

مطالعه‌ی عددی رفتار اتصالات K شکل لوله فولادی پرشده با بتن

مصطفی عطارموسوی

گروه مهندسی عمران، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران

احمد ملکی*

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد مراغه، دانشگاه آزاد اسلامی، مراغه، ایران

maleki_civil@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۶/۱۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۶/۰۹/۰۳

چکیده:

نقش اصلی اتصال، انتقال نیروها بین اعضاء سازه‌ای و حفظ یکپارچگی سازه تحت اثر بارهای وارده می‌باشد. بسیاری از خرابی‌های سازه‌ای صرفاً بعلت نقص در طراحی و آنالیز اعضاء سازه‌ای اتفاق نمی‌افتد بلکه بیشتر بخاطر اهمیت ندادن به رفتار و طراحی اتصالات صورت می‌گیرد. حتی هنگامی که نیروهای اعضاء سازه‌ای بطور دقیق شناخته شده است، شناخت کاملی از رفتار اتصالات صورت نمی‌گیرد به همین دلیل در این تحقیق ابتدا یک اتصال K شکل تحت اثر بارگذاری یکنواخت توسط نرم‌افزار آباکوس مدل‌سازی شده و با نتایج آزمایشگاهی تحقیقات گذشته اعتبارسنجی گردیده است. سپس ۸ مدل عددی تحلیلی با متغیرهای متفاوت شامل تنش تسلیم فولاد، مقاومت فشاری بتن، زاویه‌ی قرارگیری لوله‌ی فولادی و وجود گل‌میخ توسعه یافته‌اند تا ویژگی‌های متفاوت پاسخ‌ها را پیش بینی کنند. نتایج کلی آن‌ها نشان داد، استفاده از گل‌میخ در لوله‌ی اصلی که با بتن پر شده بود، مقدار تنش فون‌میزس مصالح فولادی و تنش فشاری بتن پرکننده را افزایش داد. افزایش ۲۵ و ۵۰ درصدی تنش تسلیم لوله‌های فولادی فرعی، مقدار بار نهایی اتصال را به ترتیب ۲۲/۹ درصد و ۷۴/۶ درصد و شکل‌پذیری آن را ۲۴/۹ درصد و ۵۲/۱ درصد افزایش داده است. کاهش زاویه‌ی مابین لوله‌های فرعی و لوله‌ی اصلی دراتصال K شکل لوله فولادی نشان داد که با کاهش زاویه‌ی مابین لوله‌های فرعی و لوله‌ی اصلی، مقدار بار نهایی و سختی اولیه کاهش می‌یابد ولی شکل‌پذیری سازه افزایش می‌یابد. در کل میتوان نتیجه گرفت که افزایش تنش تسلیم لوله‌های فرعی بیشترین تاثیر را در بهبود رفتار اتصال K شکل داشت.

کلید واژگان: اتصال، سازه‌های لوله‌ای، بتن پرکننده، تحلیل اجزای محدود.

۱- مقدمه

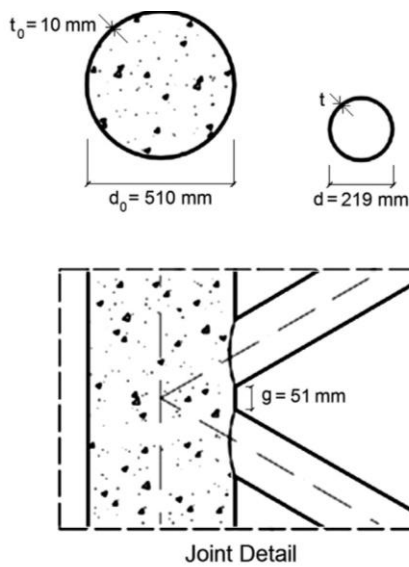
یک عضو لوله‌ای مخصوصاً لوله‌ای استوانه‌ای، ممکن است کشش محوری، فشار محوری، خمش، برش و فشار هیدرواستاتیکی و ترکیبی از همه یا چندتا از بارها را تجربه کند. از لحاظ طراحی و تحلیل سازه‌ای، یک عضو لوله‌ای همانند یک ستون یا یک تیر ستون برای تحلیل‌های پایداری کلی و محلی رفتار می‌کند که در آن مقاومت کمانشی و ظرفیت مقطع عرضی بعنوان دو معیار مهم برای تعیین مقاومت استاتیکی نهایی هستند. مقاومت کمانشی وابسته به ضریب لاغری اعضا است که تاثیر گرفته از شرایط خروج از مرکزی و انتهایی می‌باشد. اعضای لوله‌ای به طور گسترده‌ای برای اعضای سازه‌ها استفاده می‌شوند چرا که آنها نشان دادند، نه تنها مقاومت عالی در برابر نیروهای ناشی از جریان سیال و امواج دارند بلکه ضریب کششی پایین، استحکام بالا نسبت به وزن و غیره دارند. با این حال یک لوله‌ی فولادی به بارهای موضعی که به صورت عمودی به سطح آن وارد می‌شوند آسیب پذیر می‌باشند که باعث ضعف مفاصل اتصالات آنها می‌شود. بنابراین بررسی اتصالات لوله‌ای تشکیل شده از سطح مقطع استوانه‌ای تحت بارهای عمودی لازم می‌باشد.

