

**F. Hamedi\***

Department of Civil  
Engineering, Faculty of  
Engineering and Technology,  
Imam Khomeini International  
University, Qazvin, Iran.

**e-mail:**

hamedi@eng.ikiu.ac.ir

**S. B. Adibzadeh**

Department of Civil  
Engineering, Faculty of  
Engineering and Technology,  
Imam Khomeini International  
University, Qazvin, Iran.

**e-mail:**

adibzadeh@edu.ikiu.ac.ir

## **Minimum Thickness of the Column Face in the Welded Unreinforced Flange-Welded Web (WUF-W) Moment Connection to Box Column without Continuity Plate**

*The Welded Unreinforced Flange-Welded Web (WUF-W) Moment Connection is one of the most common types of rigid connections in steel moment frames. However, due to continuity plates installing challenges in the box columns, developing the design equation of continuity plates and finding creative alternative solutions instead of installing inner continuity plates in box columns are the matter of interest to the researchers. Considering the new continuity plate design approach in the AISC 341-16 and the part 10 of the Iranian National Building Code and the ambiguities that have arisen, in this research 42 WUF-W connections have been modeled and numerically studied under monotonic and cyclic loading. The results show that the approach has been taken by the 5<sup>th</sup> editions of part 10 of the Iranian National Building Code based on mandatory installing the continuity plate in box columns is strict. It seems that the equation for design the minimum thickness of the continuity plates in 4<sup>th</sup> edition of part 10 of the Iranian National Building Code can be satisfy the seismic provisions of AISC 341-16 by the correction factor equal to 1.7.*

**Keywords:** WUF-W Connection, Box Column, Rigidity, Cyclic Loading, Continuity Plate.

---

\* Corresponding author

Received 12 June 2022, Revised 09 August 2022, Accepted 11 August 2022.

DOI: 10.22091/cer.2022.8291.1405

## حداقل ضخامت وجه ستون در اتصال گیردار تقویت‌نشده جوشی تیر به ستون جعبه‌ای فاقد ورق پیوستگی

اتصال گیردار تقویت نشده جوشی (WUF-W) یکی از متداول‌ترین انواع اتصالات گیردار فولادی در قاب‌های خمشی است. با این وجود، به دلیل چالش‌های نصب ورق پیوستگی در ستون جعبه‌ای، توسعه روابط طراحی ستون‌های جعبه‌ای بدون ورق پیوستگی و ارائه راه‌های خلاقانه برای جایگزینی ورق پیوستگی در ستون جعبه‌ای همواره مورد توجه محققین، طراحان و سازندگان بوده است. با عنایت به رویکرد جدید آیین‌نامه‌هایی نظیر AISC 341-16 و مبحث دهم مقررات ملی ایران و ابهامات ایجاد شده درباره حداقل ضخامت وجه ستون جعبه‌ای فاقد ورق پیوستگی، در این پژوهش ۴۲ مدل اتصال گیردار WUF-W تحت بارگذاری چرخه‌ای و بارگذاری یکنواخت مورد مطالعه عددی قرار گرفتند. نتایج این پژوهش نشان داد که رویکرد ویرایش پنجم مبحث دهم از مقررات ملی ایران مبنی بر الزام نصب ورق پیوستگی مستقل از ضخامت وجه ستون جعبه‌ای سخت‌گیرانه بوده و با اعمال ضریب اصلاحی برابر با ۱/۷ به رابطه‌ی قبلی در ویرایش چهارم مبحث دهم و یا آیین‌نامه AISC 341-10 می‌توان به حاشیه اطمینان مناسب جهت طراحی اتصال بدون ورق پیوستگی در ستون جعبه‌ای دست یافت.

**واژگان کلیدی:** اتصال WUF-W، ستون جعبه‌ای، گیرداری، بارگذاری چرخه‌ای، ورق پیوستگی.

فرزانه حامدی\*

استادیار، گروه مهندسی عمران،  
دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه  
بین‌المللی امام خمینی (ره).  
پست الکترونیک:  
hamedi@eng.ikiu.ac.ir

سید بنیامین ادیب‌زاده

گروه مهندسی عمران، دانشکده  
فنی مهندسی، دانشگاه بین  
المللی امام خمینی (ره).  
پست الکترونیک:  
adibzadeh@edu.ikiu.ac.ir

### ۱- مقدمه

استفاده از اتصال گیردار WUF-W بیشتر مورد توجه قرار بگیرد [۲]. مطالعه شریفی و اسدی در ۱۳۹۷ نیز نشان‌دهنده عملکرد مناسب ستون جعبه‌ای نسبت به ستون بال‌پهن خصوصاً برای تیرهای مورب است [۳]. یکی از اجزای مهم ستون جعبه‌ای ورق پیوستگی است.

#### ۱-۱- ورق پیوستگی

از ورق پیوستگی که در محاذات بال‌های تیر در داخل مقطع ستون نصب می‌گردد، به منظور افزایش سختی خمشی وجه ستون در مقابل کشش یا فشار استفاده می‌گردد [۱]. ساخت ستون جعبه‌ای به عنوان متداول‌ترین مقطع ستون فولادی در ایران و در آسیا، با چالش‌های مهمی همراه است که یکی از مهمترین آنها نصب ورق پیوستگی در داخل ستون جعبه‌ای است [۱، ۴

یکی از متداول‌ترین انواع اتصال گیردار در سازه‌های فولادی اتصال گیردار تقویت‌نشده جوشی (WUF-W) است و اصغری در ۱۳۹۷ بیان نموده است که اجرای درختی این اتصال در سطح بسیار وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. خصوصاً با توجه به محدودیت‌های وضع شده در مبحث دهم از مقررات ملی ساختمان ایران در مورد استفاده از اتصال گیردار جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری (WFP)، به نظر می‌رسد که در آینده

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۴۰۱/۰۳/۲۲، بازنگری ۱۴۰۱/۰۵/۱۸، پذیرش ۱۴۰۱/۰۵/۲۰.  
DOI: 10.22091/cer.2022.8291.1405 شناسه دیجیتال

و ۵. ستون جعبه‌ای دارای سخت‌کننده داخلی به دو روش ساخته می‌شوند. در روش اول که قدیمی‌تر است، وجه چهارم به صورت پلاک درآمده و یک جوشکار ریزجثه، ضلع چهارم ورق پیوستگی را به وجه چهارمی که پلاک‌شده جوش می‌دهد. این روش به دلیل دستگیری و تحمیل برش‌ها و جوش‌های نفوذی اضافه بر پروژه مطلوب نیست. در روش دوم که جدیدتر است، اتصال ضلع چهارم ورق پیوستگی به وجه چهارم با جوش سرباره الکتریکی صورت می‌گیرد که هزینه بالایی داشته، زمانبر است، تقریباً غیرقابل بازرسی است و تنش‌های پسماند ایجاد می‌کند. روشن است که نصب ورق پیوستگی در ستون با مقطع H یا صلیبی، به دلیل در دسترس بودن محل اتصال، چندان مشکل نیست. بلاجت<sup>۲</sup> در سال ۱۹۷۲ با استفاده از تئوری مفصل‌های گسیختگی و یک تحلیل کار مجازی، رابطه (۱) را جهت برآورد تقریبی ظرفیت اسمی وجه ستون فولادی جعبه‌ای بدون ورق پیوستگی برای تحمل نیروی کششی یا فشاری ناشی از لنگر وارده از تیر به ستون ارائه نموده است [۶].

رابطه (۲) حذف شده و کنترل رابطه موجود در AISC 360-16 که تا حدودی شبیه به رابطه (۱) است و محدودیت‌های دیگر مدنظر قرار گرفته است [۷-۹]. با وجود تفاوت در عملکرد چشمه اتصال، در ویرایش چهارم مبحث دهم عیناً روابط (۲) و (۳) برای ستون‌های جعبه‌ای ساخته شده از ورق نیز آورده شده است. [۲]

$$t_{cf} \geq 0.4 \sqrt{\left[ 1 - \frac{b_{bf}}{b_{cf}} \left( b_{cf} - \frac{b_{bf}}{4} \right) \right] 1.8 b_{bf} t_{bf} \frac{F_{yb} R_{yb}}{F_{yc} R_{yc}}} \quad (2)$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{12} \quad (3)$$

در روابط (۲) و (۳)،  $t_{fc}$  حداقل ضخامت وجه ستون برای صرف نظر از نصب ورق پیوستگی،  $F_{yb}$  و  $F_{yc}$  حداقل تنش تسلیم فولاد برای تیر و ستون و  $R_{yb}$  و  $R_{yc}$  نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده فولاد تیر و ستون است. در پیش‌نویس آیین‌نامه AISC 341-22 نیز رابطه (۳) حفظ شده است [۱۰]. همچنین برای مقاطع جعبه‌ای انجام تحقیقات بیشتر جهت تعیین حداقل ضخامت وجه ستون پیشنهاد شده است [۸]. با این حال، در ویرایش پنجم مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران که اخیراً ابلاغ شده است، ضمن حذف هر دو رابطه (۲) و (۳)، نصب ورق پیوستگی برای تمامی اتصالات گیردار تیر [شکل به ستون جعبه‌ای ساخته شده از ورق بدون توجه به ظرفیت وجه ستون الزامی شده است که با توجه به ضوابط مندرج در AISC-341-16، به نظر سخت‌گیرانه می‌آید [۸ و ۱۱]. سند SAC در ۲۰۰۰، رابطه (۳) برای مقطع H را ارائه می‌نماید. در مطالعه مذکور با آزمایش دو اتصال WUF-W بدون ورق پیوستگی، حداقل ضخامت وجه ستون برای صرف نظر از نصب ورق پیوستگی برابر با ۱۹ درصد عرض بال تیر تعیین شده است و رابطه (۳) نیز با توسعه نتیجه مذکور برای ستون جعبه‌ای بدست آمده است [۱۲].

