

ارزیابی رفتار اتصال نیمه صلب گویسان تحت بارگذاری ترکیبی

مهدی عبادی جامخانه^{۱*}، محمد رضا داودی^۲، جواد عبادی جامخانه^۳

- ۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-سازه، دانشگاه سمنان
- ۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
- ۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران-زلزله، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

mehdi.ebadi@semnan.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۶/۰۲/۳۱]

تاریخ دریافت: [۹۵/۰۹/۱۴]

چکیده

به منظور در نظر گرفتن تاثیر اتصال در تحلیل سازه، رفتار واقعی آنها باید تحت بارگذاری های ترکیبی بررسی شود. در شبکه های دو لایه که مرسوم ترین عضو خانواده سازه های فضاکار هستند، نیروهای محوری نقش کلیدی را ایفا می کنند. در مطالعه حاضر به کمک روش اجزاء محدود سه بعدی، آثار نیروی فشاری و نیروی برشی و لنگر خمشی روی اتصال مرو و میزان دخالت اعضا در سهم بودن تحمل بار بررسی شده است. رابطه نیرو- تغییر مکان و لنگر خمشی- دوران برای سیستم اتصال مرو تحت بارگذاری فشاری، کششی و لنگر خمشی تعیین شد. نتایج بدست آمده از شبیه سازی اجزاء محدود با نتایج آزمایش تجربی هماهنگی بسیار مناسبی دارد. همچنین مشخص شد که در هر دو حالت بارگذاری فشاری و کششی، عضو گوی زودتر وارد مرحله پلاستیک می شود و نیز نیروی محوری فشاری، سختی خمشی اولیه ی اتصال را افزایش می دهد و لنگر خمشی الاستیک با افزایش نیروی فشاری، کاهش می یابد.

واژگان کلیدی: اتصال مرو، اجزاء محدود، رابطه لنگر خمشی-دوران، رابطه نیرو-تغییر مکان.

۱- مقدمه

ویژگیهای مکانیکی و هندسی متفاوت که بوسیله پیچ بهم متصل شده اند، وجود ناپوستگی های میان اجزای تشکیل دهنده اتصال به همراه پیش تنیدگی ناشی از سفت شدگی پیچ و ماهیت مارپیچی رزوه پیچیدگی رفتار اتصال را تشدید می کنند. لازم به ذکر است که پژوهش های صورت گرفته در زمینه مدل سازی اتصال با پیچ و رزوه، مدل های ارائه شده دارای ساده سازی های بسیار و بعضاً چشم پوشی از اثر مارپیچی رزوه شده است. داودی و همکاران [1] با ساخت یک شبکه دولایه با اتصال گویسان در مقیاس واقعی، رابطه بار-

اتصال گویسان یکی از رایج ترین اتصالاتی است که در ساخت شبکه های دو یا چند لایه بکار می رود. در تحلیل استاتیکی شبکه های دو یا چند لایه تحت بارهای اعمال شده بر گره ها (و در صورت برخورد محور طولی اعضای بهم متصل شده در مرکز گره مربوطه)، نیروی محوری غالب بوده و سایر نیروها و لنگرها نقش ثانویه دارند. برای لحاظ کردن اثر اتصالات در تحلیل استاتیکی سازه ها، کافی است تا رابطه نیرو- تغییر مکان محوری آن ها تعیین شود. وجود اجزاء مختلف با

نیروی کششی ثابت کاهش می‌یابد. فنگ⁵ و همکاران [13] روی دو اتصال سوکت و گویسان تحت اثر لنگر خمشی با و بدون اعمال نیروی محوری آزمایش تجربی انجام دادند. نتیجه پژوهش آن‌ها بدین صورت بود که سیستم‌های اتصال سوکت و گویسان دارای سختی خمشی خوبی هستند. فلورستان⁶ و همکاران [14] مدلی سه بعدی از بولت با رزوه ارائه کردند و آن را تحت لنگر سفت شدگی قرار دادند. چن و شی⁷ [15] مطالعاتی را با روش المان محدود روی اتصال پیچی انجام دادند. در این مدل‌ها، آثار اصطکاک و زاویه میل رزوه‌ها روی توزیع بار در هر رزوه بررسی شد. قاسمی و همکاران [16] با مطالعه تجربی یک اتصال گویسان مجزا رابطه نیرو-تغییر مکان آن را در حالت کششی و با درجات سفت شدگی متفاوت بدست آوردند. با توجه به مطالعات اندکی که در زمینه‌ی مدل‌سازی رفتار پیچیده اتصال مرو صورت گرفته است، در این پژوهش سعی بر آن شده است تا کمبودهایی از قبیل مدل‌سازی رزوه‌های مارپیچی پیچ و گوی و اثر اندرکنشی آن‌ها بر یکدیگر تحت بارهای کششی، فشاری، برشی و خمشی بررسی شود. تعیین و بررسی رفتار اجزاء مختلف یک اتصال گویسان تحت بارگذاری ترکیبی، موضوع این پژوهش است. در این پژوهش، شبیه‌سازی عددی شکل رزوه و بخش‌های مختلف اتصال با استفاده از نرم‌افزار سالیدورکس⁸ و تحلیل آن با کمک نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS v6.13.1 انجام شده است. در این مقاله از برنامه ABAQUS/Standard [20] برای مدل شبیه‌سازی استفاده شده است. با در نظرگیری رزوه‌های پیچ (و گوی) در این مدل، قابلیت مدل‌سازی انتقال تنش بین اجزای مختلف اتصال وجود داشت. رابطه نیرو-تغییر مکان اتصال گویسان در حالت‌های کشش و فشار به روش عددی، نتایج عددی بدست آمده با نتایج تجربی موجود مقایسه شد. پس از اعتباربخشی مدل‌های شبیه‌سازی شده، مدل تحت بارگذاری ترکیبی قرار می‌گیرد و رفتار آن بررسی می‌شود.

