ارزیابی اتصال رزوه‌ای لوله‌های درون‌چاهی نفت و گاز به روش تحلیل عددی

ایمان اعتماد، هادی نوری زادگان، امید ابوطالبی
شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب؛ اهواز
etemad.iman@gmail.com

چکیده
در این مطالعه با استفاده از روش المان محدود به ارزیابی اتصال لوله‌های جداری و مغزی چاه های نفت و گاز (که از پارامترهای کلیدی در طراحی رشته درون‌چاهی و نقطه ضعیف و حساس آن می‌باشد) پرداخته شده است. طراحی مدل در نرم‌افزار CATIA V5R20 انجام شده است و سپس به نرم افزار تحلیلی ABAQUS 6.11 وارد شد. بارگذاری‌های مختلف شامل نیروی بستن اتصال، نیروی کشش محوری و نیروی مرکب (اعمال همزمان فشار داخلی, نیروی کشش محوری و نیروی بستن اتصال) مطابق با الزامات استانداردهای بین المللی از جمله API 5C5/ISO 13679، API 5B، API 5C3 و API 5CT به اتصال اعمال و نتایج آن بررسی گردید. با اعمال نیروی کشش محوری برابر با ۹۵٪ استحکام تسلیم بدنه لوله مشخص گردید اتصال اختصاصی بر اساس قانون حد کرنش در محدوده ایمن در نقاط تمرکز تنش قرار دارد و می تواند در شرایط عملیاتی مطابق الزامات استاندارد عملکرد مطلوبی را دارا باشد که این نتیجه با توجه به عملکرد مثبت اتصال یاد شده در شرایط عملیاتی کشور در طی سال های اخیر قابل تأیید می باشد. همچنین مشخص گردید روش المان محدود می‌تواند در بسیاری موارد ابزاری قابل اعتماد و کم‌هزینه و جایگزین آزمایش‌های فیزیکی در تحلیل اتصالات رزوه‌ای رشته‌های تکمیل چاه باشد.

واژه های کلیدی: اتصال اختصاصی، لوله مغزی، لوله جداری، روش عددی

www.Reservoir.ir

Investigation of threaded connections of down-hole casing and tubing in oil and gas wells using numerical method.

Iman Etemd, Hadi Noorizadegan, Omid Aboutalebi
National Iranian South Oil Company, Ahvaz
etemad.iman@gmail.com

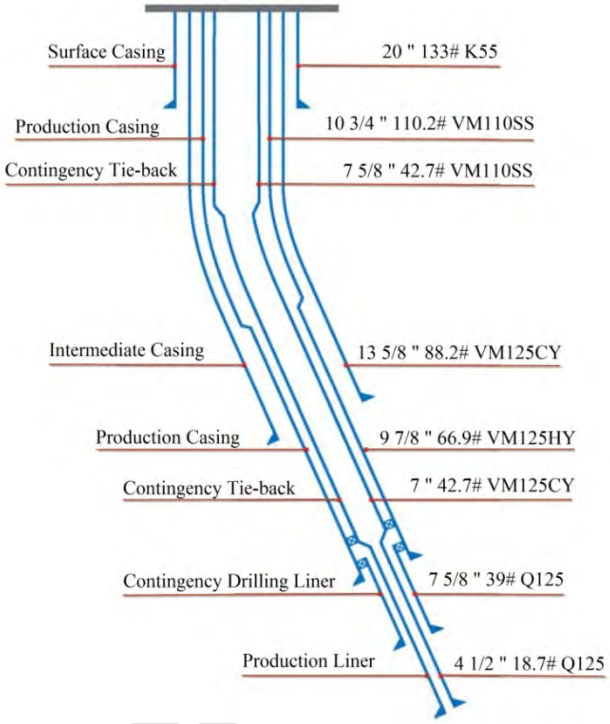
Abstract
In this study, threaded connection of casing and tubing strings of oil and gas wells, which is a key parameter in design of down-hole strings) was investigated using finite element method. Modeling was done by CATIA V5R20 software and then imported to ABAQUS 6.11 software for investigation. Different loads including connection make up load, axial load and combined load (simultaneous applying of internal pressure, axial load and connection make-up load) where applied according to requirements of international standards, including API 5B, API 5CT/ISO13679 and API 5CT, and the results were investigated. Applying an axial load corresponding to 95% of yield strength of pipe body showed that the investigated connection can be safely used at working condition according to requirements of standards. This result is in agreement with proper operation of this connection in recent years. It was also shown that in order to investigate the function of threaded connections of well-completion strings, finite element method can be used in many conditions as a reliable and low-cost instrument to substitute mechanical experiments.