#### ۱-۲- ادبیات پژوهش

$$R_n = \frac{1}{6} \times F_y t_{fc} \left( b_{fc} + \frac{72 t_{fc}^2}{b_{fc} - b} \right) \quad (1)$$

در این رابطه که با ضریب اطمینان ۲ و فرض‌های ساده‌کننده دیگر بدست آمده،  $F_y$  معرف تنش تسلیم،  $t_{fc}$  ضخامت وجه ستون،  $b_{fc}$  عرض وجه ستون و  $b$  عرض بال تیر می‌باشد.  $R_n$  ظرفیت اسمی وجه ستون برای تحمل نیروی کششی یا فشاری است که می‌تواند زوج نیروی کششی و فشاری (کوپل نیرو) متناظر با لنگر پلاستیک تیر فرض شود.

روابط (۲) و (۳) نیز در آیین‌نامه AISC 341-10 (روابط E3-10 و E3-11) جهت در نظر گرفتن حداقل ضخامت وجه ستون برای ستون‌های جعبه‌ای ساخته شده از مقطع H ذکر شده بود. اما در آیین‌نامه AISC 341-

<sup>2</sup> Blodgett

هندسی و ابعاد مقطع ستون وابسته است را برای اعمال در رابطه (۲) پیشنهاد نموده‌اند [۱۶]. با توجه به شباهت رفتار دیافراگم داخلی ستون جعبه‌ای به دیوار برشی فولادی در قاب خمشی فولادی، قلهکی و همکاران به بررسی استفاده از سخت‌کننده در دیوار برشی فولادی و اثر اندازه چشمه سخت‌کننده‌ها بر کماتش صفحه پرداخته و نشان دادند با کوچک شدن چشمه سخت‌کننده‌ها شکل‌پذیری و ضریب رفتار سیستم افزایش می‌یابد [۱۷]. از این دیدگاه می‌توان در نصب سخت‌کننده‌های داخلی بر روی ورق پیوستگی بهره برد. در رویکردی مشابه، پاچیده و همکاران در یک تحلیل بارافزون شاخص‌های خرابی دیوار برشی فولادی داخل قاب خمشی را مورد مطالعه قرار داده‌اند [۱۸]. به نظر می‌رسد که می‌توان از نتایج تحقیق مذکور برای پیش‌بینی مود خرابی ورق پیوستگی نیز استفاده نمود. رینولدز و یوانگ<sup>۳</sup> در مطالعه‌ای آزمایشگاهی رفتار دو اتصال گیردار نوع RBS به ستون قافد ورق پیوستگی با مقطع H با ضخامت وجه حدود ۷۰ درصد بیشتر از حداقل ضخامت بدست آمده از رابطه (۲) را در محدوده الزامات آیین‌نامه AISC 358 گزارش نمودند که در واقع تأییدی بر امکان طراحی اتصال گیردار WUF-W بدون نصب ورق پیوستگی است. همچنین نتیجه گرفتند که در فقدان ورق پیوستگی احتمالاً رفتار اتصال RBS بهتر از اتصال WUF-W می‌باشد [۱۹]. اگرچه امروزه استفاده از روش جوش سرباره الکتریکی برای نصب ورق پیوستگی در ستون جعبه‌ای متداول شده است، اوزکولا<sup>۴</sup> و همکاران در یک پژوهش تجربی با مقیاس کامل نشان دادند که در صورت عدم رعایت شرایط هندسی سوراخ دسترسی و سایر ضوابط پیشنهادی نویسندگان، استفاده از جوشکاری سرباره الکتریکی ممکن است منجر به افزایش آسیب‌پذیری شکست ترد در ناحیه اتصال بال تیر به وجه ستون گردد [۲۰]. رضائیان و

به نظر می‌رسد که بعضاً حذف یا جایگزینی ورق پیوستگی از ستون جعبه‌ای موجب بهبود عملکرد اتصال نیز می‌گردد. به عنوان نمونه، صنیعی‌نیا و همکاران در مطالعه‌ای عددی بر روی اتصالات WUF-W تحت بارگذاری چرخه‌ای نمونه‌هایی شامل دو تیر متصل به یک ستون پیشنهاد نمودند که به دلیل توسعه ترک‌ها در محل اتصال ورق پیوستگی به وجه ستون، بهتر است به جای ورق پیوستگی از سخت‌کننده خارجی استفاده گردد [۱۳]. جهانبختی و همکاران در یک پژوهش آزمایشگاهی با استفاده از تحلیل دو مکانیسم لولای گسیختگی مشابه با تحلیلی که بلاجت ارائه نموده بود، نشان دادند که با حذف ورق پیوستگی از اتصال گیردار تیر به ستون جعبه‌ای از نوع WUF-W و افزایش حدود ۱/۵ برابری ضخامت وجه ستون نسبت به روابط (۲) و (۳) در محل اتصال، اگرچه رفتار اتصال تا دوران نظیر تغییرمکان جانبی ۰/۰۴ رادیان مطابق با الزامات آیین‌نامه AISC بوده است، اما در دوران ۰/۰۳ رادیان در یکی از نمونه‌ها یک ترک مشاهده شده است [۱۴]. یکی از مهمترین عوامل خرابی اتصالات WUF-W، شکست جوش نفوذی بال به وجه ستون است [۱]. بعضی محققین نیز سعی نمودند با ایجاد تغییرات هندسی در چشمه اتصال باعث بازتوزیع مناسب‌تر کرنش‌های پلاستیک در محل اتصال بال تیر به وجه ستون شوند. عدل‌پرور و همکاران طی یک پژوهش عددی نشان دادند که با توجه به اثر منفی مقاومت برشی چشمه اتصال در شکست جوش بال تیر به وجه ستون در اتصالات WUF-W، می‌توان با ایجاد دو شیار در جان تیر و جداسازی بال‌ها و جان در ناحیه بحرانی تیر عملکرد لرزه‌ای اتصال را برای استفاده در قاب‌های خمشی متوسط و ویژه ارتقا داد [۱۵]. امانی و همکاران طی یک مطالعه عددی بر روی اتصالات WUF-W تیر به ستون با مقطع H و ستون جعبه‌ای ساخته شده از دو مقطع I شکل و با مدل نمودن وجوه ستون به صورت تیر یک سر گیردار، یک ضریب اصلاحی که به شرایط

<sup>3</sup> Reynolds and Uang

<sup>4</sup> Ozkula

نمود [۲۴]. توئیزره و تاشکین<sup>۶</sup> با یک مطالعه عددی نشان دادند که اتصال تیر IPE به یک ستون جعبه‌ای فاقد ورق پیوستگی و دارای ضخامت وجه در حدود ضخامت بدست آمده از رابطه (۳) و حدود ۳۰ درصد کمتر از ضخامت بدست آمده از رابطه (۲)، تحت بارگذاری چرخه‌ای الزامات استاندارد Eurocode 3 را برآورده نکرده و در زمره اتصالات نیمه‌صلب طبقه‌بندی می‌شود. سپس با اضافه نمودن سخت‌کننده‌هایی نسبت به اصلاح اتصال اقدام نمودند. [۲۵]. همچنین به عنوان مقدمه‌ای بر این پژوهش، حامدی و ادیب‌زاده با مطالعه منحنی‌های هیستریزس ۱۸ مدل عددی نشان دادند که اگرچه کمیت عمق تیر اثر مستقیمی بر حداقل ضخامت وجه ستون جعبه‌ای بدون ورق پیوستگی ندارد، اما با توجه به تغییرات کرنش پلاستیک معادل در محل اتصال بال تیر به وجه ستون و همچنین گیرداری نمونه‌ها نشان دادند که با کاهش عمق تیر، کرنش پلاستیک معادل در محل اتصال بال تیر به ستون یکنواخت‌تر شده و گیرداری نمونه‌ها افزایش می‌یابد و نتیجه گرفتند که عمق تیر ارتباطی معکوس با حداقل ضخامت وجه ستون دارد. بنابراین، عمق تیر نیز به عنوان کمیت مؤثر بر حداقل ضخامت وجه ستون قابل توجه است [۲۶]. شایان ذکر است در استاندارد Eurocode 3 براساس سختی دورانی اتصال تیر به ستون با مقطع H، سه مدل اتصال تیر به ستون شامل گیردار، نیمه گیردار و مفصلی تعریف شده است [۲۷]. با توجه به حساسیت جوش سرباره الکتریکی، اومدا<sup>۷</sup> و همکاران طی یک پژوهش تجربی بر روی سه اتصال WUF-W تیر به ستون جعبه‌ای دارای ورق پیوستگی با ضخامتی بیش از ضخامت بال تیر و ضخامت وجه ستون در حدود رابطه (۲)، نشان دادند که ممکن است به دلیل اشکالات جوش سرباره الکتریکی و ناکافی بودن عمق نفوذ جوش در وجه ستون، ضوابط رفتار پلاستیک جهت

همکاران طی مطالعه عددی سه مدل اتصال گیردار از نوع تقویت نشده جوشی نشان دادند که با افزایش حدود ۵۰ درصدی ضخامت وجه ستون نسبت به ضخامت حداقل که در رابطه ۲ معرفی شده است، رفتار اتصال گیردار تیر به ستون فاقد ورق پیوستگی تا دوران ۰/۰۶ درصد در محدوده ضوابط آیین‌نامه AISC قرار گرفته و در نتیجه برای استفاده در قاب‌های متوسط و ویژه مناسب است [۵].

