



سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.





نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی
ICOPMAS 2010
 10- 8 آذر ماه (تهران)



تحلیل ضرایب تمرکز تنش در اتصالات لوله‌ای تک‌صفحه‌ای DKT و ارائه معادله پارامتری برای توزیع مقادیر SCF

حمید احمدی ، دانشجوی دکتری ، دانشگاه تبریز ، h_ahmadi_81@yahoo.com

محمد علی لطف الهی یقین ، دانشیار ، دانشگاه تبریز ، a_lotfolahi@yahoo.com

چکیده

با وجود استفاده گسترده از اتصالات لوله‌ای DKT در سازه‌های فراساحل، تاکنون هیچ گونه معادله پارامتری برای تعیین توزیع ضرایب تمرکز تنش (SCFs) در امتداد محل تقاطع اعضای اصلی و مهارری در این نوع اتصال ارائه نشده است. در این مقاله، تأثیر پارامترهای هندسی بی بعد و همچنین زاویه تمایل عضو مهارری روی توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله‌ای DKT تحت بارگذاری متعادل محوری مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سپس یک معادله پارامتری برای تعیین توزیع مقادیر SCF در امتداد منحنی فضائی 360 درجه پنجه جوش، بر حسب پارامترهای هندسی بی بعد اتصال، ارائه می‌شود. معادله پیشنهادی ضوابط ارائه شده توسط دپارتمان انرژی بریتانیا برای پذیرش معادلات پارامتری را ارضا نموده و در نتیجه با اطمینان در فرایند تحلیل و طراحی اتصالات لوله‌ای قابل استفاده می‌باشد.

کلید واژه‌ها: سازه‌های فراساحل، خستگی، مکانیک شکست، اتصال لوله‌ای DKT، معادله پارامتری، ضریب تمرکز تنش (SCF)

مقدمه

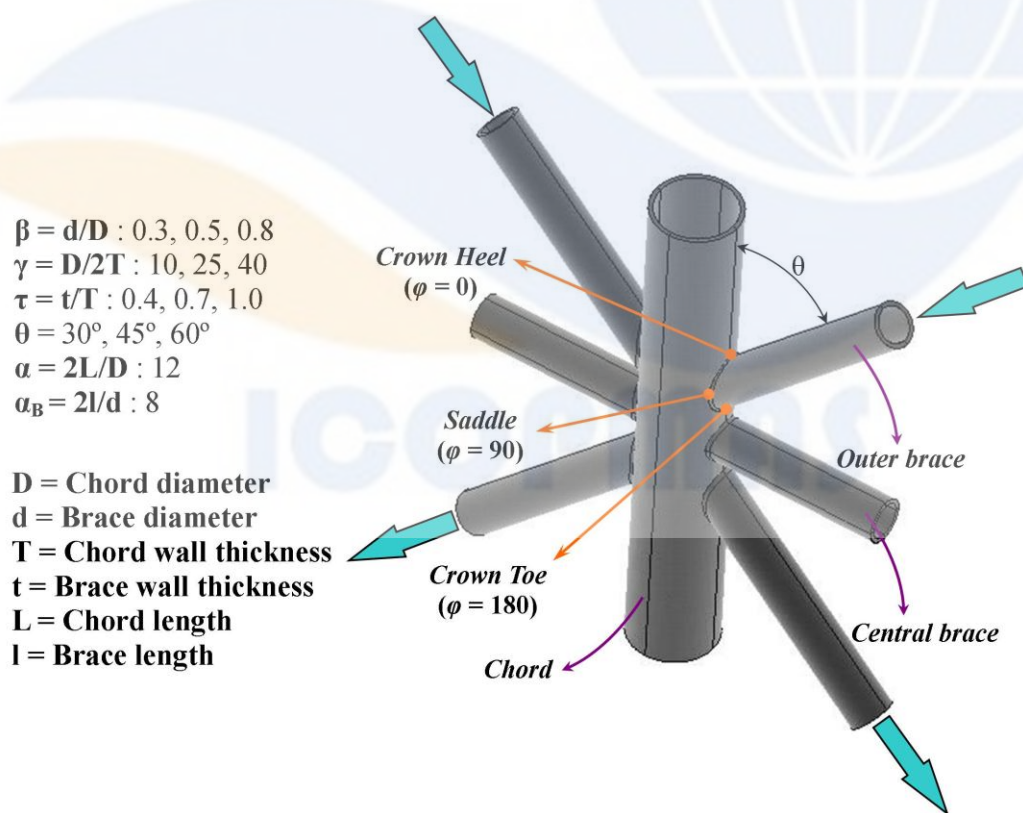
به منظور تأمین به نیازهای روز افزون به انرژی، سکوه‌های فراساحلی متعددی برای اکتشاف و بهره‌برداری از ذخایر نفت و گاز زیر بستر دریاها، در سرتاسر دنیا نصب شده‌اند. در ساخت سازه‌های فراساحلی متداولی نظیر سکوه‌های شابلونی و خودبالابر، از مقاطع توخالی مدور (CHSs) به طور گسترده استفاده می‌شود. از جمله علل این امر می‌توان به نسبت بالای مقاومت به وزن این مقاطع و همچنین یکسان بودن مقاوت خمشی و ویژگی کماتشی مقطع در تمام جهات اشاره نمود. در یک اتصال لوله‌ای، اعضای مدور توخالی از طریق جوش دادن انتهای آماده‌سازی شده اعضای مهارری به سطح عضو اصلی به هم متصل می‌شوند.

یک اتصال لوله‌ای DKT در شکل (1) نشان داده شده است. در این شکل، نقاط Saddle، Crown toe و Crown heel در امتداد محل تقاطع اعضای اصلی و مهارری قابل مشاهده هستند. پارامترهای هندسی بی بعد برای عضو اصلی (با قطر D و ضخامت جدار T) و اعضای مهارری (با قطر d و ضخامت جدار t) نیز در این شکل تعریف شده‌اند. اتصالات لوله‌ای در سازه‌های فراساحلی متداولی نظیر سکوه‌های شابلونی و خودبالابر تحت اثر بارگذاری چرخه‌ای امواج بوده و در نتیجه در معرض آسیب‌های ناشی از خستگی قرار دارند. طراحی اتصال برای خستگی و بازرسی‌های متناوب در حین سرویس‌دهی سکو، به منظور کسب اطمینان از یکپارچگی و ایمنی این اتصالات، ضروری هستند. یکی از روش‌های متداول برای ارزیابی عمر خستگی سکوه‌های فراساحل، استفاده از منحنی‌های S-N است. در این روش، تعداد سیکل‌های بارگذاری قابل تحمل توسط سازه پیش از گسیختگی، بر اساس محدوده تنش بحرانی (HSS) تخمین زده می‌شود. محدوده تنش بحرانی با استفاده از تنش اسمی و پارامتری به نام ضریب تمرکز تنش (SCF) محاسبه می‌گردد. ضریب تمرکز تنش به صورت نسبت تنش سطحی موضعی در محل تقاطع اعضای اصلی و مهارری به تنش اسمی در عضو مهارری بارگذاری شده تعریف می‌شود.

طی 40 سال گذشته، مقالات متعددی در مورد تمرکز تنش در اتصالات لوله‌ای با اعضای CHS منتشر شده است. برخی محققین یک سری معادلات پارامتری ارائه نموده‌اند که برای تعیین مقادیر SCF در محل تقاطع اعضای اصلی و مهارری مفید هستند. با این وجود، نتایج اکثریت قریب به اتفاق این تحقیقات روی محاسبه مقادیر SCF در نقاط خاصی نظیر Saddle و Crown متمرکز شده و تعیین HSS در سایر نقاط در امتداد پنجه جوش چندان مورد توجه قرار نگرفته است. گرچه نتایج این تحقیقات مفید و در عین حال کاربردی هستند، باید توجه داشت که

تعیین توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش به جای محاسبه این مقادیر در نقاط خاصی نظیر Saddle و Crown از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مهم‌ترین دلایل این مسئله در ادامه ارائه شده است:

