

آنالیز تنش خطوط لوله انتقالی و تحلیل و طراحی فلنج مهاری خط لوله صفحه‌ای

پژوهش نفت

سال هفدهم
شماره ۲-۵۶
صفحه ۲۸-۳۹، ۱۳۸۶

سینا موسوی^{*}، سیروس آقا نجفی^۱، بابک مرادنزاد^۲ و سیاوش دشوارپسند^۱

۱- شرکت نفت مناطق مرکزی ایران (ICOFC)

۲- دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- شرکت مهندسی مشاور قدس نیرو

sina_mousavi@yahoo.com

مقدمه

خطوط انتقال فرآورده‌های صنایع نفت و گاز به دلیل گستردگی کاربرد از اهمیت خاصی برخوردار هستند. در این میان در طراحی خطوط انتقال گاز، ضرایب ایمنی بیشتری در نظر گرفته می‌شوند. ایمنی سازه‌ها باید در حد قابل قبول (طبق آیین‌نامه‌ها و استانداردها) باشد. یکی از اصلی‌ترین سازه‌ها، بلوک‌های مهاری^۱ هستند که باید کلیه تنش‌های حرارتی و فشاری را قبل از ورود خط لوله به ایستگاه‌ها و یا سایر تأسیساتی که ممکن است باعث صدمه و یا خسارت جانی و مالی شوند، کنترل و مهار کنند. برای خنثی کردن نیروی ایجاد شده در خط لوله به یک سیستم مهاربند نیاز است تا با کمترین هزینه و ساده‌ترین راه، این نیرو به محیط اطراف خط لوله که معمولاً زمین است منتقل شود. بلوک مهاری برای خنثی کردن نیروهای ایجاد شده در خط لوله انتقالی طراحی می‌شود و باید همه تنش‌های حرارتی و فشاری را جذب کند. سیستم معمولی بلوک مهاری شامل یک بلوک بتنی مدفون در خاک است، که خط لوله از میان آنها می‌گذرد.

چکیده

در طراحی خطوط لوله انتقال سیال، محاسبه و پیش‌بینی تنش‌های ایجاد شده، تعیین‌کننده‌ترین پارامترهای طراحی هستند. نیرو و تنش‌های ایجاد شده در موقعیت‌های مهار شده خط لوله، به دلیل بالا بودن و تجمع مقطعی آنها، بسیار مهم هستند. لذا در مرحله طراحی باید نیرو و تنش‌ها را در این نقاط محاسبه و کنترل کرد. در این مقاله نیروی محوری ایجاد شده در خطوط لوله انتقال سیال، بر اساس شرایط فشاری و دمای عملیاتی محاسبه و بر اساس آن برای خنثی کردن این نیرو، بلوک مهاری تحلیل و طراحی می‌شود. اصلی‌ترین بخش در سیستم بلوک مهاری فلنج مهاری آن است که در این مقاله نوع صفحه‌ای آن تحلیل و طراحی می‌شود. بر اساس نیروی خط لوله و قطر لوله مربوطه، با تئوری صفحه‌ها و آنالیز اجزای محدود و نمودارهای استخراج شده، می‌توان مشخصات ابعادی فلنج مهاری را محاسبه کرد.

واژه‌های کلیدی: خط لوله انتقالی، فلنج مهاری صفحه‌ای و آنالیز اجزای محدود

۱- بلوک مهارى همانند وزنه‌ای به صورت سه بعدی، نیروها را به زمین منتقل می‌کند و علاوه بر وزنی عمل کردن، همانند یک دیوار ضخیم با استفاده از نیروی Passive خاک وارد عمل می‌شود.

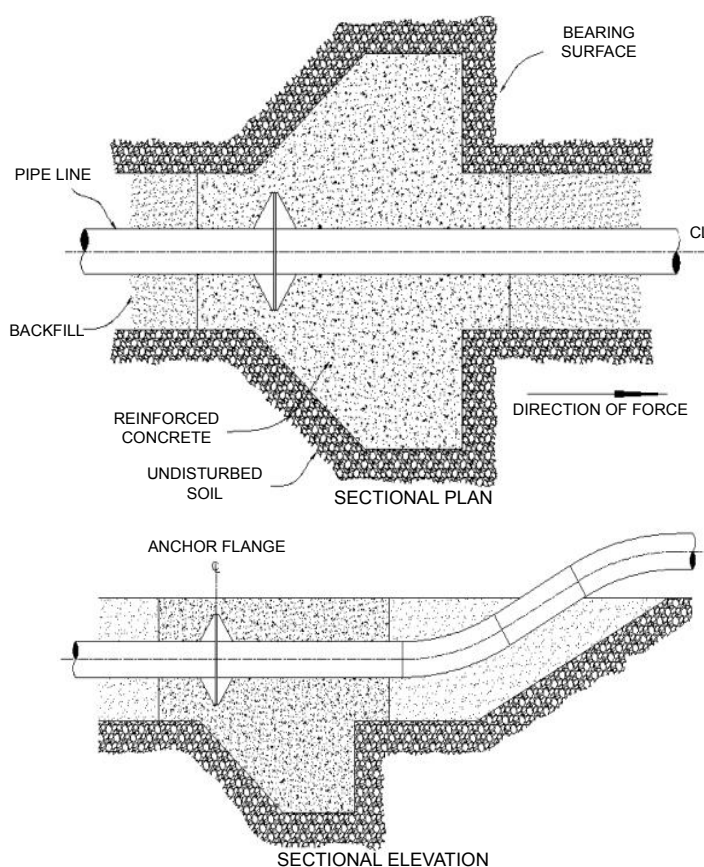
۲- همه نیروی وارده با فلنج مهارى به بتن منتقل می‌شود و لوله در این انتقال نقشی ندارد (شکل ۱).

