

# تعیین تحلیلی ضرایب تمرکز تنش اتصالات لوله ای چند صفحه ای KK

محمد رضا بهاری

دانشیار گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

بابک مولایی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد عمران - سازه های دریایی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۹/۱۱/۹، تاریخ تصویب ۸۱/۴/۱۵)

## چکیده

تحلیل خستگی یکی از مراحل مهم در طراحی سازه های دریایی است که در آن از ضریب تمرکز تنش به عنوان شاخص هندسی و کنترل کننده مقاومت اتصالات استفاده می شود. آیین نامه ها برای تعیین ضرایب تمرکز تنش در اتصالات تک صفحه سکوهای دریایی روابط متعددی را پیشنهاد می کنند که محدوده اعتبار آنها به مقدار زیادی نامعلوم است. در مورد اتصالات چندصفحه، با تفکیک این اتصالات به اتصالات تک صفحه معادل، از همان روابط استفاده می کنند و بزرگترین مقدار حاصل را به عنوان ضریب تمرکز تنش اتصال در نظر می گیرند. در این مقاله مدل اجزاء محدود در فضای سه بعدی برای اتصالات K در حالات تک صفحه و چند صفحه توسط نرم افزار ANSYS-5.4 معرفی و مقادیر ضرایب تمرکز تنش آنها محاسبه و با روشهای متداول در آیین نامه ها مقایسه می شوند. در مدل اجزاء محدود مورد استفاده اثر جوش با استفاده از المان پوسته با تعریف خاص لحاظ می شود. مقایسه نتایج نشان می دهد که روش آیین نامه ای تعیین ضریب تمرکز تنش اتصالات چندصفحه بر مبنای تک صفحه بمقدار قابل توجهی محافظه کارانه است. با توجه به مطالعات پارامتری انجام شده رابطه ای برای برآورد ضرایب تمرکز تنش اتصالات K و KK برحسب پارامترهای هندسی آنها ارائه شده است. محدوده های هندسی مناسب کاربرد اتصالات K و KK برای نیل به طرح اقتصادی نیز پیشنهاد شده اند.

**واژه های کلیدی:** اتصالات لوله ای تک صفحه K، اتصالات چند صفحه KK، خستگی، ضریب تمرکز تنش، اجزاء محدود، ANSYS

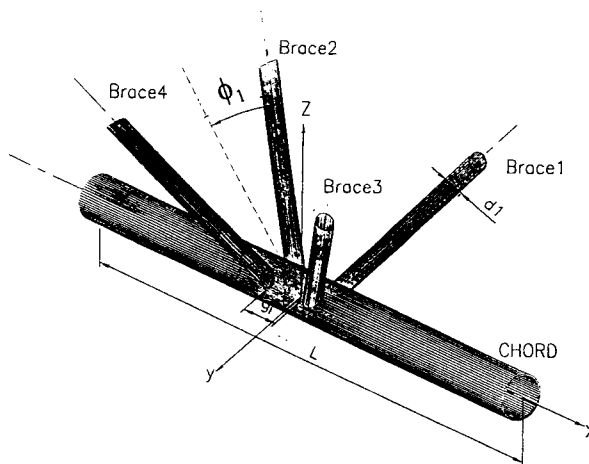
## مقدمه

تنش اتصالات چندصفحه ای<sup>۲</sup> هنوز روابط مشخصی ارائه نشده است. طراحان چنین اتصالاتی، بنا به توصیه آیین نامه، اتصال چندصفحه ای را به چند اتصال تک صفحه ای معادل تبدیل کرده، بزرگترین ضریب را به عنوان ضریب تمرکز تنش اتصال در نظر می گیرند.

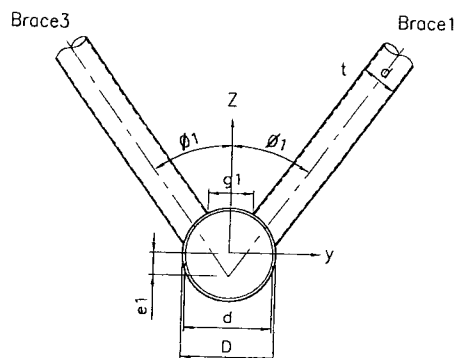
اتصالات KK به عنوان رایج ترین نوع اتصالات در سازه های دریایی، از این قاعده مستثنی نبوده و ضرایب تمرکز تنش آنها نیز با روش اشاره شده بدست می آید. یک اتصال KK از دو اتصال K تک صفحه تشکیل شده است. اتصال K نیز اتصالی است که نیروهای وارد بر اتصال توسط مهارها<sup>۴</sup> در تعادل باشند. در شکل (۱) نمایی از اتصالات K، KK و پارامترهای هندسی به کار رفته در آنها آمده است.

استفاده از مقاطع لوله ای در سکوهای دریایی، تاسیسات بندری، سازه های فضاکار و پلهای هوایی بسیار متداول است. مهم ترین عوامل استفاده از این مقاطع در این سازه ها ویژگیهای منحصر به فرد آنها نظیر ضریب درگ پایین، نسبت بالای مقاومت به وزن، یکسان بودن سختی و مقاومت خمشی در تمام جهات، مقاومت مناسب در برابر خوردگی و حریق می باشند. تنها نقطه ضعف احتمالی این مقاطع اتصالات آنها است که علاوه بر صعوبت اجرا و پیچیدگی رفتار، به دلیل جوشی بودن موجب تمرکز تنش شده، عمر سازه را کاهش می دهد.

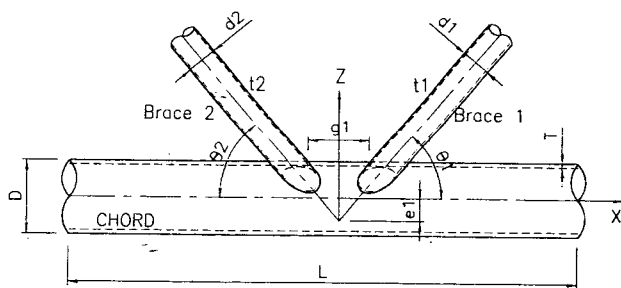
امروزه برای تعیین ضرایب تمرکز تنش (SCF)<sup>۱</sup> از روابط موجود در آیین نامه های مختلف استفاده می شود که ویژگی مشترک آنها در منحصر بودن به اتصالات تک صفحه<sup>۲</sup> است. برای محاسبه ضرایب تمرکز



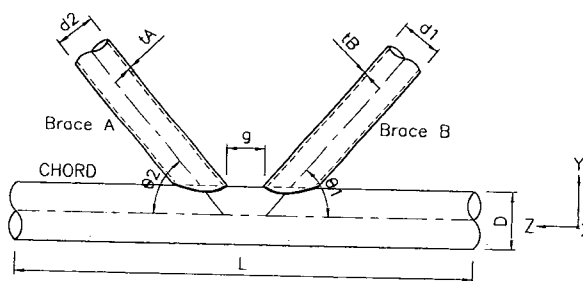
الف - اتصال KK در دستگاه مختصات سه بعدی



ب - مقطع عرضی اتصال KK در صفحه Y-Z



ج - مقطع طولی اتصال KK در صفحه X-Z



د - اتصال K صفحه ای

شکل ۱: اتصالات K, KK و پارامترهای هندسی آنها.