Keywords: premium connection, casing, tubing, numerical method

www.Reservoir.ir

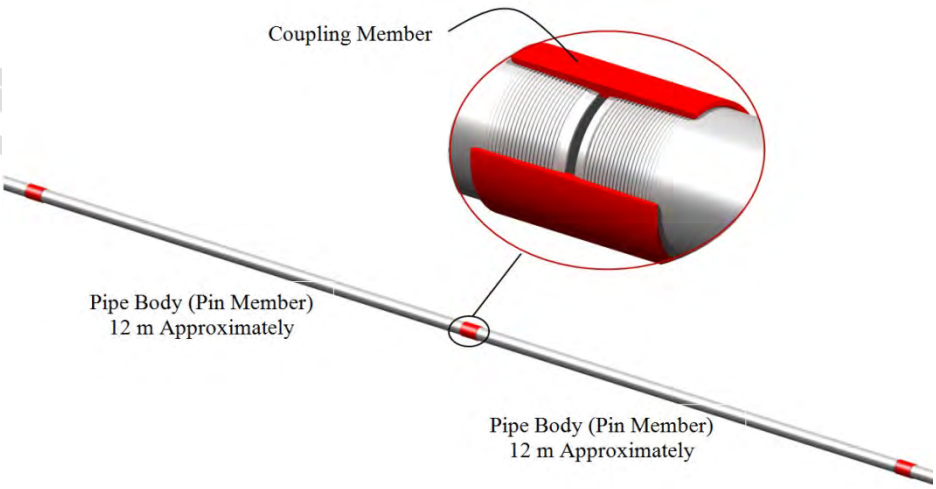
۱- مقدمه

لوله های جداری (Casing) و مغزی (Tubing) از اجزاء بسیار مهم در رشته تکمیلی درون چاهی نفت و گاز می باشند. با استفاده از لوله جداری ستون چاه از محیط مجزا می شود. پس از قرار دادن لوله های جداری پشت آن سیمان می شود تا در جای خود محکم شود و ادامه فرایند حفاری با اطمینان انجام شود. لوله مغزی در آخرین مرحله تکمیل چاه درون لوله جداری قرار می گیرد و به عنوان مسیری برای انتقال نفت یا گاز از مخزن می باشد. شکل ۱ شماتیکی از برنامه لوله های جداری و مغزی برای تکمیل چاه را نشان می دهد.



شکل ۱. شماتیک برنامه لوله های جداری و مغزی در چاه های نفت و گاز

لوله های جداری و مغزی از طریق اتصالات رزوه ای به یکدیگر پیچ شده و به درون چاه فرستاده می شوند. در شکل ۲ شماتیکی از لوله به همراه اتصال رزوه ای کوپلینگی نشان داده شده است.



شکل ۲. شماتیک لوله جداری و مغزی به همراه اتصال رزوه ای کوپلینگی آن

لوله های جداری و مغزی و اتصالات آن در هنگام قرار گیری در چاه، حین عملیات سیمانکاری، حفاری و تولید تحت بارگذاری های مختلفی ازجمله کشش (Tension)، فشردگی (Compressive)، ترکیدگی (Burst) مچالیدگی (Collapse) قرار می گیرند [۱]. اتصالات از جمله پارامترهای کلیدی در برنامه عملیات حفاری و اکتشاف نفت و گاز به لحاظ ارتباط مستقیم آن با استحکام لوله می باشد بنابراین ارزیابی کمی از مقدار و نحوه توزیع تنش و مقاومت نشتبندی آن از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. در حال حاضر انواع مختلفی از اتصالات لوله ها موجود می باشد. اتصالات رزوه ای را می توان به دو دسته عمومی تقسیم بندی کرد. ۱) اتصالات استاندارد (API Connections) و ۲) اتصالات اختصاصی (Premium Connections) [۲]. در استاندارد API برخی مشخصه ها و ویژگی ها جهت رعایت حداقل الزامات طراحی، ساخت و کنترل ارائه شده است.در سال های اخیر اتصالات استاندارد توانایی برآوردن الزامات مطلوب را به دلیل شرایط دشوار فشار و دما را دارا نمی باشند به همین جهت توسعه ساختاری، ابعادی و ویژگی های نشت پذیری منجر به ایجاد اتصالات اختصاصی شده است. این اتصالات برای بدست آوردن کیفیت بالاتر طراحی و ساخته می شوند. استحکام سازه، نشت پذیری، مقاومت به خوردگی و ... در این اتصالات در مقایسه با اتصالات استاندارد بهبود پیدا کرده است [۳]. اتصالات اختصاصی با توجه به کاربردشان در شکل ها و مشخصه های مختلفی طراحی می شوند. در شکل ۳ تصویر پین و کوپلینگ یکی از اتصالات رایج اختصاصی نشان داده شده است. از جمله تفاوت عمده آن با اتصال استاندارد Buttress در API وجود نشتبند فلز با فلز (Metal to Metal)، ارتفاع رزوه برای سهولت در عملیات راندن و طول کوپلینگ برای افزایش استحکام کششی آن می باشد.

طراحی اتصالات اختصاصی نیازمند معتبرسازی یا گذراندن آزمایشات کیفیت قبل از پذیرفتن توسط مصرف کننده می-باشد. یکی از روش های ارزیابی، انجام آزمایشات بر اساس استانداردهای API 5C5/ISO 13679 می‌باشد. در این آزمایشات اتصالات تحت بارگذاری مرکب ناشی از فشار، دما، نیروی محوری و آزمایشات سیکلی قرار می گیرند [۴] و نیازمند صرف هزینه های هنگفت و زمان طولانی می‌باشند. یکی دیگر از روش های ارزیابی اتصالات استفاده از روش های تحلیل عددی از جمله روش المان محدود می‌باشد [۵]. در این روش مدل سازی، امکان بررسی عملکرد اتصال در شرایط مختلف عملیاتی و همچنین بررسی ویژگی‌های مختلف اتصال در عملکرد نهایی تجهیز امکان پذیر می‌گردد. استفاده از این روش ها در ارزیابی های فنی مهندسی به طرز چشم گیری رو به افزایش می باشد و تاکنون تحقیقات بسیاری در خصوص عملکرد و یا نقاط بحرانی در طراحی اتصالات رزوه ای لوله های حفاری انجام شده است.



