



## ارزیابی سختی محوری معادل اتصال MERO، تحت اثر سفت شدگی پیچ

مهدی عبادی، حمید رضا توکلی

۱- کارشناس ارشد سازه

۲- استادیار دانشگاه صنعتی بابل

[m.civil1985@yahoo.com](mailto:m.civil1985@yahoo.com)

[tavakoli@nit.ac.ir](mailto:tavakoli@nit.ac.ir)

### چکیده:

با توجه به اینکه در شبکه های دو یا چند لایه از سازه های فضاکار با اتصالات مرو صلبیت دورانی اتصال نقش ثانویه را در انتقال نیرو دارد، اثرات اعمال سفت شدگی به پیچ روی رابطه نیروی محوری- تغییر مکان اتصال نقش اصلی را در رفتار مکانیکی شبکه ایفا می کند. همچنین در طراحی این نوع سازه ها لازم می شود بجای طراحی کل اتصال در حالات مختلف تنها با معادل سازی های ساده بتوان کل اتصال را در حالت کشش با بولت و در حالت فشار با غلاف معادل نمود و رابطه ای ساده بین آن ها در طراحی پیدا نمود. در مطالعه حاضر به کمک نرم افزار آباکوس 1-6.9 و با روش اجزای محدود سه بعدی، اثرات مقادیر متفاوت سفت شدگی پیچ در اتصال مرو روی رابطه نیروی محوری - تغییر مکان اتصال و رابطه ی سختی های اتصال و اجزا آن در حالات کشش و فشار بررسی شده است. در این مدل با لحاظ نمودن ماهیت هندسی مارپیچی رزوه در ساخت مدل پیچ امکان شبیه سازی سفت شدگی در پیچ با اعمال لنگرهای سفت شدگی مختلف فراهم شده است.

نتایج تحقیق این مدل نشان داد که مقادیر متفاوت سفت شدگی پیچ در اتصال مرو رابطه نیروی کششی - تغییر مکان اتصال اثر گذاشته و به تدریج با افزایش سفت شدگی پیچ در اتصال، سختی کششی اتصال در محدوده خطی رفتار آن افزایش می یابد. شایان ذکر است از یک محدوده ای از سفت شدگی پیچ به بعد روند افزایش سختی کششی در اتصال متوقف می شود. همچنین با معادل سازی اتصال با بولت رابطه ای درجه دوم بین آن ها بدست آمد که در طراحی ملاک قرار می گیرد.

**کلمات کلیدی:** اتصال مرو، سفت شدگی پیچ، پاسخ نیرو - تغییر مکان، سختی محوری معادل، شبکه های دو لایه

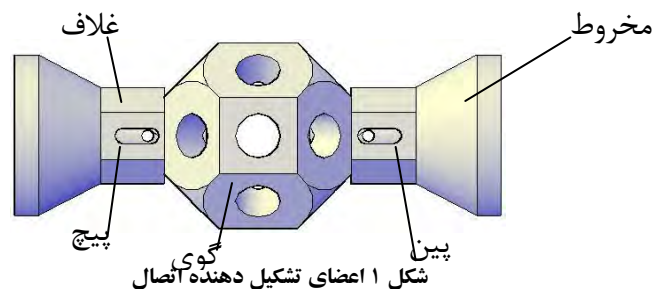
### ۱. مقدمه

سیستم اتصال گویسان یکی از رایج ترین سیستم های اتصال پیچی در سازه های فضاکار است. این نوع اتصال معمولاً در شبکه های دو یا چند لایه پیش ساخته بکار برده می شود. مطالعات انجام شده بر روی سازه های ساخته شده با این سیستم اتصالی نشان می دهد که پاسخ های بدست آمده از تحلیل بدون در نظر گرفتن اثر اتصال، با مقادیر تجربی آنها تفاوت قابل ملاحظه ای دارد. آندریاک [1] تغییر مکانهای گره های شبکه دو لایه سقف یک ورزشگاه را که با اتصال گویسان ساخته شده بود اندازه گیری کرد. ال-شیخ [2] با مطالعه سه شبکه دو لایه ساخته شده با سیستم اتصالی گویسان، تفاوت قابل ملاحظه ای بین نتایج تجربی و نتایج تحلیلی آنها در مواردی از قبیل مود خرابی و بار نهایی مشاهده نمود. داودی و همکاران [3,4] یک شبکه دو لایه با سیستم اتصالی گویسان را از اجزایی که در عمل به کار می روند ساختند. آنها یک بار متمرکز به سازه اعمال و جابجایی چند گره از شبکه را اندازه گیری نمودند. جابجاییهای اندازه گیری شده با نتایج بدست آمده از تحلیل متعارف شبکه تفاوت قابل ملاحظه ای داشتند. پاشایی [5] رفتار دینامیکی همان شبکه را به صورت تجربی مورد مطالعه قرار دادند. نتیجه مطالعات آنان نشان داد که رفتار اتصال گویسان نقش مهمی در پاسخ دینامیکی شبکه دو لایه دارد.

