تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی ضرایب تمرکز تنش در اتصالات لولهای T شکل سکوهای شابلونی تحت بارگذاری محوری

حميد احمدي (*، محمدعلي لطفاللهي يقين 7، ميرمحمد فاتحي 7

^۱ استادیار، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز؛ h-ahmadi@tabrizu.ac.ir ۲ استاد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز؛ lotfollahi@tabrizu.ac.ir ۳ فارغالتحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تبریز؛ mfatehi90@ms.tabrizu.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله: تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۷/۱۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۵/۱۳ تاریخ انتشار مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰

> *کلمات کلیدی:* ناکاملی هندسی ضریب تمرکز تنش سکوی شابلونی اتصال لولهای T شکل نقاط Saddle و Crown

چکیدہ

اعضای اصلی و مهاری تشکیل دهنده یک اتصال لوله ای، در اثر اعمال نیروه ای مختلف در حین ساخت، انتقال و نصب و همچنین در طول عمر مفید سازه همواره دارای درجه ای از ناکاملی هندسی می باشند. با این حال، در فرایند تحلیل و طراحی اتصالات لوله ای، معمولاً ناکاملی هندسی در نظر گرفته نمی شود. با لحاظ نمودن ناکاملی هندسی عضو مهاری در تحلیل اتصالات لوله ای، می توان عمر خستگی سازه را به طور واقع بینانه تری پیش بینی کرد. در این مقاله، تأثیر ناک املی هندسی و پارامتره ای هندسی بی بعد اتصال بر توزیع تنش در اتصالات لوله ای T شکل سکوه ای شابلونی تحت بارگذاری محوری، از طریـق مطالعه ضریب تمرکز تنش (SCF)، بررسی می شود. پس از مدل سازی عددی اتصالات مورد نظر توسط نرم افزار اجزای محدود SCF؟، محت سنجی مدل ها با استفاده از داده های آزمایشگاهی، و استخراج مقادیر SCF، یک سری معادلات پارامتری برای محاسبه ضرایب تمرکز تنش در نقاط بحرانی ارائه می-گردد. نتایج نشان می دهند که ناکاملی هندسی عضو مهاری در صفحه اتصال، موجب تغییر ضرایب تمرکز تنش در نقاط °0 Crown و SOP

The Effect of Geometrical Imperfection of the Brace Member on Stress Concentration Factors in Tubular T-Joints of Jacket-Type Platforms under Axial Loading

Hamid Ahmadi^{1*}, Mohammad Ali Lotfollahi-Yaghin², Mir Mohammad Fatehi³

¹ Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz; h-ahmadi@tabrizu.ac.ir

² Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz; lotfollahi@tabrizu.ac.ir

³ MSc Graduate, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz; mfatehi90@ms.tabrizu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History: Received: 6 Oct. 2013 Accepted: 4 Aug. 2014 Available online: 11 Mar. 2015

Keywords: Geometrical Imperfection Stress Concentration Factors Jacket-Type Platform Tubular T-Joint Saddle and Crown Positions

ABSTRACT

Brace and chord members of a tubular joint always have a degree of geometrical imperfection due to the manufacturing and installation processes and also the action of various loads during the structure's lifetime. However, during the analysis and design of tubular joints, geometrical imperfection is not usually taken into account. Consideration of geometrical imperfection during the analysis can lead to a more realistic prediction of the fatigue life. In this paper, the effect of geometrical imperfection in tubular T-joints under axial loading is studied. The stress concentration factor (SCF) is used to investigate the stress distribution. After the numerical modeling of considered tubular joints using ANSYS, verification of the FE models by experimental data, and the extraction of SCFs, a set of parametric equations is presented to calculate the SCFs at critical positions. The results show that the in-plane geometrical imperfection of the brace member can change the SCFs at the crown 0° and crown 180° positions, but does not have a considerable effect on SCF values at the saddle position.

۱ – مقدمه

یکی از مهمترین کاربردهای سکوهای دریایی، استحصال نفت و گاز از مخازن زیر بستر دریا است. در سال ۱۹۸۸، سهم سکوهای دریایی در تولید نفت ۹٪ مصرف جهانی بوده که این رقم در سال ۲۰۰۰ به ۲۴٪ رسیده است [۱]. مقاطع لولهای به عنوان یکی از عناصر سازهای اصلی سکوها دارای امتیازات فراوانی نظیر مقاومت خمشی یکسان نسبت به محورهای مختلف، خوردگی کم و کاهش روییدنیهای دریایی به دلیل صافی سطح و گوشهدار نبودن هستند. بارگذاری تناوبی ناشی از امواج دریا، محل اتصال این اعضا را که یک اتصال لولهای نامیده میشود، در معرض آسیب ناشی از خستگی قرار میدهد. یکی از معیارهای تعیین کننده در تخمین عمر خستگی سکو، میزان تمرکز تنش در اتصالات لولهای سازه مىباشد كه توسط ضريب تمركز تنش تعيين مى گردد. اين ضريب، نسبت تنش واقعی در محل اتصال به تنش اسمی عضو مهاری است [۲]. مطالعات گستردهای در مورد تمرکز تنش در اتصالات لولهای صورت گرفته است که از بین آنها به طور خلاصه موارد زیر قابل اشاره است.