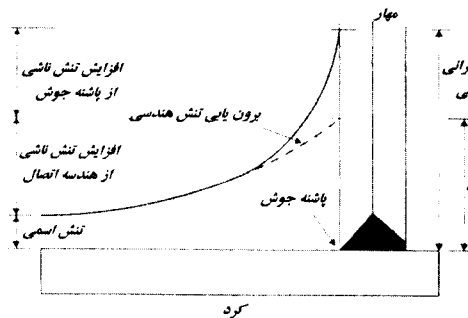
وجه مشترک تمامی مطالعات مذکور در بررسی مقاومت استاتیکی اتصالات KK است و در آنها مساله ضریب تمرکز تنش مورد توجه قرار نگرفته است. این مقاله تلاش دارد ضریب تمرکز تنش اتصالات K و KK را به طریق تحلیلی بررسی نماید.

#### ضریب تمرکز تنش

ضریب تمرکز تنش پارامتری است که شاخصهای هندسی اتصال را در تحلیل خستگی وارد می کند. این ضریب در واقع نسبت دامنه تنش بحرانی (HSS)<sup>۵</sup> به دامنه تنش اسمی<sup>۶</sup> مهار است.

بررسی اندرکنش مهارهای غیرهم صفحه در مقاومت استاتیکی اتصالات لوله ای در اوایل دهه ۱۹۸۰ آغاز شد و ماکینو (۱۹۸۴) با آزمایش بر روی ۲۰ نمونه اتصال KK و بررسی نوع گسیختگی آنها، نخستین فردی بود که در این زمینه تحقیقاتی انجام داد. موتی و رونالد (۱۹۹۰) ۹۶ اتصال KK را آزمایش و اثر شکل مقطع پروفیل را در مقاومت استاتیکی بررسی کردند. پاول (۱۹۹۲) و ماکینو (۱۹۹۳) با انجام آزمایشاتی بر روی اتصالات KK مطالعات قبلی خود را کامل کردند. لی و ویلمشارست (۱۹۹۳) و (۱۹۹۵) و مورگان (۱۹۹۸) با ارائه مدلهای عددی تحقیقات قبلی را کامل کردند.

باید عوامل متعددی را مدنظر داشت و پس از انتخاب گزینه های مختلف هر مورد نتایج مدل ایجاد شده را با نتایج نمونه های آزمایشگاهی مقایسه و از صحت آن اطمینان حاصل کرد. به همین دلیل مراجع مختلف حاوی نتایج آزمایشگاهی چند اتصال K و KK برای مطالعات این مقاله بررسی شدند که در جدول (۱) مشخصات آنها آمده است.



شکل ۲: تشنش بحرانی هندسی و موضعی.

## مدل اعضاء اتصال

باتوجه به نوع رفتار جداره اعضاء اتصالات (کرد و مهار)، برای مدل کردن آنها از المان پوسته ای، گزینه Shell63 بسته نرم افزاری [۹] ANSYS-5.4 استفاده شد. این المان تک لایه چهار گرهی با شش درجه آزادی در هر گره است که از روش انتگرال گیری گاوس استفاده می کند. در این المان رفتار غشایی و خمشی در محدوده ارتجاعی لحاظ شده است. جنس اعضاء اتصال از فولاد و خواص آن مشابه با خواص فولاد ASTM A36 است.

## اثر جوش

اتصالات سکوهی دریایی از نوع اتصالات جوشی است. بنابراین برای داشتن مدلی که رفتار اتصال را به درستی مدل کند در نظر گرفتن اثر جوش می تواند مهم باشد. صرف نظر نمودن از جوش موجب افزایش فاصله بین دو مهار نسبت به نمونه آزمایشگاهی شده و در نتیجه سختی خمشی این ناحیه کاهش می یابد و ممکن است رفتار اتصال به کلی عوض شود. روشهای موجود برای در نظر گرفتن اثر جوش به دو دسته کلی تقسیم می شوند.

$$SCF = \frac{S_{rhs}}{S_{rnom}}$$

(۱)

برای تعیین مقدار ضریب تمرکز تنش اتصالات سه روش کلی وجود دارد [۱].

- ۱- اندازه گیریهای آزمایشگاهی
- ۲- روابط پارامتری
- ۳- مدل های عددی

روش اول بسیار پرهزینه و زمان بر است و عملاً در کارهای اجرایی غیرقابل استفاده است. روشهای دسته دوم بسیار متنوع بوده و گاهی نتایج حاصل از روابط مختلف اختلافات اساسی دارند. علاوه بر این، این روشها مختص اتصالات تک صفحه می باشند. روشهای دسته سوم با توجه به گسترش نرم افزارهای متعدد اجزاء محدود بسیار کاربردی تر هستند و استفاده از آنها در مراجع علمی معتبر توصیه شده است.

دانستن این ضرایب از آن جهت مهم است که با ضرب آن در دامنه تشنش اسمی مهار می توان دامنه تشنش بحرانی اتصال را برآورد کرد و سپس باتوجه به منحنی های S-N عمر خستگی سازه را به دست آورد. لازم به ذکر است که تشنش بحرانی مذکور یک تشنش هندسی است، یعنی متأثر از تشنش اسمی عضو و هندسه اتصال است و شکل پروفیل جوش در آن تاثیری ندارد. شکل پروفیل جوش در مقدار تشنش بحرانی موضعی مؤثر است که در تحلیل خستگی از آن استفاده نمی شود [۸]. در شکل (۲) تفاوت تشنش بحرانی هندسی و موضعی نشان داده شده است.