- با انجام چنین مطالعه‌ای می‌توان موقعیت دقیق HSS را تعیین نمود. این مسئله از اهمیت خاصی برخوردار است چرا که ترک‌های سطحی ناشی از خستگی اتصال تحت بارهای تناوبی از این نقطه آغاز می‌شوند. در صورت استفاده از معادلاتی که مقادیر SCF را صرفاً در نقاط Saddle و Crown toe ارائه می‌کنند، امکان تعیین موقعیت HSS وجود ندارد.
- اتصالات سکوه‌های فراساحلی علاوه بر بار محوری، تحت لنگر خمشی داخل صفحه و خارج از صفحه نیز قرار دارند. طبق روش پیشنهادی توسط آئین نامه API [1]، ابتدا باید بطور جداگانه تنش اسمی ناشی از هر کدام از این بارها را در حداکثر ضریب تمرکز تنش اتصال تحت آن بار ضرب نموده و سپس سه مقدار حاصل را با هم جمع نمود. واضح است که این روش موقعیت HSS را در نظر نگرفته و عموماً منجر به تخمین بسیار محافظه‌کارانه‌ای از عمر خستگی اتصال خواهد شد [2]. برای حصول مقادیر به مراتب دقیقتر برای HSS، می‌توان ابتدا توزیع تنش ناشی از هر کدام از این سه حالت بارگذاری را به طور مجزا بدست آورد و سپس آن‌ها را رویهم گذاری نمود. در نتیجه می‌توان مقادیر واقع‌بینانه‌تری برای عمر خستگی اتصال بدست آورد.
- ممکن است اختلاف بین حداکثر ضریب تمرکز تنش (SCF_{HSS}) و مقادیر SCF در نقاط Saddle و Crown toe زیاد باشد. در این صورت استفاده از معادلاتی که مقادیر SCF را صرفاً در این نقاط ارائه می‌کنند، منجر به کاهش دقت و پیش‌بینی دست پائین مقدار HSS خواهد شد. از طرفی به علت هزینه‌های بسیار بالای بازرسی اعضای قرار گرفته در زیر آب توسط غواص‌ها، عملاً امکان بازرسی تمام اتصالات وجود ندارد. بنابراین بازرسی صرفاً برای چند اتصال بحرانی صورت می‌گیرد [3]. میزان مستعد بودن یک اتصال نسبت به آسیب‌های ناشی از خستگی ارتباط مستقیم با محدوده تنش بحرانی آن اتصال دارد. لذا تعیین مقدار دقیق HSS از اهمیت زیادی برخوردار است.
- اطلاعات دقیق در مورد نحوه توزیع تنش در اتصال جهت پیش‌بینی رشد ترک‌های ناشی از خستگی و همچنین تعیین عمر باقی مانده اتصالات ترک خورده با استفاده از روش‌های پیشرفته مکانیک شکست نظیر O-integral، AVS و TPM، ضروری است. لذا تعیین دقیق توزیع تنش در امتداد محل تلاقی اعضای اصلی و مهاری دارای اهمیت قابل توجهی است.



شکل 1) تعاریف متداول برای یک اتصال لوله‌ای DKT تحت بارگذاری متعادل محوری

در حال حاضر، روش های اندکی برای پیش بینی دقیق توزیع تنش در امتداد خط جوش موجود می باشد. برای اتصالات لوله ای با ضخامت پیچیده، تاکنون روشی جهت تعیین موقعیت تنش بحرانی گزارش نشده است. توزیع تنش در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله ای تا حدود زیادی تحت تأثیر خصوصیات هندسی اتصال قرار دارد. به منظور مطالعه رفتار این اتصالات و تسهیل در مرتبط نمودن این رفتار به ویژگی های هندسی اتصال، از یک سری پارامترهای هندسی بی بعد استفاده می شود.

در این مقاله، با استفاده از نتایج بدست آمده از یک سری تحلیل های مفصل اجزای محدود، تأثیر پارامترهای هندسی بی بعد اتصال شامل τ (نسبت ضخامت جدار عضو مهاري به ضخامت جدار عضو اصلی)، γ (نسبت لاغری جدار عضو اصلی)، β (نسبت قطر عضو مهاري به قطر عضو اصلی) و θ (زاویه تمایل عضو مهاري کناری) روی توزیع ضرایب تمرکز تنش در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله ای DKT تحت بارگذاری متعادل محوری مورد بررسی قرار گرفته است (شکل 1). سپس با بکارگیری بانک اطلاعاتی تولید شده با استفاده از نتایج تحلیل اجزای محدود که بر اساس داده های آزمایشگاهی و نتایج حاصل از معادلات لویز رجیستر (LR) [4] مورد صحت سنجی قرار گرفته است، معادله ای برای تعیین مقادیر SCF در امتداد منحنی فضائی 360 درجه پنجه جوش ارائه شده است.

مرور مطالعات فنی

معادلات LR [4] برای محاسبه مقادیر SCF در اتصالات X, Y, T, K و KT قابل استفاده هستند. لازم به ذکر است که این معادلات صرفاً قادر به پیش بینی مقادیر ضرایب تمرکز تنش در نقاط Saddle و Crown می باشند. Lee و Morgan [5] یک سری معادله پارامتری برای تعیین مقادیر SCF در اتصالات لوله ای K تحت بار متعادل محوری ارائه نمودند. این معادلات که با استفاده از نتایج تحلیل 254 مدل اجزای محدود پوسته ای بدست آمده اند، ابتدا مقادیر SCF را در نقاط کلیدی روی عضو اصلی و عضو مهاري ارائه می دهند. سپس می توان مقادیر SCF در سایر نقاط را با استفاده از مقادیر SCF در این نقاط کلیدی محاسبه نمود. در این معادلات، اثر متفاوت بودن پارامترهای هندسی برای دو عضو مهاري و همچنین اثر کوتاه بودن عضو اصلی در نظر گرفته شده اند. Chang و Dover [3] یک سری معادله پارامتری برای تعیین توزیع مقادیر SCF در امتداد محل تقاطع اعضای اصلی و مهاري در اتصالات T و Y ارائه نمودند. این معادلات با استفاده از نتایج تحلیل اجزای محدود پوسته ای که در آنها پروفیل جوش مدل سازی نشده بود، بدست آمده اند. برای هر کدام از حالات بارگذاری محوری، لنگر داخل صفحه (IPB) و لنگر خارج از صفحه (OPB) معادلات جداگانه ای ارائه شده است و در هر حالت معادلاتی جداگانه برای تعیین مقادیر SCF روی عضو اصلی و مهاري پیشنهاد شده است. Karamanos و همکاران [6] معادلاتی برای تعیین مقادیر SCF در اتصالات لوله ای چند صفحه ای XX ارائه نمودند. در این مطالعه، برای مدل سازی پروفیل جوش از المان 20 گرهی SOLID و برای مدل سازی اعضای اصلی و مهاري از المان 8 گرهی SHELL استفاده شده است. این تحقیق برای بارگذاری های مختلف صورت گرفته و هر دو حالت بارگذاری مرجع و بارگذاری Carry-over مورد بررسی قرار گرفته است. Chiew و همکاران [7] معادلاتی برای تعیین مقادیر SCF جهت استفاده در طراحی اتصالات چند صفحه ای XX تحت بارگذاری های محوری، لنگر خمشی داخل صفحه و خارج از صفحه ارائه نمودند. Van Wingerde و همکاران [8] معادلات و گراف هایی برای تعیین مقادیر SCF در اتصالات K و اتصالات چند صفحه ای KK ارائه نمودند. هدف این پژوهش ساده سازی معادلات به منظور ایجاد سهولت بیشتر در کاربردهای طراحی بود. Karamanos و همکاران [9] معادلاتی برای تعیین مقادیر SCF در اتصالات لوله ای چند صفحه ای DT با در نظر گرفتن اثرات خمشی ارائه نمودند. Shao [10] معادلاتی را برای تعیین مقادیر SCF در اتصالات لوله ای K تحت بارهای خمشی ارائه نمود. Gao و [11]، معادلاتی برای تعیین مقادیر SCF در اتصالات N کاملاً همپوشان تحت بار محوری که بر روی عضو مهاري پوشاننده وارد شده بود، ارائه نمودند. Gao [12] معادلاتی برای تعیین مقادیر ضریب تمرکز در اتصالات لوله ای کاملاً همپوشان تحت لنگر خمشی خارج از صفحه (OPB) که روی عضو مهاري پوشاننده (Lap brace) وارد شده بود، ارائه نمود. Brennan و Woghiren [13] یک سری معادلات پارامتری برای تعیین مقادیر SCF در اتصالات لوله ای چند صفحه ای KK تقویت شده ارائه نمودند. Shao و همکاران [14] یک سری معادلات پارامتری برای تعیین توزیع تنش بحرانی (HSS) در اتصالات لوله ای از نوع K تحت بارگذاری های پایه پیشنهاد نمودند. معادلات ارائه شده توسط Lotfollahi-Yaghin و Ahmadi [15-16] اولین معادلاتی هستند که با استفاده از آنها می توان توزیع ضرایب تمرکز تنش را در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله ای KT تحت بارگذاری متعادل محوری بدست آورد.

