بسم الله الرحمن الرحيم

٩٦٢٢٥

دانشگاه مازندران

موضوع:

مطالعهٔ تحلیلی اثر سفت شدگی در بلت بر روی سختی محوری سیستم اتصال MERO

پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد

رشته مهندسی عمران گرایش سازه

استاد راهنما:

دکتر محمدرضا داودی

استاد مشاور:

مهندس امین مصطفویان

نگارش :

کیوان محمودیان

۱۳۸۷/۷/۱۱

خرداد ۱۳۸۷

۹۶۲۲۵

باسمه تعالی

دانشگاه مازندران

معاونت آموزشی

تحصیلات تکمیلی

ارزشیابی پایان نامه در جلسه دفاعیه

مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی نوشیروانی

نام و نام خانوادگی دانشجو: کیوان محمودیان

شماره دانشجوئی: ۸۴۵۱۳۸۴۰۰۹

رشته تحصیلی: مهندسی عمران – سازه

مقطع: کارشناسی ارشد

عنوان پایان نامه:

«مطالعه تحلیلی اثر سفت شدگی در بلت بر روی سختی محوری سیستم اتصال MERO»

تاریخ دفاع: ۸۷/۳/۲۶

نمره پایان نامه (به عدد): ۱۹

نمره پایان نامه (به حروف): نوزده

نمره تعلق گرفته به دانشجو در صورتی معتبر است که تصحیحات مورد نظر هیئت داوران تا موعد مقرر، توسط دانشجو انجام گیرد.

هیات داوران:

استاد راهنما: دکتر محمد رضا داودی

استاد مشاور: مهندس امین مصطفویان

استاد مدعو: دکتر بهرام نوائی نیا

استاد مدعو: دکتر جواد واثقی

نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی: دکتر مرتضی نقی پور

امضا

امضا

امضا

امضا

امضا

چکیده

نتایج مطالعات انجام شده روی رفتار سازه نشان داده است، چشم پوشی از اثر اتصال در تحلیل سازه منجر به نتایج تقریبی خواهد شد. لذا بررسی پاسخهای اتصال و عوامل موثر بر تغییر رفتار آن می تواند به ارزیابی دقیق رفتار سازه کمک شایان توجهی نماید. سیستم اتصالی MERO از قدیمی ترین سیستمهای اتصال پیچی در سازه های فضاکار می باشد. در سازه های فضاکار پیش ساخته با سیستم اتصال پیچی نصب و برپایی سازه با سفت کردن پیچها انجام می شود. مطالعات انجام شده در ارتباط با اتصالMERO نشان می دهد، میزان سفت شدگی پیچ اثر قابل توجهی بر رفتار اتصال دارد. این اتصال عمدتا در شبکه های دو یا چند لایه که از اعضای مهم خانواده سازه فضاکار هست، بکار می رود. نتایج آزمایش روی یک شبکه دو لایه با سیستم اتصالی MERO نشان داده است، مقادیر متفاوت سفت شدگی پیچ در اتصال روی رفتار این سازه اثر می گذارد. در این سازه ها صلبیت دورانی اتصال نسبت به سختی محوری اتصال نقش ثانویه را در انتقال نیرو دارد.

در کار حاضر با استفاده از روش المان محدود سه بعدی و به کمک نرم افزار ANSYS توجه ویژه معطوف به ارزیابی اثر مقادیر متفاوت سفت شدگی پیچ بر پاسخ نیرو- تغییر مکان سیستم اتصالیMERO می باشد. در کار حاضر ماهیت مارپیچی رزوه در ساخت هندسه مدل پیچ در اتصال لحاظ گردیده است. به این ترتیب امکان شبیه سازی سفت شدگی پیچ در اتصال وقتی که پیچ با اعمال لنگر به کمک آچار می چرخد، بوجود می آید.

نتایج تحلیل غیر خطی استاتیکی نشان داده است که با افزایش مقدار سفت شدگی پیچ در اتصال سختی محوری اتصال در محدوده خطی رفتار آن افزایش می یابد. مطابقت قابل قبول نتایج تحلیل با نتایج آزمایش در این ارتباط صحت عملکرد مدل المان محدود اتصال در کار حاضر را نشان داده است. با بررسی مکانیزم مرحله سفت شدگی پیچ در مدل المان محدود اتصال در این مطالعه نتایج تحلیل این مدل با رابطه تئوریکی که در این ارتباط وجود دارد مقایسه شده است. این رابطه بر مبنای اصول مکانیک مصالح بدست آمده است. این رابطه نسبت بین لنگر سفت شدگی اعمالی به پیچ و کشش بوجود آمده در آن را نشان می دهد. نتایج تحلیل المان محدود اتصال در کار حاضر نشان داده است، این رابطه لنگر سفت شدگی را برای مدل اتصال MERO کمتر از مقدار واقعی آن نشان می دهد. لذا جهت اصلاح این رابطه اعمال تغییری در پارامتر قطر موثر لنگر اصطکاکی از این رابطه پیشنهاد شده است.