لوله‌های فولادی با شکل‌های متفاوت سطح مقطع (یعنی مقطع سوراخ دایروی و مقطع سوراخ مستطیلی) در سازه‌هایی همچون: سازه‌های نگهدارنده‌ی ترافیکی، جرقیل، تکیه‌گاه‌های نوربین‌های بادی، پل‌ها، سازه‌های دریایی و غیره کاربرد دارند. معمولاً این مقاطع توسط جوش به یکدیگر متصل می‌شوند. با توجه به اینکه در سال‌های اخیر بیشتر تحقیقات آزمایشگاهی و عددی بر روی اتصالات فولادی توخالی انجام شده که دارای معایبی همچون لهیدگی جان تحت بار متمرکز یا نیروی خمشی می‌باشند. علاوه بر این، اتصالات فولادی ممکن است مقاومت و قابلیت بهره‌برداری خود را به دلیل افزایش سن، خوردگی، خستگی و طرز کار نامناسب از دست دهند. بنابراین، می‌توان با پر کردن اتصالات لوله فولادی با بتن و ترکیب دو مصالح فولاد و بتن، یک سیستم موثر و کارتر از استفاده مجزا از آنها را بدست آورد. سازه لوله فولادی پر شده با بتن یکی از سازه‌های مرکب یا فولادی-بتنی می‌باشد. مشخصه سازه‌های مرکب، رفتار متقابل بین فولاد و بتن است و طوری طراحی می‌شوند تا از خصوصیات باربری هر یک از دو مصالح حداکثر استفاده شود اعضاء تشکیل دهنده ممکن است عناصری منفرد باشند که بخشی از سیستم را تشکیل می‌دهند و یا سیستم فولادی یا بتنی هستند که با هم کل مجموعه نیروهای وارده بر ساختمان را تحمل می‌کنند. اعضاء سیستم‌های مرکب کارایی بالایی را در تحمل بارهای وارده از خود نشان می‌دهند و در نتیجه مقرون بصره هستند. در حال حاضر، سازه‌های لوله فولادی پر شده با بتن در اغلب سازه‌ها به ویژه در کشورهای خاصی در شرق آسیا، مخصوصاً چین استفاده می‌شوند [۱-۴]. علاوه بر استفاده گسترده‌ی این سازه‌ها در ساختمان‌های بلند، کاربرد تکنیک پر کردن لوله‌های فولادی پر شده با بتن در دهه‌ی اخیر در سازه‌های قوسی اکثر پل‌های قوسی و همچنین شاه‌تیرهای قوسی ساختمان‌ها و عرشه‌های پل

به کار برده شده است که معمولاً در آنها فقط اعضای اصلی یا chord ها با بتن پر شده بود (چن و وانگ، ۲۰۰۹). با توجه به اینکه در مطالعات خیلی کمی مخصوصاً در ایران رفتار سازه‌های لوله‌ای مخصوصاً اتصالات K شکل لوله فولادی پر شده با بتن بررسی شده و تمرکز بر روی اتصالات لوله فولادی و تقویت آنها بوده است [۵-۶]. هدف اصلی این تحقیق توسعه‌ی یک مدل اجزای محدود قابل اطمینان به منظور مطالعه‌ی رفتار عددی این نوع اتصالات، تحت بارگذاری فشاری می‌باشد. به طوری که یک مطالعه جامع پارامتری با استفاده از تجزیه و تحلیل اجزای محدود غیرخطی سه بعدی توسط نرم افزار آباکوس انجام خواهد شد که شامل طیف گسترده‌ای از متغیرهای اشاره شده در ادامه می‌باشد.

۲- تحقیقات پیشین

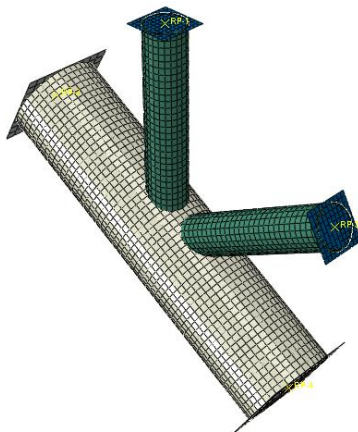
در سال ۲۰۰۸، فانگ و یانگ در مقاله‌ای، یک برنامه‌ی آزمایشگاهی را توصیف کردند که شامل طیف گسترده‌ی اتصالات T شکل لوله فولادی ضدزنگ سرد نورد شده بود که اعضای اصلی و فرعی آن دارای مقطع سوراخ مربعی و مستطیلی بود. مجموعاً ۲۷ آزمایش انجام دادند. اعضای اصلی نمونه‌های آزمایش در کل طولشان با بتن پر شده بودند (شکل ۱). هم نمونه‌های دارای فولاد ضدزنگ پرمقاومت و هم دارای فولاد ضدزنگ با مقاومت معمولی با بتن معمولی پر شده بودند. نیروی فشاری محوری به انتهای بالایی عضو فرعی اعمال شده بود که به مرکز عضو اصلی جوش کرده بودند. شکست کمانش موضعی عضو فرعی را بعنوان مد شکست اصلی در طول آزمایش‌ها مشاهده کردند. به همین خاطر آنها، بار محوری فشاری را از طریق یک صفحه‌ی مقاوم فولادی وارد کردند تا از شکست عضو مهاري یا فرعی جلوگیری کنند. مدهای شکستی همچون شکست سطح عضو اصلی و شکست دیوار کناری عضو اصلی و همچنین خردشدگی بتن پر شده را مشاهده کردند در همه‌ی نمونه‌ها عضو اصلی نمونه را در کل طولش مهار کرده بودند تا نیروی خالص متمرکزی را بدون هیچ لنگر خمشی اعمال کنند. آنها نتایج آزمایشگاهی را با ضوابط طراحی سازه‌های لوله فولادی کربنی مقایسه کردند. مقایسه‌ی آنها نشان داد که مقاومت‌های طراحی پیش بینی توسط ضوابط طراحی کنونی برای نمونه‌های آزمایشگاهی خیلی محافظه‌کارانه است. بنابراین آنها پیشنهاد کردند که باید ضوابط طراحی شامل لوله‌های فولادی ضدزنگ باشد چرا که تاثیرات قابل توجهی بر ظرفیت نهایی مقاومت اتصالات T شکل لوله فولادی ضدزنگ پر شده با بتن دارد [۷].