مدل سازی اجزای محدود اتصالات لوله ای DKT

خصوصیات هندسی مدل های مورد بررسی

به منظور مطالعه توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله ای DKT، 51 مدل تولید و با استفاده از نرم افزار اجزای محدود ANSYS [17] تحلیل می شود. تمامی مدل ها تحت بارگذاری متعادل محوری قرار داشته و نیروها روی اعضای مهاري کناری (مایل) وارد شده اند. هدف این مطالعه، بررسی تأثیر پارامترهای هندسی بی بعد بر توزیع ضرایب تمرکز تنش در امتداد پنجه جوش است. مطالعه پارامتری در

دو بخش انجام می‌شد. در بخش اول مطالعه که شامل 27 مدل است، تأثیر پارامترهای اتصال شامل τ ، γ و β بر توزیع مقادیر SCF در امتداد محل تقاطع اعضای اصلی و مهارى بررسی می‌شود. در بخش دوم مطالعه روی زاویه تمایل اعضای مهارى کناری تمرکز نموده و اندرکنش این پارامتر با سایر پارامترهای هندسی اتصال بررسی می‌شود. در این بخش از 24 مدل استفاده شده است. مقادیر مختلفی که در این مطالعه به پارامترهای هندسی بی بعد اختصاص داده شده‌اند، مقادیر متداول در سازه‌های فراساحل می‌باشند. 51 مدل مورد بررسی، بازه‌های زیر از پارامترهای هندسی بی‌بعد را پوشش می‌دهند:

$$\begin{aligned} 0.3 &\leq \beta \leq 0.8 \\ 10 &\leq \gamma \leq 40 \\ 0.4 &\leq \tau \leq 1.0 \\ 30^\circ &\leq \theta \leq 60^\circ \end{aligned} \quad (1)$$

بر اساس نتایج بدست آمده توسط Lotfollahi-Yaghin و Ahmadi [15-16]، فاصله آزاد نسبی ($\zeta = g/D$) تأثیر قابل توجهی روی مقادیر و همچنین توزیع ضرایب تمرکز تنش در امتداد پنجه جوش ندارد. در نتیجه برای تمام اتصالات مورد بررسی، مقدار واقع بینانه $\zeta = 0.4$ در نظر گرفته شد.

انتخاب نوع المان

به منظور مدل‌سازی اعضای اصلی و مهارى و همچنین پروفیل جوش توسط نرم افزار ANSYS از المان سه بعدی SOLID 95 استفاده شده است. استفاده از این المان برای مدل‌سازی احجام نامنظم با دقت بالا بسیار مفید است. این المان 20 گرهی بوده و در هر گره دارای 3 درجه آزادی است. المان مذکور قابلیت هر گونه جانمایی فضایی دلخواه را دارا می‌باشد. با استفاده از این المان، امکان لحاظ نمودن خصوصياتی نظیر پلاستیسیته، خزش، سخت شدگی تنش و همچنین تغییر شکل‌ها و کرنش‌های بزرگ وجود دارد.

روش تولید مش

از آنجا که محل تقاطع اعضای اصلی و مهارى در یک اتصال لوله‌ای، یک منحنی فضائی است و پروفیل جوش در امتداد این منحنی فضائی، تشکیل یک حجم پیچیده را می‌دهد، مشکل‌ترین مسئله در مدل‌سازی اتصالات لوله‌ای که شبیه‌سازی پروفیل جوش در آنها در نظر گرفته شده است، تولید مش با کیفیت مطلوب می‌باشد. در این مقاله جهت نیل بدین مقصود، اتصال به قسمت‌های مختلف تقسیم شده و پس از Glue نمودن این قسمت‌ها به هم، هر قسمت جداگانه مش زده شده است. در شکل (2) نمونه‌ای از مش تولید شده با استفاده از این روش برای یک اتصال لوله‌ای DKT نشان داده شده است. با استفاده از این روش می‌توان کیفیت مش تولیدی و همچنین تعداد المان‌های مورد استفاده را به سهولت کنترل نمود. به منظور بررسی همگرایی تحلیل اجزای محدود، پیش از تولید 51 مدل مورد مطالعه، تست همگرایی با بکارگیری مش هائی با چگالی‌های مختلف انجام گرفت.

مدل‌سازی پروفیل جوش

یکی از مهم‌ترین پارامترهای که دقت نتایج بدست آمده برای توزیع تنش را متأثر می‌سازد، مدل‌سازی دقیق پروفیل جوش است. در این پژوهش، ابعاد جوش در امتداد محل تقاطع اعضای اصلی و مهارى، منطبق بر ضوابط AWS [18] می‌باشد. طبق این ضوابط، ابعاد جوش تابعی از زاویه دی‌هدرال ψ می‌باشد که زاویه بین صفحات مماس بر اعضای اصلی و مهارى در امتداد منحنی محل تقاطع است.

شرایط مرزی و روش بارگذاری

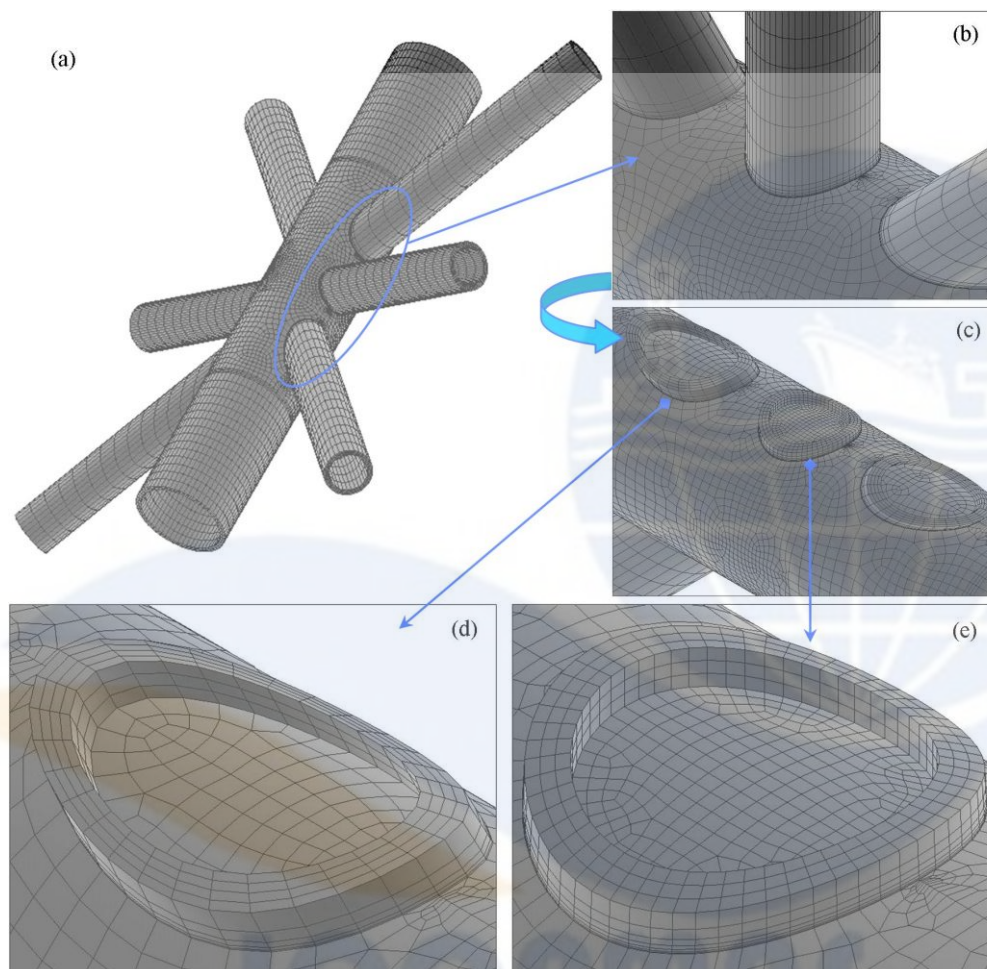
به علت وجود تقارن در هندسه و بارگذاری اتصالات لوله‌ای DKT مورد بررسی، صرفاً مدل‌سازی یک چهارم اتصال کافی است. لذا یک چهارم اتصال مدل شده و در صفحه تقارن، شرایط مرزی متقارن برای مدل تعریف می‌شود. با تعریف این شرایط مرزی، از تغییر مکان گره‌های واقع در صفحه تقارن در جهت عمود بر این صفحه جلوگیری خواهد شد.

بر اساس نتایج بدست آمده توسط Lee و Morgan [19]، تغییر شرایط مرزی از گیردار به مفصلی منجر به 15% افزایش در مقادیر SCF در مدل‌های دارای $\alpha = 6$ و فقط 8% افزایش در مدل‌های دارای $\alpha = 8$ می‌گردد. لذا با توجه به این واقعیت که اثر شرایط مرزی انتهای عضو اصلی صرفاً در اتصالات با شرایط $\alpha < 8$ که دارای مقادیر بزرگ β و γ هستند قابل توجه بوده و اتصالاتی با چنین شرایط هندسی معمولاً در عمل چندان بکار نمی‌روند، در این مطالعه شرایط مرزی دو انتهای عضو اصلی به صورت کاملاً گیردار در نظر گرفته شده است.