شکل ۳. پین و کوپلینگ یکی از اتصالات رایج اختصاصی

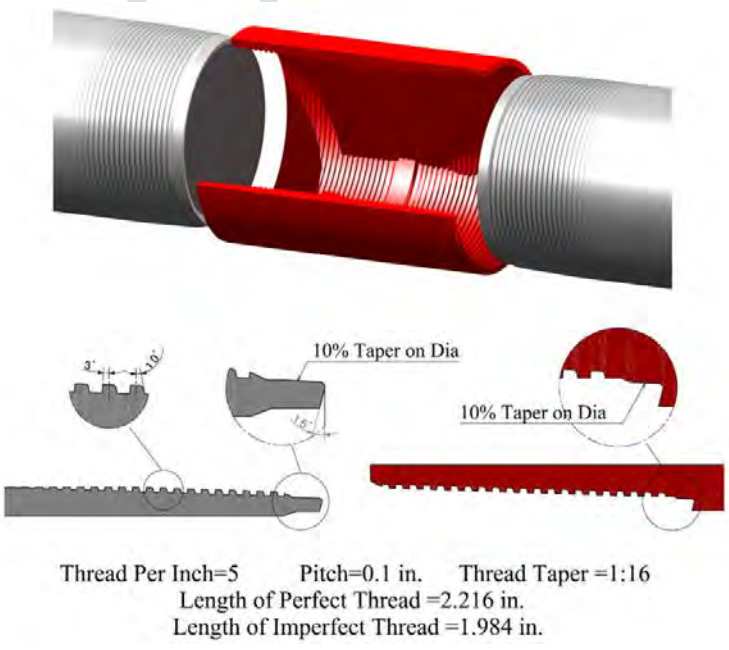
Hetenyi [۶]، Brown [۷] با استفاده از روش فوتوالاستیک به بررسی حداکثر تنش در اتصالات رزوه ای لوله های جداری پرداخته اند. با توجه به نتایج ارائه شده مشخص گردید حداکثر تنش در این اتصالات در ریشه رزوه اتفاق می افتد. همچنین آنها نشان دادند بیشترین مقدار تنش در آخرین رزوه نسبت به ابتدای پین یا باکس بوجود می آند. تحقیقات Stromeger [۸]، Goodier [۹]، Den hartog [۱۰] و Sopwith [۱۱] با درنظر گرفتن نیروهای محوری بر روی اتصالات حفاری به بررسی عملکرد آنها پرداخته و نشان دادند توزیع تنش به صورت کاملا غیرخطی می باشد. Newport et al. [۱۲] نشان دادند که مکانیزم خمش و تأثیر تنش های ناشی از ترک دو عامل عمده در تمرکز تنش می باشند. او همچنین مشخص نمود ضریب تمرکز تنش در ریشه رزوه ها تابعی از نرخ تنش های محوری و خمشی می باشد.

همانگونه که اشاره شد در تحقیقات انجام شده عمدتاً به بررسی عملکرد اتصالات لوله های حفاری پرداخته شده است. لهذا امروزه به دلیل سخت شدن شرایط عملیاتی (فشار و دما) و همچنین استفاده از لوله ها جداری/مغزی در چاه های انحرافی/افقی و وارد شدن تنش هایی با مقدار زیاد و به صورت ترکیبی به لوله های جداری و مغزی و به منظور بررسی عملکرد اتصالات رزوه ای به عنوان ضعیف ترین بخش در رشته های درون چاهی استفاده از روش های عددی اجتناب ناپذیر شده است. در این مطالعه به ارزیابی یکی از اتصالات اختصاصی پرکاربرد در ایران پرداخته شده و عملکرد اتصال در سیکل های بارگذاری مرکب مطابق الزامات استاندارد API 5C5/ISO 13679 و شرایط عملیات پیچیده چاه های نفت و گاز مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مدل سازی مساله

۲-۱- شرایط مرزی و مدل سازی تحلیل

مدل طراحی شده در نرم افزار CATIA V5R20 در شکل ۴ ارائه شده است. قطر خارجی اتصال مورد مطالعه ۷" و وزن اسمی ۲۹ lb/ft می باشد. مدل سازی مساله برای تحلیل در نرم افزار ABAQUS 6.11 در فضای دو بعدی و تقارن محوری با تکنیک Axisymmetric طراحی شد. به منظور بررسی دقیق و محاسبه تمرکز تنش، مدل سازی با استفاده از تکنیک Sub modeling و تقسیم مدل به زیر مجموعه های رزوه ها و نشتبند انجام شد.



شکل ۴. مدل طراحی شده در نرم افزار CATIA V5R20

المان بکار رفته از نوع خطی و انتگرال گیری کاهش یافته (CAX4R) برای شبیه سازی مناسب تماس سطوح انتخاب شد. سطوح تماسی Surface-Based برای مدل سازی تماس بین رزوه ها و نشتبند استفاده شد. همچنین ضریب اصطکاک تماس برابر با ۰/۳ می باشد [۱۳]. به دلیل ماهیت غیر خطی تماس و متریال، مراحل تحلیل غیر خطی تنظیم شد. تحلیل در ۳ مرحله انجام شد که عبارتند از: ۱.با استفاده از تکنیک Automatic Shrink Fit تماس بین سطوح و تداخل محاسبه شده برای شبیه سازی نیروی بستن اتصال مدل شد. در این مرحله هر دو انتهای پین و کوپلینگ در جهت محوری ثابت در نظرگرفته شد. ۲. بارگذاری محوری کشش . در این مرحله انتهای کوپلینگ ثابت و انتهای پین تحت تنش محوری قرار گرفت. ۳. فشار داخلی به مراحل قبلی اضافه شد [۱۴].

