

Numerical study of Investigation of the behavior of side connections with side plate in composite steel and concrete frames

Ali Koosha¹, Morteza Naghipour^{2*}

1- Master of Structures, Department of Civil Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Babol, Iran

2- Professor, Department of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

ABSTRACT

One of the most important components in steel structures is their joints. It is a matter of correct design of steel members, especially fittings. Since the beam flange is not connected to the column flange in the side plate connection system, all the vulnerabilities and uncertainties of the brittle behavior of conventional joints that in the full penetration welding behavior of the beam flange to the column wing are eliminated. Today, the use of composite sections filled with concrete has been widely considered in many structures. One of the steel joints that has been proposed in the past years is the use of side plates, which to some extent guarantees the linear behavior of the connection spring. In this research, the behavior of side joints with side panels in composite steel and concrete frames has been investigated. Thus, after ensuring the modeling process by validating a steel connection in Abacus software, a U-shaped steel beam composed of a CFT column with a side plate is modeled and parameters has been investigated. The effects of compressive strength of concrete were also investigated. The results showed that except for the diameter of the screws, other factors affect the strength, hardness and ductility. Increasing the width of the plate has increased the strength, stiffness, ductility and energy absorption. By decreasing the d/t ratio of the column, the strength, stiffness and energy absorption are increased and the ductility is reduced. As the compressive strength of concrete increases, the amount of strength, stiffness, ductility and energy absorption increases. The arrangement of the screws, the diameter of the screws, and the d/t ratio of the beam and the addition of the thickness of the side plate do not have much effect on the strength, stiffness and ductility and energy absorption of the joint.

ARTICLE INFO

Receive Date: 29 January 2022

Revise Date: 24 May 2022

Accept Date: 08 July 2022

Keywords:

Connection
side plate
strength
ductility
energy absorption composite
steel and concrete frame

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://doi.org/10.22065/jsce.2022.326910.2711>

*Corresponding author: Morteza Naghipour
Email address: m-naghi@nit.ac.ir

مطالعه عددی رفتار اتصالات کناری با ورق جانبی در قاب های مرکب فولادی و بتنی

علی کوشا، مرتضی نقی پور^{*۲}

۱- کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، گروه عمران، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران
۲. استاد دانشکده مهندسی عمران، گروه عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

چکیده

یکی از مهمترین اجزاء در سازه های فولادی، اتصالات آن ها می باشد. یکی از اتصالات فولادی که در سالیان گذشته پیشنهاد شده است، استفاده از ورق های کناری است که تا حدودی تضمین کننده رفتار خطی چشمه اتصال است زیرا عیوب قلوب کن شدن بال ستون، کرنش های پیچیده سه محوره در وجه اتصال بال تیر به بال ستون، و ضعف رفتار چشمه اتصال در جان ستون را مرتفع می سازد. امروزه استفاده از مقاطع مرکب پر شده با بتن به صورت گسترده ای در بسیاری از سازه ها مورد توجه واقع شده است. از آنجا که بال تیر در سیستم اتصال با ورق کناری به بال ستون متصل نیست، تمام آسیب پذیری ها و عدم قطعیت های رفتار ترد اتصالات متداول که در رفتار جوش نفوذی کامل بال های تیر به بال ستون نهفته است، از بین می رود. از این رو در این تحقیق بررسی رفتار اتصالات کناری با ورق جانبی در قاب های مرکب فولادی و بتنی بررسی شده است. بدین ترتیب پس از کسب اطمینان از روند مدلسازی با صحت سنجی یک اتصال فولادی در نرم افزار آباکوس، یک تیر U شکل فولادی مرکب به ستون CFT با ورق کناری مدلسازی شده و پارامترهای مختلفی بررسی شد. نتایج به دست آمده تحلیلی نشان داد با افزایش عرض ورق (با فرض ارتفاع یکسان) بر میزان مقاومت، سختی، شکل پذیری و جذب انرژی افزوده شده است. با کاهش نسبت d/t ستون بر میزان مقاومت، سختی و جذب انرژی افزوده شده است و شکل پذیری کاهش یافته است. با افزایش مقاومت فشاری بتن بر میزان مقاومت، سختی، شکل پذیری و جذب انرژی افزوده می شود. نحوه آرایش پیچ ها، قطر پیچ ها، نسبت d/t تیر و افزودن ضخامت ورق کناری تاثیر زیادی بر مقاومت، سختی و شکل پذیری و جذب انرژی اتصال ندارد.

کلمات کلیدی: اتصال، ورق کناری، مقاومت، شکل پذیری، جذب انرژی، قاب مرکب فولادی و بتنی

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://doi.org/10.22065/jsce.2022.326910.2711	
۱۴۰۰/۱۱/۰۹	۱۴۰۱/۰۳/۰۳	۱۴۰۱/۰۴/۱۷	۱۴۰۱/۰۴/۱۷	۱۴۰۱/۰۷/۳۱	doi: 10.22065/jsce.2022.326910.2711	
*نویسنده مسئول:		مرتضی نقی پور				
پست الکترونیکی:		m-naghi@nit.ac.ir				

۱- مقدمه

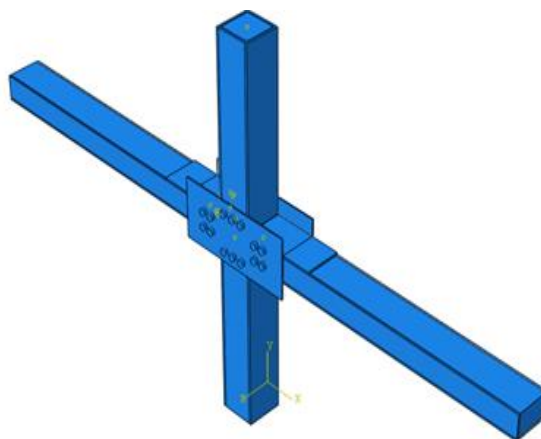
آسیب های ایجاد شده در اتصالات در زلزله نورتربچ سال ۱۹۹۴ مهندسان سازه را بر آن داشت تا راهکارهای لازم را برای غلبه بر این مشکل ارائه دهند. یکی از این راهکارها استفاده از ورق کناری بود که اولین بار در سال ۱۹۹۸ توسط انگلهارت و سابل پیشنهاد شد [۱]. در هندسه اولیه این سیستم همانطور که مشاهده میشود، چهار ورق کناری مجزا در بال پایینی و بالایی مورد استفاده قرار گرفته است. سپس در همان سال هافتون [۲] شکل دیگری از ورق کناری را پیشنهاد داد که تا به امروز نیز با همان شکل پیشنهاد کاربرد داشته است. از آنجا که بال تیر در سیستم اتصال با ورق کناری به بال ستون متصل نیست، تمام آسیب پذیری ها و عدم قطعیت های رفتار ترد اتصالات متداول که در رفتار جوش نفوذی کامل بال های تیر به بال ستون نهفته است، از بین می رود. استفاده از صفحه کناری به علاوه عیوب قلوه کن شدن بال ستون، کرنش های پیچیده سه محوره در وجه اتصال بال تیر به بال ستون، و ضعف رفتار چشمه اتصال در جان ستون را مرتفع می سازد. زو و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی رفتار اتصالات تیر فولادی U شکل پر شده با بتن به ستون های CFT پرداختند [۳]. این محققان چندین نمونه با مشخصات مختلف را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که تمام نمونه های مورد مطالعه توانستند منحنی بار-تغییرمکان، ظرفیت جذب انرژی و تغییرشکل خوبی از خود نشان دهند. علاوه بر این، تا دریافت حداقل ۵ درصد از خود باربری نشان دهند که بیشتر از مقدار مورد نیاز برای حد قابل قبول شکل پذیری ویژه است. همچنین شکل پذیری نمونه ها ۲/۶-۲/۲ به دست آمد. لیو و همکاران در سال ۲۰۲۱ به بررسی آزمایشگاهی اتصال تیر I شکل به ستون های CFT به شکل دیوار را با استفاده از ورق کناری مورد بررسی قرار دادند [۴]. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که زمانی که ارتفاع ورق کناری ناکافی بود، ورق کناری دچار گسیختگی شده و در نهایت و در نهایت منجر به از دست دادن ظرفیت باربری نمونه شد. از دیگر نتایج این تحقیق اثرات قابل توجه ابعاد ورق کناری بر عملکرد و مقاومت اتصال مزبور بود. هن و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی رفتار اتصال بین تیرهای مرکب U شکل و ستون های CFT پرداختند [۵]. طبق مشاهدات آزمایشگاهی، نمونه های مورد آزمایش سختی قابل توجهی را از خود نشان دادند. لیو و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی رفتار اتصالات داخلی تیر به ستون های CFT پرداختند [۶]. نتایج این تحقیق نشان داد که به دلیل لغزش میلگردها، مقاومت کامل توسعه نمی یابد. همچنین حداکثر مقاومت نمونه ها در دریافت ۳-۴ درصد رخ داد. نمونه های مورد مطالعه توانستند تا دریافت نسبی ۶-۷ درصد از خود تغییرشکل نشان دهند. چن و همکاران در سال ۲۰۱۹ یک شکل جدید از ورق کناری را مورد آزمایش قرار دادند [۷]. نتایج آزمایشات انجام شده نشان داد که ورق پیشنهاد شده در این تحقیق عملکرد رضایت بخشی از نظر ممانعت از کمانش پیچشی جانبی ایجاد می کند. چن و همکاران در سال ۲۰۱۸ به بررسی عملکرد لرزه ای تیرهای بال پهنی که به طور بخشی توسط ورق های کناری پوشش داده شده بودند، پرداختند [۸]. نتایج آزمایشات نشان داد که افزودن ورق کناری منجر به از بین رفتن کمانش پیچشی جانبی شد. اگرچه کمانش محلی ورق کناری محتمل است. علاوه بر این، طول و مقاومت ورق های کناری از مهمترین پارامترها در تیرهای با ورق کناری هستند. همچنین، طول تیر و مشخصات سطح مقطع آن شامل نسبت عرض به ضخامت بال و جان می تواند مشخصات هندسی و ابعاد ورق کناری موردنیاز را تحت تاثیر قرار دهد. مو و بای در سال ۲۰۱۸ به بررسی رفتار برشی اتصال تیر به ستون CFT با چشمه اتصال نامنظم پرداختند [۹]. نتایج آزمایشات نشان داد که تمام نمونه ها رفتار شکل پذیر از خود نشان دادند. همچنین توان تلاف انرژی و تغییرشکل بسیار عالی از نمونه ها گزارش شد. همچنین با افزایش ارتفاع تیرها بر میزان ظرفیت برشی اتصال نیز افزوده شد. فریدمهر و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی ارزیابی رفتار اتصال تیر به ستون پیشنهادی پرداختند [۱۰]. ایشان چندین نمونه اتصال تیر به ستون فولادی که با استفاده از ورق کناری تقویت شده است، مورد آزمایش قرار دادند. در نمونه با اتصال ورق کناری، مفصل پلاستیک در تیر در فاصله ای از وجه ستون تشکیل شده است. اما تیر در اتصال پیشنهادی در وجه ستون دچار تغییرشکل های فراراجاعی شده است. ناطقی الهی و طبابایی در سال ۱۳۸۹ به بررسی معرفی اتصال خمشی تیر به ستون قوطی فولادی با استفاده از صفحات کناری پرداختند [۱۱]. این محققان با توجه به ضعف اتصالات تیرهای I شکل به ستون های قوطی شکل به عنوان یکی از سیستم های رایج در ساختمان های بلندمرتبه، رفتار این اتصالات را با استفاده از نرم افزار ANSYS مورد ارزیابی قرار دادند. رفتار هیستریزس این اتصال با توجه به تغییر ابعاد تیر و ستون و تغییر ضخامت ورق کناری تحلیل شده است. نتایج این تحلیل نشان دهندهی تشکیل مفصل خمیری در تیر و در فاصله ای دور از بر ستون است. نمودارهای استخراج شده از نتایج تحلیل نشان دهندهی مقاومت، سختی و میزان شکل پذیری قابل قبول برای