تغییر مکان چند گره از شبکه را در اثر اعمال یک بار متمرکز مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعه آنان نشان داد که پاسخ‌های تحلیلی سازه بدون لحاظ کردن اثر اتصال تفاوت چشمگیری با پاسخ‌های واقعی آن دارند. آن‌ها همچنین دریافتند که درجه سفت شدگی پیچ‌ها بر رفتار شبکه اثر می‌گذارد. داودی و همکاران [2] با مطالعه تجربی روی همان شبکه نشان دادند که رفتار اتصال گویسان و درجه سفت شدگی پیچ آن تاثیر قابل توجهی روی پاسخ‌های دینامیکی شبکه دارد. داودی و همکاران [3] با استفاده از تکنیک بهنگام سازی مدل اجزاء محدود، رابطه نیرو-تغییر مکان یک اتصال گویسان را در یک شبکه دو لایه بدست آوردند. در این پژوهش با استفاده از پاسخ سازه و روش معکوس به رفتار و مشخصات مکانیکی اجزا دست یافتند. پس از اثر رزوه در پیچ و گوی چشم‌پوشی شده است. مطالعات پیشین در دانشگاه کمبریج که به وسیله سی⁴ [4] و فتح الباب² [5] انجام شده است، نشان می‌دهد که رفتار یک شبکه دولایه با اتصالات مفصلی متفاوت با رفتار همان سازه با اتصال صلب است. فتح الباب همچنین نشان داد که سختی اتصال تاثیر قابل ملاحظه‌ای روی رفتار نیرو-تغییر مکان سازه دارد [6-7]. به همین سبب برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر تحلیل باید اثر اتصال در تحلیل سازه لحاظ شود. در سال ۱۹۹۹ مالک [8] نتایج آزمایش‌هایی با بارگذاری تک محوری و دو محوری بر پیوندهای گوی سان نیامی ارائه داد که اطلاعات رفتاری جدیدی در زمینه انعطاف پذیری این نوع از پیوندها در اختیار قرار داده است. ال-شیخ³ [9]، چناقلو و نوشین [10] دریافتند که رفتار کلی سازه و مود شکست یک سازه از سختی خمشی اتصال تاثیر می‌پذیرد. چناقلو [11] دریافت که نیروی محوری فشاری تاثیر بسیار مهمی روی پارامترهای رفتار لنگر-دوران یک اتصال مرو دارد و همچنین مدل ریاضی از رفتار لنگر-دوران ارائه کرد تا تاثیر نیروی محوری در نظر گرفته شود. یوکی⁴ [12] نشان داد که صلیبیت اتصال تحت نیروی فشاری ثابت افزایش و تحت

5 Feng

6 Florestan

7 Chen and Shih

8 Solidworks

1 See

2 Fathelbab

3 El-sheikh

4 Ueki

۲- سیستم اتصال مرو

سیستم اتصال مرو یک سیستم چند محوره است که تا ۱۴ عضو لوله‌ای به آن می‌تواند وارد شود. این سیستم متشکل از المان‌های لوله‌ای است که به وسیله سیستم اتصال مرو، در یک گره به هم می‌رسند. شکل (۱) نمایی از این اتصال را نمایش می‌دهد.

شکل ۱. سیستم اتصال مرو

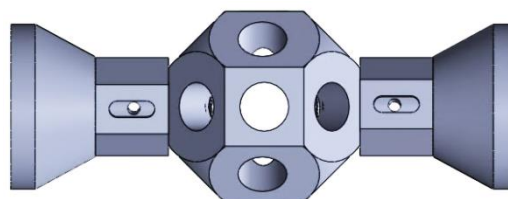


Fig. 1. Mero joint system

اندرکنش بین المان‌های لوله‌ای و اتصالات در سازه‌های دو لایه بیشتر شامل آثار کشش و فشار است. کشش در المان لوله توسط مخروط انتهایی و پیچ به گوی منتقل می‌شود. در این حالت پیچ تحت کشش بوده و غلاف غیر فعال است. نیروی فشاری در المان از طریق مخروط انتهایی و غلاف به گوی منتقل می‌شود. اجزاء اتصال در شکل (۲) آمده است.

شکل ۲. اجزا اتصال سیستم مرو

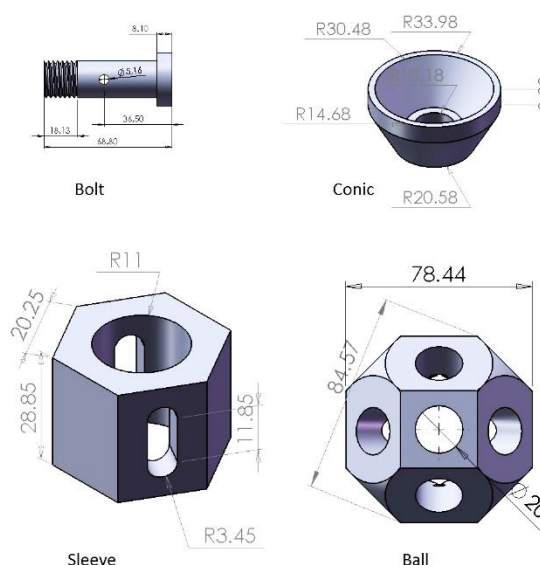


Fig. 2. Parts of the Mero joint

۳- بارگذاری و شبیه سازی پارامترها

مدل استفاده شده در این مقاله ترکیبی از چهار المان است: یک پیچ با سطح مقطع دایره‌ای با قطر ۲۰ میلی‌متر و طول کل ۶۸۸ میلی‌متر که لنگر سفت شدگی به آن وارد می‌شود، یک غلاف به طول ۳۰ میلی‌متر، مخروط ناقص که با غلاف و پیچ در تماس است که بار محوری به آن وارد می‌شود و گوی با قطر خارجی ۸۰ میلی‌متر است. همچنین در آزمایش خمش از لوله‌ای با طول ۵۰۰ میلی‌متر و قطر خارجی برابر با قطر خارجی مخروط انتهایی استفاده شده است. (لوله در شکل ۴ نشان داده شده است). سطوح تماسی بین اجزاء مختلف از نوع تماس عمومی و در تمام حالات تماسی از ضریب اصطکاک ۰/۱۴ [19] و حالت تماس سخت^۱ استفاده شده است. منظور از حالت سخت در برنامه به معنی اجازه نفوذ ندادن اجزاء در یکدیگر و امکان جدایش بین اجزاء اتصال (از قبیل غلاف و مخروط) تحت بارهای کششی است [20]. برای برطرف نمودن تداخل احجام هندسی در نواحی دارای شکستگی و رزوه از دستور نرم شوندگی^۲ در بخش اندرکنش‌ها استفاده شده است. علاوه بر این، تغییر مکان تنها در راستای دو عضو عمود بر هم تعریف شده است. با وجود این شرایط، پیچ و بقیه اعضا به صورت شکل پذیر و با رفتار واقعی در طول عمل سرهم بندی نمودن قطعات، در نظر گرفته شده‌اند. پارامترهای بارگذاری در جدول (۱) آمده است. لازم به ذکر است که تحلیل استاتیکی با فرض رفتار الاستو پلاستیک انجام شده که از آن می‌توان نواحی تمرکز تنش را دریافت.