طراحی بلوک‌های مهارى در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی استاندارد مشخص ندارد و معمولاً طراحان بر اساس اصول اولیه مهندسی و مبتنی بر تجارب و تکنولوژی خاص این کار را انجام می‌دهند [۷]. در این مورد تحقیق علمی و دانشگاهی قابل استنادی نیز انجام نشده است. هدف از این تحقیق، تدوین یک روش مطمئن و قابل استناد برای طراحی بلوک‌های مهارى است. در این مقاله ابتدا نحوه محاسبه نیروی ایجاد شده بر اساس شرایط عملیاتی ارائه می‌شود. در ادامه بر اساس این نیرو، فلنج‌های مهارى صفحه‌ای تحلیل و طراحی می‌شوند.

خط لوله با بلوک بتنی با یک فلنج فلزی که عمود بر راستای خط لوله به لوله جوش داده می‌شود، مرتبط می‌شود. نیروی خط لوله با این فلنج مهارى^۱ و از طریق بلوک بتنی به خاک منتقل می‌شود.

در حالت کلی تنش و خیزش در خطوط لوله در محل جدا شدن خط لوله از شرایط زیرزمینی (کاملاً مقید) به شرایط رو زمینی (غیر مقید) اتفاق می‌افتد. تنش و خیزش در این محل (محل جدا شدن و تغییر شرایط) به دلیل وجود فشار داخلی و تغییر دما ایجاد می‌شود. تحلیل و محاسبه این تنش‌ها برای مشخص کردن ملزومات بلوک مهارى و طراحی آن ضروری است. بلوک مهارى بر اساس این تنش و خیزش‌ها طوری طراحی می‌شود که نیروی بلوک مهارى را با انتقال آن به خاک مجاور بلوک مهارى کاملاً جذب و خنثی کند.

درباره ارتباط سازه بتنی بلوک مهارى و فلنج مهارى نکات زیر به عنوان فرض طراحی در نظر گرفته می‌شوند:



شکل ۱- محل اجزای بلوک مهارى [۳]

محاسبه نیروی محوری خط لوله

معادلات حاکم

۲- تنش فشاری حاصل از تغییرات دمایی [۳]:

$$\sigma_{TE} = E \alpha \Delta T \quad (۳)$$

لذا بر اساس این دو نوع تنش طولی، در مجموع تنش طولی را در نقطه A می توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\sigma_{LA} = \nu \sigma_H - E \alpha \Delta T \quad (۴)$$

در مقطع بدون قید لوله در نقطه B، تنش طولی صرفاً بر اساس فشار داخلی ایجاد شده برابر است با:

$$\sigma_{LB} = \sigma_H / 2 \quad (۵)$$

نحوه انتقال تنش بین نقاط A و B را می توان تابعی خطی در نظر گرفت (شکل ۳).

شرایط و مشخصات یک بلوک مهار را می توان مشابه مدل شکل ۲ در نظر گرفت به شرطی که طول L صفر باشد؛ یعنی نقاط A و B بر هم منطبق شوند. در این حالت ناحیه انتقال از حالت مقید کامل به حالت بدون قید به یک نقطه که همان محل فلنج مهار است، تقلیل می یابد؛ لذا نحوه توزیع تنش همانند شکل ۴ است. در این حالت نیروی وارده

