



# رابطه‌ای برای محاسبه سختی اتصالات خورجینی

## در راستای قائم

صادق گریوانی<sup>۱</sup>، علی اکبر آقاچوک<sup>۲</sup>  
(دریافت ۸۹/۹/۱۷، پذیرش ۹۱/۸/۱۲)

### چکیده

اتصالات خورجینی یکی از متداول‌ترین اتصالات تیر به ستون در سازه‌های ساختمانی فولادی موجود در ایران می‌باشد که در این اتصال، تیرها در محل اتصال قطع نشده و به صورت یکسره در کنار ستون‌ها ادامه می‌یابند. تاکنون مطالعات آزمایشگاهی و عددی نسبتاً زیادی در حوزه سختی و مقاومت چرخشی این نوع اتصالات در ایران انجام پذیرفته است، اما در رابطه با بدست آوردن مشخصات راستای قائم اتصال تاکنون تحقیقات زیادی صورت پذیرفته است. برای محاسبه مقاومت اتصال در راستای قائم روابطی ارائه گردیده است اما برای محاسبه سختی آن‌ها تاکنون رابطه‌ای پیشنهاد نگردیده است. لذا در این یادداشت سعی شده است تا با استفاده از مدل‌سازی‌های عددی به روش اجزاء محدود، رابطه‌ای کاربردی برای بدست آوردن سختی اتصال خورجینی در راستای قائم ارائه گردد.

### کلمات کلیدی

اتصال خورجینی، سختی اتصال، سختی راستای قائم

## A Formula for calculating vertical stiffness of Khorjeeni connections

Ali Akbar Aghakouchak, Sadegh Garivani

### ABSTRACT

“Khourjeeni” connection is amongst the most common type of beam-to-column connection in existing steel structures in Iran. In this connection beams pass by the side of columns without being disconnected at the location of beam-column joints. Extensive studies have been carried out either experimentally or analytically to investigate special characteristics of this type of connection including rotational resistance and stiffness, but enough research has not been done about vertical properties of this connection. Vertical strength of connection has received more attention and some empirical formulas have been proposed in this regard, but there is no information about vertical stiffness of this type of connection. Hence, this paper aims to develop an applicable equation for determining the vertical stiffness of this connection by conducting numerical modeling of the connection and employing FEM analyses.

### Keywords

Khourjeeni connection, Stiffness of connection, Vertical stiffness

۱. کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، S.garivani@gmail.com  
۲. استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، A.Agha@modares.ac.ir، (نویسنده مسئول)



اتصالات خورجینی یکی از متداولترین اتصالات تیر به ستون در سازه‌های ساختمانی فولادی موجود در ایران می باشد که برای اتصال تیر به ستون، دو نبشی در بالا و پایین هر کدام از تیرها (یا یک نبشی در پایین تیرها) قرار داده شده و به تیر و ستون متصل می‌شود. برای پرهیز از جوش بالاسری معمولاً نبشی پایین بزرگتر از بال تیر آهن و نبشی بالا کوچکتر از بال تیر آهن انتخاب می‌گردد. در این اتصال، تیرها در محل اتصال قطع نشده و به صورت یکسره ادامه می‌یابند و از نظر سهولت اجرا و افزایش باربری در مقابل بارهای ثقلی مزیت قابل ملاحظه‌ای دارا می‌باشند. در دسته‌بندی اتصالات بر اساس میزان صلبيت، اتصال خورجینی با جزئیات متداول، در دسته اتصالات نیمه‌صلب قرار می‌گیرد.

تحقیقات گذشته نشان داده‌اند که موارد متعددی در مقاومت، سختی، نحوه شکست، چرخش ترک خوردگی و دیگر مشخصات این اتصال می‌تواند تأثیرگذار باشد که از آن جمله می‌توان به طول نبشی‌ها، شماره مقاطع تیر، شماره نبشی‌ها، مقدار جوش‌ها، کیفیت جوش‌ها، نحوه جوشکاری، حذف نبشی بالا یا کوتاه‌تر کردن بال آن، نحوه قرار گرفتن تیرها روی نبشی‌ها (فاصله هریک از تیرها تا ستون) اشاره داشت. در نتایج آزمایش‌های مزروعی و مصطفای [۲] دیده می‌شود که با دو برابر شدن طول نبشی‌ها مقدار لنگر نهایی و لنگر متناظر با هر چرخش  $2/3$  تا  $2/5$  برابر گردیده است. سختی پیچشی اولیه اتصالات با مقاطع کوچکتر تیر، نسبت به اتصالات با مقاطع بزرگتر تیر، کاهش پیدا می‌کند. کرمی و مقدم [۳] برای تعیین سختی پیچشی اولیه یک اتصال خورجینی متداول از یک مدل تحلیلی استفاده نمودند به این ترتیب که با در نظر گرفتن یک فرم تغییر شکل برای نبشی‌ها و سپس نوشتن معادلات تعادل و سازگاری، معادله تغییر شکل نسبی و در نتیجه سختی اولیه اتصال را بدست آوردند. نمودارهای بدست آمده توسط طاحونی و

فرجودی [۴] نشان می‌دهد که اتصالات خورجینی بنا بر جزئیات خود دارای ۲۵ تا ۸۰ درصد گیرداری می‌باشند. فروغی، زاهدی و برخورداری [۵] میزان این گیرداری را حدود ۹۰ درصد بر آورد کردند. فتحی و آفاکوچک [۶] نشان دادند که در صورت تأمین سختی پیچشی بالاتر از حدود ۱۰۰۰ تن‌متر بر رادیان، در ساختمان‌های با ارتفاع کم و متوسط، رفتار سازه حساسیت چندانی به میزان سختی اتصال ندارد.