این اتصال پیشنهادی است و می‌توان از آن‌ها در قاب‌های خمشی ویژه در مناطقی با لرزه‌خیزی زیاد استفاده کرد. یکی از مهم‌ترین مزایای این اتصال عدم‌نیاز به ورق‌های پیوستگی در داخل ستون است. نقی پور و قائدرحمت در سال ۱۳۸۸ به بررسی مدلسازی اتصالات خمشی فولادی با صفحات کناری و ارائه هندسه جدید جهت بهبود رفتار اتصال پرداختند [۱۲]. صابری و همکاران در سال ۲۰۲۱ به بررسی عددی تأثیر استفاده از آلیاژهای حافظه دار شکلی و سوراخدار بودن صفحات کناری بر عملکرد چرخه ای اتصالات پرداختند [۱۳]. ایشان دریافتند که صفحات کناری با آلیاژ حافظه دار شکلی نیکل-تیتانیوم در ضخامت یکسان اساساً ظرفیت نیرویی بالاتری را تحمل کرده و انرژی بیشتری را جذب میکنند. واثقی امیری و همکاران در سال ۲۰۱۰ به بررسی ضریب رفتار در سیستمهای دوگانه با اتصال صفحات کناری پرداختند [۱۴]. مقدار ضریب شکل پذیری، ضریب کاهش در اثر شکل پذیری، ضریب اضافه مقاومت و ضریب رفتار در سیستمهای دارای صفحات کناری نسبت به سیستم های بدون صفحات کناری به ترتیب افزایش، کاهش و افزایش می یابد و حضور صفحات کناری طراحی سازه را در برابر زلزله اقتصادی تر مینماید. به طور کلی مقادیر ضریب رفتار بدست آمده برای مدل های با و بدون صفحات کناری به ترتیب تحت تأثیر مؤلفه شکل پذیری و مقاومتی آن بوده است همچنین اتصال با صفحات کناری بر روی ساختمان های متوسط اثر بیشتری دارد.

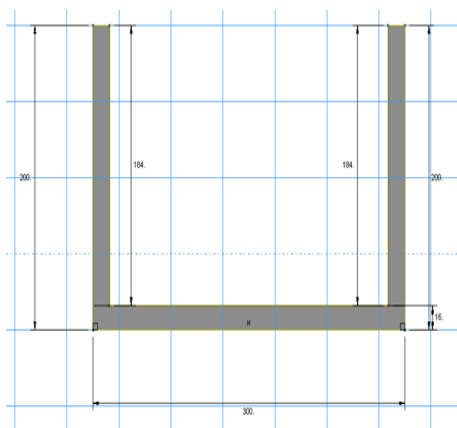
۲- معرفی مدل مورد استفاده در این پژوهش

در این تحقیق رفتار تیرهای U شکل پرشده با بتن به ستونهای CFT با استفاده از ورق کناری بررسی شده است. اتصال مزبور در شکل ۱ نشان داده شده است. در این نمونه که به عنوان مدل پایه در نظر گرفته شده است، ستون از مقطع جدارنازک BOX300-20 می باشد که در شکل ۲ نشان داده شده است. سطح مقطع تیر نیز U300-200-16-16 است که در شکل ۳ نشان داده شده است. طول ستون ۳۰۰۰ میلیمتر و طول هر کدام از تیر ها ۲۵۰۰ میلیمتر می باشد. همچنین در مدل پایه قطر پیچ ها برابر ۳۰ میلیمتر انتخاب شده است. ورق کناری نیز دارای سطح مقطع مستطیل شکل ۱۰۰۰×۴۸۰ میلیمتر مربع با ضخامت ۱۰ میلیمتر می باشد. به منظور وضوح بیشتر، محل قرارگیری پیچ ها بر روی ورق کناری، ستون و تیر در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که برای اتصال تیر به ستون و ورق کناری به تیر و ستون از اندرکنش تای در ماژول اینتراکشن استفاده شده است. همچنین برای اتصال پیچ به اعضا از قید تماس سخت استفاده شده است. لازم به ذکر است در این مرحله ضریب اصطکاک برابر ۰/۳ در نظر گرفته شده است.

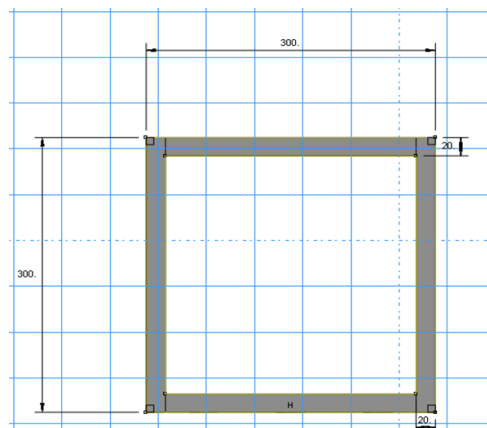
در مورد شرایط مرزی نیز لازم به ذکر است که از تغییرمکان انتقالی دو انتهای تیر و انتهای ستون پایینی در جهات X، Y و Z ممانعت به عمل آمده است. یک جابجایی یکنواخت نیز به بالای ستون اعمال شده است.



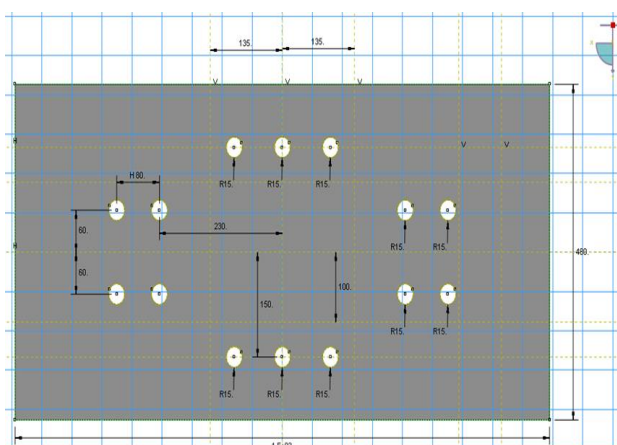
شکل ۱. اتصال تیر U شکل فولادی مرکب به ستون CFT با ورق کناری در نرم افزار ABAQUS



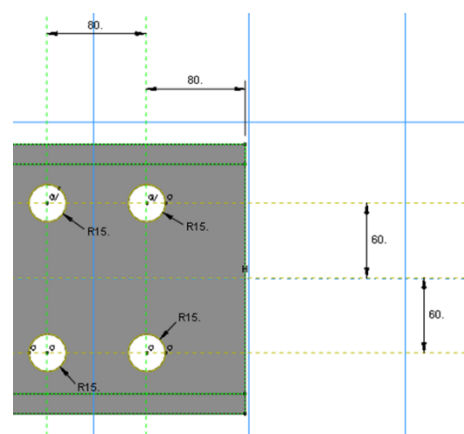
شکل ۳. مشخصات سطح مقطع تیر در مدل پایه



شکل ۲. مشخصات سطح مقطع ستون در مدل پایه



شکل ۵. محل قرارگیری پیچها در تیر

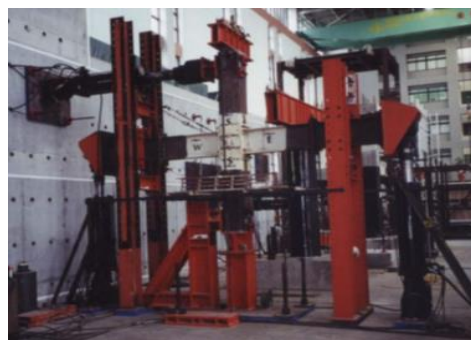
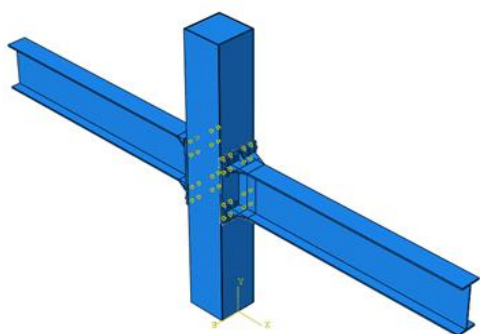


