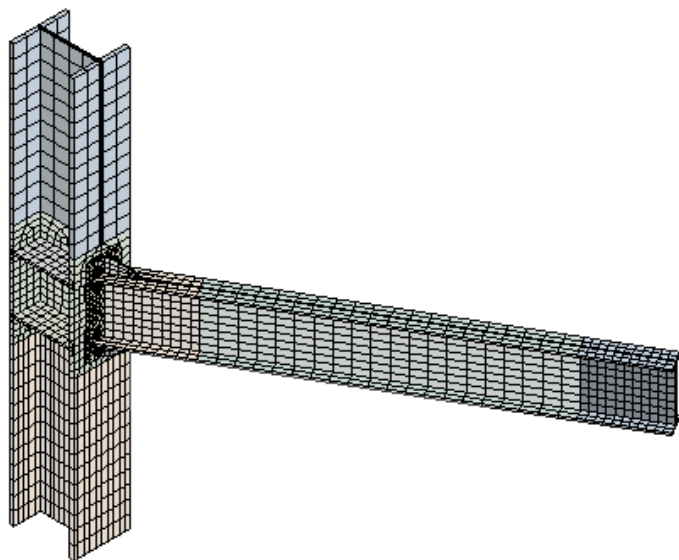
جدول ۱. مشخصات نمونه‌های اتصالات چهار پیچ با ورق انتهایی و سخت‌کننده (mm).

Table 1. Properties of the four-bolt extended stiffened endplate connections (mm).

نام نمونه	d	t <sub>wb</sub>	b <sub>bf</sub>	t <sub>bf</sub>	b <sub>p</sub> ×h <sub>p</sub>	t <sub>p</sub>	d <sub>b</sub>	L <sub>st</sub>	h <sub>st</sub>	t <sub>s</sub>	p <sub>fi</sub> =p <sub>fo</sub>	g	e <sub>p</sub>
4ES-1	۴۱۰	۸	۱۶۰	۱۵	۲۳۰×۶۱۰	۲۳	۲۷	۱۷۵	۱۰۰	۱۰	۴۶	۱۳۰	۵۰
4ES-2	۴۳۰	۱۲	۱۷۰	۱۵	۲۴۵×۶۳۰	۲۵	۲۷	۱۷۵	۱۰۰	۱۲	۵۰	۱۴۵	۵۰
4ES-3	۴۵۰	۱۰	۱۹۰	۱۵	۲۷۰×۶۶۰	۲۵	۳۰	۱۸۵	۱۰۵	۱۰	۵۰	۱۵۰	۶۰
4ES-4	۴۴۰	۱۰	۱۸۰	۲۰	۲۶۵×۶۸۰	۲۶	۳۰	۲۱۰	۱۲۰	۱۰	۵۰	۱۴۵	۶۰
4ES-5	۳۴۰	۱۰	۲۰۰	۲۰	۲۹۰×۶۸۰	۲۸	۳۰	۳۰۰	۱۷۰	۱۰	۷۰	۱۵۰	۷۰

شده‌اند. مطابق شکل ۶، بارگذاری نمونه‌ها به صورت اعمال جابجایی قائم نظیر دوران ۰/۰۶ رادیان به نوک تیر انجام شده‌است.

تمامی مدل‌های فوق مطابق شکل ۸ در زوایای انحراف مختلف از صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۵ درجه نسبت به مقطع ستون مدلسازی و بررسی



شکل ۸. اتصال مورب تیر به ستون.

Figure 8. Skewed beam to column connection.

صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۵ درجه نسبت به مقطع ستون مدل سازی و بررسی شده‌اند. مطابق شکل ۶، بارگذاری نمونه‌ها به صورت اعمال جابجایی قائم نظیر دوران ۰/۰۶ رادیان به نوک تیر انجام شده‌است.

در تمامی نمونه‌ها تنش تسلیم فولاد ۲۴۰ مگاپاسکال و تنش نهایی آن ۳۷۰ مگاپاسکال فرض شده‌است. پیچ‌های مصرفی در تمامی نمونه‌ها از نوع پر مقاومت A۳۲۵ می‌باشند.

#### ۴-۱- مدل سازی المان‌های تماس

برای مدل سازی اجزاء محدود در این پژوهش از نرم افزار ANSYS Workbench [۱۳] استفاده شده‌است. در این نرم افزار برای مدل سازی تیر و ستون از المان ۲۰ گرهی SOLID۱۸۶ استفاده شده‌است که دارای ۳ درجه آزادی حرکت انتقالی در هر گره می‌باشد. نمودار تنش-کرنش مصالح به صورت چندخطی تعریف شده‌است. جهت اندازه‌گیری نیروی اصطکاک بین صفحات، المان‌های تماس بین سطوح تعریف شده‌است. این المان‌ها شامل سه بخش می‌باشند: ۱-تماس اصطکاک<sup>۱</sup> بین بال ستون و ورق انتهایی با ضریب اصطکاک

#### ۴- مقاومت اصطکاکي اتصال

اتصال با ورق انتهایی یکی از اتصالات از پیش پذیرفته در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۱] می‌باشد، در اتصالات لرزه‌ای تلاش بر این است که اتصال تیر به ستون با رفتار اصطکاکي باشد و تا حد ممکن انتقال نیرو به صورت اصطکاکي انجام شود. در این پژوهش جهت بررسی میزان لغزش بین صفحه انتهایی و بال ستون، درصدی از نیروی برشی که به صورت اصطکاکي منتقل می‌شود (در شکل ۱) از نرم افزار استخراج شده‌است. در تیرهایی که به علت برش بالا، لغزش بین صفحات رخ می‌دهد، مقدار نیروی اصطکاکي کاهش می‌یابد.