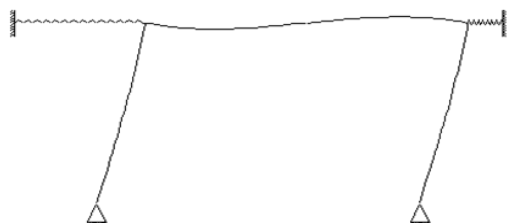
علاوه بر شناخت رفتار پیچشی اتصال خورجینی، شناخت رفتار این اتصال در راستای قائم نیز حائز اهمیت می‌باشد. چرا که این اتصال علاوه بر تحمل بارهای ثقلی در راستای قائم، در هنگام وقوع زلزله می‌تواند در اثر اعمال مؤلفه قائم زلزله نیز تحت بارهای در راستای مذکور قرار گیرد. به علاوه نیروهای ناشی از اندرکنش قاب و میانقاب نیز (مؤلفه قائم دستک فشاری ایجاد شده در میانقاب علت اندر کنش با قاب پیرامونی) می‌تواند باعث اعمال نیروهای قابل توجهی به اتصال و در نتیجه ایجاد خرابی در اتصال و ریزش سقف شود [۷]. از اینرو شناخت رفتار اتصال در راستای قائم و محاسبه سختی و مقاومت اتصال در این راستا ضروری به نظر می‌رسد. برای محاسبه مقاومت اتصال خورجینی در راستای قائم، روابطی در نشریه ۳۲۴ ارائه گردیده است [۱] اما متأسفانه تحقیقات چندانی بر روی سختی قائم اتصال خورجینی وجود ندارد و تنها مرجع موجود در این زمینه که مربوط به شکیب و سعادت نیا [۸] می‌باشد که با مدل سازی عددی یک حالت خاص از اتصال خورجینی دارای نبشی بالا و پایین، سختی اتصال در راستای قائم را بدست آورده‌اند.

## ۲- رفتار کلی اتصال خورجینی در راستای قائم

شکل ۱ یک مدل المان محدود از یک تیر با مقطع *IPE* که با دو عدد نبشی بالا و پایین به ستونی متصل شده است را نشان می‌دهد. چنانچه این تیر تحت بار قائم قرار گیرد، تغییر فرم آن مطابق شکل ۲ خواهد بود.



در این مدل تیر و ستون‌های قاب، نمایانگر جان و بال تیر و فنرهایی که در تراز تیر به تکیه گاه متصل شده، بیانگر سختی نبشی‌های بالا و پایین هستند. چنانچه این مدل تحت تأثیر باری در امتداد تیر خود قرار گیرد، تغییر شکل آن مطابق شکل ۴ خواهد بود. این شکل مشابه شکل تغییر فرم اتصال نشان داده شده در شکل ۲ می‌باشد.



شکل (۴): مدل ساده شده رفتار اتصال خورجینی

در راستای قائم پس از جابجایی

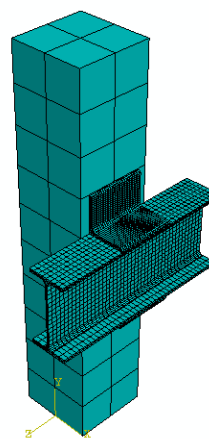
سختی قاب نشان داده شده در شکل ۳ که مدل ساده شده رفتار اتصال خورجینی در راستای قائم می‌باشد از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$K = k_{L1} + k_{L2} + k_2 \quad \text{رابطه ۱}$$

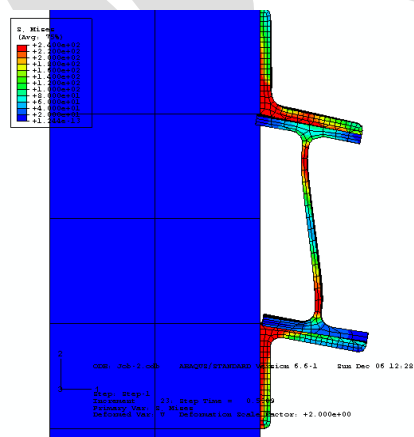
$k_{L1}$  و  $k_{L2}$ ، سختی فنرهای انتقالی، و  $k_2$ ، سختی قاب یک دهانه یک طبقه نشان داده شده در شکل ۳ می‌باشد که با استفاده از روش‌های محاسبه سختی این نوع قاب‌ها در تحلیل سازه‌ها (صرف نظر از سختی محور اعضاء) می‌توان این سختی را از رابطه ۲ بدست آورد.

$$k_2 = \frac{12E}{A^2} \left[ \frac{1}{\frac{2A}{I_c} + \frac{B}{I_b}} \right] \quad \text{رابطه ۲}$$

همان طور که اشاره گردید، در رابطه ۱، سهم سختی نبشی‌های بالا و پایین در سختی کل اتصال، به صورت سختی فنرهای انتقالی  $k_{L1}$  و  $k_{L2}$  لحاظ شده است. در این نوع تغییر فرم اتصال، سختی نبشی‌های بالا و پایین ناشی از مقاومت این اعضاء در برابر خم شدن از ناحیه ماهیچه می‌باشد که در حقیقت به صورت سختی پیشگی عمل می‌نماید (شکل ۵).