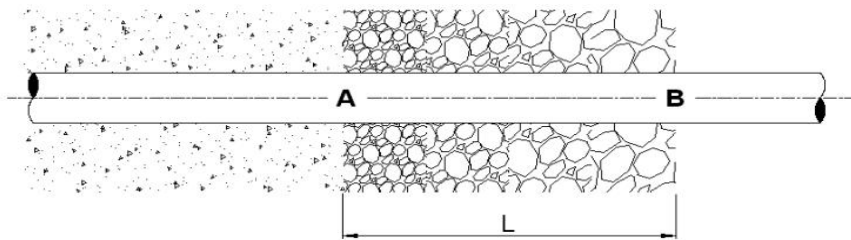
برای رسیدن به مدلی که شرایط یک بلوک مهار را بیان کند، ابتدا یک خط لوله مدفون و مهار شده در زیر سطح زمین در نظر گرفته می شود (شکل ۲). در این حالت خط لوله تا نقطه A کاملاً مقید^۱ است و مقطع A-B محل انتقال از حالت کاملاً مقید به حالت غیر مقید^۲ در نقطه B است. منظور از حالت مقید کامل، شرایطی است که کرنش های طولی و جانبی صفر هستند. در یک مقطع کوتاه از یک لوله در شرایط کاملاً مقید که زیر فشار داخلی و تأثیر تغییرات دمایی است، دو نوع تنش طولی ایجاد می شود:

۱- تنش کششی ناشی از اثر پواسون^۳ [۲]: به دلیل مقید بودن این نقطه در مقابل کرنش های جانبی:

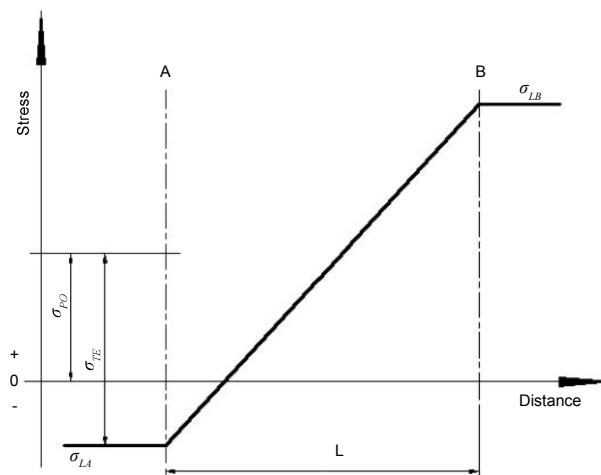
$$\sigma_{Po} = \nu \sigma_H \quad (۱)$$

۲- تنش هوپ^۴ می باشد و با معادله زیر محاسبه می شود:

$$\sigma_H = \frac{PD_i}{2t} \quad (۲)$$



شکل ۲- ناحیه انتقال از حالت کاملاً مقید (A) به حالت غیر مقید (B)

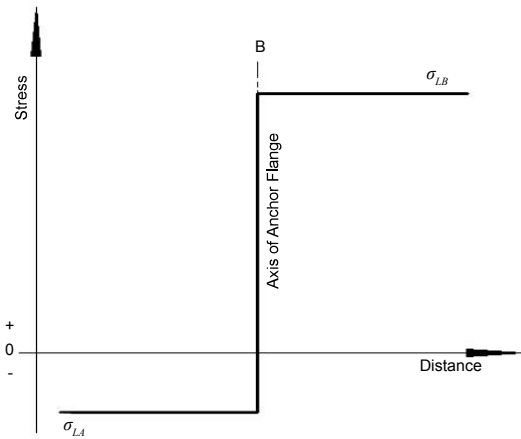


شکل ۳- توزیع تنش در ناحیه انتقال A-B

- 1 Fully Restrained
2. Unrestrained
3. Poisson Effect
4. Hoop

بتنی منتقل خواهد کرد. طراحی مکانیکی این فلنچ به دلیل تمرکز تنش بالا بسیار حساس است؛ لذا ضخامت، سطح مقطع و نوع آلیاژ فلنچ مهم‌ترین قسمت طراحی بلوک مهارتی است. نوع معمول بلوک مهارتی یک فونداسیون حجیم با آرماتوربندی کامل (بتن مسلح) است. بسیاری از مواقع فلنچ مهارتی تقویت شده یا نشده با ورقهای فولادی و اتصال جوشی یکپارچه به خط لوله متصل و سپس با توده بتن فشرده که در اطراف آن قالب‌گیری می‌شود، درگیر می‌شود. تعدادی از فلنچ‌های مهارتی صفحه‌ای، که معمولاً در صنایع نفت و گاز استفاده می‌شوند در شکل ۵ نشان داده شده‌اند. فلنچ مهارتی از این نوع می‌تواند ۰، ۲، ۴ و ۸ ورق تقویتی^۱ داشته باشد که در شکل ۵ به صورت برش خورده قابل تشخیص است.