۲-۲- مدل سازی متریال

در استاندارد API 5CT [۱۵] الزامات مربوط به لوله های جداری و مغزی آورده شده است. متریال در نظر گرفته شده برای وارد کردن در تحلیل L-80 می باشد که در جدول ۱ ویژگی های مکانیکی آن آورده شده است.

در استاندارد ASME VIII DIV 2 Part 5 [۱۶] الزامات مربوط برای متریال و تحلیل المان محدود ارائه شده است. بر اساس این استاندارد، داده های متریال باید با لحاظ تنش کرنش در نظر گرفته شود. از این رو با لحاظ مدول الاستیک ۲۰۶ GPa و ضریب پواسن ۰/۲۹ مقادیر تنش و کرنش طبق استاندارد مذکور در جدول ۲ محاسبه شده است.

جدول ۱. مشخصات مکانیکی متریال مربوط به لوله های جداری و مغزی بر اساس استاندارد API 5CT

گرید	نوع	تنش تسلیم (پام)		استحکام کششی (پام)
		حداقل	حداکثر	حداقل
L-80	13 Cr	۸۰۰۰۰	۹۵۰۰۰	۹۵۰۰۰

جدول ۲. مقایر تنش کرنش لحاظ شده در مدل سازی متریال بر اساس استاندارد ASME VIII DIV 2 Part 5

σ_t (MPa)	۵۵۳	۵۵۵	۵۶۵	۵۸۰	۵۹۵	۶۱۰	۶۲۵	۶۴۰	۶۵۵	۶۷۰	۶۸۵	۷۰۰	۷۱۰	۷۲۵
ε_{ts}	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۱۱	۰/۰۱۵	۰/۰۱۹	۰/۰۲۴	۰/۰۳	۰/۰۳۸	۰/۰۴۷	۰/۰۵۹	۰/۰۷۳	۰/۰۸۵	۰/۱۰۵

۳- شبیه سازی نیروی بستن اتصال (Make up)

شبیه سازی عملیات بستن اتصال در دو وضعیت شرایط استاتیک (مستقل از نرخ کرنش) و در اعمال نرخ کرنش انجام می شود. داده های عملی از عملیات بستن اتصالات اختصاصی نشان می دهد در حالی که قرار گرفتن رزوه ها در یکدیگر بصورت تدریجی می باشد، قرار گیری ناحیه نشتبند در یکدیگر در کسری از ثانیه رخ می دهد [۱۷] و در نتیجه استحکام متریال در این ناحیه تحت تاثیر نرخ کرنش افزایش می یابد. مقدار تداخل مورد نیاز بر اساس هندسه اتصال و افزایش دور (Δturn) برابر با ۰/۰۳ (بعد از رسیدن Shoulder ها به یکدیگر) بصورت زیر محاسبه می شود.

(۱)

$$I_{sh}=Pitch\times\Delta turn$$

I_{sh}

(۲)

$$=5.08mm\times0.03=0.1524mm$$

در رابطه فوق I_{sh} مقدار تداخل مورد نیاز در سطوح Shoulder پین و کوپلینگ، Pitch گام رزوه می باشد. همچنین اثر نرخ کرنش با استفاده از قانون Power Low بصورت زیر لحاظ شد.

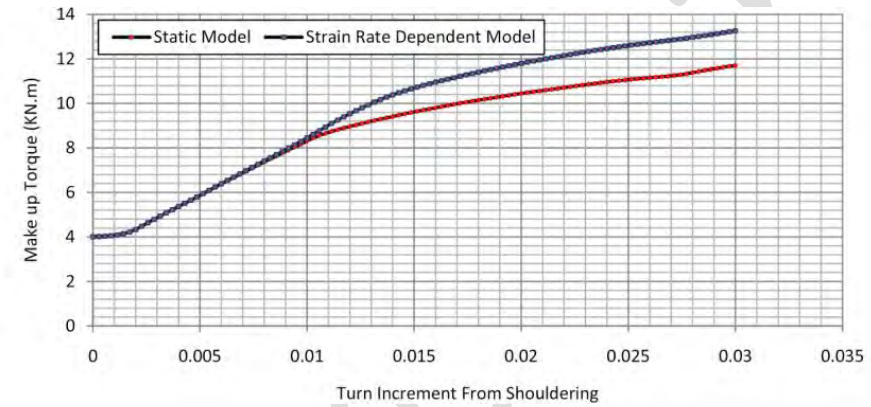
$$\dot{\bar{\varepsilon}}^{pl}=D\left(\frac{\bar{\sigma}}{\sigma_0}-1\right)^p \qquad (۳)$$

که در آن $\dot{\bar{\varepsilon}}^{pl}$ نرخ کرنش پلاستیک معادل، $\bar{\sigma}$ تنش تسلیم در نرخ کرنش پلاستیک غیر صفر و σ_0 تنش تسلیم استاتیکی، D و p پارامتر های متریال می باشد که هردوی آنها برابر با ۶ در نظر گرفته شد.