به منظور کسب اطمینان از این مسئله که مقادیر تنش در محل تقاطع اعضای اصلی و مهارى از شرایط مرزی انتهای عضو اصلی متأثر نمیشود، عضو اصلی باید دارای طول کافی باشد. Efthymiou [20] نشان داد این طول معمولاً 6 برابر قطر عضو اصلی در نظر گرفته می‌شود. لذا می‌توان گفت در مدل‌های که در آنها $\alpha \geq 12$ است، شرایط مرزی انتهای عضو اصلی تأثیری بر مقادیر SCF ندارد. بنابراین در

پژوهش حاضر، مقدار $\alpha = 12$ برای تمام مدل‌ها در نظر گرفته شده است. با توجه به مطالعات Eftthymiou [20] می‌توان نتیجه گرفت که نتایج بدست آمده در پژوهش حاضر برای تمام اتصالات با $\alpha \geq 12$ صحیح خواهد بود. تأثیر طول عضو مهاري روی مقادير SCF در محل تقاطع اعضاي اصلي و مهاري، توسط Chang و Dover [21] مطالعه شده است. بر اساس نتایج این بررسی، در صورتی که مقدار پارامتر α_B بزرگتر یا مساوی 8 در نظر گرفته شود، می‌توان از تأثیر طول عضو مهاري بر توزیع تنش جلوگیری نمود. لذا برای تمام اتصالات، مقدار $\alpha_B = 8$ در نظر گرفته شده است.

به منظور ایجاد سهولت بیشتر در تعیین مقادير ضرایب تمرکز تنش در امتداد پنجه جوش، بارگذاری محوري وارد بر اعضاي مهاري مایل، به صورت تنش محوري واحد (1MPa) اعمال شد. لذا مقدار تنش در هر نقطه حول پنجه جوش، برابر با ضریب تمرکز تنش در آن نقطه بوده و توزیع تنش در امتداد پنجه جوش معادل با توزیع مقادير SCF خواهد بود.



شکل 2) مش تولید شده برای یک اتصال لوله‌ای DKT

روش تحلیل و برون‌یابی

بنا به توصیه N'Diaye و همکاران [22]، تحلیل استاتیکی از نوع ارتجاعی خطی برای تعیین مقادير SCF در امتداد پنجه جوش اتصالات لوله‌ای مناسب می‌باشد. در این مقاله نیز از این نوع تحلیل استفاده گردیده است. مدول الاستیسیته فولاد برابر 207 GPa و ضریب پواسون برابر 0/3 در نظر گرفته شده است. یکی از متداول‌ترین روش‌های ارزیابی مقاومت خستگی اتصالات لوله‌ای، استفاده از تنش‌های هندسی در پنجه جوش است. برای تعیین محدوده برون‌یابی به منظور برداشت نتایج، از توصیه‌های پیشنهادی توسط کمیته XV-E انستیتوی بین‌المللی جوش (IIW-XV-E) [23] استفاده شده است. حداقل و حداکثر فاصله ناحیه برون‌یابی از پنجه جوش به ترتیب برابر $0.4T$ و $1.4T$ در نظر گرفته شده که T ضخامت عضو اصلی می‌باشد. لذا مقدار تنش در هر نقطه حول پنجه جوش از برون‌یابی خطی مقادير تنش در نقاطی که به ترتیب در فواصل $0.4T$ و $1.4T$ از پنجه جوش قرار گرفته‌اند بدست می‌آید. بنا به مطالب فوق، مقدار تنش هندسی پیک با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

در رابطه فوق، $\sigma_{weld toe}$ مقدار تنش von Mises در پنجه جوش بوده و σ_1 و σ_2 به ترتیب مقادیر تنش von Mises در نقاطی به فاصله $0.4T$ و $1.4T$ از پنجه جوش می‌باشند.

صحت سنجی مدل اجزای محدود

برای تعیین توزیع تنش در امتداد محل تقاطع اعضای اصلی و مهاري در اتصالات لوله‌ای، تحلیل اجزای محدود در مقایسه با مطالعه آزمایشگاهی، به صرفه‌تر بوده و از سهولت به مراتب بیشتری برخوردار است. با این وجود، به منظور حصول اطمینان از صحت روش‌های بکار رفته برای مدل‌سازی اتصال از جمله نحوه مدل‌سازی پروفیل جوش و روش بکار رفته برای تولید مش و در نتیجه حصول اطمینان نسبت به قابل اعتماد بودن نتایج، صحت سنجی مدل اجزای محدود ضروری است. از آنجاکه تاکنون هیچ پژوهش آزمایشگاهی برای تعیین ضرایب تمرکز تنش در اتصالات لوله‌ای DKT فولادی صورت نگرفته است، لذا برای صحت سنجی مدل اجزای محدود از نتایج آزمایشگاهی موجود برای اتصالات T، Y و K استفاده شده است. بارگذاری اتصالات T و Y، بار محوری بوده و بار وارد بر اتصال K نیز متعادل محوری می‌باشد. در هر حالت اتصال مورد نظر توسط همان روش‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی اتصالات DKT، مدل‌سازی شده و نتایج حاصل از تحلیل با نتایج آزمایشگاهی ارائه شده در گزارش HSE OTH 354 [4] و همچنین مقادیر بدست آمده از معادلات پارامتری ارائه شده توسط لویدرز ریچستر (معادلات LR) [4] مقایسه شده است.

نتایج صحت سنجی که برای نقاط Saddle و Crown به شکل مجزا ارائه شده در جدول (1) خلاصه شده است. در این جدول، e_1 نشان دهنده درصد اختلاف بین داده‌های آزمایشگاهی و مقادیر بدست آمده از معادلات LR بوده و e_2 نشانگر درصد اختلاف بین داده‌های آزمایشگاهی و مقادیر حاصل از مدل‌های اجزای محدود پژوهش حاضر می‌باشد. بنابراین $|e_1| - |e_2|$ بیانگر تفاوت دقت معادلات LR و مدل‌های اجزای محدود این مطالعه خواهد بود. چنانچه مقدار $|e_1| - |e_2|$ دارای علامت مثبت باشد، بدین معنی است که مدل اجزای محدود ارائه شده در پژوهش حاضر، در پیش‌بینی مقادیر SCF، در مقایسه با معادلات LR از دقت بیشتری برخوردار است. مقایسه نتایج حاصل از تحلیل اجزای محدود با داده‌های آزمایشگاهی و مقادیر بدست آمده از معادلات LR نشان دهنده عملکرد مناسب مدل اجزای محدود می‌باشد.

جدول 1) مقایسه نتایج تحلیل اجزای محدود با داده‌های آزمایشگاهی و مقادیر بدست آمده از معادلات LR [4]

نوع اتصال	D (mm)	θ	α	τ	γ	β	موقعیت	آزمایش	معادلات LR	FE	e_1^{**} (%)	e_2^* (%)	$ e_1 - e_2 $ (%)
T	508	90	6/2	0/99	20/3	0/8	Saddle	11/4	10/54	11/26	8	1	+7
							Crown	5/4	3/92	4/6	27	15	+12
Y	508	45	6/2	1/05	20/3	0/8	Saddle	8/3	5/48	5/46	32	34	-2
							Crown	4/7	3/5	4/7	25	0	+25
K***	508	45	12/6	1/0	20/3	0/5	Saddle	6/8	4/8	6/76	29/5	0/5	+29
							Crown	4/6	4/56	4/8	1	-4	-3

$$* e_1 = (\text{Test} - \text{LR Eqs.}) / \text{Test} \quad ** e_2 = (\text{Test} - \text{FE}) / \text{Test} \quad *** \zeta = 0.15$$

تأثیر پارامترهای هندسی بی بعد بر توزیع ضرایب تمرکز تنش در امتداد پنجه جوش

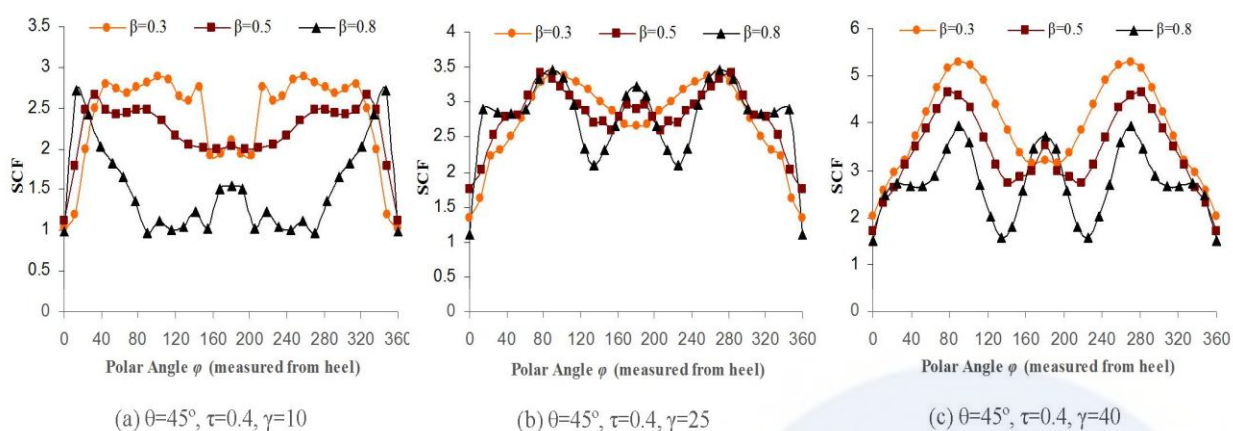
به منظور بررسی تأثیر هندسه اتصال بر توزیع مقادیر SCF، انجام مطالعه پارامتری ضروری است. در مطالعه پارامتری حاضر، تأثیر سه پارامتر هندسی بی بعد متداول (β ، γ و τ) و همچنین زاویه تمایل عضو مهاري (θ) و اندرکنش آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

تأثیر پارامتر β بر توزیع ضرایب تمرکز تنش

در این بخش، نتایج بررسی تأثیر پارامتر β روی توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش ارائه می‌شود. در این مطالعه، نقش پارامترهای τ و γ در نحوه تأثیرگذاری پارامتر β روی توزیع مقادیر SCF بررسی شده است. از آنجا که β نسبت قطر عضو مهاري به قطر اصلی است، افزایش β در مدل‌هایی که قطر عضو اصلی در آنها ثابت است، منجر به افزایش قطر عضو مهاري خواهد شد.