تمامی مدل‌های فوق مطابق شکل ۸ در زوایای انحراف مختلف از

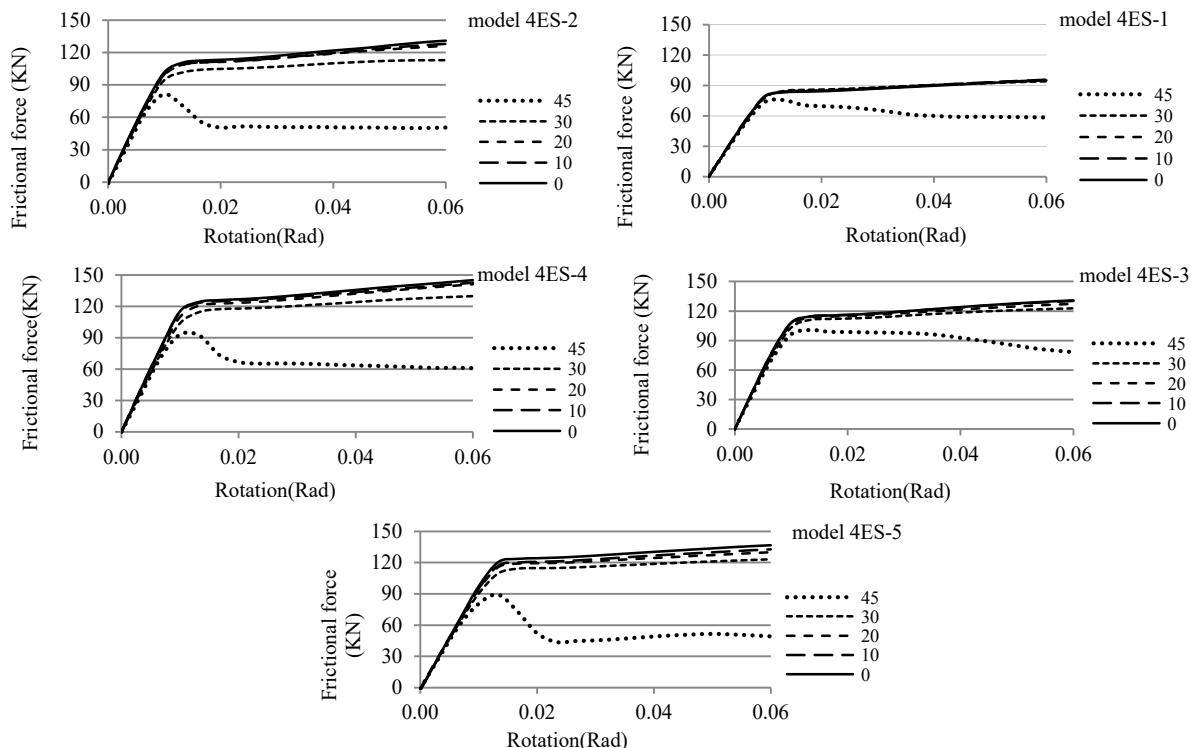
1 frictional

مقاوم اصطکاکی در برستون در نمونه‌های مختلف استخراج شده است. در نمودارهای شکل ۹، محور قائم نیروی اصطکاکی مابین ورق انتهایی و بال ستون و محور افقی دوران کلی تیر را نشان می‌دهد. این نمودارها برای هر کدام از مدل‌ها، با زاویه انحراف مختلف اتصال تیر به ستون (صفر تا ۴۵ درجه) ترسیم شده‌اند.

۵/۰-۲- تماس کامل<sup>۱</sup> بین سر پیچ با بال ستون و ورق انتهایی؛ ۳- تماس بدون اصطکاک<sup>۲</sup> بدنه پیچ با سطح داخلی سوراخ. تنش

## ۵- نتایج و بحث

جهت بررسی اثر پیچش ناشی از انحراف تیر در برستون، نیروی



شکل ۹: نمودار نیروی اصطکاکی - دوران تیر.  
 .sevruc noitator maeb .sv ecrof noitcirF .9 erugiF

می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش زاویه انحراف تیر، نیروی اصطکاکی بین ورق انتهایی و بال ستون کاهش می‌یابد. نسبت مقاومت اصطکاکی اتصال با تیر مورب به اتصال با تیر با انحراف صفر درجه در زوایای دوران ۰/۰۴، ۰/۰۵ و ۰/۰۶ رادیان در جدول ۲ جمع‌بندی شده است. در اتصالات مورب با زاویه انحراف ۱۰ و ۲۰ درجه، در بحرانی‌ترین حالت، مقاومت اصطکاکی اتصال تیر مورب برابر ۹۵ درصد مقاومت اصطکاکی اتصال مشابه با انحراف صفر درجه می‌باشد و در اتصالات با زاویه انحراف ۳۰ و ۴۵ درجه، این نسبت، به ترتیب برابر ۸۷ و ۴۰ درصد می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که اگر زاویه انحراف تیر کمتر از ۲۰ درجه باشد، مقدار افت مقاومت اصطکاکی ناچیز می‌باشد. در اتصالات با زاویه انحراف بیشتر از ۲۰ درجه توصیه می‌شود برای جبران کاهش مقاومت، مقاومت اتصال افزایش یابد. برای مثال می‌توان قطر پیچ‌ها و یا تعداد آن‌ها را افزایش داد.

### ۵-۱- دلیل کاهش نیروی اصطکاک بین ورق انتهایی و بال ستون در اتصال مورب

با توجه به اینکه اتصال ورق انتهایی به بال ستون از نوع پیچی اصطکاکی می‌باشد، نیروی برشی وارد بر تیر در شکل ۷ به صورت نیروی اصطکاک بین ورق انتهایی و ستون منتقل می‌شود. با افزایش نیرو، لغزش بین صفحات رخ می‌دهد و انتقال نیرو به صورت اتکایی انجام می‌شود. در این حالت نیروی اصطکاک بین صفحات کاهش می‌یابد. پیش‌تیدگی به اندازه ۵۵ درصد تنش نهایی بولت‌ها به آن‌ها اعمال شده است.

در اتصالات مورب علاوه بر نیروی برشی وارد بر اتصال، لنگر پیچشی نیز وارد می‌شود. تنش‌های برشی ناشی از لنگر پیچشی در تیر مورب، احتمال لغزش بین صفحات در بارهایی کمتر از حالت تیر مستقیم را افزایش

1 bonded  
 2 frictionless

جدول ۲: نسبت مقاومت اصطکاکی اتصال با تیر مورب به اتصال با تیر با انحراف صفر درجه.

Table 2. Ratio of friction strength of connection with skewed beam and connection with non-skewed beam.

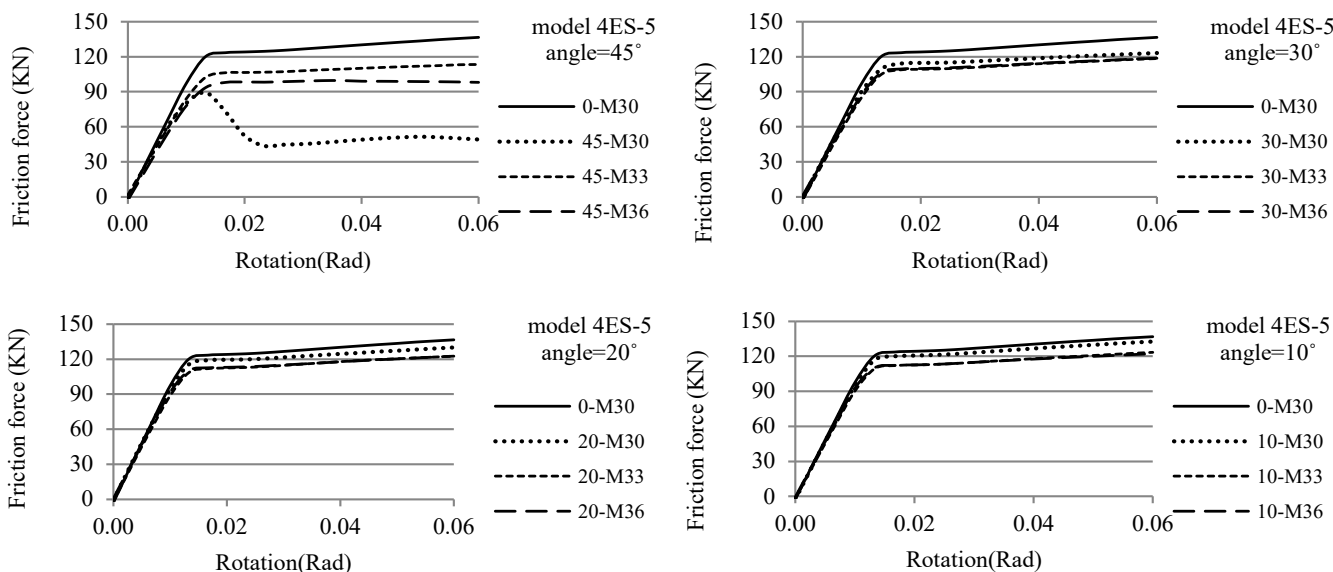
زاویه انحراف تیر	نمونه ۱-۴ES			نمونه ۲-۴ES			نمونه ۳-۴ES			نمونه ۴-۴ES			نمونه ۵-۴ES		
	زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)		
	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴
۱۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷
۲۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۶
۳۰	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۹۲	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۲
۴۵	۰/۷	۰/۶۴	۰/۶۲	۰/۴	۰/۴	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۴	۰/۴۲	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۴۵	۰/۴۳

هنوز فاصله قابل توجهی بین مقاومت اصطکاکی نمونه ۴۵ درجه با تیر مشابه با زاویه صفر درجه وجود دارد. بنابراین افزایش قطر پیچ به حد کافی نتوانسته افت مقاومت ناشی از انحراف تیر را جبران کند. از طرفی افزایش بیش از اندازه قطر پیچ می تواند اثر عکس داشته باشد. برای مثال در اتصال تیر با انحراف ۴۵ درجه با افزایش قطر پیچ از M۳۰ به M۳۳ ابتدا مقاومت اصطکاکی افزایش یافته ولی با افزایش مجدد قطر پیچ به M۳۶ شاهد کاهش مقاومت اصطکاکی هستیم. این کاهش می تواند مربوط به کاهش سطح تماس ورق انتهایی با بال ستون باشد. با توجه به نتایج حاصل و بحث های فوق، توصیه می شود از استفاده از تیرهای با انحراف بالا تا حد امکان پرهیز شود. چون در تیرهای با انحراف بالا، امکان جبران افت مقاومت از طریق افزایش قطر پیچ به صورت مطلوب وجود ندارد.

