



# ارزیابی رفتار اتصالات خمشی با صفحه انتهایی هم‌تراز تحت خمش و نیروی محوری

مهدی قاسمیه<sup>۱</sup>، علیرضا گودرزی<sup>۲</sup>، علی ارزیتون<sup>۳</sup>  
(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۴/۱۰، تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۷/۰۱)

## چکیده

به دلیل وجود نیروی محوری علاوه بر لنگر خمشی در تیر سازه‌هایی نظیر سوله‌ها که دارای سقف صلب نمی‌باشند، باید ترکیب لنگر خمشی و نیروی محوری را در اتصال مورد توجه قرار داد. در این مقاله دو نمونه اتصال طراحی گردید، به گونه‌ای که اتصال اول دارای رفتار صفحه‌ی ضخیم و دیگری دارای رفتار صفحه‌ی نازک باشد. لذا به بررسی رفتار دو اتصال طراحی شده تحت اثر توأم خمش با نیروی محوری پرداخته و در ادامه منحنی اندرکنش ترسیم می‌گردد. مشاهده شد که نیروی محوری می‌تواند باعث تغییر مود گسیختگی اتصال و در نتیجه تغییر در ظرفیت خمشی اتصال گردد. نمودار اندرکنش در هر دو نمونه، شباهت بسیار زیادی به یکدیگر دارد و می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که شکل عمومی نمودار اندرکنش تابع ابعاد اتصال نمی‌باشد. در مرحله‌ی بعدی مطالعه اتصالات را تحت بارگذاری رفت و برگشتی مورد ارزیابی قرار داده و همان گونه که انتظار می‌رفت اتصال با صفحه‌ی نازک نسبت به اتصال با صفحه‌ی ضخیم، در طی سیکل‌های بارگذاری بیشتری دچار گسیختگی می‌شود. همچنین مشاهده شد میزان لنگر نهایی، لنگر تسلیم، سختی اولیه و استهلاک انرژی اتصال در صورت وجود نیروی محوری فشاری، افزایش و با اعمال نیروی محوری کششی، کاهش می‌یابد.

## کلمات کلیدی

اتصال خمشی، صفحه انتهایی هم‌تراز، بار محوری، منحنی اندرکنش، استهلاک انرژی

## Behavior of Flush End-plate Moment Connections subjected to Bending and Axial Forces

M. Ghassemieh, A.R. Goudarzi, A. Arzeytoon

### ABSTRACT

In order to study the true behavior of connections in structures without a rigid diaphragm, such as industrial sheds, that the beams carry moments in addition to axial forces, the combination of bending and axial force should be considered substantially. In this paper, two different end-plate moment connections were designed with one based on the thick plate behavior, and the one based on the thin plate behavior. Then, the behavior of both connections subjected to the combination of bending and axial forces were examined and the interaction diagram was drawn. It was seen that the axial force can result in a mode shift and a consequential reduction in the bending capacity of the connection. The interaction diagrams of both samples were similar to each other, proposing the hypothesis that the general shape of the interaction diagram is not a function of connection dimensions. Next, the connections were subjected to cyclic loading and as it was predicted, the connections with thin plate were failed in more cycles compared to the ones with thick plates. It was also observed that the ultimate moment capacity, yielding moment, initial stiffness, and energy dissipation of connection all increased in presence of compressive force, and they were all decreased when subjected to tensile force.

### KEYWORDS

Moment connection, Flush End-plate, Axial force, Interaction diagram, Energy dissipation

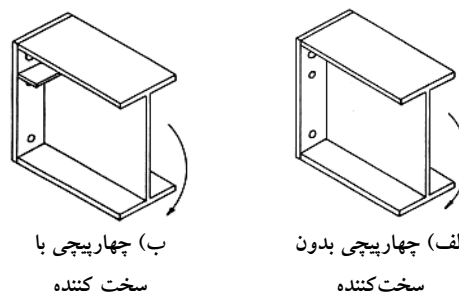
۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، mghassem@ut.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲- کارشناس ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، a.goudarzi@ut.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، arzeytoon@ut.ac.ir



وقوع زلزله‌های مهمی نظیر زلزله سن فرناندو<sup>۱</sup> در سال ۱۹۷۱ و زلزله لوماپریتا<sup>۲</sup> در سال ۱۹۸۹ آسیب‌های فراوانی به سازه‌های موجود وارد آورد. تجارب به‌دست‌آمده از این زلزله‌ها، موجب بازنگری اساسی در آیین‌نامه‌های ساختمانی سازه‌های جدید گردید. در دهه‌های اخیر بررسی اتصالات به منظور ارائه مدلی بهینه که دربرگیرندهی خواص مکانیکی مطلوب از جمله مقاومت، سختی و شکل‌پذیری باشد، به شکلی فزاینده انجام پذیرفته است. از جمله این مدل‌ها می‌توان به اتصالات با صفحه‌ی انتهایی و به خصوص مدل‌های با صفحه‌ی انتهایی هم‌تراز اشاره نمود. اتصال خمشی با صفحه‌ی انتهایی متشکل از یک صفحه‌ی فولادی است که به انتهای مقطع تیر جوش داده شده و این صفحه به وسیله‌ی ردیف‌هایی از پیچ‌های با مقاومت بالا و پیش‌تنیده به عضو کناری متصل می‌گردد. این نوع اتصال غالباً برای اتصال تیر به ستون یا الحاق دو تیر به یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در یک اتصال هم‌تراز، صفحه‌ی انتهایی از لبه‌های بال‌های تیر فراتر نمی‌رود و تمام پیچ‌ها بین دو بال تیر قرار می‌گیرند. این گروه از اتصالات به طور معمول در قاب‌های در معرض بارهای جانبی کم به کار می‌روند. این اتصال می‌تواند همراه با سخت‌کننده یا بدون سخت‌کننده مورد استفاده قرار گیرد. شکل (۱) دو نمونه اتصال با صفحه‌ی انتهایی هم‌تراز را در اتصال تیر به ستون نمایش می‌دهد.



شکل (۱): اتصال با صفحه‌ی انتهایی هم‌تراز

Abolmaali و همکارانش اتصال صفحه‌ی انتهایی هم‌تراز را بررسی نمودند. آن‌ها برای تعیین چگونگی طراحی این اتصال، مدل‌سازی به روش اجزای محدود را به کار گرفتند. و سپس با استفاده از نتایج مدل‌های دوبعدی اطلاعات را پردازش و دستورالعمل طراحی تعیین نمودند که نتایج به‌دست‌آمده با نتایج آزمایشگاهی تا حد زیادی تطابق داشت [۱]. Murray نتایج مطالعات صورت‌گرفته روی اتصال صفحه‌ی انتهایی امتدادیافته‌ی پیچی و اتصال صفحه‌ی انتهایی هم‌تراز پیچی را بررسی کرده و سرانجام یک دستورالعمل به همراه ضوابط کنترلی آن جهت طراحی اتصال بر اساس تئوری خطوط تسلیم و تعیین نیروی حالت حدی پیچ‌ها ارائه نمود [۲]. Broderick و Thomson آزمایشاتی را بر روی هشت نمونه اتصال صفحه‌ی انتهایی هم‌تراز تحت بار استاتیکی و دینامیکی انجام دادند و اجزای اتصال را به‌گونه‌ای انتخاب نمودند که هر دو حالت شکست پیچ‌ها و شکست صفحه‌ی انتهایی رخ دهد. نتایج حاصله بیانگر سختی و ظرفیت خمشی یکسان این اتصالات تحت اثر بارگذاری‌های مذکور در هر دو حالت بود و نیز نشان داد که می‌توان این اتصال را در نواحی لرزه‌خیز به کار برد [۳]. Murray و Shoemaker برای طراحی اتصالات صفحه‌ی انتهایی هم‌تراز پیچی، دستورالعمل خاصی شامل بارگذاری ثقلی، باد و بارهای دینامیکی با شدت کم پیشنهاد دادند و بر مبنای تئوری خطوط تسلیم در تعیین ظرفیت خمشی و حضور نیروی اهرمی در تعیین نیروی پیچ‌های کششی تحلیل خود را ارائه نمودند [۴]. Lima و همکارانش طی یک سری آزمایش که در آن‌ها بارگذاری از نوع استاتیکی بود، بار محوری و خمشی را به صورت هم‌زمان بر روی اتصالات صفحه‌ی انتهایی پیچی امتدادیافته و هم‌تراز اعمال نمودند. این نتیجه حاصل شد که با افزایش بار محوری فشاری، ظرفیت خمشی و نیز سختی ارتجاعی اتصال افزایش پیدا می‌کند و متقابلاً با اعمال بار محوری کششی بر اتصال، ظرفیت خمشی و سختی ارتجاعی اتصال کاهش می‌یابد [۵]. Mofid و Mohammadi با تجزیه‌ی اتصال به تعدادی فنرهای معادل توانستند روابطی برای محاسبه‌ی لنگر نهایی

<sup>1</sup> San Fernando

<sup>2</sup> Loma Prieta

و لنگر تسلیم این نوع اتصال ارائه نمایند. مقایسه‌های صورت گرفته بیانگر دقت بالای روابط پیشنهادی مذکور به‌ویژه در جهت پیش‌بینی ظرفیت خمشی اتصال بود [۶].

Abolmaali و همکارانش اتصال صفحه‌ی انتهایی هم‌تراز پیچی را به هر سه روش تحلیلی، اجزای محدود و آزمایشگاهی مطالعه نمودند و بر مبنای نتایج آزمایشگاهی، مدل‌سازی اجزای محدود کالیبره گردید. بر اساس نتایج حاصل از این بررسی و برازش دادن اطلاعات به رابطه‌ی رامبرگ- اسگور، یک مدل توانی سه‌پارامتری جهت پیش‌بینی منحنی لنگر- دوران اتصال ارائه دادند [۷].