از آنجائیکه در شبکه های دو یا چند لایه نیروی محوری اعضا حاکم بوده و تلاش های غیر محوری اثر ثانویه دارند [3]، برای لحاظ نمودن اثر اتصال در تحلیل، تعیین رابطه نیرو - تغییر مکان محوری اتصال ضروری است. برای دست یابی به تخمین بهتری از پاسخ سازه، قاسمی [6] رابطه نیرو - تغییر مکان سیستم اتصالی گویسان به کار رفته در شبکه مرجع [3] را بصورت تجربی بدست آوردند. این رابطه در ابتدا بصورت خطی بوده و پس از جاری شدن بعضی از اجزا تشکیل دهنده اتصال نرم تر و به صورت غیر خطی در می آید. آنها رابطه غیر خطی نیرو - تغییر مکان اتصال را در مدل تحلیلی

شبکه که پاسخ های تجربی آن در دسترس بود، مورد استفاده قرار دادند. مطالعات آنان نشان داد که نتایج تحلیلی با در نظر گرفتن اثر اتصال تقریباً بهتری از رفتار واقعی (پاسخ تجربی) شبکه دو لایه را بدست می دهد. با این حال تفاوت قابل توجهی بین مقادیر تجربی و تحلیلی جابجائی ها وجود داشته و شکل نمودارهای بار - افت آنها نیز متفاوت است.

گلی [8]، محمودیان [7] در حالت نیروی فشاری روی اتصال گویسان، تاثیر پیچیدگی درجات سفت شدگی مختلف به پیچ روی رفتار اتصال را بررسی نمودند. در این بررسی، تاثیر سفت شدگی در تغییر در مقدار تغییر مکان های کل اتصال و سختی اتصال را نشان دادند. چنانچه [9] و شبیانا [10] تاثیر درجات سفت شدگی متفاوت بولت را روی رفتار استاتیکی و دینامیکی اتصال و کل سازه بررسی نمودند. یاماموتو [11,12] و چن [13] به توزیع بار وارده به اتصال دارای پیچ و مهره روی رزوه های درگیر پیچ و مهره و ارتباط بین لنگر سفت شدگی و مقدار نیروی بوجود آمده در پیچ که در این مطالعه برای اعتبار سنجی نتایج نرم افزاری استفاده شده است، پرداختند. با توجه به پیچیدگیهای ذکر شده در یک سیستم اتصال گویسان و در نظر گرفتن اینکه در یک سازه واقعی به دلیل اینکه چندین عضو از طریق یک گوی بهم متصل می گردند این پیچیدگی ها چند برابر خواهد شد، می توان چنین اظهار داشت که روش های تجربی با اعمال نیروی استاتیکی و دینامیکی به یک نمونه اتصال، هرچند قابل قبول تر از روش های تحلیلی هستند، اما از آنجائیکه از این طریق تنها قادر به مطالعه تعداد محدودی اتصال خاص می توان بود و قابلیت تعمیم دادن به حالات مختلف وجود ندارد و نیز زمانبر و هزینه بر بودن روش های آزمایشگاهی، دلیل مهمی بر انجام روش های عددی می باشد. حال، با توجه به این موضوع که امکان مدل سازی و بررسی عددی در استفاده از این اتصالات در کارهای اجرایی زمانبر و نیاز به تخصص بالایی می باشد، این تحقیق در نیل به رسیدن به ارائه رابطه ای بین سختی کل اتصال و سختی بولت در حالت کشش و نیز سختی اتصال با سختی غلاف در حالت فشار صورت گرفته است. بدین منظور رابطه ای بین سطح مقطع و قطر بولت با سطح مقطع و قطر میله معادل با کل اتصال و همچنین رابطه ای بین سطح مقطع غلاف و سطح مقطع معادل با کل اتصال بدست آمد. اتصال مرو همانطور که در شکل ۱ دیده می شود، از سر هم بندی اعضا شامل پیچ، غلاف، گوی و مخروط انتهایی تشکیل می گردد.