فهرست مطالب

فصل اول

کلیات

۱-۱) مقدمه ۱

۱-۲) سازه های فضاکار و انواع آن ۲

۱-۳) تعریف مساله ۳

۱-۴) محدودیتها ۴

۱-۵) کارهای دیگران ۴

۱-۶) ساختار پایان نامه ۷

فصل دوم

مکانیزم انتقال نیرو در پیچ و بررسی پدیده سفت شدگی در آن

۲-۱) مقدمه ۹

۲-۲) ضرورت بررسی اثرات سفت شدگی پیچ روی رابطه نیرو- تغییرمکان اتصال MERO ۹

۲-۳) تعاریف و استانداردهای دنده پیچ ۱۳

۲-۴) توزیع بار بر روی رزوه ها در اتصالات پیچی ۱۵

۲-۴-۱) مطالعه یاماموتو در رابطه با توزیع بار روی رزوه های اتصالات پیچی ۱۶

۲-۴-۲) مطالعه چن در مورد اثر اصطکاک بین سطوح تماسی رزوه و زاویه میل آن روی توزیع بار ۱۷

۲-۵) پیش بار(کشش بوجود آمده در پیچ ناشی از اعمال سفت شدگی) ۲۴

۲-۵-۱) روشهای اعمال پیش بار ۲۵

۲-۵-۲) سفت شدگی با کنترل لنگر ۲۵

۲-۵-۲-۱) اندازه گیری پیش بار در روش کنترل لنگر ۳۰

۲-۵-۲-۲) مولفه های موثر بر پیش بار در روش کنترل لنگر ۳۱

۲-۵-۳) روابط میان پیش بار و لنگر سفت شدگی در روش کنترل لنگر ۳۳
۲-۵-۳-۱) مطالعات شیگلی در مورد رابطه لنگر سفت شدگی- پیش بار ۳۵
۲-۵-۳-۲) مطالعه تجربی بلیک - کورتز در مورد رابطه لنگر سفت شدگی - پیش بار ۳۸
۲-۵-۳-۳) مطالعه عددی ایزومی در مورد رابطه لنگر سفت شدگی- پیش بار ۳۹
۲-۶) مقدمه ای بر رفتار استاتیکی غیرخطی سازه ها ۴۱
۲-۶-۱) لزوم تحلیل غیر خطی ۴۲
۲-۶-۲) انواع رفتار غیرخطی ۴۲
۲-۶-۳) معادلات تعادل در سیستمهای غیر خطی ۴۵
۲-۶-۴) حل دستگاه معادلات غیر خطی ۴۵
۲-۶-۵) روش نیوتن- رافسون ۴۶
۲-۶-۶) معیار همگرایی ۴۸
۲-۶-۶-۱) معیار همگرایی بر اساس جابجایی ۴۸
۲-۶-۶-۲) معیار همگرایی بر اساس نیرو ۴۸
۲-۶-۶-۳) معیار همگرایی بر اساس انرژی ۴۹

فصل سوم

مدل المان محدود اتصال MERO با قابلیت شبیه سازی سفت شدگی پیچ

۳-۱) مقدمه ۵۰
۳-۲) آشنایی کلی با روش اجزاء محدود و معرفی نرم افزار ANSYS ۵۰
۳-۲-۱) انتخاب المان مناسب ۵۱
۳-۲-۲) محاسبه ماتریس سختی هر المان ۵۱
۳-۲-۳) ترکیب ماتریس المانها ۵۲
۳-۲-۴) تعیین شرایط مرزی و بارگذاری و حل معادلات ۵۲
۳-۲-۵) پردازشهای بعدی ۵۲
۳-۲-۶) المانهای مورد استفاده در مدلسازی ۵۳