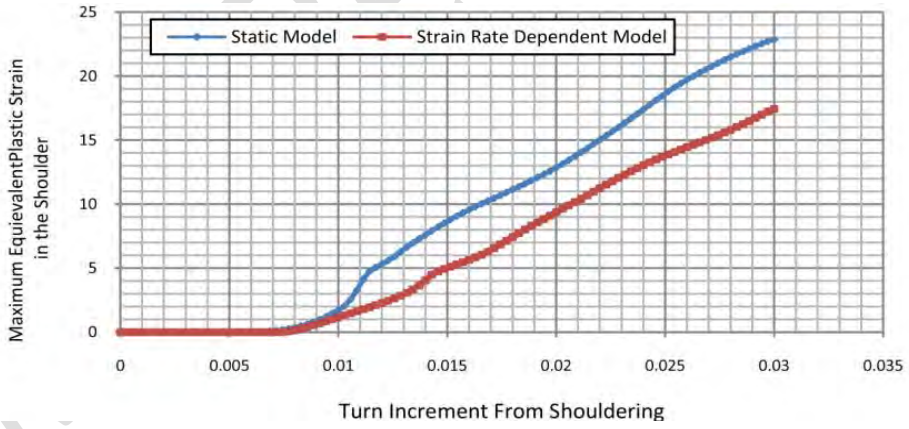
۳-۱- نتایج شبیه سازی نیروی بستن اتصال (Make up)

در شکل ۵ نتایج تحلیل بر اساس گشتاور و دور بستن اتصال (بعد از رسیدن Shoulder ها به یکدیگر) در مدل استاتیکی و نرخ کرنش ارائه شده است. مقدار گشتاور در هر دو مدل با شیب یکسان تا نقطه 0.01 turn افزایش می یابد. خطی و یکسان بودن دو منحنی تا این دور نشان دهنده این است که اتصال تا این نقطه دروضعیت الاستیک قرار دارد. در ادامه با تاثیر نرخ کرنش دو منحنی از یکدیگر جدا شده و مسیر غیر خطی طی می کنند. در نتیجه از این نقطه به بعد اتصال وارد منطقه پلاستیک شده و چون استحکام متریال در مدل وابسته به ترخ کرنش بالاتر می باشد گشتاور بستن نیز در آن بالاتر می باشد.

شکل ۶ حداکثر کرنش پلاستیک ناحیه Shoulder را در مدل استاتیکی و مدل وابسته به نرخ کرنش نشان می‌دهد. در این نمودار مشخص است که کرنش در مدل استاتیکی در مقایسه با مدل وابسته به نرخ کرنش کمتر می باشد.



شکل ۵. نتایج تحلیل بر اساس گشتاور و دور بستن اتصال (بعد از رسیدن Shoulder ها به یکدیگر)

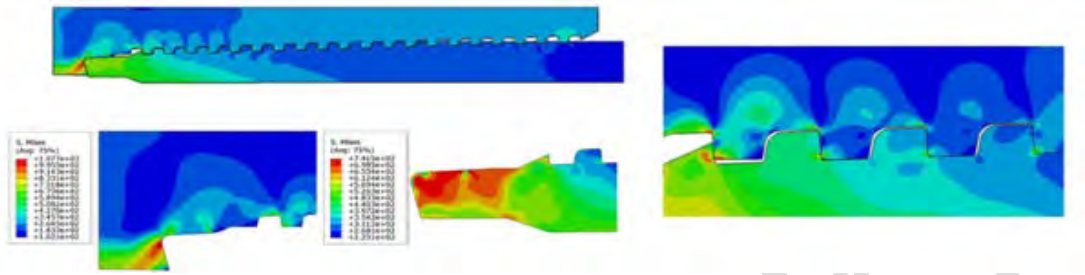


شکل ۶. حداکثر کرنش پلاستیک ناحیه Shoulder در مدل استاتیکی و مدل وابسته به نرخ کرنش

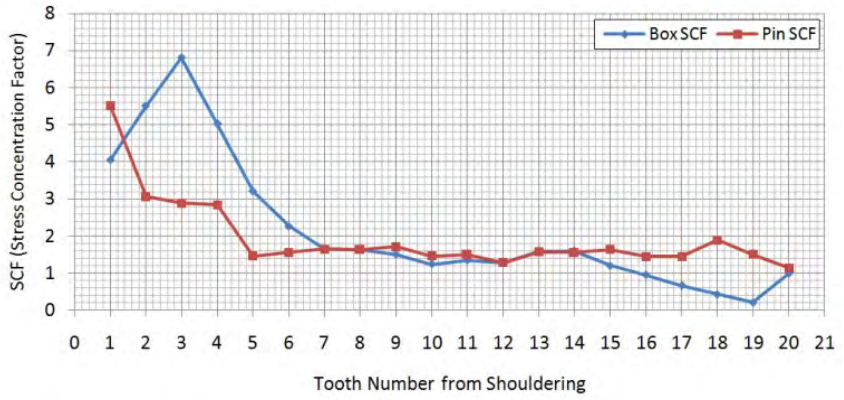
در شکل ۷ توزیع تنش معادل (فون میسز) در مدل وابسته به نرخ کرنش ارائه شده است. توزیع تنش در ناحیه رزوه نشان می‌دهد که بیشترین تنش در رزوه‌های ابتدایی و Shoulder ها بوجود می‌آید این موضوع در شکل ۸ با محاسبه ضریب تمرکز تنش در رزوه ها نشان داده شده است (ضریب تمرکز تنش با نرمال کردن تنش نسبت به تنش ایجاد شده در پین دورتر از ناحیه رزوه ها بدست می‌آید). از مشاهدات فوق چند نتیجه می توان گرفت که عبارتند از:

۱. در عملیات بستن اتصال بیشترین تنش در ناحیه Shoulder وارد می شود.

۲. تنش در پین، فشردگی و در کوپلینگ کششی می باشد در نتیجه در صورت اعمال نیروی کشش در مرحله بعد به اتصال، کوپلینگ در وضعیت بحرانی قرار می گیرد و در صورت اعمال نیروی فشردگی پین موقیت بحرانی خواهد داشت.
۳. تنها چند رزوه ابتدایی از سمت ناحیه نشتبند در شرایط بحرانی اند و مابقی رزوه ها تنش زیادی را تحمل نمی کنند.
۴. به دلیل تنش های تماسی در ناحیه نشتبند و رزوه های ابتدائی احتمال ساییدگی در عملیات بستن اتصال وجود دارد.