Al-Jabri و همکارانش به کمک روش اجزای محدود اتصالات صفحه‌ی انتهایی هم‌تراز پیچی را تحت اثر تنش‌های حرارتی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها ابتدا مدل‌سازی سه‌بعدی اجزای محدود خود را طبق نتایج آزمایشگاهی کالیبره نموده و سپس با استفاده از چند فرضیه‌ی ساده‌کننده به بررسی تغییرات رفتار خمشی اتصال به‌ویژه میزان ظرفیت خمشی و سختی ارتجاعی این نوع اتصال در برابر افزایش تنش‌های حرارتی پرداختند [۸].

Shi و همکارانش هشت نمونه اتصال خمشی با صفحه‌ی انتهایی را تحت بارگذاری رفت‌وبرگشتی آزمایش نمودند که از این هشت نمونه، یک نمونه‌ی آن با صفحه‌ی انتهایی هم‌تراز و هفت نمونه‌ی دیگر با صفحه‌ی انتهایی بلند می‌باشد. پارامترهای بررسی‌شده برای این هشت نمونه شامل ضخامت صفحه‌ی انتهایی، قطر پیچ، سخت‌کننده‌ی صفحه‌ی انتهایی و سخت‌کننده‌ی ستون بودند. نتایج نشان داد که اتصالات با صفحه‌ی انتهایی گسترش‌یافته، مقاومت، سختی چرخش اتصال، ظرفیت مورد نیاز اتلاف انرژی و شکل‌پذیری را به مقدار کافی داشته و برای استفاده در قالب‌های لرزه‌ای مناسب می‌باشند. در نمونه‌ی اتصال خمشی با صفحه‌ی انتهایی هم‌تراز نتایج آزمایش نشان داد که ظرفیت انرژی مستهلک‌شده کافی نمی‌باشد و این اتصال با این ابعاد برای قاب‌های فولادی لرزه‌ای توصیه نمی‌گردد [۹].

Shi و همکارانش با استفاده از هشت نمونه اتصالی که در سال ۲۰۰۵ تحت بار چرخه‌ای آزمایش نمودند، به مدل‌سازی آن‌ها در نرم‌افزار ANSYS پرداختند که پیچ‌های

نمونه‌ی آن‌ها پیش‌تنیده بودند و توانستند آن را در داخل نرم‌افزار مدل کنند. آن‌ها نتایج خود را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه نمودند که موفق شدند نتایج قابل قبولی را کسب نمایند [۱۰]. Ghassemieh و همکارانش اثر نیروی محوری روی رفتار اتصال خمشی با ورق انتهایی بلند را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که نیروی محوری می‌تواند ظرفیت خمشی اتصال را تغییر دهد [۱۱].

Zeinodini و همکارانش رفتار اتصال خمشی با صفحه انتهایی هم‌تراز تحت بارگذاری رفت و برگشتی با استفاده از روش اجزای محدود را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند برای اتصالاتی که در آنها پیچ عضو کنترل‌کننده می‌باشد لنگر طراحی در مقایسه با لنگر بدست آمده از تحلیل، قابل قبول است [۱۲].

تا به امروز در تحقیقاتی که روی رفتار اتصال خمشی با صفحه‌ی انتهایی هم‌تراز انجام شده، اثر بار محوری نادیده گرفته شده است، لذا با توجه به اثرگذاری بار محوری بر رفتار خمشی اتصال، در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل اجزای محدود اثر بار محوری بر رفتار خمشی اتصالات خمشی با صفحه انتهایی هم‌تراز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

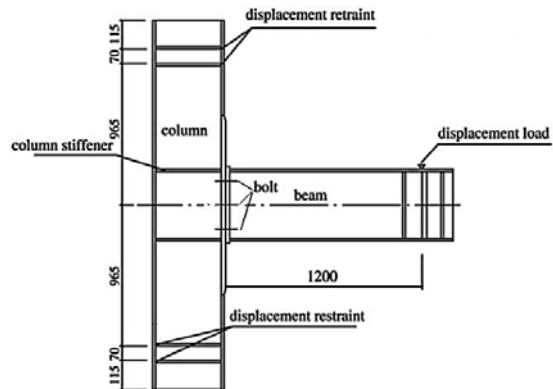
ابتدا دو نمونه اتصال بر اساس آیین نامه AISC [۱۳] طراحی و سپس در نرم افزار اجزای محدود ABAQUS [۱۴] مدل سازی شده‌اند. نمونه‌ی اول EP1 اتصالی است که از آن رفتار صفحه‌ی ضخیم و از نمونه‌ی دوم EP2 احتمالاً رفتار صفحه‌ی متوسط یا نازک انتظار می‌رود. که با استفاده از دو اتصال طراحی‌شده، اثر خمش به همراه بار محوری را در تغییر سختی و مودهای گسیختگی این دو اتصال بررسی نموده و در مرحله‌ی بعد به تعیین نمودار اندرکنش نیروی محوری-لنگرخمشی تحت بارگذاری Monotonic می‌پردازیم. در ادامه با انجام تحلیل لرزه‌ای روی دو مدل طراحی‌شده رفتار لرزه‌ای دو اتصال بررسی و با هم مقایسه می‌گردد.

## ۲- هم‌سنجی شبیه سازی عددی و داده‌های آزمایشگاهی

در ابتدا به جهت اعتبار سنجی مدل اجزای محدود، از مدل

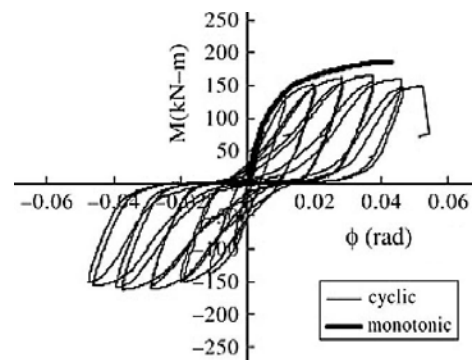


آزمایشگاهی طراحی شده توسط Shi و همکارانش [۱۰] استفاده شده است. در شکل (۲) جزئیات مدل آزمایشگاهی برای اتصال خمشی با صفحه‌ی انتهایی هم تراز آورده شده است.

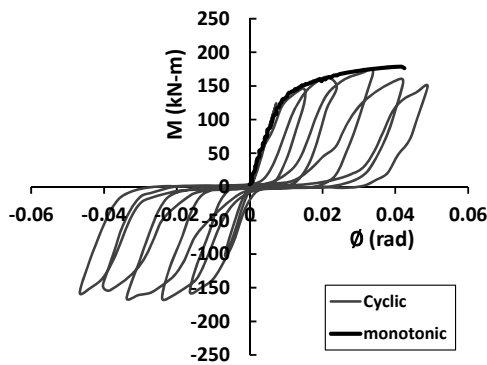


شکل (۲): ابعاد هندسی (mm) اتصال خمشی با صفحه‌ی انتهایی هم تراز طراحی شده توسط Shi و همکارانش [۱۰]

به دلیل ساده‌سازی‌هایی که در مدل اجزای محدود انجام می‌گیرد، نسبت به مدل آزمایشگاهی دارای مقداری خطا خواهد بود. در صورتی که این مقدار خطا مجاز باشد، می‌توان از نتایج مدل اجزای محدود استفاده نمود. بدین منظور منحنی لنگر بر حسب دوران را برای دو بارگذاری یک‌طرفه و رفت‌وبرگشتی در دو نمونه‌ی آزمایشگاهی و مدل اجزای محدود بدست آورده که به ترتیب در شکل (۳) و (۴) نشان داده شده‌اند.



شکل (۳): منحنی لنگر-دوران برای نمونه‌ی آزمایش شده توسط Shi و همکارانش [۱۰]

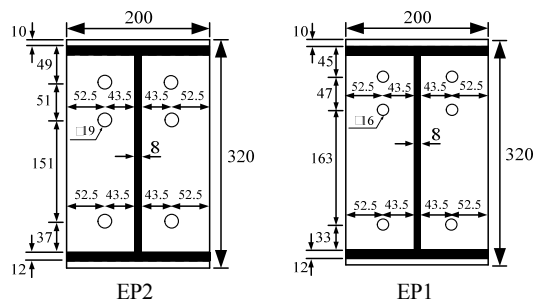


شکل (۴): منحنی لنگر-دوران برای مدل اجزای محدود

با مشاهده و مقایسه‌ی منحنی لنگر-دوران، نمونه‌ی آزمایشگاهی و مدل اجزای محدود می‌توان نتیجه گرفت که مدل اجزای محدود دقت قابل قبولی داشته است.

### ۳- اتصال خمشی با صفحه‌ی انتهایی هم تراز تحت بار خمشی

در این بخش دو نمونه اتصال خمشی با صفحه‌ی انتهایی هم تراز بدون سخت‌کننده طراحی می‌گردد. این دو نمونه به گونه‌ای طراحی گشته که یکی از آن‌ها، دارای رفتار خمشی صفحه‌ی ضخیم (EP1) و دیگری دارای رفتار خمشی صفحه‌ی متوسط یا نازک (EP2) باشد. هدف از این مدل‌سازی بررسی رفتار خمشی دو اتصال طراحی شده می‌باشد. بدین منظور از اتصال بررسی شده توسط Shi و همکارانش [۱۰] استفاده شده است با این تفاوت که جزئیات و ابعاد در نظر گرفته شده برای صفحه‌ی انتهایی هم تراز به جهت داشتن رفتار خمشی صفحه ضخیم و متوسط یا نازک مطابق شکل (۵) می‌باشد.



شکل (۵): ابعاد (mm) تیر و صفحه‌ی انتهایی هم تراز در دو

اتصال EP2 و EP1



در جدول (۱) و (۲) مشخصات اجزای اتصال بیان شده است.