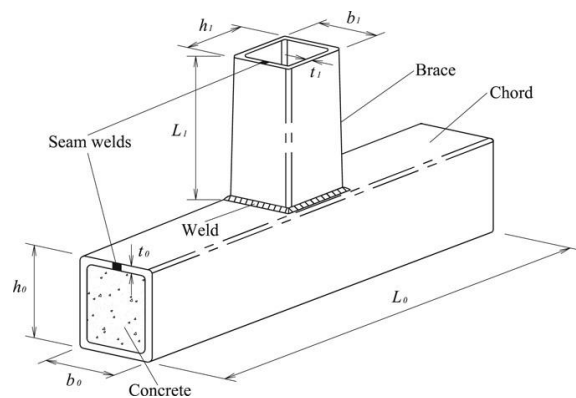
شکل ۲- جزئیات هندسی نمونه‌های اتصال، [۹]

۳- شرح مدل‌سازی و اعتبارسنجی

برای اینکه صحت منطق نرم‌افزار اجزای محدود در شبیه‌سازی این اتصال K شکل سنجیده شود، از تحقیق انجام شده توسط هانگ و همکارانش [۹] استفاده گردید و در این تحقیق نمونه‌ی مقاوم‌سازی شده‌ی CHS-6 جهت صحت‌سنجی، توسط نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی شده است (شکل ۳). بطوریکه اندرکنش بین بتن و فولاد به صورت surface-to-surface friction coefficient, hard contact با دو ویژگی اعمال شده است. اعداد منحنی این اتصال به صورت جداگانه در برنامه Excel رسم شده است. سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی نمونه‌ی یاد شده توسط نرم افزار برای مشخصه‌های بار-جابجایی مذکور استخراج شده و در نمودار یاد شده رسم گردید. حاصل رسم هر دو نمودار در برنامه اکسل بصورت شکل ۴ می‌باشد.



شکل ۳- نمایی از مدل مش‌بندی شده



شکل ۱- نمای سه بعدی نمونه‌ی آزمایشگاهی، [۷]

در مقاله‌ای هو و همکارانش در سال ۲۰۱۳ یک سری آزمایش بر روی اعضای لوله فولادی پر شده با بتن انجام دادند. بار را هم بصورت عمود و هم با زاویه‌ی ۴۵ درجه به عضو وارد کردند. یک حد تغییر شکل انتخاب کردند تا مقاومت نهایی نمونه را تعریف کنند بطوریکه منحنی بار در مقابل تغییرشکل یک رفتار شکل‌پذیر نشان داد. سرانجام یک فرمول طراحی برای پیش‌بینی مقاومت نهایی اعضای دایروی پر شده با بتن تحت بارهای موضعی پیشنهاد کردند.

در سال ۲۰۱۵، هانگ و همکارانش، مدهای شکست اتصالات K شکل لوله فولادی پر شده با بتن را در سازه‌های خرپایی توسط آزمایش بررسی کردند. نمونه‌ی اتصال K شکل لوله فولادی پر شده با بتن شامل یک عضو اصلی پر شده با بتن و دو عضو فرعی مایل با زاویه‌های یکسان نسبت به عضو اصلی بود بطوریکه نمونه در مقیاس کامل ساخته شده بود (شکل ۲). آنها نتایج آزمایش را با نتایج نمونه‌های اتصال K شکل سازه‌های خرپایی بدون بتن پر شده با مقطع سوراخ دایروی مقایسه کردند که دارای اندازه‌های یکسان با نمونه‌ی آزمایشگاهی این تحقیق بودند. مقایسه نشان داد که برخلاف اتصالات K شکل بدون بتن، که در آن یک مد شکست در سطح عضو اصلی رخ داده بود در اتصال K شکل دارای بتن هیچ مد شکستی با تغییرشکل داخلی در مقطع اصلی اتفاق نیفتاد. از این رو، شکست برش پانچی بعنوان مد شکست معمول در اتصال K شکل لوله فولادی پر شده با بتن دیده شد [۹].

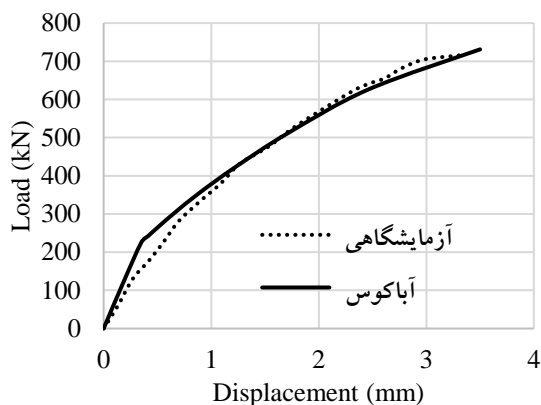
۴- تحلیل و بررسی مدل‌های عددی

پس از اطمینان از نتایج مدل عددی، در این بخش، در کل ۸ مدل عددی با تغییر مشخصات هندسی و مشخصات مصالح، تأثیر متغیرهای مورد نظر با تأکید بر بارگذاری همزمان بر دو لوله‌ی فرعی مورد مطالعه قرار گرفته است. بطوریکه بارگذاری به دو انتهای تیر فرعی وارد شده است. بر این اساس، با مقایسه‌ی همه‌ی نتایج، متغیری که بیشترین تأثیر را بر روی رفتار اتصال K شکل دارد و بهینه‌ترین می‌باشد انتخاب می‌گردد.