### ۲-۵- بررسی تاثیر قطر پیچ ها بر افت مقاومت اصطکاکی اتصالات

انتظار می رود بتوان با افزایش قطر پیچ ها، افت مقاومت اصطکاکی ناشی از انحراف تیر را کاهش داد. جهت بررسی این موضوع تاثیر افزایش قطر پیچ بر کاهش مقاومت اصطکاکی در نمونه های مختلف بررسی شده است.

شکل ۱۰ نتایج افزایش قطر پیچ بر افت مقاومت نمونه ۴ES-۵ را نشان می دهد. در تمامی این نمونه ها قطر اولیه طراحی شده برای اتصالات M۳۰ می باشد. در هر اتصال قطر پیچ ها به M۳۳ و M۳۶ افزایش یافته و سپس میزان افت مقاومت اصطکاکی بررسی شده است. همانطور که مشاهده می شود در اتصال ۴۵ درجه با وجود اینکه افزایش قطر پیچ موجب افزایش نسبی مقاومت اصطکاکی شده است، ولی



شکل ۱۰: تاثیر قطر پیچ بر نمودار نیروی اصطکاکی - دوران نمونه ۴ES-۵.

Figure 10. Effect of the bolt size on the friction force-rotation diagram of 4ES-5 model

باتوجه به تشابه نتایج، نمودارهای مربوط به نمونه‌های FES-۱، FES-۴ - اتصال باتیر مورب به اتصال باتیر با انحراف صفر درجه، در اثر افزایش ده و بیست درصدی قطر پیچ‌ها تمامی نمونه‌ها در جدول ۳ و ۴ جمع بندی شده‌اند.

**جدول ۳: نسبت مقاومت اصطکاکی اتصال باتیر مورب به اتصال باتیر با انحراف صفر درجه، در اثر افزایش ده درصدی قطر پیچ‌ها.**

**Table 3. Ratio of friction strength of connection with skewed beam and connection with non-skewed beam with 10% increase in the bolts' diameter.**

زاویه انحراف تیر	نمونه FES-۱			نمونه FES-۲			نمونه FES-۳			نمونه FES-۴			نمونه FES-۵		
	زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)		
۱۰	۰/۹۵*	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۹	۰/۹	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹
۲۰	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۹	۰/۸۹	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۱	۰/۹	۰/۸۹
۳۰	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۹	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۸۶
۴۵	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۹	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۸۳

\*توضیح: اعداد جدول نسبت مقاومت اصطکاکی اتصال مورب با افزایش ده درصدی قطر پیچ‌ها به اتصال با انحراف صفر درجه بدون افزایش قطر پیچ را نشان می‌دهد.

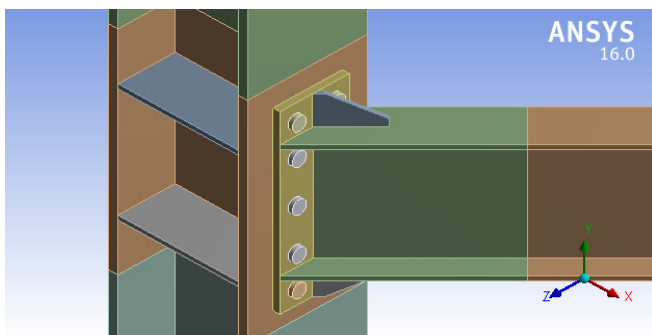
**جدول ۴: نسبت مقاومت اصطکاکی اتصال باتیر مورب به اتصال باتیر با انحراف صفر درجه، در اثر افزایش بیست درصدی قطر پیچ‌ها.**

**Table 4. Ratio of friction strength of connection with skewed beam and connection with non-skewed beam with 20% increase in the bolts' diameter.**

زاویه انحراف تیر	نمونه FES-۱			نمونه FES-۲			نمونه FES-۳			نمونه FES-۴			نمونه FES-۵		
	زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)		
۱۰	۰/۹۲*	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹
۲۰	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹	۰/۹
۳۰	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۷
۴۵	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۲

\*توضیح: اعداد جدول نسبت مقاومت اصطکاکی اتصال مورب با افزایش بیست درصدی قطر پیچ‌ها به اتصال با انحراف صفر درجه بدون افزایش قطر پیچ را نشان می‌دهد.

نیروی اصطکاکی - دوران نمونه‌های FES-۲ و FES-۵ می‌باشند. با توجه به تشابه نمونه‌ها، از ارائه نمودارهای نمونه‌های دیگر خودداری شده است. در این نمودارها منظور از bolt ۸ اتصال اولیه (بدون افزایش پیچ) می‌باشد و منظور از bolt ۱۰ و bolt ۱۲ اتصال با افزایش یک و دو ردیف پیچ میانی می‌باشند. نتایج حاصل از نمودارها در جدول ۵ و ۶ جمع بندی شده است.

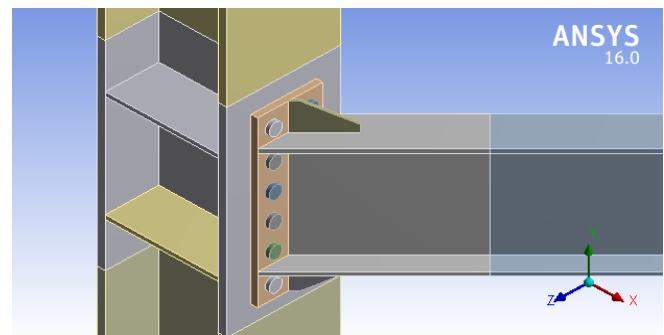


شکل ۱۲: افزودن دو ردیف پیچ میانی (۱۲ پیچ).

Figure 12. Adding two rows of bolts (12bolts).