شکل ۴. محل قرارگیری پیچها بر روی ورق کناری در مدل پایه

۳- صحت سنجی مدل نرم افزار با نتایج آزمایشگاهی

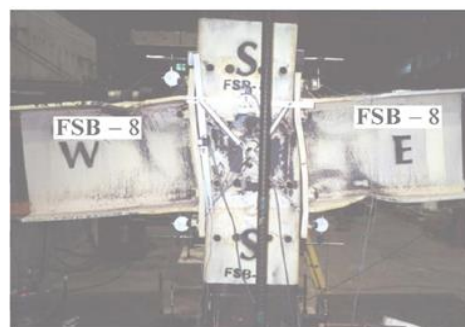
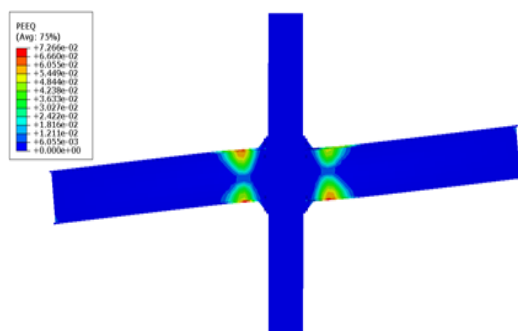
صحت سنجی که برای این تحقیق در نظر گرفته شده است، مربوط به کار آزمایشگاهی وو و همکاران است [۱۵]. که در شکل ۶ نشان داده شده است. مشخصات نمونه آزمایشگاهی در شکل ۷ نمایش داده شده است. در این نمونه، رفتار اتصال تیر I شکل به یک ستون CFT بررسی شده است. جهت بررسی رفتار این نمونه آزمایشگاهی از نرم افزار آباکوس استفاده شده است. مدل اجزاء محدود در شکل ۷ نشان داده شده است. شرایط مرزی از تغییرمکان انتقالی دو سر ستون در جهات سه گانه جلوگیری به عمل آمده است. به دو انتهای تیر نیز یک بارگذاری چرخه ای (با حداکثر تغییرمکان ۲۱۶ میلیمتر) اعمال شده است. در این تحقیق از بارگذاری یکنواخت پوش اور استفاده شده است. لازم به ذکر است که برای اعضای تیر، ستون و ورق کناری از المان Solid استفاده شده است. برای مصالح فولادی نیز از رابطه دوخطی الاستوپلاستیک کامل (EPP) استفاده شده است. برای مش بندی مختلف از المان C3D8R استفاده شده است. لازم به ذکر است که از تکنیک مش بندی Structured برای مش بندی اعضای مختلف استفاده شده است. شایان ذکر است که از اندازه مش ۵۰ میلیمتر برای تحلیل نمونه های مورد مطالعه استفاده شده است. از روش تحلیل implicit استفاده شده است. در اشکال ۸ و ۹ تغییر شکل

مدل مورد نظر در آزمایشگاه [۱۶] و تحت تحلیل اجزاء محدود ارائه شده است. و در شکل ۱۰ نواحی تسلیم شده تیر و ستون و ورق های انتهایی مشاهده می شود. همانطور که ملاحظه می شود، نرم افزار آباکوس به خوبی توانسته است محل تنش ها و کرنش های بیشینه را به خوبی پیشبینی نماید. منحنی پوش اور به دست آمده از تحلیل اجزاء محدود و منحنی اسکلت حاصل از بارگذاری چرخه ای در آزمایشگاه در شکل ۱۱ با یکدیگر مقایسه شده اند. همان طور دیده می شود، انطباق قابل قبولی نتایج آزمایشگاهی و تحلیل اجزاء محدود وجود دارد. از آنجایی که هیچ گاه به طور کامل نمی توان شرایط آزمایشگاهی را به طور کامل در نرم افزار ABAQUS مدل کرد و بار نهایی حاصل از آزمایش و تحلیل اجزاء محدود به ترتیب ۳۲۰ و ۳۴۰ کیلونیوتن است. بدین ترتیب اختلاف نمونه های مزبور ۶ درصد است. اینکه بنا به دلایلی مانند خطاهای آزمایشگاهی و عدم دقت دستگاه های اندازه گیری لذا می توان نتیجه گرفت که تحلیل اجزاء محدود به خوبی توانسته است تا نمودار بار تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی را پیش بینی نماید.



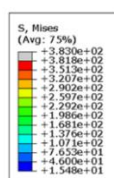
شکل ۷. مدل اجزاء محدود اتصال تیر فولادی به ستون مرکب با اتصال پیچی

شکل ۶. مدل آزمایشگاهی وو و همکاران [۱۵]

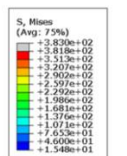
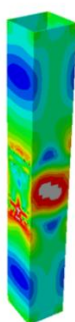


شکل ۹. توزیع کرنش پلاستیک در نمونه اجزاء محدود

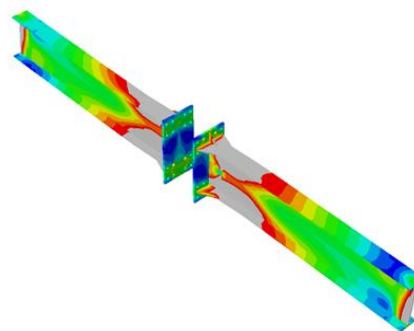
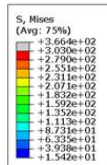
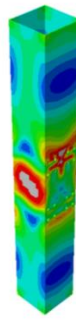
شکل ۸. تغییر شکل مدل آزمایشگاهی [۱۶]



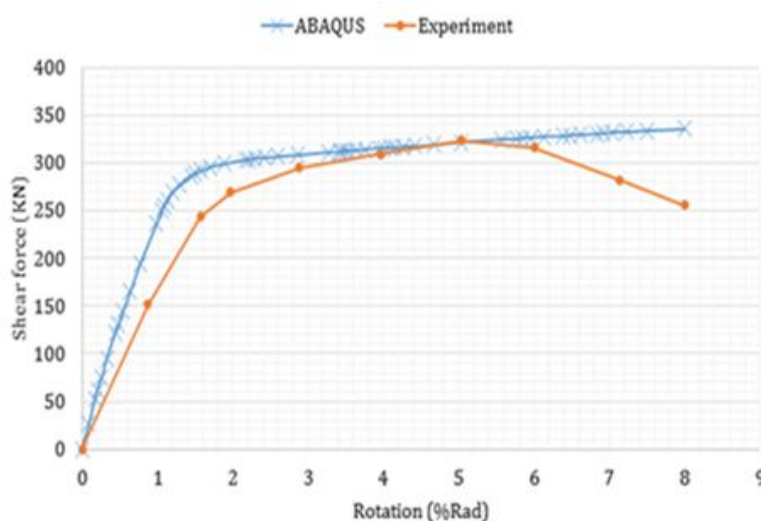
نمای سمت چپ



نمای سمت راست



شکل ۱۰. نواحی تسلیم شده در تیرها و ستون ها و ورق انتهایی



شکل ۱۱. مقایسه منحنی اسکلت حاصل از آزمایش با نتایج مدل اجزاء محدود

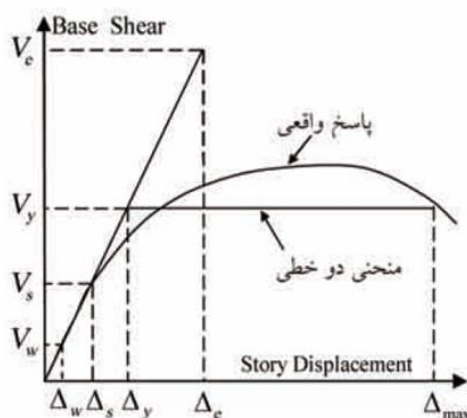
۴- مدل رفتاری مصالح

در مورد مشخصات مکانیکی نیز لازم به ذکر است که از فولاد St37 برای اعضای تیر، ستون و ورق کناری استفاده شده است. از فولاد A490 با تنش تسلیم ۹۰۰ مگاپاسکال برای پیچ ها استفاده شده است. مقاومت فشاری بتن در مدل پایه نیز برابر ۳۰ مگاپاسکال منظور شده است. لازم به ذکر است که از مدل رفتاری دوخطی برای فولاد استفاده شده است. F_u و F_y برای فولاد St37 به ترتیب برابر ۲۴۰ و ۳۶۰ مگاپاسکال است. کرنش گسیختگی نیز برابر ۰/۱۲ در نظر گرفته شده است.