۴- ویژگی‌های مصالح

برای مدل‌سازی ویژگی‌های مصالح فولادی اعضای اتصال، از ضریب پواسون ۰/۳ و مدول الاستیسیته ۲۰۰۰۰۰ مگاپاسکال و رفتار ارتجاعی - خمیری چند خطه با معیار تسلیم فون میسز، قانون جریان وابسته و قانون سخت شوندگی همسانگرد در نظر گرفته شده است. در شکل (۵) منحنی تنش- کرنش مصالح اجزاء اتصال نشان داده شده است.

1 Hard Contact
2 Smoothing

۶- شرایط مرزی

با توجه به شکل (۴-الف)، نیرو به صورت کنترل تغییر مکان و افزایش خطی به گره‌های انتهایی مخروط ناقص وارد می‌شود. برای اعمال لنگر خمشی مطابق با شکل (۴-ب) قید تکیه‌گاهی مفصلی ثابت برای پایداری اتصال در زیر دو ورق انتهایی قرار داده شده است و تغییر مکان مونوتونیک به بالای گوی برای اعمال لنگر خمشی وارد می‌شود.

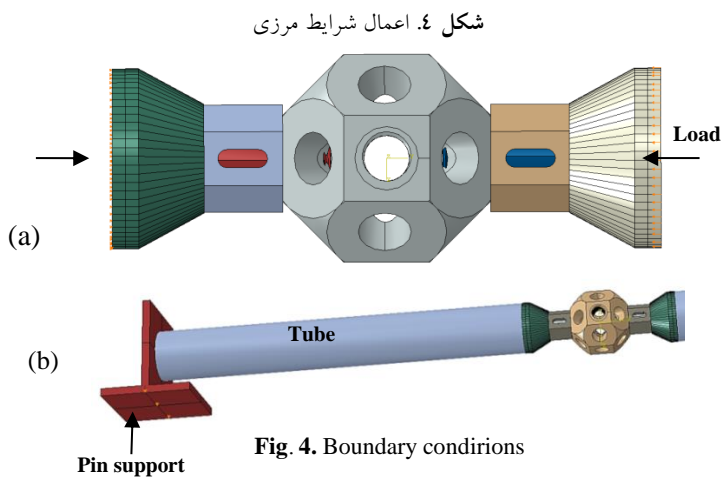


Fig. 4. Boundary conditions

۷- نتایج آزمایش و بحث

۷-۱- اتصال تحت نیروی کششی خالص محوری

برای اعتباربخشی مدل شبیه‌سازی شده اتصال مرو، نتایج مدل اجزاء محدود با نتایج نمونه‌ی تجربی [16] مقایسه شده است. شکل (۵) مدل تجربی و شکل (۶) نتیجه آزمایش تجربی [18] و مدل شبیه‌سازی شده در حالت بارگذاری کششی محوری به روش اجزاء محدود را نشان می‌دهد. با توجه به مقایسه بین منحنی‌های نیرو-تغییر مکان اجزای مختلف اتصال و اتصال مرو مشاهده می‌شود که گوی زودتر از سایر اعضا وارد مرحله غیرخطی می‌شود و این امر باعث تغییر مسیر نمودار نیرو-تغییر مکان اتصال می‌شود. در شکل (۷) این موضوع نشان داده شده است. در جدول (۲) مقایسه‌ای بین سختی‌های منحنی نیرو-تغییر مکان انجام گرفته است.

شکل ۳. مشخصات مصالح اجزا اتصال

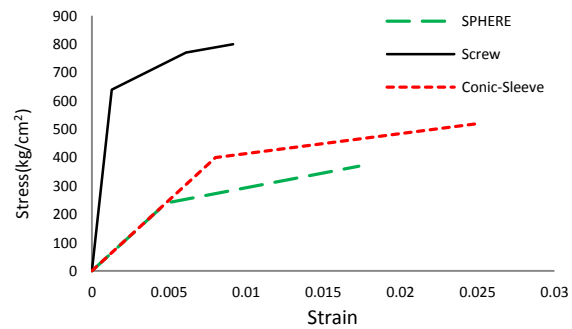


Fig. 3. Material properties

جدول ۱. پارمترهای بارگذاری

(mm) Diameter	Speed rate (mm/s)	Tensile displacement (mm)	Compressive displacement (mm)
10.8	0.1	2	1

Table 1. Loading parameters

۵- شبکه‌بندی

تحلیلگر ABAQUS/Standard عمل شبکه‌بندی را با روش حل مسئله انتشار موج انجام می‌دهد. بنابراین، نیروهای خارج از تعادل به عنوان امواج تنش بین المان‌های نزدیک منتشر شده و یک راه حل محدود به دست می‌آید، تنها زمانی که نمو زمان کمتر از افزایش زمان پایدار است. بنابراین، زمان پردازنده برای محاسبه نمو با کاهش اندازه المان افزایش می‌یابد. در نهایت، شبکه‌بندی سازگاری با استفاده از روش ALEABAQUS برای هماهنگی با تغییرشکل بزرگ که در محل رزوه و به منظور بهبود دقت حل در منطقه رزوه، انجام شد. پیچ، غلاف و گوی به عنوان یک بخش گسسته، با المان C3D10، عناصر چهار وجهی، سه بعدی، ده گرهی و محیط پیوسته مدل شده است. مخروط ناقص به صورت C3D8R با المان‌های شش وجهی، سه بعدی، هشت گرهی و با روش انتگرال کاهش یافته مدل شده است. اندازه المان‌ها در مناطق رزوه به دلیل حفظ هندسه و نتایج خروجی مناسب از سایر بخش‌ها ریزتر در نظر گرفته شدند.