اگرچه در آیین‌نامه AISC 358-16 که مربوطه به اتصالات از پیش‌تایید شده می‌باشد، برای اتصال WUF-W الزامی جهت نصب ورق پیوستگی مطرح نشده است اما، محدودیت‌هایی در خصوص عمق تیر و ضخامت بال تیر ذکر شده است. همچنین حداقل نسبت دهانه به عمق تیر (L/d) در قاب‌های متوسط و ویژه به ترتیب ۵ و ۷ ذکر شده است. [۲۱]. با این حال، مطالعات بیشتر در خصوص حداکثر عمق تیر و نسبت L/d در جریان است. به عنوان نمونه، حامدی و همکاران در یک پژوهش عددی نشان دادند که برای اتصال گیردار پیچی به کمک زیرسری و روسری، افزایش کمینه L/d تا حدود ۳۰٪ امکان‌پذیر است [۲۲]. نونز<sup>۵</sup> و همکاران در یک پژوهش عددی بر روی اتصال WUF-W دو محوره تیر به ستون جعبه‌ای تو خالی دارای ضخامت وجه در حدود روابط ۲ و ۳، نشان دادند که استفاده از سخت‌کننده خارجی در امتداد بال‌های تیر موجب ارتقای رفتار اتصال شده و امکان استفاده از این نوع اتصال صلب در نواحی لرزه‌ای وجود دارد [۲۳]. محبوب بهروز و عرفانی با پیشنهاد یک قطعه‌ی اضافی در محل اتصال بال تیر به وجه ستون جهت توزیع بهتر کرنش‌ها برای اتصال تیر به ستون جعبه‌ای بدون ورق پیوستگی نشان دادند با افزایش حداقل دو برابری ضخامت وجه ستون نسبت به رابطه (۲) می‌توان از این اتصال در قاب‌های خمشی ویژه نیز استفاده

<sup>6</sup> Twizere and Taskin

<sup>7</sup> Umeda

<sup>5</sup> Nunez

استفاده از فولاد نوع JSA-JIS G 3199 است که رده‌ای ضد تورق می‌باشد. همچنین استفاده از اتصال صلب تیر به ستون جعبه‌ای فاقد ورق پیوستگی مجاز تلقی شده است و برای محاسبه ظرفیت خمشی در اتصال مذکور در قسمت ۴-۲-۵ روابط (۴) و (۵) ذکر شده است. رابطه (۴) مشابه رابطه (۱) با استفاده از تئوری مفصل گسیختگی بدست آمده است. مقایسه ظرفیت چند مدل مطالعه شده در این پژوهش با روابط (۱) و (۴) نشان داد که ظرفیت بدست آمده از رابطه (۴) حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد بیشتر از ظرفیت بدست آمده از رابطه (۱) است [۳۱].

$$M_p = M_0 \cdot b_c \cdot h_b \left( \frac{4x + h_b + r \cdot t}{x^2} + \frac{2}{h_b - r \cdot t} \right) + \quad (4)$$

$$2h_b \left( x - \frac{m \cdot b_c}{2x} \right)^2 \frac{b \cdot t_f \cdot b \cdot \sigma_y}{b_c}$$

$$4 \cdot b \cdot t_f \cdot b \cdot \sigma_y \cdot x^4 - 4M_0 \cdot b_c^2 \cdot x - b_c^2 \{ 2M_0 (h_b + r \cdot t) + m^2 \cdot b \cdot t_f \cdot b \cdot \sigma_y \} = 0 \quad (5)$$

در روابط فوق،  $M_p$  ظرفیت اسمی لنگر پلاستیک اتصال،  $M_0$  برابر با  $0.25 \cdot t_f \cdot b_c \cdot \sigma_y$ ،  $b_c$  عرض وجه ستون،  $h_b$  مساوی با ارتفاع جان تیر،  $t_f$  معرف ضخامت بال تیر به اضافه ساق جوش،  $h_b$  مساوی با عرض بال تیر،  $m$  برابر با نصف اختلاف بین عرض وجه ستون و عرض بال تیر،  $b \cdot t_f$  معرف ضخامت بال تیر،  $t_f$  نشان‌دهنده ضخامت وجه ستون،  $b \cdot \sigma_y$  معرف تنش تسلیم مصالح فولادی ستون و  $\sigma_y$  نیز برابر با تنش تسلیم مصالح فولادی تیر است. همچنین کمیت  $x$  از حل معادله درجه چهار رابطه (۵) بدست می‌آید.

## ۲- طرح مسئله، مواد و روش پژوهش

ذیلاً در سه بخش، ابتدا مسئله پژوهش بحث شده و پس از معرفی نمونه‌ها نتایج صحت‌سنجی ارائه شده است.

### ۲-۱- طرح مسئله

به منظور کاهش هزینه ساخت و بارزسی مطمئن‌تر جوشکاری‌ها، حذف ورق پیوستگی در اتصالات گیردار تیر

استفاده از اتصال در قاب خمشی ویژه ارضا نشود. به بیان دیگر، مطالعه مذکور نشان داد که نصب ورق پیوستگی لزوماً به معنی جلوگیری از افزایش ضخامت وجه ستون نبوده و یکی از عوامل موثر در رفتار مطلوب اتصال، عمق نفوذ جوش ورق پیوستگی در وجه ستون است که مبین افزایش ضخامت وجه ستون می‌باشد [۲۸]. طاهری‌پور و همکاران در پژوهشی عددی با هدف افزایش شکل‌پذیری و کاهش تنش بحرانی در چشمه اتصال، دو نمونه اتصال ابداعی شامل نوعی قطعه H شکل در انتهای تیر معرفی نمودند. نتایج مطالعه مذکور نشان داد که استفاده از این دو اتصال ابداعی باعث افزایش شکل‌پذیری و کاهش کرنش پلاستیک معادل می‌گردد [۲۹]. ژانگ<sup>۸</sup> و همکاران نیز با توجه به سخت بودن نصب ورق پیوستگی در ستون جعبه‌ای استفاده از نوعی هسته فولادی در ترکیب با سخت‌کننده بیرونی را در اتصال گیردار پیشنهاد نموده و نشان دادند که با این روش، گیرداری و ظرفیت اتصال به ترتیب حدود ۱۷ و ۱۰ درصد افزایش یافته و هزینه ساخت کاهش می‌یابد [۳۰]. به دلیل شباهت روش‌های اجرایی در ایران و ژاپن، توجه به توصیه‌نامه طراحی اتصالات در سازه‌های فولادی ژاپن (AIJ) مفید به نظر می‌رسد. مطابق با ویرایش ۲۰۲۱ از این توصیه‌نامه، اتصالات گیردار در سازه‌های فولادی دارای ستون جعبه‌ای در ۴ مدل قابل استفاده هستند. شایان ذکر است که از ورق پیوستگی در بعضی متون با نام دیافراگم یا سخت‌کننده ستون نیز نام برده می‌شود. اول اتصالات دارای ورق پیوستگی سراسری (که مقطع ستون را قطع می‌نماید)، دوم اتصالات دارای ورق پیوستگی داخلی، سوم اتصالات دارای ورق پیوستگی خارجی و چهارم، اتصالات فاقد ورق پیوستگی که برای هر کدام ضوابط خاصی در نظر گرفته شده است. مطابق با قسمت ۲-۲-۴ این استاندارد، انتخاب اتصال دارای ورق پیوستگی سراسری منوط به

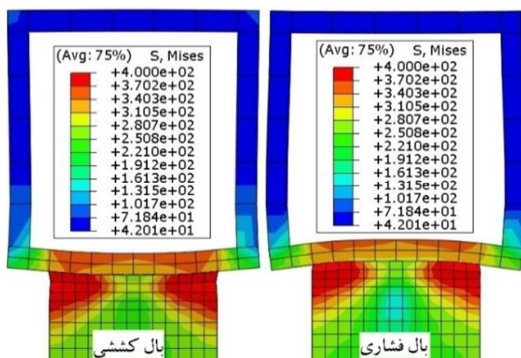
<sup>8</sup> Zhang

نمونه‌ها، به جای مدل‌سازی قاب کامل از نمونه ساده شده شکل ۱- ب استفاده شده است.

$$\theta = \frac{\Delta}{H} = \frac{\delta}{L/2} \quad (۶)$$

در رابطه (۶)،  $\theta$  دوران نظیر تغییرمکان جانبی اتصال،  $\Delta$  تغییرمکان نسبی طبقه،  $H$  ارتفاع طبقه،  $L$  دهانه و  $\delta$  خیز نوک تیر طره است.

مطابق با الزامات فصل K2 از آیین‌نامه AISC 341-16 که به منظور تأیید عملکرد یک اتصال گیردار مورد استناد است، استفاده از اتصال کناری و تعمیم نتایج به اتصالات دوطرفه مجاز است [۸]. شکل ۲ معرف تنش‌ها و تغییرشکل وجه ستون بدون ورق پیوستگی در محل بال کششی و فشاری و فشاری اتصال گیردار بوده و شکل ۳ نیز نشان‌دهنده روندنمایی از مراحل پژوهش است.

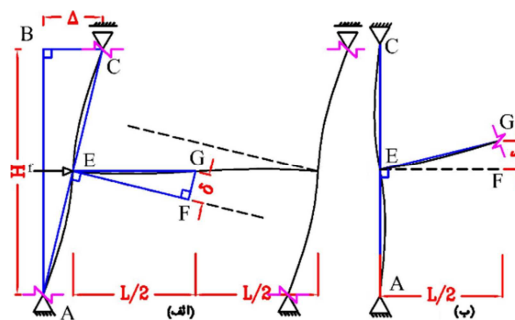


شکل ۲- تنش و تغییرشکل وجه ستون در محل اتصال گیردار

## ۲-۲- معرفی نمونه‌ها و تنظیمات مدل‌سازی

مشخصات هندسی ۴۲ نمونه مدل شده در جدول ۱ قابل مشاهده است.  $d$  عمق تیر،  $b_f$  عرض بال تیر و  $t_c$  ضخامت وجه ستون است. با توجه به تعدد پژوهش‌ها درباره نمونه‌های دارای ورق پیوستگی، ۴۱ مدل بدون ورق پیوستگی و یک مدل دارای ورق پیوستگی است. شایان ذکر است که نمونه‌های مشابه دارای ورق پیوستگی، در مطالعات قبلی نویسندگان نیز مورد بررسی قرار گرفته است [۲۶] و از تکرار آن اجتناب شده است. مطابق با روابط (۲) و (۳) حداقل ضخامت وجه ستون برای نمونه‌های فاقد ورق پیوستگی حدود ۲۰ میلی‌متر