شکل ۱ اعضای تشکیل دهنده اتصال

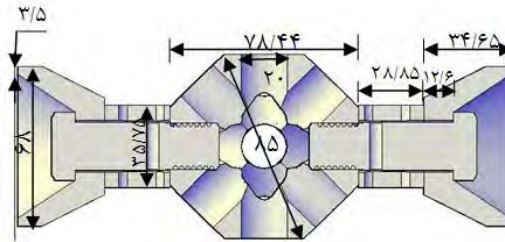
با توجه به شکل (۱) با عبور پین از بازشوی غلاف و حفره روی بدنه پیچ چرخش یا دوران این دو عضو در اتصال مرو بهم مقید می گردد. این اتصال در شبکه های دو یا چند لایه که اعمال درجات سفت شدگی به پیچ ها در این سیستم ها متداول می باشد کاربرد دارد. با اعمال سفت شدگی به پیچ در این اتصالات، اعضای اتصال به هم فشرده شده و لغزش بین سطوح تماسی اعضای اتصال کاهش می یابد و احتمال تغییر مکانهای غیر قابل پیش بینی در مراحل ابتدایی بارگذاری به سازه کاسته می شود. برای اعمال سفت شدگی به پیچ در اتصالات پیچی روش های متنوعی وجود دارد. در سازه های فضاکار با سیستم اتصالاتی مرو اعمال سفت شدگی با روش کنترل لنگر به کمک آچار پیچشی متداول می باشد. با اعمال لنگر سفت شدگی به غلاف در اتصال با توجه به مقید بودن چرخش غلاف و پیچ به هم، از طریق پین پیچ نیز چرخیده و با لغزش از میان سطوح تماسی رزوه های پیچ و گوی پیچ به داخل حفره گوی وارد شده و مابقی اعضای اتصال را بهم فشرده و خود پیچ تحت کشش قرار می گیرد.

## ۲. مدل سازی اتصال مرو

در مطالعه حاضر از سه پیچ در سیستم نامگذاری متریک از دسته های M16 با قطر بدنه 16 و گام رزوه ۲ میلیمتر، M20 با قطر بدنه ۲۰ و گام رزوه ۲/۵ میلیمتر، M24 با قطر بدنه 24 و گام رزوه 3 میلیمتر استفاده شده است. ارتفاع کلی این پیچ ها ۶۸/۸ میلیمتر و نیز قطر و ارتفاع سر پیچ ها به ترتیب ۲۸/۷ و ۸/۱ میلیمتر می باشند. بر روی بدنه پیچ حفره ای به قطر ۵/۱۶ میلیمتر تعبیه شده است که امکان اعمال لنگر سفت شدگی را مهیا می سازد. ابعاد سایر اعضا در شکل (۲) آورده شده اند. شایان ذکر است برای مدل سازی بهتر قطعات، از نرم افزار سالیدورک استفاده شده است که باعث گردید قسمت مارپیچی رزوه با دقت خیلی خوبی مدل شود. از نرم افزار آباکوس 1-6.9 برای تحلیل غیر خطی اتصال مرو به روش اجزای محدود استفاده گردید.

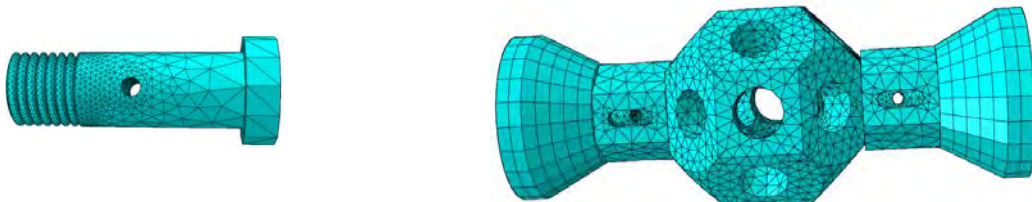


همچنین با مدل کردن سه بعدی اتصال بخاطر ماهیت ماریچی رزوه، در مدل سازی این امکان بوجود می آید که لنگر سفت شدگی به پیچ، اعمال شده و پیش بار حاصله در پیچ اندازه گیری گردد.



شکل ۲ ابعاد اعضای اتصال در مطالعه حاضر

در مدل سه بعدی اتصال مرو، اعضای اتصال با المان پیوسته شبکه بندی شده اند. شکل ۳ مدل المان محدود اتصال و شکل ۴ مدل المان محدود پیچ را در اتصال مورد مطالعه نشان می دهند. به علت ماهیت هندسی نسبتا پیچیده رزوه و همینطور لغزش بین سطوح تماسی رزوه های پیچ با رزوه های گوی و انتقال نیروی عملی به اتصال از طریق سطوح تماسی