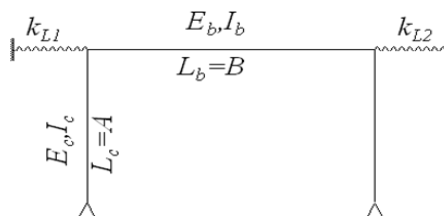


شکل (۱): نمای سه بعدی مدل ساخته شده از اتصال خورجینی



شکل (۲): نحوه تغییر شکل اتصال خورجینی در راستای قائم

با توجه به شکل ۲ می‌توان رفتار اتصال در راستای قائم را با ۹۰ درج چرخش به صورت یک قاب یک دهانه یک طبقه معادل کرد تا به یک فرمول اولیه برای بدست آوردن سختی مورد نظر دست یافت. این مدل ساده شده در شکل ۳ نشان داده شده است.



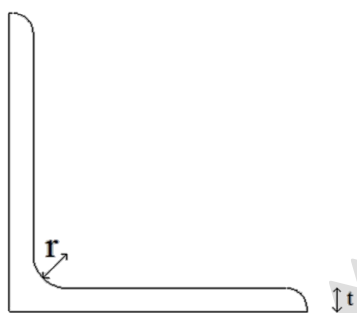
شکل (۳): مدل ساده شده رفتار اتصال خورجینی

در راستای قائم قبل از جابجایی

با تیر و نوع تغییر شکلشان با یکدیگر متفاوت بوده و می‌بایست روابط جداگانه‌ای برای هر یک بدست آورد. مقدار  $K_2$  نیز بستگی به مشخصات تیر و نیز نبشی‌ها دارد.

### ۳- محاسبه $k_{\theta 1}$ و $k_{\theta 2}$

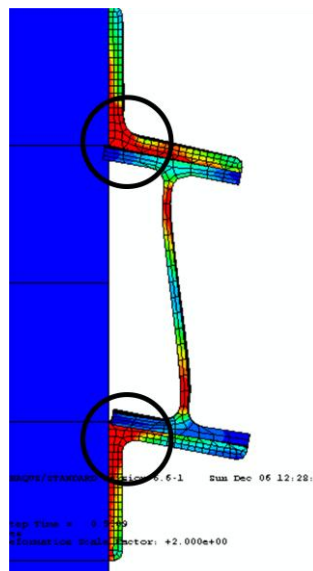
در این بخش با انجام مدل‌سازی‌های عددی به بررسی اثر پارامترهای مؤثر در سختی پیچشی نبشی‌های بالا و پایین بررسی می‌شود. پارامترهایی که در این سختی اثر گذار می‌باشند عبارتند از طول نبشی ( $L$ )، شعاع ماهیچه ( $r$ ) و ضخامت بال‌های نبشی ( $t$ ). پارامترهای  $r$  و  $t$  در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل (۷): پارامترهای  $r$  و  $t$  در نبشی

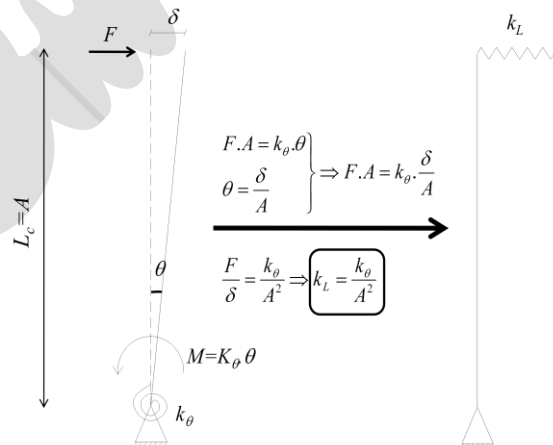
### ۳-۱ بررسی اثر $r$ بر مقدار $k_{\theta 1}$ و $k_{\theta 2}$

برای بدست آوردن رابطه‌ای برای محاسبه سختی‌های  $k_{\theta 1}$  و  $k_{\theta 2}$ ، در این بخش با ثابت نگه داشتن مقدار طول و ضخامت بال نبشی و ایجاد تغییر در مقدار  $r$ ، اثر این پارامتر بر مقدار سختی‌های مور بررسی آورده شده است. در این مدل‌سازی‌ها، مقطع تیر، IPE200 و طول نبشی و ضخامت بال آن به ترتیب برابر با ۱۵۰ و ۱۰ میلی‌متر انتخاب شده است. شکل ۸ نشان دهنده تغییرات سختی نبشی بر حسب پارامتر  $r$  می‌باشد. همانطور که دیده می‌شود این تغییرات را با دقت قابل قبولی به صورت یک چند جمله‌ای درجه دو بر حسب  $r$  نوشت. اما برای در نظر گرفتن اثر دو پارامتر دیگر مؤثر در سختی مورد بررسی، دو ضریب  $\mu$  و  $\lambda$  که به ترتیب مربوط به طول و ضخامت بال نبشی می‌باشند در روابط بدست آمده ضرب می‌شوند. با توجه به توضیحات فوق، رابطه ۴ و