مایرز و همکاران در سال ۲۰۰۱ به بررسی تأثیر صفحات تیغهای روی مقادیر SCF در پایه سکوهای جکآپ پرداختند [۳]. قو و گائو در سال ۲۰۰۴ یک سری معادلات پارامتری برای پیشبینی SCF در اتصالات لولهای هم پوشان K تحت بار گذاری محوری ارائه دادند [۴]. شائو در سال ۲۰۰۷ تأثیر پارامترهای هندسی بر توزیع تنش حول پنجه جوش در اتصالات T و Y را تحت بارگذاری محوري مورد مطالعه قرار داد [۵]. لطفاللهـي يقـين و احمـدي در سال ۲۰۱۰ به بررسی تأثیر پارامترهای هندسی روی مقادیر SCF در طول پنجه جوش در محل تقاطع اعضای اصلی و مهاری اتصالات KT تحت بارگذاری محوری پرداختند [۶]. لے در سال ۲۰۱۱ تأثیر روش درونیابی لاگرانژ روی نتایج به دست آمده برای ضرایب تمرکز تنش را بررسی کرد [۲]. لطفاللهی یقین و احمدی در سال ۲۰۱۱ تأثیر پارامترهای هندسی بر روی SCF در اتصالات دو صفحهای DKT در طول پنجه جوش را برای عضو مهاری مایل تحت بارگذاری محوری بررسی کردند [۸]. احمدی و همکاران در سال ۲۰۱۲ به بررسی تأثیر پارامترهای هندسی روی SCF عضو مهاری مایل در اتصالات لولهای KT تقویت شده با استفاده از سخت کننده های حلقوی پرداختند [۹]. اجمدی و همکاران در سال ۲۰۱۳ تأثیر پارامترهای هندسی بر توزیع مقادیر SCF در عضو مهاری مرکزی اتصالات لولهای KT دارای سخت کنندههای حلقوی داخلی را بررسی کردند [۱۰].

تاکنون تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی ضرایب تمرکز تنش مورد مطالعه قرار نگرفته است. در این مقاله تأثیر ناکاملی هندسی و

همچنین پارامترهای هندسی بی بعد اتصال روی مقادیر SCF در اتصالات لولهای T شکل سکوهای شابلونی تحت بارگذاری محوری بررسی شده است. در ابتدا به جزئیات مدلسازی عددی اتصالات لولهای پرداخته میشود که شامل خصوصیات هندسی مدلها، المان مورد استفاده، مشخصات هندسی پروفیل جوش، تولید مش، اعمال شرایط مرزی و بارگذاری، تحلیل و برداشت نتایج و در نهایت نحوه صحتسنجی مدلها میباشد. سپس به بررسی تأثیر ناکاملی نحوه صحتسنجی مدلها میباشد. سپس به بررسی تأثیر ناکاملی SCF در اتصالات لولهای پرداخته شده و جزئیات استخراج معادلات پارامتری مورد بحث قرار میگیرد. در نهایت نیز نتایج حاصل از تحقیق جمعبندی میشوند.

۲ – مدلسازی عددی اتصالات لولهای

جزئیات روند مدلسازی عددی اتصالات لولهای T شکل مورد مطالعه در این تحقیق، با استفاده از نرمافزار اجزای محدود ANSYS، در ادامه ارائه شده است.

۲-۱- خصوصیات ناکاملی هندسی

در شکل ۱ نمونهای از مدل دارای ناکاملی هندسی نشان داده شده که در آن انحراف عضو مهاری دارای ناکاملی در وسط عضو فرض شده است و هندسه آن توسط معادلههای (۱) تا (۳) بیان می گردد.

$$y = ax^2 + bx + c \tag{1}$$

$$\begin{cases} x = 0 \quad \rightarrow y = 0 \\ x = \Lambda \quad \rightarrow y = 1/2 \end{cases}$$
(7)

$$\begin{pmatrix} x = \Delta & y' = l/2 \\ x = \Delta & \rightarrow y' = 0 \\ u = -\frac{l}{2} x^2 + \frac{l}{2} x \qquad (7)$$

$$y = -\frac{l}{2\Delta^2} x^2 + \frac{l}{\Delta} x \tag{7}$$

لازم به ذکر است که علاوه بر ناکاملی هندسی مورد مطالعه در این تحقیق، انواع دیگری از ناکاملیهای هندسی نیز ممکن است در فرایند ساخت مشاهده شوند؛ نظیر بیضوی بودن مقطع عرضی و وجود اعوجاج در نقاط مختلف در راستای محور طولی. چنین ناکاملیهایی در مقاله حاضر مد نظر نبودهاند.

۲-۲- خصوصیات هندسی مدلها

در تحقیق حاضر، به منظور تعیین SCF در نقاط Saddle و Crown، ۸۱ مدل از اتصالات لولهای T شکل توسط نرمافزار ANSYS مدلسازی و تحلیل شده است. پارامترهای هندسی بی بعد در یک اتصال لولهای شامل ضرایب β، γ، ۲، ۵، ۵ و αβ می-باشند که به شکل زیر تعریف میشوند:

$$\beta = d/D , \gamma = D/2T , \tau = t/T$$

$$\varepsilon = \Delta/l , \alpha = 2L/D , \alpha_{\rm B} = 2l/d$$
(*)



شکل ۱- نمونهای از مدل با ناکاملی هندسی عضو مهاری

I و I به ترتیب طول عضو اصلی و مهاری، b قطر عضو مهاری، t فخامت جدار عضو اصلی میباشد. ضخامت جدار عضو مهاری و T ضخامت جدار عضو اصلی میباشد. مقادیر در نظر گرفته شده برای این پارامترها در جدول ۱ ارائه شدهاند. با توجه به تعریف اتصال T شکل، زاویه بین اعضای اصلی و مهاری در تمام مدلها یکسان میباشد ($\theta = 90$).