شکل ۷. توزیع تنش معادل (فون میسز) در مدل وابسته به نرخ کرنش



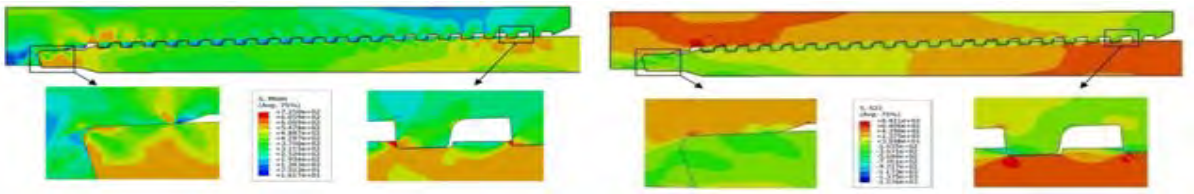
شکل ۸. توزیع تنش در ناحیه رزوه

۴- شبیه سازی اعمال نیروی کشش محوری با وجود نیروی بستن اتصال

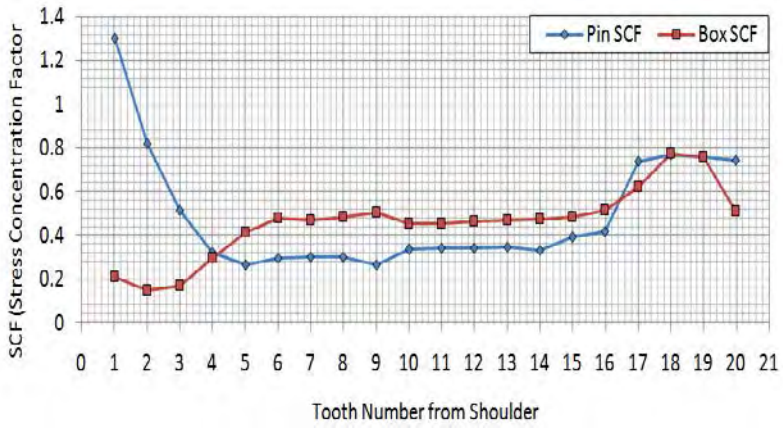
یکی از موارد بارگذاری در رشته لوله ها قبل از قرا گرفتن در شرایط تولید و فشار داخلی، اعمال نیروی کشش محوری می‌باشد. بر همین اساس در این مرحله نیروی کششی معادل با ۹۵٪ استحکام تسلیم بدنه لوله به اتصال وارد می کنیم.

۴-۱- نتایج شبیه سازی اعمال نیروی کشش محوری

نتایج بدست آمده از توزیع تنش محوری و فون میسز و همچنین ضریب تمرکز تنش به ازای رزوه ها پین و کوپلینگ به ترتیب در شکل های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است در پین چند رزوه انتهایی از سمت Shoulder بیشترین فاکتور تمرکز تنش وجود داد. در جدول ۳ نتایج ارزیابی اتصال بر اساس حد کرنش در رزوه های انتهایی پین و ابتدایی کوپلینگ که دارای بیشترین تنش می باشند ارائه شده است. در این روش طبق معیار استاندارد ASME VIII DIV 2 Part 5 در صورتی که $\varepsilon_{peq} \leq \varepsilon_L$ باشد ناتوانی موضعی (Local Failure) اتفاق نمی افتد. در این رابطه ε_{peq} کرنش پلاستیک معادل، ε_L حد کرنش به روش چند محوری و σ_1، σ_2 و σ_3 تنش های اصلی می باشد. مقادیر بدست آمده نشان می دهد قانون حد کرنش در نقاط بحرانی در محدوده ایمن قرار دارد.



شکل ۹. توزیع تنش محوری (تصویر راست) و میسز (تصویر چپ) در اتصال



شکل ۱۰. ضریب تمرکز تنش به ازای رزوه های پین و کوپلینگ

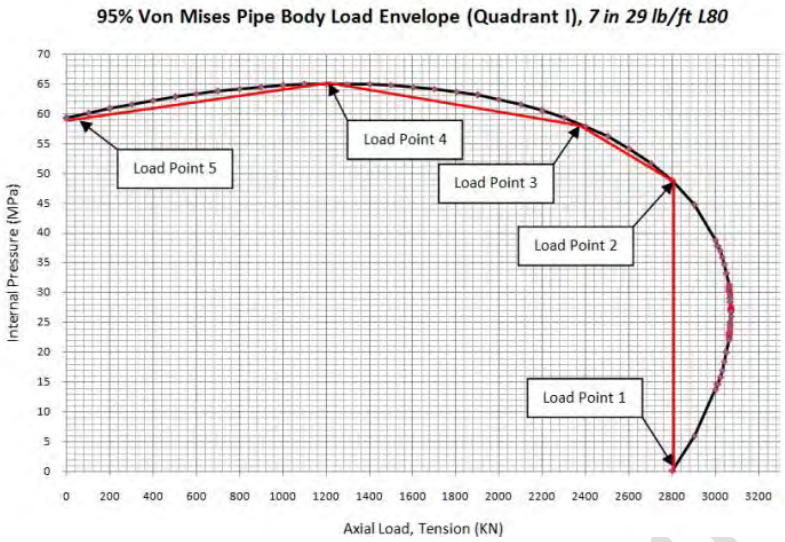
جدول ۳. ارزیابی اتصال بر اساس حد کرنش در رزوه های انتهایی پین و ابتدایی کوپلینگ که دارای بیشترین تنش می باشند

