

Finite Element Analysis of Blind Bolted Extended and Flush End Plate Connections of Steel Beams to Hollow Section Columns

Mohsen Izadinia*¹, Nima Riahy²

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Najafabad branch, Islamic Azad University ,
Najafabad, Iran

2- MSc in Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Najafabad branch, Islamic Azad University ,
Najafabad, Iran

ABSTRACT

Hollow structural sections (HSS) have been used in many structural applications, owing to their efficient structural performance and suitable appearance. However, due to the lack of access inside the HSS column for bolting purposes, it has been difficult to develop a practical bolted moment connection. Thus, field welded beam-to-HSS column connections have been the only viable method. Recently some blind fasteners are developed to be used in application which access for installation is only from one side of the connection. At the moment different blind bolts were designed for use in one side connections. In this project, comparison of the test result of an article and three dimensional finite element modeling of the blind bolted end plate joint with concrete-filled square hollow section columns to steel beam and Lindapter blind bolt (Hollo-Bolt) under monotonic loading indicates that the finite element analyses can be used to predict the connection behavior with sufficient accuracy. After that studied parametric investigation under cyclic loading into the end plates thickness, bolt diameter and bolt pretension force for the blind bolted extended and flush end plate connections of steel beams to hollow section column with ABAQUS and got moment-rotation hysteretic curve of each ones. Results have shown that the end plates thickness, bolt diameter and bolt pretension force have influenced on the connection behavior.

ARTICLE INFO

Receive Date: 06 January 2019

Revise Date: 09 February 2019

Accept Date: 17 February 2019

Keywords:

Blind bolt
Flush end plate
Extended end plate
Cyclic loading
Finite element modeling
Hollow section column

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2019.165944.1754

*Corresponding author: Mohsen izadinia
Email address: Izadinia @ iaun.ac.ir

تحلیل اجزای محدود اتصالات پیچ کور ورق‌های انتهایی توسعه یافته و هم‌تراز تیر فولادی به ستون با مقطع توخالی

محسن ایزدی نیا^{۱*}، نیما ریاحی دهکردی^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
۲- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

چکیده

اعضا با مقاطع توخالی^۱ HSS به خاطر عملکرد سازه‌ای و ظاهر مناسب در بسیاری از برنامه‌های سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این وجود به علت نبود دسترسی به داخل ستون HSS برای اهداف پیچ کردن، توسعه اتصالات خمشی کاربردی بسیار مشکل می‌باشد. بنابراین اتصالات تیرهای جوش داده شده به ستون HSS تنها روش ممکن بود. اخیراً برخی اتصال دهنده‌های کور به این منظور برای استفاده در اتصال شکل گرفته‌اند که در آن برنامه دسترسی برای نصب را فقط از یک طرف اتصال ممکن می‌سازند. در حال حاضر پیچ‌های کور^۲ مختلفی جهت استفاده در اتصالات طراحی شده‌اند. در این مقاله مقایسه نتایج آزمایشگاهی مقاله‌ای با اتصال پیچ کور تیر فولادی به ستون مربعی پر شده با بتن توسط پیچ کور لینداپتر (Hollo-Bolt) تحت بارگذاری یک‌طرفه با مدل سازی اجزای محدود سه بعدی نشان داد که می‌توان از تجزیه و تحلیل اجزای محدود برای پیش‌بینی رفتار اتصال با صحت کافی استفاده نمود. پس از آن پارامترهایی چون ضخامت ورق‌های انتهایی، قطر پیچ و نیروی پیش‌تنیدگی پیچ را برای اتصال پیچ کور ورق‌های انتهایی توسعه یافته و هم‌تراز تیر فولادی به ستون توخالی تحت بارگذاری چرخه‌ای با نرم‌افزار ABAQUS مورد ارزیابی قرار داده و منحنی هیستریزیس لنگر- دوران هر کدام از آن‌ها بدست آمد. نتایج نشان دادند که ضخامت ورق انتهایی، قطر پیچ و نیروی پیش‌تنیدگی پیچ در رفتار اتصال تأثیر گذار هستند

کلمات کلیدی: پیچ کور، ورق انتهایی هم‌تراز، ورق انتهایی توسعه یافته، بارگذاری چرخه‌ای، مدل سازی اجزاء محدود، ستون با مقطع توخالی

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/JSCE.2019.165944.1754	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2019.165944.1754	۱۴۰۰/۰۱/۳۰	۱۳۹۷/۱۱/۲۸	۱۳۹۷/۱۱/۲۸	۱۳۹۷/۱۱/۲۰	۱۳۹۷/۱۰/۱۶
محسن ایزدی نیا izadinia@iaun.ac.ir				*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:		

^۱ - Hollow structural section

^۲ - Blind Bolts

۱- مقدمه

ستون‌های قوطی شکل فولادی به دلیل دارا بودن ویژگی‌های مطلوبی چون سختی خمشی حول دو محور، سختی پیچشی مناسب و شعاع ژیراسیون بزرگ در دو جهت عمود بر هم و همچنین به دلیل شکل هندسی مناسب این گونه مقاطع در سازگاری با دیگر اعضای سازه‌ای جهت اتصال در ساختمان سازی بسیار قابل توجه می‌باشد. همچنین می‌توان با پر کردن داخل مقاطع تو خالی با بتن یا CFST³ برای بهبود مشخصات سازه‌ای و ارتقاء عملکرد مقاطع قوطی شکل فولادی اقدام کرد. با این وجود به علت عدم دسترسی در داخل ستون‌های با مقطع تو خالی یا HSS برای بستن و محکم کردن پیچ‌ها، توسعه اتصالات خمشی پیچی بسیار مشکل بوده و برای برطرف کردن این مشکلات از روش‌هایی چون ایجاد یک سوراخ دسترسی در ستون برای محکم کردن مهره پیچ‌ها و یا از اتصال پیچی غیر مستقیم همچون ستون‌های درختی استفاده می‌شده است که هر کدام محدودیت‌ها و مشکلات مشخصه خود را داشتند. از دیگر روش‌های رایج اتصال تیر به ستون‌های با مقطع تو خالی استفاده از اتصالات جوشی می‌باشد. از آنجایی که اتصالات جوشی دارای معایبی چون پایین بودن سرعت اجرا و نصب، نگرانی درباره کیفیت اتصالات جوشی اجرا شده و... می‌باشند منجر به محدود شدن استفاده از ستون‌های HSS و CFST شده بود. لذا نیاز برای استفاده از محاسن ستون‌های HSS و CFST با اتصالات پیچی مستقیم که مشکلات و محدودیت‌های موجود در دیگر روش‌ها را نداشته و در زمان کوتاهی امکان برقراری یک اتصال پیچی را برای ما فراهم کند، منجر به طراحی نوع جدیدی از پیچ‌ها به نام پیچ کور شد. این نوع از پیچ‌ها با توجه به خصوصیت ساختاری که دارند برای اتصال مقاطع به یکدیگر تنها نیاز به یک طرف اتصال می‌باشند. با توجه به این خصوصیت و نوآوری جدید موجود در پیچ‌های کور مشکل عدم دسترسی به درون ستون‌های با مقطع تو خالی یا HSS و CFST برطرف شده و برای ما امکان استفاده از محاسن یک اتصال پیچی یک طرفه مستقیم با مقطع تو خالی در کوتاه‌ترین زمان را فراهم می‌کند.

برای دستیابی به اتصال پیچی یک طرفه تیر به ستون با مقطع تو خالی نیاز است که یا از پیچ‌های مخصوصی استفاده کرده و یا شرایطی را فراهم کنیم که بتوانیم از پیچ‌های معمولی در این نوع از اتصالات استفاده نماییم. پیچ کورها با توجه به خصوصیات ساختاری که در اختیار دارند، دسترسی برای نصب را فقط از یک طرف اتصال ممکن می‌سازند. همچنین پیچ کورها در ابتدا در صنعت هواپیما سازی مورد استفاده قرار می‌گرفتند که پس از موفقیت آمیز بودن این گونه اتصالات در این صنعت تحقیقات لازم برای توسعه این گونه پیچ‌ها و تکنیک‌های مختلف جهت اتصال یک طرفه با تنها دسترسی به یک وجه از مقاطع در مهندسی عمران صورت گرفت [1]. لذا این نوع از پیچ‌ها و تکنیک‌های برقراری اتصالات یک طرفه پیچی مستقیم تیر به ستون با مقطع تو خالی توسط محققین و شرکت‌های مختلف ارائه شد، که در حال حاضر از رایج‌ترین و قابل دسترس‌ترین آن‌ها می‌توان به پیچ کور هاک⁴، تکنیک اتصال فلودریل⁵، پیچ یک طرفه آژاکس⁶ و پیچ کور لینداپتر⁷ Holo-bolt اشاره نمود [2]. که همگی آن‌ها از لحاظ عملکرد شبیه به هم بوده ولی از لحاظ ساختار، نحوه بستن و محکم کردن اتصال با هم متفاوت می‌باشند. لازم به ذکر است این گونه جدید از پیچ‌ها که برای ما اتصال یک طرفه پیچی مستقیم را در کوتاه‌ترین زمان برقرار می‌کنند همچنان در مراحل تحقیقاتی قرار داشته و تولید و استفاده از آنها تنها در برخی از کشورها در دسترس می‌باشد. بنابراین در این مقاله رفتار این نوع جدید از پیچ‌ها را برای اتصال تیر به ستون تو خالی توسط ورق‌های انتهایی هم‌تراز و توسعه یافته مورد بررسی قرار دادیم.