۴-۱- نحوه محاسبه ضرایب لرزه‌ای

آئین‌نامه‌های طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله با تکیه بر شکل‌پذیری سازه‌ها، نیروهای اعمال شده به وسیله زلزله بر سازه را با ضریب رفتار کاهش می‌دهند. این کاهش نیرو برگرفته از منحنی ظرفیت سازه و شکل ایده آل شده (دوخطی شده) آن مطابق روش یوانگ [۱۹] است. منحنی پاسخ واقعی و دوخطی یوانگ در شکل نشان داده شده است. در این شکل محور قائم، برش پایه و محور افقی، تغییر مکان تراز بام می‌باشد.

- V_y : بار تسلیم مؤثر
- Δ_y : تغییر مکان متناظر با بار V_y
- V_s : بار متناظر با اولین تسلیم واقعی
- Δ_s : تغییر مکان متناظر با اولین تسلیم واقعی
- Δ_{max} : تغییر مکان ماکزیمم



شکل ۱۲. منحنی واقعی و مشخصات منحنی دوخطی یوانگ

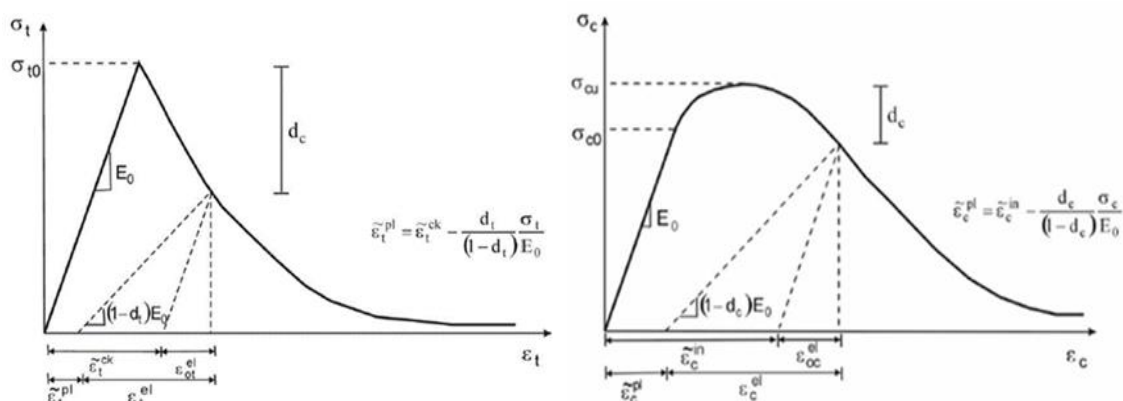
ضریب شکل پذیری μ از رابطه (۱) به دست می آید:

$$(1) \quad \mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y}$$

۲-۴- مدل آسیب پلاستیک بتن^۱

مدل رفتاری مورد استفاده برای مدل سازی بتن در سازه ها تحت اثر بار انفجاری بایستی بتواند با دقت بالا رفتار خطی و غیرخطی بتن را دربرگیرد. بدین منظور محققین مختلف مدل های رفتاری متفاوتی را پیشنهاد نموده اند. هر یک از این مدل ها دارای نقاط قوت و ضعف می باشند. در این تحقیق برای بتن دال از معیار پلاستیسیته بتن آسیب دیده در مدل سازی استفاده شده است [۱۸]. در این مدل فرض می شود که مهمترین مکانیزم های خرابی بتن، ترک خوردن در کشش و خرد شدن در فشار باشد. در این معیار فرض می شود که پاسخ بتن تحت اثر کشش و فشار تک محوری با استفاده از پلاستیسیته مبتنی بر خسارت تعریف شود. در این مدل، بتن تا رسیدن به تنش خرابی کششی σ_{t0} به صورت خطی رفتار می کند. تنش مزبور متناظر با آغاز ترکهای ریز کششی در بتن است. زمانی که در شاخه نرم منحنی تنش- کرنش بتن باربرداری صورت گیرد، کاهش سختی صورت می گیرد که با استفاده از ۲ پارامتر خسارت dc و dt تعریف می گردد. مدل آسیب پلاستیک بتن در نواحی فشاری و کششی [۱۷] در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

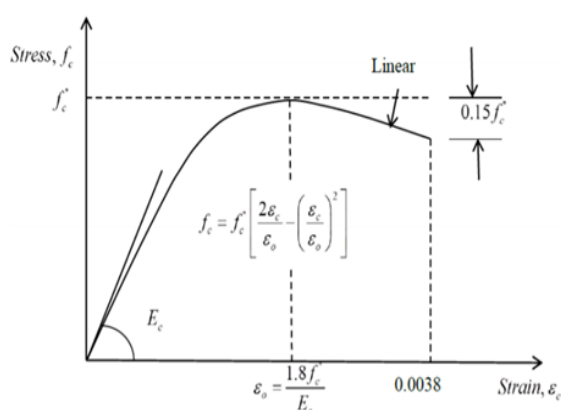
¹ Concrete Damage Plasticity



شکل ۱۳. نمودار بتن آسیب‌دیده تحت فشار تک محوره [۱۷]

۳-۴- رفتار بتن در فشار تک محوری

از آنجایی که معرفی رابطه تنش- کرنش تک محوره بتن در فشار و کشش از پارامترهای مهم در معرفی مدل پلاستیسیته به نرم‌افزار است، لذا برای معرفی رابطه تنش- کرنش فشاری تک محوره بتن به نرم‌افزار در این پژوهش، از رابطه هاگنستاد اصلاح شده استفاده شده است. منحنی فوق‌الذکر در شکل ۱۴ نمایش داده شده است.



شکل ۱۴. منحنی هاگنستاد اصلاح شده [۱۷]

همچنین از روابط (۲) و (۳) به منظور معرفی تنش فشاری بتن بر حسب کرنش فشاری به نرم‌افزار استفاده شده است. در روابط ارائه شده ϵ_0 کرنش متناظر با تنش ماکزیمم است که در این تحقیق برابر 0.002 در نظر گرفته شده است. همچنین رابطه f_c'' تنش ماکزیمم در عضو بتنی می‌باشد. k_s نیز ضریب تأثیر است که برای مقاومت فشاری f_c' کمتر از 15 مگاپاسکال برابر 1 و برای بتن‌های با مقاومت 20 ، 25 ، 30 و بالاتر از 35 مگاپاسکال به ترتیب 0.97 ، 0.95 ، 0.93 و 0.92 است. بخش نزولی در منحنی هاگنستاد اصلاح‌شده از $(\epsilon_0 f_c'')$ به $(0.0038$ و $0.85 f_c'')$ خطی است. مدول الاستیسیته را نیز می‌توان به صورت رابطه (۴) نوشت:

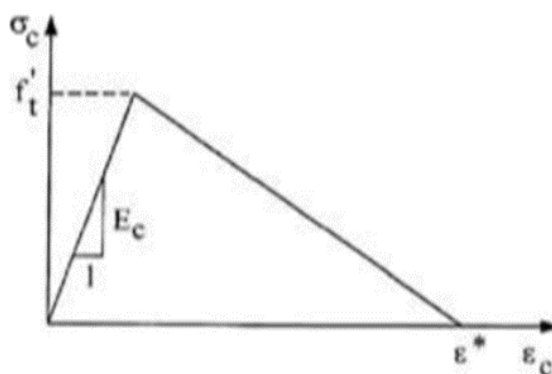
$$(۲) \quad f_c = f_c'' = k_s f_c' \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right]$$

$$(۳) \quad f_c = f_c'' \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right]$$

$$(۴) \quad E_c = 33W^{1.5} \sqrt{f_c'}$$

۴-۴- رفتار بتن در کشش تک محوری

برای معرفی رفتار کششی بتن از منحنی شکل ۱۵ استفاده شده است. ناحیه اول یک خط مستقیم است که به مقاومت کششی حداکثر ختم میشود (رابطه ۵). ناحیه دوم نیز بخش نزولی است که بتن در کرنش کششی ۰/۰۰۱ از بین می رود. (رابطه ۶).



شکل ۱۵. منحنی تنش-کرنش بتن در کشش [۱۷]

$$(۵) \quad f'_t = 0.33 \sqrt{f_c'}$$

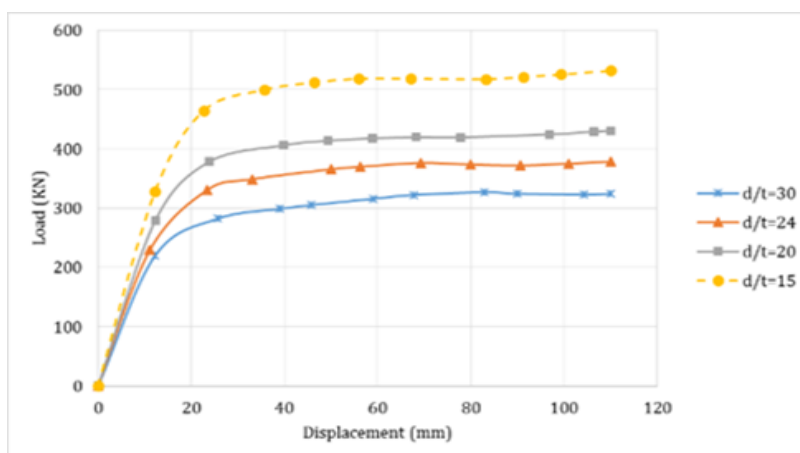
$$(۶) \quad \varepsilon^* = 0.001$$

۵- تحلیل نتایج

نمونه‌های مورد مطالعه در نرم‌افزار آباکوس تحت بارگذاری یکنواخت قرار گرفتند. نتایجی که از این بارگذاری حاصل شد عبارت‌اند از مقاومت، سختی اولیه، شکل پذیری و جذب انرژی. تحلیل و تفسیر نتایج در ادامه ارائه شده است.