**۳-۵- بررسی تاثیر تعداد پیچ‌ها بر افت مقاومت اصطکاکی اتصالات**

روش پیشنهادی دیگر برای جبران کاهش افت مقاومت اصطکاکی اتصال تیر مورب، افزودن یک یا دو ردیف پیچ میانی مطابق شکل ۱۱ و ۱۲ می‌باشد. شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان دهنده‌ی تاثیر تعداد پیچ بر نمودار



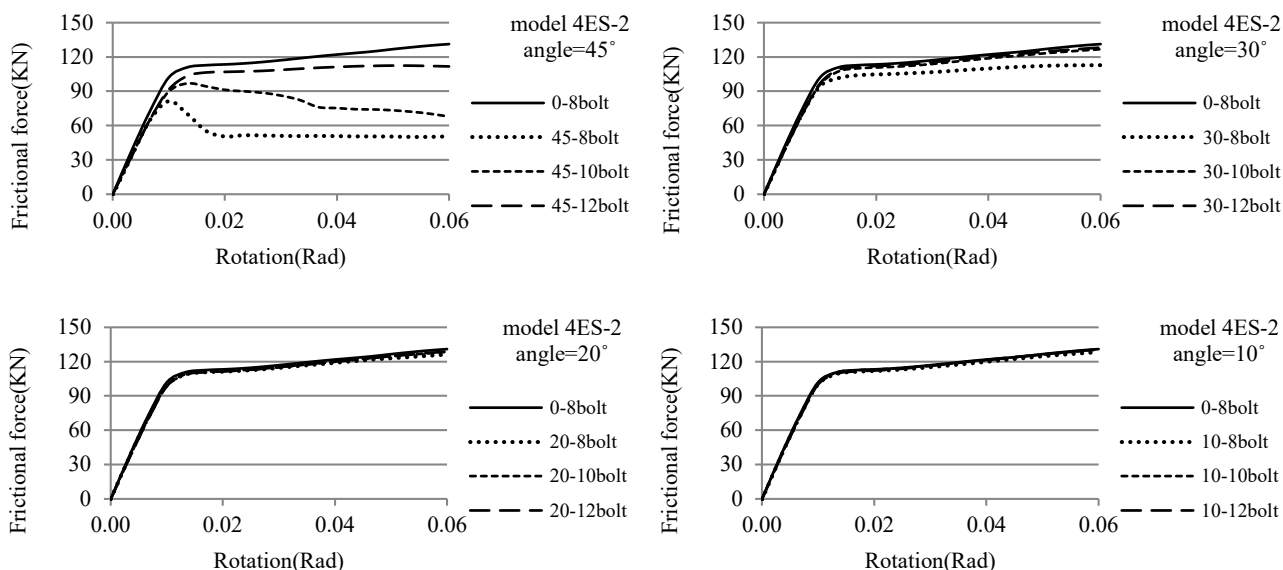
شکل ۱۱: افزودن یک ردیف پیچ میانی (۱۰ پیچ)

Figure 11. Adding one row of bolts (10bolts)



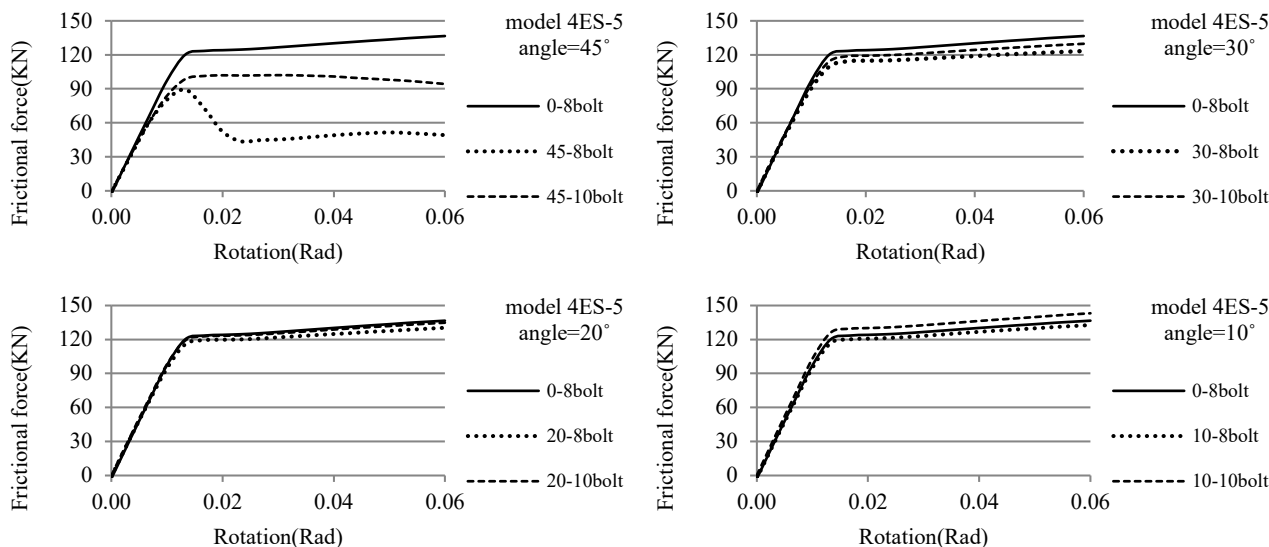
اصطکاکی اتصال ایجاد شده است. این افزایش در حدی است که مقاومت اصطکاکی تیر با انحراف ۴۵ درجه به حد مقاومت اصطکاکی تیر بدون انحراف (صفر درجه) نزدیک شده است.

همانطور که در شکل های ۱۳ و ۱۴ مشاهده می شود، با افزایش تعداد ردیف پیچ ها، مقاومت اصطکاکی اتصالات افزایش یافته است. به ویژه در اتصالات با انحراف ۴۵ درجه افزایش قابل توجهی در مقاومت



شکل ۱۳: تاثیر تعداد پیچ بر نمودار نیروی اصطکاکی - دوران نمونه ۴ES-۲.

Figure 13. Effect of the number of bolts on the friction force-rotation diagram of 4ES-2 model.



شکل ۱۴: تاثیر تعداد پیچ بر نمودار نیروی اصطکاکی - دوران نمونه ۴ES-۵.

Figure 14. Effect of the number of bolts on the friction force-rotation diagram of 4ES-5 model.

مقاومت اصطکاکی اتصال با انحراف صفر درجه نزدیک شده است. در اتصالات با انحراف ۴۵ افزودن یک ردیف پیچ در تمامی موارد نمی تواند افت مقاومت اصطکاکی را در حد مطلوب جبران کند. برای مثال در نمونه ۴ES-۲ با وجود افزودن یک ردیف پیچ اضافی، مقاومت اصطکاکی اتصال تیر مورب برابر ۵۲ درصد مقاومت اصطکاکی اتصال مشابه با انحراف صفر درجه (و بدون ردیف پیچ اضافی) می باشد.

مقایسه شکل ۱۰ با شکل های ۱۳ و ۱۴ نشان می دهد که افزایش تعداد پیچ ها در مقایسه با افزایش قطر آن ها در جبران افت مقاومت اصطکاکی اتصال موثرتر می باشد. بنابراین توصیه می شود در اتصالات با تیر مورب برای جبران کاهش افت مقاومت اصطکاکی اتصال از گزینه افزایش تعداد پیچ ها استفاده شود. در تیرهای با انحراف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه با افزودن تنها یک ردیف پیچ، مقاومت اصطکاکی اتصال به حد

**جدول ۵: نسبت مقاومت اصطکاکی اتصالات در اثر افزایش یک ردیف پیچ.**

**Table 5. Ratio of friction strength of connections with adding one row of bolts.**

نمونه ۵-۴ES			نمونه ۴-۴ES			نمونه ۳-۴ES			نمونه ۲-۴ES			نمونه ۱-۴ES			زاویه انحراف تیر
زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			
۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۱۰
۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۱۴	۱/۱۴	۱/۰۵	۱/۱۵	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۳*	۲۰
۰/۹۸	۰/۹۹	۱/۰۳	۱/۱۱	۱/۱۱	۱/۱۲	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۰۲۱	۳۰
۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۶	۱/۰۷	۱/۰۷	۱/۰۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۱/۰۳	۱/۰۳	۱/۰۳	۴۵
۰/۶۹	۰/۷۴	۰/۷۸	۰/۶۴	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۵۲	۰/۵۸	۰/۶۲	۰/۹۸	۰/۹۹	۱/۰۱	

\* توضیح: اعداد جدول نسبت مقاومت اصطکاکی اتصال با تیر مورب ۱۰ پیچی به اتصال با تیر با انحراف صفر درجه ۸ پیچی را نشان می‌دهد.