به ستون جعبه‌ای همواره مورد نظر طراحان و محققین بوده است. گرچه در ویرایش پنجم مبحث دهم، احتمالاً با نگاهی به توصیه‌نامه AII استفاده از ورق پیوستگی سراسری مطرح شده است، اما به نظر می‌رسد که نصب دیافراگم سراسری نیز به دلایلی نظیر لزوم به کارگیری رده ضدتورق برای دیافراگم سراسری و بیرون‌زدگی ورق آن از لبه ستون‌ها، بدون چالش نباشد [۳۱]. از طرفی حذف ورق پیوستگی موجب کاهش سختی خمشی وجه ستون جعبه‌ای در قسمت میانی وجه و در نتیجه توزیع نامتناسب تنش‌های کششی یا فشاری و ایجاد تمرکز تنش در گوشه بال تیر می‌شود [۳۲]. لذا تمرکز اصلی محققین بر تأمین سختی وجه ستون در امتداد بال‌های تیر است و یکی از راه‌ها، افزایش ضخامت وجه ستون است. همچنین توسعه روابط طراحی مربوط به اتصالات گیردار بدون ورق پیوستگی در ستون جعبه‌ای نیز مورد تأکید استاندارد AISC 341-16 قرار گرفته است [۸]. بنابراین جهت برآورد حداقل ضخامت وجه ستون جعبه‌ای بدون ورق پیوستگی، در این مطالعه ۴۲ مدل اتصال گیردار مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه‌ها شامل دو نیم ستون و یک تیر طره بوده که مطابق شکل ۱، متناظر با یک قاب کامل است. از مدل نمودن جوش نیز صرف نظر شده است. شکل ۱ یک قاب را نشان می‌دهد که از نقاط عطف ستون طبقات به شکل مفصلی جدا شده است.



شکل ۱- ساده‌سازی مدل، (الف) قاب کامل و (ب) قاب

ساده‌شده معادل با اتصال یک طرفه

با توجه به آنکه دو مثلث  $ABC$  و  $EFG$  متشابه هستند، رابطه (۶) دوران نظیر تغییرمکان جانبی قاب را نشان می‌دهد و بنابراین، جهت افزایش سرعت پردازش

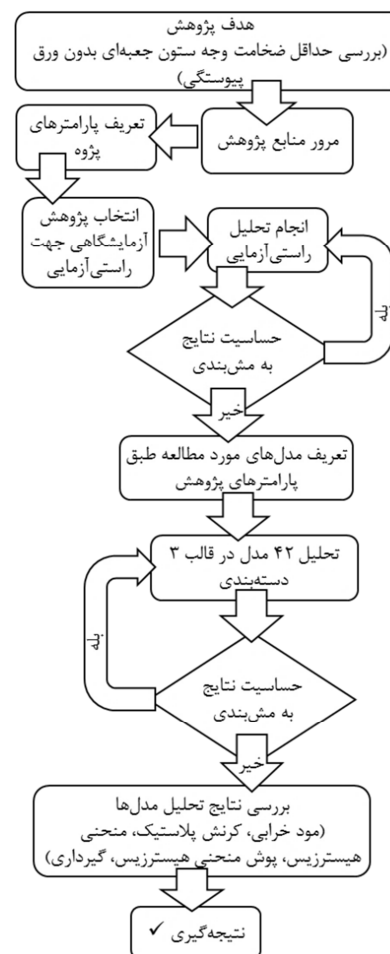
جابجایی، به نوک تیر اتصال یک‌طرفه تیر به ستون اعمال می‌شود. برای معرفی مشخصات مصالح فولادی از منحنی تنش- کرنش دو خطی استفاده شده و برای مش‌بندی و تحلیل مدل‌ها از المان سه‌بعدی ۸ گرهی C3D8R و نرم‌افزار آباکوس استفاده شده است. اگرچه مطابق با دستورالعمل مذکور، بارگذاری نمونه تا دوران ۰/۰۴ رادین کافی است، اما جهت بررسی دقیق‌تر، بارگذاری تا دوران ۰/۰۶ رادین ادامه پیدا نمود.

### ۲-۳- راستی‌آزمایی

به منظور راستی‌آزمایی از پژوهش آزمایشگاهی صناعی‌نیا و همکاران استفاده شد [۳۳]. در شکل ۶ نمونه تغییرشکل یافته نمونه آزمایشگاهی و مدل عددی در دوران ۰/۰۶ رادین قابل مشاهده است. در شکل ۷ منحنی‌های هیستریزس دو نمونه آزمایشگاهی مشابه و مدل عددی مقایسه شده‌اند. در شکل ۸ نیز انرژی تلف شده تجمعی دو نمونه آزمایشگاهی مشابه و نمونه عددی مقایسه شده است.

با دقت در شکل ۶ ملاحظه می‌گردد که تغییرشکل و مود خرابی نمونه عددی و آزمایشگاهی مشابه بوده و با عنایت به شکل ۷ مشخص می‌گردد که منحنی‌های هیستریزس نمونه‌های آزمایشگاهی DCS-1 و DCS-2 که مشابه هستند، و منحنی هیستریزس نمونه عددی تقریباً بر یکدیگر منطبق هستند. شکل ۸ نیز نشان‌دهنده انطباق نسبی منحنی انرژی تلف شده تجمعی در دو نمونه آزمایشگاهی و نمونه عددی است. تفاوت بیشینه ظرفیتی که نمونه‌های آزمایشگاهی و نمونه عددی در دوران‌های ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۰۶ رادین منحنی هیستریزس ثبت نموده‌اند کمتر از ۱۰٪ و منحنی انرژی تلف شده تجمعی آنها تقریباً بر یکدیگر منطبق است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌سازی عددی صحیح است. همچنین برای اطمینان از صحت مش‌بندی، آنالیز حساسیت مش نیز بر روی مدل صحت‌سنجی انجام شده است.

بدست آمد که جهت تأمین حاشیه اطمینان، کمترین ضخامت ورق پیوستگی ۲۵ میلی‌متر در نظر گرفته شد.



شکل ۳- روندنمای مراحل پژوهش

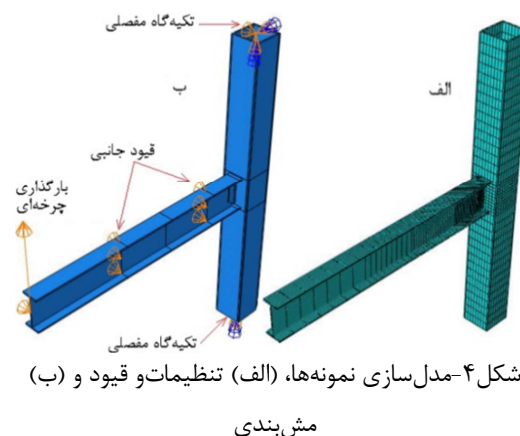
برای تمام نمونه‌ها ضخامت بال تیر، ضخامت ورق اتصال جان و عرض وجه ستون به ترتیب برابر با ۱۵، ۸ و ۳۰۰ میلی‌متر بوده و به منظور بررسی اثر ضخامت وجه ستون، نمونه‌ها در گروه‌های با عمق تیر یکسان دسته‌بندی شده‌اند. در هر دسته با ثابت بودن ارتفاع تیر، ضخامت وجه ستون و عرض بال تیر متغیر هستند. بعضی از ضخامت‌های وجه ستون‌ها تنها جهت محاسبات در نظر گرفته شده و عدم تولید آنها خللی به کلیت پژوهش وارد نمی‌کند. شکل ۴ تنظیمات بارگذاری و مش‌بندی یکی از نمونه‌ها را نشان می‌دهد. بار اعمال شده به نمونه‌ها مطابق با ضوابط آیین‌نامه AISC 341-16 است که در شکل ۵ نمایش داده شده و مطابق با رابطه (۶) با تبدیل دوران به



جدول ۱- مشخصات هندسی نمونه‌ها

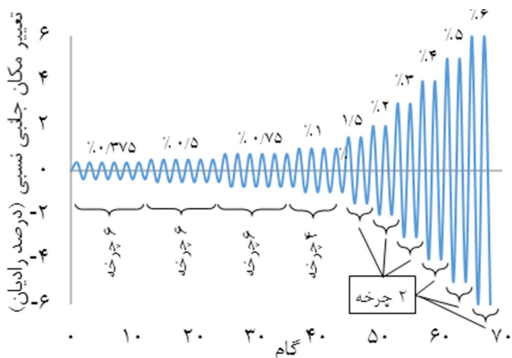
ردیف	دسته‌بندی	نام نمونه	d (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	t <sub>c</sub> (mm)	ورق پیوستگی	ردیف	دسته‌بندی	نام نمونه	d (mm)	b <sub>f</sub> (mm)	t <sub>c</sub> (mm)	ورق پیوستگی
۱	D1-2	D1-2tc25	۴۸۰	۱۶۰	۲۵	ندارد	۲۲	D2-4	D2-4tc15	۳۳۰	۲۰۰	۱۵	دارد
۲		D1-2tc30	۴۸۰	۱۶۰	۳۰	ندارد	۲۳		D2-4tc25	۳۳۰	۲۰۰	۲۵	ندارد
۳		D1-2tc35	۴۸۰	۱۶۰	۳۵	ندارد	۲۴		D2-4tc30	۳۳۰	۲۰۰	۳۰	ندارد
۴		D1-2tc40	۴۸۰	۱۶۰	۴۰	ندارد	۲۵		D2-4tc35	۳۳۰	۲۰۰	۳۵	ندارد
۵	D1-3	D1-3tc25	۴۳۰	۱۶۰	۲۵	ندارد	۲۶	D2-5	D2-5tc25	۲۸۰	۲۰۰	۲۵	ندارد
۶		D1-3tc30	۴۳۰	۱۶۰	۳۰	ندارد	۲۷		D2-5tc30	۲۸۰	۲۰۰	۳۰	ندارد
۷		D1-3tc35	۴۳۰	۱۶۰	۳۵	ندارد	۲۸		D2-5tc35	۲۸۰	۲۰۰	۳۵	ندارد
۸		D1-3tc40	۴۳۰	۱۶۰	۴۰	ندارد	۲۹		D2-5tc40	۲۸۰	۲۰۰	۴۰	ندارد
۹	D2-2	D2-2tc25	۴۸۰	۲۰۰	۲۵	ندارد	۳۰	D2-6	D2-6tc25	۲۲۰	۲۰۰	۲۵	ندارد
۱۰		D2-2tc27.5	۴۸۰	۲۰۰	۲۷/۵	ندارد	۳۱		D2-6tc30	۲۲۰	۲۰۰	۳۰	ندارد
۱۱		D2-2tc30	۴۸۰	۲۰۰	۳۰	ندارد	۳۲		D2-6tc35	۲۲۰	۲۰۰	۳۵	ندارد
۱۲		D2-2tc32.5	۴۸۰	۲۰۰	۳۲/۵	ندارد	۳۳		D2-6tc40	۲۲۰	۲۰۰	۴۰	ندارد
۱۳	D2-3	D2-2tc35	۴۸۰	۲۰۰	۳۵	ندارد	۳۴	D3-2	D3-2tc25	۴۸۰	۱۲۰	۲۵	ندارد
۱۴		D2-2tc37.5	۴۸۰	۲۰۰	۳۷/۵	ندارد	۳۵		D3-2tc30	۴۸۰	۱۲۰	۳۰	ندارد
۱۵		D2-2tc40	۴۸۰	۲۰۰	۴۰	ندارد	۳۶		D3-2tc35	۴۸۰	۱۲۰	۳۵	ندارد
۱۶		D2-2tc42.5	۴۸۰	۲۰۰	۴۲/۵	ندارد	۳۷		D3-2tc40	۴۸۰	۱۲۰	۴۰	ندارد
۱۷	D2-3	D2-2tc45	۴۸۰	۲۰۰	۴۵	ندارد	۳۸	D3-3	D3-3tc25	۳۳۰	۱۲۰	۲۵	ندارد
۱۸		D2-3tc25	۴۳۰	۲۰۰	۲۵	ندارد	۳۹		D3-3tc30	۳۳۰	۱۲۰	۳۰	ندارد
۱۹		D2-3tc30	۴۳۰	۲۰۰	۳۰	ندارد	۴۰		D3-3tc35	۳۳۰	۱۲۰	۳۵	ندارد
۲۰		D2-3tc35	۴۳۰	۲۰۰	۳۵	ندارد	۴۱		D3-3tc40	۳۳۰	۱۲۰	۴۰	ندارد
۲۱		D2-3tc40	۴۳۰	۲۰۰	۴۰	ندارد	۴۲						