۲- مروری بر مطالعات پیشین

القازولی و همکارانش به مطالعه رفتار تجربی اتصالات پیچ کور Holo-bolt بین تیرهای I شکل و ستون‌های با مقطع تو خالی مربعی SHS پرداختند. اتصالات پیشنهاد شده توسط آنها در طبقه بندی اتصالات نیمه صلب قرار داشته که مطابق نظر آنها اتصالات نیمه

3 - Concrete Filled Steel Tubes

4 - Huck

5 - Flowdrill technique

6 - Ajax Onside

7 - Lindapter

صلب می‌توانند عملکرد مشابه و یا گاهاً مناسبتری نسبت به اتصالات صلب کامل همچون جوش را ارائه دهند. همچنین با توجه به منحنیهای لنگر- دوران نشان داده شد نیروهای پیچشی مجاز بالاتر در پیچ‌های کور Hollo-bolt با کلاس مقاومتی ۱۰/۹ نسبت به کلاس مقاومتی ۸/۸ تأثیر قابل توجهی در سختی محوری و ظرفیت اتصال خواهد داشت [3]. وانگ و گوا در یک آزمایش تجربی اتصالات نیمه صلب پیچ کور ورق‌های انتهایی هم‌تراز و توسعه یافته تیر به ستون قوطی جدار نازک پر شده با بتن CFTST را تحت بارگذاری یک طرفه مورد بررسی قرار دادند. افزایش ضخامت قوطی باعث افزایش سختی و مقاومت اتصالات برای هر کدام از ورق‌های انتهایی شده و برای اتصالات یکسان مقاومت و سختی اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته نسبت به ورق انتهایی هم‌تراز بیشتر شد [4]. والید تیزانی و همکارش ده نمونه از اتصالات با مقطعی T شکل به ستون قوطی توخالی SHS یا پر شده با بتن CFST را توسط پیچ که شامل پیچ استاندارد، پیچ کور Hollo-bolt معمولی و توسعه یافته تحت بارگذاری یک طرفه کششی قرار داده و رفتار اتصالات خمشی در ناحیه کشش را شبیه سازی کردند. نتایج حاکی از آن بود که عدم وجود بتن باعث کاهش مقاومت کششی اتصالات نسبت به وجود بتن می‌شود و همچنین باعث افزایش تغییر شکل جداره‌های ستون می‌گردد. ضمناً تغییر کلاس مقاومتی پیچ نیز باعث افزایش سختی شده ولی شکل‌پذیری را کاهش می‌داد [5]. پاسکال و همکاران به آنالیز حرارتی اتصالات ورق انتهایی پیچ‌کور Hollo-bolt و پیچ‌کور Hollo-bolt توسعه یافته به ستون‌های قوطی توخالی HSS و پر شده با بتن CFST پرداختند. هدف تحقیقاتی آن‌ها بررسی توزیع حرارتی بین اجزا و تأثیر وجود بتن داخل ستون در این توزیع حرارتی بود. نتایج حاصل، حاکی از تأثیر قابل توجه وجود بتن در کاهش دمای پیچ بوده و تأثیر ناچیز آن برای ابعاد مختلف ستون و تأثیر محدودی برای بخش توسعه یافته در پیچ‌کور بود [6]. وانگ و همکاران در یک مطالعه تحقیقاتی اتصال تیر به ستون با مقطع توخالی پر شده با بتن CFST توسط ورق انتهایی هم‌تراز و پیچ‌کور Hollo-bolt مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این پروژه تحقیقاتی به چهار روش مختلف سختی ستون CFST را در ناحیه اتصال افزایش داده و اتصالات مذکور را تحت بارگذاری چرخه مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نشان دادند که اتصالات با قرار دادن دو ناودانی در اطراف ستون و قرار دادن مقطع I شکل در محدوده ناحیه اتصال در درون ستون تأثیر قابل ملاحظه‌ای در عملکرد اتصال داشته و مقاومت و ظرفیت چرخشی در تغییر شکل‌های بزرگ افزایش می‌یابد. اما جوش دادن میلگردها و ورق دارای سوراخ دایره‌ای در درون ستون تنها تأثیر متوسطی نسبت به دیگر روش‌ها در عملکرد اتصال داشت. همه اتصالات آزمایش شده در این پروژه تحقیقاتی در دسته اتصالات صلب قاب‌های مهاربندی شده و با مقاومت جزئی قرار داشتند [7]. وانگ و همکاران به بررسی و مطالعه عملکرد اتصال پیچ‌کور نیمه صلب ستون قوطی پر شده با بتن CFST در قاب‌ها با دیوار کامپوزیت و پانل‌های ساندویچی بیرونی پرداختند. آن‌ها عملکرد لرزه‌ای چهار نمونه اتصالات نیمه صلب در قاب‌های مذکور را تحت بارگذاری چرخه‌ای و با بدست آوردن منحنیهای روابط بین بارگذاری افقی در مقابل جابه‌جایی را بررسی کردند. نمونه‌های مورد آزمایش عملکرد هیستریزیک، اتلاف انرژی و شکل‌پذیری مناسبی را به نمایش گذاشتند [8].

۳- روش تحقیق

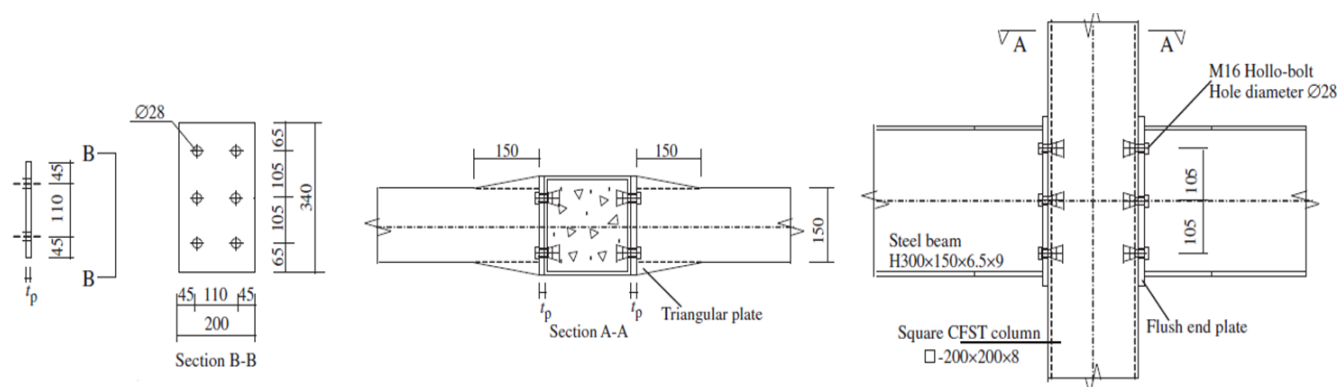
در مقاله حاضر به روش عددی اتصالات تیر به ستون توخالی با ورق‌های انتهایی هم‌تراز و توسعه یافته توسط پیچ‌کور مورد ارزیابی قرار گرفت. لذا در ابتدا یک صحت‌سنجی بر پایه اتصالات پیچ‌کور انجام شده و برای مطالعات عددی از نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS که توانایی مدل‌سازی مسائل مختلف از جمله مدل‌سازی‌های مکانیکی در حالت غیر خطی را دارا می‌باشد، استفاده شده است.

۳-۱- صحت‌سنجی:

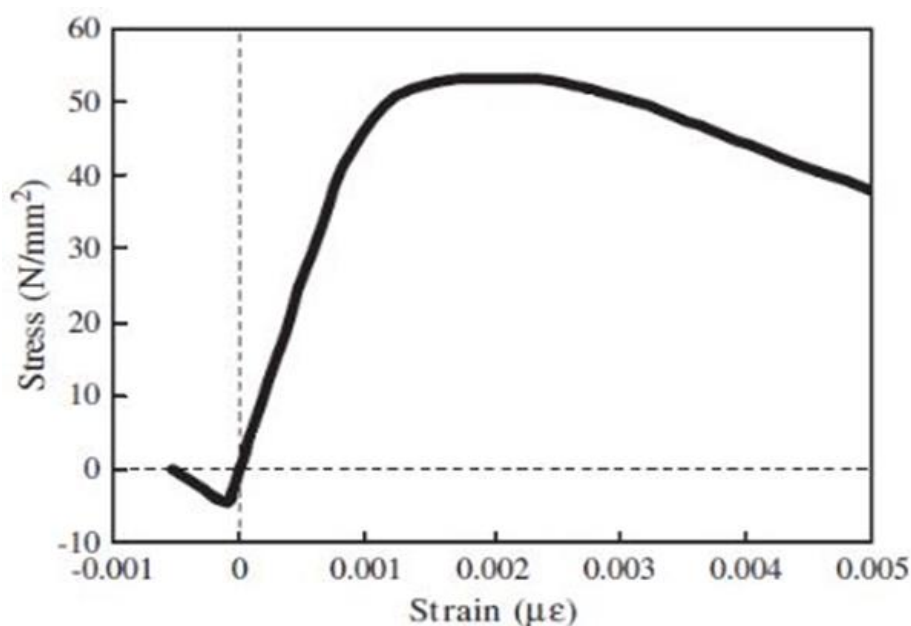
وانگ به همراه اسپنسر در یک آزمایش تجربی به بررسی اتصال ورق انتهایی هم‌تراز و توسعه یافته تیر به ستون با مقطع توخالی پر شده با بتن توسط پیچ‌کور پرداخته‌اند. آن‌ها اتصال مذکور را تحت بارگذاری یکنوا قرار داده و رفتار آن را مورد بررسی قرار دادند. سپس این مطالعه تجربی را با یک مطالعه عددی مقایسه نمودند [9]. لذا در این بخش به بررسی و صحت‌سنجی نمونه CJM1 (شکل ۱) و نحوه مدل‌سازی آن و بررسی نتایج حاصله با نتایج مقاله مذکور پرداخته می‌شود.

۳-۲- جزئیات و مشخصات نمونه CJM1

نمونه CJM1 یک اتصال دو طرفه (اتصال دو تیر به وجوه متقابل در ستون قوطی شکل (شکل ۱)) توسط ورق انتهایی هم‌تراز که داخل ستون آن با بتن پر شده است. جزئیات ابعاد اتصال مطابق (جدول ۱) و مشخصات مصالح مقاطع مطابق (جدول ۲) ارائه شده است. پیچ کور استفاده شده در نمونه مذکور از نوع Holo-Bolt و به قطر ۱۶ میلیمتر (M16) می‌باشد که با توجه به استاندارد ISO در کلاس مقاومتی ۸/۸ قرار دارد. مقادیر تنش تسلیم و نهایی حقیقی پیچ Holo-Bolt بر مقاومت به کلاس ۸/۸ به ترتیب برابر است با ۷۵۲ و ۹۴۶ مگاپاسکال که مدول سختی $E_s = 0.1 E_c$ (مدول الاستیسیته پیچ کور) برای رسیدن از تنش تسلیم حقیقی به تنش نهایی حقیقی در نظر گرفته شده است [9]. خواص هسته بتنی پرکننده ستون قوطی فولادی از نمونه‌های مکعبی $150 \times 150 \times 150$ میلیمتر برای تعیین مقاومت فشاری نمونه مکعبی و از نمونه $300 \times 100 \times 100$ میلیمتر برای تعیین مدول الاستیسیته استفاده گردید همچنین مقاومت فشاری بتن توسط آزمایش‌های فشاری استاندارد استوانه‌ای نیز تعیین شد. نتایج مقاومت فشاری نمونه مکعبی (f_{cu}) برای نمونه CJM1 در ۲۸ روز برابر 56 N/mm^2 و همچنین مدول الاستیسیته 34258 N/mm^2 بدست آمد. برای بتن تحت کشش نیز فرض شد تنش کششی به صورت خطی افزایش یافته تا هنگامی که کشش منجر به ترک خوردن بتن شود. نمودار تنش-کرنش بتن برای نمونه CJM1 در شکل ۲ ارائه شده است [9].