محدودیت‌های هندسی اتصال اجازه افزایش تعداد پیچ‌ها از ۸ پیچ به ۱۲ پیچ را ندهد. برای مثال در نمونه ۵-۴ES به دلیل محدودیت‌های فواصل پیچ‌ها، تنها امکان افزودن یک ردیف پیچ وجود داشت.

نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که افزودن دو ردیف پیچ اضافی به اتصال می‌تواند به حد کافی مقاومت اصطکاکی اتصالات با انحراف ۴۵ را به اتصال تیر با انحراف صفر درجه نزدیک کند. ولی باید توجه داشت که در این حالت عملاً تعداد پیچ‌ها ۱/۵ برابر شده‌اند. ممکن است

**جدول ۶: نسبت مقاومت اصطکاکی اتصالات در اثر افزایش دو ردیف پیچ.**

**Table 6. Ratio of friction strength of connections with adding two rows of bolts.**

نمونه ۴-۴ES			نمونه ۳-۴ES			نمونه ۲-۴ES			نمونه ۱-۴ES			زاویه انحراف تیر
زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			زاویه دوران (رادیان)			
۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۱۰
۱/۱۹	۱/۲	۱/۲	۱/۰۷	۱/۰۷	۱/۰۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱/۰۴	۱/۰۳	۱/۰۳*	۲۰
۱/۱۴	۱/۱۵	۱/۱۶	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۴	۱/۰۴	۱/۰۴	۳۰
۱/۱	۱/۱۱	۱/۱۲	۱	۱	۱	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۰۴	۱/۰۵	۱/۰۵	۴۵
۰/۹۸	۱	۱/۲۶	۱	۱/۰۱	۱/۰۲	۰/۸۱	۰/۸۹	۰/۹۲	۱/۰۲	۱/۰۲	۱/۰۳	

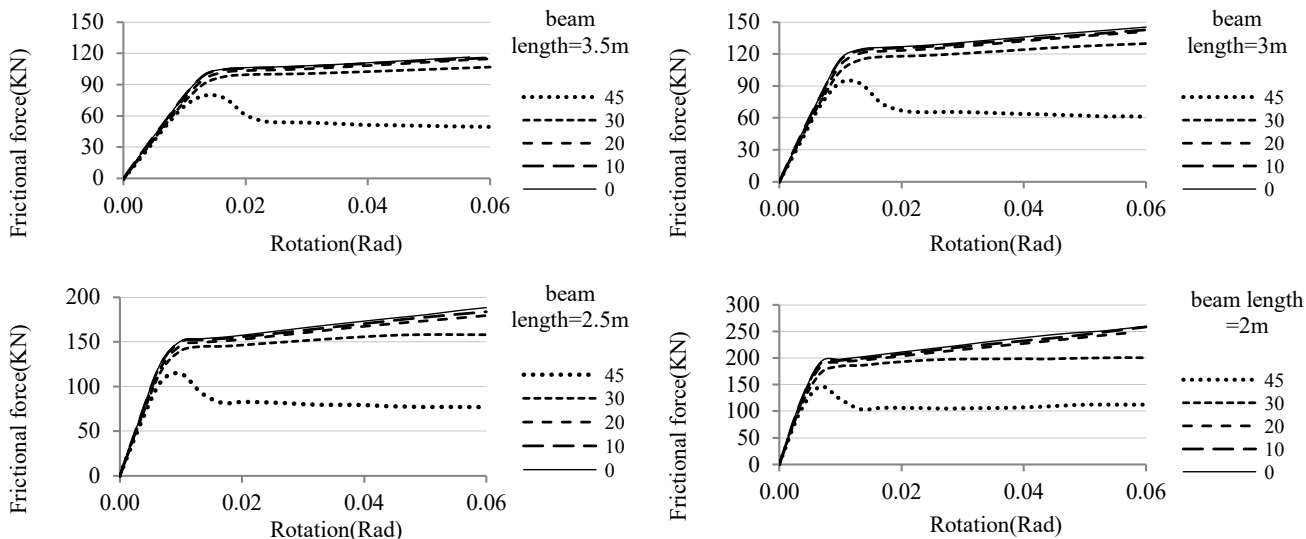
\* توضیح: اعداد جدول نسبت مقاومت اصطکاکی اتصال با تیر مورب ۱۲ پیچی به اتصال با تیر با انحراف صفر درجه ۸ پیچی را نشان می‌دهد.

متر مطابق شکل ۱۵ می‌باشند. در تیرهای بلند مقدار لنگر تیر افزایش می‌یابد. افزایش نسبی لنگر منجر به افزایش لنگر پیچشی نیز می‌شود. از طرفی در تیرهای بلند نیروی برشی به صورت نسبی کاهش می‌یابد. در میزان لغزش اتصال نیروی برشی و لنگر پیچشی هر دو تاثیر گذار هستند و با توجه به اینکه لنگر پیچشی افزایش و نیروی برشی کاهش می‌یابد، نمی‌توان با قاطعیت تعیین کرد که مقاومت اتصال در برابر لغزش افزایش می‌یابد یا کاهش. مقایسه نمودارهای شکل ۱۵ نشان می‌دهد که افت مقاومت اصطکاکی در تیرهای کوتاه اندکی بیشتر از تیرهای بلند می‌باشد ولی این تفاوت ناچیز است.

می‌توان نتیجه گرفت، گرچه با افزایش تعداد کافی از پیچ‌ها می‌توان افت مقاومت اصطکاکی ناشی از انحراف تیرهای مورب را جبران کرد، ولی با توجه به اینکه میزان افزایش تعداد پیچ‌ها در اتصال ۴۵ درجه قابل توجه می‌باشد، از نظر اقتصادی و نیز به لحاظ محدودیت‌های هندسی این افزایش توصیه نمی‌شود. بنابراین بهتر است تا حد امکان از استفاده از تیرهای با انحراف بالا پرهیز شود.

**۴-۵- بررسی تاثیر طول تیر در نمونه ۴-۴ES**

نمودارهای نیروی اصطکاکی-دوران نمونه ۴-۴ES در زوایای انحراف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۵ درجه برای تیرهای با طول ۲/۵، ۳، ۳/۵ و ۲