افتیمیو [۱۱] نشان داد در صورتی که عضو اصلی^۲ از طول کافی برخوردار باشد، توزیع تنش در محل تقاطع عضو اصلی و عضو مهاری از شرایط مرزی دو انتهای عضو اصلی متأثر نخواهد شد. طبق این مطالعات، در صورتی که مقدار پارامتر α بزرگتر یا مساوی ۱۲ باشد، این شرایط برآورده خواهد شد. در مقاله حاضر نیز به منظور جلوگیری از تأثیرگذاری شرایط مرزی دو انتهای عضو اصلی روی نتایج به دست آمده برای SCF، مقدار پارامتر α ، همان-طور که در جدول ۱ ذکر گردیده، برابر با ۱۲ در نظر گرفته شده است.

چنگ و داور [۱۲] نیز تأثیر طول عضو مهاری را روی مقادیر به دست آمده برای SCF مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان دادند در صورتی که مقدار پارامتر $\alpha_{\rm B}$ ، بزرگتر یا مساوی ۸ باشد، توزیع تنش در محل تقاطع عضو اصلی و عضو مهاری تحت تأثیر کوتاه بودن عضو مهاری قرار نخواهد گرفت. در مقاله حاضر نیز به منظور جلوگیری از تأثیرگذاری طول عضو مهاری روی نتایج به دست آمده برای SCF، مقدار پارامتر $\alpha_{\rm B}$ ، همانطور که در جدول ۱ ذکر گردیده، برابر با ۱۰ در نظر گرفته شده است.

۲-۳- نوع المان

برای مدلسازی اتصالات لولهای T شکل از المان SOLID 95 استفاده شده است. این المان که قادر به مدلسازی احجام نامنظم میباشد، سه بعدی و دارای ۲۰ گره بوده و در هر گره سه درجه آزادی دارد. در شکل ۲ نمونههایی از المانهای سه بعدی نشان داده شده است [۱۳].

جدول ۱- مقادیر پارامترها در اتصالات مورد مطالعه

مقادير مفروض	پارامتر
۰/۶ ٬۰/۴۵ ٬۰/۳	β
۳۰ ، ۲۰ ، ۱۰	γ
۱/۰ ٬۰/۲ ٬۰/۴	τ
۰/۰۳ ،۰/۰۲۵ ،۰/۰۲	3
١٢/٠	α
۱۰/۰	$lpha_eta$

۲-۴- مشخصات هندسی پروفیل جوش

مدل کردن صحیح پروفیل جوش یکی از مهم ترین عوامل تأثیر گذار در دقت نتایج به دست آمده برای SCF می باشد. در این پژوهش، ابعاد جوش در امتداد منحنی تقاطع اعضای اصلی و مهاری بر اساس ضوابط 1.1 AWS [۱۴] انتخاب شده است. در شکل ۳ و جدول ۲ جزئیات پروفیل جوش نشان داده شده است.

۲-۵- توليد شبکه

مشبندی مدل اجزای محدود اتصال لولهای یکی از مهم ترین معیارهای تعیین کننده در دقت نتایج SCF است. در این تحقیق، مشهایی با چگالیهای متفاوت برای مدل هندسی تولید شد و نهایتاً چگالی بهینه با کنترل همگرایی و مقایسه نتایج به دست آمده با دادههای آزمایشگاهی انتخاب گردید. بعد از حصول استقلال مش، ۸۱ مدل ساخته شده، مش-بندی شدند.

در شکلهای ۴ و ۵ نمونههایی از مش تولید شده برای مدل دارای ناکاملی هندسی و نواحی اطراف جوش نشان داده شدهاند.

۲-۶- اعمال شرایط مرزی

به دلیل وجود تقارن در صفحه اتصال، تنها نیمی از مدل تولید شده و برای لحاظ کردن اثر نیمه دوم مدل، از تعریف شرایط مرزی متقارن در نرم افزار ANSYS استفاده شد. همچنین شرایط مرزی دو انتهای عضو اصلی، به صورت کاملاً گیردار در نظر گرفته شد.

به منظور تعیین SCF در امتداد پنجه جوش، تنش محوری به اندازه یک مگاپاسکال به انتهای عضو مهاری اعمال گردید.

۲-۷- تحلیل و برداشت نتایج

تحلیل استاتیکی از نوع ارتجاعی خطی برای تعیین مقادیر SCF در امتداد پنجسه جروش مناسب میاشد. مدول

الاستیسیتهی فولاد برابر ۲۰۷ GPa و ضریب پواسون برابر ۰/۳ در نظر گرفته شده است. برای تعیین مقادیر SCF در پنجه جوش از روش برونیابی

. روع می اور می اور است. در شـ کل ۶ محـدودهی بـرون-خطـی اســتفاده گردیــده اسـت. در شــکل ۶ محــدودهی بــرون-یابی نشان داده شده است.