جدول ۲. سختی اتصال در مدل عددی و آزمایشگاهی

	K_1 (kg/mm)	K_2 (kg/mm)	K_3 (kg/mm)
Experimental	18400	8012	4640
Numerical	19075	7837	3620
ratio(%)=N/E	1.037	0.978	0.780

Table 2. Joint stiffness in experimental and FEM model.

منظور از حروف K_1 ، K_2 و K_3 سختی‌های منحنی سه خطی مطابق با شکل (۸) است. با توجه به نتیجه، در ناحیه خطی سختی اتصال مدل اجزاء محدود با سختی اتصال آزمایشگاهی هماهنگی بسیار خوبی دارد (اختلاف ۳/۷۰ درصد). در حالت کششی بولت نقش اساسی را در سازوکار انتقال نیرو ایفا می‌کند و غلاف در این سازوکار نقشی ندارد. در پایان مرحله الاستیک (تسلیم) و مرحله غیر خطی به تفکیک تنش عضو کلیدی (پیچ) آورده شده است و می‌توان مشاهده کرد که در چه گامی وارد مرحله پلاستیک شده است که باعث تغییر مسیر نمودار نیرو- تغییر مکان شده است (شکل ۸). در محل شکاف و رزوه‌ها که دارای شکستگی و سطح مقطع کمتری هستند تمرکز تنش بیشتر است. طبق مطالعات پیشین [15] سه رزوه اول بیشترین سهم را در جذب نیروی محوری دارند که در شکل (۹) به خوبی نشان داده شده است.

شکل ۸. مشخص کردن نقاط سختی

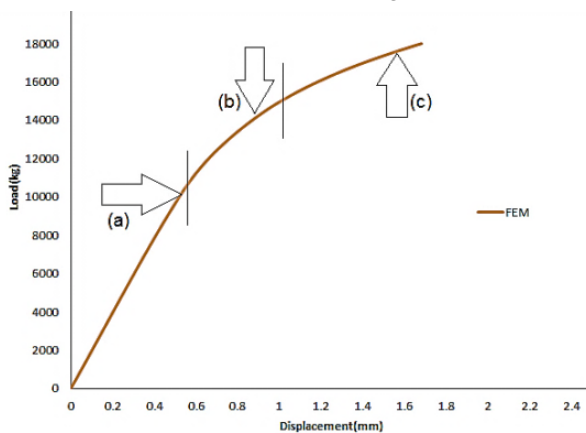


Fig. 8. Determine of stiffness points

شکل ۵. مدل آزمایشگاهی اتصال مرو تحت بارگذاری کششی خالص [16]



Fig. 5. Experimental model of Mero joint under tensile load [16].

شکل ۶. مقایسه نتایج شبیه‌سازی عددی و آزمایش تجربی اتصال مرو در حالت بارگذاری کششی

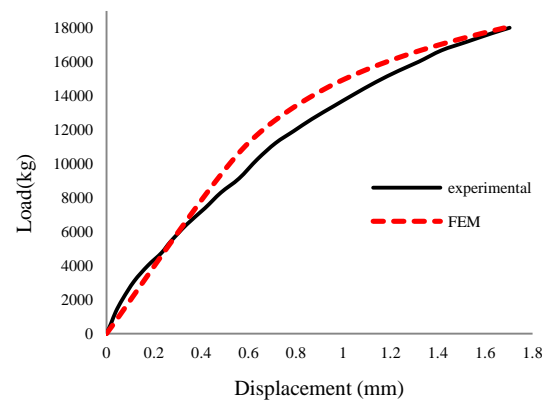


Fig. 6. Comparison of experimental and numerical results.

شکل ۷. منحنی نیرو- تغییر مکان اجزای اتصال تحت بارگذاری کششی

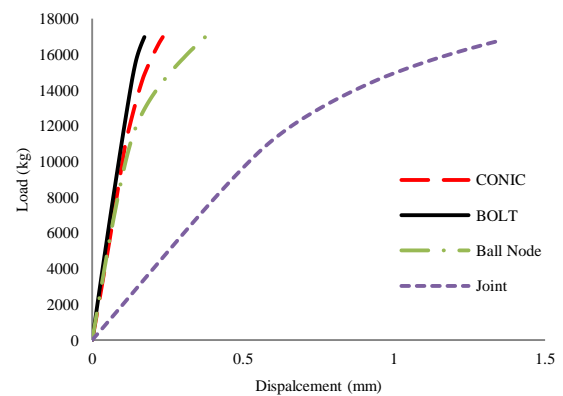


Fig. 7. Load-displacement curve of joint parts under tensile loading.

شکل (۱۱) مقایسه نتایج شبیه سازی عددی و آزمایش تجربی اتصال مرو در حالت بارگذاری فشاری

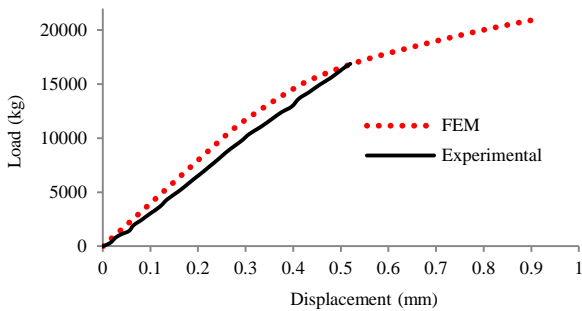


Fig. 11. Comparison of experimental and numerical results of Mero joint under compressive loading.