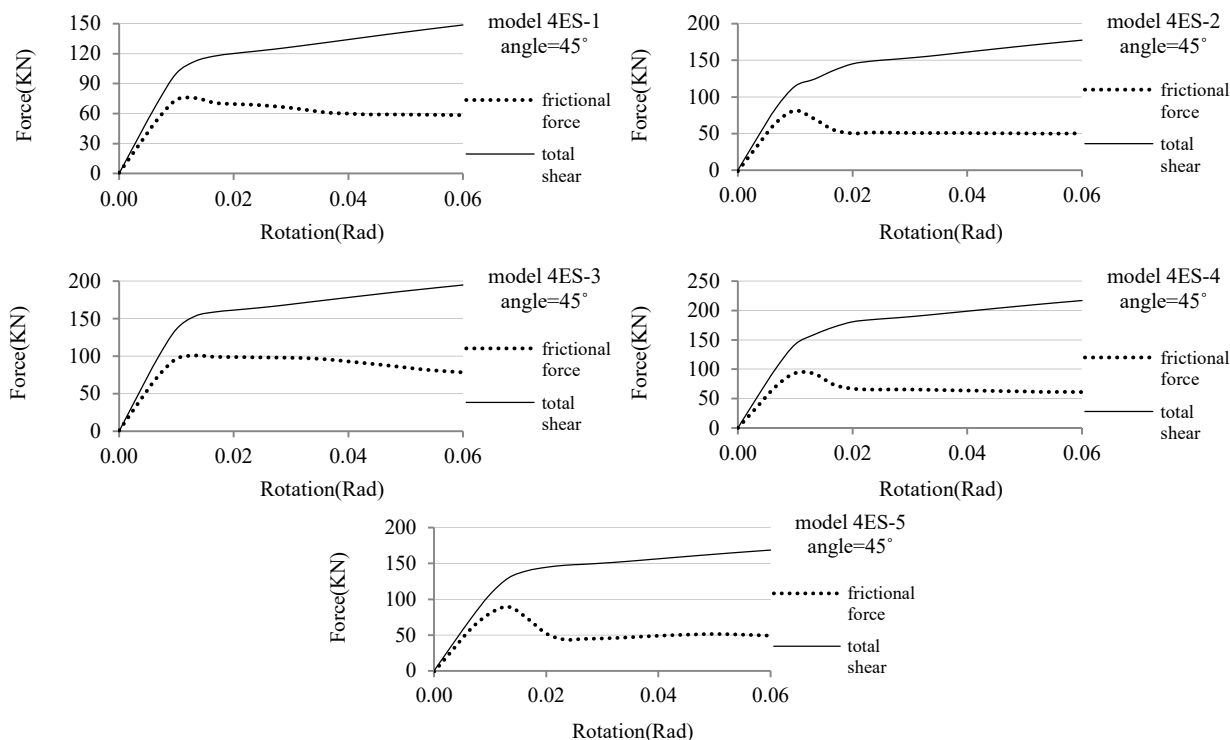
شکل ۱۵: تاثیر طول تیر بر نمودارهای نیروی اصطکاکی - دوران نمونه ۴-۴ES.

Figure 15. Effect of the beam length on the friction force-rotation diagram of 4ES-4 model.

نمودارهای نیروی اصطکاکی با نیروی برشی کل برای اتصالات با زاویه صفر درجه و اتصالات با زاویه انحراف ۴۵ درجه مطابق شکل ۱۶ و ۱۷ مقایسه شده‌اند. هدف از این کار بررسی میزان نیروی تحمل شده توسط اصطکاک بین دو صفحه و نیروی منتقل شده توسط پیچ‌ها می‌باشد. در این نمودارها frictional force نشان دهنده‌ی نیروی اصطکاکی بین ورق انتهایی و بال ستون و total shear نشان دهنده‌ی کل نیروی برشی منتقل شده می‌باشد.

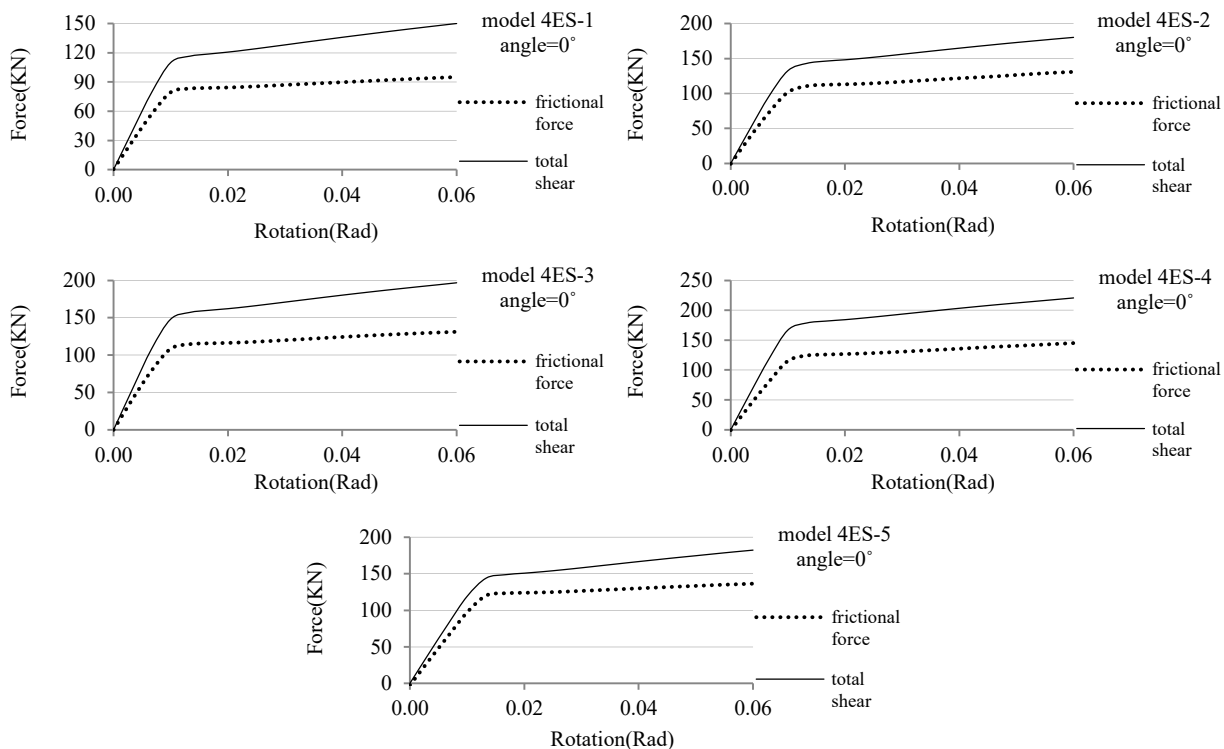
#### ۵-۵- مقایسه نمودارهای نیروی اصطکاکی - دوران و نیروی برشی کل - دوران تیر

انتقال نیروی برشی از تیر به ستون، در ابتدای بارگذاری از طریق اصطکاک بین ورق انتهایی و بال ستون انجام می‌پذیرد. با افزایش بار وارده و در نهایت با لغزش صفحات، بدنه‌ی پیچ‌ها به صفحه‌ی اتصال اتکامی‌کند و پس از لغزش اولیه، انتقال نیرو به صورت ترکیبی از اصطکاک بین صفحات و نیز اتکای بدنه پیچ صورت می‌پذیرد. در این بخش



شکل ۱۶: نمودارهای نیروی اصطکاکی - دوران و نیروی برشی - دوران نمونه‌ها تحت زاویه انحراف ۴۵ درجه.

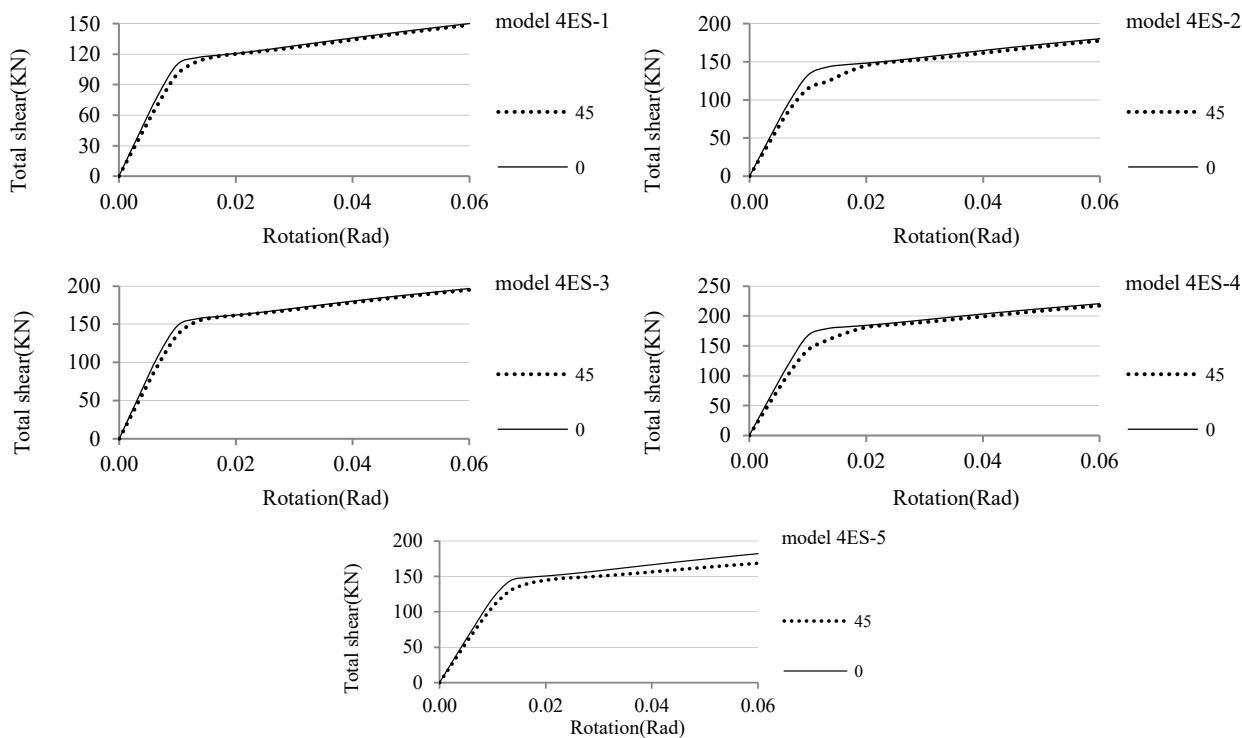
Figure 16. Friction force-rotation vs. shear force-rotation of connections with deviation angle of 45.