شکل ۱: نمونه آزمایشگاهی CJM1 که در آن $t_p = 18 \text{ mm}$ [9].



شکل ۲: نمودار تنش-کرنش بتن برای نمونه CJM1 [9].

جدول ۱: ابعاد مقاطع نمونه CJM1 [9].

ابعاد (mm)	مقطع
200×200×8	ستون فولادی مربعی
184×184	بتن پر کننده ستون
300×150×6.5×9	تیر I شکل فولادی $h_b \times b_{fb} \times t_{wb} \times t_{fb}$
340×200	ورق انتهایی

جدول ۲: مشخصات فولاد استفاده شده در نمونه CJM1 [9].

نوع فولاد	مدول الاستیسیته N/mm^2	تنش تسلیم N/mm^2	تنش نهایی N/mm^2	کرنش گسیختگی %
بال تیر	1.96×10^5	262.3	377.6	17.4
جان تیر	1.90×10^5	272.8	380.7	19.2
ستون قوطی	2.00×10^5	301.7	436.5	12.1
ورق انتهایی	1.86×10^5	268.5	399.2	16.4

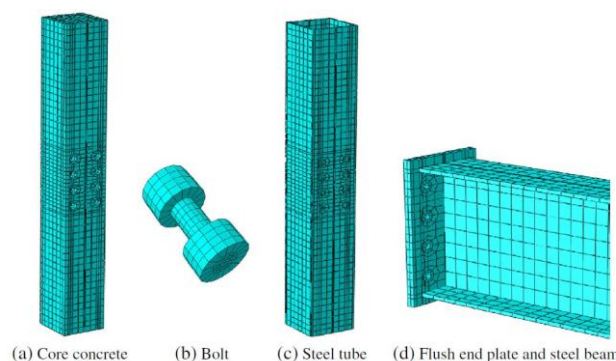
۳-۳- سطوح تماسی و بارگذاری:

در نرم افزار ABAQUS برای جلوگیری از تداخل قطعات نیاز است که کلیه سطوح دارای تماس بین قطعات مختلف تعریف شده و به آن‌ها اختصاص داده شود. در مدل سازی مسأله حاضر سطوح دارای تماس شامل: تماس بین پیچ با سوراخ پیچ موجود بر روی ستون فولادی و ورق انتهایی، تماس بین ورق انتهایی و ستون قوطی فولادی، تماس بین سر پیچ با ورق انتهایی و انتهای پیچ با سطح داخلی ستون قوطی فولادی و تماس بین بتن پر کننده با سطح داخلی ستون فولادی و پیچ می‌باشد.

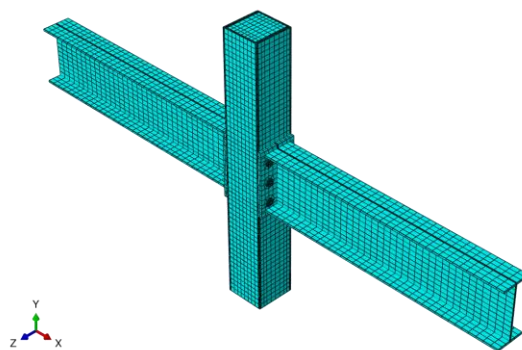
در ماژول Load می‌توان بارگذاری وارده و شرایط مرزی حاکم بر مسأله را به مدل سازی اعمال نمود. لذا در پروژه حاضر با توجه به شرایط حاکم یک بارگذاری عمودی بر روی ستون قوطی پر شده با بتن معادل ۱۷۷۷ KN توسط یک جک هیدرولیکی وارد می‌گردد. لنگر پیچشی لازم برای محکم کردن پیچ‌ها با قطر ۱۶ mm معادل ۱۹۰ N.m است [9]. همچنین با توجه به شرایط مسأله نوع تحلیل به صورت Static, General بوده و به منظور اعمال شرایط غیرخطی، گزینه Nlgeom در ماژول Step نرم افزار فعال می‌شود.

۳-۴- مش بندی و نوع المان‌ها:

برای مش بندی و تعیین نوع المان‌های نمونه مدل سازی شده نیاز است که نوع مسأله و نحوه مدل سازی که در اینجا به صورت سه بعدی (3D) و به شکل Solid می‌باشد، در نظر گرفته شود. بنابراین نوع المان‌های اتخاذ شده به صورت C3D8R است. لازم به ذکر است که برای مناطق حساس (محدوده اتصال اجزا به یکدیگر) از مش بندی با سایز کوچکتر استفاده شده است. در شکل ۳ و ۴ به ترتیب نحوه مدل سازی و مش بندی نمونه CJM1 در مطالعات صورت گرفته توسط وانگ و اسپنسر [9] و مدل سازی، مش بندی و مونتاژ صورت گرفته جهت صحت سنجی مقاله مذکور نمایش داده شده است.



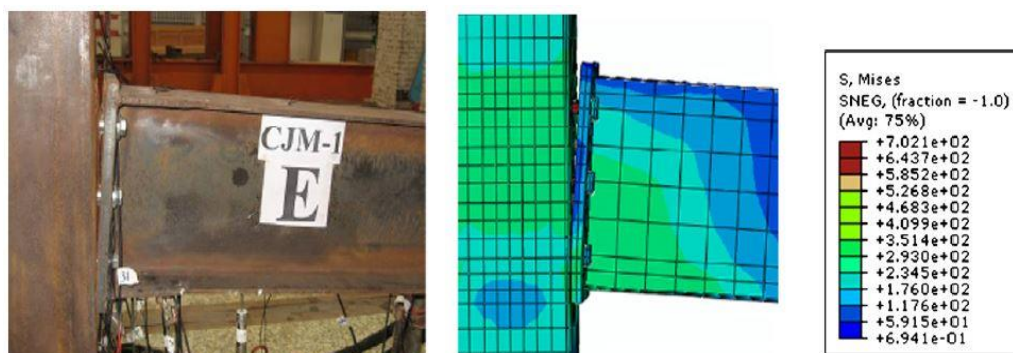
شکل ۳: مدل سازی و مش بندی نمونه CJM1 در مطالعات عددی وانگ و اسپنسر [9].



شکل ۴: مدل سازی، مش بندی و مونتاژ صورت گرفته جهت صحت سنجی.

۳-۵- مقایسه نتایج صحت سنجی:

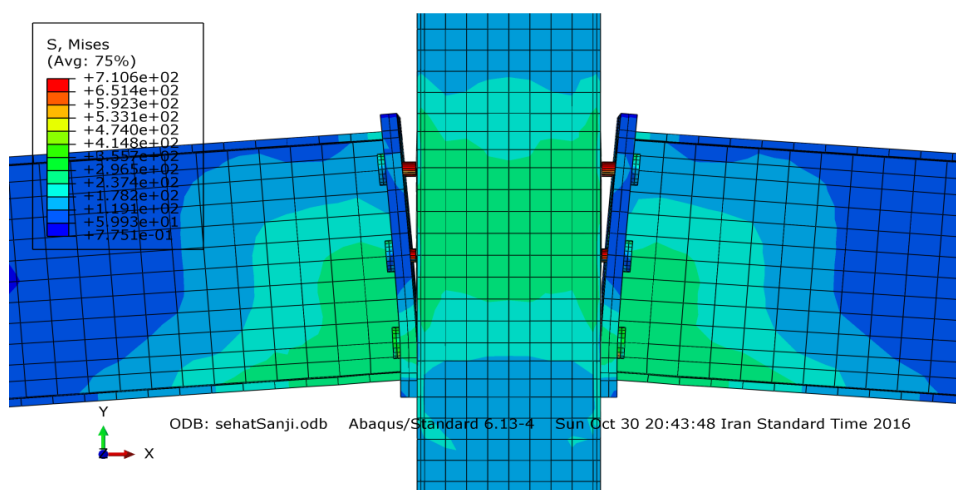
در پایان و پس از پردازش مدل سازی انجام شده می توان نتایج حاصل را از ماژول Visualization در محیط نرم افزار ABAQUS استخراج کرد (شکل های ۵ تا ۹).



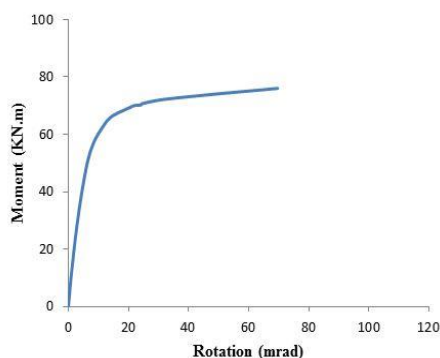
Test model

FEA model

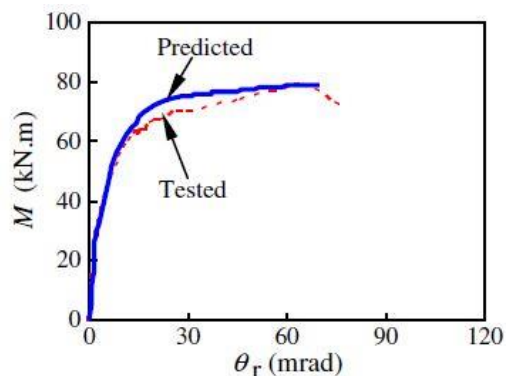
شکل ۵: نتایج حاصل از مطالعات تجربی و عددی نمونه CJM1 توسط وانگ و اسپنسر [9].