شکل ۴ مدل المان محدود پیچ

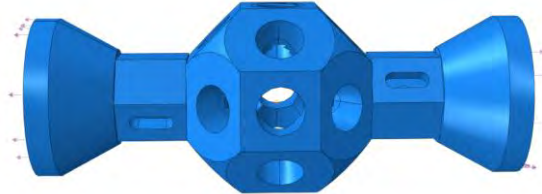
شکل ۳ مدل المان محدود اتصال

رزوه های گوی و پیچ، ابعاد شبکه بندی در قسمت رزوه پیچ بالا و ابعاد المان نسبت به مابقی بدنه پیچ کوچکتر در نظر گرفته شده است. لازم ذکر است که در شبکه بندی مدل المان محدود اتصال مرو مورد نظر، 51146 المان حجمی سری پیوسته بکار رفته است. با توجه به تماس بین اعضای اتصال، لنگر سفت شدگی یا نیروی محوری عملی به اتصال با لغزش بین سطوح تماسی بین اعضا منتقل می شود، لذا با معرفی المان تماسی بین سطوح تماسی اعضا در مدل المان محدود اتصال می توان تماس میان اعضای اتصال را مدل نمود. جهت مدل نمودن تماس میان سطوح تماسی از حالت تماس عمومی استفاده شده است. همچنین برای مدل سازی خصوصیات مصالح فولادی اعضای اتصال، از ضریب پواسون ۰٫۳ و مدول الاستیسیته ۲۱۰۰۰۰ مگا پاسکال و رفتار ارتجاعی - خمیری چند خطه با معیار تسلیم فون میسز، قانون جریان وابسته و قانون سخت شوندگی همسانگرد در نظر گرفته شده است. مشخصات مکانیکی اعضای اتصال در قالب منحنی دو یا سه خطی معرفی شده است.

شایان ذکر است براساس مطالعه رزبارت [۱۵] که ضریب اصطکاک میان ترکیب فولاد نرم روی چدن را در محدوده ۰/۱۷ تا ۰/۱۲ معرفی کرده است. ضریب اصطکاک میان سطوح تماسی اعضا ۰/۱۴ در نظر گرفته شده است. البته ضریب اصطکاک بین سطوح تماسی در آغاز حرکت نسبی سطوح تماسی نسبت به ضریب اصطکاک بین سطوح لغزش آنها نسبتی به یکدیگر بیشتر است. اما با چسبم پوشی از این ویژگی، ضریب اصطکاک بین سطوح تماسی در آغاز و حین لغزش بین سطوح تماس مقداری ثابت معرفی شده است.

اعضای اتصال	(نیوتن بر میلیمتر مربع) تنش تسلیم	(نیوتن بر میلیمتر مربع) تنش گسیختگی
گوی و مخروط انتهایی	۲۴۰	۳۷۰
غلاف	۳۲۰	۵۰۰
پیچ	۶۴۰	۸۰۰

جهت بررسی تغییرات رابطه نیروی محوری - تغییر مکان اتصال و بدست آوردن سختی، تحت اثر مقادیر متفاوت سفت شدگی در پیچ، اثر اعمال هر یک از لنگرهای سفت شدگی 240,180,120,60 نیوتن متر روی رابطه نیروی محوری - تغییر مکان اتصال مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس بارگذاری در دو مرحله انجام می پذیرد. ابتدا لنگر سفت شدگی به پیچ (شکل ۵) اعمال شده و سپس در مرحله دوم نیروی محوری بصورت بار گسترده فشاری یا کششی به سطح حلقوی صلب (شکل ۶) روی قسمت فوقانی مخروط انتهایی وارد می شود.



شکل ۶ موقعیت اعمال نیروی محوری به سطح رینگ صلب روی صفحه فوقانی مخروط انتهایی

شکل ۵ موقعیت اعمال جابجایی روی مرکز سوراخ بدنه پیچ

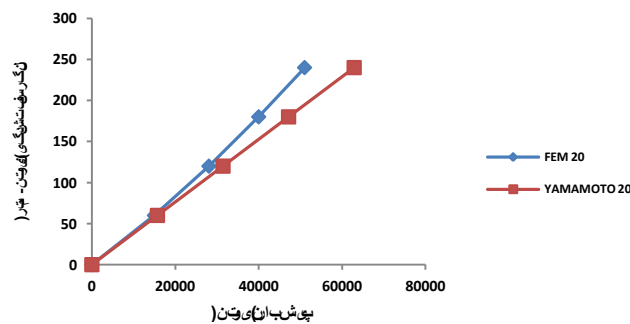
#### ۴. اعتبار سنجی

##### ۴-۱- رابطه لنگر سفت شدگی - پیش بار

با توجه به نتایج تحلیل مدل المان محدود اتصال، کشش یا پیش بار به وجود آمده در عضو پیچ ناشی از اعمال لنگر سفت شدگی، نیروی عکس العمل بوجود آمده در مرکز رینگ صلب واقع در انتهای مخروط ناقص انتهایی اندازه گیری می شود. جهت بررسی رابطه بین لنگر سفت شدگی - کشش بوجود آمده در اتصال پیچی، یاماموتو [8,7] مطالعات زیادی انجام داد. رابطه میان پیش بار  $F_s$  و لنگر سفت شدگی  $T_f$  در محدوده ارتجاعی سفت شدگی با تعادل میان نیروی اصطکاک روی سطح تماس و لنگر سفت شدگی توسط یاماموتو بصورت زیر ارایه شده است.

$$T_f = \frac{1}{2} F_s \left( \frac{P}{\pi} + 1.155 \mu_s d_p + \mu_w D_v \right) \quad (2) \quad \text{و} \quad D_v = \frac{2}{3} \frac{d_w^3 - d_h^3}{d_w^2 - d_h^2} \quad (1)$$