شکل ۱۲. منحنی نیرو- تغییر مکان اجزای اتصال تحت بارگذاری فشاری

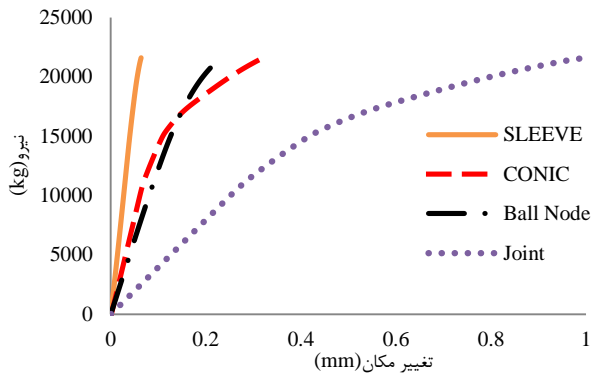


Fig. 12. Load-displacement of joint parts under compressive loading.

در جدول (۳) مقایسه‌ای بین سختی منحنی نیرو- تغییر مکان حالت نیروی فشاری خالص انجام گرفته است.

جدول ۳. سختی‌های اتصال در مدل شبیه‌سازی شده و آزمایش تجربی

	K_1 (kg/mm)	K_2 (kg/mm)
Experimental	33250	-
Numerical	33715	9986
ratio (%)=N/E	1.014	-

Table 3. Joint stiffnesses of FEM and experimental models.

نتیجه مدل‌سازی نشان دهنده‌ی اختلاف ۱/۴ درصد بین نتیجه شبیه‌سازی و تجربی است که هماهنگی مناسبی دارد. در شکل (۱۳) تنش عضو موثر غلاف در حالت فشاری خالص در مرحله تسلیم اتصال و پایان بارگذاری نشان داده شده است. لازم به ذکر است که نتایج نشان داده شده در شکل‌ها وابسته به

شکل ۹. توزیع تنش در بولت در بارگذاری کششی

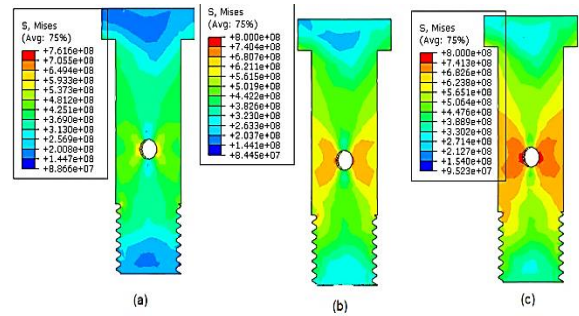


Fig. 9. Stress distribution of bolt in tensile loading

در شکل (۹) به دلیل سطح مقطع کمتر در محل سوراخ بدنه‌ی پیچ، حول سوراخ تمرکز تنش بالایی مشاهده می‌شود.

شکل ۱۰. نیروی تماسی بین رزوه‌های بولت و گوی در اثر بارگذاری کششی

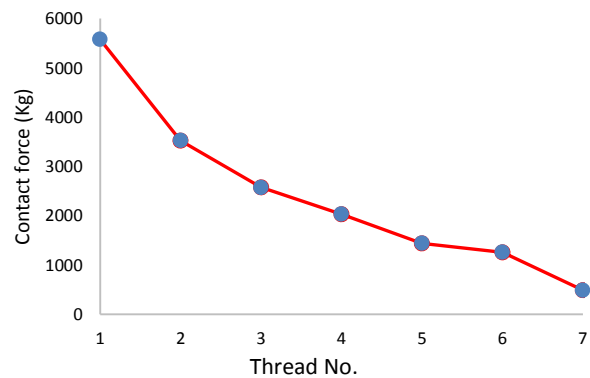


Fig. 10. Contact force between bolt and ball thread

در حالت کششی خالص، محل سوراخ در بولت، لبه بیرونی مخروط انتهایی اتصال و رزوه اول و بخش‌هایی از گوی که دارای ضخامت و سطح مقطع کمی هستند، زودتر به حالت تسلیم رسیدند.

۷-۲- اتصال تحت نیروی فشاری خالص محوری

در شکل (۱۱) می‌توان دقت و مدل سازی صحیح و درست رفتار اتصال مدل‌سازی شده و مقایسه‌ی آن با نتیجه تجربی [17] در حالت بارگذاری فشاری مشاهده نمود. سختی فشاری در محدوده رفتار خطی غلاف از سختی فشاری مدل اتصال بیشتر است. با مقایسه بین بین اعضای اتصال و کل اتصال در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود که مخروط زودتر تسلیم شده است که این باعث تغییر مسیر نمودار شده است.

نقاط ابتدای لوله و ابتدای گوی است. I_1 فاصله بین این دو نقطه است. از منحنی لنگر خمشی - دوران می توان به سختی خمشی اولیه، لنگر مقاوم و ظرفیت دورانی اتصال پی برد [21] (شکل ۱۴).

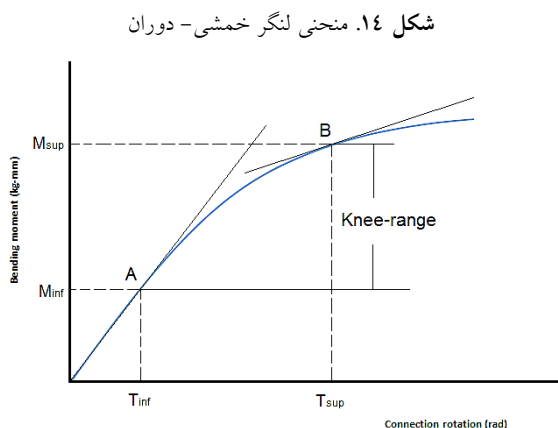


Fig. 14. Bending moment-rotation curve.

برای محاسبه ی دوران، از نقطه وسط سطح مقطع دایره ای لوله در ابتدا و نقطه ی مرکز دایره ای سطح سوراخ شده گوی استفاده می شود. با محاسبه تغییر مکان استخراجی متناسب با جهت بارگذاری می توان با تقسیم تفاضل این دو مقدار بر طول، دوران را محاسبه نمود. در این مطالعه، تغییر شکل الاستیک لوله خیلی کم و در حد ۱٪ است که در قیاس با تغییر شکل اتصال قابل چشم پوشی کردن است. بنابراین تغییر شکل دورانی تقریباً برابر با تغییر شکل اتصال است.