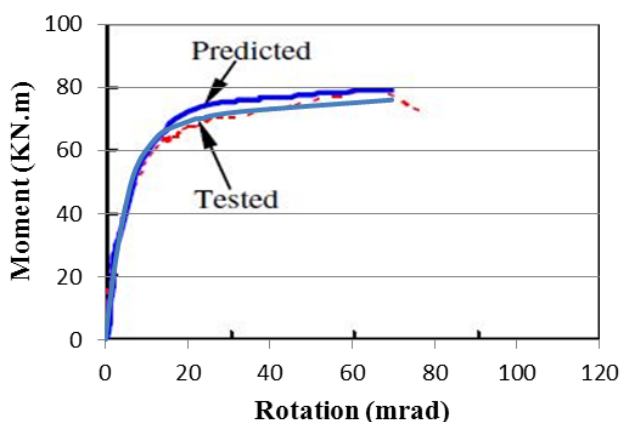
شکل ۶: توزیع تنش فون میز ایجاد شده در مدل در انتهای بارگذاری مطابق با مقاله مورد صحت سنجی.



شکل ۸: منحنی لنگر- دوران حاصل از مدل سازی صحت سنجی



شکل ۷: منحنی لنگر- دوران حاصل از مطالعات تجربی و عددی [9].



شکل ۹: مقایسه منحنی های بدست آمده از مطالعات وانگ و اسپنسر و مدل سازی صورت گرفته جهت صحت سنجی.

با توجه به نتایج حاصل از مدل سازی صورت گرفته در نرم افزار ABAQUS و نتایج حاصل از مقاله مورد صحت سنجی (اشکال ۵ تا ۹) مشاهده می شود که نتایج در مقایسه تنش فون میزز با تقریب مناسبی به یکدیگر نزدیک بوده و همچنین با مقایسه منحنی های لنگر- دوران حاصل از مدل سازی صورت گرفته در محیط نرم افزار ABAQUS که در آن ظرفیت خمشی نهایی M_u برابر ۷۶ بدست آمده که این مقدار در مقایسه با مطالعه تجربی و عددی صورت گرفته در مقاله مذکور به ترتیب برابر ۷۸/۶ و ۷۹/۲ و ۳/۳ درصد و ۴ خطای درصد می باشند. لذا مقادیر بدست آمده با تقریب مناسب و خطای کمی به یکدیگر نزدیک می باشند.

۴- مطالعه پارامتریک

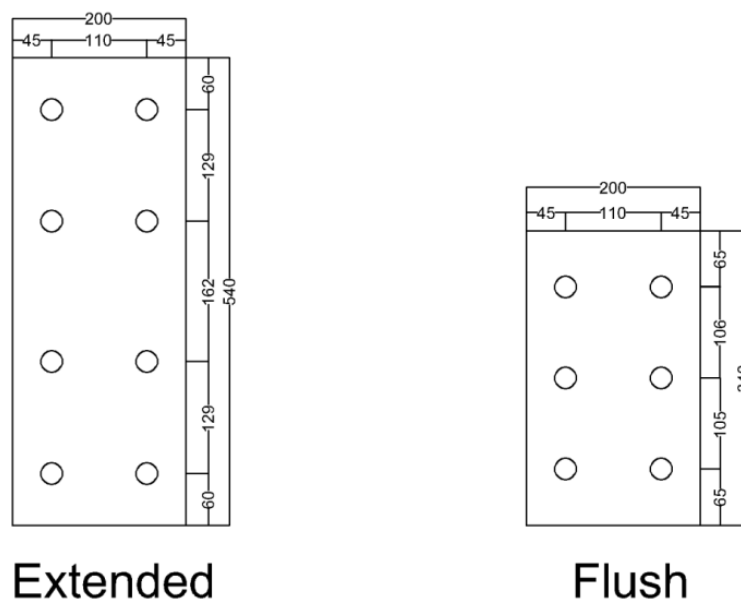
در مقاله حاضر مد نظر است اتصال یک طرفه تیر به ستون توخالی توسط ورق های انتهایی همتراز و توسعه یافته (گسترده) را به کمک پیچ های کور Hollo-Bolt مورد بررسی قرار داده و تأثیر پارامترهای مختلف در این نوع از اتصالات مورد ارزیابی قرار گیرند.

مدل پیشنهادی مطابق مدل وانگ و اسپنسر در رابطه با اتصالات پیچی کور تیر به ستون توسط ورق های انتهایی هم تراز و توسعه یافته (گسترده) می باشد [9] با این تفاوت که در اینجا مطالعه پارامتریک بر روی نمونه ها با ستون های خالی از بتن تحت بارگذاری چرخه ای در نرم افزار ABAQUS مورد بررسی می باشد.

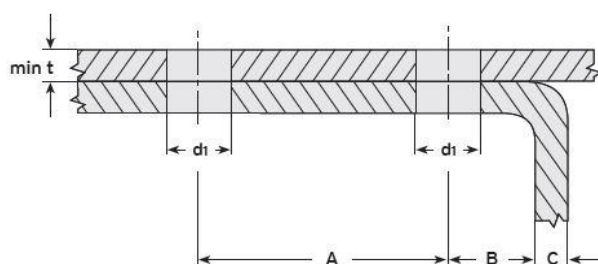
لازم به ذکر است در ابتدا اتصالات مذکور را تحت بارگذاری یک طرفه قرار داده و با توجه به طبقه بندی اتصالات ارائه شده در Eurocode 3 مورد بررسی قرار گرفتند [10].

۴-۱- جزئیات مقاطع و مشخصات مصالح:

جزئیات ابعاد مقاطع تیر فولادی و ستون با مقطع توخالی مطابق جدول ۱ و ابعاد ورق‌های انتهایی هم‌تراز و توسعه یافته (گسترده) نیز مطابق با شکل ۱۰ می‌باشند [9]. مشخصات مصالح مقاطع نیز مطابق جدول ۲ اتخاذ شد با این تفاوت که مشخصات کامل بال و جان تیر را مطابق مشخصات ارائه شده برای بال تیر جهت یکپارچه شدن مصالح در تیر در نظر گرفته شد. پیچ کور استفاده شده از نوع Holo-Bolt و به قطر ۱۶ میلیمتر (HB16-1) در نظر گرفته شد. ضمناً مشخصات و فاصله سوراخ‌های مقاطع (شکل ۱۰) شرایط و ضوابط ارائه شده در ژورنال لینداپتر را مطابق با شکل ۱۱ و جدول ۳ برآورده می‌کنند [11].



شکل ۱۰: ورق‌های انتهایی هم‌تراز و توسعه یافته (گسترده)

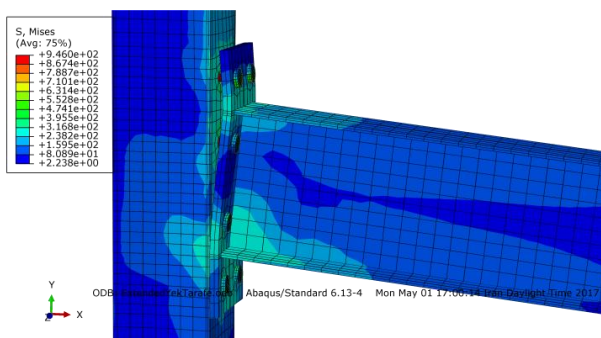


شکل ۱۱: نمایش فواصل در یک اتصال پیچی کور [11].

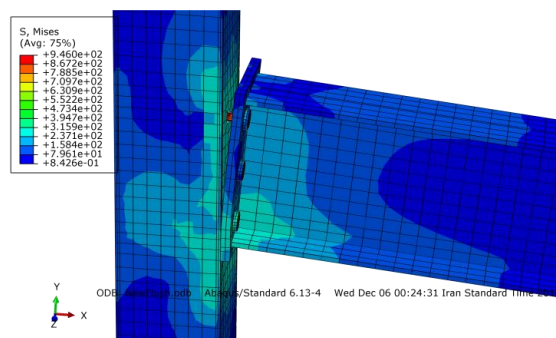
جدول ۳: فواصل و ابعاد مورد نیاز در یک اتصال پیچی کور با توجه به نوع و قطر پیچ [11].

فاصله تا گوشه B + C mm	فاصله سوراخ‌ها		قطر سوراخ \varnothing mm	حداقل ضخامت ورق- ها (min t) mm	نوع پیچ HB
	Min B mm	Min A mm			
> 17.5	13	35	14 (+1.0 / -0.2)	-	HB08
> 22.5	15	40	18 (+1.0 / -0.2)	-	HB10
> 25.0	18	50	20 (+1.0 / -0.2)	-	HB12
> 32.5	20	55	26 (+2.0 / -0.2)	8	HB16
> 33.0	25	70	33 (+2.0 / -0.2)	8	HB20

نحوه مش بندی و نوع المان ها در این قسمت نیز مطابق با بخش ۳-۳ و به صورت C3D8R می باشد. بارگذاری یک طرفه (یکنوا) که جهت طبقه بندی اتصال به مدل ها با ورق انتهایی هم تراز و توسعه یافته وارد شده تا زمان رسیدن اولین عضو اتصال به تنش نهایی ادامه داشته است و پس از آن بارگذاری متوقف شده است. در شکل ۱۲ و ۱۳ توزیع تنش فون میزز در اتصالات تحت بارگذاری یک طرفه تا رسیدن اولین عضو به مقاومت نهایی نمایش داده شده است.