۳-۲-۶-۱) المان حجمی ۵۳
۳-۲-۶-۲) المان تماسی ۵۵
۳-۲-۷) شبکه بندی مدل ۶۲
۳-۲-۸) مسایل دارای تقارن ۶۴
۳-۲-۹) ارتباط با نرم افزارهای دیگر ۶۵
۳-۳) شرح ساخت مدل المان محدود اتصال MERO به کمک نرم افزار ANSYS ۶۶
۳-۳-۱) مدل هندسی اجزاء اتصال ۶۹
۳-۳-۱-۱) گوی ۷۱
۳-۳-۱-۲) غلاف ۷۳
۳-۳-۱-۳) مخروط انتهایی ۷۴
۳-۳-۱-۴) رزوه ۷۵
۳-۳-۱-۵) پیچ ۷۸
۳-۳-۲) مشخصات مکانیکی مدل اتصال ۷۹
۳-۳-۳) شبکه بندی مدل اتصال ۸۱
۳-۳-۳-۱) المانهای حجمی ۸۱
۳-۳-۳-۲) المانهای تماسی ۸۴
۳-۳-۳-۳) کیفیت شبکه بندی ۸۸
۳-۴) بارگذاری و اعمال شرایط مرزی ۹۰
۳-۴-۱) اعمال لنگر سفت شدگی ۹۱
۳-۴-۲) اعمال نیروی محوری ۹۴
۳-۴-۳) اعمال شرایط مرزی ۹۴

فصل چهارم

بررسی نتایج تحلیل مدل المان محدود اتصال MERO
۴-۱) مقدمه ۹۶

۴-۲) لنگر سفت شدگی - پیش بار ۹۷

۴-۳) اثر سفت شدگی پیچ بر رابطه نیروی کششی - تغییر مکان اتصال MERO ۱۰۳

۴-۴) اثر سفت شدگی پیچ بر رابطه نیروی فشاری- تغییر مکان اتصال MERO ۱۱۱

فصل پنجم

نتایج

۵-۱) مقدمه ۱۱۶

۵-۲) نتایج ۱۱۶

۵-۲-۱) رابطه لنگر - پیش بار ۱۱۶

۵-۲-۲) اثر سفت شدگی پیچ بر رابطه نیروی کششی- تغییرمکان اتصال MERO ۱۱۷

۵-۲-۳) اثر سفت شدگی پیچ بر رابطه نیروی فشاری- تغییرمکان اتصال MERO ۱۱۷

۵-۳) پیشنهادات ۱۱۸

مراجع ۱۱۹

فهرست جداول

فصل اول

فصل دوم

جدول (۲-۱) توزیع بار روی رزوه ها با روش یاماموتو ۱۷

جدول (۲-۲) نیروی تماسی روی رزوه های ۴ مدل المان محدود متقارن با کیفیت شبکه بندی متفاوت ۱۹

جدول (۲-۳) توزیع بار روی رزوه های اتصال تحت اثر ضرایب اصطکاک متفاوت ۲۳

جدول (۲-۴) توزیع پیش بار F_i با آزمایش روی ۲۰ نمونه پیچ بدون روانکاری تحت گشتاور پیچشی ۹۰ N.m ۳۹

جدول (۲-۵) توزیع پیش بار F_i با آزمایش روی ۱۰ نمونه پیچ با روانکاری تحت گشتاور پیچشی ۹۰ N.m ۳۹

فصل سوم

جدول (۳-۱) تعداد المانهای حجمی در شبکه بندی اعضای اتصال ۸۲

جدول (۳-۲) تعداد و نوع و خصوصیت المان تماسی بکار رفته در کار حاضر ۸۸

فصل چهارم

جدول (۴-۱) ضرایب اصطکاک برای ترکیبهای مختلف مواد پیچ و مهره در حال کار و راه اندازی ۹۹