در شکل (۱۴) خط مماس بر نقطه ی A دارای شیبی است که همان سختی خمشی اولیه نامیده می شود. خط مماس بر نقطه ی B دارای شیب کمتری نسبت به شیب اولیه است که سختی کاهش یافته است و سختی خمشی کاهش یافته در اینجا ۲۰٪ سختی خمشی اولیه بوده است. بدین ترتیب لنگرهای متناظر با نقاط A و B لنگرهای الاستیک و پلاستیک نامیده می شوند. محدوده زانویی^۱ محدوده ای بین سختی اولیه و سختی خمشی کاهش یافته است. از پایین به M_{inf} و Φ_{inf} و از بالا به M_{sup} و Φ_{sup} ختم می شود. چگونگی اعمال بارگذاری بصورت تغییر مکان به بالای گوی و افزایشی خطی است. در اثر اعمال

نوع مصالح و ابعاد نمونه است. همچنین با مدل سازی دو نمونه اتصال تحت بارگذاری کششی و فشاری، نوعی درستی آزمایی برای اتصالات مشابه و دارای تشابه ابعادی به شمار می رود.

شکل ۱۳. توزیع تنش در غلاف در بارگذاری فشاری

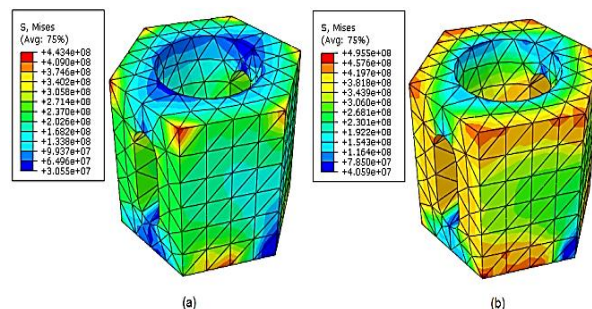


Fig. 13. Stress distribution of sleeve under compressive loading.

در حالت فشاری مشخص شده است که ابتدا نواحی رزوه شده گوی، لبه بیرونی مخروط انتهایی و گوشه ها و لبه های باز شوی غلاف که دارای سطح مقطع کمی هستند، زودتر به تنش تسلیم رسیدند. نواحی آبی رنگ تحتانی در غلاف نشان دهنده ی این است که این نواحی در تماس با گوی نبودند و نواحی آبی رنگ فوقانی (نواحی با تنش خیلی کم) غلاف بیانگر این است که سطح تماسی بین غلاف و بولت در حالت فشاری وجود ندارد.

۳-۷- اتصال تحت لنگر خمشی

رفتار مکانیکی اتصالات را می توان به صورت منحنی لنگر - دوران که ارتباط بین لنگر خمشی اعمالی و دوران مرتبط با آن را نشان می دهد، بیان نمود. لنگر خمشی اعمالی به اتصال برابر با نیروی تکیه گاه در طول یک لوله است. تغییر شکل دورانی نیز برابر با مجموع تغییر شکل های الاستیک لوله فلزی و تغییر شکل دورانی اتصال است.

$$\theta = \frac{\sum_{k=1}^n \theta_{ij}}{n} \quad (1)$$

$$\theta_{ij} = \arctan\left(\frac{\delta_i - \delta_j}{l_{ij}}\right) \quad (2)$$

در روابط فوق δ_i و δ_j تغییر مکان های اندازه گیری شده

¹ Knee-range

اتصال وارد شود، پس در این بخش به بررسی اثر ترکیبی بار فشاری و برش و لنگر خمشی پرداخته می شود. با توجه به شکل (۱۶) میزان دوران اتصال و لنگر خمشی قابل محاسبه است. در شکل (۱۷) تنش های ایجاد شده در اجزای اتصال تحت بارگذاری ترکیبی نشان داده شده است.

شکل ۱۶. تعریف لنگر خمشی و دوران اتصال

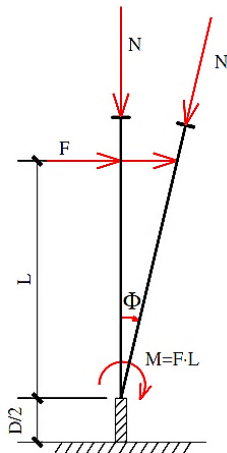


Fig. 16. Bending moment and rotation definition.

شکل ۱۷. تنش های ایجاد شده در اعضای اتصال تحت نیروی ترکیبی

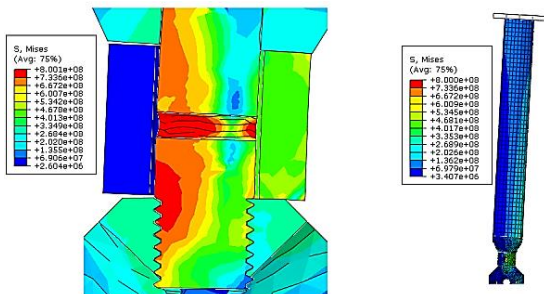


Fig. 17. Stress distribution of connection under combine load.

تمام بارگذاری ها به صورت کنترل تغییر مکانی است. عنوان test1 در نمودار شکل (۱۸) مربوط به مدل شبیه سازی شده ی لوله و اتصال در حالت اول تحت بارگذاری فشاری به میزان ۱ میلی متر و عنوان test2 مربوط به حالت دوم با بارگذاری فشاری به میزان ۲ میلی متر است. در هر دو حالت، بارگذاری تغییر مکانی عرضی (برش) به میزان ۲۵ میلی متر اعمال شده است. همچنین می توان به تاثیر بارگذاری جانبی و فشاری و شکافی که بین غلاف و گوی ایجاد می شود و همچنین نیروی فشاری که به رزوه های بولت اعمال می شود، پی برد. در شکل

بار لنگر خمشی، قسمت بالای غلاف تحت فشار قرار می گیرد و پایین غلاف تحت تنش های کششی است. با حضور لنگر خمشی مثبت، انتظار می رود که بخش بالایی بولت تحت فشار و تحتانی تحت کشش باشند. در هنگام اعمال بار، بخش فوقانی گوی تحت فشار و قسمت تحتانی آن تحت کشش است و سوراخ رزوه شده گوی به بخش های پایینی بولت، فشار ناشی از باز شدن وارد می نماید و این امر باعث ایجاد تنش های فشاری در بولت می شود. لازم به ذکر است که تحت این بارگذاری، ابتدا اتصال وارد مرحله ی پلاستیک شده است. در شکل (۱۵) منحنی لنگر خمشی - دوران آمده است.