به عنوان مثال، توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش برای 9 عدد از مدل‌های مورد بررسی در شکل (3) ارائه شده است. در این شکل، محور افقی نشان دهنده مقدار زاویه قطبی (ϕ) در امتداد منحنی 360 درجه خط جوش است. این زاویه نسبت به نقطه Crown heel سنجیده می‌شود. لذا مقدار ϕ در نقاط Saddle، Crown heel و Crown toe به ترتیب صفر، 90 و 180 درجه خواهد بود. محور قائم در این شکل

نشانگر مقدار SCF در هر نقطه دلخواه در امتداد پنجه جوش است. در هر کدام از سه نمودار شکل (3)، توزیع مقادیر SCF به ازای سه مقدار مختلف از β (0/3، 0/5، 0/8) ارائه شده است. مقدار پارامترهای τ و γ برای هر کدام از این سه نمودار، در پی‌نویس نمودار مربوطه ذکر شده است. لازم به ذکر است که 9 نمودار به منظور مطالعه تأثیر پارامتر β روی توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش مورد استفاده قرار گرفت که جهت حفظ اختصار صرفاً 3 نمودار در این بخش ارائه شده است.



شکل 3) تأثیر پارامتر β بر توزیع ضرایب تمرکز تنش در امتداد پنجه جوش

پس از بررسی اتصالات با شرایط هندسی مختلف که به علت محدودیت حجم مقاله از ارائه نمودارهای آنها خودداری شده است، نتایج زیر را در مورد نحوه تأثیر پارامتر β بر توزیع تنش در امتداد پنجه جوش می‌توان استنباط نمود:

- به ازای مقادیر متوسط و بزرگ γ (مانند $\gamma = 25, 40$)، موقعیت HSS همواره در نزدیکی Saddle قرار دارد. در حالی که به ازای مقادیر کوچک γ (مانند $\gamma = 10$)، موقعیت HSS همواره بین Saddle و Crown heel قرار داشته و افزایش β منجر به کاهش فاصله بین موقعیت HSS و نقطه Crown heel می‌گردد. بنابراین مشاهده می‌شود که موقعیت HSS همواره در یکی از نقاط Saddle یا Crown قرار نخواهد گرفت. با این وجود، اکثر تحقیقات صورت گرفته روی تمرکز تنش در اتصالات لوله‌ای، روی تعیین مقدار SCF در نقاط Saddle، Crown toe و Crown heel متمرکز شده‌اند. این نتیجه لزوم بررسی توزیع مقادیر SCF در امتداد منحنی محل تقاطع اعضای اصلی و مهاری را روشن می‌سازد. تفاوتی نیز بین رفتار اتصالات DKT و KT مشاهده گردید. در اتصالات KT، به ازای مقادیر متوسط و بزرگ γ (مانند $\gamma = 25, 40$)، موقعیت HSS وابسته به مقدار β بوده و ممکن است در نزدیکی Saddle و یا در Crown toe قرار بگیرد [16]. این در حالی است که در اتصالات DKT با مقادیر متوسط و بزرگ γ (مانند $\gamma = 25, 40$)، موقعیت HSS همواره در نزدیکی Saddle قرار دارد.
- با افزایش β مقدار SCF در نقطه Saddle و Crown heel کاهش می‌یابد. علت را می‌توان افزایش سختی اتصال در اثر افزایش β دانست.

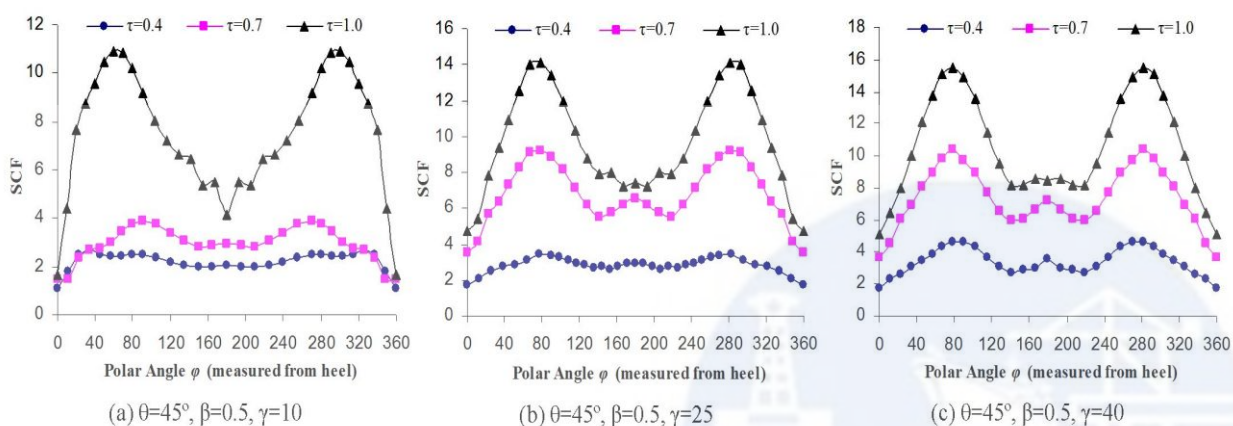
تأثیر پارامتر τ بر توزیع ضرایب تمرکز تنش

در این بخش، نتایج بررسی تأثیر پارامتر τ روی توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش ارائه می‌شود. در این مطالعه، نقش پارامترهای β و γ در نحوه تأثیرگذاری پارامتر τ روی توزیع مقادیر SCF بررسی شده است. از آنجا که τ نسبت ضخامت جدار عضو مهاری به ضخامت جدار عضو اصلی بوده و γ نسبت شعاع به ضخامت جدار عضو اصلی است، افزایش τ در مدل‌هایی که مقدار γ در آنها ثابت است، منجر به افزایش ضخامت جدار عضو مهاری خواهد شد.

از 9 نمودار توزیع SCF، برای بررسی تأثیر پارامتر τ روی توزیع مقادیر SCF و مطالعه نقش پارامترهای β و γ در نحوه تأثیرگذاری پارامتر τ استفاده شده است. به عنوان مثال، توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش برای مدل‌های با $\beta = 0.5$ در شکل (4) نشان داده شده است. هر کدام از 3 نمودار ارائه شده در این شکل، توزیع مقادیر SCF را به ازای سه مقدار متفاوت از τ (0/4، 0/7، 1/0) نشان می‌دهند. مقدار پارامتر γ در نمودارهای (a) تا (c) به ترتیب 10، 25 و 40 می‌باشد. لازم به ذکر است جهت حفظ اختصار، سایر نمودارهای مقایسه‌ای در این بخش ارائه نشده‌اند.

پس از بررسی اتصالات با شرایط هندسی مختلف، نتایج زیر در مورد نحوه تأثیر پارامتر τ بر توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش قابل استنباط است:

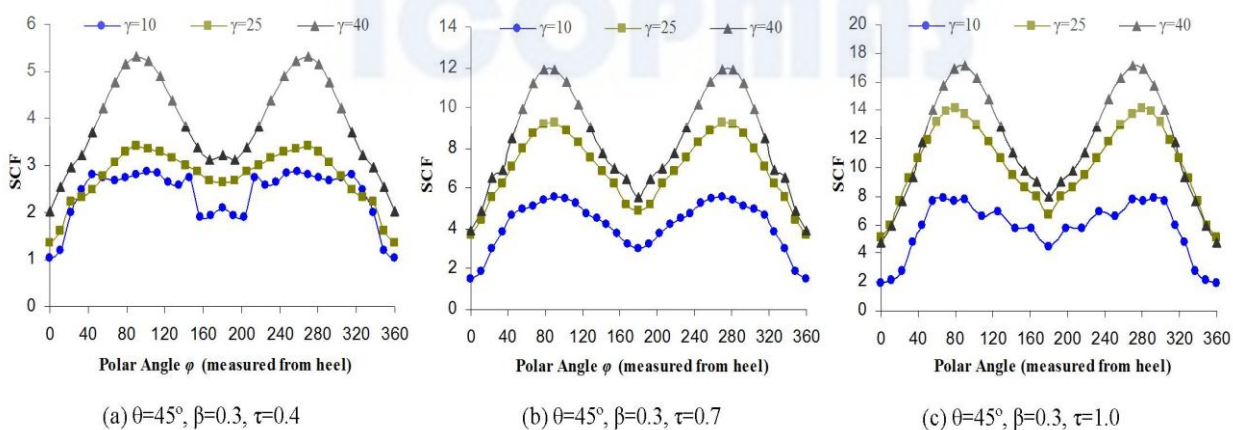
- با افزایش پارامتر τ ، مقدار ضرایب تمرکز تنش در تمام نقاط حول پنجه جوش افزایش می‌یابد. گر چه افزایش پارامتر τ ، مقدار $SCF_{crown toe}$ بطور قابل ملاحظه‌ای متأثر می‌سازد، ولی بر شکل توزیع تنش حول پنجه جوش تأثیر قابل توجهی ندارد. ضمناً مقدار پارامتر γ ، نقش قابل توجهی در نحوه تأثیر پارامتر τ در تغییر مقادیر SCF ندارد و با افزایش γ صرفاً تراز مقادیر SCF افزایش می‌یابد. ضمناً مشاهده می‌شود که شباهت شکل منحنی‌های توزیع SCF به ازای مقادیر مختلف τ ، با افزایش مقدار γ افزایش می‌یابد.
- با افزایش پارامتر τ ، اختلاف مقادیر SCF_{saddle} با $SCF_{crown toe}$ و $SCF_{crown heel}$ با $SCF_{crown heel}$ و همچنین $SCF_{crown toe}$ با SCF_{saddle} افزایش می‌یابد. مقدار پارامتر γ در این نتیجه بی تأثیر است. SCF_{saddle} ، $SCF_{crown toe}$ و $SCF_{crown heel}$ به ترتیب نشان دهنده مقادیر SCF در نقاط Saddle، Crown toe و Crown heel هستند.



شکل 4) تأثیر پارامتر τ بر توزیع ضرایب تمرکز تنش در امتداد پنجه جوش

تأثیر پارامتر γ بر توزیع ضرایب تمرکز تنش

در این بخش، نتایج بررسی تأثیر پارامتر γ روی توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش ارائه می‌شود. در این مطالعه، نقش پارامترهای β و τ در نحوه تأثیرگذاری پارامتر γ روی توزیع مقادیر SCF بررسی شده است. از آنجا که γ نسبت شعاع به ضخامت جدار عضو اصلی است، افزایش γ در مدل‌هایی که قطر عضو اصلی در آنها ثابت است، منجر به کاهش ضخامت جدار عضو اصلی خواهد شد. از 9 نمودار توزیع SCF ، برای مقایسه و بررسی تأثیر پارامتر γ روی توزیع مقادیر SCF و مطالعه نقش پارامترهای β و τ در نحوه تأثیرگذاری پارامتر γ استفاده شده است. به عنوان مثال، توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش برای مدل‌های با $\beta = 0.3$ در شکل (5) نشان داده شده است. هر کدام از 3 نمودار ارائه شده در این شکل، توزیع مقادیر SCF را به ازای سه مقدار متفاوت از γ (10، 25 و 40) نشان می‌دهند. مقدار پارامتر τ در نمودارهای (a) تا (c) به ترتیب 0/4، 0/7 و 1/0 می‌باشد. لازم به ذکر است جهت حفظ اختصار، 6 نمودار باقی مانده در این بخش ارائه نشده‌اند.



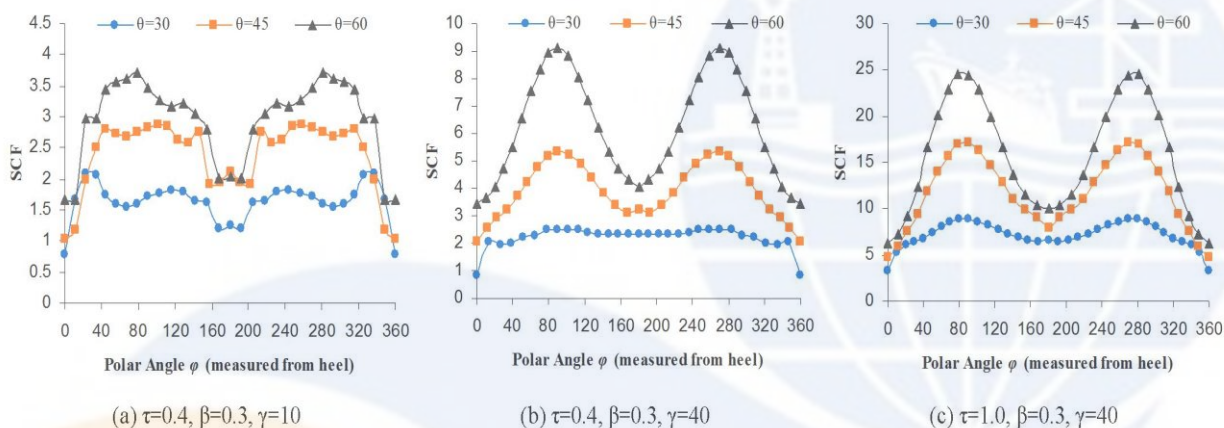
شکل 5) تأثیر پارامتر γ بر توزیع ضرایب تمرکز تنش در امتداد پنجه جوش

عمده‌ترین نتایج حاصل از بررسی نحوه تأثیر پارامتر γ بر توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش را به شکل زیر می‌توان خلاصه نمود:

- با افزایش پارامتر γ ، مقادیر ضرایب تمرکز تنش در تمام نقاط حول پنجه جوش افزایش می‌یابند. گرچه افزایش پارامتر γ ، مقادیر SCF را بطور قابل ملاحظه‌ای متأثر می‌سازد ولی بر شکل توزیع تنش حول پنجه جوش تأثیر قابل توجهی ندارد. ضمناً مقدار پارامتر τ ، نقش قابل توجهی در نحوه تأثیر پارامتر γ در تغییر مقادیر SCF ندارد و با افزایش τ صرفاً تراز مقادیر SCF افزایش می‌یابد.
- با افزایش پارامتر γ ، اختلاف مقادیر SCF_{saddle} با $SCF_{crown toe}$ ، SCF_{saddle} با $SCF_{crown heel}$ و همچنین $SCF_{crown heel}$ با $SCF_{crown toe}$ افزایش می‌یابد. یادآوری می‌شود SCF_{saddle} ، $SCF_{crown toe}$ و $SCF_{crown heel}$ به ترتیب نشان دهنده مقادیر SCF در نقاط Saddle، Crown toe و Crown heel هستند. مقدار پارامتر τ در این نتیجه بی تأثیر است.

تأثیر پارامتر θ بر توزیع ضرایب تمرکز تنش

به منظور مطالعه تأثیر زاویه تمایل عضو مهباری (θ) بر توزیع ضرایب تمرکز تنش و بررسی اندرکنش بین θ و پارامترهای هندسی بی بعد اتصال، سه مقدار مختلف برای θ در نظر گرفته شد (30، 45 و 60 درجه). شکل (6) تأثیر پارامتر θ را بر توزیع مقادیر SCF به ازای مقادیر مختلف γ و τ نشان می‌دهد.



شکل (5) تأثیر پارامتر θ بر توزیع ضرایب تمرکز تنش در امتداد پنجه جوش

نتایج بدست آمده در مورد نحوه تأثیر پارامتر θ بر توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش را می‌توان به شکل زیر خلاصه نمود:

- به ازای مقادیر کوچک γ و β (به عنوان مثال، $\gamma = 10$ و $\beta = 0.3$)، موقعیت HSS تابعی از مقدار θ است؛ در حالی که به ازای مقادیر بزرگ γ (به عنوان مثال، $\gamma = 40$)، مقدار θ تأثیری روی الگوی توزیع تنش نداشته و HSS همواره در نقطه Saddle رخ می‌دهد.
- با افزایش پارامتر θ ، مقدار ضرایب تمرکز تنش در تمام نقاط حول پنجه جوش افزایش می‌یابد.
- با افزایش پارامتر θ ، اختلاف مقادیر SCF_{saddle} با $SCF_{crown toe}$ و همچنین SCF_{saddle} با $SCF_{crown heel}$ افزایش می‌یابد.

استخراج معادله پارامتری

در این بخش، نتایج بدست آورده از تحلیل اجزای محدود برای ارائه یک معادله پارامتری بکار گرفته می‌شود که با استفاده از آن می‌توان توزیع مقادیر SCF را در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله‌ای DKT تحت بارگذاری متعادل محوری بدست آورد. برای استخراج معادله پارامتری از روش رگرسیون غیر خطی و نرم افزار SPSS استفاده شده است. به منظور حصول معادله پارامتری به این روش توسط نرم افزار SPSS، ابتدا باید مقادیر متغیرهای مستقل و وابسته در محیط نرم‌افزار وارد شوند. داده‌های ورودی شامل مقادیر SCF، β ، γ ، τ و θ هستند. همان طور که پیشتر اشاره شد، ϕ زاویه قطبی نشان دهنده موقعیت نقطه مورد نظر برای تعیین SCF در امتداد پنجه جوش می‌باشد. این زاویه نسبت به نقطه Crown heel سنجیده می‌شود. لذا مقدار ϕ در نقاط Saddle، Crown toe و Crown heel به ترتیب صفر، 90 و 180 درجه خواهد بود. به علت تقارن در هندسه و بارگذاری اتصالات لوله‌ای مورد مطالعه، محدوده ϕ در معادله پیشنهادی، $0^\circ \leq \phi \leq 180^\circ$ است.