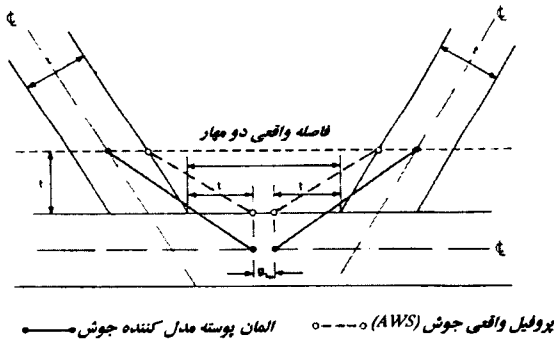
## مدل اجزاء محدود

باتوجه به گسترش روزافزون علوم رایانه ای و وجود بسته های نرم افزاری قوی اجزاء محدود استفاده از تحلیل های عددی یکی از روشهای مؤثر و کارآمد در تحلیل سازه هاست. خصوصاً در مورد اتصالات لوله ای که انجام آزمایش بر روی آنها مشکل و پرهزینه است. اما باید توجه داشت که مدل های پیشنهادی باید رفتار اتصال را به خوبی بیان کنند و نزدیکترین شرایط را به شرایط نمونه آزمایشگاهی ایجاد کنند. برای داشتن یک مدل عددی مناسب که رفتار اتصالات K و KK را به خوبی مدل کند

جدول ۱: مشخصات هندسی اتصالات مورد استفاده قرار گرفته.

اتصال	D	d	T	t	L	l	θ	g	e	Φ	φ	θ
K3.1	۵۰/۸	۲۵/۴	۱/۲۴	۱/۲۴	۳۲۰	۱۵۰	۴۵°	۵/۰۸	-۸/۹	۰	۰	۰
K3.3	۵۰/۸	۲۵/۴	۱/۲۲	۱/۲۲	۳۲۰	۱۵۰	۴۵°	۷/۶۲	-۷/۶۲	۰	۰	۰
KS-1	۵۰	۲۰	۱	۱	۳۰۰	۱۱۵	۶۰°	۵	۰	۳۵°	۲۳° ۳۱	۶۴/۶۹°
KS-2	۲۵	۱۰	۰/۵	۰/۵	۲۰۰	۷۰	۴۵°	۸/۶۲	۰	۳۰°	۲۲/۳°	۴۹/۱°
K19	۳۳	۱۶	۰/۸۴	۰/۸	۲۳۱	۱۱۲	۶۰°	۸/۹۱	۰	۴۰°	۳۶°	۶۶/۱۴°

تقسیم سطح مقطع جوش واقعی بر طول المان پوسته ای مدل کننده جوش به دست آمد. این ضخامت را می توان از روابط پارامتری زیر بدست آورد.



شکل ۳: استفاده از المان Shell در جوش.

$$t_w = \frac{t}{2\sqrt{\left(1 + \frac{1}{2\tau}\right)^2 + \left(1 + \frac{1}{2\sin\theta}\right)^2}} \quad \text{for } \theta = 90 \quad (2)$$

$$t_w = \frac{t}{2\sqrt{\left(1 + \frac{1}{2\tau}\right)^2 + \left(1 + \frac{1}{2\sin\theta} + \frac{1}{\tan\theta}\right)^2}} \quad \text{for } \theta \neq 90 \quad (3)$$

در رابطه فوق  $\tau = \frac{t}{T}$  بوده و سایر پارامترها در شکل (۱) تعریف شده اند. باید توجه داشت که در این روش بین المانهای پوسته ای مدل کننده کرد، مهار و جوش یک فضای کاملاً خالی وجود دارد. در شکل (۴) مدل جوش مورد استفاده نشان داده شده است.

۱- استفاده از المانهای توپر<sup>۷</sup>

۲- استفاده از المانهای پوسته ای<sup>۸</sup>

در روش اول مدل دقیق هندسه جوش و تعریف خواص آن به صورت کامل امکان پذیر بوده و تنها روشی است که می توان در آن جوش جناغی مورد استفاده در اتصالات سکوهایی دریایی را به صورت دقیق مدل کرد. اما باید به این نکته توجه داشت که مدلسازی و تحلیل مدلهای این روش بسیار زمانگیر و پرهزینه است. این مساله در اتصالات K و KK به دلیل هندسه پیچیده جوش در محل تقاطع کرد و مهار بسیار حادثتر است [۶]. در روش دوم اثر جوش با در نظر گرفتن یک المان پوسته ای جایگزین لحاظ می شود. هدف اصلی از بکار بردن این المان پوسته ای یکسان نمودن فاصله بین دو مهار در مدل عددی با نمونه آزمایشگاهی است. با یکسان شدن سختی خمشی این ناحیه رفتار اتصال تا حد زیادی مشابه رفتار نمونه آزمایشگاهی خواهد شد [۵].

مزیت اصلی این روش سهولت مدلسازی، دقت بالا و زمان کوتاه تحلیلهاست. در ایجاد چنین مدلی باید توجه داشت که ضوابط مندرج در آیین نامه ها در مورد حداقل ابعاد جوش رعایت شود، به همین دلیل در مدلسازی طول ساق جوش به اندازه حداقل بعد ساق جوش در اتصال جوشی دو عضو لوله ای که برابر ضخامت جداره کوچکتر دو عضو است، در نظر گرفته می شود [۵]. این مساله در شکل (۳) به خوبی نشان داده شده است.

در این مقاله برای مدل کردن جوش از روش دوم استفاده شد. ضخامت المان پوسته ای مدل کننده جوش ( $t_w$ )، از

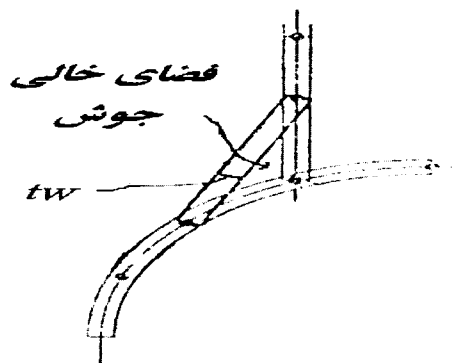
زمان محاسبات کمینه باشد. در مدل عددی مورد مطالعه برای شبکه بندی از المانهای مربعی چهار گرهی استفاده می شود. اما واضح است که ابعاد این المانها در قسمتهای مختلف اتصال یکسان نیست. در نواحی مجاور محل تقاطع کرد و مهار دانسیته مش بندی بالا و با حرکت به سوی دو انتهای کرد و انتهای دو مهار رفته رفته از دانسیته مش بندی کاسته می شود، به طوریکه در انتهای اعضای اتصال ابعاد المانها حداکثر است.