$P, d$  به ترتیب قطر و گام رزوه می باشد  $\mu_w$  و  $\mu_s$  به ترتیب ضریب اصطکاک میان صفحات تماسی رزوه های درگیر و ضریب اصطکاک میان صفحه تماس بین سر مهره و صفحه درگیر می باشد.  $d_p$  نیز قطر موثر رزوه می باشد.  $D_v$  هم قطر موثر لنگر اصطکاکی روی صفحه تماس مهره با صفحه درگیر بوده که در این عبارت  $d_w$  قطر صفحه تماس مهره و  $d_h$  قطر حفره ای است که پیچ به آن وارد می شود. این رابطه برای محدوده ارتجاعی سفت شدگی ارایه شده است. شکل (۷) رابطه بین لنگر سفت شدگی اعمالی به پیچ و کشش بوجود آمده در آن را برای مدل المان محدود کار حاضر در مقایسه با نتایج رابطه یاماموتو برای مدل اتصال با بولت M20 در مطالعه حاضر نشان می دهد.



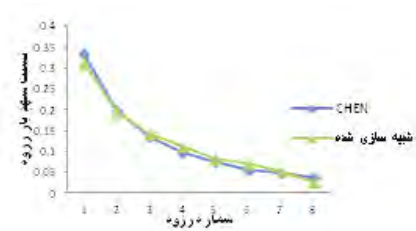
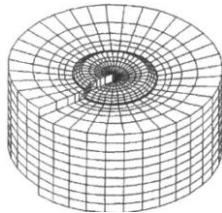
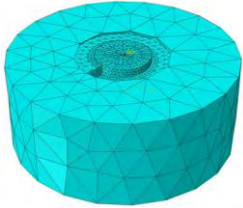
شکل ۷ مقایسه بین رابطه لنگر سفت شدگی - پیش بار اتصال با بولت با رابطه یاماموتو

همانگونه که نتایج تحلیل مدل المان محدود مطالعه حاضر نشان می دهد، به تدریج با افزایش لنگر سفت شدگی اعمالی به پیچ، رابطه لنگر سفت شدگی - پیش بار از فرم خطی خود خارج می گردد. با توجه به اینکه رابطه یاماموتو برای یک مدل عمومی و ساده از اتصال پیچی ارایه شده است و

برخی ویژگیهای منحصر به فرد اتصال مرو با خصوصیات یک مدل ساده از اتصال پیچی مطابقت ندارد، لذا نتایج رابطه یاماموتو با نتایج تحلیل مدل المان محدود برای مقادیر بالای سفت شدگی مطابقت ندارد.

## ۲-۴- کنترل کیفیت مش بندی در ناحیه رزوه

برای اطمینان یافتن از نحوه شبکه بندی و نحوه ی درست توزیع بار روی رزوه ها از سطح بارگذاری نمونه ی کار چن [13] با همان مشخصات برای پیچ 8UNC مدل گردید که در شکل ۸ نشان داده شده است.



(الف) مدل المان محدود شبیه سازی شده (ب) بخشی از مدل مجموعه پیچ و مهره (چن [13])

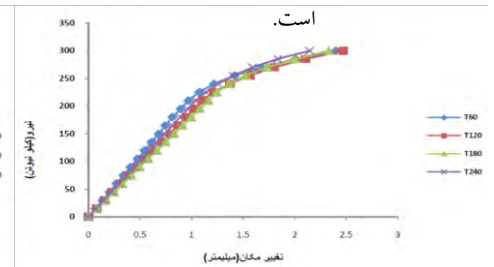
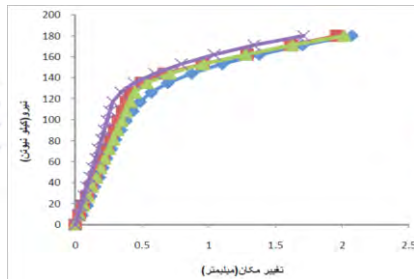
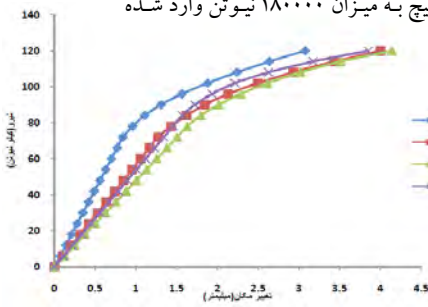
شکل ۸ مدل المان محدود پیچ و شبیه سازی شده

شکل ۹ مقایسه توزیع بار روی رزوه های اتصال

## ۵. بررسی نتایج تحلیل

### ۱-۵- رابطه نیروی کششی - تغییر مکان اتصال تحت اثر سفت شدگی پیچ

اثر اعمال لنگرهای سفت شدگی ۲۴۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ نیوتن متر روی رابطه نیروی کششی - تغییر مکان مدل المان محدود اتصال با بولت M16, M24, M20 در شکل ۱۰ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که نیروی کششی تا حد نهایی پیچ به میزان ۱۸۰۰۰۰ نیوتن وارد شده