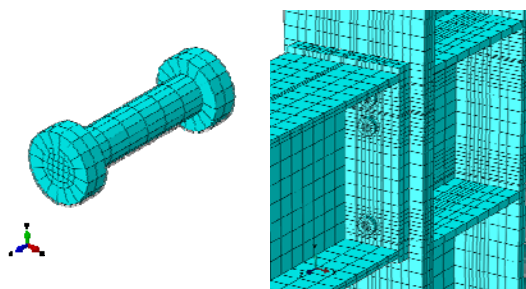
جدول (۱): مشخصات مقاطع تیر و ستون اتصال

عضو	عمق (mm)	ضخامت جان (mm)	عرض بال (mm)	ضخامت بال (mm)
تیر	۳۰۰	۸	۲۰۰	۱۲
ستون	۳۰۰	۱۲	۲۵۰	۱۸

جدول (۱): مشخصات پیچ اتصال و ضخامت صفحه‌ی انتهایی

نوع اتصال	ضخات ورق (mm)	قطر پیچ (mm)	تعداد پیچ	سخت کننده (mm)
EP1	۳۰	۱۶	۶	۲۶۴×۱۱۹×۱۲
EP2	۱۹	۱۹	۶	۲۶۴×۱۱۹×۱۲

C3D8 برای شبکه‌بندی تمام اجزای مدل استفاده شده که یک المان سه‌بعدی هشت‌گره‌ای می‌باشد که در هر گره دارای سه درجه آزادی انتقالی است. در شکل (۶) جزئیات شبکه‌بندی اتصال EPI نشان داده شده است. انتخاب اندازه شبکه‌ها به گونه‌ای صورت گرفته که دقت نتایج حاصل از تحلیل قابل قبول باشد.



شکل (۶): شبکه‌بندی اتصال EPI

شکل (۶): شبکه‌بندی مدل EPI

#### ۴- اتصال خمشی با صفحه‌ی انتهایی از نوع ضخیم (مدل EPI)

به دلیل این‌که صفحه‌ی انتهایی ضخیم می‌باشد، نیروی اهرمی در محاسبات ما لحاظ نمی‌گردد زیرا صفحه‌ی انتهایی اندکی انحناء پیدا کرده و دیگر نیروی اهرمی به وجود نمی‌آید. از این اتصال انتظار می‌رود که گسیختگی پیچ‌ها کنترل‌کننده‌ی انهدام اتصال باشد و تا لحظه‌ای که پیچ‌ها گسیخته شوند صفحه‌ی انتهایی در محدوده‌ی الاستیک باقی بماند.

با توجه به این‌که صفحه‌ی انتهایی ضخیم می‌باشد، انتظار می‌رفت که مقدار لنگر خمشی پلاستیک صفحه‌ی انتهایی ( $M_{pl}$ ) بسیار بیشتر از لنگر خمشی نهایی پیچ‌ها ( $M_{np}$ ) بدون نیروی اهرمی باشد که جدول (۴)، گواه بر صدق این مطلب است.

جدول (۴): مقایسه‌ی لنگر مقاوم خمشی صفحه‌ی انتهایی

با ظرفیت خمشی پیچ‌ها

انصال	$M_{pl}$ (kN.m)	$M_{np}$ (kN.m)	$M_{pl}/M_{np}$
EP1	۶۵۸/۲۳	۱۷۲/۷۷	۳/۸

رفتار فرض‌شده در دو نمونه اتصال طراحی شده برای فولاد تیر، ستون و صفحه‌ی انتهایی به صورت دوخطی (elastically-perfect plastic) با تنش تسلیم  $391 \text{ MPa}$ ، مدول الاستیسیته  $190707 \text{ MPa}$  و نسبت پواسون  $0/3$  می‌باشد. رفتار فرض‌شده برای پیچ‌های پرمقاومت به صورت جدول (۳) و ضریب اصطکاک بین سطوح صفحه‌ی انتهایی و ستون برابر با  $0/44$  و برای سایر سطوح ضریب اصطکاک برابر با  $0/3$  در نظر گرفته شده است.

جدول (۳): رفتار فرض‌شده برای پیچ‌های پرمقاومت

تنش (MPa)	۱۱۶۰	۹۹۰	۰
کرنش (%)	۱۵	۱۳/۶	۰/۴۸۳

به منظور ایجاد پیش‌تنیدگی در پیچ‌ها می‌توان از بارگذاری حرارتی استفاده نمود. میزان پیش‌تنیدگی برای پیچ‌ها  $680 \text{ MPa}$  در نظر گرفته شده است.

شرایط تکیه‌گاهی بالا و پایین ستون در هر دو نمونه اتصال به صورت مفصلی می‌باشد و تغییرمکان اعمالی به تیر در فاصله‌ی  $1200$  میلی‌متر از بر اتصال اعمال شده است.

در هر دو نمونه اتصال طراحی شده از المان‌های شش‌وجهی



#### ۴-۱- پیچ‌های اتصال

به جهت بررسی میزان تنش شکست در پیچ‌ها از معیار تنش فون میسر (رابطه (۱)) استفاده شده است.

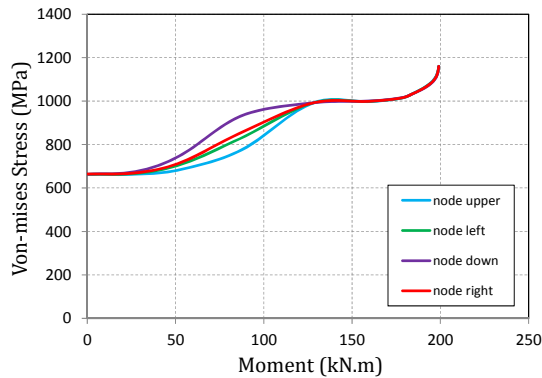
$$\sigma_v^2 = \frac{1}{2}[(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2] + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2) \quad (1)$$

که در آن  $\sigma_{11}$ ،  $\sigma_{22}$  و  $\sigma_{33}$  تنش‌های نرمال و  $\sigma_{12}$ ،  $\sigma_{23}$  و  $\sigma_{31}$  تنش‌های برشی می‌باشند.

تغییرات تنش با لنگر، در دو ردیف بالا پیچ‌ها در شکل (۷) و (۸) ارائه شده است. در هر نمودار مقادیر تنش برای چهار نقطه‌ی کناری مقطعی میانی بدنه‌ی پیچ آورده شده است. اختلاف در نمودار تغییرات تنش با لنگر برای چهار نقطه‌ی کناری مقطعی میانی پیچ را می‌توان به دلیل وجود خمش علاوه بر بار محوری توجیه نمود.

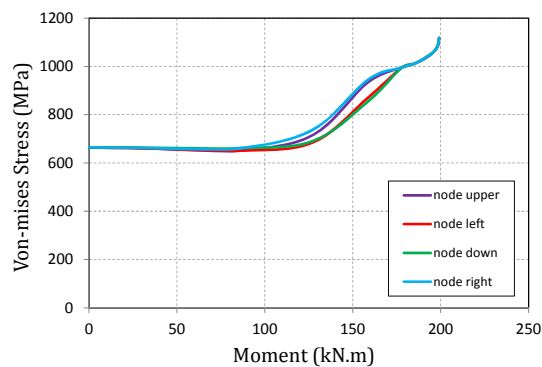
به علت وجود پیش‌تنیدگی، تنش پیچ‌ها در ردیف‌های بالا و میانی اتصال در ابتدای بارگذاری ثابت مانده و در ادامه‌ی بارگذاری با افزایش لنگر خمشی تنش پیچ‌های کششی ردیف بالا به حد نهایی خود ۱۱۶۰ MPa و تنش کششی پیچ‌های ردیف میانی تقریباً به ۱۱۱۵ MPa می‌رسد. تنش پیچ‌های ردیف پایینی تا لحظاتی قبل از رسیدن به لنگر گسیختگی اتصال تقریباً ثابت و برابر با نیروی پیش‌تنش اولیه بوده اما در انتهای تحلیل به علت رخداد گسیختگی، نیروی پیچ‌ها به دلیل عدم تعادل ایجادشده، به صورت ناگهانی با شیب زیادی افزایش یافته است. به بیان دیگر محور خشی در این اتصال تا قبل از لحظه‌ی گسیختگی اتصال بالاتر از پیچ پایینی قرار داشته و با رسیدن به مرز بار نهایی اتصال و تسلیم پیچ‌های کششی محور خشی تا محل بال فشاری حرکت می‌نماید.

همانطور که مشاهده می‌گردد که رفتار پیچ‌های بالایی با میانی مشابهت بسیار زیادی دارند. دلیل این امر را این‌گونه می‌توان توجیه نمود که چون صفحه‌ی انتهایی ضخیم می‌باشد و فاصله‌ی این دو ردیف پیچ از یکدیگر کم است، در نتیجه رفتار کرنش‌های این دو ردیف پیچ و به تبع آن رفتار تنش‌های آن‌ها شباهت بسیار زیادی به یکدیگر دارند.



شکل (۷): تغییرات تنش با لنگر خمشی در پیچ‌های بالایی

#### اتصال EPI



شکل (۸): تغییرات تنش با لنگر خمشی در پیچ‌های میانی

#### اتصال EPI

#### ۴-۲- جداشدگی صفحه‌ی انتهایی

با بررسی جداشدگی صفحه‌ی انتهایی می‌توان مود گسیختگی و به طور کلی رفتار اتصال را مشخص نمود. در شکل (۹) جداشدگی صفحه‌ی انتهایی اتصال مشاهده می‌گردد.