به دلیل جابه‌جایی بسیار اندک لوله، می‌توان محل اتصال فلنچ مهارتی را به لوله به‌عنوان نقاط ثابت^۲ فرض کرد. به عبارت دیگر در این محل فلنچ مهارتی گیردار است و اتصال کلیه نیروها و گشتاورها را جذب می‌کند. در انواع تقویت شده (که ۰، ۲، ۴ و ۸ ورق تقویتی دارند)، در محل اتصال فلنچ مهارتی به ورقهای تقویتی، به دلیل مقاومت بالای این تقویتی‌ها در راستای طولی خط لوله، می‌توان مرز اتصال



شکل ۴- توزیع تنش در حالت استفاده از فلنچ مهارتی

به فلنچ مهارتی برابر حاصل ضرب تفاوت تنش‌ها در دو طرف فلنچ مهارتی در سطح مقطع لوله است؛ به عبارتی:

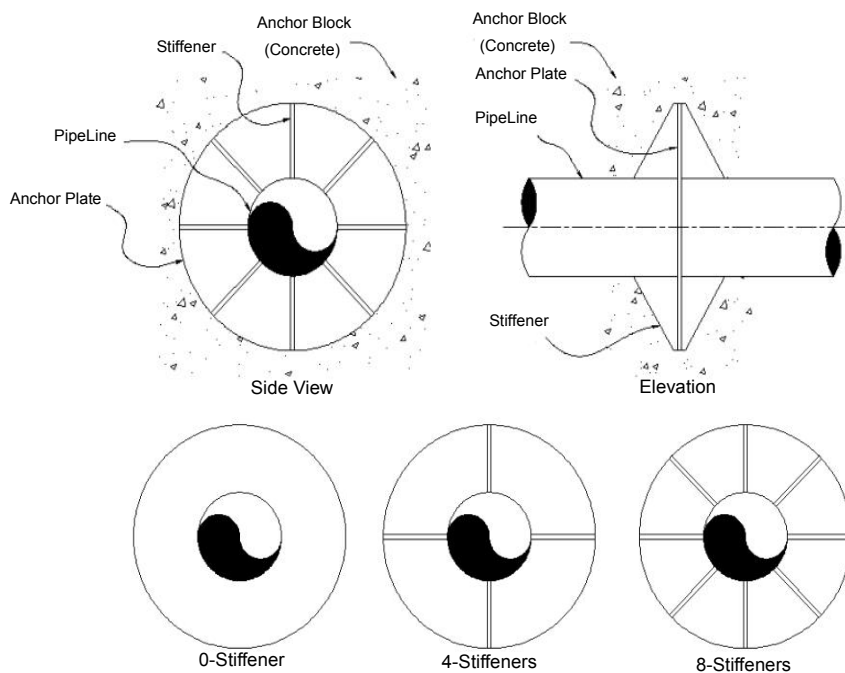
$$F = (\sigma_{LB} - \sigma_{LA}) A_m \quad (6)$$

سیستم مهارتی باید نیروی F را جذب کند؛ لذا برای فلنچ مهارتی همین نیرو ملاک طراحی است.

تحلیل و طراحی فلنچ مهارتی

فرضیات

فلنچ مهارتی مهم‌ترین قسمت در طراحی بلوک مهارتی است که در نهایت نیروهای عظیم خط لوله را به بلوک



شکل ۵- آرایش ۳ نوع فلنچ مهارتی معمول

1. Stiffner Plate
2. Fix Points

حال پس از به دست آوردن قطر خارجی فلنج مهارى، فرمولاسیون تعیین ضخامت فلنج مهارى بررسى مى شود. مطابق روابط موجود در تئورى صفحه های حلقوى [۴۱] با بارگذاري یکنواخت q_c (تنش فشارى اعمالی از سطح فلنج مهارى به بتن)، حداکثر تنش و حداکثر خمیدگی (خیز لبه) در صفحه فلنج مهارى را مى توان با روابط زیر محاسبه کرد:

$$\sigma_{max} = K (q_c D_{pt}^2 / 4t_{pt}^2) \quad (11)$$

$$\Delta_{max} = K_I (q_c D_{pt}^4 / 16Et_{pt}^3) \quad (12)$$

K, K_I صرفاً بر اساس نسبت D_{pt}/D_{pp} مشخص مى شوند. حال در شرایط حدی، برای به دست آوردن حداقل ضخامت لازم (t_{pt}) مى توان از مقادیر مجاز تنش و خیز، σ_{al} و Δ_{al} ، استفاده کرد:

$$\sigma_{al} = K (q_c D_{pt}^2 / 4t_{pt}^2) \quad (13)$$

$$\Delta_{al} = K_I (q_c D_{pt}^4 / 16Et_{pt}^3) \quad (14)$$

حال با روابط بالا مى توان مقدار t_{pt} را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$t_{pt} = \sqrt{\frac{K q_c D_{pt}}{4 \sigma_{al}}} \quad (15)$$

$$t_{pt} = \sqrt[3]{\frac{K_I q_c D_{pt}^4}{16 E \Delta_{al}}} \quad (16)$$

ثوابت K, K_I صرفاً بر اساس نسبت D_{pt}/D_{pp} مشخص مى شوند.