پس از تحلیلهای صورت گرفته و مطالعه نتایج مربوطه تصمیم گرفته شد ابعاد المانهای مش بندی نواحی مجاور مهار و کرد به اندازه کمینه ضخامت جداره های کرد و مهار (معمولاً مهار) انتخاب شود. ابعاد المانها در دو انتهای کرد و مهار نیز به صورت ضرایبی از ضخامت اعضا انتخاب می شود. نتایج انتخابهای مختلف برای دو اتصال K3.1 و K3.3 در جدول (۲) آمده است. ضریب تمرکز تنش آزمایشگاهی اتصال K3.1 برابر ۸/۹ و برای اتصال K3.3 برابر ۸/۴ است [۱۱].

جدول ۲: مقایسه نتایج SCF مش بندیهای مختلف.

ابعاد المانهای انتهای اعضا بر حسب ضخامت آنها	SCF		SCF/SCF <sub>exp</sub>	
	K3.1	K3.3	K3.1	K3.3
۲۰	۹/۰۵	۱۰/۵	۱/۰۲	۱/۲۵
۱۵	۸/۸۸	۹/۹	۱/۰۰	۱/۱۸
۱۰	۹/۰۷	۹/۱۲	۱/۰۲	۱/۰۹
۹	۸/۹۴	۸/۹۴	۱/۰۰	۱/۰۶
۸	۸/۹۳	۸/۷۸	۱/۰۰	۱/۰۵
۷	۸/۹۶	۸/۶۱	۱/۰۱	۱/۰۳
۶/۵	۹/۰۱	۸/۵۷	۱/۰۱	۱/۰۲

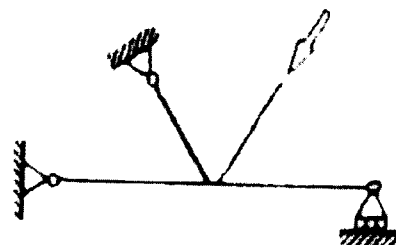
مشاهده می شود زمانیکه ابعاد المانهای انتهای کرد و مهار ۶/۵ برابر ضخامت جداره اعضا مربوطه است نتایج از دقت خوبی برخوردار بوده و همگرایی لازم ایجاد شده است. همچنین با مراجعه به شکل (۶) مشاهده می شود محل وقوع تنش بحرانی اتصال K3.1 روی مهار و براساس شکل (۷) محل وقوع تنش بحرانی اتصال K3.3 روی کرد و در حوضیض<sup>۱</sup> تقاطع است. این نتایج با



شکل ۴: جوش مورد استفاده.

### شرایط مرزی و بارگذاری

تنوع شرایط مرزی انتهای کرد و مهار از آن جهت که بتوان بهترین و نزدیک ترین شرایط مدل ایجاد شده با شرایط تکیه گاهی آزمایشگاهی را فراهم کرد، بسیار مورد توجه بوده است. شرایط مرزی گوناگونی برای اتصالات K توسط محققان مختلف پیشنهاد شده اما شرایط مرزی شکل (۵) بیش از سایر موارد توصیه شده است. بر همین اساس اتصال توسط یک بار محوری فشاری در انتهای مهار، بارگذاری شد.

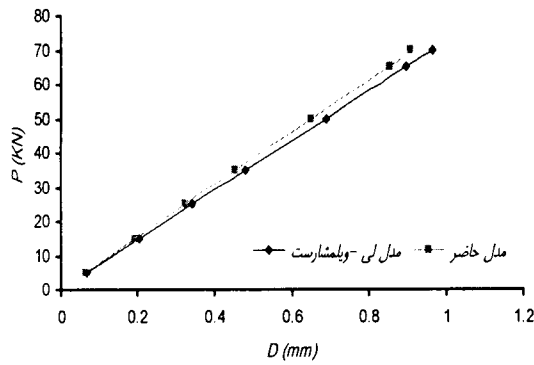


شکل ۵: شرایط مرزی مدل.

لازم به ذکر است که تغییر شرایط مرزی اثر ناچیزی بر مقادیر تنش اتصال می گذارد. به عنوان نمونه در صورتیکه در شرایط مرزی انتخابی، دو انتهای کرد به صورت گیردار کامل فرض شوند، نتایج تنشها حداکثر ۰/۷ تغییر می کند [۱۰].

### شبکه بندی

شبکه بندی مناسب در یک مدل اجزاء محدود بسیار مهم است. به طوریکه ضمن حفظ دقت مساله باید



شکل ۸: مقایسه نتایج اتصال DK09.

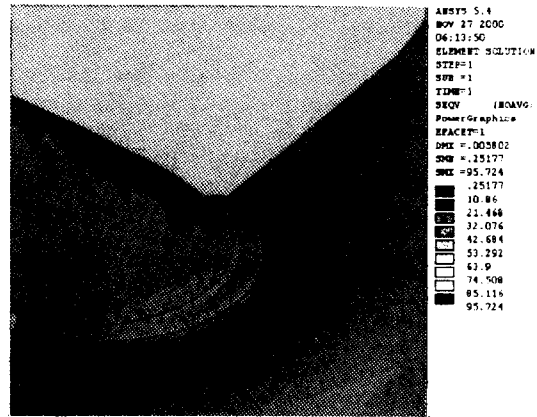
همانطور که مشاهده می شود نتایج از هم خوانی مناسبی برخوردارند و می توان از خصوصیات مدل اتصال K برای مدلسازی اتصالات KK نیز استفاده کرد. توجه به این نکته ضروری است که حداکثر اختلاف بین دو منحنی شکل (۸) حدود شش درصد است در حالیکه تفاوت نتایج تا ۲۵ درصد در محدوده مجاز محسوب می شوند [۷]. به این ترتیب به نظر می رسد مدل پیشنهادی رفتار اتصالات K و KK را با دقت خوبی شبیه سازی می کند و می توان از آن برای مطالعات و تحلیلهای عددی بعدی استفاده کرد.

### مقایسه نتایج SCF اتصالات K و KK

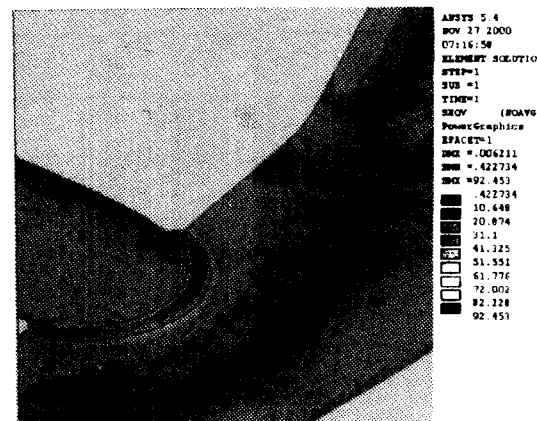
همانگونه که پیشتر نیز شرح آن رفت، طراحان برای برآورد ضرایب تمرکز تنش اتصالات چندصفحه، اتصال را به چند اتصال تک صفحه ای تبدیل و ضریب تمرکز تنش هریک از این اتصالات را محاسبه و بزرگترین ضریب تمرکز تنش به عنوان ضریب تمرکز تنش اتصال چندصفحه ای منظور می شود.