اگر داده‌های ورودی به صورت یک ماتریس در نظر گرفته شوند، هر سطر از این ماتریس حاوی اطلاعات مربوط به مقادیر SCF در یک نقطه خاص در امتداد پنجه جوش در یک اتصال با شرایط هندسی بخصوص می‌باشد. تعداد ستون‌های این ماتریس برابر 6 و تعداد سطرهای آن برابر 817 است که به ترتیب نشان دهنده تعداد متغیرها و تعداد داده‌های استخراج شده از تحلیل اجزای محدود 51 مدل بررسی شده می‌باشند. پس از تعریف داده‌ها، باید متغیرهای مستقل و وابسته مشخص شوند. واضح است که SCF متغیر وابسته بوده و τ ، γ ، β و θ متغیرهای مستقل می‌باشند. سپس باید یک رابطه که بر حسب متغیرهای مستقل تعریف شده و مقدار متغیر وابسته را بدست می‌آورد، برای SPSS تعریف شده و پارامترهای رابطه مذکور که همان ضرایب و توان‌های مجهول رابطه هستند مشخص شوند. در شروع کار، مقادیر اولیه پارامترها باید توسط کاربر تعیین شوند. سپس SPSS مقادیر این پارامترها را طوری محاسبه خواهد نمود که حداکثر انطباق بین رابطه تعریف شده و داده‌های ورودی ایجاد گردد. هر چه مقادیر اولیه پارامترها مناسبتر انتخاب گردند به طوریکه اختلاف کمتری با مقادیر نهائی پارامترها که توسط SPSS محاسبه خواهد شد داشته باشند، تعداد تکرارها در محاسبه کاهش پیدا کرده و در نتیجه احتمال واگرایی حل کمتر خواهد شد. مدل‌های متعددی برای شکل معادله پیشنهادی باید تهیه شده و تحت تحلیل قرار گیرند تا نهایتاً معادله‌ای با ضریب همبستگی مناسب بدست آید. پس از انجام تحلیل رگرسیون غیر خطی روی نتایج تحلیلی بدست آمده از 51 مدل مورد بررسی، معادله زیر برای تعیین توزیع ضرایب تمرکز تنش در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله‌ای DKT تحت بارگذاری متعادل محوری پیشنهاد می‌شود:

(3)

$$SCF = [\psi_1(\tau, \beta) + \psi_2(\tau, \gamma) \psi_3(\beta) \psi_4(\varphi)] \psi_5(\theta)$$

که توابع ψ_1 تا ψ_5 به شکل زیر تعیین می‌شوند:

(4)

$$\psi_1(\tau, \beta) = 0.180 - 0.505\tau - 0.103\beta + 0.496\tau\beta$$

(5)

$$\psi_2(\tau, \gamma) = (3.412\tau^{0.759} - 1.054) \cdot (1.684\gamma^{0.003} - 1.684)$$

(6)

$$\psi_3(\beta) = (3.546\beta^{-0.418} + 0.955) \cdot (-1.336\beta^2 + 1.222\beta + 0.306)$$

$$\psi_4(\varphi) = 0.928\sqrt{\varphi} + 0.542\text{Sin}(2.504\varphi) - 2.927\text{Cos}(2.154\varphi) + 7.030$$

(7)

(8)

$$\psi_5(\theta) = 1 + 7.912\theta^{2.252} + 1.202\text{Cos}\theta + 7.641\text{Sin}\theta$$

ضریب همبستگی معادله پیشنهادی 0/919 می‌باشد که با توجه به ماهیت پیچیده مسئله قابل قبول است. محدوده اعتبار این معادله به شکل زیر است:

$$0.3 \leq \beta \leq 0.8$$

$$10 \leq \gamma \leq 40$$

$$0.4 \leq \tau \leq 1.0$$

$$30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$$

$$\alpha \geq 12$$

(9)

دپارتمان انرژی بریتانیا (UK DoE) [24] معیارهای زیر را برای ارزیابی معادلات پارامتری مورد استفاده برای تعیین مقادیر SCF پیشنهاد می‌کند (P/R نشان دهنده نسبت SCF بدست آمده از معادله پارامتری به SCF بدست آمده از تحلیل یا آزمایش می‌باشد که P حرف اول کلمه Predicted و R حرف اول کلمه Recorded است):

- چنانچه درصد پیش‌بینی دست پائین، کمتر یا مساوی 25% باشد، یعنی $0.25 \leq [\%P/R < 1.0]$ و درصد پیش‌بینی خیلی دست پائین، کمتر یا مساوی 5% باشد، یعنی $0.05 \leq [\%P/R < 0.8]$ ، معادله پذیرفته می‌شود. اگر علاوه بر این شرایط، درصد پیش‌بینی خیلی دست بالا، بیشتر یا مساوی 50% باشد، یعنی $0.50 \geq [\%P/R > 1.5]$ ، معادله پذیرفته بوده ولی عموماً محافظه‌کارانه تلقی می‌شود.

- چنانچه اختلاف شرایط معادله با معیارهای پذیرش کم باشد، یعنی رابطه $0.25 \leq 30\% \leq [\%P/R < 1.0]$ برقرار بوده و / یا شرایط $0.05 \leq 7.5\% \leq [\%P/R < 0.8]$ حاکم باشد، در این صورت معادله روی خط مرزی قرار دارد و برای تعیین پذیرفته یا مردود بودن آن باید قضاوت مهندسی صورت گیرد.

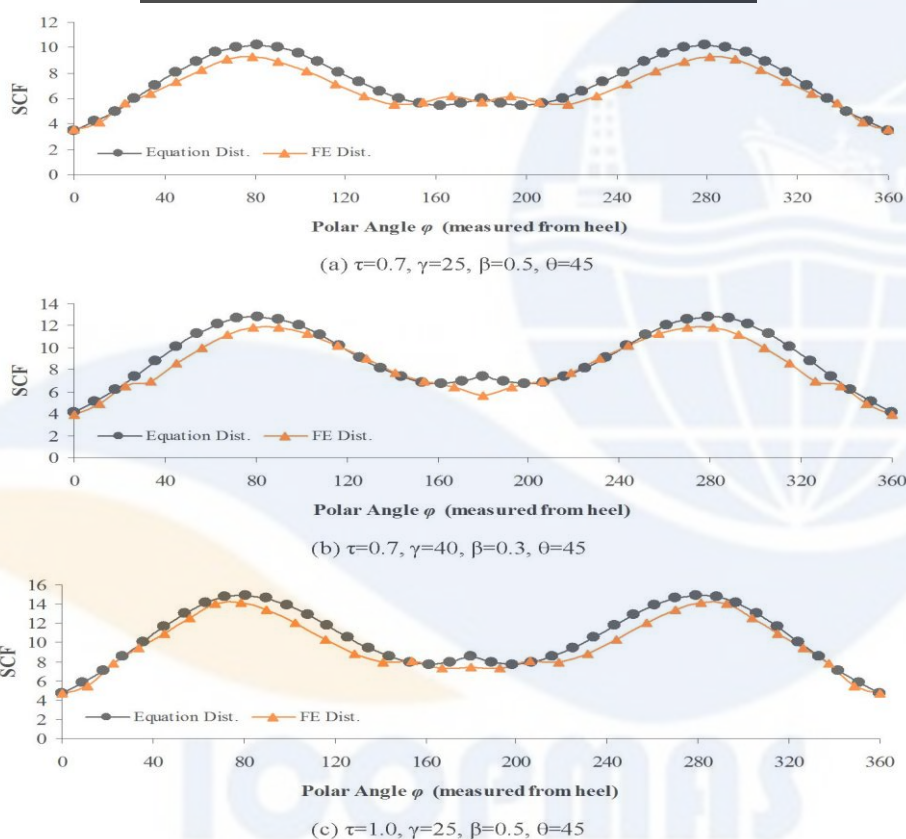
- چنانچه هیچ کدام از دو حالت بالا اقتناع نشوند، معادله مردود خواهد بود.

نتایج ارزیابی معادله پیشنهادی بر اساس ضوابط UK DoE [24] در جدول (2) ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، معادله ارائه شده تمام ضوابط پیشنهادی توسط UK DoE را ارضا نموده است.