ضخامت وجه ستون بهبود یافته است، کرنش‌های پلاستیک معادل در محل اتصال بال تیر به وجه ستون و گیرداری نمونه‌ها و همچنین بحث در مورد هریک از موارد مذکور ارائه شده است.



### ۳- بحث و بررسی نتایج

نتایج بدست آمده از تحلیل نمونه‌ها در قالب پوش منحنی‌های هیستریزیس، مقایسه کانتورهای تنش و تغییرشکل نمونه‌ها در مدل‌هایی که رفتارشان با افزایش

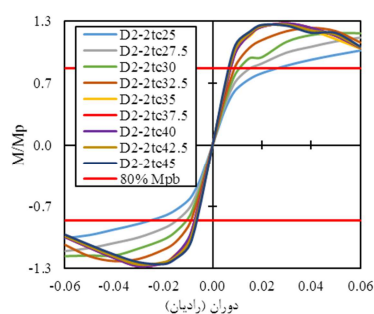


شکل ۵- دستورالعمل بارگذاری طبق استاندارد AISC 341

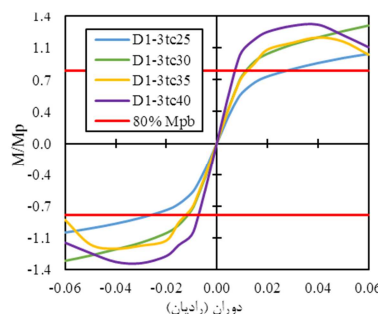
گیردار از پیش تأیید شده از نوع اتصال WUF-W هستند اما نظر به اهداف پژوهش، جهت افزایش گیرداری اتصالات و توزیع مناسبتر کرنش پلاستیک معادل در محل اتصال بال تیر به ستون، ضخامت وجه ستون به تدریج افزایش یافت تا با اصلاح روابط (۲) و (۳) امکان به کارگیری اتصال تیر به ستون جعبه‌ای بدون ورق پیوستگی مهیا گردد.

### ۳-۱- پوش منحنی‌های هیستریزس نمونه‌ها

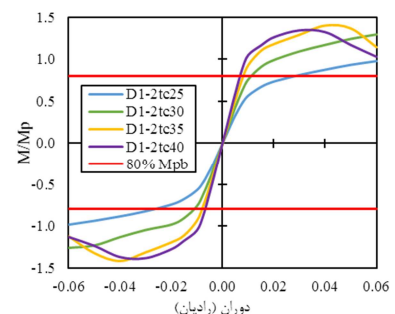
در نمودارهای شکل ۹، پوش منحنی نرمال شده هیستریزس نمونه‌ها طبق دسته‌بندی جدول ۱ قابل مشاهده است. مشاهده می‌شود در هر دسته با افزایش ضخامت وجه ستون سختی دورانی اتصال (شیب اولیه منحنی پوش) افزایش می‌یابد. همچنین اگرچه وقتی ضخامت وجه ستون از ۳۰ میلی‌متر بیشتر می‌شود، منحنی پوش با افت ظرفیت بعد از دوران  $0.04$  رادیان مواجه می‌گردد اما با کاهش عمق تیر افت مقاومت بعد از دوران  $0.04$  رادیان کمتر شده است. مشاهده می‌شود که در نمونه‌های دسته D2-5 این افت مقاومت کمتر شده و در نمونه‌های دسته D2-6 اثری از افت مقاومت اتصال نیست. ظرفیت اتصال در همه نمونه‌ها از  $0.80$  لنگر پلاستیک تیر فراتر رفته اما فقط در اتصالات با ضخامت وجه ستون از ۳۰ میلی‌متر به بالاتر، اتصال با رفتاری الاستیک در محدوده  $0.01$  رادیان به  $0.80$  ظرفیت پلاستیک تیر رسیده است.



شکل ۹ (پ) دسته D2-2

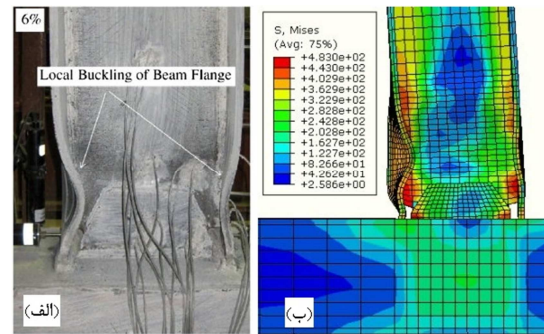


شکل ۹ (ب) دسته D1-3



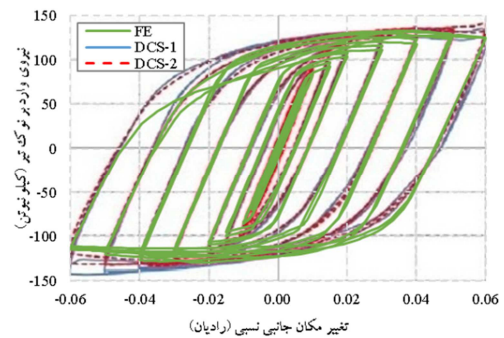
شکل ۹ (الف) دسته D1-2

شکل ۹- پوش منحنی هیستریزس نمونه‌های دسته های مختلف تحقیق



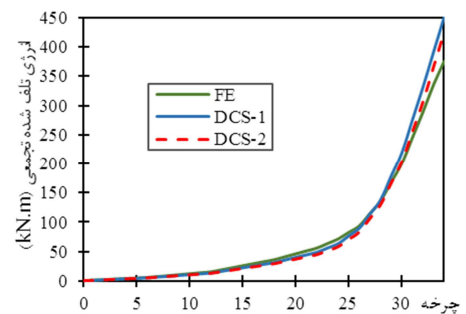
شکل ۶- تغییر شکل و تنش نمونه‌ها (الف) آزمایشگاهی و (ب)