حل ارائه شده توسط نرمافزار ANSYS برای مقادیر تنش، به طور پیشفرض، یک حل با مبنای المان به المان است؛ مگر این که کاربر گزینه دیگری را انتخاب نماید. در واقع ANSYS ابتدا مقادیر تنش را در نقاط گاوس به دست آورده و سـپس مقـادیر تـنش در گـرهها را از بـرونیابی ایـن تـنشها محاسبه مـىكنـد. از آنجا كـه بسـيارى از المانها دارای گرمهای مشترک هستند، ANSYS از تنشهای گرهیی محاسبه شده از هر کدام از المانهای مجاور، میانگین گیری میکند. در صورتی که مش تولید شده به حد کافی ریز باشد، تنشهای میانگین گیری شده اختلاف چندانی با تنشهای میانگین گیری نشده نخواهند داشت. به عبارت دیگر در شرایطی که ماش تولید شده به حد کافی ریز است، اختلاف قابل توجهی بین تنشهای گرهی محاسبه شده از المانهای مجاور در یک گره مشترک وجود ندارد. بنابراین در صورتی که کاربر در پلات تنشهای میانگین-گیری نشدہ مشاہدہ کند کے مقادیر تنش از یک المان به المان مجاور به شدت تغییر می کنند، بدین معنی است که مش تولید شده به حد کافی ریز نیست. در پژوهش حاضر، مش تولید شدہ برای ناحیہ برونیابی حول پروفیل جوش به حد کافی ریز در نظر گرفته شده تا از بروز چنین مشکلی جلوگیری شود.

۲-۸- صحتسنجی مدل اجزای محدود

صحتسنجی مدل اجزای محدود به منظور اطمینان از دقت مدل و در نتیجه حصول اطمینان نسبت به نتایج به دست آمده ضروری است. به منظور صحتسنجی، نتایج مدلهای عددی بدون ناکاملی T شکل با دادههای آزمایشگاهی 458 HSE [10] مقایسه شدند. مشخصات یکی از مدلهای آزمایشگاهی در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر به دست آمده از مدل عددی ANSYS برای SCF در نقاط Crown و Saddle به ترتیب برابر ۲/۴۱ و ۷/۰۳۷ هستند.

اختلاف مقادیر SCF آزمایشگاهی و عددی در نقاط Crown و Saddle به ترتیب برابر ۸٪ و ۱۴٪ است. میزان اختلاف موجود قابل قبول تلقی می شود.



شکل ۲- نمونههایی از المانهای سه بعدی [۱۳]

۳- بررسی تأثیر ناکاملی هندسی و پارامترهای هندسی بــی بعد روی ضرایب تمرکز تنش

تاکنون پژوهشی به منظور بررسی تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی مقادیر SCF انجام نشده است و تحقیقات صورت گرفته مربوط به اعضای بدون ناکاملی میباشند. در شکلهای ۲ تا ۲۴، تأثیر پارامترهای هندسی بی بعد شامل r, γ, و β و همچنین پارامتر ناکاملی هندسی عضو مهاری (3) روی مقادیر SCF در نقاط Saddle، °Crown0 و Crown 180° بررسی شده است و در ادامه نتایج ارائه می-شوند.

۳-۱- بررسی تأثیر پارامتر γ روی مقادیر SCF در اتصال دارای ناکاملی هندسی

پارامتر γ برابر نسبت شعاع به ضخامت جدار عضو اصلی است. قطر عضو اصلی در تمام مدلها یکسان میباشد. لذا افزایش γ منجر به کاهش ضخامت عضو اصلی می *گ*ردد. ضمناً به منظور بررسی اندرکنش پارامتر γ با پارامتر β ، بررسی به ازای سه مقدار متفاوت پارامتر β (۰/۳، γ) انجام شده است.



شکل ۳- جزئیات پروفیل جوش مطابق با ضوابط AWS D1.1 [۱۴]

[14]	AWS	D1.1	ضوابط	طبق	جوش	پروفيل	۲ – ابعاد	جدول
------	-----	------	-------	-----	-----	--------	-----------	------

	طابق شکل (۳))	دسته جزئيات (مه			
Detail D Detail C (Ψ=40°-15°) (Ψ=75°-30°)		Detail B (Ψ=150°-50°)	Detail A (Ψ=180°-135°)	پارامتر	
۳ تا ۱۳	۳ تا ۱۳	۱/۶ تا ۶	۱/۶ تا ۵	بازشدگی ریشه R (mm)	
				زاویه شمول اتصال (φ)	
	۴۰°، در صورت بیشتر بودن: Detail B	۹۰° برای ۹۰°¥¥	٩٠°	حداكثر	
	Ψ/2	°۳۷/۵، در غیر این صورت: Detail C	۴۵°	حداقل	
				ابعاد جوش كامل	
	\leq 1.75 t_1 اما $t_1/\sin\Psi \geq$	$\Psi {\geq} 90^{\circ}$ براى $t_1 \geq$	$t_1 \leq$	$t_{ m w}$	
$\geq 2t_1$		$\Psi \leq \frac{1}{\sin \Psi} \leq 150^{\circ}$	≤ 1.75 الما $t_1/\sin\Psi \geq t_1$	L _w	

fuller of a T	
ازمایشگاهی T ₂₀ [۱۵]	جدول ۳- مشخصات مدل

SCF _{Saddle}	SCF _{Crown}	τ	β	γ	α	θ	(mm) D		
۶/۵	χ/χ	۰/۵۱	•/۵٣	۱۳/۳	١٠	٩٠°	188		



شکل ۴- نمونههائی از مش تولید شده در مدل اجزای محدود اتصال لولهای دارای ناکاملی هندسی