شکل ۱۳: توزیع تنش فون میزز در اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته



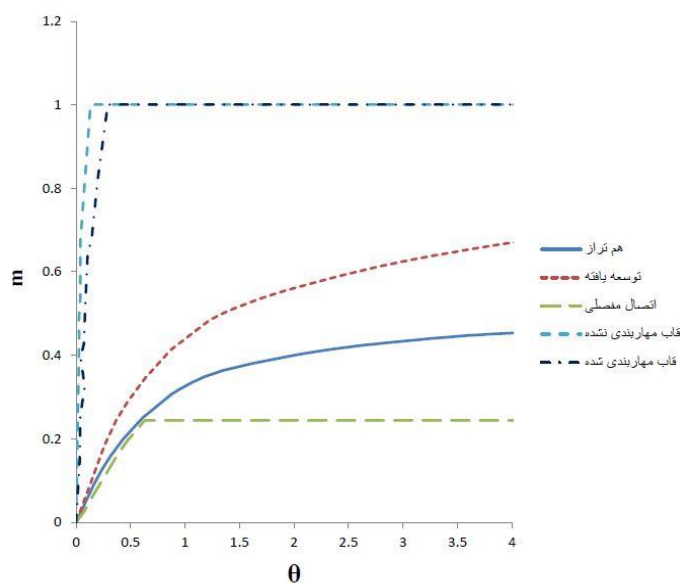
شکل ۱۲: توزیع تنش فون میزز در اتصال با ورق انتهایی هم تراز

برای بررسی و طبقه بندی اتصالات با توجه به EC3 از نمودار لنگر- دوران بدست آمده از تحلیل نتایج استفاده می شود. به این منظور محور مختصات عمودی (لنگر) را نسبت به لنگر خمشی پلاستیک تیر M_{bp} مطابق رابطه ۱ هم پایه کرده و همچنین محور مختصات افقی (دوران) را نیز مطابق رابطه ۲ تبدیل و به بررسی طبقه بندی اتصال پرداخته می شود [9].

$$m = M/M_{bp} \quad (1)$$

$$= \frac{\theta_r}{M_{bp}} \cdot \frac{EI_b}{L_b} \theta \quad (2)$$

در روابط بالا M لنگر خمشی اتصال و M_{bp} لنگر خمشی پلاستیک تیر، θ_r دوران اتصال، E مدول الاستیسیته تیر، I_b ممان اینرسی تیر و L_b طول تیر می باشد.



شکل ۱۴: طبقه بندی اتصالات با ورق های انتهایی هم تراز و توسعه یافته

با توجه به توضیحات و خصوصیات اتصال بیان شده و شکل ۱۴ و همچنین طبقه‌بندی اتصالات فولادی ارائه شده در EC3 [10]، در می‌یابیم که اتصال با ورق انتهایی هم‌تراز و توسعه یافته هر دو از لحاظ صلیبیت و سختی در محدوده اتصالات نیمه‌صلب و از لحاظ مقاومت در محدوده اتصالات با مقاومت جزئی قرار خواهند داشت.

۴-۲- پارامترهای مورد بررسی:

پارامترهای مورد مطالعه شامل بررسی تأثیر بارهای پیش‌تنیدگی مختلف، ضخامت‌های مختلف ورق‌های انتهایی و قطرهای مختلف پیچ می‌باشد. هر کدام از پارامترهای مورد مطالعه را طی چهار مدل با مقادیر مختلف تحت بارگذاری چرخه‌ای که در ادامه به آن اشاره می‌شود، بررسی و تأثیرات آن‌ها بر روی نمودارهای لنگر- دوران اتصال به نمایش گذاشته می‌شود. همچنین لازم به ذکر است که در نمونه‌های مختلف تنها پارامتر اشاره شده متغیر می‌باشد و دیگر پارامترها، خصوصیات و ابعاد مقاطع ثابت در نظر گرفته شده است. به این منظور برای اشاره راحت‌تر به مدل‌سازی‌های صورت گرفته آن‌ها را مطابق جدول ۴ و ۵ نام‌گذاری و توضیحات مربوط به هر کدام ارائه گردید.

جدول ۴: پارامترهای مورد مطالعه بر روی اتصال با ورق انتهایی هم‌تراز (Flush)

شماره	نام	توضیحات
1	FT1	اتصال با ورق انتهایی هم‌تراز به ضخامت 10 میلیمتر
	FT2	اتصال با ورق انتهایی هم‌تراز به ضخامت 14 میلیمتر
	FT3	اتصال با ورق انتهایی هم‌تراز به ضخامت 18 میلیمتر
	FT4	اتصال با ورق انتهایی هم‌تراز به ضخامت 20 میلیمتر
2	FD1	اتصال با ورق انتهایی هم‌تراز و پیچ به قطر 12 میلیمتر
	FD2	اتصال با ورق انتهایی هم‌تراز و پیچ به قطر 16 میلیمتر
	FD3	اتصال با ورق انتهایی هم‌تراز و پیچ به قطر 20 میلیمتر
	FD4	اتصال با ورق انتهایی هم‌تراز و پیچ به قطر 24 میلیمتر
3	FB1	اتصال با ورق انتهایی هم‌تراز و بار پیش‌تنیدگی پیچ معادل 42000 N
	FB2	اتصال با ورق انتهایی هم‌تراز و بار پیش‌تنیدگی پیچ معادل 56000 N
	FB3	اتصال با ورق انتهایی هم‌تراز و بار پیش‌تنیدگی پیچ معادل 70000 N
	FB4	اتصال با ورق انتهایی هم‌تراز و بار پیش‌تنیدگی پیچ معادل 84000 N

جدول ۵: پارامترهای مورد مطالعه بر روی اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته (Extended)

شماره	نام	توضیحات
1	ET1	اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته به ضخامت 10 میلیمتر
	ET2	اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته به ضخامت 14 میلیمتر
	ET3	اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته به ضخامت 18 میلیمتر
	ET4	اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته به ضخامت 20 میلیمتر
2	ED1	اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته و پیچ به قطر 12 میلیمتر
	ED2	اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته و پیچ به قطر 16 میلیمتر
	ED3	اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته و پیچ به قطر 20 میلیمتر
	ED4	اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته و پیچ به قطر 24 میلیمتر
3	EB1	اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته و بار پیش‌تنیدگی پیچ معادل 42000 N
	EB2	اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته و بار پیش‌تنیدگی پیچ معادل 56000 N
	EB3	اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته و بار پیش‌تنیدگی پیچ معادل 70000 N
	EB4	اتصال با ورق انتهایی توسعه یافته و بار پیش‌تنیدگی پیچ معادل 84000 N

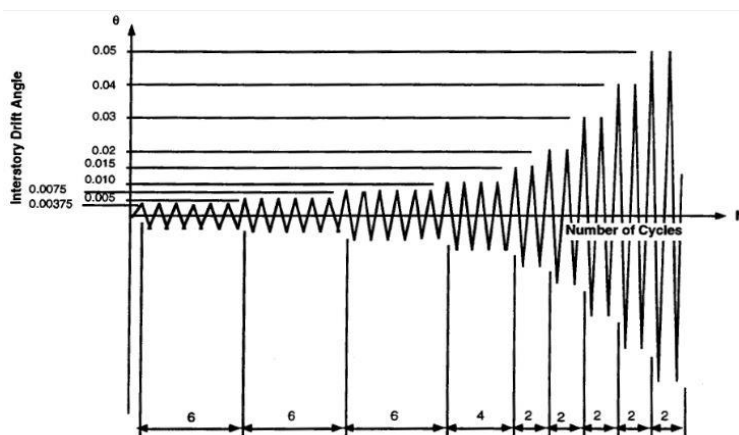
۴-۳- بارگذاری چرخه‌ای:

در مقاله حاضر مد نظر است که پارامترهای مختلف بیان شده تحت بارگذاری چرخه‌ای مورد بررسی قرار گیرند. به این منظور نیازمند استفاده از یک پروتکل بارگذاری چرخه‌ای می‌باشد. از جمله پروتکل‌های بارگذاری چرخه‌ای می‌توان به دو پروتکل ATC-24 و SAC اشاره نمود. در پروتکل SAC بارگذاری نمونه بر اساس کنترل دریافت نمونه صورت می‌گیرد. بنابراین برای بارگذاری چرخه‌ای و شبه - استاتیکی نمونه‌ها از پروتکل بارگذاری چرخه‌ای SAC استفاده گردید و تا زمان رسیدن اولین عضو اتصال به مقاومت نهایی خودش ادامه یافت. منحنی پروتکل بارگذاری چرخه‌ای SAC مطابق شکل ۱۵ بوده و جزئیات آن در جدول ۶ ارائه شده است [12].

جدول ۶: جزئیات پروتکل بارگذاری چرخه‌ای SAC [12]

تعداد سیکل بارگذاری n	ماکزیمم مقدار θ (rad)	گام بارگذاری
6	0.00375	1
6	0.005	2
6	0.0075	3
4	0.01	4
2	0.015	5
2	0.02	6
2	0.03	7

به ازای اضافه کردن هر 0.01 به θ ، دو سیکل بارگذاری در همان گام بارگذاری اضافه می‌شود.



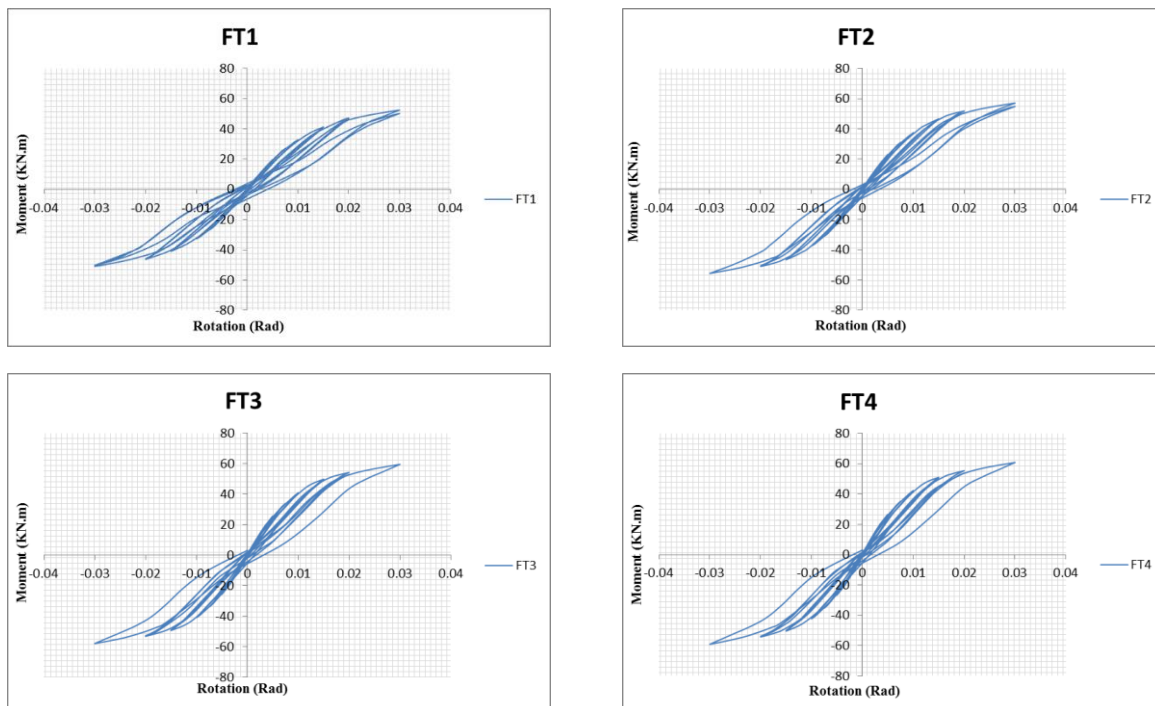
شکل ۱۵: پروتکل بارگذاری چرخه‌ای SAC [12]