نمونه عددی



شکل ۷- مقایسه منحنی هیستریزس نمونه‌های آزمایشگاهی و

نمونه عددی

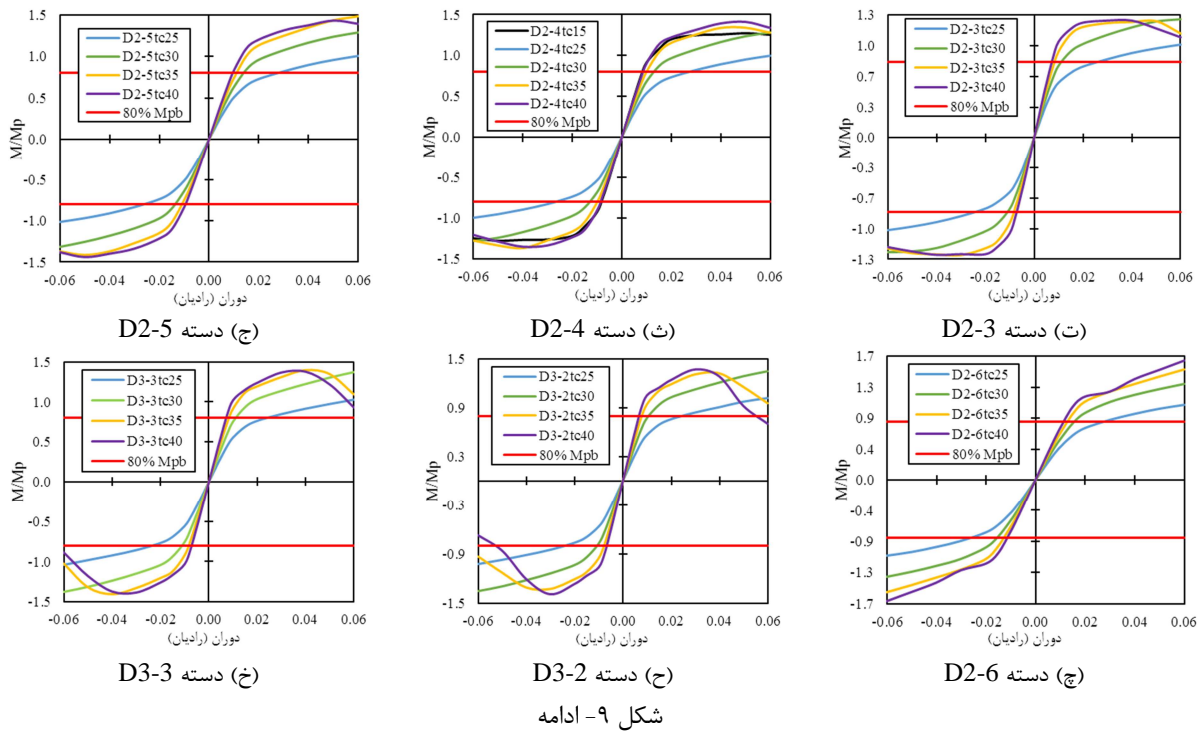


شکل ۸- مقایسه انرژی تلف شده تجمعی دو نمونه آزمایشگاهی

و نمونه عددی

اگرچه مطابق با آیین‌نامه AISC 358-16 و

ویرایش چهارم مبحث دهم تمام نمونه‌ها جزو اتصالات



شکل ۹- ادامه

بودن رفتار اتصال گیردار تلقی می‌گردد. همچنین به منظور اجتناب از نتایج غیرواقعی در تحلیل‌های عددی، کرنش پلاستیک نمونه‌ها کنترل گردید تا در حین بارگذاری از کرنش نهایی فولاد تجاوز ننماید. شایان ذکر است که کرنش نهایی فولاد برابر با  $0/2$  در نظر گرفته شده است. مشاهده گردید که در قریب به اتفاق نمونه‌ها کرنش پلاستیک در طول بارگذاری کمتر از کرنش نهایی بوده و در دو سه نمونه نیز فقط در چرخه انتهایی در دوران  $0/06$  رادیان کرنش پلاستیک اندکی از  $0/2$  تجاوز نموده که با توجه به مبنا بودن منحنی هیترزیس تا دوران  $0/04$  رادیان قابل اغماض است.

### ۳-۳- گیرداری نمونه‌ها

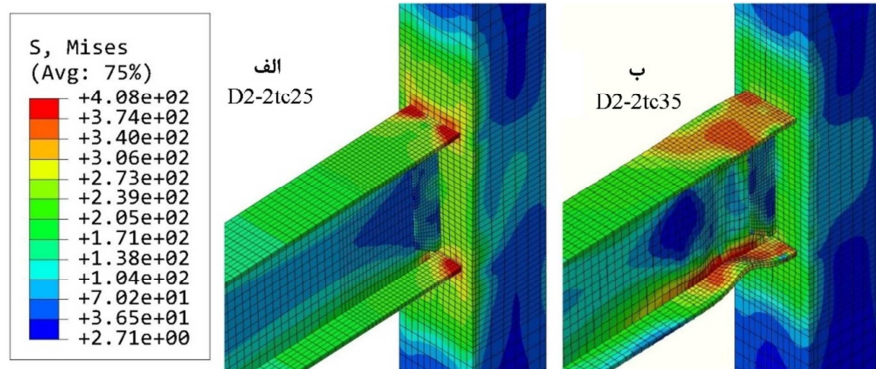
مطابق با استاندارد Eurocode 3 و با عنایت به شکل ۲۳ به شرطی می‌توان یک اتصال را گیردار محسوب نمود که در ناحیه ۱ از نمودار شکل ۱۵ قرار داشته باشد. ناحیه ۲ نشان‌دهنده اتصالات نیمه‌گیردار و ناحیه ۳ معرف اتصالات مفصلی است. شیب خطوط نواحی سه گانه که مبین سختی دورانی اتصال می‌باشد نیز براساس

بنابراین اگرچه مطابق با ضوابط AISC 314-16 و می‌باید تمام نمونه‌ها گیردار تلقی می‌شوند، اما مشاهده می‌شود که نمونه‌های با ضخامت وجه ستون بیشتر از ۳۰ میلی‌متر رفتار مناسب‌تری دارند. در شکل‌های ۷ تا ۹،  $M_p$  معرف لنگر پلاستیک تیر است.

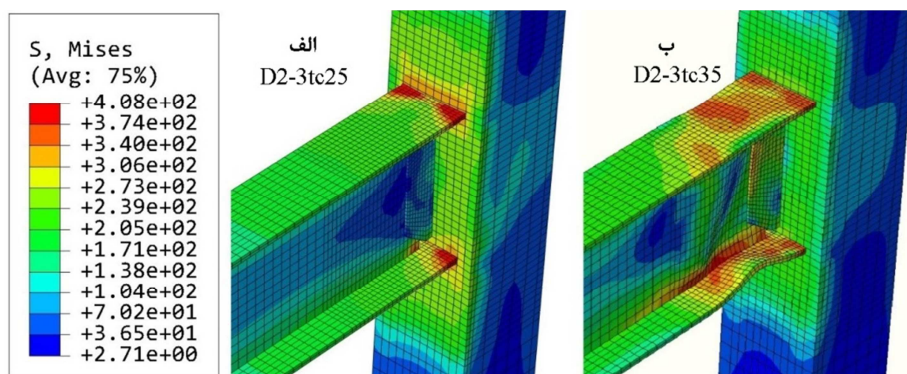
### ۳-۲- تغییر شکل نمونه‌ها و کانتور تنش

مشاهده گردید که با افزایش ضخامت وجه ستون، توزیع تنش‌ها در بال تیر یکنواخت‌تر شده و به شرط افزایش کافی ضخامت وجه ستون، مفصل پلاستیک از محل تماس بال تیر به وجه ستون به داخل تیر منتقل می‌گردد. با توجه به شکل‌های ۱۰ تا ۱۴ که به ترتیب مقایسه‌ای بین نمونه‌های دسته D2-2 و D2-3 و D2-4 و با ضخامت‌های ۲۵ و ۳۵ میلی‌متر و نمونه‌های دسته D2-5 و D2-6 با ضخامت‌های ۲۵ و ۴۰ میلی‌متر در دوران  $0/04$  رادیان است، مشاهده می‌گردد که تنش‌ها در محل اتصال بال تیر به وجه ستون تعدیل شده و ضمن یکنواخت‌تر شدن توزیع تنش‌ها در محل اتصال، مفصل پلاستیک نیز در داخل تیر تشکیل می‌گردد. تشکیل مفصل پلاستیک در داخل تیر از جمله نشانه‌های مطلوب

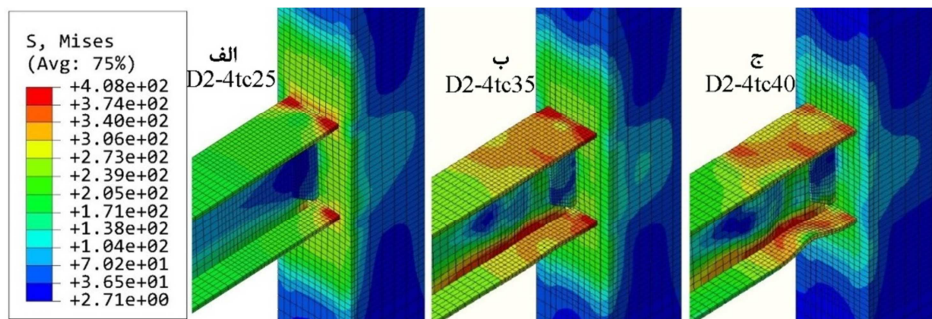
مشخصات هندسی مقطع تیر و ستون تعیین می‌گردد. [۲۷]



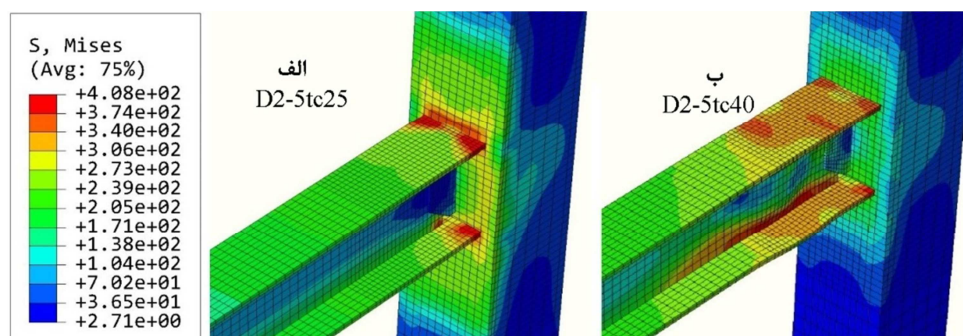
شکل ۱۰- مقایسه تغییرشکل، کانتور تنش و محل تشکیل مفصل پلاستیک. (الف) نمونه D2-2tc25 و (ب) نمونه D2-2tc35



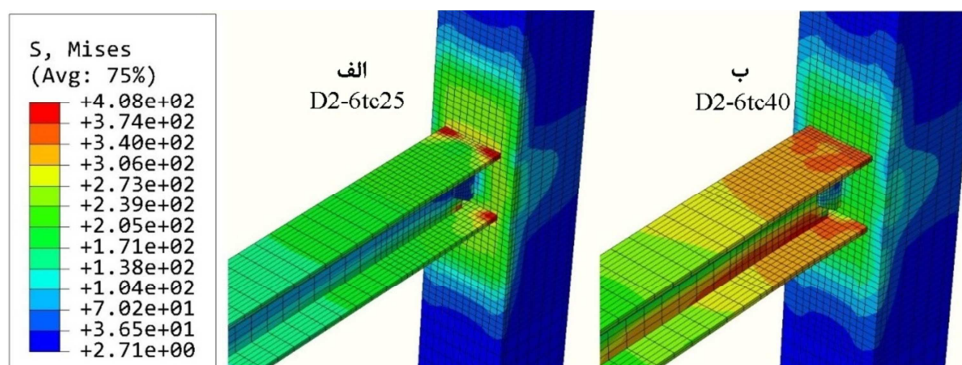
شکل ۱۱- مقایسه تغییرشکل، کانتور تنش و محل تشکیل مفصل پلاستیک. (الف) نمونه D2-3tc25 و (ب) نمونه D2-3tc35