شکل (۵): مقاومت نبشی در برابر خم شدن از ناحیه ماهیچه

لذا سختی‌های انتقالی معرفی شده در رابطه ۱، سختی انتقالی معادل سختی پیچشی مذکور می‌باشند که نحوه معادل سازی آن در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل (۶): معادل سازی سختی پیچشی بال نبشی

به صورت سختی انتقالی

با توجه توضیحات ارائه شده در خصوص نحوه معادل سازی فنرهای چرخشی با فنرهای انتقالی رابطه ۱ را می‌توان به صورت رابطه ۳ نوشت:

$$K = \frac{k_{\theta 1} + k_{\theta 2}}{A^2} + k_2 \quad \text{رابطه ۳}$$

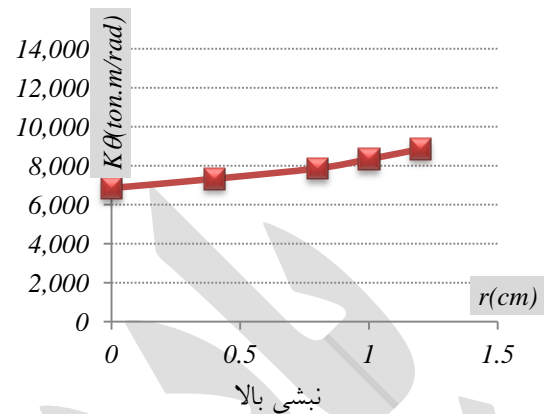
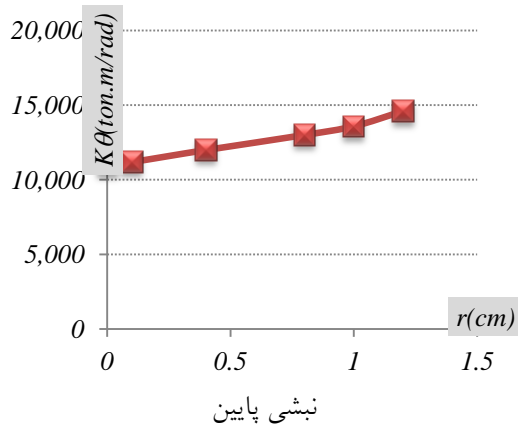
در رابطه ۳،  $k_{\theta 1}$  و  $k_{\theta 2}$ ، بستگی به مشخصات نبشی‌های بالا و پایین دارد. لازم به ذکر است مقدار سختی نبشی بالا و پایین ( $k_{\theta 1}$  و  $k_{\theta 2}$ ) با توجه به تفاوت در نحوه تماس



$$K_{Top} = \mu_{Top} \cdot \lambda_{Top} \cdot (808r^2 + 662r + 6873) \quad \text{رابطه ۴}$$

$$K_{Bottom} = \mu_{Bottom} \cdot \lambda_{Bottom} \cdot (1128r^2 + 1508r + 11084) \quad \text{رابطه ۵}$$

رابطه ۵ برای بدست آوردن سختی پیچشی نبشی‌ها پیشنهاد شده است. در ادامه چگونگی بدست آوردن این ضرایب نیز در شکل ۸ ارائه گردیده است.



شکل (۸) تغییرات سختی پیچشی بال نبشی بالا و پایین بر حسب r

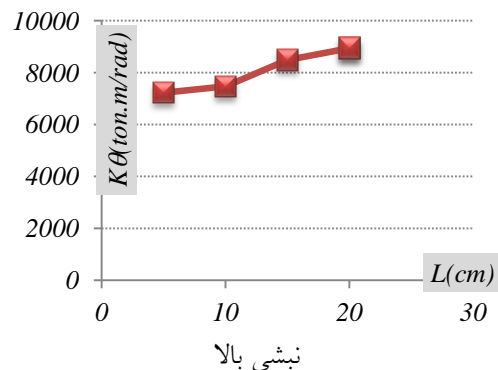
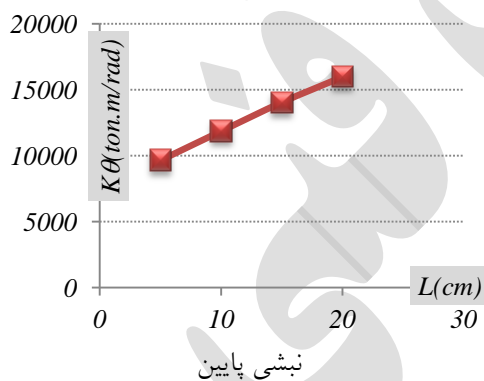
دهنده تغییرات تقریباً خطی سختی بر حسب پارامتر طول نبشی می‌باشد. با توجه به این نتایج، ضریب  $\mu$  برای نبشی‌های بالا و پایین به صورت زیر بدست آمده است.

$$\mu_{Top} = 0.014L + 0.76 \quad \text{رابطه ۶}$$

$$\mu_{Bottom} = 0.03L + 0.54 \quad \text{رابطه ۷}$$

۲-۳ بررسی اثر طول نبشی بر مقدار  $k_{\theta 1}$  و  $k_{\theta 2}$

در این بخش با ثابت نگه داشتن پارامترهای  $r=12mm$  و  $t=10mm$  و مقطع تیر (IPE200)، به بررسی اثر طول نبشی بر سختی پیچشی نبشی‌های بالا و پایین و در نهایت بدست آوردن ضریب  $\mu$  پرداخته شده است. شکل ۹ نشان



شکل (۹): تغییرات سختی پیچشی بال نبشی بالا و پایین بر حسب طول نبشی

دیده می‌شود در این حالت نیز تغییرات سختی را می‌توان با دقت خوبی به صورت یک چند جمله‌ای درجه دو بر حسب  $t$  نوشت.