شکل ۵- مش تولید شده برای نواحی اطراف جوش در مدل اجزای محدود اتصالات لولهای مورد مطالعه





Saddle ا-۱-۱-۳ تأثیر پارامتر γ در نقطه

با توجه به شکلهای ۷ تا ۹، با افـزایش پـارامتر γ مقـادیر SCF بـه ازای تمام مقادیر β افزایش مییابند.

Crown 0° در نقطه -۲–۱–۳ تأثیر پارامتر γ در نقطه

با بررسی شکلهای ۱۳ تا ۱۵، نتایج زیر را می توان استنباط نمود: ۱- با افزایش پارامتر γ مقادیر SCF به ازای $\beta = 0.3$ کاهش می-یابند. ۲- با افزایش پارامتر γ مقادیر SCF به ازای $\beta = 0.45 = \beta$ به صورت نامنظم تغییر می کنند. ۳- با افزایش پارامتر γ مقادیر SCF به ازای $\beta = 0.6 = \beta$ افزایش می-یابند.

Crown 180[°] -۳-1-۳ تأثیر پارامتر γ در نقطه

با توجه به شکلهای ۱۹ تا ۲۱، با افزایش پارامتر γ مقادیر SCF افزایش پیدا میکنند.





DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.2.7



شکل ۱۲ – تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در شکل ۱۲ – 1
 $(\alpha = 12, \beta = 0.6, \theta = 90^\circ, \gamma = 10)$ Saddle



شکل ۱۳ – تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در شکل ۱۳ –
 1 α = 12, β = 0.3, θ = 90°, τ = 0.4)
 Crown 0°



شکل ۱۴ – تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در شکل ۱۴ – 1
($\alpha=12,\,\beta=0.45,\,\theta=90^\circ,\,\tau=0.4)$ Crown 0°



شکل ۱۵ – تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در شکل ۱۵ – ا α = 12, β = 0.6 θ = 90°, τ = 0.4) Crown 0°



شکل ۸ – تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در ($\alpha = 12, \beta = 0.45, \theta = 90^{\circ}, \tau = 0.4$) Saddle



شکل ۹- تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در شکل ۹ - تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری $(\alpha = 12, \beta = 0.6, \theta = 90^\circ, \tau = 0.4)$ Saddle



شکل ۱۰– تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در $(\alpha = 12, \theta = 90^\circ, \beta = 0.3, \gamma = 10)$ Saddle



شکل ۱۱– تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در شکل ۱۱– تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی ($\alpha = 12, \beta = 0.45, \theta = 90^\circ, \gamma = 10$) Saddle



شکل ۲۰ – تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در شکل ۲۰ – تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی ($\alpha = 12, \beta = 0.3, \theta = 90^\circ, \tau = 0.4$) Crown 180°



Crown شکل ۲۱– تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری رویSCF در ($\alpha=12, \beta=0.3, \theta=90^\circ, \tau=0.4$) 180°



شکل ۲۲ – تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در (α = 12, β = 0.3, θ = 90°, γ = 10) Crown 180°



شکل ۲۳ - تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در α = 12, β = 0.45, θ = 90°, γ = 10) Crown 180°



شکل ۱۶- تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در شکل ۱۶- تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری $(lpha=12,\,eta=0.3,\, heta=90^\circ,\,\gamma=10)$ Crown 0°



شکل ۱۷ – تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در شکل ۱۷ – 1 $\alpha=12,\,\beta=0.45,\,\theta=90^\circ,\,\gamma=10)$ Crown 0°



شکل ۱۸ – تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در شکل ۱۸ – تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی $(\alpha=12,\,\beta=0.6,\,\theta=90^\circ,\,\gamma=10)$ Crown 0°



Crown شکل ۱۹– تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF شکل ۱۹– آثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری رو
 ($lpha=12,\,\beta=0.3,\,\theta=90^\circ,\,\tau=0.4$) 180°



شکل ۲۴ – تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی SCF در شکل ۲۴ – تأثیر ناکاملی هندسی عضو مهاری روی $(\alpha=12,\beta=0.6,\theta=90^\circ,\gamma=10)$ Crown 180°

۲-۳- بررسی تأثیر پارامتر τ روی مقادیر SCF در اتصال دارای ناکاملی هندسی

پارامتر τ برابر نسبت ضخامت عضو مهاری به عضو اصلی میباشد. پس در صورت ثابت بودن ضخامت جدار عضو اصلی، افزایش τ منجر به افزایش ضخامت جدار عضو مهاری خواهد شد. به منظور بررسی اندرکنش پارامتر τ با پارامتر β ، بررسی به ازای سه مقدار متفاوت پارامتر β (γ /۰، γ) و γ /۰) به صورت جداگانه انجام شده است. با بررسی نمودارها مشخص میشود که با افزایش پارامتر τ Saddle مقادیر SCF به ازای تمام مقادیر β در هر سه نقطه Saddle (شکلهای γ تا γ) افزایش مییابند.