۴-۱- مشخصات و نام‌گذاری نمونه‌های عددی

با تغییر ۴ پارامتر: وجود گل‌میخ، مقاومت فشاری بتن، مقاومت فولاد لوله اصلی و لوله‌های فرعی و در نهایت زاویه‌ی بین لوله‌های فرعی و اصلی، ۸ مدل عددی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. مشخصات و نام‌گذاری مدل‌ها مطابق جدول ۱ لیست شده است. مدل صحت سنجی شده در بخش قبل با نام REF مشخص شده است. در مدل‌های S-C25 و S-C50 مقاومت بتن نسبت به مدل REF به ترتیب ۲۵ و ۵۰ درصد افزایش یافته است. در مدل‌های S-SB25 و S-SB50 تنش تسلیم فولاد لوله‌های فرعی نسبت به مدل REF به ترتیب ۲۵ و ۵۰ درصد افزایش یافته است. در مدل‌های S-SC25 و S-SC50 تنش تسلیم فولاد لوله‌ی اصلی نسبت به مدل REF به ترتیب ۲۵ و ۵۰ درصد افزایش یافته است. با توجه به اینکه نتایج مدل Model-stud نشان داده که استفاده از گل‌میخ تأثیر قابل توجهی در بهبود رفتار اتصال دارد بنابراین در همه‌ی مدل‌ها از گل‌میخ استفاده شده است.

همانطور که از شکل ۴ مشخص است، منحنی بار-جابجایی حاصل از آزمایش تجربی و تحلیل عددی ABAQUS هم‌پوشانی قابل قبولی دارند، در کل مشخص است که منحنی مدل عددی تطابق خوبی با نمودار مدل آزمایشگاهی دارد، در مدل‌های عددی که مدل‌های آزمایشگاهی آنها پیش‌بارگذاری شده است، هم‌پوشانی منحنی‌ها تا این حد قابل قبول بوده و صحت مدل‌سازی عددی را تأمین می‌کند.



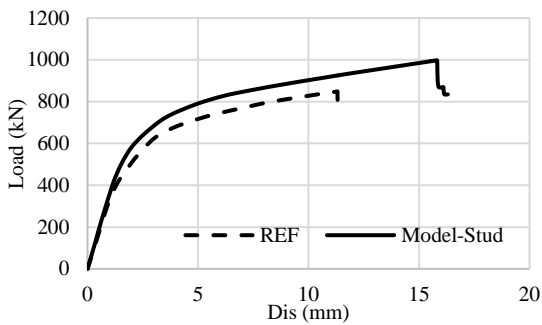
شکل ۴- مقایسه‌ی پوش منحنی بار-جابجایی مدل عددی اتصال K شکل با منحنی حاصل از آزمایش تجربی در انتهای لوله فرعی

جدول ۱- مدل‌های تحلیلی برای مطالعه پارامتری

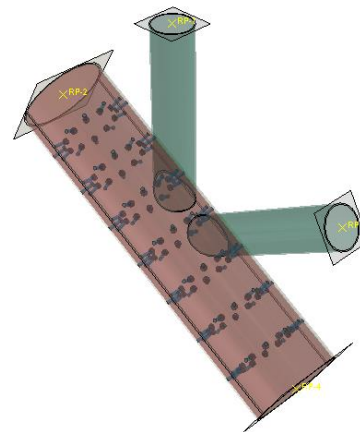
زاویه‌ی مابین دو لوله‌ی فرعی (درجه)	تنش تسلیم فولاد لوله اصلی (مگاپاسکال)	تنش تسلیم فولاد لوله‌های فرعی (مگاپاسکال)	مقاومت فشاری بتن (مگاپاسکال)	گل‌میخ	نام مدل	ردیف
۶۰	۳۱۱	۳۳۰	۴۰	ندارد	REF	۱
۶۰	۳۱۱	۳۳۰	۴۰	دارد	Model-stud	۲
۶۰	۳۱۱	۳۳۰	۵۰	دارد	S-C25	۳
۶۰	۳۱۱	۳۳۰	۶۰	دارد	S-C50	۴
۶۰	۳۱۱	۴۱۳	۴۰	دارد	S-SB25	۵
۶۰	۳۱۱	۴۹۵	۴۰	دارد	S-SB50	۶
۶۰	۳۸۹	۳۳۰	۴۰	دارد	S-SC25	۷
۶۰	۴۶۷	۳۳۰	۴۰	دارد	S-SC50	۸
۴۵	۳۱۱	۳۳۰	۴۰	دارد	S-D45	۹

۲-۴- بررسی تاثیر گل‌میخ بر رفتار اتصال K شکل لوله فولادی پرشده با بتن

در این قسمت به منظور تاثیر گل‌میخ بر رفتار اتصال K شکل، مدل عددی Model-stud با وجود گل‌میخ (شکل ۵) مدل‌سازی و تحلیل شده است.