موقعیت		σ_1	σ_2	σ_3	$\sigma_{von\ mises}$	ε_{peq} (%)	ε_L (%)
پین	نوزدهمین رزوه	۹۳/۷	۷۲۷/۳	۳۹۰/۳	۷۲۷/۳	۱	۳/۴
	بیستمین رزوه	۱۱۰/۳	۷۱۲/۷	۳۹۵/۲	۵۲۳/۳	۱/۷	۳/۹
کوپلینگ	اولین رزوه	۶۹/۹	۷۷۰/۳	۴۲۴/۷	۶۰۸/۲	۳/۲	۴/۶
	دومین رزوه	۷۲/۶	۶۹۰/۱	۳۶۳/۶	۵۳۶/۵	۱/۷	۴/۵

۵- شبیه سازی اعمال نیروی فشار داخلی با وجود نیروی کشش محوری و نیروی بستن اتصال

فشار داخلی از جمله مولفه های نیرو می باشد که لوله های جداری و مغزی در زمان تولید هیدروکربن در معرض آن قرار می گیرند. بر همین اساس در شکل ۱۱ حلقه بارگذاری اتصال به ازای فشار داخلی و نیروی کشش محوری بر اساس رسیدن به تنش معادل ۹۵٪ استحکام تسلیم متریال ارائه شده است.

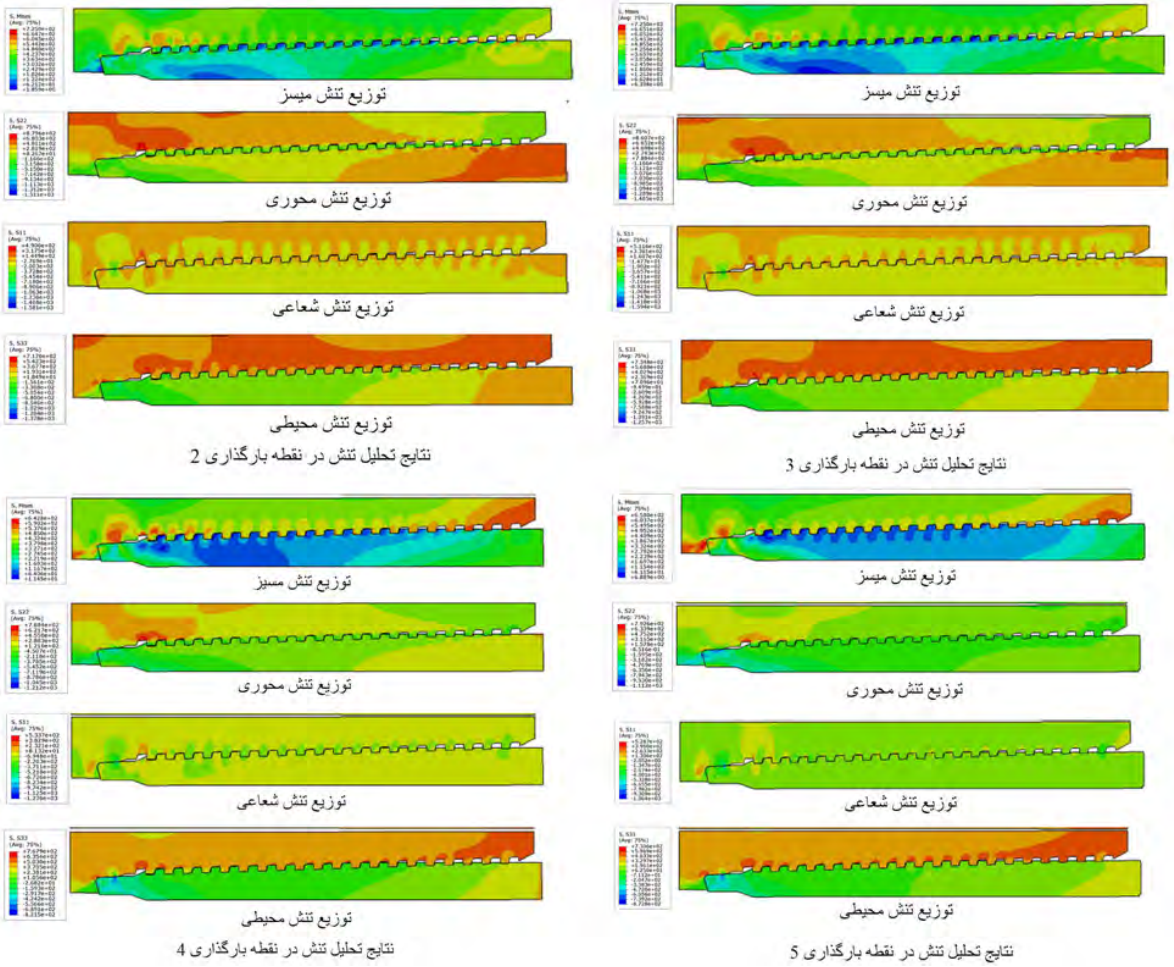
www.Reservoir.ir



شکل ۱۱. حلقه بارگذاری اتصال به ازای فشار داخلی و نیروی کشش محوری بر اساس رسیدن به تنش معادل ۹۵٪ استحکام تسلیم

۵-۱- نتایج شبیه سازی اعمال نیروی فشار داخلی با وجود نیروی کشش محوری و نیروی بستن اتصال

توزیع تنش های معادل، محوری، شعاعی و محیطی در شکل ۱۲ به ازای نقاط بارگذاری نشان داده شده است.