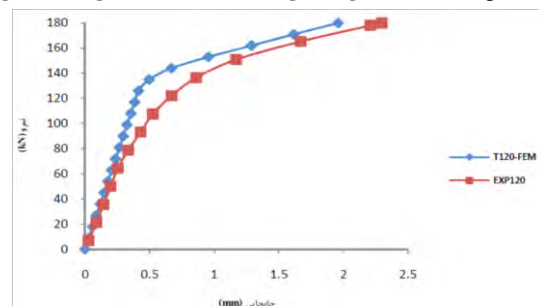
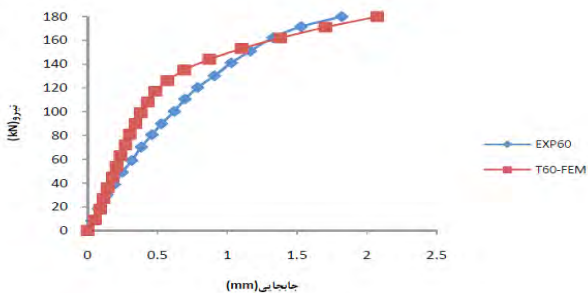
شکل الف- ۱۰ اتصال با بولت M16

شکل ب- ۱۰ اتصال با بولت M20

شکل ج- ۱۰ اتصال با بولت M24

شکل ۱۰ اثر سفت شدگی پیچ بر رابطه نیروی کششی - تغییر مکان اتصال

همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می گردد، به تدریج با افزایش لنگر سفت شدگی اعمالی به پیچ از مقدار ۶۰ تا ۱۸۰ N.m، سختی کششی اتصال در محدوده خطی افزایش می یابد. با توجه به تقریب دو خطی رابطه نیروی کششی - تغییر مکان اتصال به ازای مقادیر متفاوت سفت شدگی در پیچ، در شکل ۱۱ مقایسه سختی کششی اتصال در محدوده خطی و غیر خطی با نتایج تجربی قاسمی [6] آورده شده است.



شکل الف- ۱۱ اتصال با بولت در شرایط سفت شدگی ۶۰ نیوتن متر M20

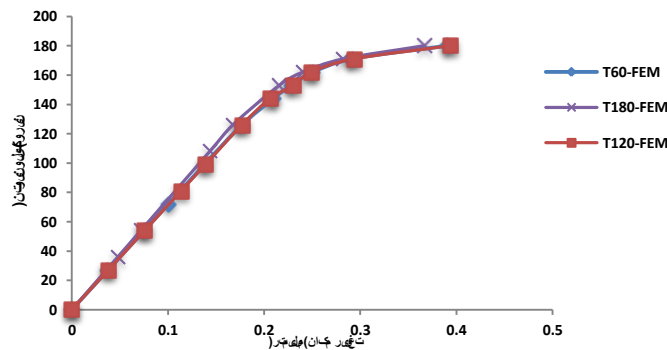
شکل ب- ۱۱ اتصال با بولت در شرایط سفت شدگی ۱۲۰ نیوتن متر M20



۲-۵- رابطه نیروی فشاری- تغییر مکان اتصال تحت اثر سفت شدگی پیچ

با توجه به نتایج تحلیل مدل المان محدود اتصال<sup>۶۰</sup> در بخش اعمال نیروی کششی و قیاس آن با نتایج تجزیه موجود، علی رغم تفاوت مکانیزم انتقال شکل د-۱۱ اتصال با بولت در شرایط سفت شدگی ۲۴۰ نیوتن متر M20 شکل ج-۱۱ اتصال با بولت در شرایط سفت شدگی ۱۸۰ نیوتن متر M20 نیروی کششی و فشاری در اعضای اتصال نتایج تجربی<sup>۶۰</sup> و مطالعه حاضر در بخش کشش و فشاری در شرایط سفت شدگی بهای متفاوت نتایج تحلیل مدل المان

محدود اتصال در مطالعه حاضر قابل پیش بینی است. لازم به ذکر است که در تمام حالاتی که قبل به آن اشاره شده بود ابعاد مخروط و غلاف در اتصال برای ابعاد مختلف پیچ ثابت مانده بود و با توجه به اینکه در حالت فشار غلاف نقش تعیین کننده را ایفا می کند، در نتیجه تنها یک نمودار ترسیم می گردد. در شکل ۱۲ تغییرات رابطه نیروی فشاری- تغییر مکان اتصال برای مقادیر سفت شدگی ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ نیوتن متر نشان داده شده است.