شکل ۱۵. منحنی لنگر خمشی - دوران اتصال

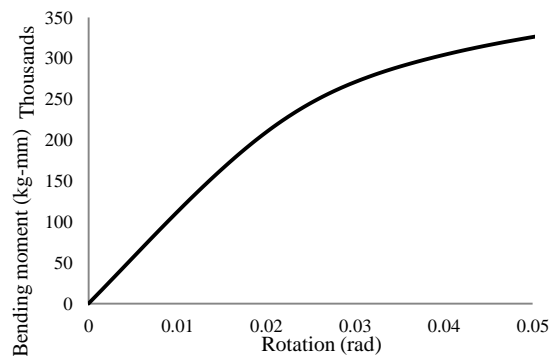


Fig. 15. Moment-rotation curve of joint.

با توجه به منحنی لنگر خمشی - دوران، لنگر خمشی الاستیک اتصال ۱۰۰ کیلوگرم-متر و دوران متناظر با آن ۰/۰۱ رادیان است. به همین ترتیب لنگر پلاستیک ۲۱۰ کیلوگرم-متر و دوران متناظر با آن ۰/۳۵ رادیان است. در جدول (۴) نتایج آمده است.

جدول ۴. مقادیر بدست آمده از منحنی لنگر خمشی

M_{inf} (kg-m)	M_{sup} (kg-m)	K_R	f_{inf} (rad)	f_{sup} (rad)	S_j (kg-m/rad)
100	210	110	0.01	0.035	1000

Table 4. Values obtained form moment curve.

۴-۷- اتصال تحت بارگذاری همزمان نیروی فشاری، برش و لنگر خمشی
در واقعیت ممکن است ترکیبی از بارگذاری ها به سیستم

(۱۸) منحنی لنگر خمشی - دوران آمده است.

است.

نیروی محوری فشاری، سختی خمشی اولیه اتصال را افزایش می‌دهد. لنگر خمشی الاستیک با افزایش نیروی فشاری، کاهش یافت.

نتایج کمی ارائه شده در این پژوهش، فقط در مورد مدل مطالعه شده قابل ذکر هستند و مطالعات بیشتری برای سایر ابعاد استاندارد اتصالات مرو مورد نیاز خواهد بود.

۹- مراجع

- [1]. Vaseghi J., Davoodi. M.R. 2002 Modeling of semi rigid Behavior of MERO Jointing System. *Proceeding of International conference of space structures*, university of surrey, UK, 306-316.
- [2]. Davoodi M.R, Pashaei. M.H. & Mostafavian. S.A. 2007 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 (IASS)*, **48**(1).
- [3]. Davoodi. M.R., Vaseghi j., Gholampour S. & Seyed Amin Mostafavian 2012 Determination of nonlinear behavior of a ball joint system by model updating, *Journal of constructional steel research*, **71**, 52-62.
- [4]. See T. 1983 Large displacement elastic buckling space structures. Ph.D. Thesis, University of Cambridge.
- [5]. Fathelbab F. A. 1987 The effect of joints on the stability of shallow single layer lattice domes. Ph.D. Thesis, University of Cambridge.
- [6]. Fathelbab F. A., McConnel R.E. 1989 Approximate tangent stiffness matrix includes the effects of joint properties for space frame member. *Proc IASS Congr*, **5**.
- [7]. Fathelbab F. A. 1993 Tangent stiffness matrix for space frame members with both member and joint imperfections. In: Parke GAR, Howard CM, editors. *Space structure 4. conf. Guildford*, Th. Telford Publ; 1323-33.
- [8]. Maalek, S. 1999 Structural Assessment and quality control procedures for the Homa Air-craft Hangar. *International Journal of Space Structures Special Issue on Air- craft-Hangars*, **14**(3).
- [9]. El-Sheikh A. I. 1993 Numerical analysis of space trusses with flexible member-end joints. *Int J Space Struct*; **8**(3), 189-197.
- [10]. Chenaghloou M. R. & Nooshin H. 2002 Response of semi-rigidly jointed space structures. *Space structures* London: Thomas Telford.
- [11]. Chenaghloou M. R. 1997 Semi-rigidity of connections in space structures, Ph.D. Thesis, University of Surrey.
- [12]. Ueki T., Matsushita F., Kato S. 1993 Design procedure for large single-layer latticed domes. *Proceedings of the fourth international conference of space structures*, University of Surrey, 237-246.
- [13]. Feng F., Huihuan M., Gengbo C., Shizhao S. 2012 Experimental study of semi-rigid joint systems subjected to bending with and without axial force. *Journal of Constructional Steel Research*, 126-137.
- [14]. Mathurin F., Guillot J., Stéphan P., Daidié A. 2009 3D Finite Element Modeling of an Assembly Process With ThreadForming Screw. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, **131**.

شکل ۱۸. منحنی لنگر خمشی - دوران اتصال تحت اعمال لنگرهای خمشی مختلف

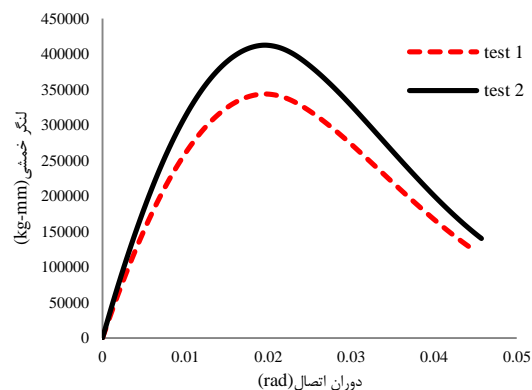


Fig. 18. Moment-rotation curve of connection under different bending moments.