۵-۱- بررسی تاثیر نسبت عرض به ضخامت ستون

منحنی پوش اور نمونه‌های با $\left(\frac{d}{t}\right)_{column}$ مختلف برای ستون فولادی در شکل ۱۶ نشان داده شده است. نتایج حاصل از مدلسازی نمونه‌های با نسبت عرض به ضخامت مختلف ستون در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱۶. منحنی بار-تغییر مکان نمونه های با نسبت عرض به ضخامت مختلف ستون

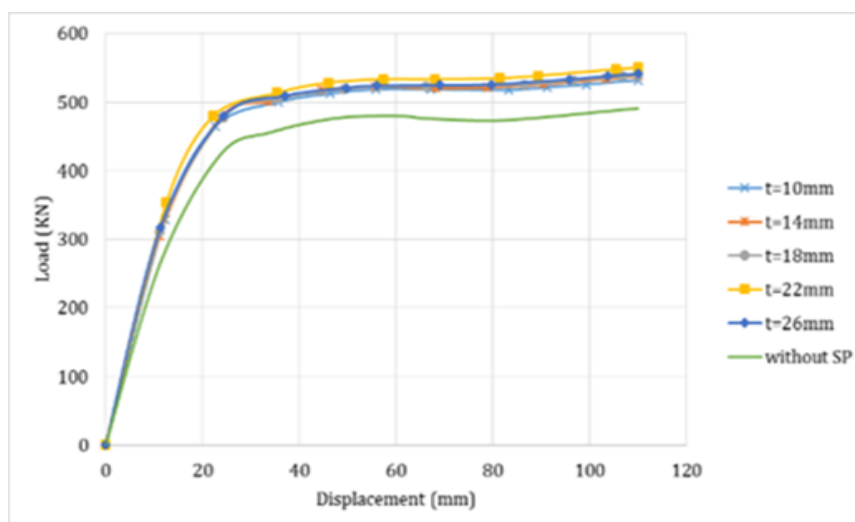
جدول ۱. نتایج حاصل از مدلسازی نمونه های با نسبت عرض به ضخامت مختلف ستون

Width to column thickness ratio	Strength (KN)	initial stiffness (KN/mm)	ductility	Energy (Kj)
d/t=30	324.149	17.96659	6.76	31249989
d/t=24	378.715	20.65891	6.66	36465315
d/t=20	430.951	22.72807	6.48	41259701
d/t=15	532.188	26.75917	6.12	50944580

همانطور که ملاحظه میشود افزایش ضخامت ستون با فرض ثابت بودن ارتفاع ستون منجر به افزایش قابل توجه مقاومت شده است. به طوری که با کاهش d/t ستون از ۳۰ به ۲۴، ۲۰ و ۱۵ بر میزان مقاومت به ترتیب ۱۷، ۳۳ و ۶۴ درصد افزوده شده است. همچنین بر میزان سختی اولیه به ترتیب ۱۴، ۲۶ و ۴۹ درصد افزوده شده است. علاوه بر این، جذب انرژی به ترتیب ۱۶، ۳۲ و ۶۳ درصد افزوده یافته است. این در حالی است که با افزایش ضخامت جداره ستون از میزان شکل پذیری کاسته شده است.

۲-۵- بررسی تاثیر ضخامت ورق کناری

منحنی بار-تغییر مکان نمونه های با ضخامت ورق کناری مختلف در شکل ۱۷ نشان داده شده است. در این نمونه ها مشخصات تمام اجزاء به جز ورق کناری ثابت است. ضخامت ورق کناری به ترتیب ۱۰، ۱۴، ۱۸، ۲۲ و ۲۶ میلیمتر در نظر گرفته شده است. همچنین به منظور مقایسه یک نمونه فاقد ورق کناری نیز مدلسازی و بررسی شده است. نتایج حاصل از مدلسازی این نمونه ها در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۱۷. منحنی بار-تغییر مکان نمونه های با ورق کناری با ضخامت های مختلف

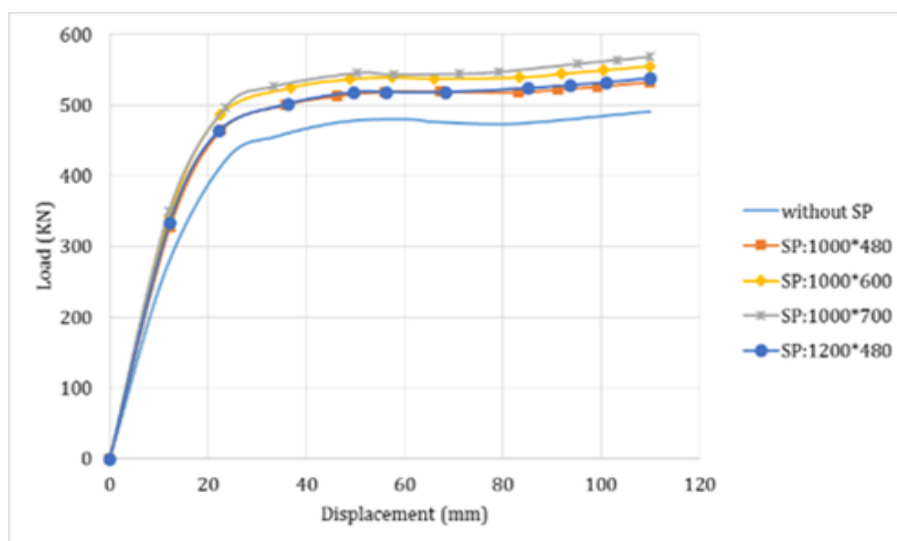
جدول ۲. نتایج حاصل از مدلسازی نمونه های با ورق کناری با ضخامت های مختلف

Side plate thickness	Strength (KN)	initial stiffness (KN/mm)	ductility	Energy (Kj)
t=10mm	532.188	26.75917	6.11	50944580
t=14mm	537.526	27.44087	6.08	51423382
t=18mm	539.06	27.6863	6.09	52161492
t=22mm	550.456	28.13348	5.98	52668268
t=26mm	541.508	28.11906	5.85	51806424
without SP	490.921	23.41461	5.87	46517592

افزودن بر ضخامت ورق کناری تاثیر زیادی بر مقاومت، سختی و شکل پذیری اتصال ندارد. با افزودن بر ضخامت ورق کناری اندکی مقاومت خمشی، سختی و جذب انرژی افزوده شد ولی میزان شکل پذیری اندکی کاهش یافت ولی میزان افزایش و کاهش موارد فوق چندان چشمگیر نبوده و اقتصادی نمی باشد.

۳-۵- بررسی تاثیر ابعاد ورق کناری

همانطور که قبلا اشاره گردید، چندین ابعاد مختلف برای ورق کناری به منظور بررسی تاثیر آن در نظر گرفته است. منحنی بار-تغییر مکان نمونه های با ورق کناری در ابعاد مختلف در شکل ۱۸ نشان داده شده است. نتایج حاصل از مدلسازی این نمونه ها در جدول ۳ ارائه شده است.

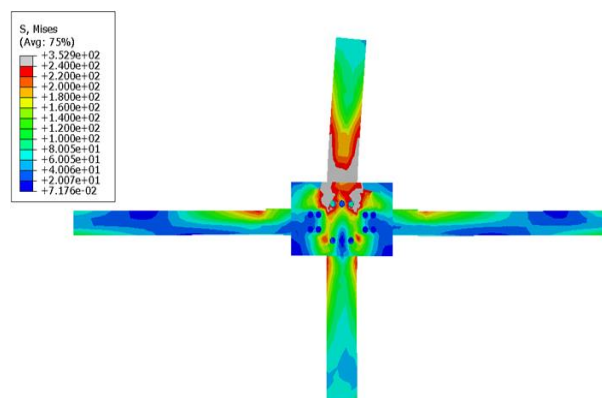
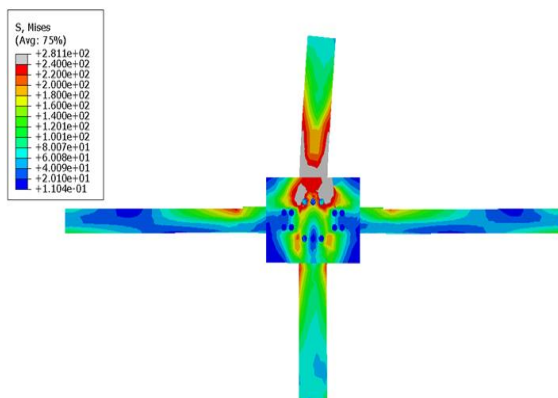


شکل ۱۸. منحنی بار-تغییر مکان نمونه های با ورق کناری در اندازه های مختلف

جدول ۳. نتایج حاصل از مدلسازی نمونه های با ورق کناری در اندازه های مختلف

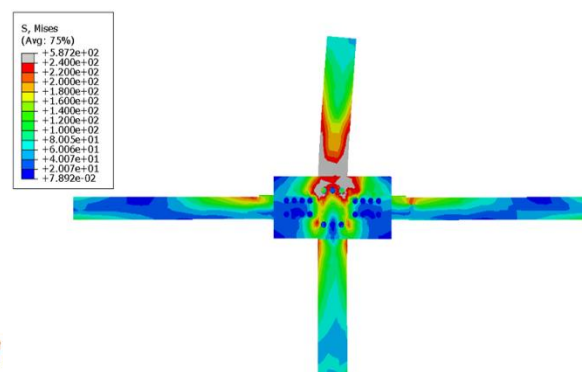
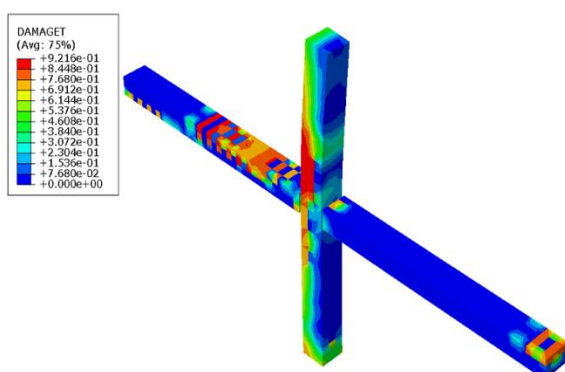
Side plates dimensions	Strength (KN)	initial stiffness (KN/mm)	ductility	Energy (Kj)
without side plate	490.921	23.41461	5.87	46517592
SP:1000*480	532.188	26.75917	6.11	50944580
SP:1000*600	554.898	28.22049	6.2	53113591
SP:1000*700	568.021	29.08712	6.36	53982816
SP:1200*480	537.974	27.37231	6.27	51281763