۵- بررسی نتایج

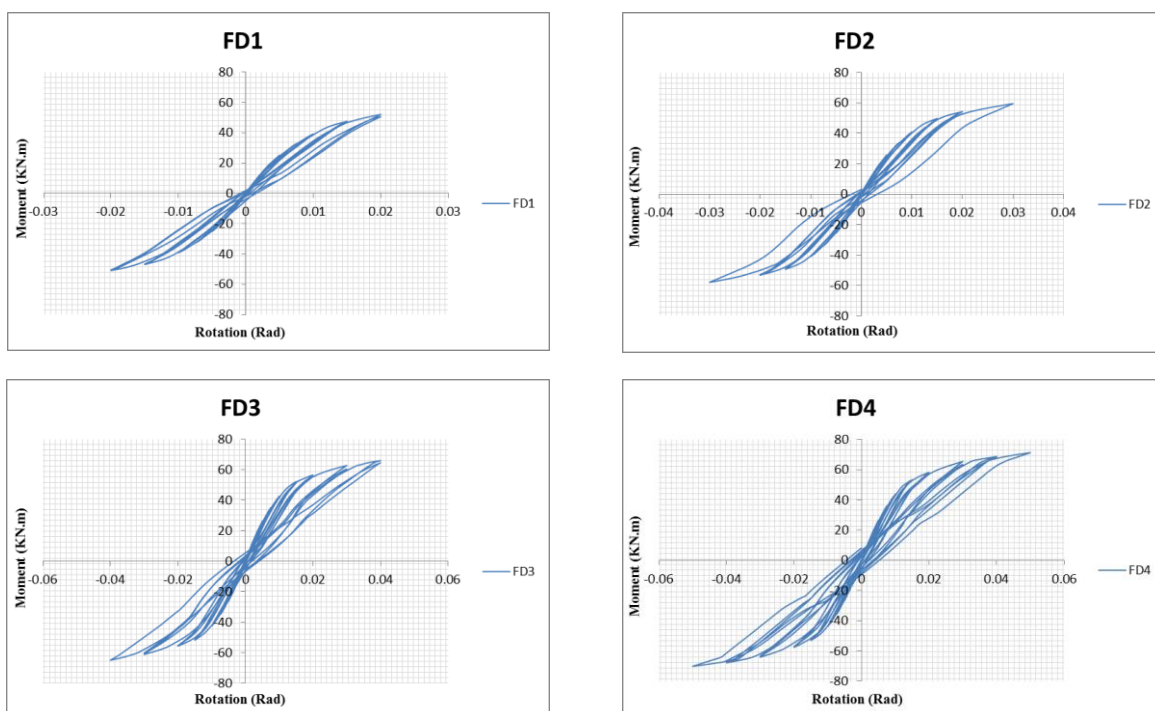
پس از مدل‌سازی اتصالات ورق انتهایی هم‌تراز و توسعه یافته مطابق با پارامترهای مختلف ارائه شده در جداول ۴ و ۵ و همچنین قراردادن آن‌ها تحت پروتکل بارگذاری چرخه‌ای SAC در این فصل به بررسی منحنی‌های هیستریسیس^۸ لنگر- دوران اتصالات حاصل از بارگذاری چرخه‌ای پرداخته می‌شود.

⁸ - Hysteretic or Hysteresis

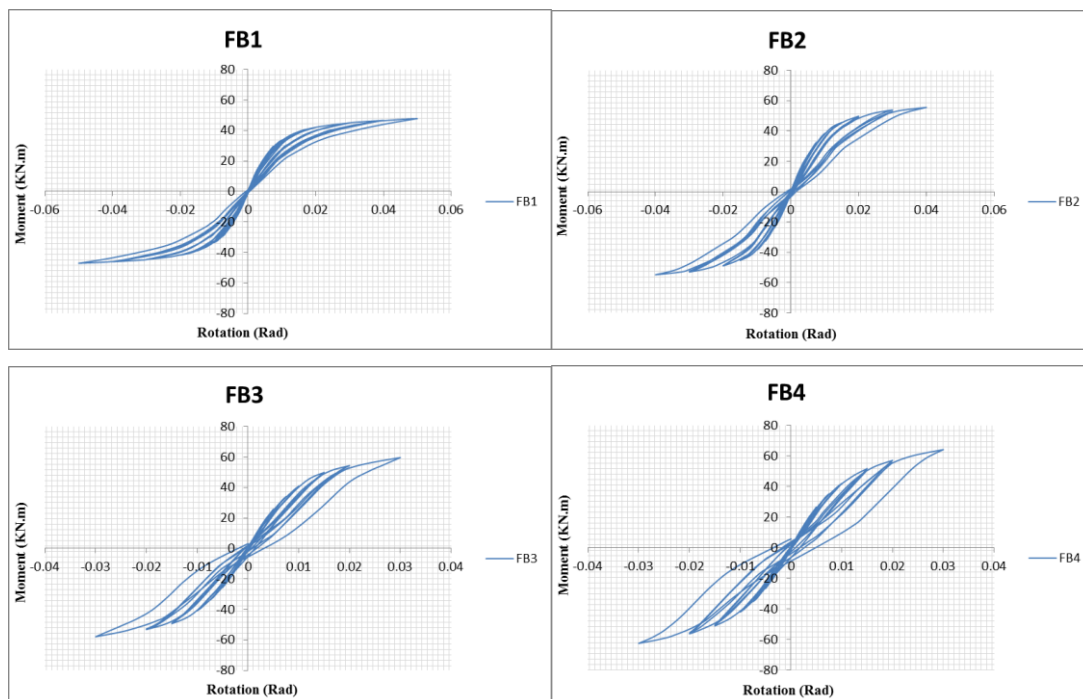
۵-۱- منحنی‌های هیستریزیس لنگر- دوران در اتصالات با ورق انتهایی هم‌تراز