شکل ۶- مدل عددی نمونه‌ی Model-stud در انتهای لوله فرعی

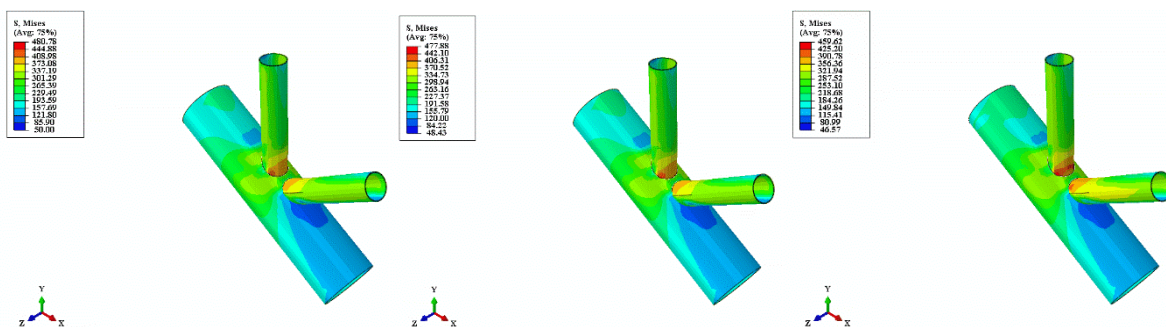


شکل ۵- مدل عددی نمونه‌ی Model-stud

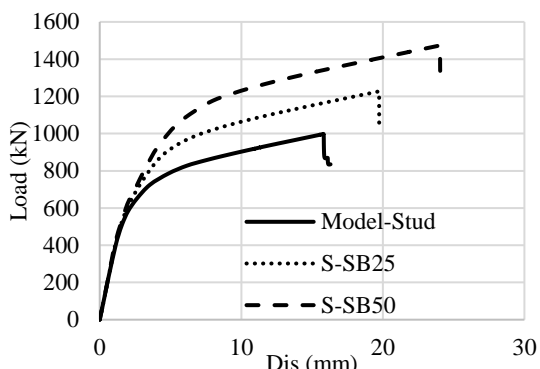
به طوریکه ارتفاع هر گل‌میخ ۸۰ میلی‌متر است قطر ساق و سر آن به ترتیب ۱۹ و ۳۲ میلی‌متر می‌باشد. گل‌میخ‌ها در جهت لوله‌ی اصلی با فاصله‌ی ۱۵۰ میلی‌متر قرار گرفتند و فاصله‌ی هر کدام از گل‌میخ‌ها در داخل محیط داخلی برابر با ۱۲۸ میلی‌متر می‌باشد یعنی در هر مقطع ۱۲ گل‌میخ قرار دارد. در شکل ۶ منحنی بار-جابجایی مدل‌های REF و Model-stud ارائه شده است. با توجه به شکل ۶، استفاده از گل‌میخ مقدار بار نهایی و جابجایی متناظر آن را به ترتیب از ۸۴۸/۹۱ کیلو نیوتن و ۱۱/۳۱ میلی‌متر به ۹۹۸/۰۸ کیلو نیوتن و ۱۵/۸۱ میلی‌متر افزایش داده است.

۳-۴- بررسی تاثیر مقاومت فشاری بتن بر رفتار اتصال K شکل لوله فولادی پرشده با بتن

در این قسمت به منظور تاثیر مقاومت فشاری بتن بر رفتار اتصال K شکل، مدل‌های عددی S-C50 و S-C25 مدل‌سازی و تحلیل شده‌اند. به طوریکه در مدل‌های S-C50 و S-C25 مقاومت بتن نسبت به مدل Model-stud به ترتیب ۲۵ و ۵۰ درصد افزایش یافته است. با توجه به اینکه استفاده از گل‌میخ‌ها باعث بهبود رفتار اتصال K شکل شده است. بنابراین در مابقی مدل‌ها از گل‌میخ استفاده شده و جهت تعیین تاثیر پارامتر تغییر یافته، نتایج آن‌ها با مدل Model-stud مقایسه شده است. در ادامه در شکل ۷ تنش فون میزس لوله‌های فولادی در ماکزیمم مقدار بار نشان داده شده است. با توجه به شکل ۷، افزایش مقاومت فشاری بتن به مقدار ۲۵ و ۵۰ درصد، مقدار تنش فون میزس ماکزیمم را به ترتیب ۱۸ و ۲۱ مگاپاسکال افزایش می‌دهد.



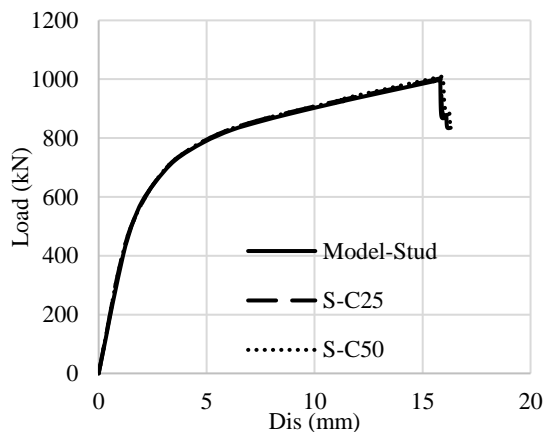
شکل ۷- تنش فون میزس اتصال در مدل‌های Model-stud، S-C25 و S-C50



شکل ۹- منحنی بار-جابجایی مدل‌های Model-stud، S-SB25 و S-SB50 در انتهای لوله فرعی

با توجه به شکل ۹، افزایش تنش تسلیم لوله‌های فولادی فرعی، تاثیر خیلی زیادی بر مقدار بار نهایی و جابجایی متناظر آن دارد بطوریکه بارنهایی مدل‌های S-SB50 و S-SB25 به ترتیب ۱۲۲۷ و ۱۴۷۳ کیلو نیوتن می‌باشد، ولی بر سختی اولیه منحنی بار-جابجایی تاثیر قابل توجهی ندارد. همچنین شکل ۱۰ نشان می‌دهد، افزایش تنش تسلیم لوله‌های فولادی فرعی، از پراکندگی منطقه‌ی تسلیم جلوگیری می‌کند و تا حدودی باعث جلوگیری از انتشار آن در طول لوله‌ها می‌شود.