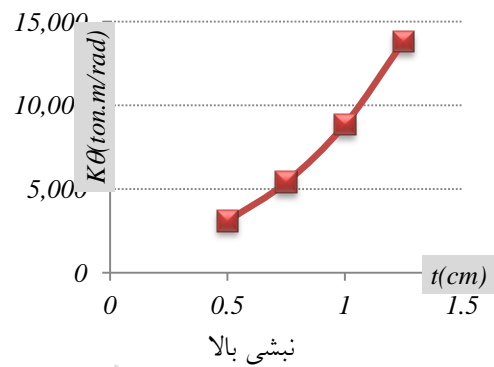
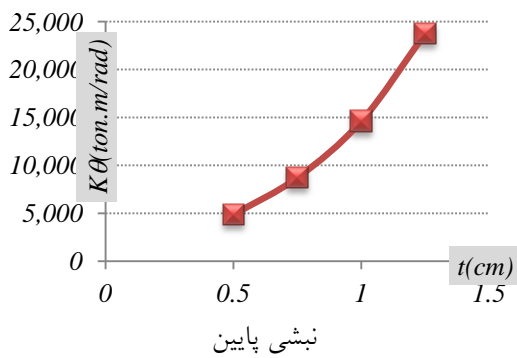
ضریب  $\lambda$  طبق رابطه ۸ و رابطه ۹ زیر بدست می‌آید:

$$\lambda_{Top} = 1.197t^2 - 0.487t + 0.296 \quad \text{رابطه ۸}$$

$$\lambda_{Bottom} = 1.448t^2 - 0.821t + 0.386 \quad \text{رابطه ۹}$$

۳-۳ بررسی اثر  $t$  بر مقدار  $k_{\theta 1}$  و  $k_{\theta 2}$

در این بخش نیز با ثابت نگه داشتن پارامترهای  $L=150mm$  و  $r=12mm$  و مقطع تیر (IPE200)، به بررسی اثر ضخامت بال نبشی بر سختی پیچشی نبشی‌های بالا و پایین پرداخته شده است. شکل ۱۰ نشان دهنده تغییرات سختی نبشی بر حسب پارامتر  $t$  می‌باشد. همانطور که



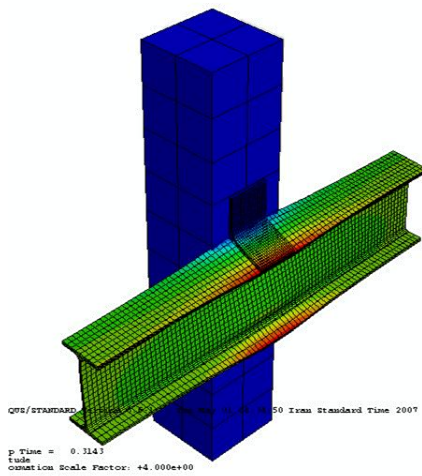
شکل (۱۰): تغییرات سختی پیچشی بال نبشی بالا و پایین بر حسب  $t$

رابطه ۲ برای اتصال خورجینی لازم است تا این فرمول بر اساس مشخصات اعضای اتصال نوشته شود که این جایگذاری و خلاصه سازی فرمول در رابطه ۱۰ ارائه گردیده است.

$$k_2 = \frac{12E}{A^2} \left[ \frac{1}{\frac{2A}{I_c} + \frac{B}{I_b}} \right] \Rightarrow k_2 = \frac{12E}{\left(\frac{b_{fb}}{2}\right)^2} \left[ \frac{1}{\frac{2\left(\frac{b_{fb}}{2}\right)}{L \cdot (t_{fb})^3} + \frac{h_w}{L \cdot (t_{wb})^3}} \right] \Rightarrow k_2 = \frac{4E}{b_{fb}^2} \left[ \frac{L}{\frac{b_{fb}}{t_{fb}^3} + \frac{h_w}{t_{wb}^3}} \right]$$

گرفته بر روی نتایج حاصل از مدل سازی ها، این ضریب را می توان بر اساس طول نبشی و عرض بال تیر با استفاده از رابطه ۱۱ بدست آورد.

$$\alpha = \frac{L + 4b_{fb}}{L} \Rightarrow \alpha = 1 + \frac{4b_{fb}}{L} \quad \text{رابطه ۱۱}$$



شکل (۱۱): نحوه تغییر شکل اتصال در مدل سه بعدی

#### ۴- کنترل رابطه بدست آمده برای $K_2$

۴-۱ بدست آوردن ضریب اصلاحی همانطور که در بند ۲ اشاره شده است، برای رسیدن به سختی اتصال خورجینی، می توان از رابطه بدست آمده برای سختی قاب شکل ۳، استفاده نمود. برای استفاده از

#### رابطه ۱۰

که در آن:

$E$ : مدول الاستیسیته فولاد بکار رفته در مقاطع ( $kg/cm^2$ );

$t_{wb}$ : ضخامت جان تیر ( $cm$ );

$h_w$ : ارتفاع جان تیر;

$b_{fb}$ : عرض بال تیر ( $cm$ );

$t_{fb}$ : ضخامت بال تیر ( $cm$ );

$t$ : ضخامت بال نبشی ( $cm$ );

$L$ : طول نبشی های بالا و پایین ( $cm$ );

لازم به ذکر است که در رابطه ۱۰ طول تیر برابر طول نبشی های در نظر گرفته شده است. لیکن با توجه به پیوسته بودن تیر (همانطور که در شکل ۱۱ نیز مشخص است)، طول بیشتری از تیر در سختی اتصال مؤثر خواهد بود. لازم است سختی ناشی از تیر ( $k_2$ ) در ضریبی افزایشده ضرب شود و سپس در رابطه نهایی با سختی ناشی از نبشی ها جمع گردد. بر اساس بررسی انجام



بدین ترتیب رابطه نهایی سختی  $k_2$  به صورت زیر می‌باشد:

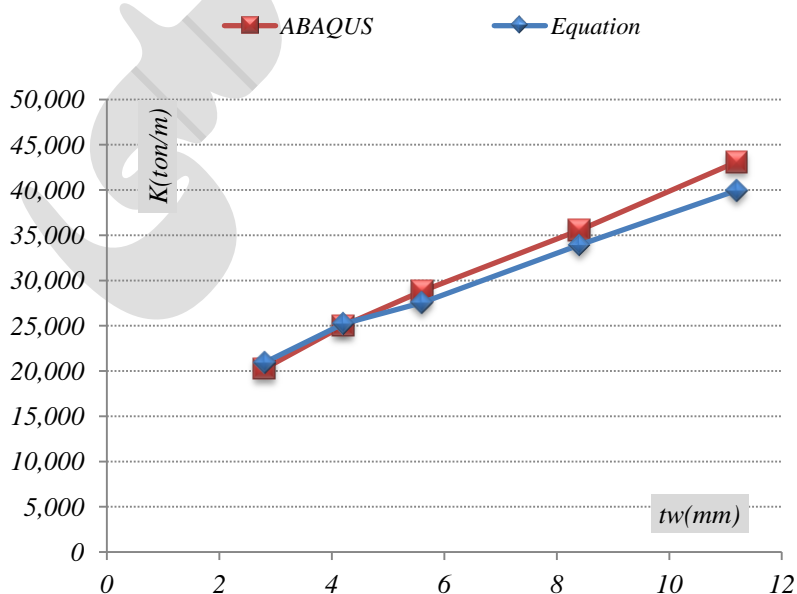
$$k_2 = \left(1 + \frac{4b_f}{L}\right) \frac{4E}{b_{fb}^2} \left[ \frac{L}{\frac{b_{fb}}{(t_{fb})^3} + \frac{h_w}{t_{wb}^3}} \right] \quad \text{رابطه ۱۲}$$

۲-۴ بررسی اثر ضخامت جان تیر بر سختی اتصال

پس از بدست آوردن رابطه مناسب برای سختی‌های  $k_{\theta 1}$  و  $k_{\theta 2}$  و اعمال ضریب اصلاحی به رابطه ۲، در این بخش به بررسی اثر ضخامت جان تیر بر روی سختی کلی اتصال پرداخته شده است. بررسی‌های صورت گرفته بر روی اثر ضخامت جان تیر بر سختی اتصال نشان می‌دهد که این پارامتر علاوه بر اینکه طبق رابطه ۱۲، در مقدار  $K_2$  اثر مستقیم دارد، بر روی نحوه دخالت سختی پیچشی نبشی پایین بر روی سختی کل نیز مؤثر می‌باشد. به طوریکه طبق نتایج حاصل از مدل‌سازی، در ضخامت‌های بیشتر از ۴ میلی‌متر هر دو نبشی بالا و پایین به طور کامل در سختی کل مشارکت دارند و رابطه سختی کل، همان رابطه ۱ می‌باشد، اما در ضخامت‌های کمتر از ۴ میلی‌متر، به تدریج از اثر نبشی پایین بر سختی کل کاسته می‌شود (جهت بارگذاری رو به پایین می‌باشد) به طوریکه این

کاهش را می‌توان به صورت یک ضریب کاهشدهنده  $\beta$  در رابطه ۱ در سختی  $k_{\theta 2}$  اعمال نمود. لازم به ذکر است در اتصالات خورجینی متداول موجود، معمولاً این ضخامت بیشتر از ۴ میلی‌متر بوده و در نتیجه  $\beta = 1$  خواهد بود. لذا در رابطه پیشنهادی نهایی نیز این پارامتر برابر ۱ در نظر گرفته شده است.