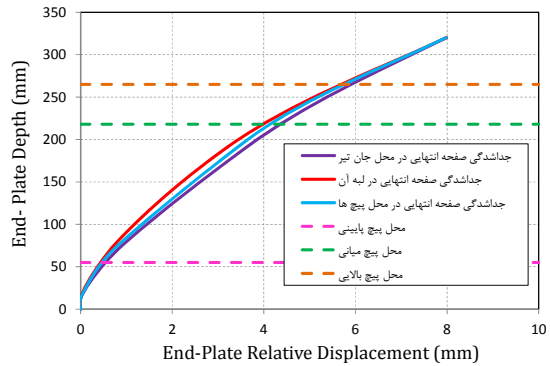
همان‌گونه که در منحنی جداشدگی مشاهده می‌گردد، جداشدگی به صورت یکنواخت از محل قرارگیری بال فشاری آغاز شده و در لبه‌ی بالایی صفحه‌ی انتهایی به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

#### ۴-۳- بررسی رفتار خمشی اتصال

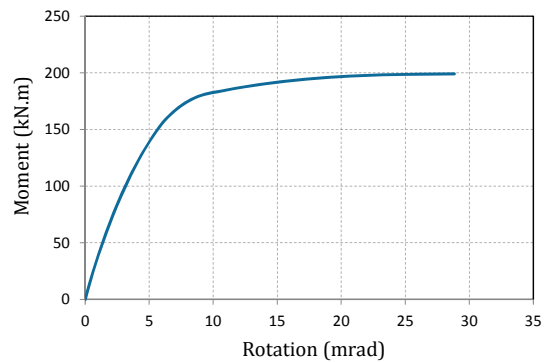
در شکل (۱۰) نمودار مقدار لنگر خمشی نسبت به دوران اتصال (میلی‌رادیان) مشاهده می‌گردد، مقدار لنگر خمشی



نهایی به دست آمده از تحلیل اجزای محدود برابر با ۱۹۹ kN.m می‌باشد.



شکل (۹): جداشدگی صفحه‌ی انتهایی اتصال EP1



شکل (۱۰): نمودار لنگر خمشی-دوران اتصال EP1

از مقایسه‌ی لنگر خمشی نهایی به دست آمده به روش تحلیل اجزای محدود با لنگر خمشی نهایی پیچ بدون نیروی اهرمی برابر با ۱۷۲/۷۷ kN.m و لنگر خمشی پلاستیک صفحه‌ی انتهایی برابر با ۶۵۸/۲۳ kN.m می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به نزدیک بودن مقدار لنگر خمشی نهایی پیچ‌ها به لنگر خمشی نهایی اتصال به روش اجزای محدود، انهدام اتصال ناشی از گسیختگی پیچ‌ها می‌باشد. همچنین با بررسی کرنش پلاستیک صفحه‌ی انتهایی، تیر و بال ستون مشاهده گردید که هر سه تا انتهای بارگذاری کاملاً الاستیک باقی می‌مانند.

## ۵- اتصال خمشی با صفحه‌ی انتهایی از نوع متوسط یا نازک (مدل EP2)

ابعاد اتصال به گونه‌ای طراحی گردیده که از این اتصال رفتار صفحه‌ی نازک یا متوسط انتظار می‌رود. رفتار اتصال با صفحه‌ی انتهایی از نوع متوسط این‌گونه است که پیچ‌های کششی تسلیم شده و صفحه‌ی انتهایی در محل بال کششی تیر جاری می‌گردد و اگر صفحه‌ی انتهایی از نوع نازک باشد پیچ‌های کششی جاری شده و صفحه‌ی انتهایی علاوه بر ناحیه‌ی بال کششی تیر، در محل پیچ‌های کششی نیز جاری می‌شود. با توجه به جدول (۵) مشاهده می‌گردد که مقادیر لنگر پلاستیک برابر با ۲۵۳/۱۶ kN.m و لنگر نهایی پیچ بدون نیروی اهرمی برابر با ۲۴۶/۴۴ kN.m نسبت به هم اختلاف زیادی ندارند. رفتار اتصال می‌تواند دارای رفتار صفحه‌ی نازک یا متوسط باشد.

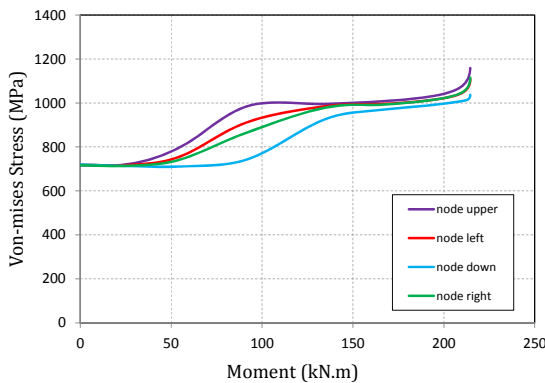
جدول (۵): مقایسه‌ی مقاومت نهایی اتصال با لنگر مقاوم

خمشی صفحه‌ی انتهایی و ظرفیت خمشی پیچ

اتصال	$M_{pl}$ (kN.m)	$M_{np}$ (kN.m)	$M_{pl}/M_{np}$
EP2	۲۵۳/۱۶	۲۴۶/۴۴	۱/۰۲

### ۱-۵- پیچ‌های اتصال

تغییرات تنش در پیچ‌های بالایی و میانی در شکل (۱۱) و (۱۲) ارائه شده است.

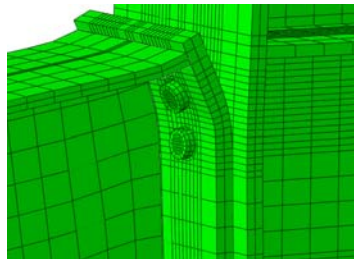


شکل (۱۱): تغییرات تنش با لنگر خمشی در پیچ‌های بالایی

اتصال EP2



پیچ‌های ردیف بالا، جداشدگی صفحه‌ی انتهایی به شدت افزایش یافته است. این امر به دلیل تشکیل مفاصل پلاستیک در نزدیکی پیچ‌های ردیف بالا می‌باشد که با توجه به این دلیل به راحتی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که رفتار این اتصال از نوع صفحه‌ی انتهایی نازک است.

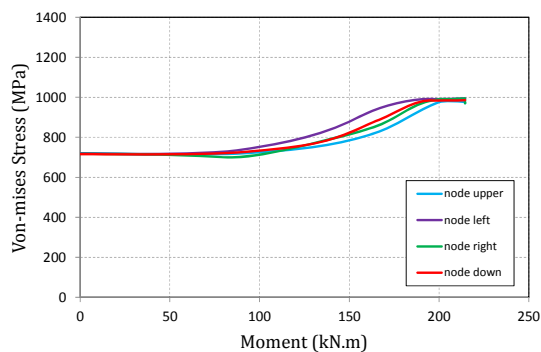


شکل (۱۳): جداشدگی صفحه‌ی انتهایی

### ۳-۵- بررسی رفتار خمشی اتصال

در شکل (۱۵) مقدار لنگر خمشی به دست آمده از تحلیل اجزای محدود برابر با  $214/5 \text{ kN.m}$  می‌باشد. از مقایسه‌ی لنگر خمشی نهایی به دست آمده به روش تحلیل اجزای محدود با لنگر خمشی نهایی پیچ بدون نیروی اهرمی برابر با  $246/44 \text{ kN.m}$  و لنگر خمشی پلاستیک صفحه‌ی انتهایی برابر با  $253/16 \text{ kN.m}$  می‌توان نتیجه گرفت که ظرفیت مقاوم نهایی اتصال ( $M_u$ ) از هر دو لنگر خمشی نهایی پیچ بدون نیروی اهرمی و لنگر خمشی پلاستیک صفحه‌ی انتهایی کمتر می‌باشد. این امر به دلیل وجود نیروهای اهرمی است که با ایجاد لنگری در جهت مخالف با لنگر وارد شده، از ظرفیت خمشی اتصال کاسته و ظرفیت نهایی کمتر از ظرفیت خمشی پیچ بدون نیروی اهرمی  $M_{np}$  می‌شود ( $M_u < M_{np}$ ).

از بررسی شکل (۱۶) و جدول (۶) می‌توان نتیجه‌گیری نمود که اتصال EP2 دارای دوران نهایی بیشتر و سختی اولیه‌ی کمتری نسبت به اتصال EP1 می‌باشد در نتیجه اتصال EP2 از شکل‌پذیری بیشتری برخوردار است.

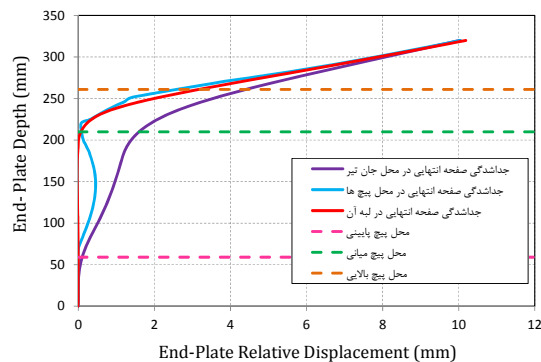


شکل (۱۲): تغییرات تنش با لنگر خمشی در پیچ‌های میانی اتصال EP2

به علت وجود پیش‌تنیدگی، تنش پیچ‌های ردیف‌های بالا و میانی اتصال در ابتدای بارگذاری ثابت مانده و در ادامه‌ی بارگذاری با افزایش لنگر خمشی تنش پیچ‌های کششی ردیف بالا به حد نهایی خود  $1160 \text{ MPa}$  و تنش پیچ‌های کششی ردیف میانی به تنش تسلیم می‌رسد. تنش پیچ‌های ردیف پایینی تا پایان بارگذاری تقریباً ثابت و برابر با نیروی پیش‌تنیدگی اولیه بوده است.

### ۲-۵- جداشدگی صفحه‌ی انتهایی

در شکل (۱۳) جداشدگی صفحه‌ی انتهایی در انتهای بارگذاری در سه امتداد جان تیر، لبه‌ی صفحه‌ی انتهایی و پیچ‌ها مشاهده می‌گردد.