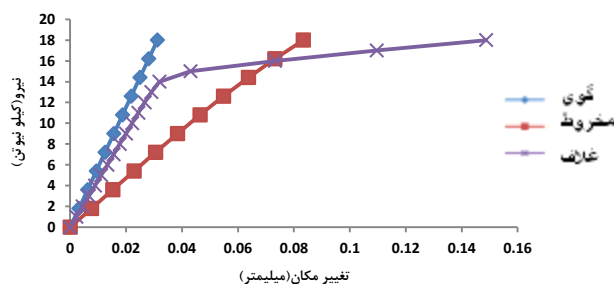
شکل ۱۲ اثرات سفت شدگی پیچ روی رابطه نیروی فشاری- تغییر مکان اتصال

در جدول ۲ مقادیر سختی فشاری اتصال در محدوده خطی و غیر خطی رفتار آن، همچنین مقادیر نیروی فشاری اعمالی به اتصال در آغاز رفتار غیر خطی اتصال برای مقادیر متفاوت سفت شدگی پیچ در آن ارایه شده است.

جدول ۲ مقایسه رفتار اتصال در درجه سفت شدگیهای ۶۰ تا ۱۸۰ نیوتن- متر

شروع مرحله غیر خطی	سختی ثانویه (کیلوگرم بر میلیمتر)	سختی اولیه (کیلوگرم بر میلیمتر)	درجه سفت شدگی (نیوتن.متر)
۱۴۴۴۰	۱۸۴۸۴	۶۹۵۴۸	۶۰
۱۴۴۴۰	۱۸۰۶۲	۷۰۳۰۱	۱۲۰
۱۴۴۴۰	۲۵۴۰۳	۷۲۱۸۴	۱۸۰

همانطور که مشاهده می شود، برای مقادیر سفت شدگی ۱۲۰ و ۶۰ نیوتن متر، رابطه نیروی فشاری-تغییر مکان اتصال در محدوده خطی رفتار آن تقریباً برهم منطبق می باشد. با افزایش سفت شدگی از ۱۲۰ نیوتن متر به ۱۸۰ نیوتن متر، سختی فشاری اتصال در محدوده خطی رفتار آن افزایش می یابد. همچنین نتایج نشان می دهد، آغاز رفتار غیر خطی اتصال در محدوده بار ۱۴۰۰۰ کیلوگرم به وقوع می پیوندد. رابطه نیروی فشاری- تغییر مکان روی هریک از اعضای اتصال در شرایط اعمال نیروی فشاری به اتصال، در شکل ۱۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۳، در شرایط اعمال نیروی فشاری به اتصال آغاز رفتار غیر خطی اتصال از عضو غلاف می باشد، چراکه عضو غلاف در محدوده پایین تری از بار وارد محدوده غیر خطی رفتار خود می گردد.



شکل ۱۳ نمودار رابطه نیروی فشاری - تغییر مکان اعضای اتصال در شرایط اعمال نیروی فشاری به اتصال

قطر بولت (mm)	قطر بولت معادل با کل اتصال در حالت خطی (mm)	قطر بولت معادل با کل اتصال در حالت غیر خطی (mm)
۱۶	D=14, A=150.2(74%)	A=13(6.5%) و D=4
۲۰	D=16, A=204.4(65%)	D=5 و A=21.6(6.9%)
۲۴	D=18, A=243.1(54%)	D=8 و A=48.5(10.7%)
سطح مقطع غلاف (mm <sup>2</sup> )	سطح مقطع معادل با کل اتصال در حالت خطی (mm <sup>2</sup> )	سطح مقطع معادل با کل اتصال در حالت غیر خطی (mm <sup>2</sup> )
685.24	A=610.55(89%)	A=116.7(17%)

### ۳-۵- ارائه رابطه سختی محوری معادل بین کل اتصال با پیچ در فاز کشش و با غلاف در فاز فشار

جدول ۴ رابطه بین سطح مقطع بولت و اتصال در حالت کشش

در حالت کلی برای کاربردی نمودن نتایج حاصل از تحلیل لازم است که رابطه ای بین کل اتصال و بولت در حالت کشش و غلاف در حالت فشار بدست آید، بدین منظور رابطه ای بین سطح مقطع و قطر بولت با سطح مقطع و قطر میله معادل با کل اتصال و همچنین رابطه ای بین سطح مقطع غلاف و سطح مقطع معادل با کل اتصال در حالت غیر خطی آمده که در ذیل آورده شده اند. در ادامه در جداول ۳ و ۴ این روابط و معادل سازی آورده شده اند.

جدول ۳ رابطه بین سطح مقطع غلاف و اتصال در حالت فشار

در نهایت میتوانیم از رابطه ی ساده شده ی زیر برای معادل سازی پیچی معادل با کل اتصال و بولت استفاده نماییم.

$d$ : قطر پیچ بکار رفته در اتصال  $D$ : قطر پیچ معادل با کل اتصال

روابط ۳ و ۴ به ترتیب در نواحی خطی و غیرخطی کاربرد دارند.

$$d_{(eq)} = -0.0263D^2 + 1.522D - 3.7914 \quad (3)$$

$$d_{(eq)} = 0.0449D^2 - 1.3235D + 13.741 \quad (4)$$

### ۶. نتیجه گیری

- در بیشتر موارد نیرویی که در آن، اتصال وارد مرحله غیرخطی می شود، نزدیک به نیرویی است که پیچ به مرحله غیرخطی می رسد. پس می توان به این نتیجه رسید که پیچ در حالت کشش نقش اساسی در رفتار اتصال دارد.
- بررسی رابطه نیرو- تغییر مکان برای هر یک از اجزاء اتصال نشان می دهد، در بخش اعمال نیروی فشاری در اتصال شروع رفتار غیرخطی ابتدا از عضو غلاف خواهد بود. به عبارت دیگر رفتار غیرخطی اتصال از ورود غلاف به محدوده رفتار غیرخطی آغاز می شود.