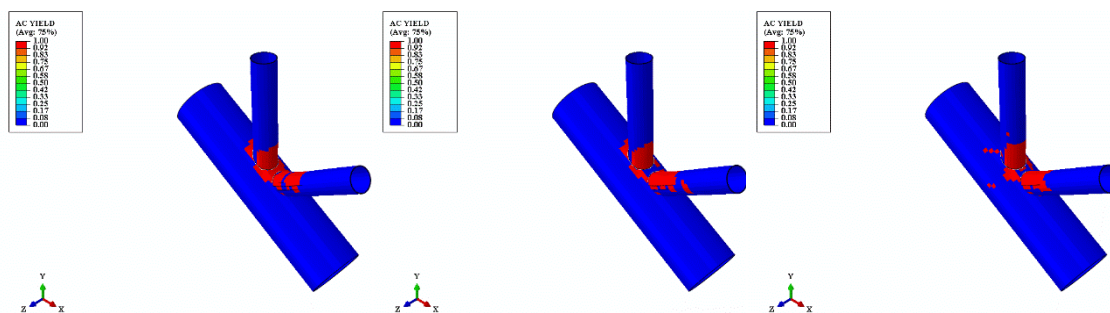
نهایتاً در شکل ۸، منحنی بار-جابجایی مدل‌های S-C25 و S-C50 در مقایسه با Model-stud ارائه شده است. با توجه به شکل ۸، افزایش مقاومت فشاری بتن، تاثیر محسوسی بر مقدار بار نهایی و جابجایی متناظر آن و همچنین سختی اولیه منحنی بار-جابجایی ندارد.



شکل ۸- منحنی بار-جابجایی مدل‌های Model-stud، S-C25 و S-C50 در انتهای لوله فرعی

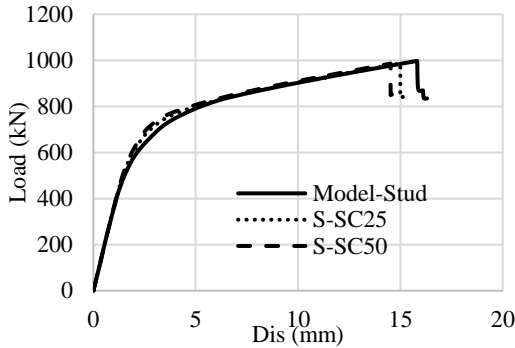
۴-۴- بررسی تاثیر تنش تسلیم لوله‌های فرعی بر رفتار اتصال K شکل

به منظور بررسی تاثیر تنش تسلیم لوله‌های فولادی فرعی بر رفتار اتصال K شکل، مدل‌های S-SB50 و S-SB25 مدل‌سازی و تحلیل شده‌اند. در ادامه در شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب منحنی بار-جابجایی مدل‌های S-SB50 و S-SB25 در مقایسه با Model-stud و محل‌های گسیختگی اتصال ارائه شده است.



شکل ۱۰- نواحی تسلیم‌شده‌ی اتصال Model-stud، S-SB25 و S-SB50

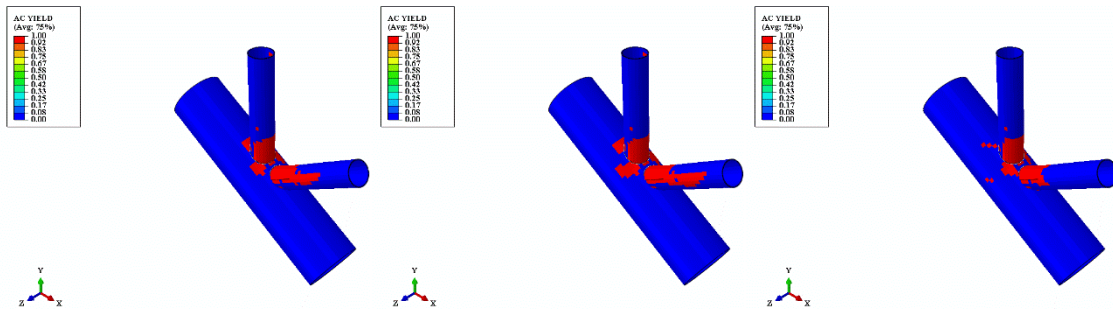
موجب انتشار آن در طول لوله‌ها می‌شود.



شکل ۱۱- منحنی بار-جابجایی مدل‌های Model-stud، S-SC25 و S-SC50 در انتهای لوله فرعی

۴-۵- بررسی تاثیر تنش تسلیم فولاد لوله‌ی اصلی بر رفتار اتصال K شکل

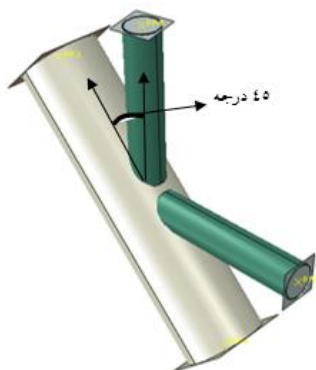
در این قسمت به منظور تاثیر تنش تسلیم فولاد لوله‌ی اصلی بر رفتار اتصال K شکل، مدل‌های عددی S-SC25 و S-SC50 مدل‌سازی و تحلیل شده‌اند. در ادامه در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب منحنی بار-جابجایی مدل‌های S-SC25 و S-SC50 در مقایسه با Model-stud و محل‌های گسیختگی اتصال ارائه شده است. با توجه به شکل ۱۱، بار نهایی مدل‌های عددی S-SC25 و S-SC50 به ترتیب ۹۸۶/۸ و ۹۸۶/۲۴ کیلونیوتن بوده و در حدود ۱۰ مگاپاسکال از بار نهایی مدل Model-stud کمتر می‌باشد. همچنین جابجایی متناظر بار نهایی مدل‌ها نیز در اثر افزایش تنش تسلیم فولاد اصلی کاهش یافته است ولی سختی اولیه‌ی منحنی بار-جابجایی آنها تا حدودی افزایش یافته است. همچنین از شکل ۱۲ می‌توان فهمید، افزایش تنش تسلیم فولاد اصلی، باعث پراکندگی بیشتر منطقه‌ی تسلیم شده و تا حدودی