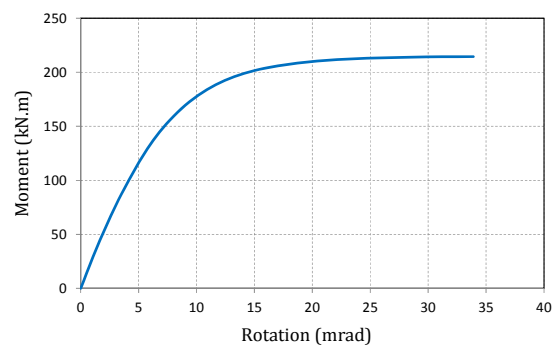


شکل (۱۳): جداشدگی صفحه‌ی انتهایی اتصال EP2

همان‌گونه که شکل (۱۴) نشان می‌دهد جداشدگی صفحه‌ی انتهایی از لبه‌ی پایینی آن تا نزدیکی پیچ‌های ردیف بالا اتصال ناچیزی بوده که در ارتفاعات بالاتر از



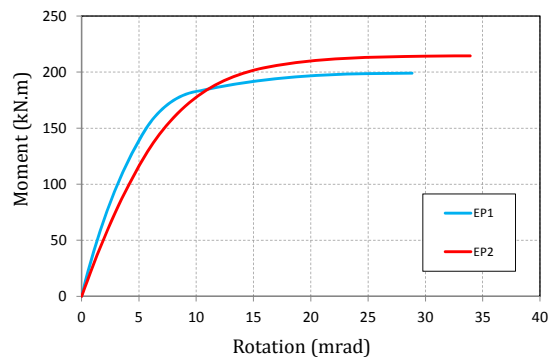
بارگذاری در نرم افزار اجزای محدود در سه گام صورت می گیرد. گام اول بارگذاری، ایجاد پیش تیندگی در پیچها می باشد که با ایجاد دمای منفی اعمال گردیده است. گام دوم بارگذاری، اعمال تنش محوری است که این تنش برابر با درصدی از تنش تسلیم مقطع تیر ( $F_y\text{-beam}=391\text{MPa}$ ) به صورت یکنواخت به سطح مقطع انتهایی تیر اعمال شده و در گام سوم بارگذاری خمشی روی اتصال اعمال می گردد.



شکل (۱۵): نمودار لنگر خمشی-دوران اتصال EP2

#### اندرکنش لنگر خمشی-نیروی محوری

با تغییر بار محوری از حد بالایی کششی تا حد پایینی فشاری، نمودار اندرکنش لنگر خمشی-نیروی محوری حاصل می گردد. نام گذاری مدلها، متناسب با درصدی از تنش تسلیم تیر اعمالی به مقطع تیر صورت می گیرد. در شکل (۱۷) نمودار اندرکنش لنگر خمشی-نیروی محوری نشان داده شده است که در آن پارامتر R برابر با نسبت ظرفیت خمشی اتصال توام با نیروی محوری به ظرفیت خمشی اتصال می باشد.



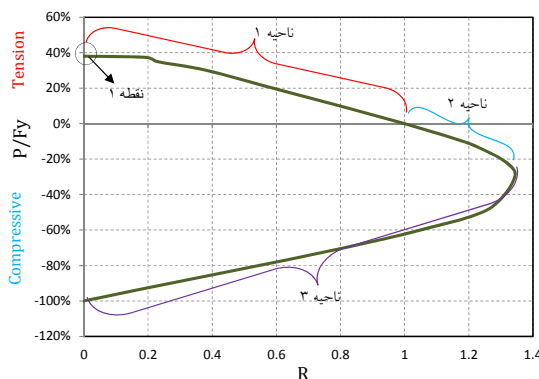
شکل (۱۶): نمودار لنگر خمشی بر حسب دوران دو اتصال

#### EP1 و EP2

جدول (۶): مقایسه ی ظرفیت خمشی، دوران نهایی و سختی

#### اولیه ی دو اتصال EP1 و EP2

سختی اولیه (kN.m/mrad)	دوران نهایی (mrad)	ظرفیت خمشی اتصال (kN.m)	سختی اولیه
۴۰/۲۳	۲۷/۸۳	۱۹۹/۱۰	EP1
۲۶/۳۱	۳۳/۹۰	۲۱۴/۵۰	EP2



شکل (۱۷): نمودار اندرکنش نیروی محوری بر حسب

#### لنگر خمشی اتصال EP1

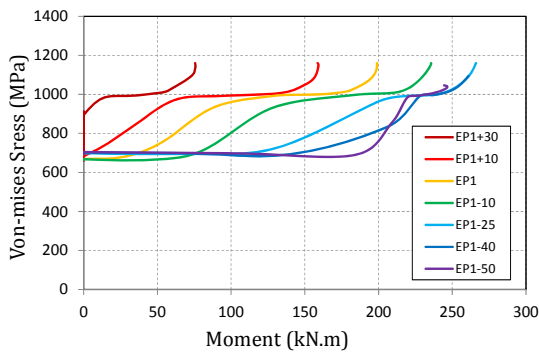
نمودار اندرکنش را می توان به سه ناحیه تقسیم نمود. در ناحیه ی ۱، گسیختگی اتصال با ظرفیت کششی پیچها کنترل می گردد. چنانچه در نمودار اندرکنش ملاحظه می شود با کاهش بار محوری کششی، R افزایش یافته و به تبع آن ظرفیت خمشی اتصال نیز افزایش می یابد. نقطه ی ۱ در ابتدای این ناحیه به گونه ای است که به ازای  $P/F_y\text{-beam}$

۶- رفتار خمشی دو اتصال EP1 و EP2 تحت بار محوری

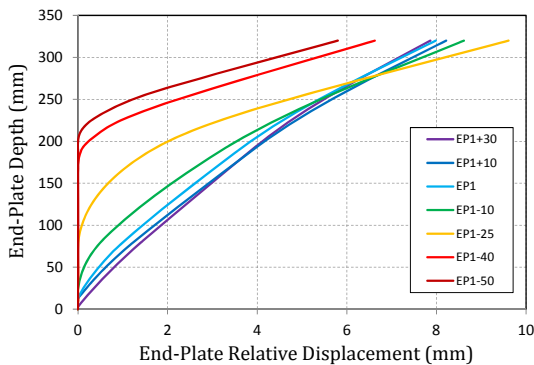
اعتبارسنجی مدل اجزا محدود اتصال تحت بار خمشی به همراه بار محوری بر اساس مدل آزمایشگاهی De Lima و همکارانش [۵] توسط Goudarzi و همکارانش [۱۵] انجام شده است.

۶-۱- اتصال خمشی با صفحه ی انتهایی ضخیم تحت اثر خمش و بار محوری





شکل (۱۸): تغییرات تنش با لنگر خمشی در پیچ‌های بالایی اتصال EPI با نیروی محوری



شکل (۱۹): جداسدگی صفحه‌ی انتهایی در مقطع جان تیر از اتصال EPI با نیروی محوری

#### بررسی رفتار خمشی اتصال

در شکل (۲۰) تغییرات لنگر خمشی بر حسب دوران برای نمونه‌های مختلف اتصال EPI، تحت بارگذاری‌های محوری مختلف نشان داده شده است. بیشترین میزان دوران در محدوده بارهای محوری فشاری  $15\%/F_y\text{-beam}$  تا  $25\%/F_y\text{-beam}$  مشاهده شده است.

در صورتی که بار محوری فشاری بیشتر از  $30\%/F_y\text{-beam}$  اعمال گردد، میزان دوران اتصال به شدت کاهش می‌یابد و این رخداد بیانگر تغییر در مود گسیختگی اتصال از حالت گسیختگی پیچ‌ها به کمناش بال فشاری می‌باشد.

برابر با ۳۸ درصد لنگر خمشی مقاوم اتصال از بین می‌رود. در حقیقت ظرفیت نهایی کششی (P) از ظرفیت کششی پیچ‌ها که مقداری از آن توسط پیش‌تنیدگی ( $680\text{ MPa}$ ) از بین رفته به دست می‌آید.

در ناحیه‌ی ۲ با افزایش بار محوری، ظرفیت خمشی اتصال افزایش پیدا می‌کند. این افزایش تا زمانی ادامه می‌یابد که  $P/F_y\text{-beam}$  برابر با ۳۰- درصد شود. در واقع در این ناحیه گسیختگی اتصال توسط پیچ‌ها کنترل می‌گردد.

در ناحیه‌ی ۳ بر خلاف ناحیه‌ی ۲، با افزایش بار محوری فشاری ظرفیت خمشی اتصال کاهش می‌یابد. از این رخداد می‌توان نتیجه‌گیری نمود که مود گسیختگی اتصال از مود گسیختگی پیچ‌های کششی به مود کمناش بال فشاری تغییر یافته است. بار محوری فشاری در این ناحیه تا حدی افزایش می‌یابد که ظرفیت خمشی اتصال کاملاً از بین برود و این رویداد زمانی رخ می‌دهد که تنش تمام مقطع تیر به تنش تسلیم تیر برسد.

#### بررسی تنش در پیچ‌های اتصال

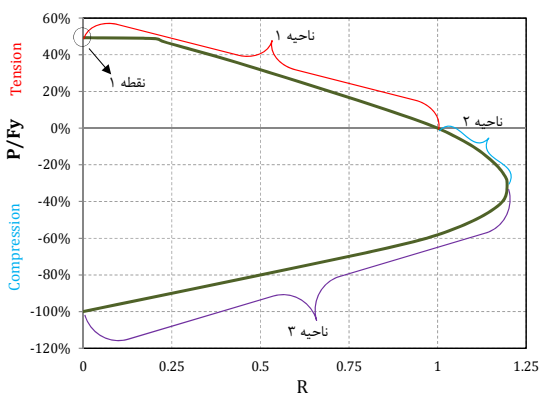
در شکل (۱۸) اکثر منحنی‌ها به صورت افقی می‌باشند که این امر به دلیل پیش‌تنیدگی پیچ‌ها است. در حالتی که بار محوری کششی بیشتر از  $10\%/F_y\text{-beam}$  باشد اثر پیش‌تنیدگی پیچ‌ها از ابتدای بارگذاری خمشی از بین می‌رود و منحنی از ابتدا با شیب مثبت ادامه می‌یابد. برای حالتی که بار محوری فشاری بیشتر از  $30\%/F_y\text{-beam}$  باشد مود گسیختگی اتصال از نوع کمناش بال فشاری می‌باشد و در این حالات دیگر پیچ‌های کششی به تنش نهایی خود نمی‌رسند و هرچه مقدار بار محوری افزایش یابد، کمناش بال فشاری سریع‌تر اتفاق افتاده است و در بقیه حالات میزان تنش در پیچ‌های ردیف بالا به حد نهایی خود که برابر با  $1160\text{ MPa}$  می‌رسد. در واقع در این حالات گسیختگی پیچ، کنترل‌کننده اتصال می‌باشد.