فصل پنجم

فهرست اشکال

فصل اول

فصل دوم

شکل (۲-۱) جابجایی یکی از گرههای تحتانی شبکه در شرایط متفاوت تکیه گاهی ۱۲

شکل (۲-۲) اصطلاحات فنی مربوط به دنده پیچها ۱۴

شکل (۲-۳) نیمرخ اصلی دنده برای دنده های متریک M,MJ ۱۵

شکل (۲-۴) توزیع تقریبی نیروی محوری روی رزوه های درگیر در اتصالات پیچی ۱۶

شکل (۲-۵) مدل دو بعدی و سه بعدی از اتصال پیچی ۱۸

شکل (۲-۶) مدل المان محدود دو بعدی اتصال با چهار نوع کیفیت شبکه بندی ۱۹

شکل (۲-۷) مدل المان محدود سه بعدی پیچ و مهره ۲۰

شکل (۲-۸) توزیع بار روی رزوه های اتصال ۱"-۸UNC ۲۱

شکل (۲-۹) توزیع بار روی رزوه های اتصال ۱"-۱۲UNF ۲۱

شکل (۲-۱۰) توزیع بار روی رزوه های اتصال ۱"-۱۶UNF ۲۲

شکل (۲-۱۱) نسبت نیروی تماسی بر روی هریک از ردیفهای رزوه در مدل سه بعدی اتصال ۲۳

شکل (۲-۱۲) اعمال لنگر سفت شدگی به نمونه ای از اتصال MERO ۲۴

شکل (۲-۱۳) اعمال سفت شدگی به پیچ با روش کنترل لنگر ۲۶

شکل (۲-۱۴) سهمی از لنگر اعمالی به اتصال جهت فایق آمدن بر اصطکاک مابین سطوح تماسی ۲۷

شکل (۲-۱۵) تجهیزات مورد استفاده در اعمال لنگر سفت شدگی تا نقطه تسلیم ۲۸

شکل (۲-۱۶) اعمال سفت شدگی به پیچ در روش کنترل زاویه چرخش ۲۸

شکل (۲-۱۷) ابزار کاربردی در اعمال سفت شدگی به پیچ اتصال در روش اعمال تغییر طول به پیچ ۲۹

شکل (۲-۱۸) پیچ مجهز به حسگرهای سنجش تغییر مکان و نیرو ۲۹

شکل (۲-۱۹) ترکیب اعضای اتصالات پیچی در شکل معمول خود ۳۱
شکل (۲-۲۰) سرهم بندی صفحات از جنس متفاوت با اتصال پیچی ۳۲
شکل (۲-۲۱) سرهم بندی صفحات با ابعاد حفره متفاوت توسط اتصال پیچی ۳۳
شکل (۲-۲۲) نمودار لنگر سفت شدگی- پیش بار برای یک نوع معمول از اتصال پیچی ۳۴
شکل (۲-۲۳) بخش رزوه شده از یک پیچ با دنده ذوزنقه ای ۳۵
شکل (۲-۲۴) افزایش نیروی عمودی وارد به دنده ها در اثر زاویه α ۳۶
شکل (۲-۲۵) قطر اصطکاکی طوقه روی اتصال پیچی ۳۷
شکل (۲-۲۶) مدل المان محدود اتصال جهت تحلیل سفت شدگی پیچ در اتصال ۴۰
شکل (۲-۲۷) رابطه لنگر سفت شدگی- پیش بار ۴۱
شکل (۲-۲۸) حل تکراری در روش نیوتن- رافسون کامل در دو گام بارگذاری ۴۷

فصل سوم

شکل (۳-۱) المانهای حجمی سازه ای سری Solid ۵۵
شکل (۳-۲) هندسه و موقعیت گرههای المان Contac174 ۵۷
شکل(۳-۳) بخشی از مدل المان محدود اتصال در مطالعه زادوکس و همکاران همین طور ایزومی و همکاران ۶۰
شکل(۳-۴) دو روش در شبکه بندی یک مدل ۶۳
شکل (۳-۵) استفاده از ویژگی تقارن در هندسه مدل المان محدود ۶۵
شکل(۳-۶) چشم پوشی از ماهیت مارپیچی رزوه ۶۷
شکل(۳-۷) المانهای تماسی در مدل دوبعدی اتصال جهت شبیه سازی سفت شدگی ۶۸
شکل (۳-۸) استفاده از ویژگی تقارن در هندسه مدل اتصال MERO در کار حاضر ۶۹
شکل (۳-۹) موقعیت صفحات مدل نیمه اتصال که شرایط مرزی تقارن به آن اعمال می گردد ۶۹
شکل (۳-۱۰) ابعاد هندسی اعضای مورد استفاده در کار حاضر ۷۰