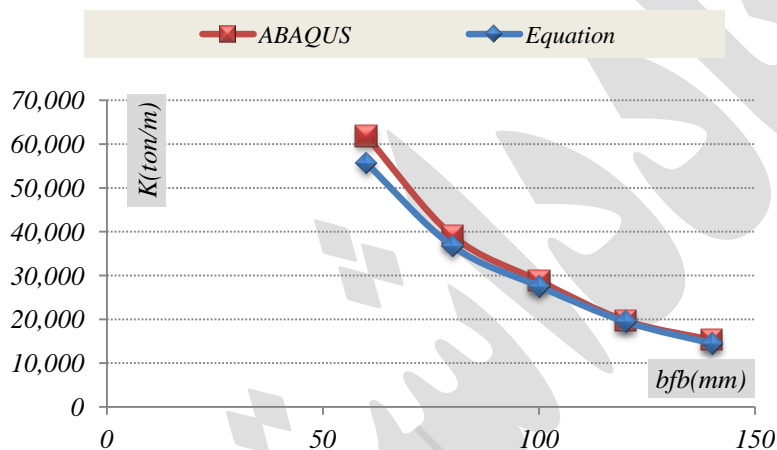
در ادامه با ثابت نگه داشتن مشخصات نبشی بالا و پایین  $(L100 \times 100 \times 10)$ ، طول نبشی  $(L)$ ، طول تیر  $(L_b)$  و مشخصات تیر  $(IPE200)$  به جزء ضخامت جان  $(t_{wb})$  به بررسی اثر تغییر ضخامت جان تیر بر سختی کل اتصال خورجینی پرداخته شده است. همچنین مقایسه‌ای نیز بین نتایج حاصل از مدل‌سازی با نتایج حاصل از رابطه پیشنهادی ارائه گردیده است. شکل ۱۲ نشان دهنده این مقایسه می‌باشد. همان‌گونه که در این شکل مشخص می‌باشد، تغییرات سختی بر حسب ضخامت جان تیر، تقریباً به صورت خطی بوده و نیز سختی بدست آمده از رابطه پیشنهادی تطبیق خوبی با نتایج حاصل از مدل‌سازی دارد.



شکل (۱۲): مقایسه اعداد بدست آمده از رابطه پیشنهادی با نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی

۳-۴ بررسی اثر عرض بال تیر بر سختی اتصال یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیر گذار بر سختی کل اتصال، طبق رابطه ۱، فاصله جان تیر از لبه ستون بوده که این فاصله برابر نصف عرض بال تیر می‌باشد. در این بخش به بررسی این پارامتر بر روی سختی اتصال در راستای قائم پرداخته شده است. برای این کار مشخصات نبشی بالا و پایین ( $L100 \times 100 \times 10$ )، طول نبشی ( $L$ )، طول تیر ( $L_b$ ) و مشخصات تیر ( $IPE200$ ) به جزء عرض بال

آن ( $b_{fb}$ ) ثابت نگه داشته شده است و سختی اتصال به ازای مقادیر مختلف این پارامتر یک بار از رابطه پیشنهادی و بار دیگر با مدل‌سازی بدست آمده و نتایج مربوطه در شکل ۱۳ نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود با افزایش عرض بال تیر، سختی اتصال به شدت کاهش پیدا می‌نماید. همچنین باز هم نتایج حاصل از مدل‌سازی با اعداد حاصل از رابطه پیشنهادی به خوبی مطابقت دارد



شکل (۱۳): بررسی اثر عرض بال تیر بر سختی اتصال و مقایسه اعداد بدست آمده از رابطه با نتایج حاصل از مدل‌سازی.

#### رابطه پیشنهادی

پس از بدست آوردن روابط کلی ارائه شده در بند ۲، تعیین روابطی برای بدست آوردن سختی‌های پیچشی و نیز تعیین ضرایب اصلاحی، در این بخش روابط پیشنهادی نهایی ارائه گردیده و سپس با انجام مدل‌سازی‌هایی، صحت این رابطه کنترل گردیده است. رابطه نهایی پیشنهادی به صورت زیر می‌باشد.

$$\lambda_{Top} = 1.197t^2 - 0.487t + 0.296$$

$$\lambda_{Bottom} = 1.448t^2 - 0.821t + 0.386$$

که در این روابط:

$E$ : مدول الاستیسته فولاد بکار رفته در مقاطع ( $kg/cm^2$ );

$t_{wb}$ : ضخامت جان تیر ( $cm$ );

$h_w$ : ارتفاع جان تیر;

$b_{fb}$ : عرض بال تیر ( $cm$ );

$t_{fb}$ : ضخامت بال تیر ( $cm$ );

$t$ : ضخامت بال نبشی ( $cm$ );

$L$ : طول نبشی‌های بالا و پایین ( $cm$ );

$r$ : شعاع ماهیچه نبشی;

$$K = \frac{4(k_{\theta 1} + k_{\theta 2})}{b_{fb}^2} + k_2$$

$$k_2 = \left(1 + \frac{4b_{fb}}{L}\right) \frac{4E}{b_{fb}^2} \left[ \frac{L}{\frac{b_{fb}}{(t_{fb})^3} + \frac{h_w}{t_{wb}^3}} \right]$$

$$K_{\theta 1} = \mu_{Top} \cdot \lambda_{Top} \cdot (808r^2 + 662r + 6873)$$

$$K_{\theta 2} = \mu_{Bottom} \cdot \lambda_{Bottom} \cdot (1128r^2 + 1508r + 11084)$$