#### جداسدگی صفحه‌ی انتهایی

چنان‌که در شکل (۱۹) مشاهده می‌گردد به ازای بار محوری فشاری  $25\%/F_y\text{-beam}$  بیشترین جداسدگی لبه‌ی بالایی صفحه‌ی انتهایی دیده می‌شود.



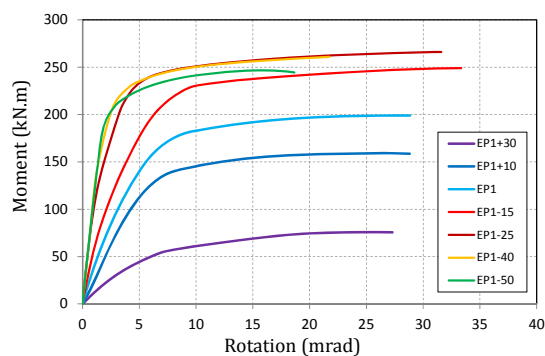
گسیختگی اتصال ناشی از تسلیم پیچ‌ها می‌باشد. در ناحیه‌ی ۲، با افزایش بار محوری فشاری، لنگر خمشی مقاوم اتصال افزایش می‌یابد. در واقع در انتهای این ناحیه به ازای بار محوری فشاری  $30\%F_y\text{-beam}$ ، لنگر مقاوم اتصال به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در این ناحیه نیز مانند ناحیه‌ی ۱ گسیختگی اتصال، ناشی از گسیختگی پیچ و تسلیم صفحه‌ی انتهایی در نزدیکی بال کششی و اطراف پیچ‌های ردیف بالا می‌باشد. در ناحیه‌ی ۳، با افزایش بار محوری فشاری، لنگر مقاوم اتصال کاهش می‌یابد. این امر به دلیل تغییر مود گسیختگی اتصال رخ می‌دهد. مود گسیختگی اتصال در این ناحیه از نوع کمانش بال فشاری تیر می‌باشد.



شکل (۲۱): نمودار لنگر خمشی-دوران در اتصال EP2 با نیروی محوری

#### بررسی تنش در پیچ‌های اتصال

همان‌گونه که در شکل (۲۲) ملاحظه می‌گردد در تمام مدل‌های تحلیل‌شده به غیر از مدل‌های EP2-30 و EP2-40 تنش پیچ‌های ردیف بالا در انتهای بارگذاری به حد نهایی  $1160\text{ MPa}$  رسیده و در مدل‌هایی که بار محوری فشاری آنها بیشتر از  $30\%F_y\text{-beam}$  است، پیچ‌های ردیف بالا به حد گسیختگی خود نمی‌رسند. این امر را این‌گونه می‌توان توجیه نمود که مود گسیختگی حاکم، کمانش بال فشاری تیر می‌باشد و این مود زودتر از مود گسیختگی پیچ‌ها اتفاق می‌افتد و دیگر به پیچ‌ها اجازه



شکل (۲۰): نمودار لنگر خمشی-دوران در اتصال EP1 با نیروی محوری

چنانچه در شکل مذکور ملاحظه می‌گردد با کاهش نیروی محوری کششی و افزایش نیروی محوری فشاری سختی اولیه‌ی اتصال افزایش می‌یابد و نمونه‌ی EP1+30 دارای کمترین سختی نسبت به دیگر نمونه‌ها است، زیرا نیروی محوری کششی آن کاملاً اثر پیش‌تنیدگی پیچ را از بین برده و باعث کاهش سختی اتصال می‌گردد.

#### ۲-۶- اتصال خمشی با صفحه‌ی انتهایی نازک تحت اثر خمش و بار محوری

مراحل بارگذاری برای این اتصال همانند اتصال با صفحه انتهایی ضخیم می‌باشد. بار محوری معادل با درصدی از تنش تسلیم تیر ( $F_y\text{-beam}=391\text{ MPa}$ ) عمود بر مقطع انتهایی تیر به صورت یکنواخت اعمال شده است.

#### اندرکنش لنگر خمشی-نیروی محوری

چنانچه در شکل (۲۱) ملاحظه می‌گردد منحنی اندرکنش نیروی محوری با لنگر خمشی اتصال EP2 به سه ناحیه تقسیم می‌شود.

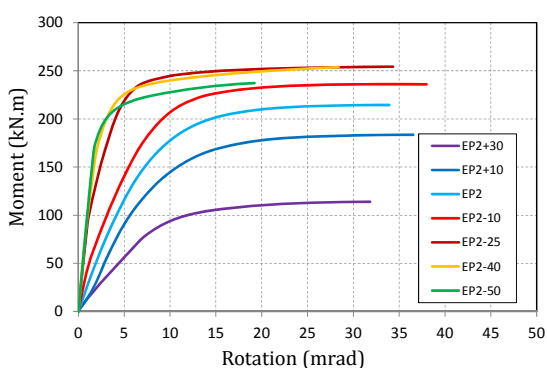
در ناحیه‌ی ۱، با کاهش نیروی محوری کششی، لنگر مقاوم خمشی اتصال افزایش یافته است. در این ناحیه مود گسیختگی حاکم، گسیختگی پیچ‌های کششی و تشکیل مفاصل پلاستیک روی صفحه‌ی انتهایی در اطراف بال کششی تیر و در نزدیکی پیچ‌های ردیف بالا می‌باشد. در ابتدای این ناحیه (نقطه‌ی ۱) به ازای بار محوری کششی وارد شده، لنگر مقاوم خمشی اتصال از بین رفته و



همان‌گونه که در شکل بالا مشاهده می‌گردد بیشترین جداسدگی در بین بارهای محوری فشاری به ازای بار محوری فشاری  $F_y$ -beam ۲۵٪ رخ می‌دهد.

#### بررسی رفتار خمشی اتصال

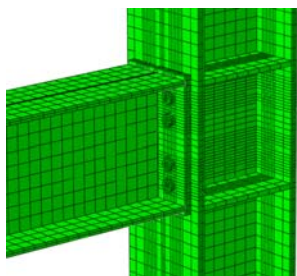
همان‌گونه که در شکل (۲۴) مشاهده می‌گردد با کاهش نیروی محوری کششی و افزایش نیروی محوری فشاری، سختی اتصال افزایش یافته است. در واقع با افزایش نیروی محوری کششی، نیروی پیش‌تندگی سریع‌تر از بین می‌رود و باعث می‌شود پیچ زودتر تسلیم گردد و این امر سختی اتصال را کاهش می‌دهد.



شکل (۲۴): نمودار لنگر خمشی - دوران در اتصال EP2 با نیروی محوری

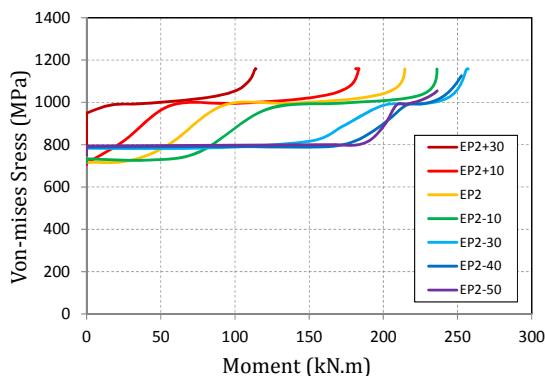
#### ۷- بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال

به جهت بررسی رفتار لرزه‌ای اتصالات، از بارگذاری رفت و برگشتی SAC استفاده گردیده است. بنابراین چیدمان قرارگیری پیچ‌ها نسبت به محور تقارن افقی صفحه‌ای انتهایی، متقارن صورت گرفته تا اتصال جهت تحمل بار رفت و برگشتی مناسب باشد (شکل ۲۵)).



شکل (۲۵): شبکه بندی اجزای محدود اتصال

نمی‌دهد که به حد نهایی خود برسند و در نهایت گسیخته گردند.

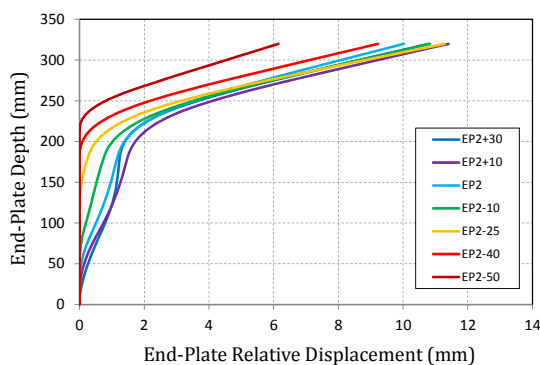


شکل (۲۲): تغییرات تنش با لنگر خمشی در پیچ‌های بالایی اتصال EP2 با نیروی محوری

بررسی نشان داده که در هیچ یک از مدل‌های تحلیل شده، تنش پیچ ردیف میانی به حد نهایی خود نرسیده است؛ زیرا صفحه‌ای انتهایی نازک بوده و روی صفحه‌ای انتهایی در نزدیکی خط ردیف بالا پیچ مفاصل پلاستیک شکل گرفته و دیگر صفحه به حالت تخت باقی نمانده و باعث می‌شود تنش پیچ‌های این دو ردیف دیگر مشابه یکدیگر نباشند.