تحقیقات انجام شده در مورد این روش نشان می دهد که برآورد فوق در اتصالات TT چندصفحه تا حدی قابل قبول است [۱۲] اما در اتصالات XX چند صفحه غیراقتصادی است [۱۲، ۱۳، ۱۴]. برای بررسی دقت این روش در اتصالات KK چندصفحه ای تصمیم گرفته شد چند اتصال KK انتخاب شده و با تحلیل مدل عددی آنها ضرایب تمرکز تنش مربوطه برآورد شود. پس از آن اتصالات K تک صفحه معادل آنها ایجاد و ضرایب تمرکز

نتایج نمونه های آزمایشگاهی کاملاً مطابقت دارد. به این ترتیب مشاهده می شود که مدل انتخاب شده رفتار اتصالات K را با دقت بسیار خوبی بیان می کند و می توان از آن برای انجام مطالعات عددی اتصالات K استفاده کرد.



شکل ۶: نتیجه تحلیل اتصال K3.1.



شکل ۷: نتیجه تحلیل اتصال K3.3.

برای بدست آوردن مدلی که رفتار اتصالات KK را نیز با دقت خوبی بیان کند تصمیم گرفته شد شرایط مدل اتصالات K را برای یک مدل اتصال KK استفاده و نتایج بررسی شوند. برای این منظور اتصال DK09 از مرجع [۵] انتخاب شد. پس از تحلیل مدل نمودار نیرو - تغییر مکان انتهای مهار فشاری مدل با نتایج مطالعات لی - ولمشارست [۵] مقایسه شد. این مقایسه در شکل (۸) آمده است.

طرح می شود. بر پایه این نتایج می توان رابطه ای بین ضریب تمرکز تنش اتصالات K و KK به صورت زیر برقرار ساخت.

جدول ۳: مقادیر SCF اتصالات K و KK.

اتصال	$SCF_{unip\ ln}$	$SCF_{mult\ ln}$	$SCF_{unip\ ln}$
			$SCF_{mult\ ln}$
DK19	۴۶/۴۱	۳۷/۲۹	۱/۲۴
DKS-1	۱۱/۴۷	۸/۶۸	۱/۲۹
DKS-2	۲۷/۲۱	۲۰/۹	۱/۳

$$SCF_{K_{unip\ ln}} = 1.25 SCF_{KK_{mult\ ln}}$$

(۴)

### مطالعات پارامتری

اتصالات K و KK در گستره وسیعی از سازه ها و در ابعاد و اندازه های بسیار متنوعی کاربرد دارند، لذا دانستن ابعادی که در آنها تمرکز تنش به حداقل برسد، از نظر اقتصادی، مهم است. بر همین اساس مطالعه پارامتری، براساس پارامترهای هندسی اتصالات K و KK انجام شد که در ادامه ذکر می شود.

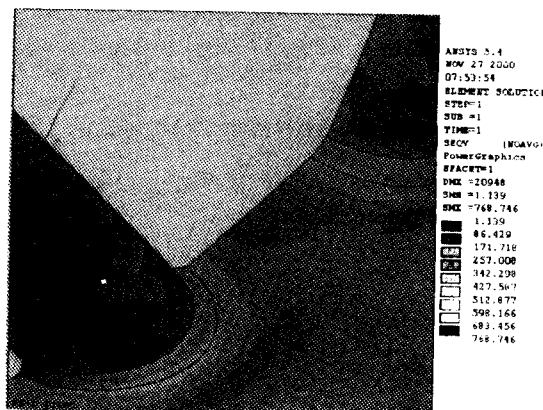
#### پارامتر $\alpha$

رابطه ایست بین طول و قطر کرد که گستره کاربردی آن در بازه ۴۰-۴ است  $(\alpha = \frac{2L}{D})$ . همانگونه که در شکل (۱۱) آمده در اتصالات K اثر پارامتر  $\alpha$  بر SCF بسیار جزئی و کاهنده است. اما در اتصالات KK این پارامتر عملاً بی تاثیر است. همچنین در تمام بازه کاربردی  $\alpha$  مقدار SCF اتصالات KK از SCF اتصالات K کوچکتر است.

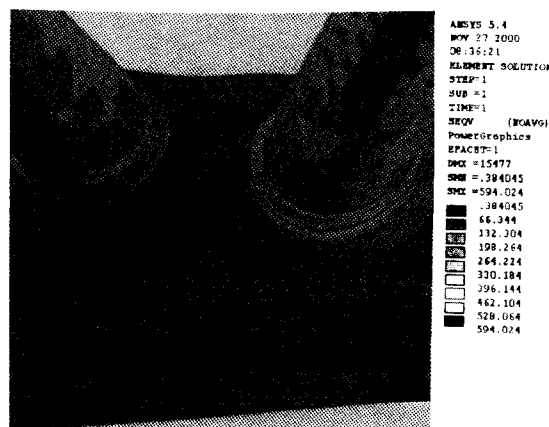
#### پارامتر $\beta$

رابطه ایست بین قطر مهار و کرد که گستره کاربردی آن در بازه ۱-۰/۲۵ است  $(\beta = \frac{d}{D})$ . در مطالعه پارامتر حاضر به دلیل تداخل هندسی جوش و مهار در نمونه های انتخاب شده عملاً امکان مطالعه حالت

تنش آنها نیز برآورد می شود. برای این منظور مدل اجزاء محدود اتصالات DKS-1، DKS-2 و DK-19 انتخاب شدند. این اتصالات در واقع مدل چندصفحه ای اتصالات KS-1، KS-2 و K-19 می باشند. پس از تحلیل مدلها مقادیر تنش بحرانی این سه اتصال برآورد شد. در شکلهای (۹) و (۱۰) نتایج مدلهای KS-1 و DKS-2 آمده است. مقادیر ضرایب تمرکز تنش این اتصالات در جدول (۳) آمده است.

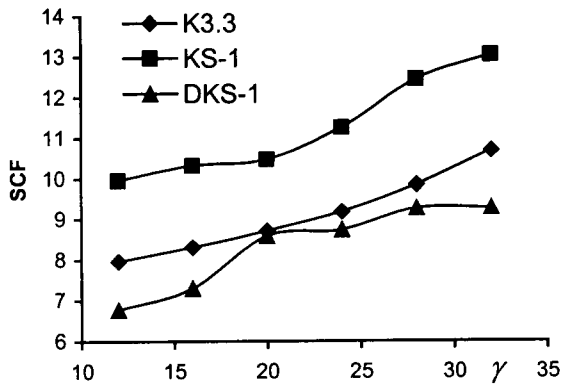


شکل ۹: نتیجه تحلیل اتصال KS-1.