شکل ۱۲- نواحی تسلیم‌شده‌ی اتصال Model-stud، S-SC25 و S-SC50

۴-۶- بررسی تاثیر زاویه‌ی مابین لوله‌های فرعی و اصلی بر رفتار اتصال K شکل

در نهایت برای بررسی تاثیر زاویه‌ی مابین لوله‌های فرعی و اصلی بر رفتار اتصال K شکل، مدل عددی S-D45 مدل‌سازی و تحلیل شده‌است. به طوری‌که زاویه‌ی مابین آنها ۴۵ درجه در نظر گرفته شده چون فرض می‌شد که در این شرایط بحرانی می‌شود (شکل ۱۳). در ادامه در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ به ترتیب محل‌های گسیختگی لوله‌های فولادی در ماکزیمم مقدار بار منحنی بار-جابجایی مدل S-D45 در مقایسه با Model-stud ارائه شده است. با توجه به شکل ۱۴، با کاهش زاویه‌ی مابین لوله‌های فرعی و اصلی، پراکندگی منطقه‌ی تسلیم شده بیشتر شده است.



شکل ۱۳- مدل اجزای محدود S-D45

و ۴۳/۲ درصد افزایش یافت. همچنین افزایش ۲۵ و ۵۰ درصدی تنش تسلیم لوله‌های فولادی فرعی، مقدار بار نهایی اتصال را به ترتیب ۲۲/۹ درصد و ۷۴/۶ درصد و شکل‌پذیری آن را ۲۴/۹ درصد و ۵۲/۱ درصد افزایش داده است.

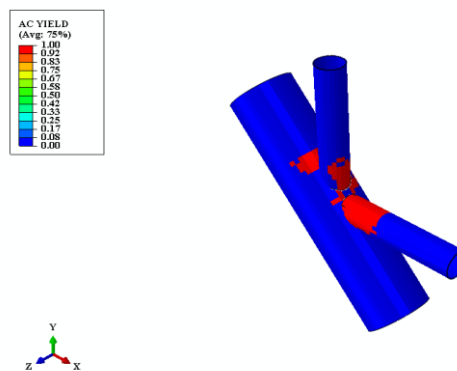
۴- بررسی مدل‌هایی که در آن‌ها تنش تسلیم لوله فولادی اصلی افزایش داده شده، نشان می‌دهد که افزایش تنش تسلیم لوله فولادی اصلی مقدار تنش فون میزس لوله‌ها را در حدود ۲۴ مگاپاسکال افزایش می‌دهد و مقدار تنش فشاری محصور بتن و کرنش پلاستیک آن را کاهش می‌دهد. مقایسه‌ی نمودارهای بار-جابجایی مدل‌ها نشان داد که با افزایش ۲۵ و ۵۰ درصدی تنش تسلیم لوله فولادی اصلی مقدار بار نهایی به ترتیب ۱/۱ و ۱/۲ کاهش و جابجایی متناظر آن‌ها به ترتیب در حدود ۱ و ۱/۵ میلی‌متر کاهش می‌یابد.

۵- کاهش زاویه‌ی مابین لوله‌های فرعی و لوله اصلی در اتصال K شکل لوله فولادی نشان داد که با کاهش زاویه‌ی مابین لوله‌های فرعی و لوله اصلی، مقدار بار نهایی و سختی اولیه کاهش می‌یابد ولی شکل‌پذیری سازه افزایش می‌یابد.

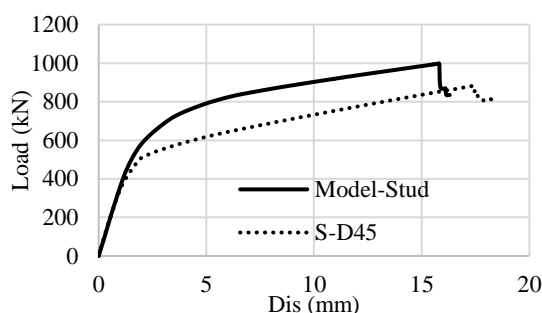
۶- در کل می‌توان نتیجه گرفت که افزایش تنش تسلیم لوله‌های فرعی بیشترین تاثیر را در بهبود رفتار اتصال K شکل داشت بطوریکه علاوه بر افزایش بار نهایی و شکل‌پذیری، سختی اولیه منحنی بار-جابجایی را نیز افزایش داد. در مقابل افزایش تنش تسلیم لوله فولادی اصلی باعث کاهش بار نهایی و شکل‌پذیری اتصال در اثر بارگذاری همزمان لوله‌های فرعی شد و تنها سختی اولیه‌ی آن را تا حدودی افزایش داد.

۱- مراجع

- 1-Wu Q, Yoshimura M, Takahashi K, Nakamura S, and Nakamura T. (2006), nonlinear seismic properties of the Second Saikai Bridge: A concrete filled tubular (CFT) arch bridge. Eng Struct; 28(2):163-82.
- 2-Chen B. (2007), An overview of concrete and CFST arch bridges in China. Proc. of the 5th Int. Conf. on Arch Bridges "Arch'07", Madeira, Portugal, invited lecture, Multicomp, Lda; p. 29-44.
- 3- Chen B, Wang T-L. (2009), Overview of concrete filled steel tube arch bridges in China. Practice periodical on structural design and construction. ASCE; 14(2):70-80.
- 4-Han L-H. (2010), some recent developments of concrete filled steel tubular (CFST) structures in China. Proc. of the 4th Int. Conf. on Steel & Composite Structures 2010; 21-23 July, Sydney, Australia; p. 43-54.
- ۵-ملکی، احمد و خلیل دژم‌پور، (۱۳۹۳)، بررسی رفتار اتصالات T شکل لوله‌ای تقویت شده با FRP، پنجمین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین المللی سازه و فولاد، تهران، انجمن سازه‌های فولادی ایران، دانشگاه شهید بهشتی.