۳-۳- بررسی تأثیر پارامتر β روی مقادیر SCF در اتصال دارای ناکاملی هندسی

پارامتر β برابر نسبت قطر عضو مهاری به عضو اصلی میباشد. با توجه به این که قطر عضو اصلی در تمامی حالات یکسان میباشد؛ لذا با افزایش پارامتر β قطر عضو مهاری افزایش مییابد.

با مقایسه شکلهای ۷ تا ۱۲ (برای نقطه Saddle)، شکلهای ۱۳ تا ۱۸ (برای نقطه °Crown 0) و شکلهای ۱۹ تا ۲۴ (برای نقطه Crown 180°)، مشاهده میشود که با افزایش پارامتر β، مقادیر SCF بسته به مقادیر پارامترهای τ و γ به صورت نامنظم تغییر میکنند.

۴-۳- بررسی تأثیر پارامتر ٤ روی مقادیر SCF در اتصال دارای ناکاملی هندسی

۳-۴-۳ تأثیر پارامتر ε در نقطه Saddle

تأثیر پارامتر ٤ روی مقادیر SCF در نقطه Saddle برای شش حالت بررسی شده است. همان طور که در شکلهای ۷ تا ۱۲ملاحظه می گردد، با افزایش ناکاملی هندسی عضو مهاری هیچ گونه تغییری در مقدار SCF مشاهده نمی شود؛ چرا که Saddle فقط تحت تأثیر فشار محوری است و ناکاملی باعث ایجاد کشش یا فشار ناشی از خمش در این نقطه نمی شود.

۲−۴−۳ تأثیر پارامتر ε در نقطه°Crown 0

با توجه به شکلهای ۱۳ تا ۱۸، با افـزایش ناکـاملی هندسـی عضـو مهاری، مقادیر SCF کـاهش پیـدا مـیکننـد؛ چـرا کـه در نقطـه

[°] Crown عضو تحت فشار محوری MPa و کشش ناشی از خمش عضو در اثر ناکاملی قرار دارد. با افزایش ناکاملی، مقدار کشش ناشی از خمش عضو بیشتر شده و این مسئله موجب کمتر شدن تنش موجود می گردد. در نتیجه با کاهش تنش، مقادیر SCF کاهش مییابند. پس میتوان گفت با افزایش ناکاملی، مقدار SCF در نقطه °C rown کاهش مییابد.

۳−۴−۳– تأثیر پارامتر ε در نقطه °Crown 180

با توجه به شکلهای ۱۹ تا ۲۴، با افزایش ناکاملی هندسی عضو مهاری، مقادیر SCF افزایش پیدا می کنند؛ چرا که در نقطه °Crown 180، عضو تحت فشار محوری MPa و فشار ناشی از خمش عضو در اثر ناکاملی قرار دارد. با افزایش ناکاملی، مقدار فشار ناشی از خمش عضو بیشتر شده و این مسئله موجب افزایش تنش موجود می گردد. در نتیجه با افزایش تنش، مقادیر SCF نیز افزایش می ابند. پس می توان گفت با افزایش تاکاملی، مقدار SCF در نقطه می ابند. پس می توان گفت با افزایش ناکاملی، مقدار SCF در نقطه می ایند. پس می توان گفت با افزایش تاکاملی، مقدار SCF در نقطه می ایند. پس می توان گفت با افزایش تاکاملی، مقدار SCF در نقطه می از کرد. در نتیجه با افزایش تاکاملی، مقدار SCF در نقطه می ایند. پس می توان گفت با افزایش تاکاملی، مقدار SCF در نقطه می از می در نقاط محتلف مورد مقایسه قرار گرفتهاند. مشاهده می-شود که میزان اختلاف در نقاط Crown قابل توجه است.

> ۴- استخراج معادلات پارامتری ۴-۱- تحلیل رگرسیون غیرخطی SCF مار تخراج معادلات با امترم SCF

برای استخراج معادلات پارامتری SCF بر اساس دادههای به دست آمده از تحلیل عددی در ANSYS، از نرمافزار SPSS و روش

		0 0			
دسى	S در اتصال دارای ناکاملی هن	CF	ن ناکاملی هندسی	SCF در اتصال بدو	شماره مدل و مقدار
Crown 180°	Crown 0°	Saddle	Crown	Saddle	ناكاملى
۲/۸۱	١/١١	۳/۶۱	١/٩٧	٣/۴٧	KTJ-73 (ε=0.03)
در °Crown 180 در S	اختلاف مقادير CF	در °Crown 0 در	اختلاف مقادير CF	Saddle در Saddle	اختلاف مقادير SCF
. ۴	٣	7/1	YY		<u>'/</u> ۴