شکل ۱۷: نمودارهای نیروی اصطکاکی - دوران و نیروی برشی - دوران نمونه‌ها در اتصال با زاویه صفر درجه.  
 Figure 17. Friction force-rotation vs. shear force-rotation of connections with non-skewed beams.

درجه مقایسه شده است.

در شکل های زیر نمودارهای نیروی برشی کل اتصال در اتصالات مورب با زاویه انحراف ۴۵ درجه با نیروی برشی کل اتصال با زاویه صفر



شکل ۱۸: نمودار نیروی برشی - دوران نمونه‌ها.  
 Figure 18. Shear force-rotation diagram of the models

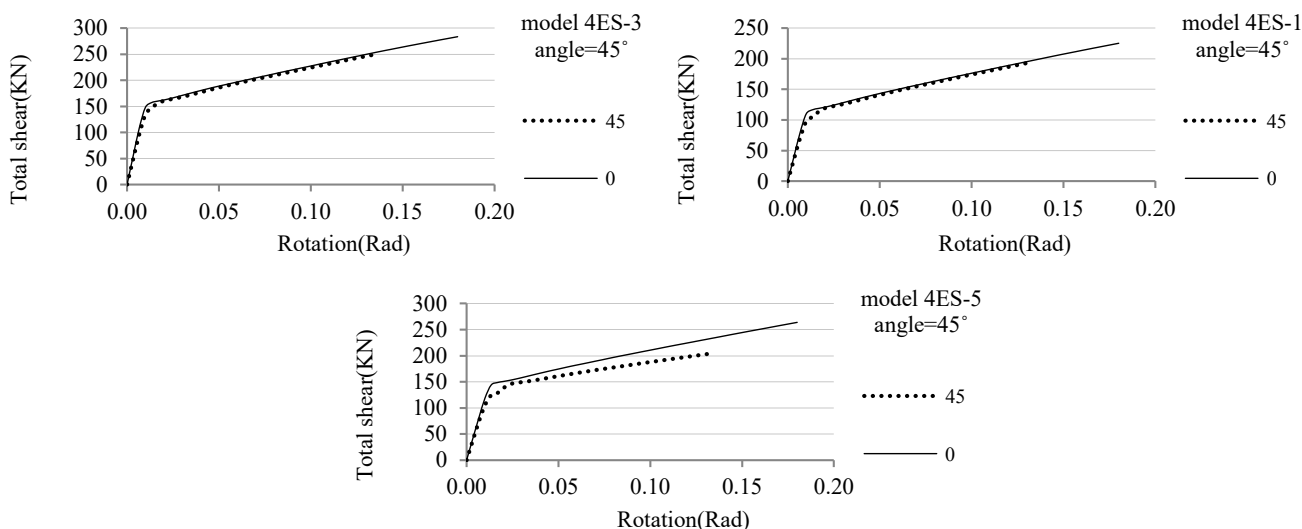
اتصال در قاب‌های خمشی ویژه باید حداقل به ۰/۰۴ برسد. جهت بررسی ظرفیت دورانی اتصال مورب و مقایسه آن با اتصال با زاویه صفر درجه، نمونه‌های ۱-۴ES، ۳-۴ES و ۵-۴ES تحت زوایای انحراف مختلف تیر تا نقطه خرابی اتصال تحت بارگذاری قرار گرفته‌اند. معیار خرابی نمونه‌ها به شرح زیر تعیین می‌شود [۱۵].

- ۱- فولاد در قسمتی از مقطع تیر یا ستون به کرنش پلاستیک ۰/۱۵ برسد.
  - ۲- کرنش پلاستیک پیچ‌ها به مرز ۰/۱۳ برسد.
  - ۳- افت مقاومت اتصال بیش از ۲۰ درصد مقاومت نهایی باشد.
- خرابی نمونه‌های با زاویه انحراف ۴۵ درجه، بر اساس رسیدن پیچ‌ها به کرنش پلاستیک ۰/۱۳ می‌باشد. در نمونه با انحراف صفر درجه خرابی در اثر رسیدن فولاد به کرنش پلاستیک ۰/۱۵ رخ می‌دهد. نمودارهای نیروی برشی - دوران مربوط به نمونه‌های ۱-۴ES، ۳-۴ES و ۵-۴ES تحت زاویه انحراف ۴۵ درجه مطابق شکل ۱۹ می‌باشد.

با مقایسه نمودارهای شکل ۱۸ نتیجه‌گیری می‌شود در اتصالات مورب در مقدار نیروی برشی کل اتصال، نسبت به اتصال با زاویه صفر درجه افت قابل توجهی وجود ندارد. ولی باید توجه شود که بر اساس نمودارهای شکل‌های ۱۶ و ۱۷، در اتصال مورب تامین مقاومت برشی اتصال در حد نهایی بارگذاری عمدتاً به صورت اتکایی می‌باشد. در حالیکه در اتصال با زاویه صفر درجه، تامین مقاومت برشی اتصال عمدتاً به صورت اصطکاکی می‌باشد. با توجه به لرزه‌های بودن اتصال گیردار با ورق انتهایی لغزش بین صفحات از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین گرچه مقاومت برشی کلی اتصال تغییر محسوسی نکرده است، ولی کاهش مقاومت اصطکاکی در اتصالات مورب منجر به تغییر رفتار اتصال از اصطکاکی به اتکایی خواهد شد که قابل قبول نیست.

### ۵-۶ - بررسی خرابی نمونه‌ها

طبق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [۱]، ظرفیت دورانی



شکل ۱۹: بررسی شکست نمودار نیروی برشی - دوران  
Figure 19. Failure of shear force-rotation diagram.