توزیع SCF بدست آمده از تحلیل اجزای محدود (*FE Dist.*) و توزیع SCF حاصل از معادله پیشنهادی (*Equation Dist.*) در شکل (7) برای سه اتصال لوله‌ای DKT مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود، انطباق مناسبی بین نتایج تحلیل اجزای محدود و مقادیر بدست آمده از معادله پیشنهادی وجود دارد. ضریب همبستگی نسبتاً بالای معادله ارائه شده (0/919) و نتایج مناسب بدست آمده از ارزیابی معادله بر اساس ضوابط UK DoE [24] (طبق جدول 2 و شکل 7)، دقت معادله مذکور را تضمین می‌کنند. لذا این معادله را می‌توان با اطمینان در تحلیل و طراحی اتصالات لوله‌ای بکار برد.

جدول 2) نتایج ارزیابی معادله پیشنهادی بر اساس ضوابط پذیرش [24] UK DoE

شرط	% P/R < 1.0	% P/R < 0.8	% P/R > 1.5
مقدار	22.52 %	4.64 %	15.23 %
وضعیت شرط	< 25% OK.	< 5 % OK.	< 50 % OK.
وضعیت کلی	پذیرفته شده است.		



شکل 7) مقایسه توزیع SCF بدست آمده از تحلیل اجزای محدود با توزیع SCF حاصل از معادله پارامتری پیشنهادی

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله، تأثیر پارامترهای هندسی بی بعد شامل τ ، γ و β و همچنین زاویه تمایل عضو مهاری θ روی توزیع ضرایب تمرکز تنش (SCFs) در امتداد پنجه جوش در اتصالات لوله‌ای DKT تحت بارگذاری متعادل محوری مورد بررسی قرار گرفت. سپس یک معادله پارامتری برای تعیین توزیع مقادیر SCF در امتداد منحنی فضائی 360 درجه پنجه جوش، بر حسب پارامترهای هندسی بی‌بعد اتصال، ارائه گردید. با وجود استفاده گسترده از اتصالات لوله‌ای DKT در سازه‌های فراساحل، معادله پیشنهادی، اولین معادله پارامتری است که برای تعیین توزیع ضرایب تمرکز تنش در امتداد محل تقاطع اعضای اصلی و مهاری در اتصالات لوله‌ای DKT ارائه شده است.

بر اساس نتایج بدست آمده از مطالعه پارامتری، توزیع مقادیر SCF در امتداد پنجه جوش و همچنین موقعیت تنش بحرانی (HSS) توابعی از مقادیر پارامترهای هندسی بی بعد هستند. بنابراین موقعیت HSS همواره در یکی از نقاط Saddle یا Crown قرار نخواهد گرفت. این نتیجه لزوم بررسی توزیع مقادیر SCF در امتداد منحنی محل تقاطع اعضای اصلی و مهاری را روشن می‌سازد. صرفنظر از جزئیات نتایج بدست آمده از

مطالعه پارامتری که مشروح آن در متن مقاله مورد بحث قرار گرفت، به عنوان نتیجه کلی می‌توان گفت افزایش β (افزایش قطر عضو مهاری در اتصالات با قطر ثابت عضو اصلی) منجر به کاهش مقادیر SCF در نقاط Saddle و Crown heel می‌شود و افزایش τ و γ یا γ (افزایش ضخامت جدار عضو مهاری و γ یا کاهش ضخامت جدار عضو اصلی در اتصالات با قطر ثابت عضو اصلی) منجر به افزایش مقادیر SCF در تمام نقاط حول پنجه جوش می‌گردد. همچنین مشاهده شد که افزایش θ (زاویه تمایل عضو مهاری کناری) منجر به افزایش مقادیر ضرایب تمرکز تنش در تمام نقاط حول پنجه جوش می‌شود. لازم به ذکر است که به ازای مقادیر خاصی از پارامترهای بی‌بعد، توزیع تنش در امتداد پنجه جوش رفتارهای بخصوص و جالب توجهی از خود نشان می‌دهد. این رفتارها به طور کامل در متن مقاله مورد بحث قرار گرفته و به منظور حفظ اختصار از تکرار این مطالب در این بخش خودداری شده است.

ضریب همبستگی نسبتاً بالایی معادله ارائه شده (0/919) و نتایج مناسب بدست آمده از ارزیابی معادله بر اساس ضوابط UK DoE [24] (طبق جدول 2 و شکل 7)، دقت معادله مذکور را تضمین می‌کنند. لذا این معادله را می‌توان با اطمینان در تحلیل و طراحی اتصالات لوله‌ای بکار برد.

مراجع

- [1] American Petroleum Institute, (1993), Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms: RP2A-WSD, USA.
- [2] Pang, H.L.J., Lee, C.W., (1995), The Three Dimensional Finite Element Analysis of a Tubular T-joint under Combined Axial and Bending Loading, International Journal of Fatigue, Vol. 17, 313-20.
- [3] Chang, E., Dover, W.D., (1999), Prediction of Stress Distributions Along the Intersection of Tubular Y and T-joints, International Journal of Fatigue, Vol. 21, 361-381.
- [4] UK Health and Safety Executive (1997), OTH 354: Stress Concentration Factors for Simple Tubular Joints- Assessment of Existing and Development of New Parametric Formulae, prepared by Lloyd's Register of Shipping.
- [5] Morgan, M.R., Lee, M.M.K., (1997), Prediction of Stress Concentrations and Degrees of Bending in Axially Loaded Tubular K-joints, Journal of Constructional Steel research, Vol. 45, 67-97.
- [6] Karamanos, S.A., Romeijn, A., Wardenier, J., (1999), Stress Concentrations in Multi-planar Welded CHS XX-connections, Journal of Constructional Steel research, Vol. 50, 259-282.
- [7] Chiew, S.P., Soh, C.K., Wu, N.W., (2000), General SCF Design Equations for Steel Multiplanar Tubular XX-joints, International Journal of Fatigue, Vol. 22, 283-293.
- [8] Wingerde, A.M., Packer, J.A., Wardenier, J., (2001), Simplified SCF Formulae and Graphs for CHS and RHS K- and KK-connections, Journal of Constructional Steel research, Vol. 57, 221-252.
- [9] Karamanos, S.A., Romeijn, A., Wardenier J., (2002), SCF Equations in Multi-planar Welded Tubular DT-joints Including Bending Effects, Marine Structures, Vol. 15, 157-173.
- [10] Shao, Y.B., (2004), Proposed Equations of Stress Concentration Factor (SCF) for Gap Tubular K-joints Subjected to Bending Load, International Journal of Space Structures, Vol. 19, 137-47.
- [11] Gho, W.M., Gao, F., (2004), Parametric Equations for Stress Concentration Factors in Completely Overlapped Tubular K (N)-joints, Journal of Constructional Steel research, Vol. 60, 1761-1782.
- [12] Gao, F., (2006), Stress and Strain Concentrations of Completely Overlapped Tubular Joints under Lap Brace OPB Load, Thin-Walled Structures, Vol. 44, 861-871.
- [13] Woghiren, C.O., Brennan, F.P., (2009), Weld Toe Stress Concentrations in Multi Planar Stiffened Tubular KK Joints, International Journal of Fatigue, Vol. 31, 164-172.
- [14] Shao Y.B., Du, Z.F., Lie, S.T., (2009), Prediction of Hot Spot Stress Distribution for Tubular K-joints under Basic Loadings, Journal of Constructional Steel research, Vol. 65, 2011-2026.
- [15] Lotfollahi-Yaghin, M.A., Ahmadi, H., (2009), "Numerical Parametric Study of Stress Concentration along the Intersection of Tubular KT-Joints Subjected to Balanced Axial Loading", Proceedings of the 19th International Offshore and Polar Engineering Conference, Osaka, Japan.
- [16] Lotfollahi-Yaghin, M.A., Ahmadi, H., (2010), Effect of Geometrical Parameters on SCF Distribution along the Weld Toe of Tubular KT-joints under Balanced Axial Loads, International Journal of Fatigue, Vol. 32, 703-719.
- [17] ANSYS user's manual (2007), Swanson Analysis Systems Inc., USA.
- [18] American Welding Society (AWS), (2002), Structural Welding Code: AWS D 1.1, USA.
- [19] Morgan, M.R., Lee, M.M.K., (1997), Prediction of Stress Concentrations and Degrees of Bending in Axially Loaded Tubular K-joints, Journal of Constructional Steel research, Vol. 45, 67-97.
- [20] Efthymiou, M., (1988), Development of SCF Formulae and Generalized Influence Functions for Use in Fatigue Analysis, OTJ 88, Surrey, UK.

- Archive of SID
- [21] Chang, E., Dover, W.D., (1999), Parametric Equations To Predict Stress Distributions along the Intersection of Tubular X and DT-joints, *International Journal of Fatigue*, Vol. 21, 619-635.
 - [22] N'Diaye, A., Hariri, S., Pluinage, G., Azari, Z., (2007), Stress Concentration Factor Analysis for Notched Welded Tubular T-joints, *International Journal of Fatigue*, Vol. 29, 1554-1570.
 - [23] IIW-XV-E, (1999), Recommended Fatigue Design Procedure for Welded Hollow Section Joints, International Institute of Welding, France.
 - [24] Department of Energy (1983), Background Notes to the Fatigue Guidance of Offshore Tubular Joints, HMSO, UK.