با توجه به شکل ۲۰ و جدول ۳، می توان گفت که در اثر استفاده از ورق کناری بر مقاومت نمونه ها افزوده شده است. مقاومت نمونه های با ورق کناری به ابعاد 1000×600 و 1000×700 نسبت به نمونه با ورق کناری 1000×480 به ترتیب $4/3$ و $6/7$ درصد بیشتر است. همچنین مقاومت نمونه با ورق کناری 1200×480 نسبت به نمونه با ورق کناری 1000×480 ، $1/1$ درصد بیشتر است. علاوه بر این، سختی اولیه نمونه های با ورق کناری به ابعاد 1000×600 ، 1000×700 و 1200×480 نسبت به نمونه با ورق کناری 1000×480 به ترتیب $5/4$ ، $8/6$ و $2/3$ درصد بیشتر است. جذب انرژی نمونه های با ورق کناری به ابعاد 1000×600 ، 1000×700 و 1200×480 نسبت به نمونه با ورق کناری 1000×480 به ترتیب $1/4$ ، $4/1$ و $2/6$ درصد بیشتر است. شکل پذیری نمونه های با ورق کناری نسبت به نمونه فاقد ورق کناری بیشتر است. اما، با افزایش عرض یا ارتفاع ورق کناری (نسبت به نمونه با ورق کناری 1000×480) بر میزان شکل پذیری افزوده شده است. در اشکال ۱۹ تا ۲۴ که در ادامه آمده است، تغییر شکل نمونه های با ورق کناری به ابعاد مختلف در مرحله نهایی بارگذاری ارائه شده است.



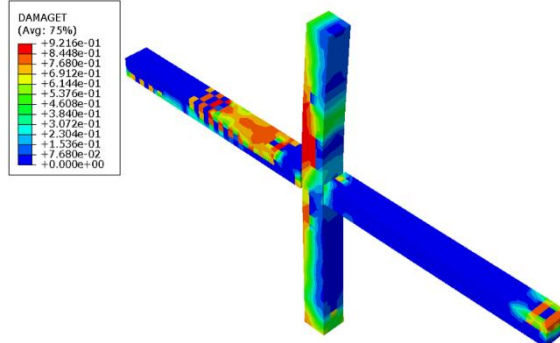
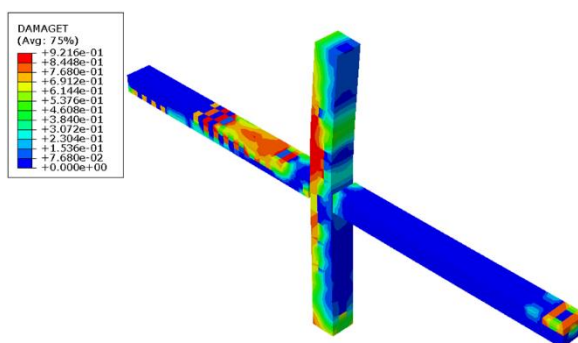
شکل ۲۰. تغییر شکل نمونه با ورق کناری ۱۰۰۰×۶۰۰ میلیمتر مربع

شکل ۱۹. تغییر شکل نمونه با ورق کناری ۱۰۰۰×۴۸۰ میلیمتر مربع



شکل ۲۲. آسیب کششی در نمونه با ورق کناری ۱۰۰۰×۴۸۰ میلیمتر مربع

شکل ۲۱. تغییر شکل نمونه با ورق کناری ۱۰۰۰×۷۰۰ میلیمتر مربع

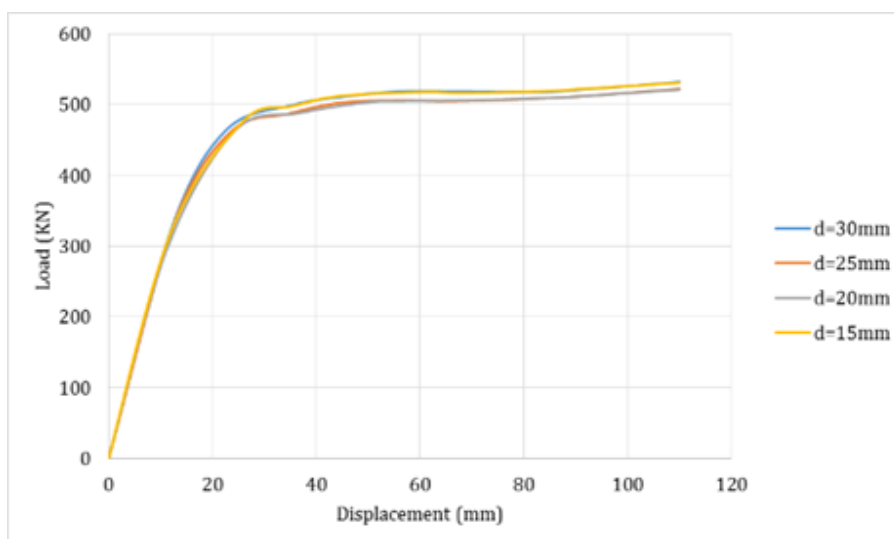


شکل ۲۳. آسیب کششی در نمونه با ورق کناری ۱۰۰۰×۷۰۰ میلیمتر مربع

شکل ۲۴. آسیب کششی در نمونه با ورق کناری ۱۰۰۰×۶۰۰ میلیمتر مربع

۴-۵- بررسی تاثیر قطر پیچ ها

یکی دیگر از مواردی که در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفته است، قطر پیچ ها می باشد. علاوه بر مدل پایه که دارای پیچ ها به قطر ۳۰ میلیمتر بود، چندین مدل دیگر با قطر پیچ ۲۵، ۲۰ و ۱۵ میلیمتر نیز در نظر گرفته شد. منحنی بار-تغییر مکان این نمونه ها در شکل ۲۵ نشان داده شده است. همچنین مقادیر حاصل از مدلسازی های عددی در جدول ۴ ارائه شده است.



شکل ۲۵. منحنی بار-تغییر مکان مدل پایه با پیچ به قطرهای مختلف

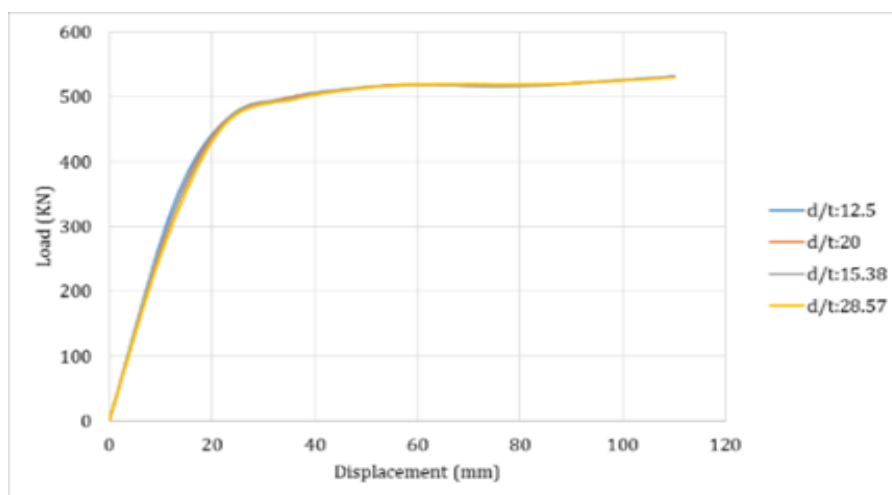
جدول ۴. نتایج حاصل از مدلسازی نمونه های با پیچ به قطر مختلف

Screw diameter (mm)	Strength (KN)	initial stiffness (KN/mm)	ductility	Energy (Kj)
30	532.188	26.75917	6.11	50944580
25	522.214	26.7452	6.2	49884680
20	521.401	26.7365	6.21	49837976
15	531.464	26.725	6.2	48853948

همچنین مشاهده می شود که با تغییر قطر پیچ ها تغییر محسوسی در مقاومت خمشی، سختی، شکل پذیری و میزان جذب انرژی بوجود نمی آید و نمی توان نتیجه خاصی از تغییر پارامتر فوق ارزیابی کرد.

۵-۵- بررسی تاثیر نسبت عرض به ضخامت تیر

منحنی پوش اور نمونه های با $\left(\frac{d}{t}\right)_{beam}$ مختلف برای ستون فولادی در شکل ۲۶ نشان داده شده است. نتایج حاصل از مدلسازی نمونه های با نسبت عرض به ضخامت مختلف ستون در جدول ۵ ارائه شده است.