شکل ۱۴- نواحی تسلیم‌شده‌ی لوله‌های فولادی S-D45



شکل ۱۵- منحنی بار-جابجایی مدل‌های S-D45 و Model-stud در انتهای لوله فرعی

با توجه به شکل ۱۵، با کاهش زاویه‌ی مابین لوله‌های فرعی و اصلی از ۶۰ درجه به ۴۵ درجه، مقدار بار نهایی آن از ۹۹۸ کیلو نیوتن به ۸۸۳ کیلو نیوتن کاهش یافته و جابجایی متناظر آن از ۱۵/۸ میلی‌متر به ۱۷/۴ میلی‌متر افزایش می‌یابد و همچنین سختی اولیه منحنی بار-جابجایی نیز کاهش می‌یابد.

۵- نتایج کلی

۱- استفاده از گل میخ در لوله اصلی که با بتن پر شده بود، مقدار تنش فون میزس مصالح فولادی و تنش فشاری بتن پرکننده را افزایش داد و از طرفی مقدار بار نهایی و شکل‌پذیری اتصال K شکل را به ترتیب ۱۷/۶ درصد و ۳۹/۷۹ درصد افزایش داده است. همچنین سختی اولیه منحنی بار-جابجایی را نیز افزایش داده است.

۲- افزایش مقاومت فشاری بتن پرکننده‌ی لوله اصلی، باعث افزایش تنش فون میزس لوله‌های فولادی فرعی (که با بتن پر نشده‌اند) و تنش فشاری بتن می‌شود. همچنین مقدار کرنش پلاستیک بتن را کاهش می‌دهد. از طرفی افزایش مقاومت بتن، نواحی تسلیم‌شدگی لوله‌های فولادی مخصوصاً محل اتصال را گسترش می‌دهد. افزایش ۲۵ و ۵۰ درصدی مقاومت بتن تاثیر محسوس‌ی بر افزایش شکل‌پذیری اتصال ندارد و مقدار بار نهایی اتصال را به ترتیب ۵ و ۱۱ کیلو نیوتن افزایش می‌دهد. ۳- در مدل‌هایی که تنش تسلیم لوله‌های فرعی اتصال افزایش یافت، تاثیر قابل توجهی در رفتار اتصال K شکل دیده شد بطوریکه با افزایش ۲۵ و ۵۰ درصدی تنش، تنش محصور شده‌ی بتن به ترتیب ۲۳/۶ درصد

۶- ملکی، احمد و خلیل دژمپور، (۱۳۹۴)، بررسی تأثیر زاویه دورگیری و تعداد لایه‌های FRP در رفتار اتصال لوله‌ای با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS، همایش ملی استفاده از فناوری‌ها و تکنولوژی نوین طراحی، محاسبه و اجرا در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، مراغه، گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه.

7-Feng R, Young B. (2008), Tests of concrete-filled stainless steel tubular T-joints. *J Constr Steel Res*; 64(11):1283-93.

8-Hou C, Han L-H, Zhao X-L. (2013), Concrete-filled circular steel tubes subjected to local bearing force: Experiments. *J Constr Steel Res*; 83:90-104

9-Huang W, Fenub L, Chenc B, Briseghella B. (2015), Experimental study on K-joints of concrete-filled steel tubular truss structures. *J Constr Steel Res*; 107: 182-93.

Numerical Study on Behavior of K-joints of Concrete-filled Steel Tubular

Mostafa Attarmoosavi

Department of Civil Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

Ahmad Maleki*

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

Abstract:

The main role of connections, the transfer of forces between structural members and maintaining the integrity of the structure under the influence of load loads. Many structural failures are not simply due to defects in the design and analysis of structural members, but rather due to the non-respect of the behavior and design of joints. Even when member structures of the structure are accurately known, there is no complete understanding of the behavior of the joints. For this reason, in this research, a K-shaped connection under the uniform load loading model was modeled by Abacus software and validated by the results of previous research. Then, 8 numerical analytical models with different variables including steel yielding stress, compressive strength of concrete, angle of the steel tube and the presence of a stud have been developed to predict different characteristics of the responses. Their overall results indicated that the use of flint glass in the main pipe, which was filled with concrete, increased the stress intensity of the steel materials and the compressive strength of the filler concrete. An increase of 25% and 50% of the subsidence stresses of the secondary steel pipes increased the final bond strength by 22.9% and 74.6%, respectively, and the strength of the aggregate increased by 24.9% and 52.1%, respectively. The reduction of the angles between the sub-tubes and the main pipe in the K-shaped steel pipe connection showed that by decreasing the angle between the sub-tubes and the main pipe, the final quantity and initial hardness decrease, but the structural ductility increases. In general, it can be concluded that increasing the subsidence tension of the sub-tubes has the greatest effect on improving the behavior of the K-shaped joint, which, in addition to increasing the final load and the formability, also increased the initial hardness of the load-displacement curve. In contrast to the increase in the tensile strength of the main steel pipe, the final load and bond strength were reduced due to the simultaneous loading of the sub-channels and only increased the initial hardness to some extent.

Keywords: Joint, Tubular structures, Concrete-filled, Finite element analysis