شکل (۳-۱۱) روند ساخت مدل حجمی گوی ۷۲

شکل (۳-۱۲) روند ساخت مدل حجمی غلاف ۷۳

شکل (۳-۱۳) روند ساخت مدل حجمی مخروط انتهایی ۷۵

شکل (۳-۱۴) روند ساخت مدل حجمی رزوه ۷۷

شکل (۳-۱۵) روند ساخت مدل حجمی پیچ ۷۸

شکل (۳-۱۶) مشخصات مکانیکی اعضای اتصال در مطالعه حاضر ۸۰

شکل (۳-۱۷) مدل المان محدود اجزای اتصال MERO در کار حاضر ۸۳

شکل(۳-۱۸) وضعیت ابعادی المانهای مدل المان محدود اتصال در کار حاضر ۸۳

شکل (۳-۱۹) موقعیت اعضای اتصالMERO برای انتقال نیروی محوری ۸۴

شکل (۳-۲۰) موقعیت سطوح درگیر رزوه ها در حالت اعمال نیروی محوری کششی ۸۵

شکل (۳-۲۱) موقعیت المانهای تماسی در مدل اتصال کار حاضر ۸۸

شکل(۳-۲۲) موقعیت وجوه داخلی گوی از زاویه تحت برش ۸۹

شکل (۳-۲۳) موقعیت اعمال لنگر سفت شدگی به مدل المان محدود پیچ در کار حاضر ۹۱

شکل (۳-۲۴) موقعیت گره های منتخب مدل المان محدود پیچ جهت اعمال سفت شدگی ۹۲

شکل (۳-۲۵) جهت جابجایی U_y گره ها قبل و بعد از تغییر مختصات محلی آن ۹۳

شکل (۳-۲۶) موقعیت اعمال نیروی محوری به مدل اتصال در کار حاضر ۹۴

شکل (۳-۲۷) اعمال شرایط تقارن به گره های روی صفحه تقارن ۹۵

فصل چهارم

شکل(۴-۱) موقعیت اعمال لنگر سفت شدگی به مدل اتصالMERO توسط آچار پیچشی ۹۷

شکل(۴-۲) نیروی عکس العملی ناشی از اعمال جابجایی ۲/۷۸mm به گرههای شکل ب-۳-۲۵ ۹۸

شکل (۴-۳) موقعیت و ویژگی هندسی سطح تماس بین سر پیچ و مخروط انتهایی ۱۰۰

شکل (۴-۴) رابطه میان لنگر سفت شدگی - پیش بار ۱۰۰

شکل (۴-۵) توزیع فشار بین سطح تماس سر پیچ و مخروط انتهایی ۱۰۲

شکل (۴-۶) اثر اصطکاک در سطوح تماسی روی رابطه لنگر - پیش بار ۱۰۳

شکل (۴-۷) تغییرات رابطه نیرو - تغییر مکان مدل المان محدود اتصال MERO در اثر اعمال سفت شدگی ۱۰۴

شکل (۴-۸) نمودار نیروی کششی- تغییرمکان اتصال تحت اثر سفت شدگی ۶۰ N.m ۱۰۵

شکل (۴-۹) نمودار نیروی کششی- تغییر مکان اتصال تحت اثر سفت شدگی ۱۲۰ N.m ۱۰۵

شکل (۴-۱۰) نمودار نیروی کششی- تغییرمکان اتصال تحت اثر سفت شدگی ۱۸۰ N.m ۱۰۶

شکل (۴-۱۱) نمودار نیروی کششی - تغییر مکان اتصال تحت اثر سفت شدگی ۲۴۰N.m ۱۰۶

شکل (۴-۱۲) مدل المان محدود سیستم پیچ و صفحه ۱۰۷

شکل (۴-۱۳) توزیع تنش فون میسز در مدل پیچ تحت اثر اعمال جابجایی محوری(کششی) ۱۰۷

شکل (۴-۱۴) قیاس بین رابطه نیرو- تغییرمکان پیچ با مدل اتصال MERO ۱۰۸

شکل (۴-۱۵) معادلسازی پیچ در محاسبات دستی ۱۰۹

شکل (۴-۱۶) تغییر مکان هریک از اعضای مدل اتصال در فاز کشش ۱۱۰

شکل (۴-۱۷) اثر سفت شدگی بر رابطه نیرو- تغییر مکان اتصالMERO ۱۱۲

شکل (۴-۱۸) مدل المان محدود مدل غلاف برای بررسی سختی فشاری آن ۱۱۲

شکل (۴-۱۹) توزیع تنش فون میسز مدل غلاف تحت اثر اعمال جابجایی محوری(فشاری) ۱۱۳

شکل (۴-۲۰) رابطه نیرو - تغییر مکان مدل غلاف و مدل اتصال تحت اثر مقادیر متفاوت سفت شدگی ۱۱۴