شکل ۲۶. منحنی بار-تغییر مکان نمونه های با نسبت عرض به ضخامت مختلف تیر

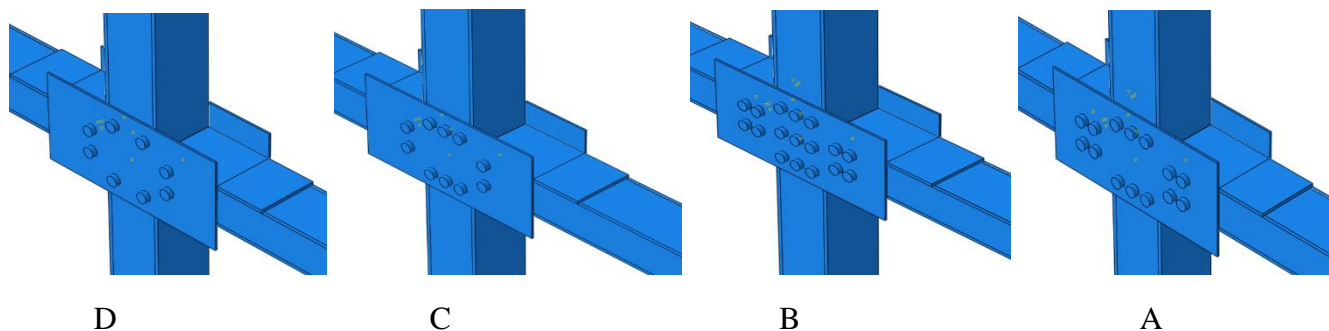
جدول ۵. نتایج حاصل از مدلسازی نمونه های با نسبت عرض به ضخامت مختلف ستون

Width to beam thickness ratio	Strength (KN)	initial stiffness (KN/mm)	ductility	Energy (Kj)
d/t=12.5	532.18	26.75	6.11	50944580
d/t=15.38	531.75	26.43	6.109	50845481
d/t=20	530.88	25.67	6.11	50800635
d/t=28.57	530.52	25.12	6.108	50799852

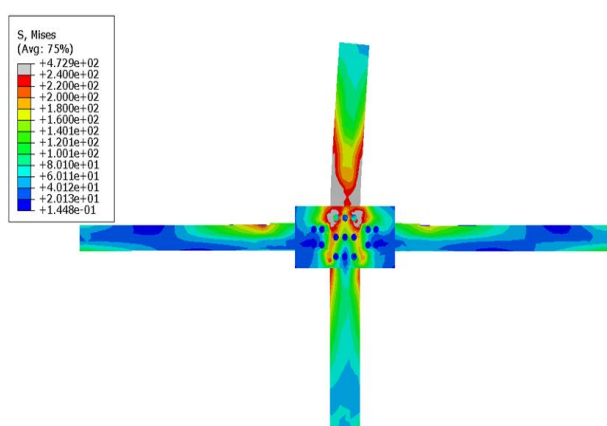
همانطور که ملاحظه میشود، تغییر در نسبت عرض به ضخامت تیر (در بخش بال و جان)، تغییر محسوسی در مقاومت، سختی اولیه، شکل پذیری و جذب انرژی ایجاد نشده است و لذا می توان گفت در حوزه نمونه های مورد مطالعه بی تاثیر بوده است.

۶-۵- بررسی تاثیر آرایش پیچ ها

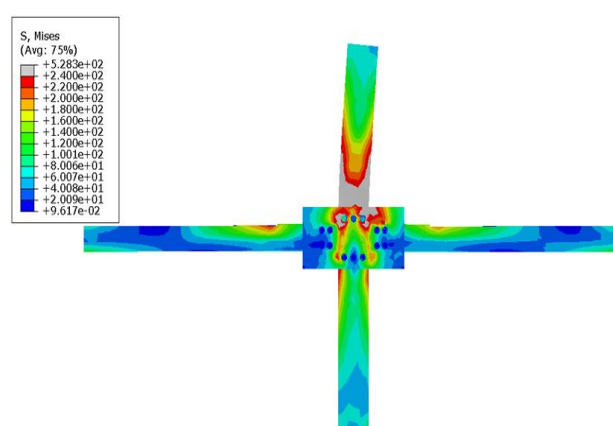
در این بخش تاثیر آرایش پیچ ها که در شکل ۲۷ نشان داده شده است، بر مقاومت اتصال بررسی شده است. آرایش پیچ ها در شکل های ۲۷ توضیح داده شده است. تغییر شکل نمونه ها با آرایش های مختلف در اشکال ۲۸ تا ۳۱ نشان داده شده است. منحنی بار-تغییر مکان نمونه های با آرایش مختلف پیچ در شکل ۳۲ نشان داده شده است. مقادیر حاصل از مدلسازی این نمونه ها در جدول ۶ ارائه شده است.



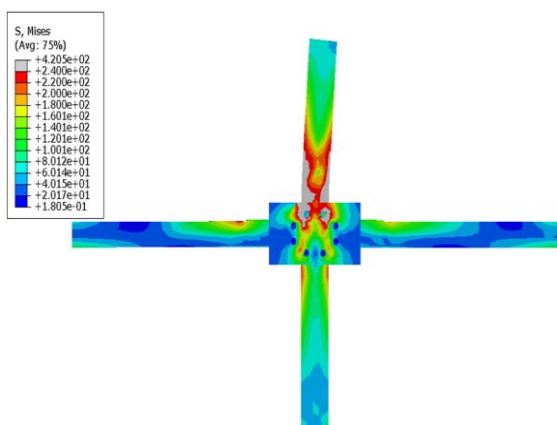
شکل ۲۷. آرایش پیچ ها



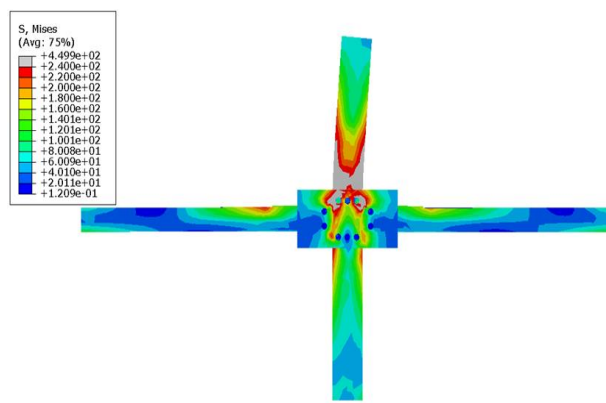
شکل ۲۹. تغییر شکل نمونه با آرایش پیچ B



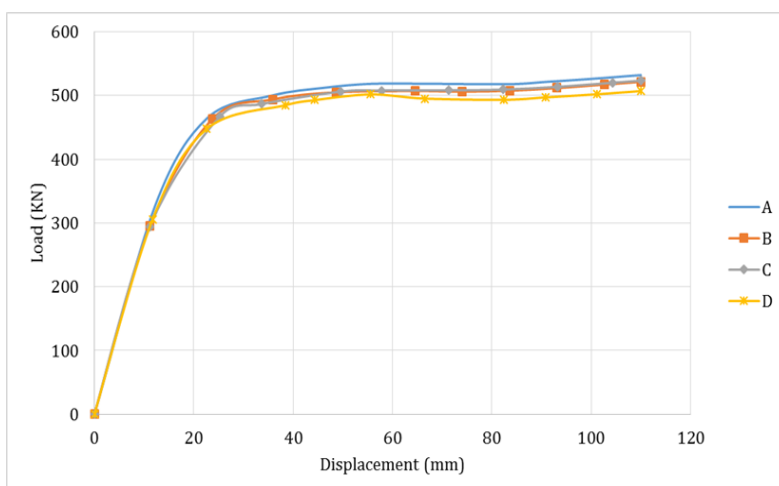
شکل ۲۸. تغییر شکل نمونه با آرایش پیچ A



شکل ۳۱. تغییر شکل نمونه با آرایش پیچ D



شکل ۳۰. تغییر شکل نمونه با آرایش پیچ C



شکل ۳۲. منحنی بار-تغییر مکان نمونه های با آرایش مختلف پیچ

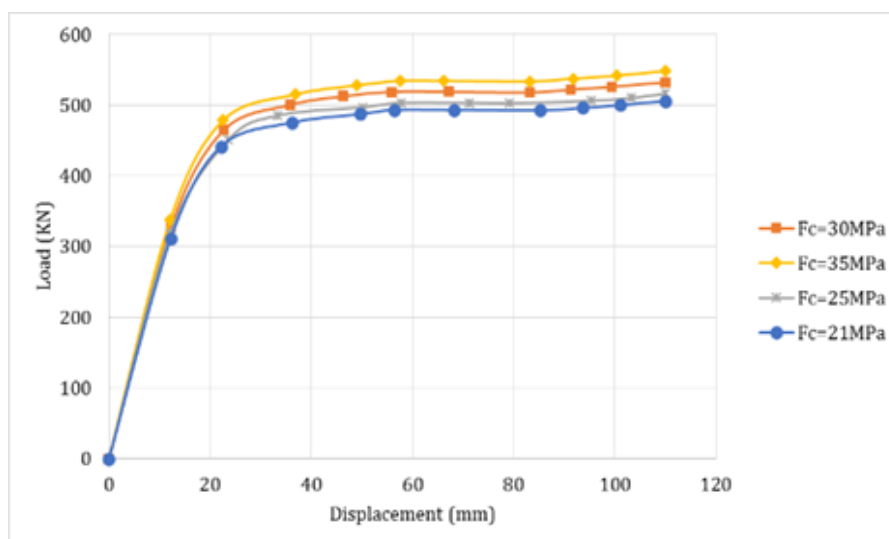
جدول ۶. نتایج حاصل از مدلسازی نمونه های با آرایش مختلف پیچ

آرایش پیچ	Strength (KN)	initial stiffness (KN/mm)	ductility	Energy (Kj)
A	532.188	26.75	6.11	50944580
B	521.616	26.46	6.2	49884680
C	523.465	26.39	6.21	49837976
D	507.176	26.09	6.2	48853948

نحوه آرایش پیچ ها تاثیر زیادی بر میزان مقاومت، سختی و شکل پذیری اتصال ندارد. تغییر آرایش و تعداد پیچ ها تغییر محسوسی در مقاومت خمشی، سختی، شکل پذیری و میزان جذب بوجود نمی آید و نمی توان نتیجه خاصی از تغییر پارامتر فوق ارزیابی کرد.