$$\mu_{Top} = 0.014L + 0.76$$

$$\mu_{Bottom} = 0.03L + 0.54$$



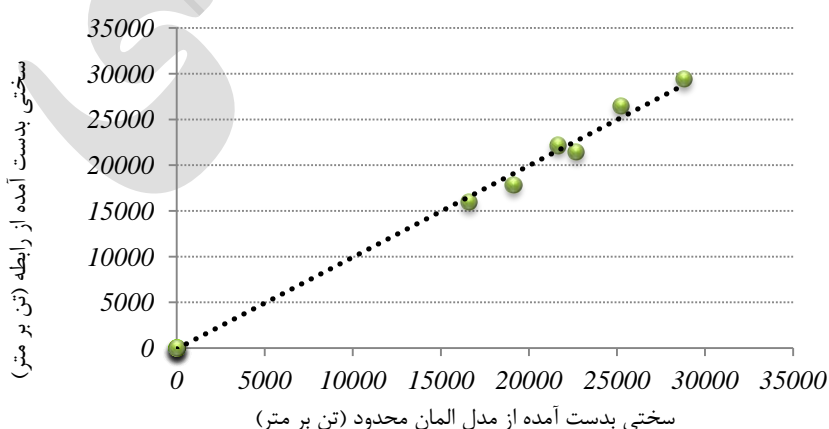
## نتیجه گیری

در انجام محاسبات دقیق برای تعیین رفتار قاب‌های دارای اتصالات خورجینی، علاوه بر وجود اطلاعات لازم در خصوص رفتار پیچشی اتصال، اطلاعات مربوط به رفتار اتصال در راستای قائم نیز ضروری است. در این تحقیق با انجام مدل‌سازی المان محدود و مطالعه رفتار این اتصالات، رابطه‌ای برای محاسبه سختی قائم اتصال خورجینی دارای نبشی بالا و پایین، بدست آمده است. برای کنترل دقت رابطه نهایی پیشنهادی، چند نمونه مدل المان محدود از اتصالات خورجینی با مشخصات تیر و نبشی‌های بالا و پایین متداول، در نرم افزار ساخته شده و سختی بدست آمده از تحلیل با سختی بدست آمده از رابطه پیشنهادی مقایسه گردیده است. مشخصات

اتصالات مورد مطالعه به همراه اعداد بدست آمده برای سختی اتصال از دو روش مذکور در ۰ ارائه گردیده است. شکل ۱۴ نیز نشان دهنده دقت قابل قبول اعداد بدست آمده از رابطه پیشنهادی در این گزارش می‌باشد. با توجه به کنترل صورت گرفته بر روی دقت رابطه پیشنهادی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که این رابطه از دقت قابل قبولی در محاسبه سختی اتصال در راستای قائم برخوردار بوده و می‌توان از آن برای محاسبه این سختی در مدل‌های ساده شده سازه‌های فولادی دارای اتصال خورجینی برای در نظر گرفتن ملاحظات مربوط به راستای قائم اتصال بهره گرفت.

جدول (۱): مشخصات نمونه‌های مدل شده و اعداد بدست آمده برای سختی اتصال در راستای قائم

شماره نمونه	مشخصات اجزای اتصال	سختی راستای قائم (ton/m)	
		ABAQUS	رابطه پیشنهادی
S1	L80-IPE180- $L_L=120mm$	۲۱,۶۵۹	۱۹,۲۲۲
S2	L100-IPE200- $L_L=100mm$	۲۵,۲۴۹	۲۴,۳۱۸
S3	L100-IPE200- $L_L=150mm$	۲۸,۸۱۵	۲۷,۵۳۷
S4	L100-IPE270- $L_L=200mm$	۱۹,۱۳۰	۱۸,۱۲۴
S5	L80-IPE220- $L_L=120mm$	۱۶,۶۱۵	۱۴,۸۹۲
S6	L100-IPE240- $L_L=170mm$	۲۲,۷۰۵	۲۱,۰۰۵



شکل (۱۴): مقایسه اعداد بدست آمده از رابطه با نتایج حاصل از مدل‌سازی برای نمونه‌های مختلف

## مراجع

۱. ضوابط طراحی ساختمان‌های با اتصال خورجینی (نشریه ۳۲۴)، ۱۳۸۵، انتشارات سازمان مدیریت برنامه ریزی کشور.
۲. مزروعی و مصطفایی، "بررسی تجربی رفتار برشی اتصالات خورجینی متداول و تقویت شده"، اولین کنفرانس علمی- تخصصی مهندسان راه و ساختمان ایران، تهران، مهرماه ۱۳۷۸.
۳. کرمی و مقدم، "مطالعات انجام شده در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن"، تهران، ۱۳۷۰.
۴. طاحونی و فرجودی، "گزارش مطالعات صلبیت اتصال خورجینی"، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، ۱۳۷۱.
۵. فروغی، زاهدی و برخوردار، "بررسی اتصالات خورجینی گیردار و فرمول بندی حاکم بر آنها"، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، اردیبهشت ۱۳۷۶.
۶. آفاکوچک و فتحی، "بررسی رفتار دینامیکی غیر خطی قاب‌های با اتصال خورجینی تحت نیروهای زلزله"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۶.
۷. گریوانی و آفاکوچک، "بررسی رفتار قاب‌های فولادی دارای اتصالات خورجینی و میانقاب مصالح بنایی تقویت شده با شبکه فولادی و شاتکریت"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۸.
۸. سعادت نیا و شکیب، "بررسی اثر مولفه قائم زلزله بر رفتار ساختمان‌های فولادی با اتصالات خورجینی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۴.