شکل ۱۰: نتیجه تحلیل اتصال DKS-1.

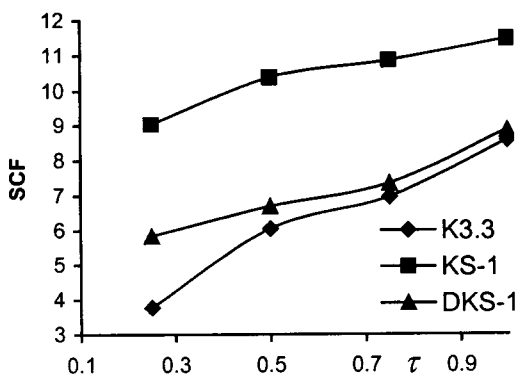
همانگونه که در جدول (۳) نیز مشاهده می شود ضرایب تمرکز تنش اتصالات در حالت تک صفحه بین ۲۴ تا ۳۰ درصد بیشتر از حالت چندصفحه ای است و نشان می دهد صرف نظر نمودن از اندرکنش مهارهای غیرهم صفحه در اتصالات لوله ای چندصفحه ای KK موجب افزایش ضریب تمرکز تنش، کاهش ظاهری عمر مفید سازه، بزرگ شدن مقاطع و در نهایت غیراقتصادی شدن



شکل ۱۳: تغییرات SCF بر حسب γ.

پارامتر τ

رابطه ایست بین ضخامت مهار و کرد که گستره کاربردی آن ۰/۵-۱ است ( $\tau = \frac{t}{T}$ ). از شکل (۱۴) نتیجه می شود با افزایش τ مقدار SCF اتصالات K و KK افزایش می یابد. بنابراین برای داشتن طرح اقتصادی باید مقادیر τ را حتی الامکان کوچک اختیار کرد، اما این نسبت نباید از ۰/۵ کوچکتر باشد. در حالت اخیر عموماً محل وقوع تنش بحرانی به روی مهار منتقل می شود که این از نظر طراحی غیرمنطقی است. در دامنه کاربردی این پارامتر نیز SCF اتصالات KK از SCF اتصالات K کوچکتر است.

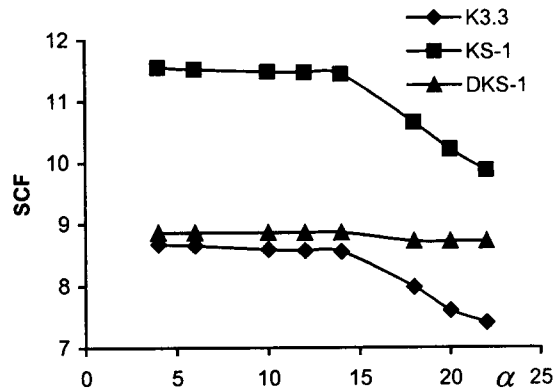


شکل ۱۴: تغییرات SCF بر حسب τ.

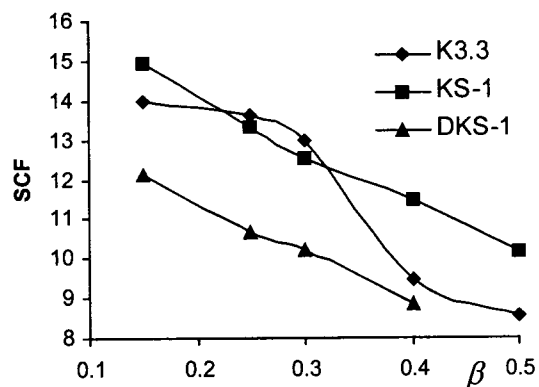
پارامتر θ

در واقع زاویه بین مهار و کرد است که در اتصالات K با نماد θ و در اتصالات KK با نماد Θ نمایش داده

و  $\beta > 0.5$  وجود نداشت. براساس شکل (۱۲) مقادیر β و SCF در اتصالات K و KK نسبت عکس دارند و می تواند به دلیل یکنواخت تر شدن توزیع تنش در مقادیر بزرگتر β و در نتیجه کاهش تنش بحرانی و به تبع آن SCF اتصال باشد. مشاهده می شود در تمام بازه کاربردی β مقدار SCF اتصال KK از SCF اتصال K کوچکتر است.



شکل ۱۱: تغییرات SCF بر حسب α.



شکل ۱۲: تغییرات SCF بر حسب β.

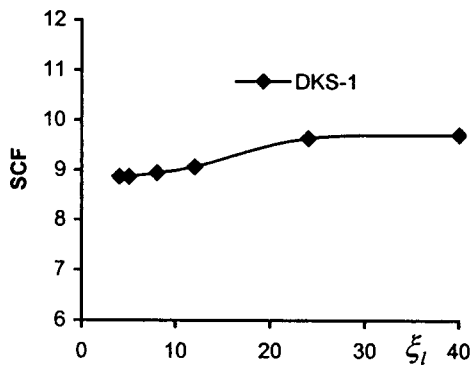
پارامتر γ

رابطه ایست بین قطر و ضخامت کرد و به نوعی بیانگر صلبیت کرد می باشد. گستره کاربردی آن در بازه ۱۲-۳۲ است ( $\gamma = \frac{D}{2T}$ ). مطابق شکل (۱۳) مقادیر SCF اتصالات K و KK با افزایش γ افزایش می یابد. یعنی با کاهش صلبیت کرد می توان از مقدار SCF کاست. ملاحظه می شود که در تمام دامنه کاربردی γ مقدار SCF اتصالات KK از SCF اتصالات K کوچکتر است.