شکل ۱۲- مقایسه تغییرشکل، کانتور تنش و محل تشکیل مفصل پلاستیک. (الف) نمونه D2-4tc25، (ب) نمونه D2-4tc35 و (ج) نمونه D2-4tc40



شکل ۱۳- مقایسه تغییرشکل، کانتور تنش و محل تشکیل مفصل پلاستیک. (الف) نمونه D2-5tc25 و (ب) نمونه D2-5tc40



شکل ۱۴- مقایسه تغییرشکل، کانتور تنش و محل تشکیل مفصل پلاستیک. (الف) نمونه D2-6tc25. (ب) نمونه D2-6tc40

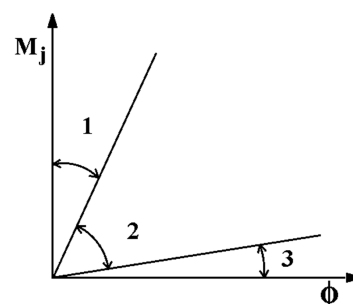
$$R = \frac{k_i}{k_{total}} \times 100 \quad (7)$$

$$k_{total} = \frac{12EI_b I_c}{4L_b^3 I_c + L_b^2 L_c I_b} \quad (8)$$

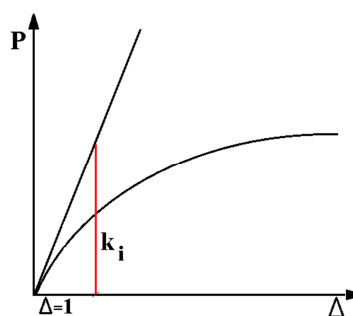
در آنها R معرف گیرداری اتصال،  $K_i$  سختی اتصال و  $k_{total}$  برابر با سختی تئوریک اتصال دارای گیرداری ۱۰۰٪ است و با عنایت به شکل ۱ با محاسبه سختی تیر و سختی ستون‌ها بدست آمده است.  $I_b$ ،  $I_c$  به ترتیب برابر با ممان اینرسی تیر و ممان اینرسی ستون،  $L_b$  طول تیر طره،  $L_c$  فاصله دو نقطه عطف ستون‌ها و E برابر با مدول الاستیسیته فولاد است.

مشاهده می‌گردد که گیرداری در هر دسته با افزایش ضخامت وجه ستون بیشتر می‌شود. با توجه به گیرداری نود درصدی برای نمونه D2-4tc15 که دارای ورق پیوستگی است، به نظر می‌رسد که رابطه (۷) دست بالا در نظر گرفته شده و پیشنهاد می‌گردد که در مخرج رابطه (۷) به جای  $k_{total}$  از سختی اتصال دارای ورق پیوستگی استفاده شود. چون در غیر این صورت، حتی بعضی از اتصالات از پیش تأیید شده که کاملاً مطابق با ضوابط AISC 358 نیز طراحی شده و دارای ورق پیوستگی هستند، نیز در محدوده اتصالات گیردار قرار نمی‌گیرند. بنابراین، با فرض حد ۷۰٪ برای محاسبه گیرداری نمونه‌های این پژوهش، مشاهده می‌گردد که مقادیر بیشتر از ۳۰ میلی‌متر برای ضخامت وجه ستون، منجر به گیرداری کافی برای اتصال می‌گردد. شایان ذکر است به دلیل فقدان ضوابط آیین‌نامه‌ای برای ستون‌های

با این وجود، روابط موجود در Eurocode 3 تنها برای اتصالات دارای ستون با مقطع H قابل استفاده است. در این پژوهش، برای محاسبه گیرداری یک اتصال از روش مورد استفاده توسط رضایی‌فر و همکاران استفاده شده است. در این روش، مطابق با شکل ۱۶ برای محاسبه سختی خمشی تئوریک یک اتصال، با ترسیم منحنی نیرو-تغییرمکان و رسم خط مماس بر منحنی نیرو-تغییرمکان بارگذاری منوتونیک، با استفاده از روابط (۷) و (۸) نسبت به محاسبه گیرداری اقدام شده است و در صورتی که نسبت گیرداری بیش از ۹۰٪ بدست بیاید، اتصال گیردار تلقی می‌شود [۳۴]. درصد گیرداری تمام نمونه‌ها طبق روابط (۷) و (۸) در جدول ۲ قابل مشاهده است.



شکل ۱۵- طبقه‌بندی اتصال گیردار، نیمه‌گیردار و مفصلی [۲۴]



شکل ۱۶- تعیین درصد گیرداری برای اتصالات گیردار [۳۱]

درصد لنگر پلاستیک تیر رسیده است، به نظر می‌رسد که می‌توان نمونه‌های با گیرداری بیش از ۷۰ درصد را به شرط رسیدن ظرفیت اتصال به هشتاد درصد لنگر پلاستیک تیر و تشکیل مفصل پلاستیک در داخل تیر و همچنین افت ظرفیت اتصال پس از دوران ۰/۰۴ رادیان گیردار تلقی نمود.

جعبه‌ای نمی‌توان به طور دقیق حد پذیرش گیرداری یک اتصال را براساس درصد بدست آمده از رابطه (۷) تعیین نمود. با این حال، با توجه به شکل تغییرشکل یافته نمونه‌ها و محل قرار گرفتن مفصل پلاستیک و همچنین توجه به این نکته که مطابق با منحنی هیستریزیس نمونه‌ها و پوش آن، ظرفیت اتصالات به بیشتر از هشتاد

جدول ۲- گیرداری نمونه‌ها

ردیف	دسته‌بندی	نام	گیرداری (%)	ردیف	دسته‌بندی	نام	گیرداری (%)
۱	D1-2	D1-2tc25	۴۶	۲۲	D2-4	D2-4tc15	۹۰
۲		D1-2tc30	۶۱	۲۳		D2-4tc25	۵۳
۳		D1-2tc35	۷۲	۲۴		D2-4tc30	۶۷
۴		D1-2tc40	۸۱	۲۵		D2-4tc35	۷۶
۵	D1-3	D1-3tc25	۴۶	۲۶	D2-4tc40	۸۴	
۶		D1-3tc30	۶۲	۲۷	D2-5tc25	۵۶	
۷		D1-3tc35	۷۳	۲۸	D2-5tc30	۷۰	
۸	D2-2	D1-3tc40	۸۲	۲۹	D2-5tc35	۸۰	
۹		D2-2tc25	۵۷	۳۰	D2-5tc40	۸۸	
۱۰		D2-2tc27.5	۶۲	۳۱	D2-6tc25	۵۹	
۱۱		D2-2tc30	۶۷	۳۲	D2-6tc30	۷۳	
۱۲		D2-2tc32.5	۷۲	۳۳	D2-6tc35	۸۳	
۱۳		D2-2tc35	۷۶	۳۴	D2-6tc40	۹۱	
۱۴		D2-2tc37.5	۸۰	۳۵	D3-2tc25	۴۳	
۱۵	D2-3	D2-2tc40	۸۳	۳۶	D3-2tc30	۵۹	
۱۶		D2-2tc42.5	۸۶	۳۷	D3-2tc35	۷۱	
۱۷		D2-2tc45	۸۹	۳۸	D3-2tc40	۸۰	
۱۸		D2-3tc25	۵۲	۳۹	D3-3tc25	۴۶	
۱۹	D2-3	D2-3tc30	۶۷	۴۰	D3-3tc30	۶۰	
۲۰		D2-3tc35	۷۶	۴۱	D3-3tc35	۷۲	
۲۱		D2-3tc40	۸۴	۴۲	D3-3tc40	۸۱	

ضخامت ۳۵ میلی‌متر را حد گیرداری اتصال در نمونه‌ها محسوب نمود. بنابراین با توجه به حداقل ضخامت محاسباتی بدست آمده از روابط (۲) و (۳) که برابر با ۲۰ میلی‌متر بدست آمده بود و همچنین عدم وابستگی قابل توجه گیرداری به عرض بال تیر، پیشنهاد می‌گردد که رابطه (۲) با ظریب اصلاح ۱/۷۵ به کار رود. به عنوان جمع‌بندی، پیشنهاد می‌گردد که حداقل ضخامت وجه

لذا برای تمام نمونه‌ها به جز نمونه‌های دارای عمق تیر برابر با ۲۲۰ میلی‌متر با ضخامت تیر بیشتر از ۳۰ میلی‌متر، اتصالات گیردار تلقی می‌شوند. در نمونه دسته‌ی D2-6 که ارتفاع تیر برابر با ۲۲۰ میلی‌متر است، با رسیدن ضخامت وجه ستون به ۴۰ میلی‌متر می‌توان اتصال را گیردار تلقی نمود. اما با توجه به غیرمتداول بودن عمق ۲۲۰ میلی‌متر برای تیر اصلی، می‌توان با اغماض

از ۳۰ میلی‌متر، حدود شکل‌پذیری مورد نیاز مطابق با استاندارد AISC 341 تأمین می‌گردد. همچنین افت ظرفیت اتصال کمتر از ۲۰٪ بوده و مفصل پلاستیک در داخل تیر و نزدیکی بر ستون تشکیل می‌گردد. به نظر می‌رسد که افت ظرفیت خمشی اتصال پس از دوران ۰/۰۴ رادیان نیز به دلیل تشکیل مفصل پلاستیک در محل مناسب است. دقت در نسبت گیرداری ۴۱ نمونه‌ی فاقد ورق پیوستگی نیز نشان‌دهنده‌ی رابطه‌ی مستقیم بین ضخامت وجه ستون و گیرداری است. در تمام نمونه‌های دارای ضخامت وجه ستون بیشتر از ۳۰ میلی‌متر، نسبت گیرداری بیشتر از ۷۲٪ بدست آمده که با توجه به پوش منحنی هیستریزس مناسب، تشکیل مفصل پلاستیک در محل مورد انتظار و مود تغییرشکل یافته‌ی نمونه‌ها می‌تواند قابل قبول تلقی شود. بنابراین پیشنهاد می‌گردد به جای حذف امکان استفاده از ستون جعبه‌ای بدون ورق پیوستگی، رابطه‌ی تعیین حداقل ضخامت وجه ستون جعبه‌ای با یک ضریب اصلاح برابر با ۱/۷۵ مورد استفاده قرار گیرد. نهایتاً مشاهده گردید که با افزایش ضخامت وجه ستون به مقادیری بیشتر از ۴۰ میلی‌متر تفاوت معناداری در رفتار دورانی اتصالات به وجود نمی‌آید.