جدول ۴- مقایسه مقادیر SCF مربوط به اتصالات با و بدون ناکاملی هندسی در نقاط مختلف

رگرسیون غیر خطی استفاده شده است. دادههای ورودی به نرم افزار، شامل ۵ ستون بود که دربرگیرنده مقادیر پارامترهای π , β , γ , β , γ و 3 و همچنین مقادیر SCF هستند. در این ماتریس ورودی، به ازای هر دسته از پارامترهای هندسی مستقل، یک ضریب SCF و SCF و محود داشت. با توجه به ۸۱ مدل ساخته شده، برای هر کدام از سه وجود داشت. با توجه به ۸۱ مدل ساخته شده، برای هر کدام از سه نقطه Sddle از سه ۲۵ مدل ساخته شده، برای هر کدام از سه نقطه Crown 0°، Saddle یک ماتریس ۸۱×۵ به عنوان ورودی تعریف شد. در تحلیل رگرسیون غیر خطی، متغیرهای مستقل، پارامترهای هندسی بی بعد π , β , γ و 3 بوده و متغیر وابسته ضریب تمرکز تنش به دست آمده بر اساس هر دسته از پارامترهای مستقل است.

در این مقاله به عنوان یک تخمین اولیه، برای پیشبینی مقادیر SCF از رابطه زیر استفاده شده است:

$$SCF = a_1 \beta^{a_2} \cdot \gamma^{a_3} \cdot \tau^{a_4} \cdot \varepsilon^{a_5} \tag{(a)}$$

معادلات پارامىرى	أستحراج	خطی برای	ن عير	حرسيو	تحليل ر	أمده أز	به دست	٥- سايج	جدول

SCF	R^2	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1	موقعيت
$0.976\beta^{0.139}.\gamma^{1.068}.\tau^{1.174}.\varepsilon^{0}$	•/٩٨٣	•	1/174	۱/•۶٨	•/١٣٩	•/97۶	Saddle
9.103 $\beta^{-0.119}$. $\gamma^{0.299}$. $\tau^{0.922}$. $\varepsilon^{0.307}$	•/٩٧٨	• / ٣ • V	•/977	•/४११	-•/١١٩	۹/۱۰۳	Crown 180°
$0.226\beta^{-0.131}.\gamma^{-0.139}.\tau^{0.898}.\varepsilon^{-0.771}$	•/٨٧٨	-•/YY \	٠ /٨٩٨	-•/١٣٩	-•/١٣١	•/779	Crown 0°

۴-۲- ارزیابی معادلات پیشنهادی

دپارتمان انرژی بریتانیا معیارهای زیر را برای ارزیابی معادلات پارامتری مورد استفاده برای تعیین مقادیر SCF پیشنهاد میکند که در آن P/R نشان دهنده نسبت مقدار SCF به دست آمده از معادله پارامتری به مقدار SCF به دست آمده از تحلیل عددی است [۹ و ۱۶]:

- برای تعداد مشخصی از دادهها، چنانچه درصد پیش بینی خیلی
 دست پایین کمتر یا مساوی ۵ درصد باشد، یعنی معادله در
 صورت برقراری 5% ≥ [P/R < 0.8]، پذیرفته می شود.
- اگر علاوه بر شرایط فوق، درصد پیشبینی خیلی دست بالا
 بیشتر یا مساوی ۵۰ درصد باشد، به عبارت دیگر چنانچه رابطه

معادله پذيرفته شده ولى عموماً $P/R > 1.5 \le 50$ ، معادله پذيرفته شده ولى عموماً محافظه کارانه تلقى مىشود.

- چنانچہ اختلاف شرایط معادلہ با معیارهای پذیرش کم باشد، به عبارت دیگر داشته باشیم 30% $\geq [0.1 > P/R\%] \geq$ 25% و یا رابطہ 7.5% $\geq [8.0 > P/R\%] \geq 5\%$ برقرار باشد، در این صورت معادلہ روی خط مرزی قرار دارد و برای پذیرش یا رد آن باید قضاوت مہندسی صورت گیرد.
- چنانچه هیچ کدام از حالتهای فوق اقناع نشوند، معادله مردود خواهد بود.

برای ارزیابی معادلات پارامتری، ۸۱ ضریب تمرکز تنش به دست آمده از معادله پارامتری و روش اجـزای محـدود بـرای هـر یـک از نقـاط Saddle، °Crown 0 و Crown 180 مـورد مقایسـه قـرار

كليدواژگان

1- Stress concentration factor (SCF)

2- Chord

8- مراجع

1- Zeinaddini, M., (2005), *Design and Construction* of fixed Oil Platforms, Iranian National Ocean Research Center Press (In Persian).

2- Lotfollahi-Yaghin, M.A., Ahmadi, H., (2011), Dynamics of Offshore Structures, University of Tabriz Press, Tabriz, Iran (In Persian).

3- Myers, P.T., Brennan, F.P. and Dover, W.D., (2011), *The Effect of Rack/Rib Plate on the Stress Concentration Factors in Jack-up Chords*, Marine Structures, Vol. 14, p. 485-505.

4- Gho, W.M., and Gao, F., (2004), *Parametric Equations for Stress Concentration Factors in Completely Overlapped Tubular K*(*N*) *Joints*, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 60, p. 1761-1789.

5- Shao, Y.B., (2007), *Geometrical Effect on the Stress Distribution along Weld toe for Tubular T-and K-joints under Axial Loading*, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 63, p. 1351-1360.

6- 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 Load, International Journal of Fatigue, Vol. 32, p. 703-719.