شکل (۴-۲۱) رفتار نیرو - تغییر مکان اعضای اتصال در اثر اعمال نیروی فشاری ۱۱۵

فصل پنجم

فصل اول

کلیات

۱-۱) مقدمه

سازه ای که اصولا رفتار سه بعدی داشته باشد، بطوریکه نتوان رفتار کلی آن را با استفاده از یک یا چند مجموعه مستقل دو بعدی تقریب زد، سازه فضاکار نامیده می شود[۱۵]. بدین ترتیب طیف وسیعی از سازه ها در دایره این تعریف قرار می گیرند. یعنی حتی برخی قوسها و گنبدهای آجری قرون کهن نیز سازه فضاکار محسوب می شوند. اما در این مطالعه منظور از سازه های فضاکار، اسکلتهای فلزی سه بعدی می باشد. در سراسر دنیا استفاده از سازه های فضاکار به سرعت در حال پذیرش و مقبولیت در بین طراحان و مهندسین سازه می باشد. این امر را نمی توان فقط مرهون جذابیت و زیبایی این سازه ها دانست، بلکه دلایل متعددی در محبوبیت این سازه ها موثرند که به بخشی از آنها اشاره می شود:

- جذابیت و زیبایی و قابلیت ساخت انواع فرم های دلخواه، آن را به انتخابی مناسب و متعارف بین طراحان تبدیل نموده است.
- مرتبه بالای نامعینی در این سازه ها به آنها ذخیره مقاومتی بالایی بخشیده است.
- سختی و صلبیت این سازه قابلیت استثنایی برای تحمل بارهای بزرگ متمرکز و غیر متقارن به وجود می آورد.
- سیستمهای فضاکار برای پوشش سالنهای بزرگ اجتماعات، سالنهای نمایشگاهی، ورزشگاهها و به طور کل تمام سازه هایی که به نحوی محدودیت تکیه گاه میانی دارند، ایده آل بوده و در این موارد از نظر جلوه ظاهری و ویژگیهای سازه ای حالت منحصر بفردی را نسبت به سایر سیستمهای جایگزین بوجود می آورد.
- اکثر سیستمهای فضاکار پیش ساخته بوده و قطعات مورد نیاز آنها انبوه سازی می شوند. به همین دلیل این سیستمها معمولا به سادگی و در زمان کوتاهی تولید و نصب می گردند.

اغلب سازه های فضاکار به صورت پیش ساخته بوده و اجزای مختلف آن در محل اجرای پروژه به هم متصل می گردند. این سازه ها به دو صورت واحدی و پیونده ای تولید می گردند. در سیستم واحدی کل سازه به صورت واحدهای مجزا می باشند که توسط پیچ به هم متصل می گردند و اتصال می تواند توسط اعضا یا گره

های واحدهای مجاور انجام گیرد. در سیستمهای پیونده ای مجموعه سازه از تعدادی عضو و پیونده تشکیل می گردد. جزیی از سازه فضاکار که اجزای دیگر را به هم پیوند می دهد، پیونده نامیده می شود. در ایران نیز نمونه هایی از هر دو نوع سیستم واحدی و پیونده ای تولید می شود.

باید توجه گردد در هر دو نوع سیستم عمدتا اتصالات پیچی مورد استفاده قرار می گیرد. در اتصالات پیچی که از پیچ و مهره و صفحات در گیر یا قطعات دیگر تشکیل شده است، به هم فشرده شدن مجموعه اعضای اتصال یا اصطلاحا سفت شدن پیچ که سر هم بندی شده اند، قبل از آغاز مرحله اصلی بارگذاری کمک می کند تا حرکات و لغزشهای احتمالی اعضای درگیر در اثر اصطلاحا لقی اتصال به حداقل برسد. این لغزشها خصوصا در شرایط بارگذاری دینامیکی عموما اثرات قابل توجهی در کاهش ظرفیت باربری اتصال دارد.

یکی از مهم ترین و رایج ترین انواع سازه های فضاکار شبکه های دو لایه می باشد. این نوع سازه ها دارای دو لایه موازی بوده و توسط اعضای قطری بهم متصل شده اند. نمونه های بسیار زیادی از این سیستم در جهان تولید شده است. بر روی شبکه های دو لایه با سیستم اتصالی MERO که یکی از انواع اتصالات پیچی می باشد، مطالعاتی در زمینه اثرات سفت شدگی پیچ اتصال روی پاسخ شبکه انجام گرفته است. نتایج بررسیها نشان داده اند که تحت تاثیر مقدار متفاوت سفت شدگی پیچ، برای شبکه با شرایط مشابه پاسخهای متفاوتی از سازه ثبت می گردد. با توجه به اینکه سختی دورانی اتصال MERO در رفتار شبکه دو لایه نقش ثانویه و قابل چشم پوشی دارد، پس می توان این طور استنباط نمود که سفت شدگی پیچ در اتصال MERO می تواند روی سختی محوری آن اثر گذار باشد. با این استدلال از آنجا که اعمال سفت شدگی در پیچها در زمان برپایی سازه امری اجتناب ناپذیر می باشد، بررسی تاثیر این سفت شدگی در رفتار اتصال مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲) سازه‌های فضاکار و انواع آن