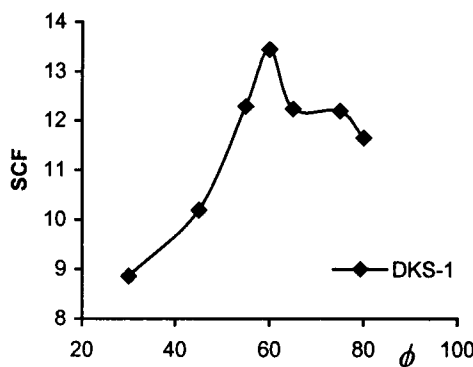


پارامتر  $\xi_1$ 

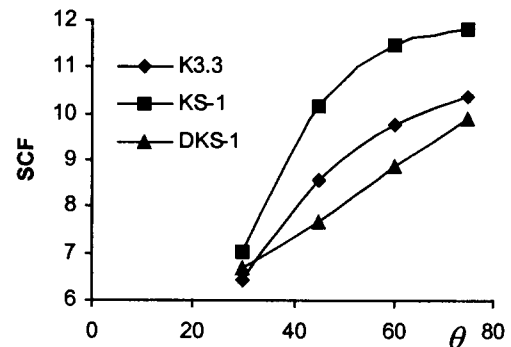
پارامتری است مختص اتصالات KK و در واقع رابطه ایست بین فاصله دو مهار هم صفحه و ضخامت کرد  $(\xi_1 = \frac{g_1}{T})$ . در مورد گستره کاربردی این پارامتر محدوده ای پیشنهاد نشده است. باتوجه به شکل (۱۷) ملاحظه می شود تاثیر این پارامتر بر SCF بسیار جزئی و کوچک است و می توان از آن صرفنظر کرد.

شکل ۱۷: تغییرات SCF بر حسب  $\xi_1$ .پارامتر  $\Phi$ 

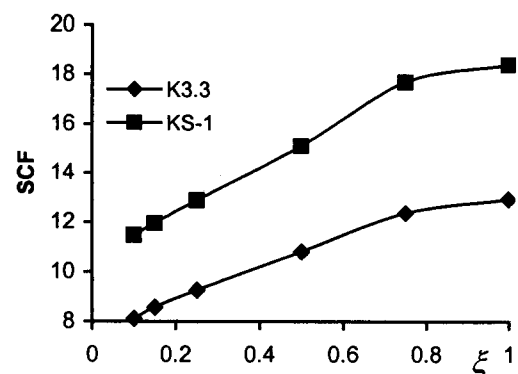
زاویه تصویر مهار در صفحه عمود بر محور کرد و صفحه تقارن با صفحه تقارن طولی اتصال KK است. در اتصالات K چنین پارامتری تعریف نشده است. گستره کاربردی آن  $30^\circ - 90^\circ$  درجه است. بر پایه شکل (۱۸) با افزایش  $\Phi$  مقدار SCF افزایش می یابد و پس از رسیدن به یک اوج مجدداً از مقدار SCF کاسته می شود. همانطور که در شکل (۱۸) نیز مشاهده می شود مقدار SCF بیشینه در  $\Phi = 60^\circ$  و SCF کمی‌نه در  $\Phi = 30^\circ$  رخ می دهد.

شکل ۱۸: تغییرات SCF بر حسب  $\Phi$ .

می شود. دامنه کاربردی آن بسته به امکانات جوشکاری و فاصله بین دو مهار بین  $75^\circ - 30^\circ$  می باشد. همانطور که در شکل (۱۵) نیز مشاهده می شود با افزایش این زاویه مقادیر SCF اتصالات K و KK افزایش می یابد. نکته جالب توجه در شکل (۱۵) این است که در زاویه  $\theta = 30^\circ$  اختلاف نتایج SCF اتصالات K و KK بسیار جزئی است. اما در سایر زوایا مانند حالات قبل SCF اتصالات KK کوچکتر از SCF اتصالات K می باشد.

شکل ۱۵: تغییرات SCF بر حسب  $\theta$ .پارامتر  $\xi$ 

رابطه ایست بین فاصله آزاد بین دو مهار و قطر کرد که گستره کاربردی آن در بازه  $1 - 0.5$  می باشد  $(\xi_1 = \frac{g_1}{T})$ . این پارامتر مختص اتصالات K است. براساس شکل (۱۶) با افزایش  $\xi$  مقدار SCF نیز افزایش می یابد چرا که با افزایش  $\xi$  سختی خمشی کرد کاهش یافته و در نتیجه مقدار تنش بحرانی و در نهایت میزان SCF افزایش می یابد.

شکل ۱۶: تغییرات SCF بر حسب  $\xi$ .

## رابطه پارامتری

از برآزش نتایج مطالعات پارامتری انجام شده رابطه ای برای برآورد ضرایب تمرکز تنش اتصالات K تک صفحه ارائه شد. برای این منظور از نتایج ۵۹ مدل اتصال K3.3 و KS-1 با پارامترهای هندسی مختلف استفاده شد. در جدول (۴) محدوده بررسی پارامترهای هندسی آمده است.

جدول ۴: محدوده بررسی پارامترهای هندسی .

پارامتر هندسی	محدوده بررسی شده
$\alpha$	۴-۲۲
$\beta$	۰/۱۵-۰/۱۵
$\gamma$	۱۲-۳۲
$\tau$	۰/۲۵-۱
$\theta$	۳۰°-۷۵°
$\xi$	۰/۱-۱
$\xi_1$	۴-۴۰
$\phi$	۳۰°-۸۰°

حالات  $\zeta > 0.2$  بر رابطه اعمال شد.

برای بررسی دقت رابطه سه اتصال K3.1، K3.3 و KS-1 انتخاب و ضریب تمرکز تنش هر یک از آنها توسط رابطه (۶) محاسبه و با نتایج حاصل از مدل‌های عددی مقایسه شد که نتایج این مقایسه در جدول (۵) آمده است. همانطور که در جدول (۵) مشاهده می شود حتی در مورد اتصال K3.3 که مدل آن در تحلیلهای آماری وارد نشده بود، نتایج از دقت مناسبی برخوردار می باشند

جدول ۵: نتایج SCF مدل عددی و رابطه پارامتری .

اتصال	$SCF_{FE}$	$SCF_{EQ}$	$\frac{SCF_{EQ}}{SCF_{FE}}$
K3.1	۹/۰۱	۷/۹۶	۰/۸۸
K3.3	۸/۵۷	۸/۷۱	۱/۰۲
KS-1	۱۱/۴۷	۱۱/۱۴	۰/۹۷

رابطه (۴) را به صورت دیگری بازنویسی می کنیم .

$$SCF_{KK \text{ multpln}} = \frac{1}{1.25} SCF_{K \text{ unipln}} = 0.8 SCF_{K \text{ unipln}} \quad (7)$$

$$SCF_{KK} = 4.72 \alpha^{-0.07} \beta^{-0.41} \gamma^{0.32} \tau^{0.29} \zeta^{0.21} \sin^{0.87} \theta \quad (8)$$

به این ترتیب برای تعیین ضریب تمرکز تنش اتصالات لوله ای چندصفحه ای KK متقارن، رابطه (۸) پیشنهاد می شود.

جدول ۶: محدوده های هندسی اقتصادی اتصالات K و KK .