7- Lee, W.M., Chiew, S.P. and Sopha, T., (2011), Stress Concentration Factor Prediction by the Multidimensional Lagrangian Interpolation Method, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 78, p. 1008-1028.

8- Lotfollahi-Yaghin, M.A. and Ahmadi, H., (2011), Geometrical Stress Distribution along the Weld Toe of the Outer Brace in Two Planar Tubular DKTjoints: Parametric Study and Deriving the SCF Design Equations, Marine Structures, Vol. 24, p. 239-260.

9- Ahmadi, H., Lotfollahi-Yaghin, M.A., Aminfar, M.H. and Shao, Y.B., (2012), *Parametric Study and Formulation of Outer-brace Geometric Stress Concentration Factors in Internally Ring-stiffened Tubular KT-joints of Offshore Structures*, Applied Ocean Research, Vol. 38, p. 74-91.

10- Ahmadi, H., Lotfollahi-Yaghin, M.A. and Shao, Y.B., (2013), *Chord-side SCF Distribution of Central Brace in Internally Ring-stiffened Tubular KT-joints: A Geometrically Parametric Study*, Thin-walled Structures, Vol. 70, p. 93-105.

11- Effhymiou, M., (1988), Development of SCF Formulae and Generalized Influence Functions for Use in Fatigue Analysis, OTJ 88, Surrey, UK.

12- Chang, E. and Dover, W.D. (1999), Parametric Equations to Predict Stress Distributions along the

گرفتند و نتایج در جدول ۶ ذکر شده است. با توجه به نتایج این جدول، کلیه ضوابط پذیرش پیشنهادی توسط دپارتمان انرژی بریتانیا اقناع شده و معادلات پارامتری ارائه شده برای اتصال دارای ناکاملی هندسی قابل قبول میباشند. در نتیجه میتوان با اطمینان خاطر از این معادلات در فرایند تحلیل و طراحی خستگی اتصالات لولهای T شکل دارای ناکاملی هندسی استفاده نمود.

جدول ۲- نتایج ارزیابی معادلات پارامتری پیشنهادی طبق ضوابط دیا. تمان اندژی بریتانیا [۱۲]

[, ,] بريان ، فرزي بريانيا [, ,]								
وضعيت	مقدار	.	."					
معادله	حاصله	مورد	موقعيت					
	'/ . •	P/R < 0.8	Saddla					
قابل قبول	·/.•	%P/R < 1.5	Saudie					
	7.1/7	P/R < 0.8	Crown 190°					
قابل قبول	·/.•	%P/R < 1.5	CIUWII 100					
قابل قبول	۲/۳/Y	%P/R < 0.8	Crown 0°					
	·/.•	%P/R < 1.5						

۵- جمعبندی نتایج

در این مقالـه، اثـر ناکـاملی هندسـی عضـو مهـاری و همچنـین پارامترهای هندسی بـیبعـد اتصـال شـامل *π*، β، و γ روی مقـادیر SCF در اتصالات لولهای T شکل تحت بارگذاری محـوری در سـه نقطه Saddle، Saddle و Crown 180°، Saddle برسی شـده است. سپس بـرای هـر کـدام از سـه نقطـه Saddle، Saddle و Crown 0°، و Crown 0° یک معادله پارامتری ارائـه شـد و مـورد ارزیـابی قـرار گرفت. یافتههای به دست آمده در این مطالعه را میتوان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- با افزایش پارامتر ع، تغییری در مقادیر SCF در نقطـه SCF در ایجاد نمی گردد. در حالی که با چنـین افزایشـی، مقـادیر SCF در °Crown کاهش و در ۲۵۵° Crown افزایش پیدا می کنند.

۲- با افزایش پارامتر γ، مقادیر SCF در نقاط Saddle و Scrw
 ۵ افزایش مییابند. در حالی که با چنین افزایشی، مقادیر
 SCF در نقطه °Crown 0، بسته به مقدار پارامتر β به صورت نامنظم تغییر میکنند.

۳- با افزایش پارامتر τ مقادیر SCF در هار سه نقطه Saddle، °Crown 0 و °Crown 180 افزایش مییابند.

۴- با افزایش پارامتر β مقادیر SCF در سه نقطه مورد بررسی به صورت نامنظم تغییر می کنند.

۵- معادلات پارامتری ارائه شده برای سه نقطه Saddle، Crown ، Saddle و [°]0 rown بر اساس ضوابط دپارتمان انرژی بریتانیا ارزیابی شده و مورد پذیرش قرار گرفتند.

DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.20.2.7

15- UK Health and Safety Executive, (1997), OTH 354: Stress Concentration Factors for Simple Tubular Joints-Assessment of Existing and Development of New Parametric Formulae, London, UK.

16- UK Department of Energy, (1983), *Background Notes to the Fatigue Guidance of Offshore Tubular Joints*, London, UK. Intersection of Tubular X and DT-joints, International Journal of Fatigue, Vol. 21, p. 619-635.

13- Shao, Y.B., (2004), Proposed Equations of Stress Concentration Factors (SCF) for Gap Tubular Kjoints Subjected to Bending Load, International Journal of Space Structure, Vol. 19, p. 137-147.
14- American Welding Society (AWS), (2002),

Structural Welding Code: AWS D 1.1, US.