۷-۵- بررسی تاثیر مقاومت فشاری بتن

منحنی پوش اور نمونه های با مقاومت فشاری مختلف برای بتن در شکل ۳۳ نشان داده شده است. نتایج حاصل از این نمونه ها نیز در جدول ۷ ارائه شده است.



شکل ۲۳. منحنی بار-تغییر مکان نمونه های با نسبت عرض به ضخامت مختلف تیر

جدول ۷. نتایج حاصل از مدلسازی نمونه های با مقاومت فشاری مختلف بتن

Compressive strength of concrete (MPa)	Strength (KN)	Initial stiffness (KN/mm)	ductility	Energy (Kj)
35	532.188	26.75917	6.11	50944580
30	548.1536	27.90843	6.17	53113591
25	516.2224	26.38387	6.02	53982816
21	505.8979	25.51662	6.07	51281763

همانطور که ملاحظه میشود، تغییر در مقاومت فشاری بتن منجر به تغییرات در مقاومت نمونه ها شده است. به طوری با افزایش F_c از ۳۰ به ۳۵ مگاپاسکال بر میزان مقاومت ۳ درصد افزوده شده است. همچنین با کاهش مقاومت فشاری از ۳۰ به ۲۵ و ۲۱ مگاپاسکال از میزان مقاومت ۲ و ۳/۵ درصد کاسته شده است. همچنین بین مقاومت فشاری بتن و سختی و شکل پذیری رابطه مستقیمی برقرار است.

۶- بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه به بررسی رفتار اتصالات کناری با ورق جانبی در قاب های مرکب فولادی و بتنی پرداخته شده است. هفت پارامتر جهت بررسی رفتار اتصال و بررسی سختی اولیه، مقاومت خمشی، میزان جذب و استهلاک انرژی و شکل پذیری در ناحیه اتصال در نرم افزار ABAQUS پرداخته شده است که در روش مدلسازی و تحلیل نتایج به طور کامل شرح داده شده است. نتایج بدست آمده از این تحقیق به شرح ذیل است.

- افزودن بر ضخامت ورق کناری تاثیر زیادی بر مقاومت، سختی و شکل پذیری اتصال ندارد. با افزودن بر ضخامت ورق کناری اندکی مقاومت خمشی، سختی و جذب انرژی افزوده شد ولی میزان شکل پذیری اندکی کاهش یافت ولی میزان افزایش و کاهش موارد فوق چندان چشمگیر نبوده و اقتصادی نمی باشد.

- ابعاد ورق کناری بر میزان مقاومت و شکل پذیری تاثیر دارد. با افزایش عرض ورق (با فرض ارتفاع یکسان) بر میزان مقاومت و شکل پذیری و جذب انرژی افزوده شده است.
- نسبت d/t ستون بر میزان مقاومت، سختی و شکل پذیری تاثیر دارد. به طوری که با کاهش نسبت یاد شده بر میزان مقاومت، سختی و شکل پذیری افزوده شده است.
- نسبت d/t تیر بر میزان مقاومت، سختی و شکل پذیری اتصال تاثیر زیادی ندارد.
- با افزایش مقاومت فشاری بتن بر میزان مقاومت خمشی ۳ درصد افزوده شده است. همچنین با کاهش مقاومت فشاری از ۳۰ به ۲۵ و ۲۱ مگاپاسکال از میزان مقاومت ۲ و ۳/۵ درصد کاسته شده است. همچنین بین مقاومت فشاری بتن و سختی و شکل پذیری رابطه مستقیمی برقرار است.
- نحوه آرایش پیچ ها تاثیر زیادی بر میزان مقاومت، سختی و شکل پذیری اتصال ندارد. تغییر آرایش و تعداد پیچ ها تغییر محسوسی در مقاومت خمشی، سختی، شکل پذیری و میزان جذب بوجود نمی آید و نمی توان نتیجه خاصی از تغییر پارامتر فوق ارزیابی کرد.
- با تغییر قطر پیچ ها تغییر محسوسی در مقاومت خمشی، سختی، شکل پذیری و میزان جذب بوجود نمی آید و نمی توان نتیجه خاصی از تغییر پارامتر فوق ارزیابی کرد.

مراجع

- [1] Michael D. Engelhardt Thomas A. Sabol "Reinforcing of steel moment connections with cover plates: benefits and limitations" Engineering Structures, Vol. 20, Nos 4-6, pp. 510-520, 1998
- [2] Houghton, D.L. 1998. The Sideplate Moment Connection: A Design Breakthrough Eliminating Recognized Vulnerabilities in Steel Moment Frame Connections, Proceedings of the 2nd World Conference on Steel Construction, San Sebastian, Spain.
- [3] Xing Xu¹ · Rui Cheng^{1,2} · Pu Yang^{1,2} · Ruiqi Liu¹ . "Cyclic Loading Test for Concrete-Filled U-Shaped Steel Beam to Concrete-Filled Steel Tube Column Connections", International Journal of Steel Structures (2020), ISSN 2093-6311.
- [4] Hanchao Liu, Jiping Hao, Qiang Xue, Xiaoling Sun, Seismic performance of a wall-type concrete-filled steel tubular column with a double side-plate I-beam connection, Thin-Walled Structures 159 (2021) 107175
- [5] Piseth Heng, Clemence Lepourry, Hugues Somja, Franck Palas, Behaviour of a joint between a U-shaped steel-concrete beam and a concrete-filled steel tubular column, Journal of Constructional Steel Research 175 (2020) 106322
- [6] Jong-Jin Lim, Tae-Sung Eom, Jin-Won Kim, Tae-Hyu Ha, Cyclic loading tests of interior beam-column connections for concrete-filled thin-walled tube columns, Engineering Structures 190 (2019) 20–30
- [7] Cheng-Cheng Chen, Erwin, Charles Julius Salim, New scheme for beam with side plates for seismic applications o mitigate construction difficulties, Journal of Constructional Steel Research 168 (2019) 105878
- [8] Cheng-Cheng Chen, Erwin ., Charles Julius Salim, Rudy Tiara, Seismic performance of wide flange steel beams partly covered by side plates, Journal of Constructional Steel Research 148 (2018) 275–286
- [9] Ben Mou, Yongtao Bai, Experimental investigation on shear behavior of steel beam-to-CFST column connections with irregular panel zone, Engineering Structures 168 (2018) 487–504
- [10] Iman Faridmehr, Mohd Hanim Osman, Mamood Md. Tahir, Ali Farokhi Nejad, Reza Hodjati, Severe Loading Assessment of Modern and New Proposed Beam to Column Connections, Latin American Journal of Solids and Structures 12 (2015) 1202-1223

- [۱۱] ناطقی الهی، فریبرز، طباطبائی، زهرا. (۱۳۸۹). معرفی اتصال خمشی تیر به ستون قوطی فولادی با استفاده از صفحات کناری. مهندسی عمران، دوره ۲، ۲۶ (۱)، صفحات ۱۳-۲۰
- [۱۲] نقی پور، م.، و قائدرحمت، م. (۱۳۸۹). مطالعه تجربی و مدلسازی اتصالات خمشی فولادی با صفحات کناری و ارائه هندسه جدید جهت بهبود رفتار اتصال. سازه و فولاد، ۶(۷)، ۸۳-۹۵.
- [13] Saberi, V., Saberi, H., Mazaheri, O., Sadeghi, A. (2021). Numerical Investigation of Shape Memory Alloys and Side Plates Perforation Effect on Hysteresis Performance of Connections. Amirkabir Journal of Civil Engineering, 53(8), 19-19.
- [14] Vaseghi Amiri, Naghipour, Rahmani, (2010). INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR FACTOR IN DUAL SYSTEMS WITH SIDE PLATE CONNECTION. Journal of Modeling in Engineering, 8(21), 67-82.
- [15] Lai-Yun Wu, Lap-Loi Chung, Sheng-Fu Tsai, Tung-Ju Shen, Guo-Luen Huang, Seismic behavior of bolted beam-to-column connections for concrete filled steel tube, Journal of Constructional Steel Research 61 (2005) 1387-1410
- [16] Lai-Yun Wu, Lap-Loi Chung, Sheng-Fu Tsai, Tung-Ju Shen, Guo-Luen Huang, Seismic behavior of bolted beam-to-column connections for concrete filled steel tube, Journal of Constructional Steel Research 61 (2005) 1387-1410
- [17] Hognestad E. 1951 , "A study of combined bending and axial load in reinforced concrete members", University of Illinois Engineering Experiment Station, Volume 49, Number 22.
- [18] Saberi, V., Saberi, H., Mazaheri, O., Sadeghi, A. (2021). Numerical Investigation of Shape Memory Alloys and Side Plates Perforation Effect on Hysteresis Performance of Connections. Amirkabir Journal of Civil Engineering, 53(8), 19-19.
- [19] Uang, C.M, 1991, Establishing R (or R_w) and Cd Factors for Building Seismic Provisions, Journal of structural Engineering, ASCE, pp. 19-28.