معادلات (۱۳) و (۱۴) دو معیار کنترل مقدار t_{pt} هستند و از معادلات (۱۵) و (۱۶) مقادیری برای t_{pt} به دست مى آید که طبیعتاً بیشترین مقدار جوابگوی کلیه معیارهای موجود است.

ورق های تقویتی و فلنج مهارى را نیز به عنوان نقاط ثابت فرض کرد و مانند مرز تماسی بین لوله و فلنج مهارى آن را گیردار در نظر گرفت که مى تواند نیرو و ممان را جذب کند. با توجه به این شرایط و فرضیات، شرایط مرزى مدل های مختلف مطابق شکل ۶ هستند. در فلنج مهارى بدون ورق های تقویتی^۱، به دلیل تقارن مدل، مى توان تنها یک جزء را با اندازه ۱/۸ مدل اصلی (دایره کامل) در نظر گرفت.

استخراج معادلات

هدف از طراحی فلنج مهارى صفحه ای، به دست آوردن ضخامت لازم برای ورق فلنج مهارى (t_{pt}) با قطر (D_{pp}) بر اساس نیروى محوری F اعمالی از خط لوله است. در این میان عواملی دیگر مانند مقاومت بتن نیز نقش تعیین کننده ای دارند. نیروى محوری F از سطح تماس فلنج مهارى (A_{pt}) به بتن منتقل مى شود که A_{pt} را با معادله زیر مى توان محاسبه کرد:

$$A_{pt} = \pi(D_{pt}^2 - D_{pp}^2)/4 \quad (7)$$

لذا تنش اعمال شده بر سطح فلنج مهارى به بتن عبارت است از:

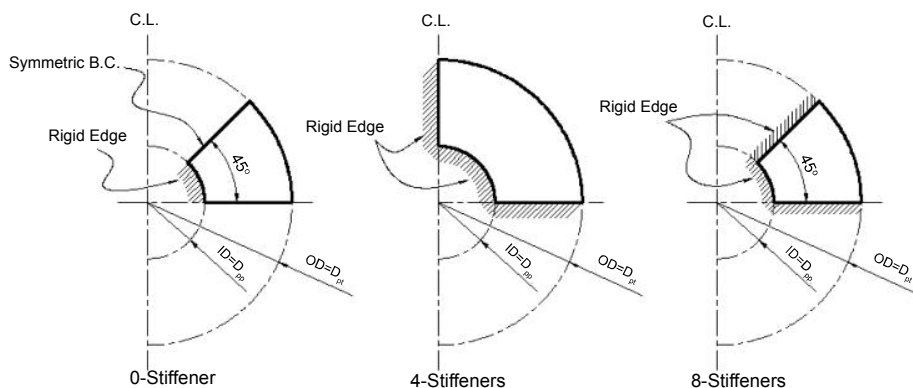
$$q_c = F/A_{pt} \quad (8)$$

لذا با گذاردن مقادیر q_c و A_{pt} در رابطه (۸) خواهیم داشت:

$$q_{al} = \frac{F}{[\pi/4(D_{pt}^2 - D_{pp}^2)]} \quad (9)$$

مقدار (D_{pt}) به صورت زیر به دست مى آید:

$$D_{pt} = \sqrt{D_{pp}^2 + 4F/\pi q_{al}} \quad (10)$$



شکل ۶- شرایط مرزى در انواع فلنج های مهارى

1. Boundary Conditions
2. 0-Stiffener

دارای ورق تقویتی (4,8-stiffener) صفحه فلنج را تا مرز ورق‌های تقویتی مدل شده و در کل مرز تماس با لوله و مرز تماسی با ورق‌های تقویتی به‌عنوان تکیه‌گاه صلب مدل در نظر گرفته می‌شود. برای ایجاد مدل مربوطه در نرم‌افزار Ansys از المان shell استفاده شده است. حال پس از ایجاد مدل هندسی (بر اساس نسبت D_{pt}/D_{pp} و t_{pt}) در نرم‌افزار Ansys و اعمال شرایط مرزی شامل قیود و فشار q_c بر سطح فلنج مهار، می‌توان پس از حل به روش اجزای محدود، مقادیر σ_{max} و Δ_{max} را از نتایج خروجی برنامه محاسبه و سپس با داشتن مقادیر D_{pt} ، q_c ، σ_{max} و t_{pt} و Δ_{max} ثوابت KI ، K را از معادلات (۱۳) و (۱۴) به‌دست آورد.