اصطلاح سازه فضا کار[۱] نخستین بار توسط تیموشنکو[۲] و در مقابل سازه صفحه‌ای[۳] بکار رفت. هدف از بکار بردن آن تعریف سازه‌هایی بود که عملکرد دوبعدی نداشته و امکان تحلیل صفحه‌ای آن وجود نداشت. در واقع عبارت

۱-Space Structure

۲-Timuoshenko

۳-Plane Structure

سازه‌های فضاکار به دسته ای از سازه‌ها اطلاق می‌شود که شامل سه بعد هستند. در مقابل آن سازه‌های صفحه‌ای قرار دارند که بیش از دو بعد را شامل نمی‌شوند. به عبارت فنی‌تر در سازه‌های صفحه‌ای بارهای خارجی به علاوه نیروهای داخلی در یک صفحه است. اما در سازه‌های فضاکار هر ترکیبی از ساختار اولیه، بارهای خارجی، نیروهای داخلی و تغییر مکان سازه در فراتر از یک صفحه تنها واقع خواهد بود[۱۵]. در عمل عبارت سازه‌های فضاکار به خانواده متعددی از سازه‌ها از جمله شبکه‌ها[۱]، چلیک‌ها[۲]، گنبدها[۳]، برجها و شبکه‌های کابلی اطلاق می‌گردد. سازه‌های فضاکار محدوده بی‌شماری از اشکال را شامل می‌شود. این سازه‌ها با مصالح مختلفی مانند فولاد، آلومینیوم، چوب، بتن، مواد کامپوزیت، شیشه و یا ترکیبی از آنها ساخته شده‌اند.

سازه‌های فضاکار را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد:

- سازه‌های فضا کار مشبک که مرکب از المانهای مجزا با یک بعد بزرگتر نسبت به دو بعد دیگر هستند.
- سازه‌های فضا کار پیوسته که مرکب از قسمتهایی مانند دال، پوسته و غشا هستند.
- سازه‌های فضا کار دوگانه که مرکب از قسمتهای مجزا و پیوسته می‌باشند.

۱-۳) تعریف مسأله

بررسی رفتار نیمه صلب اتصال MERO موضوع تحقیقات بسیاری در حوزه سازه فضاکار بوده است. اما با توجه به اینکه کاربرد عمده این اتصالات درشبکه های دو یا چند لایه بوده، از طرفی در این سازه ها سختی دورانی سیستم اتصالی نقش ثانویه را در انتقال نیرو به عهده دارد، لذا پیش بینی صحیح رابطه نیرو- تغییر مکان در این اتصال برای ارزیابی واقع بینانه رفتار سازه از اهمیت ویژه ای برخوردار است. البته توجه به ناپیوستگی بین اعضای تشکیل دهنده اتصال و امکان لغزش بین آنها و همین طور نقش سطوح تماسی بین این اعضا در انتقال نیرو نظیر سطوح تماسی رزوه های درگیر، این نکته را یادآور می شود که در این اتصال پیچی تعیین رابطه نیرو- تغییر مکان از تئوریهای کلاسیک مقاومت مصالح منجر به نتایج تقریبی می شود. مضاف بر این مقادیر متفاوت سفت شدگی در پیچ که اعمال آن در هنگام برپایی سازه امری متداول و اجتناب ناپذیر می باشد، خود

۱-Grids

۲-Barrel vaults

۳-Dome

به پیچیدگی مکانیزم انتقال نیرو در اتصال MERO می افزاید. از راهکارهای موجود برای بررسی این مساله انجام تحقیقات تجربی است. با این حال تحقیقات تجربی برروی یک نوع اتصال با خصوصیات هندسی و مکانیکی مشخص انجام گرفته و قابل تعمیم نمی باشد. لذا برای رسیدن به رابطه ای قابل استفاده برای اتصالات در ابعاد هندسی متنوع و خصوصیات مکانیکی متفاوت، تحقیق حاضر انجام گرفته است.