#### جداسدگی صفحه‌ای انتهایی

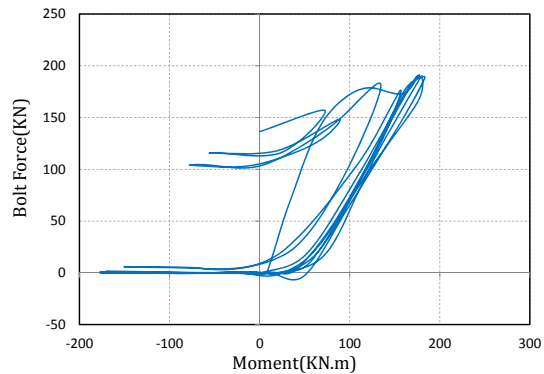
شکل (۲۳) جداسدگی صفحه‌ای انتهایی را در مقطع تیر به ازای بارهای محوری مختلف در آخرین گام بارگذاری نشان می‌دهد.



شکل (۲۳): جداسدگی صفحه‌ای انتهایی در اتصال EP2 با نیروی محوری

## ۷-۱- بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال EPI-cyclic

یکی از نکات مهم در شناخت رفتار اتصال، بررسی عملکرد پیچ‌های اتصال حین بارگذاری می‌باشد. همان‌گونه که در شکل (۲۶) ملاحظه می‌گردد تنها طی چند سیکل بارگذاری از مقدار نیروی پیش‌تندگی پیچ‌ها کاسته شده و در نهایت به مقدار صفر می‌رسد زیرا اتصال EPI-cyclic با صفحه‌ی انتهایی ضخیم می‌باشد و رفتار ترد از خود نشان می‌دهد و باعث از بین رفتن سریع مقدار نیروی پیش‌تندگی پیچ می‌گردد.

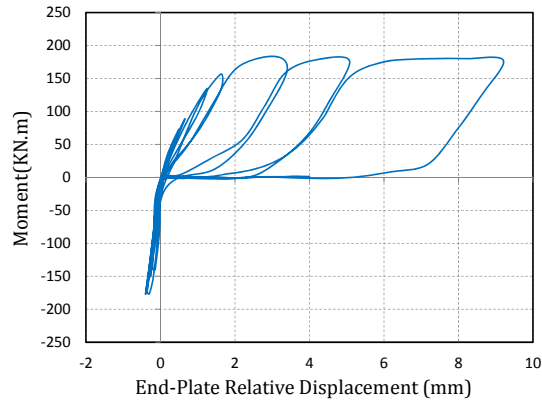


شکل (۲۶): نمودار نیروی پیچ بر حسب لنگر در اتصال EPI-cyclic

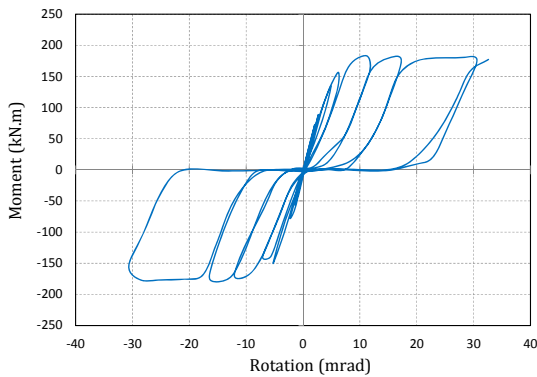
در شکل (۲۷) نمودار لنگر خمشی اتصال بر حسب جداشدگی صفحه‌ی انتهایی در محل بال تیر نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، جداشدگی صفحه‌ی انتهایی به صورت ناگهانی افزایش یافته و این رخداد به دلیل تسلیم سریع پیچ‌ها در گام‌های ابتدایی بارگذاری می‌باشد و اعضای دیگر اتصال همانند تیر و صفحه‌ی انتهایی در طول بارگذاری در ناحیه‌ی الاستیک باقی مانده و تنها در چند ناحیه به صورت موضعی در صفحه‌ی انتهایی مقدار کمی کرنش پلاستیک مشاهده می‌شود که این نواحی عبارتند از: ۱- لبه بالایی و پایینی صفحه‌ی انتهایی ۲- در نزدیکی محل سوراخ‌های صفحه‌ی انتهایی.

با بررسی رفتار اجزای اتصال که شامل پیچ، صفحه‌ی انتهایی، تیر و بال ستون می‌باشد مشاهده گردید که صرفاً پیچ‌ها پس از طی نمودن چند سیکل اول بارگذاری تسلیم

و باعث ایجاد رفتار ترد اتصال می‌شوند؛ در حالی که سایر اجزای اتصال در حالت الاستیک باقی می‌مانند. این نوع اتصالات در مناطق لرزه‌خیز توصیه نمی‌شوند زیرا میزان جذب انرژی و شکل‌پذیری آنها کم می‌باشد. نمودار لنگر-دوران اتصال در شکل (۲۸) نشان داده شده است.



شکل (۲۷): نمودار لنگر خمشی اتصال بر حسب جداشدگی صفحه‌ی انتهایی

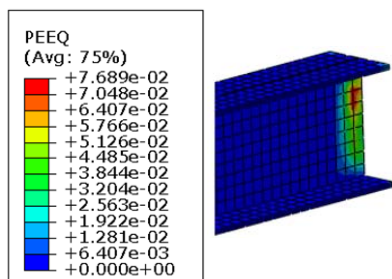


شکل (۲۸): نمودار لنگر-دوران اتصال EPI-cyclic

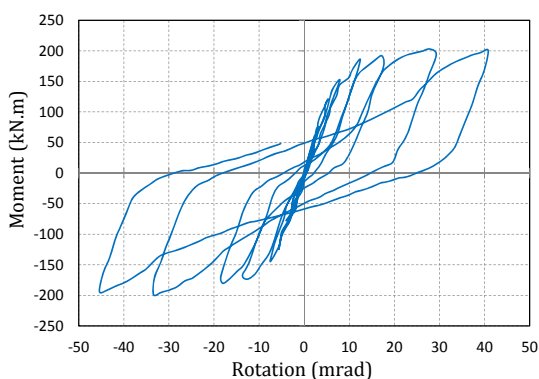
## ۷-۲- بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال EP2-cyclic

همان‌گونه که در شکل (۲۹) ملاحظه می‌گردد بر خلاف اتصال EPI-cyclic، در اتصال EP2-cyclic طی نمودن سیکل‌های بارگذاری بیشتر از مقدار پیش‌تندگی پیچ‌ها کاسته شده و در نهایت به مقدار صفر می‌رسد. دلیل این امر این است که اتصال EP2-cyclic شکل‌پذیری بیشتری نسبت به اتصال EPI-cyclic دارد.

افزایش یافته است. این افزایش دوران به دلیل تغییر ضخامت صفحه‌ی انتهایی و قطر پیچ اتصال بوده که باعث شده پیچ‌ها، صفحه‌ی انتهایی و تیر در میزان شکل‌پذیری اتصال شرکت داشته باشند. در شکل (۳۲) نمودار لنگر خمشی بر حسب دوران اتصال نشان داده شده است.

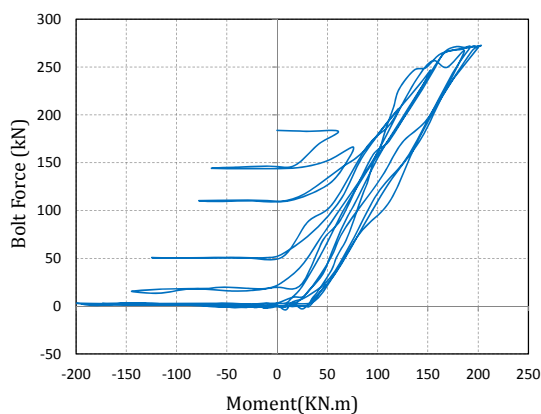


شکل (۳۱): توزیع کرنش پلاستیک اتصال EP2-cyclic در انتهای بارگذاری



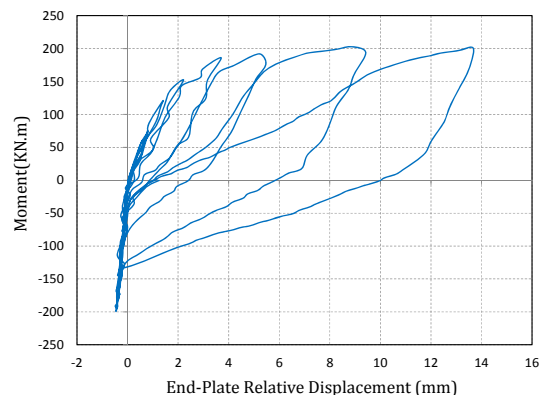
شکل (۳۲): نمودار لنگر خمشی بر حسب دوران اتصال EP2-cyclic

۸- بررسی رفتار لرزه ای اتصالات به همراه بار محوری در این قسمت دو اتصال EP1-cyclic و EP2-cyclic همراه با بارگذاری‌های محوری ثابت  $10\%F_y\text{-beam} +$  و  $10\%F_y\text{-beam} -$  تحت بارگذاری رفت و برگشتی مورد ارزیابی قرار گرفته و نمودار تغییرات لنگر بر حسب دوران رسم شده است (شکل (۳۳)).