حل یک مدل نمونه از فلنج مهار

اطلاعات پیش فرض این مدل نمونه چنین است:

$$D_{pp} = 560 \text{ mm}$$

$$q_c = 14.7 \text{ MPa}$$

$$D_{pt} = 710 \text{ mm}$$

$$t = 39 \text{ mm}$$

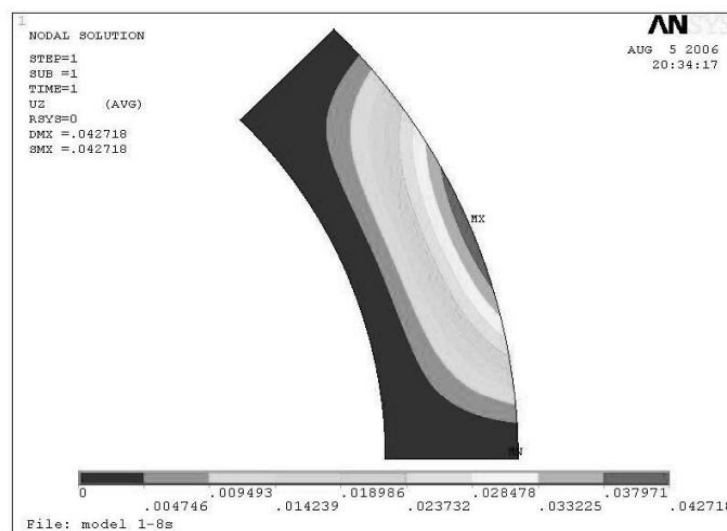
$$E = 207 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0.3$$

این نمونه در حالت ۸ ورق تقویتی مدل شده است (شکل ۷).

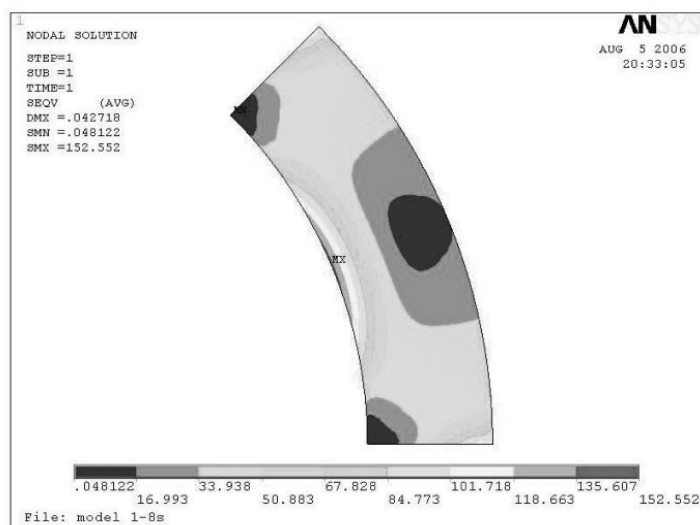
استخراج ثوابت K ، KI با آنالیز اجزای محدود

با یک نسبت خاص D_{pt}/D_{pp} ، می‌توان ضخامت ورق فلنج مهار را مطابق معادلات (۱۵) و (۱۶) محاسبه کرد. در این معادلات مقادیر KI و K برای یک نسبت مشخص D_{pt}/D_{pp} ثابت هستند. فلنج مهار در حالت بدون ورق تقویتی را می‌توان با روابط موجود در تئوری صفحه به‌صورت معادلات تحلیلی بیان و حل کرد، ولی در فلنج‌های مهار تقویت شده (4,8-stiffener)، به‌دلیل شرایط مرزی و شکل مدل، یک روش حل عمومی و تحلیلی برای این مسائل وجود ندارد. برای حل این مدل‌ها از روش اجزای محدود^۲ که بسیار قدرتمند و کاربردی است، استفاده می‌شود. در این روش، با ایجاد مدل اجزای محدود در سه حالت بدون ورق تقویتی (o-stiffener)، با ۴ ورق تقویتی (4-stiffener) و با ۸ ورق تقویتی (8-stiffener)، مدل آنالیز می‌شود و بر اساس نتایج عددی، خروجی ثوابت KI و K به‌دست می‌آید. برای استخراج ثوابت KI و K ، از روش آنالیز اجزای محدود نرم‌افزار Ansys [۵]، که یک پکیج نرم‌افزاری قوی و عمومی در این زمینه است، انتخاب شده است. مدل‌ها شامل قطعات صفحه‌ای مطابق شرایط مرزی شکل ۶ هستند؛ یعنی برای مدل مهار فلنج بدون ورق تقویتی، به‌دلیل تقارن یک جزء شامل ۱/۸ مدل اصلی و برای مدل مهار فلنج‌های



شکل ۷- کانتورهای خیز و تنش در مدل نمونه با ۸ ورق تقویتی

1. Finite Element Analysis (FEA)
2. FEM



ادامه شکل ۷- کانتورهای خیز و تنش در مدل نمونه با ۸ ورق تقویتی

جداول و نمودارهای ثوابت K , KI

با ایجاد مدل‌های متعدد بر اساس نسبت‌های مختلف D_{pt}/D_{pp} حل مدل‌ها با نرم‌افزار Ansys به روش اجزای محدود و محاسبه مقادیر K و KI بر اساس نتایج عددی خروجی، می‌توان جدولی بر اساس D_{pt}/D_{pp} برای مقادیر K و KI تنظیم کرد (جدول ۱).