اعمال هم‌زمان نیروی فشاری و لنگر خمشی باعث افزایش سختی خمشی اولیه می‌شود. این به دلیل آن است که با اعمال نیروی فشاری توام با لنگر خمشی، جدا شدن قطعات اتصال و ایجاد شکاف بین آن‌ها به تاخیر می‌افتد اما زمانی که شکاف بین قطعات ایجاد شود، این فاصله و شکاف تسریع می‌یابد. این موضوع باعث کاهش ناحیه محدوده زانویی می‌شود.

۸- نتیجه گیری

در این مطالعه روی سیستم اتصال مرو بررسی عددی انجام گرفت و این اتصال تحت بارهای لنگر خمشی، بارهای فشاری و کششی قرار گرفت. منحنی لنگر خمشی - دوران و نیرو - تغییر مکان برای آن ارائه شد. نتایج مهم مطالعات به صورت خلاصه در ادامه آمده است:

در حالت نیروی کششی خالص اتصال تا نیروی ۱۱۲۰۰ کیلوگرم در حالت الاستیک قرار دارد و سپس وارد ناحیه غیر خطی می‌شود. اولین قطعه‌ای که وارد مرحله غیر خطی می‌شود گوی است.

در حالت نیروی فشاری اتصال تا نیروی ۱۳۴۶۰ کیلوگرم در فاز خطی است و سپس با تسلیم شدن مخروط وارد مرحله غیر خطی می‌شود. همچنین باید گفت که سختی اولیه اتصال در حالت فشاری ۱/۸۱ برابر سختی اتصال در حالت کششی

- [18]. cfm, web site of Physlink.com containing coefficients of static and kinetic friction. Online:<http://www.physlink.com/Reference/FrictionCoefficients>.
- [19]. Serway R. A. & Beichner R. J. 2000 Physics for Scientists and Engineers. *Saunders College Publishing*, Orlando, FL, 5th Ed..
- [20]. ABAQUS 2013 user's manual—version 6.13.1. Pawtucket, RI: Hibbit, Karlsson & Sorenson.
- [21]. Girão Coelho A. M., Simões da Silva L., Bijlaard F. S. K. 2004 Ductility analysis of bolted extended end-plate beam-to-column connections. *The third international conference on steel & composite structures*.
- [15]. Chen J. J. & Shih, Y. S. 1999 A study of the helical effect on the thread connection by three dimensional finiteelement analysis. *Nuclear Engineering and Design* , 109–116.
- [16]. Ghasemi M., Davoodi M. R. & Mostafavian S.A. 2010 Tensile Stiffness of MERO-Type Connector Regarding Bolt Tightness. *Journal of applied science*,724-730.
- [17]. Davoodi M.R, Goli. M. & Mostafavian. S.A. 2009 Experimental study of bolt tightnesseffect oncompressive behavior of MERO joint, *8th International Congress*, Shiraz University, (In Persian).

Assessment of Ball Joint Behavior under Combined Loading

M. Ebadi Jamkhaneh^{1*}, M.R. Davoodi², J. Ebadi Jamkhaneh³

1- Ph.D. candidate. of Structural Engineering, Faculty of Civil Eng., Semnan University (Corresponding author)

2- Associate Prof., Faculty of Civil and Environmental Eng., Babol University of Technology

3- M.Sc. of Earthquake Engineering, Faculty of Civil and Environmental Eng., K.N. Toosi University of Technology

mehdi.ebadi@semnan.ac.ir

Abstract:

Space grids are highly modular structures assembled from components that are almost exclusively factory fabricated. The components therefore, are usually produced with high dimensional accuracy, with a high quality of surface finish and they are generally easily transportable, requiring little further work except assembly on site. Because of their modular nature, space grids may be extended without difficulty, and even taken down and reassembled elsewhere. One of the most popular types of connectors that are widely used in the construction of double layer grids is the MERO system. The Mero KK space truss system, the first commercially available, is still considered to be one of the most elegant solutions for the construction of space grid structures. The elegance and simplicity of the Mero system means that it is not only used in buildings, but also in shop displays and exhibition stands using lightweight materials. Circular tube members are connected to cast 'ball' joints at the nodes by a single concealed bolt for each tube. A double layer grid is the combination of prefabricated tetrahedral, octahedral or skeleton pyramids or inverted pyramids having triangular, square or hexagonal basis with top and bottom members normally not lying in the same vertical plane. The connector is an extremely important part of a grid design. The type of connector depends primarily on the connecting technique, whether it is bolting, welding, or applying special mechanical connectors. It is also affected by the shape of the members. This system is multidirectional system allowing up to fourteen tubular members together at various angles. The system consists of tubular elements that are connected together by means of a MERO connector. The ball is located at the intersection of the longitudinal axes of tubular elements. The longitudinal axis of tubular element and all the constituent parts of its end connectors are along together. This axis is referred to as axis of member. The MERO system had only one type of standard joint, a sphere with 18 threaded holes and machined bearing surfaces at angles of 45, 60 and 90° to each other. A model of MERO connector is presented in this paper for double layer grid structure. The internal forces in the members of double layer grid are found using SAP software. These forces are applied as pressures on the MERO connector. The deflection and rotation patterns of the connector are studied under different loading conditions using the ABAQUS software. The forces to be applied on the connector are calculated using displacement control. In order to take the connector effects into account in structural analysis, their behavior under combined load should be predicted. In double-layer grids which form an important family of space structures, the main internal forces are axial forces. In the present study, to determine the force-displacement relationship of MERO jointing system, some tensile, compressive and bending simulation tests were carried out on a connector of this type using 3D finite element method. The obtained force-displacement and moment- rotation relationship were used under different loads. The results of the finite element simulation match well with experimental results. It was also found out that in both compressive and tensile loading, the ball came to the plastic stage. Compressive axial force increases the flexural stiffness of the connection and by increasing compressive force, the elastic bending moment decreases.

Keywords: Mero Connection, Finite Element, Moment-Rotation Relationship, Load-Displacement Relationship.