خمشی و مولفه دیگرش به صورت لنگر پیچشی عمل می‌کند و در نتیجه علاوه بر لنگر خمشی، لنگر پیچشی نیز ایجاد می‌شود. در مراحل طراحی این نوع اتصال معمولاً اثر این لنگر پیچشی از طرف طراحان نادیده گرفته می‌شود. این لنگر پیچشی منجر به ایجاد تنشهای برشی بین صفحات انتهایی اتصال می‌شود و با تنشهای ناشی از نیروی برشی اتصال ترکیب می‌شود و در نتیجه ممکن است موجب لغزش صفحات انتهایی در اتصالات اصطکاکی شود. با توجه به اهمیت لغزش صفحات در اتصالات گیردار با ورق انتهایی، منظور کردن اثر لنگر پیچشی ناشی از انحراف تیرهای مورب از اهمیت ویژه‌ی برخوردار است. در این پژوهش تیرهای با اتصال مورب با ورق انتهایی با زوایای

مقایسه نمودارهای شکل ۱۹ نشان می‌دهد که انحراف تیر به اندازه ۴۵ درجه موجب افت مقاومت نهایی اتصال می‌شود. هم‌چنین ظرفیت دورانی اتصال حدود ۲۵ درصد کاهش می‌یابد.

### ۶- نتیجه‌گیری

اتصال گیردار مورب فلنجی تیر به ستون یکی از اتصالات از پیش تایید شده در مبحث دهم می‌باشد. این اتصال باید به صورت اصطکاکی عمل کند و لغزش بین صفحات انتهایی به حداقل برسد. در مواردی که اتصال تیر به ستون به صورت مورب انجام می‌شود، لنگر تیر به صورت زاویه‌دار به محل اتصال وارد می‌شود که یک مولفه آن به صورت لنگر

## ۷- فهرست علائم

علائم انگلیسی		علائم یونانی
فاصله بین محور مرکزی بال های تیر، mm	$ht$	
اختلاف جابجایی چشمه اتصال ستون بین محور مرکزی بال های تیر در انتهای تیر، mm	$\Delta$	
عرض فاصله ایجاد شده بین ورق انتهایی و بال ستون در محور مرکزی بال کششی تیر، mm	$\delta$	
دوران اتصال، Rad	$\phi$	
زیرنویس		
برش	$s$	
ورق انتهایی	$ep$	

## مراجع

- [1] N.B.R.o. Iran, Design and Construction of Steel Structures, Ministry of roads and Urban development, Deputy for Housing and Constructions, 2013 (in Persian).
- [2] M. Zarean, B. Hoseini Hashemi, M. Hoseini, Seismic behavior of rigid connection of oblique beam in plan to steel box column with use of top and bottom cover plates, 4th National Conference on Steel and Structures, Iranian Society of Steel Structures, Tehran, 2013 (in Persian).
- [3] A. Fiouz, M. Mahini, A. Ahmadi, Study of seismic behavior of oblique beams with reduced beam section with different angles, 3th International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Tehran, 2015 (in Persian).
- [4] W.A. Thornton, L. Kloiber, Connections for skewed beams, North American Steel Construction Conference, Modern Steel Construction, 1999.
- [5] AISC, Steel Construction Manual, 14th ed, American Institute of Steel, 2011.
- [6] M. Al Hijaj, M. Mahamid, Behavior of skewed extended shear tab connections part I: Connection to supporting web, Journal of Constructional Steel Research, 128 (Supplement C) (2017) 305-320.
- [7] M. Mahamid, M. Al Hijaj, Behavior of skewed extended shear tab connections part II: Connection to supporting flange, Journal of Constructional Steel Research, 128 (Supplement C) (2017) 462-472.

مختلف مورد بررسی قرار گرفته و تاثیر انحراف تیر بر افت مقاومت اصطکاکی اتصال بررسی شده است. بدین منظور ۱۲۲ مدل اجزا محدود مورد ارزیابی قرار گرفت. خلاصه نتایج به شرح زیر است.

۱. نتایج نشان داد افزایش تعداد پیچ ها در مقایسه با افزایش قطر آن ها در جبران افت مقاومت اصطکاکی اتصالات مورب موثرتر می باشد. بر اساس نتایج در تیرهای با انحراف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه افزودن تنها یک ردیف پیچ، مقاومت اصطکاکی اتصال را به حد مقاومت اصطکاکی اتصال با انحراف صفر درجه نزدیک می کند.

۲. در اتصال ۴۵ درجه افزایش قطر پیچ نتوانست به نحو مطلوب افت مقاومت ناشی از انحراف تیر را جبران کند. نتایج نشان داد افزایش بیش از اندازه قطر پیچ حتی میتواند اثر عکس داشته باشد به طوری که در برخی نمونهها با افزایش بیش از حد قطر پیچ مقاومت اصطکاکی اتصال کاهش نشان داد. با افزایش قطر پیچ، سطح بیشتری از ورق نیاز به سوراخکاری خواهد داشت. به نظر میرسد کاهش افت مقاومت اصطکاکی به علت کاهش سطح تماس ورق انتهایی با بال ستون باشد. گرچه با افزایش تعداد کافی از پیچ ها می توان افت مقاومت اصطکاکی ناشی از انحراف تیرهای مورب را جبران کرد، ولی با توجه به اینکه میزان افزایش تعداد پیچ ها در اتصال ۴۵ درجه قابل توجه می باشد، از نظر اقتصادی و نیز به لحاظ محدودیت های هندسی این افزایش توصیه نمی شود. بنابراین بهتر است تا حد امکان از استفاده از تیرهای با انحراف بالا با اتصالات گیردار فلنجی پرهیز شود. نتایج همچنین نشان داد که در تیرهای با انحراف ۴۵ درجه ظرفیت دورانی نهایی اتصال حدود ۲۵ درصد کاهش می یابد.

۳. نتایج نشان داد طول تیر تاثیر کمی بر میزان افت مقاومت اصطکاکی تیرهای مورب دارد. با افزایش طول تیر لنگر تیر نیز افزایش یافته و در نتیجه لنگر پیچشی وارد بر اتصال انتهایی افزایش می یابد ولی از طرفی نیروی برشی تیر (نسبت به تیرهای کوتاه) کاهش می یابد. با توجه به اینکه لغزش بین صفحات انتهایی تابع میزان تنشهای برشی ایجاد شده تحت اثر ترکیب برش و پیچش می باشد، نمیتوان با قاطعیت تعیین کرد که مقاومت اتصال در برابر لغزش افزایش می یابد یا کاهش.

۴. در نمونه های بررسی شده، در اتصال مورب تامین مقاومت برشی اتصال در حد نهایی بارگذاری عمدتاً به صورت اتکایی می باشد. در حالیکه در اتصال با زوایه صفر درجه، تامین مقاومت برشی اتصال عمدتاً به صورت اصطکاکی می باشد.

- stiffened extended end-plate connections, Journal of Constructional Steel Research, 63(9) (2007) 1279-1293.
- [12] AISC360, Specification for structural steel buildings: American Institute of Steel Construction, AISC, 2010.
- [13] Ansys Workbench, 2016.
- [14] AISC358, Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, AISC, 2014.
- [15] C.G. Salmon, J.E. Johnson, F.A. Malhas, Steel Structures: Design and Behavior, 5th Edition ed., Pearson International Edition, 2009.
- [8] M. Al Hijaj, M. Mahamid, Behavior of Skewed Extended Shear Tab Connections, Structures Congress 2015.
- [9] M. Mahamid, M. Al Hijaj, Behavior of Stiffened Skewed Extended Shear Tab Connections, Geotechnical and Structural Engineering Congress, 2016.
- [10] A. Zareia, M. Vaghefi, A.R. Fiouz, Numerical investigation seismic performance of rigid skewed beam-to-column connection with reduced beam section, Structural Engineering and Mechanics, 57(3) (2016) 507-528.
- [11] Y. Shi, G. Shi, Y. Wang, Experimental and theoretical analysis of the moment-rotation behaviour of

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

M.Hoseinzadeh Asl , M.Saeidzadeh ,Study of the effect of skewed beam-to-column connections on loss of strength in endplate moment connections ,*Amirkabir J. Civil Eng.*, 51(2)(2019)205-219.

DOI:10.22060/ceej.2018.13285.5364