شکل ۱۶: تغییرات پارامتریک ضخامت ورق‌های انتهایی هم‌تراز

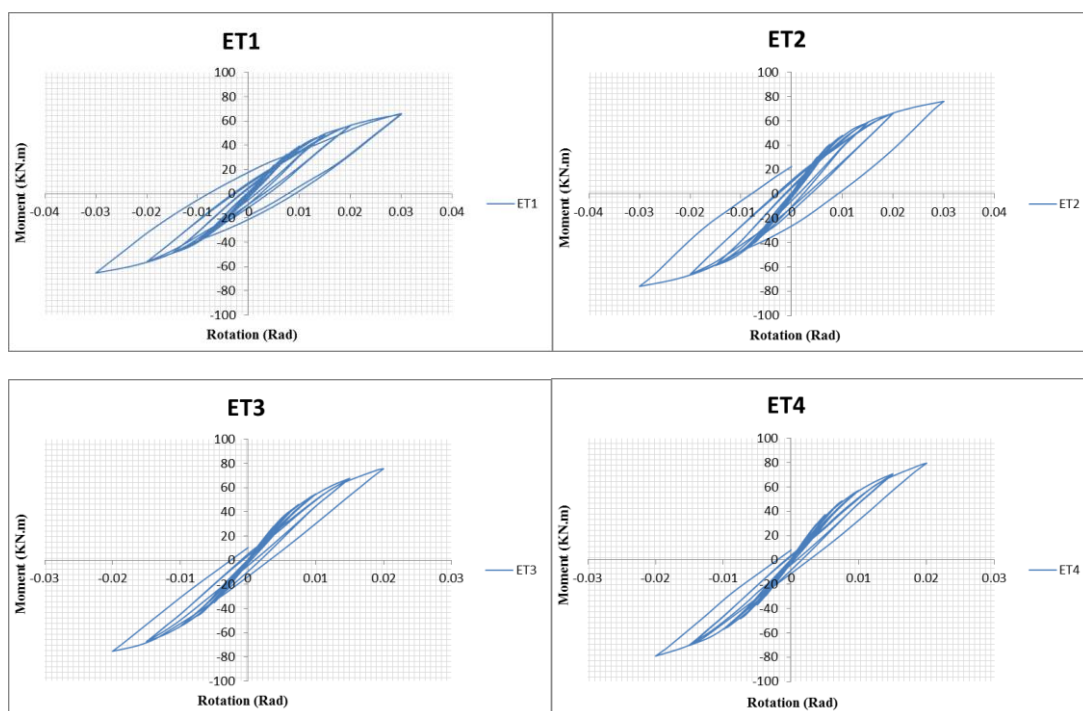


شکل ۱۷: تغییرات پارامتریک قطر پیچ‌کور در ورق‌های انتهایی هم‌تراز

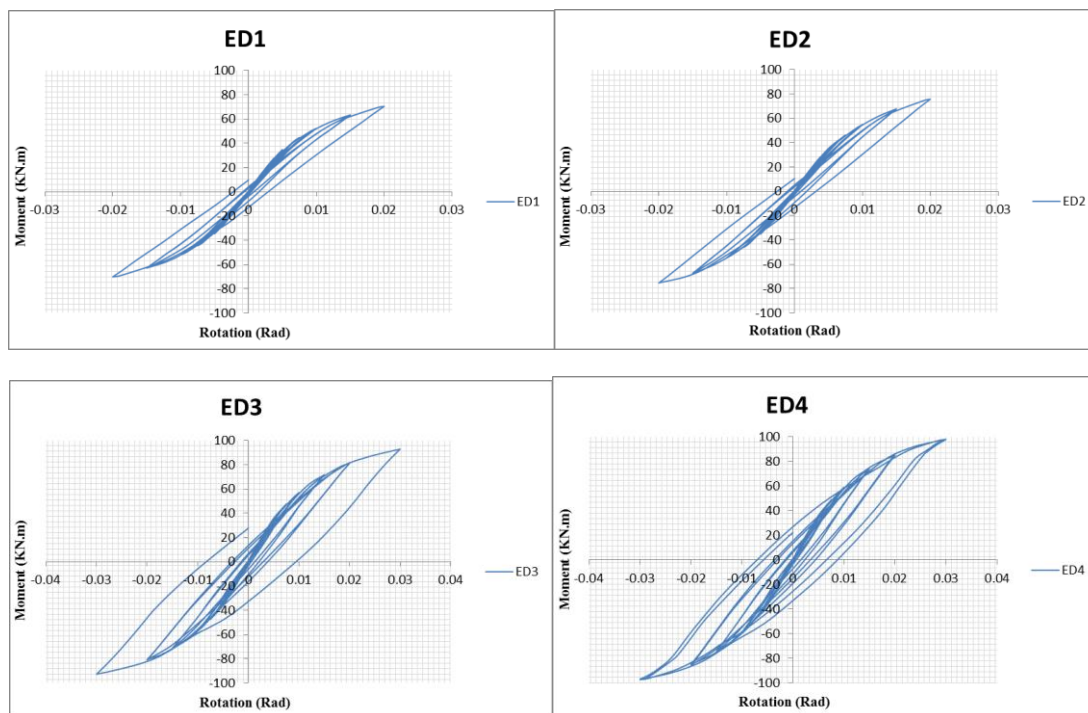


شکل ۱۸: تغییرات پارامتریک نیروی پیش‌تیندگی پیچ‌کور در ورق‌های انتهایی هم‌تراز

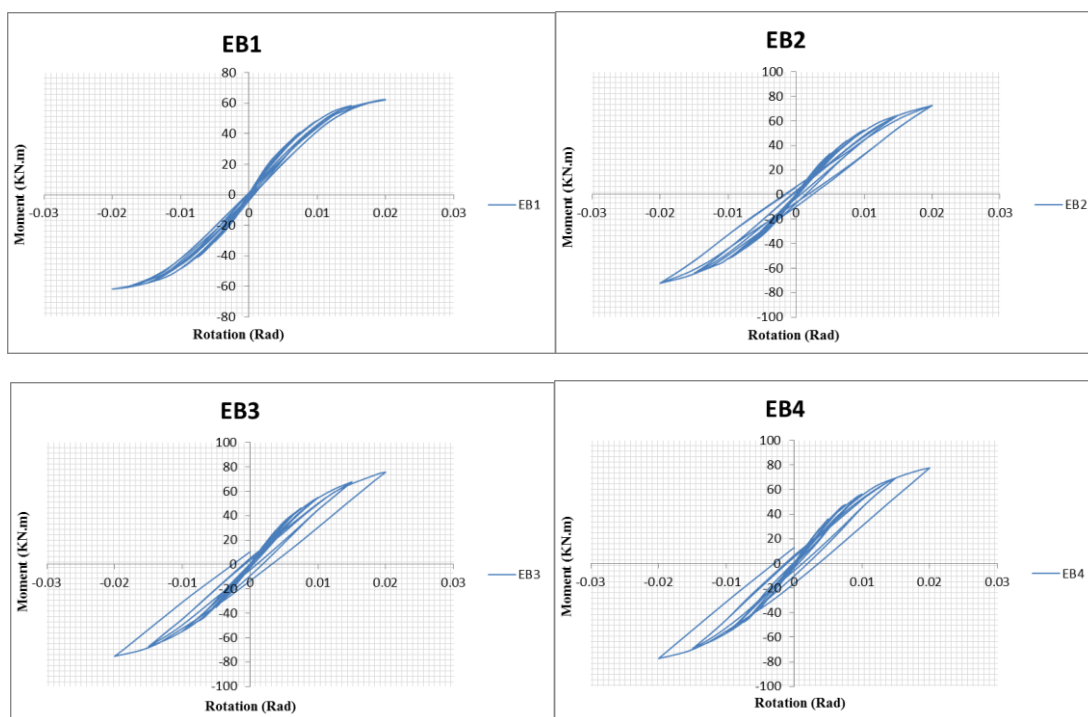
۵-۲- منحنی‌های هیستریزیس لنگر- دوران در اتصالات با ورق انتهایی توسعه‌یافته:



شکل ۱۹: تغییرات پارامتریک ضخامت ورق‌های انتهایی توسعه‌یافته



شکل ۲۰: تغییرات پارامتریک قطر پیچ کور در ورق‌های انتهایی توسعه‌یافته



شکل ۲۱: تغییرات پارامتریک نیروی پیش‌تنیدگی پیچ کور در ورق‌های انتهایی توسعه‌یافته

۳-۵- بررسی رفتار منحنی‌های هیستریزیس ورق‌های انتهایی هم‌تراز و توسعه‌یافته

منحنی‌های هیستریزیس لنگر- دوران ورق‌های انتهایی هم‌تراز (شکل‌های ۱۶ تا ۱۸) و ورق‌های انتهایی توسعه‌یافته (شکل‌های ۱۹ تا ۲۱) که تحت بارگذاری چرخه‌ای برای پارامترهای مختلفی چون ضخامت ورق انتهایی، قطر پیچ و نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها ارائه گردیده

است. رفتار این نوع از هندسه اتصال به صورت رفتار سیکلی همراه با تنزل سختی و رفتار باریک شونده^۹ یا جمع شدگی (این رفتار در اتصالات فولادی با ورق انتهایی به علت باز و بسته شدن فاصله بین ورق‌ها با جداره ستون و در اتصالات بتن آرمه به دلیل باز و بسته شدن ترک‌ها تحت سیکل‌های رفت و برگشت بارگذاری چرخه‌ای قابل مشاهده هستند) می‌باشد که در نمونه‌ها با این موضوع با مقادیر مختلف قابل مشاهده است. رفتار تنزل سختی در نمونه‌های ورق انتهایی هم‌تراز با روند ادامه بارگذاری چرخه‌ای مشهودتر و محسوس‌تر از نمونه‌ها با ورق انتهایی توسعه یافته می‌باشد که این مسئله می‌تواند به ویژگی هندسی این نوع از ورق‌های انتهایی بازگردد چرا که در ورق‌های انتهایی توسعه یافته با توجه به ویژگی هندسی که دارند میتوان اتصالات پیچی را فراتر از ارتفاع تیر، توسعه داده و از تعداد پیچ‌های بیشتری در اتصال استفاده نمود که این خود در بسیاری از رفتارها و ظرفیت‌های یک اتصال تأثیر گذار می‌باشد.

در اتصالات با ورق انتهایی هم‌تراز مشاهده می‌شود که با افزایش ضخامت ورق انتهایی از نمونه FT1 تا FT4 ظرفیت خمشی اتصال حدود ۱۶٪ افزوده شده و تأثیر قابل توجهی نیز در افزایش در سختی اولیه اتصال حدود ۴۱٪ داشته است. همچنین با توجه به ابعاد اتخاذ شده برای ضخامت ورق انتهایی مقدار دوران نهایی برای تمام نمونه‌ها ثابت بوده و برابر ۰/۰۳ رادیان می‌باشد. افزایش پارامتر قطر پیچ از نمونه FD1 تا FD4 باعث افزایش قابل توجه ظرفیت خمشی نهایی در حدود ۳۷٪ و افزایش سختی اولیه اتصال در حدود ۳٪ شده است. همچنین دوران نهایی اتصال از ۰/۰۲ رادیان در نمونه FD1 به ۰/۰۴ رادیان در نمونه FD4 رسیده است که نشانگر افزایش دوران نهایی اتصال در اثر افزایش قطر پیچ می‌باشد. به طور کلی افزایش قطر پیچ باعث افزایش دوران نهایی اتصال، ظرفیت خمشی نهایی و سختی اولیه اتصال در این نوع از اتصالات شده است. افزایش نیروی پیش تنیدگی پیچ‌ها از نمونه FB1 تا FB4 نیز باعث افزایش ۱۶٪ سختی اولیه و ۳۴٪ ظرفیت خمشی نهایی اتصال گردیده است ولی این افزایش نیروی پیش تنیدگی با کاهش دوران نهایی اتصال از ۰/۰۵ رادیان برای نمونه FB1 تا ۰/۰۳ رادیان برای نمونه‌های FB3 و FB4 همراه بوده است.

در اتصالات با ورق انتهایی توسعه یافته شاهد هستیم که با افزایش پارامتر ضخامت ورق انتهایی از نمونه ET1 تا ET4 ظرفیت خمشی نهایی اتصال حدود ۲۰٪ اضافه شده است به جزء نمونه ET3 که در آن با ظرفیت خمشی نهایی اتصال نسبت به نمونه ET2 کمی کمتر می‌باشد. ولی در کل با توجه به منحنی‌های هیستریزیس و مقایسه مقدار ظرفیت خمشی در یک دوران خاص مانند ۰/۰۲ رادیان بین دو نمونه شاهد هستیم که ظرفیت خمشی با افزایش ضخامت ورق انتهایی افزوده شده است و علت کاهش ظرفیت خمشی نهایی اتصال در نمونه ET3 نسبت به نمونه ET2 توقف زود هنگام تر بارگذاری در این نمونه می‌باشد. این افزایش ضخامت در نمونه‌های ورق انتهایی گسترده منجر به افزایش قابل توجه ۶۵٪ سختی اولیه اتصال شده ولی در مقابل دوران نهایی اتصال از ۰/۰۳ رادیان برای نمونه‌های ET1 و ET2 تا ۰/۰۲ رادیان برای نمونه‌های ET3 و ET4 کاهش یافته است. افزایش قطر پیچ در این اتصالات از نمونه ED1 تا ED4 نیز باعث افزایش ۳٪ سختی اولیه اتصال و افزایش قابل توجه ۳۹٪ ظرفیت خمشی نهایی اتصال شده است. ضمناً افزایش این پارامتر دوران نهایی اتصال را از ۰/۰۲ رادیان برای نمونه‌های ED1 و ED2 به ۰/۰۳ رادیان برای نمونه‌های ED3 و ED4 ارتقاء داده است. لازم به ذکر است که افزایش قطر پیچ باعث افزایش دوران نهایی اتصال، ظرفیت خمشی نهایی و سختی اولیه اتصال در این نوع از اتصالات نیز شده است. افزایش نیروی پیش تنیدگی پیچ‌ها از نمونه EB1 تا EB4 باعث افزایش ظرفیت خمشی نهایی اتصال در حدود ۲۴٪ و سختی اولیه اتصال در حدود ۱۳٪ شده است. ولی با توجه به پارامترهای نیروی پیش تنیدگی مختلف اتخاذ شده مشاهده شد که دوران نهایی اتصال برای تمام نمونه‌ها برابر مقدار ۰/۰۲ رادیان می‌باشد.