#### قدردانی

بدین‌وسیله از مدیر و کارشناسان مرکز پردازش ابری دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) که برای انجام این پژوهش نهایت همراهی را با نوسندگان مبذول نمودند قدردانی می‌گردد.

ستون جعبه‌ای برای صرف نظر از نصب ورق پیوستگی مطابق با رابطه (۹) اصلاح گردد.

$$t_{cf} \geq 0.4MF \sqrt{\left[1 - \frac{b_{bf}}{b_{cf}} \left(b_{cf} - \frac{b_{bf}}{4}\right)\right]} 1.8b_{bf} t_{bf} \frac{F_{yb} R_{yb}}{F_{yc} R_{yc}} \quad (9)$$

$$MF = 1.75$$

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور بررسی حداقل ضخامت وجه ستون جعبه‌ای ساخته شده بدون ورق پیوستگی برای استفاده در اتصال گیردار تقویت‌نشده‌ی جوشی ۴۲ مدل عددی با متغیرهای عمق تیر، عرض بال تیر و ضخامت وجه ستون تحت بارگذاری یکنواخت و بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفتند. مطابق با نتایج حاصل شده از این مطالعه به نظر می‌رسد، روابطی که در استاندارد AISC 341-10 و ویرایش چهارم مبحث دهم مقررات ملی ایران مبنای تعیین حداقل ضخامت وجه ستون ذکر شده است، ناکافی بوده و نیاز به اصلاح دارد. با این حال، نظر به حذف روابط تعیین حداقل ضخامت وجه ستون جعبه‌ای در ویرایش پنجم مبحث دهم از مبحث دهم به نظر می‌رسد که با توجه به سخت و پر هزینه بودن نصب ورق پیوستگی در ستون‌های جعبه‌ای، الزام به نصب ورق پیوستگی برای کلیه اتصالات، مستقل از ضخامت وجه ستون، سختگیرانه و غیرضروری است. مطالعه‌ی منحنی هیستریزس و پوش آن در ۴۱ نمونه فاقد ورق پیوستگی نشان داد که در صورت افزایش ضخامت وجه ستون بیش

#### مراجع

- [1] Asghari, A. (2018). "Steel Structures Design", Vol. 3, AUP, Iran.
- [2] INBC (4<sup>th</sup> Ed.) (2013). "Iranian National Building Code, Part 10 (Steel Building Design and Construction)", Tehran.
- [3] Sharifi, M., Asadi, Z. (2018). "Study the Seismic Function of WUF-W Moment Connection of Skewed Beam to Box Column", *Conference on Civil Engineering, Architecture & Urbanism of the Islamic Countries*, Tabriz, Iran.
- [4] Torabian, Sh., Mirghaderi, S.R., Keshavarzi, F. (2012). "Moment-connection between I-beam and built-up square column by a diagonal through plate", *Journal of Constructional Steel Research*, 70 (2012), 385-401.
- [5] Rezaeain, A., Jahanbakhti, E., Fanaie, N. (2020). "Numerical Study of Panel Zone in a Moment Connection without Continuity Plates", *Journal of Earthquake Engineering*, Taylor & Francis Group, DOI:10.1080/13632469.2019.1695021.

- [6] Blodgett, O. W. (1972). "Design of Welded Structures", The James F, Lincoln Arc Welding Foundation, Ohio.
- [7] ANSI/AISC 341-10 (2010). "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings", American Institute of Steel Construction, Illinois.
- [8] ANSI/AISC 341-16 (2016). "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings", American Institute of Steel Construction, USA.
- [9] ANSI/AISC 360-16 (2016). "Specification for Structural Steel Buildings", American Institute of Steel Construction, USA.
- [10] ANSI/AISC 341-22 (2021). "Public Review draft of Seismic Provisions for Structural Steel Buildings", American Institute of Steel Construction, USA.
- [11] INBC (5<sup>th</sup> Ed.) (2020). "Iranian National Building Code, Part 10 (Steel Building Design and Construction)", Tehran.
- [12] Roeder, C.W. (2001). "Connection Performance State of Art Report (FEMA Rep. No. 355D)", Federal Emergency Agency, Washington DC.
- [13] Sanieei Nia, Z., Ghasemieh, M., Mazroi, A. (2013). "Panel Zone Evaluation of Direct Connection to Box Column Subjected to Bidirectional Loading", *Struct. Design Tall Spec. Build.*, 23(11), 833-853.
- [14] Jahanbakhti, E., Fanaie, N., Rezaeian, A. (2017). "Experimental Investigation of Panel Zone in Rigid Beam to Box Column Connection", *Journal of Constructional Steel Research*, 137(2017), 180-191.
- [15] Adlparvar, M.R., Vetr, M.G., Ghaffari, F. (2017). "The Importance of Panel Zone Shear Strength on Seismic Behavior of Improved Slotted-web Beam Connections", *International Journal of Steel Structures*, 17(1), 307-318.
- [16] Amani, R., Saffari, H., Fakhreddini, A. (2018). "Local Flange Bending and Continuity Plate Requirements in Double-Web H-Shaped Columns", *International Journal of Steel Structures* 18(1), 199-209.
- [17] Gholhaki, M., Pachideh, G., Karimi, M. (2019) "Investigation of Subpanel Size Effect on Nonlinear Behavior of Steel Plate Shear Wall Systems rebar", *Structural and Construction Engineering (JSCE)*, 5(4), 73-78.
- [18] Pachideh, G., Gholhaki, M., Daryan, A.S. (2019) "Analyzing the damage index of steel plate shear walls using pushover analysis" *Structures*, 20 (2019), 437-451.
- [19] Reynolds, M., Uang, C.M. (2019). "Alternative Weld Details and Design for Continuity Plates and Doubler Plates for Applications in Special and Intermediate Moment Frames", Department of Structural Engineering, University of California, San Diego.
- [20] Ozkula, G., Lee, P., Uang, C.M. (2019). "Cyclic Behavior of Electroslag Welded Joints in Beam-to-Built-Up Box Column Steel Moment Connections", *Journal of Structural Engineering*, DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002409.
- [21] ANSI/AISC 358-16 (2016). "Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications", American Institute of Steel Construction, USA.
- [22] Hamed, F., Rahmani, K., Adibzadeh, S.B. (2020). "Cyclic Behavior of Bolted Flange Plate Moment Connection", *Modares Civil Engineering journal*. 20(6), 47-61.
- [23] Nunez, E., Lichtemberg, R., Herrera, R. (2020). "Cyclic Performance of End-Plate Biaxial Moment Connection with HSS Columns", *Metals*, 10(11), doi:10.3390/met10111556.
- [24] Mahjoob Behrooz, S., Erfani, S. (2020). "Parametric study of Stub-Beam Bolted Extended End-Plate connection to box-columns", *Journal of Constructional Steel Research*, 171(2020), <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106155>.
- [25] Twizere, M., Taskin, K. (2021). "Numerical Analysis of Square Hollow Column-Beam Connections by Abaqus", *Journal of Science and Technology*, 22(1), 55-63.
- [26] Hamed, F., Adibzadeh, S.B. (2022) "Effect of Beam Depth on the Behavior of Welded Unreinforced Flange-Welded Rigid Connection to Box Column without Continuity Plate", *Bulletin of Earthquake Science and Engineering (BESE)*, 9(2022), <https://dx.doi.org/10.48303/bese.2022.548088.1065>.
- [27] EN 1993-1-8 (2005). "Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints", European Committee for Standardization, Brussels.
- [28] Umeda, T., Ishii, T., Fujisawa, S., Shimokawa, H. (2022). "Effect of penetration depth of electro-slag welding on ductility of beam-to-column connection", *Journal of Constructional Steel Research*, 189(2022), <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.107081>.
- [29] Taheripour, M., Hatami, F., Raoufi, R. (2022). "Numerical Study of Two Novel Connections with Short End I or H Stub in Steel Structures", *Advanced Steel Construction*, 18(1), 495-505.
- [30] Zhang, Y., Jin, B., Huang, Z., Liu, Z., Jiang, K. (2022). Experimental Study on The Performance of Assembled Steel-Structure Box-Shaped Column Flange Connection Achieved by Plug Welding-Core Sleeve", *Research and Applications of Prefabricated Steel Structure Building Systems*, 39(2), 110-122.
- [31] Architectural Institute of Japan (AIJ) (2021). "Recommendation for Design of Connections in Steel Structures", AIJ, Tokyo, Japan.



- [32] Azhari, M., Mirghaderi, S.R. (2015). "Steel Dtructures Design–Seismic Design Division", Vol. 4, Arkan-Danesh, Iran.
- [33] Saneei Nia, Z., Ghasemieh, M., Mazroi, A. (2013). "WUF-W Connection Performance to Box Column Subjected to Uniaxial and Biaxial loading", *Journal of Constructional Steel Research*, 88(2013), 90-108.
- [34] Rezaifar, O., Yousefi, S.H. Yoonesi, A., Gholhaki, M. (2019). "Analytical Study of Seismic Behavior Types of the Arrangement Effect on the Continuity Plates in Rigid Connection Between beam to Concrete Filled Steel Tube (CFST) Columns", *Ferdowsi Civil Engineering*, 31(1), 127-140.