۳. نسبت سختی معادل اولیه اتصال با افزایش اندازه بولت از ۱۶ به ۲۰ و ۲۴ به ترتیب ۱،۸ و ۱،۹ و ۲،۲ و نیز نسبت سختی معادل ثانویه اتصال با افزایش اندازه بولت از ۱۶ به ۲۰ و ۲۴ به ترتیب ۲ و ۲،۲ و ۲،۳ می شود. نسبت سختی معادل اولیه اتصال با غلاف ۳،۷۳ و نسبت سختی معادل ثانویه اتصال با غلاف ۱،۳ می باشد.
۴. رابطه بین قطر بولت و قطر پیچ معادل با اتصال در ناحیه خطی بصورت  $d_{(eq)} = -0.0263D^2 + 1.522D - 3.7914$  بیان می گردد. همچنین رابطه بین قطر بولت و قطر پیچ معادل با اتصال در ناحیه خطی بصورت  $d_{(eq)} = 0.0449D^2 - 1.3235D + 13.741$  بیان می گردد.
۵. در حالت اعمال نیروی فشاری، سطح مقطع معادل کل اتصال نسبت به غلاف ۸۹٪ سطح مقطع غلاف در ناحیه خطی و ۱۷٪ سطح مقطع غلاف در ناحیه غیر خطی می باشد.
۶. کرنش تسلیم کل اتصال مرو برای حالات استفاده از پیچ های M24, M20, M16 به ترتیب ۰،۰۰۸۲۵، ۰،۰۰۶۶۱ و ۰،۰۰۵۶۶۴ می باشد.

## ۷. مراجع

- [1] Androic.B,1992"Deformations Observed On Systems Of long Span Space Trusses" International Journal Of Space Structures, vol 7(3).
- [2] El-Sheikh. A, (1993) "Numerical analysis of space Trusses with Flexible Member-End Joints" International Journal of space structures,8(3), 189-197
- [3] Vaseghi. J and Davoodi. MR, (2002), "Modeling of semi rigid Behavior of MERO Jointing System", Proceeding of International conference of space structures, university of surrey, UK, 306-316.
- [4] Davoodi, M.R & Pashaei, M.H & Mostafavian S.A, "Experimental study of the effects of Bolt Tightness on the behaviour of MERO-type double-layer grids", journal of the international association for shell and spatial structures, Vol.48, No.1, April 2007, pp.45-52.
- [5] Pashaei.MR, Davoodi.MR and Noshin.H,(2006) "Effects of Tightness of Bolts on The Damping of a MERO-Type Double Layer Grid" International Journal of Space Structures Volume 21, Number 2,103-110(8).
- [6] Ghasemi. M , Davoodi. MR and Mostafavian . S.A (2010), "Tensile stiffnes of MERO – type connector regarding bolt tightness", Journal of applied sciences, Department of civil engineering, university of babol , 724-730.
- [7] محمودیان، کیوان. (۱۳۸۷) "ارزیابی رابطه بین لنگر سفت شدگی اعمالی و کشش حاصل در پیچ اتصال MERO"، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شیراز.
- [8] گلی، مهدی. (۱۳۸۸) "مطالعه تجربی تاثیر درجه سفت شدگی پیچ بر رفتار حالت فشاری اتصال MERO"، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شیراز.
- [9] Chenaghloou.MR,(1997)" Semi-Rigidity of Connection In Space Structures" PH.D. Thesis, University of Surrey.





[10] Shibata. R and Kato.S,(1993) "Experimental Study on The Ultimate Strength of Single-Layer Reticular Domes" Proceeding of The Fourth International Conference of Space Structures, University of Surrey, UK, 387-395.

[11] Yamamoto ,A (1995),"Principle and design of screw joint ",Tokyo ,Yokendo Ltd . p.30-4.

[12] Yamamoto ,A (1970) ," Theory and calculation of thread fastener ", Tokyo ,Yokendo Ltd.

[13] Chen, J.J & Shih, Y.S, (1999), " A study of the helical effect on the thread connection by three dimensional finite element analysis", University of Taiwan, Dep. Of Mechanical Engineering.

[14] Shigley.E and Mischke.C, (2003)" Mechanical Engineering Design" six Metric Edition, MC Graw-Hill,NewYork .

[15] Rothbart,H.A, (1985) ," Mechanical design and systems handbook" , 2nd ed. Mc Graw- Hill , Newyork.