با توجه به ویژگی هندسی اتصالات با ورق انتهایی توسعه یافته که در آن‌ها می‌توان اتصالات پیچی را فراتر از ارتفاع تیر و در سطح بیشتری توسعه داد و محدودیت‌های موجود در ورق انتهایی هم‌تراز را نداریم. بنابراین با توجه به منحنی‌های هیستریزیس نمونه‌های مختلف در می‌یابیم که توسعه یافتگی ورق انتهایی امکان دسترسی به اتصالی با ظرفیت خمشی نهایی و سختی اولیه بالاتری را نسبت به اتصالات با ورق انتهایی هم‌تراز برای ما فراهم می‌کند. البته لازم به ذکر است که اتصالات با ورق انتهایی هم‌تراز به دلیل آزادی دوران بالاتر نسبت به اتصالات با ورق انتهایی توسعه یافته دارای دوران نهایی بالاتری می‌باشند. همچنین با توجه به آیین نامه FEMA-350 اتصالاتی که دورانی

⁹ - Pinching Behavior

حداقل به میزان ۰/۰۲ رادیان دارند دارای دوران مناسب برای قاب‌های خمشی متوسط و برای اتصالاتی که دورانی حداقل به میزان ۰/۰۴ رادیان دارند دارای دوران مناسب برای قاب‌های خمشی ویژه می‌باشند.

۶- نتیجه گیری

پس از صحت سنجی اتصالات ورق انتهایی توسط پیچ کور Holo-Bolt اتصالات پیشنهاد شده ورق انتهایی هم‌تراز و توسعه یافته تحت بارگذاری یک طرفه و طبقه بندی اتصالات مذکور بررسی گردید. پس از آن طی یک مطالعه پارامتریک، پارامترهایی چون ضخامت ورق انتهایی، قطر پیچ کور و نیروی پیش‌تنیدگی پیچ کور را طی مدل‌سازی‌های مختلف و تحت بارگذاری چرخه‌ای مورد بررسی قرار داده و منحنی‌های هیستریزیس لنگر- دوران اتصالات بدست آمد، که خلاصه نتایج حاصل شده به قرار زیر می‌باشد:

(۱) مدل‌سازی اجزای محدود FE اتصال پیچ کور توسط نرم افزار ABAQUS توسعه داده شد و نحوه توزیع تنش فون میزز و منحنی لنگر- دوران آن بدست آمد. نتایج بدست آمده با مطالعات تجربی و عددی مقاله مورد بررسی مقایسه گردید. نتایج حاکی از آن بود که مدل‌سازی اجزای محدود FE می‌تواند برای پیش‌بینی عملکرد اتصالات خمشی پیچ کور با دقت مناسبی مورد استفاده قرار گیرد.

(۲) مدل‌های پیشنهادی اتصال پیچ کور با ورق انتهایی هم‌تراز و توسعه یافته تحت بارگذاری یک طرفه قرار گرفت و با توجه به طبقه بندی اتصالات ارائه شده در Eurocode 3 مشاهده شد هر دو اتصالات با ورق انتهایی هم‌تراز و توسعه یافته از لحاظ صلبیت در دسته اتصالات نیمه صلب و از لحاظ مقاومت در دسته اتصالات با مقاومت جزئی می‌باشند.

(۳) پارامترهای مورد بررسی شامل ضخامت ورق‌های انتهایی، قطر پیچ و نیروی پیش‌تنیدگی پیچ‌ها بود. منحنی‌های هیستریزیس بدست آمده نشانگر وجود رفتار تنزل سختی و رفتار باریک شونده در نمونه‌های ورق انتهایی هم‌تراز و توسعه یافته بودند. رفتار تنزل سختی و باریک شوندگی در نمونه‌های با ورق انتهایی هم‌تراز محسوس‌تر از نمونه‌ها با ورق انتهایی توسعه یافته بود که دلیل آن ویژگی موجود در ورق‌های انتهایی توسعه یافته می‌باشد که برقراری اتصال پیچی را با تعداد بیشتر پیچ و در فراتر از ارتفاع تیر فراهم می‌کند.

(۴) رفتار تنزل سختی و رفتار باریک شوندگی در نمونه‌های هم‌تراز و توسعه یافته معرفی شده تحت بارگذاری چرخه‌ای با افزایش ضخامت ورق انتهایی تا حدودی کاهش یافته ولی تأثیر افزایش پارامترهای قطر پیچ و نیروی پیش‌تنیدگی در کاهش این نوع رفتارها چشم‌گیرتر می‌باشد.

(۵) افزایش پارامترهای ضخامت ورق انتهایی، قطر پیچ و نیروی پیش‌تنیدگی پیچ در تمامی نمونه‌های ورق انتهایی هم‌تراز و توسعه یافته منجر به افزایش ظرفیت خمشی اتصال می‌گردد.

(۶) افزایش پارامترهای ضخامت ورق انتهایی، قطر پیچ و نیروی پیش‌تنیدگی پیچ در تمامی نمونه‌های ورق انتهایی هم‌تراز و توسعه یافته منجر به افزایش سختی اولیه اتصال می‌شود.

(۷) در اتصالات معرفی شده تحت بارگذاری چرخه‌ای دوران نهایی اتصال با افزایش پارامتر ضخامت ورق انتهایی در نمونه‌ها با ورق انتهایی توسعه یافته (ET) کاهش یافته و در نمونه‌ها با ورق انتهایی هم‌تراز (FT) ثابت می‌باشد. دوران نهایی اتصال با افزایش پارامتر نیروی پیش‌تنیدگی پیچ در نمونه‌ها با ورق انتهایی هم‌تراز (FB) کاهش یافته و در نمونه‌ها با ورق انتهایی توسعه یافته (EB) ثابت است. افزایش قطر پیچ هم در نمونه‌های هم‌تراز (FD) و هم در نمونه‌های توسعه یافته (ED) باعث افزایش دوران نهایی اتصال شده است.

(۸) با توجه به پارامترهای مختلف بررسی شده اتصالاتی که حداقل دوران ۰/۰۲ رادیان و حداقل دوران ۰/۰۴ رادیان را بدست آورده‌اند به ترتیب دوران لازم برای قاب‌های خمشی متوسط و ویژه را اتخاذ نموده‌اند.

(۹) اتصالات با پیچ‌های کور به عنوان یک شیوه نوین در اتصالات قادر هستند، اتصال تیر به ستون‌های با مقطع توخالی همچون قوطی‌ها را فراهم و مشکل عدم دسترسی برای محکم کردن پیچ‌ها در اتصالات پیچی را بر طرف کنند.

۷- پیشنهادها

- از آن جایی که اتصالات با پیچ‌های کور یکی از شیوه‌های نوین در اتصالات سازه‌های فولادی به حساب می‌آید لذا نیازمند مطالعات و تحقیقات بیشتری در این زمینه می‌باشد. از جمله پیشنهادها برای ادامه پژوهش در این زمینه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
- بررسی اتصال دهنده‌های پیچ کور یک‌طرفه تیر به ستون با مقطع توخالی یا پر شده با بتن توسط مقاطعی با هندسه‌های مختلف
 - بررسی این نوع از اتصال دهنده‌ها در اتصال ستون به ستون با مقاطع توخالی.
 - بررسی رفتار این نوع از اتصال دهنده‌ها در سیستم‌های قابی مختلف به همراه مهاربندها.
 - بررسی و مقایسه اتصالات با پیچ‌های کور ارائه شده توسط کمپانی‌های مختلف.
 - بررسی این نوع از اتصالات تحت بارگذاری‌های مختلف همچون حرارت و آتش.

مراجع

- [1] Wang ZY, Tizani W, Wang QY. "Strength and initial stiffness of a blind-bolt connection based on the T-stub model". *Engineering Structures*, 2010, No. 32, pp. 2505-2517.
- [2] Tizani W, Al-Mughairi A, Owen J, Pitrakkos T. "Rotational stiffness of a blind-bolted connection to concrete-filled tubes using modified Hollo-bolt". *Journal of Constructional Steel Research*, 2013, No. 80, pp. 317-331.
- [3] Elghazouli AY, Malaga-Chuquitaype C, Castro JM, Orton AH. "Experimental monotonic and cyclic behavior of blind bolted angle connections". *Engineering Structures*, 2009, No. 31, pp. 2540-2553.
- [4] Wang J, Gue Sh. "Structural performance of blind bolted end plate joints to concrete-filled thin-walled steel tubular columns". *Thin-Walled Structures*, 2012, No. 60, pp. 54-68.
- [5] Tizani W, Pitrakkos T. "Performance of T-stub to CFT joints using blind bolts with headed anchors". *Journal of Structural Engineering*, 2015. 141(10): 04015001
- [6] Pascual AM, Romero ML, Tizani W. "Thermal behavior of blind-bolted connections to hollow and concrete-filled steel tubular columns". *Journal of Constructional Steel Research*, 2015, No. 107, pp. 137-149.
- [7] Wang Zh, Tao Zh, De-Shan Li, Han L. "Cyclic behavior of novel blind bolted joints with different stiffening elements". *Thin-Walled Structures*, 2016, No. 101, pp. 157-168.
- [8] Wang J, Beibei Li, Jinchao Li. "Experimental and analytical investigation of semi-rigid CFST frames with external SCWPs". *Journal of Constructional Steel Research*, 2017, No. 128, pp. 289-304.
- [9] Wang J, Spencer BF. "Experimental and analytical behavior of blind bolted moment connections". *Journal of Constructional Steel Research*, 2013, No. 82, pp. 33-47.
- [10] Design of steel structures (*Eurocode 3*), Part 1-8: Design of joints, 2005.
- [11] Lindapter. *Type HB-Hollo-Bolt*. Cavity fixings 2, product brochure. UK: Lindapter International, 2016.
- [12] SAC/BD-97/02 Version 1.1, "Protocol for fabrication, inspection, testing, and documentation of beam-column connection tests and other experimental specimens". SAC report, 2002.