شکل (۲۹): نمودار نیروی پیچ بر حسب لنگر در اتصال EP2-cyclic

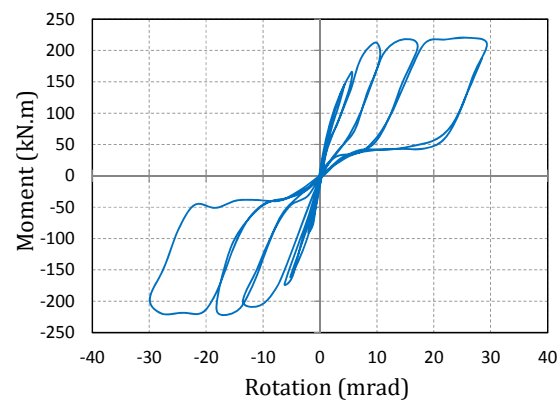
در شکل (۳۰) میزان جداشدگی صفحه‌ی انتهایی در محل بال تیر نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد طی سیکل‌های بارگذاری بیشتری میزان جداشدگی صفحه‌ی انتهایی به تدریج افزایش یافته است.



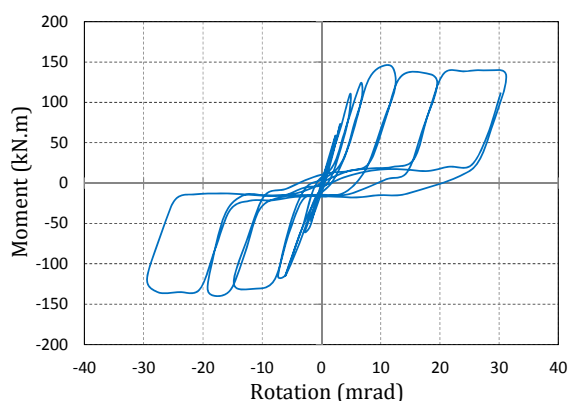
شکل (۳۰): میزان جداشدگی صفحه‌ی انتهایی اتصال EP2-cyclic در محل بال تیر طی بارگذاری

همان‌گونه که در شکل (۳۱) مشاهده می‌گردد پلاستیک‌شدگی در صفحه‌ی انتهایی و به صورت موضعی در انتهای تیر و بال ستون رخ داده و این پلاستیک‌شدگی‌ها باعث افزایش شکل‌پذیری اتصال گردیده است.

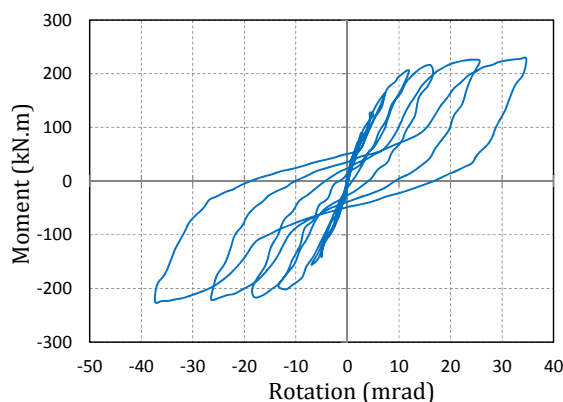
علی‌رغم این که مقاومت خمشی دو اتصال EP1-cyclic و EP2-cyclic تقریباً با هم برابر می‌باشد، دوران نهایی اتصال EP2-cyclic نسبت به اتصال EP1-cyclic ۳۶ درصد



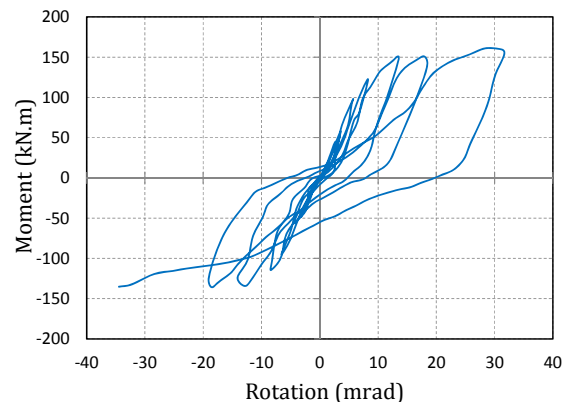
EP1-cyclic-10



EP1-cyclic+10



EP2-cyclic-10



EP2-cyclic+10

شکل (۳۳): نمودار هیستریزیس اتصال EP1 و EP2

مشاهده گردید که شکل عمومی نمودار اندرکنش تابع ابعاد اتصال نمی‌باشد. همچنین در دو اتصال EP1 و EP2 از میان بارهای محوری فشاری به ترتیب به ازای بار محوری فشاری  $25\%/F_y\text{-beam}$  و  $30\%/F_y\text{-beam}$  بیشترین جداشدگی لبه‌ی بالایی صفحه‌ی انتهایی مشاهده می‌گردد.

در اتصال EP2-cyclic برخلاف اتصال EP1-cyclic با طی نمودن سیکل‌های بارگذاری بیشتر به تدریج از مقدار پیش-تندگی پیچ‌ها کاسته شده و در نهایت به مقدار صفر می‌رسد. دلیل این امر این است که اتصال EP2-cyclic شکل-پذیری بیشتری نسبت به اتصال EP1-cyclic داشته و باعث می‌شود در طی سیکل‌های بارگذاری بیشتری از مقدار پیش‌تندگی پیچ‌ها کاسته شود.

علی‌رغم این که مقاومت خمشی دو اتصال EP1-cyclic و EP2-cyclic تقریباً با هم برابر می‌باشد، دوران نهایی اتصال

با توجه به نمودارهای رسم شده می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش نیروی محوری فشاری میزان لنگر نهایی، لنگرتسلیم و سختی اولیه افزایش یافته و با افزایش نیروی محوری کششی میزان لنگر نهایی، لنگرتسلیم و سختی اولیه کاهش می‌یابد.

در صورت وجود نیروی محوری فشاری میزان استهلاک انرژی اتصال افزایش می‌یابد در حالیکه در حالت وجود نیروی محوری کششی از ظرفیت استهلاک انرژی اتصال کاسته خواهد شد.

#### ۹- نتیجه گیری

با بررسی انجام گرفته در این مقاله می‌توان به این نتیجه دست یافت که وجود نیروی محوری می‌تواند باعث تغییر مود گسیختگی اتصال و در نتیجه تغییر در ظرفیت خمشی اتصال گردد. با مقایسه‌ی نمودار اندرکنش دو اتصال

[10] Shi, G., Shi, Y., Wang, Y. and Bradford, M.A. (2008), "Numerical Simulation of Steel Pretensioned Bolted End-Plate Connections of Different Types and Details", *Engineering Structures*, Vol. 30, No. 10, pp. 2677-2686.

[11] Ghassemieh M, Shamim M. and Gholampour A.A. (2014), "Influence of the Axial Force on the Behavior of Endplate Moment Connections", *Structural Engineering and Mechanics*, Vol. 49, No. 1, pp. 23-40.

[12] Zeinoddini V., Ghassemieh M. and Kiani M. (2014), "Finite Element Analysis of Flush End Plate Moment Connections under Cyclic Loading", *International Journal of Civil, Architectural Science and Engineering*, Vol. 8, No. 1, pp. 96-104.

[13] AISC. (2005), "Commentary on the Specification for Structural Steel Buildings".

[14] ABAQUS/CAE User's Manual, Version 6.11, 2011.

[15] Goudarzi A., Ghassemieh M. and Baei M. (2012), "The Effect of Axial Force on the Behavior of Flush End-Plate Moment Connections", 15<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE), Lisbon, Portugal.

EP2-cyclic نسبت به اتصال EP1-cyclic ۳۶ درصد افزایش یافته است. این افزایش دوران به دلیل تغییر ضخامت صفحه‌ی انتهایی و قطر پیچ اتصال بوده که باعث شده پیچ‌ها، صفحه‌ی انتهایی و تیر در میزان شکل‌پذیری اتصال شرکت داشته باشند.

با افزایش نیروی محوری فشاری میزان لنگر نهایی، لنگر تسلیم، سختی اولیه و استهلاک انرژی افزایش یافته و با افزایش نیروی محوری کششی میزان لنگر نهایی، لنگر تسلیم، سختی اولیه و استهلاک انرژی کاهش می‌یابد.

#### ۹- مراجع

[1] Abolmaali, A., Kukreti, A.R. and Murray, T.M. (1984), "Finite Element Analysis of Two Tension Bolt Flush End-Plate Connections", Research Report No. FSEL/MBMA 84-01, Fears Structural Engineering Laboratory, School of Engineering and Structural Science, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma.

[2] Murray, T.M. (1988), "Recent Developments for the Design of Moment End-plate Connections", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 10, pp. 133-162.

[3] Broderick, B.M., and Thomson, A.W. (2002), "The Response of Flush End-plate Joints under Earthquake Loading", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 58, No. 9, pp. 1161-1175.

[4] Murray, T.M. and Shoemaker, W.L. (2002), "Steel Design Guide Series 16, Flush and Extended Multiple-Row Moment End-Plate Connections", American Institute of Steel Construction, Chicago.

[5] De Lima, L.R.O., Simões da Silva, L., Vellasco, P.C.G.S. and de Andrade, S.A.L. (2004), "Experimental Evaluation of Extended Endplate Beam-to-column Joints subjected to Bending and Axial Force", *Engineering Structures*, Vol. 26, No. 10, pp. 1333-1347.

[6] Mofid, M., Mohammadi, M.R.S. and McCabe, S. L. (2005), "Analytical Approach on Endplate Connection: Ultimate and Yielding Moment", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 131, No. 3, pp. 449-456.

[7] Abolmaali, A., Matthys, J.H., Farooqi, M. and Choi, Y. (2005), "Development of Moment-rotation Model Equations for Flush End-plate Connections", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 61, No. 12, pp. 1595-1612.

[8] Al-Jabri, K.S., Burgess, I.W., Lennon, T. and Plank, R. J. (2005), "Moment-rotation-temperature Curves for Semi-Rigid Joints", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 61, No. 3, pp. 281-303.

[9] Shi, G., Shi, Y. and Wang, Y. (2007), "Behaviour of End-Plate Moment Connections under Earthquake Loading", *Engineering Structures*, Vol. 29, No. 5, pp. 703-716.