۱-۴) محدودیت‌ها

محدودیت‌های کار حاضر را می‌توان بدین ترتیب بر شمرد:

- از اثرات خروج از محوریت اجزاء اتصال نسبت به محور بار اعمالی که منجر به بوجود آمدن لنگر در اتصال در ابتدای بارگذاری می‌شود، صرف نظر شده است.
- تاثیر عدم تناسب (lack of fit) میان اعضای اتصال در نظر گرفته نشده است.
- از آنجا که نتایج تجربی یک اتصال مشخص در دسترس بوده است، لذا مطالعات عددی فقط برای اتصال با همین ابعاد انجام گرفته است که البته قابل تعمیم برای اتصال با ابعاد متنوع می باشد.

۱-۵) کارهای دیگران

قاسمی[۵]، با آزمایش بر روی اتصال MERO با یک ابعاد مشخص، اثرات سفت شدگی در پیچ را روی سختی کششی اتصال بررسی نمود. در این مطالعه سختی کششی اتصال تحت اثر لنگر سفت شدگی اعمالی ۲۴۰N.mو۱۸۰،۱۲۰،۶۰ به پیچ بررسی شد. نتایج نشان داد که به تدریج با افزایش لنگر سفت شدگی اعمالی به پیچ از ۱۸۰N.mتا۶۰ سختی کششی اتصال کاهش می یابد. البته منحنی سختی کششی اتصال تحت اثر لنگر سفت شدگی ۱۲۰ N.mو۱۸۰اعمالی به پیچ تقریبا برهم منطبق می باشند. همین طور تحت اثر لنگر سفت شدگی ۲۴۰N.m، سختی کششی اتصال به منحنی سختی کششی اتصال تحت اعمال لنگر سفت شدگی ۶۰ N.m نزدیک می شود.

مطالعات یاماموتو[۱] [۱۸]، منجر به ارایه یک رابطه برای توزیع بار روی رزوه‌های درگیر در اتصالات پیچی شد.

۱-Yamamoto

پارامترهای این رابطه، توزیع بار روی رزوه های درگیر را به مدل الاستیسیته وسختی محوری پیچ و مهره همین طور زاویه میل رزوه وابسته نموده است.

یاماموتو[۱۷]، با انجام آزمایشات فراوان بر روی اتصالات پیچی رابطهٔ جامعی برای لنگر سفت شدگی و پیش بار بوجود آمده در پیچ بدست آورد. مطابق با این رابطه، نسبت بین لنگر - پیش بار به ضریب اصطکاک بین سطوح تماسی، توزیع تنش روی سطح تماس بین سر پیچ و صفحه درگیر و ابعاد هندسی رزوه ها و پیچ بستگی دارد.

ایزومی[۱] و همکاران[۱۳]، با ساخت یک مدل المان محدود از اتصالات پیچی رابطه لنگر- دوران یاماموتو را مورد ارزیابی قرار دادند. آنچه از مطالعات آنها حاصل شد این بود که برای رسیدن به یک نتیجه قابل قبول با استفاده از این روابط باید به توزیع غیریکنواخت تنش در سطح تماس سر پیچ با صفحه درگیر در تماس با آن توجه کرد. لذا می‌بایست قطر معادل تنش در سطح تماسی را با توجه به توزیع غیریکنواخت تنش در سطح تماس سر پیچ بدست آورد.

شین[۲]و چن[۳] [۹]، با توسعه روشهای المان محدود با استفاده از نرم افزار ABAQUS توانستند مدل المان محدودی ارایه دهند که در آن زاویه میل رزوه (ماهیت هندسه مارپیچی رزوه) را در مدل خود لحاظ نمایند. شین و چن اثرات مارپیچی رزوه را در توزیع بار مورد بررسی قرار دادند. آنچه از مطالعات آنها حاصل شد این بود که غالباً مارپیچی بودن رزوه بر روی توزیع بار روی آن اثر قابل توجهی ندارد. یعنی چنانچه برای ساخت مدل تحلیلی یک اتصال پیچی، پیچ را کاملاً متقارن فرض کرده و رزوه را با یک سری دوایر متحدالمرکز مدل نماییم و از اثر مارپیچی رزوه صرفنظر کنیم، دقت نتایج قابل قبول می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان داد عمده خطا در تحلیل مدل متقارن اتصال پیچی مقادیر بار روی رزوه در ردیف اول بوده است. چرا که مقدار بار را در این رزوه بیش از مقدار واقعی آن نشان می دهد. با این حال آنچه که از مطالعات شین و چن حاصل شد این

۱-Izumi

۲-Shin

۳-Chen