شکل ۱۲. توزیع تنش های معادل، محوری، شعاعی و محیطی در اتصال در نقاط بارگذاری

چنانچه از شکل های فوق مشخص است با افزایش نیروی محوری در سیکل بارگذاری تنش در کوپلینگ به مقدار قابل توجهی افزایش می یابد. از طرف دیگر در نقطه بارگذاری ۵ که تنها اعمال فشار داخلی وجود دارد مولفه تنش محیطی و شعاعی افزایش پیدا کرده است.

۶- نتیجه گیری

در این مطالعه با استفاده از روش المان محدود و با توجه به الزامات استانداردهای بین المللی از جمله API 5C5/ISO 13679، API 5B، API 5C3 و API 5CT به ارزیابی یکی از اتصالات اختصاصی پرکاربرد در ایران پرداخته شده و عملکرد اتصال در سیکل های بارگذاری مرکب مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس بررسی های انجام شده نتایج زیر حاصل شده است.

- در عملیات بستن اتصال بیشترین تنش در ناحیه Shoulder قرار دارد همچنین در این مرحله تنها چند رزوه ابتدایی از سمت ناحیه نشتبند در شرایط بحرانی قرار می گیرد و مابقی رزوه ها تنش زیادی را تحمل نمی کنند.
- با اعمال نیروی بستن به اتصال، تنش در پین، فشردگی و در کوپلینگ کششی می باشد در نتیجه در صورت اعمال نیروی کششی در مرحله بعد، کوپلینگ در وضعیت بحرانی قرار می گیرد و در صورت اعمال نیروی فشردگی پین موقیت بحرانی خواهد داشت.
- در صورت اعمال بیش از اندازه گشتاور بستن به اتصال کرنش پلاستیک زیادی بویژه در ناحیه Shoulder ایجاد می شود که احتمال ناتوانی و به تسلیم رسیدن اتصال را افزایش می دهد.
- در اعمال نیروی کشش محوری، بیشترین تمرکز تنش در پین در ریشه رزوه های انتهایی (نزدیک بدنه لوله) و در کوپلینگ در ریشه رزوه مجاور ناحیه نشتبند قرار دارد.
- با اعمال نیروی کشش محوری برابر با ۹۵٪ استحکام تسلیم بدنه لوله مشخص گردید اتصال اختصاصی بر اساس قانون حد کرنش در محدوده ایمن در نقاط تمرکز تنش قرار دارد.
- بر اساس نتایج حاصل از بارگذاری مرکب با افزایش نیروی محوری در سیکل بارگذاری فون میسز، تنش در کوپلینگ به مقدار قابل توجهی افزایش می یابد. از طرف دیگر با اعمال صرفاً فشار داخلی مولفه تنش محیطی و شعاعی افزایش پیدا کرده است.

علائم و متغیر ها

- D: پارامتر متریال
- I_{sh}: مقدار تداخل مورد نیاز در سطوح Shoulder پین و کوپلینگ
- p: پارامتر متریال
- Pitch: گام رزوه
- SCF: ضریب تمرکز تنش
- Δturn: دور
- $\bar{\varepsilon}^{pl}$: نرخ کرنش پلاستیک معادل
- ε_L: حد کرنش به روش چند محوری
- ε_{ts}: کرنش حقیقی
- ε_{peq}: کرنش پلاستیک معادل
- σ_t: تنش محوری

- $\bar{\sigma}$: تنش تسلیم در نرخ کرنش پلاستیک غیر صفر
- σ_0: تنش تسلیم استاتیکی
- σ_1، σ_2 و σ_3 تنش های اصلی

مراجع

1. Schlumberger Co., casing and tubing design manual, 2002
2. Conocco philips Co., casing and tubing design manual, 2003
3. Bellarby J., well completion design, elsevier, First edition 2009
4. API 5C5/ISO 13679, Procedures for Testing Casing And Tubing Connections", 2002
5. A. B. Bradley, SPE, VAM PTS Company; S. Nagasaku, Sumitomo Metal Industries, Ltd.; E. Verger, Vallourec and Mannesmann Tubes, Premium Connection Design, Testing, and Installation for HPHT Sour Wells, SPE 97585
6. M. Hetenyi The distribution of stress in threaded connections. Exp Stress Analysis, 1943
7. Brown APC, Hickson CW. A photoelastic study of stresses in screw threads. Proc Inst Mech Engrs 1952:605–8.
8. Stromeyer CE. Stress distribution in bolts and nuts. Trans Last Nav Arch 1918;60:112–21.
9. Goodier JN. The distribution of load in threads of screws. J Appl Mech 1940;62:A10–6.
10. Den Hartog JP. The mechanics of plate rotors for turbo-generators. J Appl Mech ASME 1929;51(1):1–11.
11. Sopwith DG. The distribution of load in screw threads. Proc Inst Mech Engrs 1948:373–83.
12. Newport A, Topp DA, Glinka G. The analysis of elastic stress distribution in threaded tether connections. J Strain Anal 1987;22(4):229–35.
13. Tafreshi A, Dover WD. Stress analysis of drill string threaded connections using finite element method. Int J Fatigue 1993;15(5):429–38.
14. ABAQUS finite element documentation, Version 6.11, 2013.
15. API 5CT, Specification for Casing and Tubing", Eight Edition
16. ASME boiler and pressure vessel code, section VIII, Division 2
17. J. xie, analysis of strain rate impact of make up of oilfield premium casing connection, 2011

www.Reservoir.ir