پارامتر هندسی	محدوده مناسب
$\alpha$	۲۲
$\beta$	۰/۲۵
$\gamma$	۱۲
$\tau$	۰/۱۵
$\theta$	۳۰°
$\xi$	۰/۱
$\xi_1$	-
$\phi$	۳۰°

فرم کلی رابطه برای محاسبه ضریب تمرکز تنش به صورت زیر حدس زده می شود.

$$SCF = K \alpha^A \beta^B \gamma^C \tau^D \zeta^E \sin^F \theta \quad (5)$$

برای محاسبه نماها و ضریب مجهول از روش کمترین جذر مربعات استفاده شد و با کمک بسته نرم افزار [۱۵] MATLAB-5.3 مقادیر آنها محاسبه شد و نهایتاً رابطه زیر به دست آمد .

$$SCF_{K \text{ unipln}} = 5.896 \alpha^{-0.069} \beta^{-0.410} \gamma^{0.322} \tau^{0.286} \zeta^{0.208} \sin^{0.872} \theta \quad (6)$$

قابلیت اعتماد رابطه (۶) برابر  $r_T = 0.69$  است. رابطه بدست آمده با دو شرط محدود کننده روبرو است. اولین محدودیت به صورت  $\beta < 0.5$  بیان می شود. علت این محدودیت تداخل هندسی جوش دو مهار در حالات  $\beta > 0.5$ ، در مطالعات پارامتری است. محدودیت دوم رابطه (۶) به صورت  $\zeta < 0.2$  بیان می شود. این محدودیت با مقایسه مقادیر حاصل از رابطه با نتایج مدل عددی برای

### فهرست علائم

- L : طول کرد  
 D : قطر کرد  
 d : قطر مهار  
 T : ضخامت کرد  
 t : ضخامت مهار  
 g<sub>1</sub> : فاصله آزاد بین دو مهار  
 θ : زاویه بین مهار و کرد  
 φ : زاویه تصویر مهار در صفحه عمود بر محور کرد

$$\alpha = \frac{2L}{D}$$

$$\beta = \frac{d}{D}$$

$$\gamma = \frac{D}{2T}$$

$$\tau = \frac{t}{T}$$

$$\xi, \xi_1 = \frac{g_1}{T}$$

بر مبنای محاسبات انجام گرفته و ملاحظه تأثیر پارامترهای مختلف هندسی بر SCF آنها مستقیماً اقتصادی بودن طرح را تبیین می کنند. جدول (۶) به عنوان مبنایی برای ارائه محدوده های بهینه پیشنهاد می شود.

### نتایج

- استفاده از المان جوش پوسته ای در مدل کردن اتصالات K و KK در عین سادگی، از دقت بالایی برخوردار بوده و اقتصادی است.
- روش مستداول برای تعیین ضرایب تمرکز تنش اتصالات KK چند صفحه حدود ۲۵٪ محافظه کارانه است.
- طرح اقتصادی اتصالات لوله ای K و KK طرحی است که پارامترهای هندسی آن حتی الامکان به مقادیر جدول (۵) نزدیک باشد.
- پیشنهاد می شود برای محاسبه ضریب تمرکز تنش اتصالات لوله ای تک صفحه ای K از رابطه (۶) و برای محاسبه این ضریب در مورد اتصالات چندصفحه ای KK از رابطه (۸) استفاده شود.

### مراجع

- 1 - Makino, Y., Kurobane, Y. and Paul, J. C. (1993). "Ultimate behavior of diaphragm-stiffened tubular KK-joints." *Proc. Int. Symp. On Tubular Struct.*, PP. 465-472.
- 2 - Mouty, J. nad Ronald, J. (1990). "Étude du comportement sous charge statique des assemblages soudés de profils creux circulaires dans les poutres de sections triangulaires et quadrangulaires." *Res. Rep., Univ. of Liege, Liege, Belgium.*
- 3 - Paul, J. C., Uneno, T., Makino, Y. and Kurobane, Y. (1992). "Ultimate behavior of multiplanar double K-joints." *Proc. Int. Offshore and Polar Engrg. Conf.*, PP. 377-383.
- 4 - Wilmsurst, S., R. and Lee, M. M. K. (1993). "Finite element analysis of KK-joints – an assessment of Mouty & Ronald." IIW Doc. XV-E-93-190, *Int. Ins. Of Welding, Cambridge, U.K.*
- 5 - Lee, M. M. K. and Wilmsurst, S. R. (1995). "Numerical modelling of CHS joints with multiplanar double-K configuration." *J. of Constr. Steel Res.*, Vol. 32, PP. 281-301.
- 6 - Morgan, M. R. and Lee, M. M. K. (1998). "Prediction of stress concentrations and degrees of bending in axially loaded tubular K – joints." *J. of Constr. Steel Res.*, Vol. 45, No. 1, PP. 67-97.
- 7 - Dover, W. D. and Madhava Rao, A. G. (1996). *Fatigue in offshore structures.* A. A. Balkema / Rotterdam / Brokfield.

- 8 - Lee, M. M. K. (1999). "Strength, stress and fracture analysis of offshore tubular joints using finite element." *J. of Const. Steel Res.*, Vol. 51, PP. 265-286.
- 9 - ANSYS. Users manual (1994). *Swanson Analysis Systems. Inc. Houston.*
- ۱۰ - مولایی، ب. تعیین تحلیلی ضرایب تمرکز تنش در اتصالات لوله ای چندصفحه ای KK. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، (۱۳۷۹).
- 11 - Heshmati, E. and Lewis, G. (1986). "Analysis method and inspection procedure for single sides closure welds in offshore structures." *Proc. of OTC.*
- ۱۲ - بهاری، م. ر. و کریم دادیان، ب. بررسی پدیده خستگی در اتصالات لوله ای چند صفحه ای TT و XX. نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۳، شماره ۳، ص ۴۲-۳۱، آذر (۱۳۷۸).
- 13 - Karamaros, S. A., Romeijn A. and Wardenier, J. (1999). "Stress concentration in multiplanar welded CHS XX-concentrations." *J. of Constr. Steel Res.*, Vol. 50, PP. 259-282.
- 14 - Chiew, S. P. and Sho, C. K. (2000). "Strain concentrations at intersection regions of a multiplanar tubular DX-joint." *J. of Constr. Steel Res.*, Vol. 53, Issue 2, PP. 225-244.
- 15 - MATLAB-5.3 User manual. (1999). *Microsoft Corporation, Seatthe, Wash.*

### واژه نامه انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Stress Concentration Factors
- 2 - Uniplanar
- 3 - Multiplanar
- 4 - Braces
- 5 - Hot Spot Stress Range
- 6 - Nominal Stress Range
- 7 - Solid
- 8 - Shell
- 9 - Saddle