در این حالت مطابق نتایج عددی خروجی نرم‌افزار خواهیم داشت:

$$\Delta_{max} = 0.0427 \text{ mm} \quad \text{و} \quad \sigma_{max} = 152.552 \text{ MPa}$$

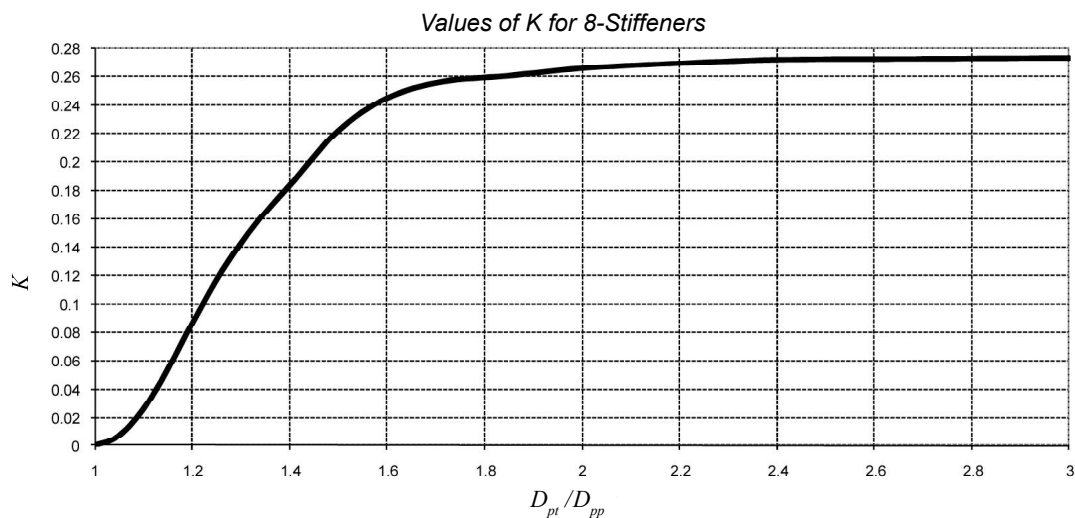
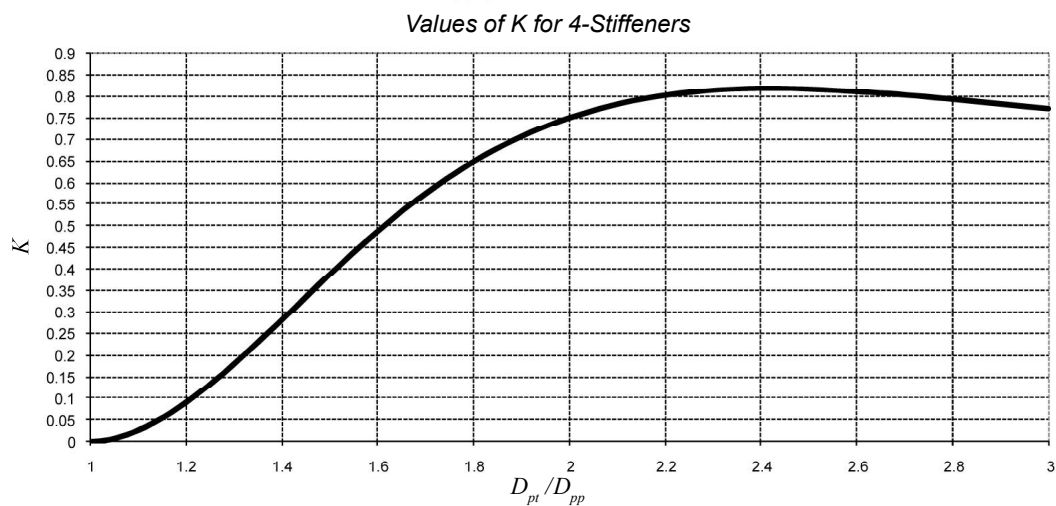
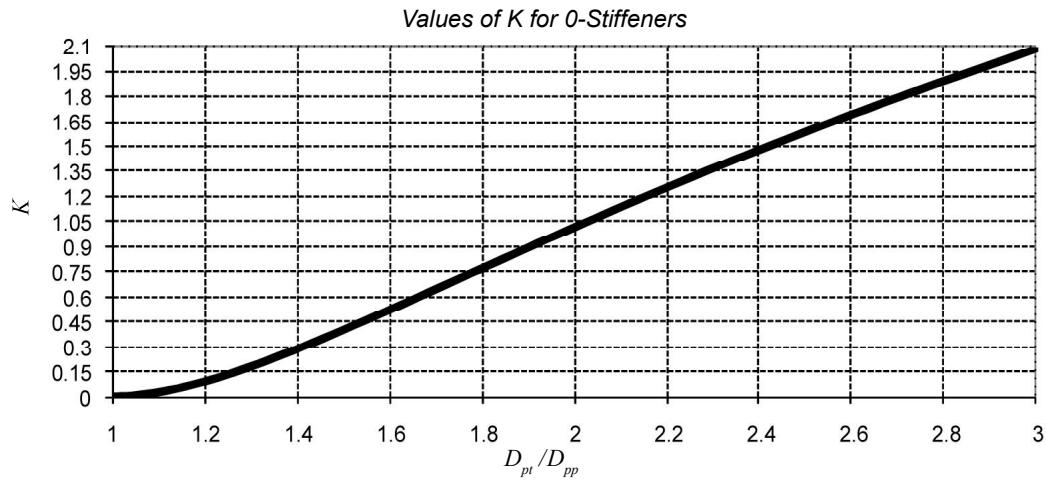
با قرار دادن مقادیر بالا در معادلات (۱۳) و (۱۴) برای نسبت $D_{pt}/D_{pp} = 1.268$ مقادیر K , KI به دست می‌آید:

$$K = 1.267 \times 10^{-1} \quad \text{و} \quad KI = 2.245 \times 10^{-3}$$

جدول ۱- مقادیر $k, k1$ برای نسبت‌های D_{pt}/D_{pp}

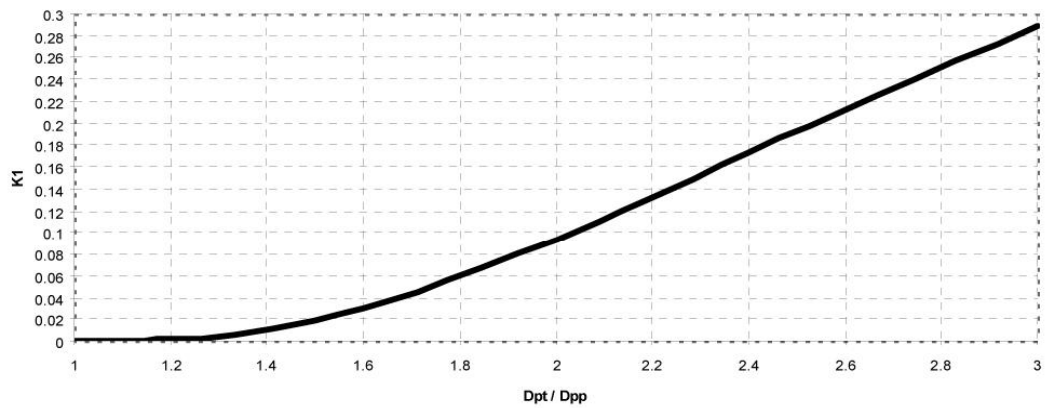
D_{pt}/D_{pp}	0 -Stiffener		4 -Stiffeners		8 -Stiffeners	
	K	K1	K	K1	K	K1
1	0	0	0	0	0	0
1.043	5.311E-03	4.2176E-06	5.311E-03	4.218E-06	5.306E-03	4.213E-06
1.091	2.161E-02	6.8256E-05	2.161E-02	6.824E-05	2.159E-02	6.814E-05
1.143	4.937E-02	3.4928E-04	4.937E-02	3.490E-04	4.911E-02	3.416E-04
1.2	8.916E-02	1.1144E-03	8.964E-02	1.115E-03	8.597E-02	1.006E-03
1.263	1.430E-01	2.7344E-03	1.433E-01	2.755E-03	1.239E-01	2.128E-03
1.333	2.123E-01	5.7184E-03	2.114E-01	5.710E-03	1.576E-01	3.581E-03
1.412	2.975E-01	1.0675E-02	2.927E-01	1.046E-02	1.882E-01	5.099E-03
1.5	3.999E-01	1.8336E-02	3.871E-01	1.726E-02	2.222E-01	6.434E-03
1.6	5.213E-01	2.9520E-02	4.866E-01	2.626E-02	2.454E-01	7.470E-03
1.714	6.629E-01	4.5152E-02	5.858E-01	3.710E-02	2.568E-01	8.152E-03
1.846	8.270E-01	6.6224E-02	6.767E-01	4.930E-02	2.607E-01	8.562E-03
2	1.016E+00	9.3776E-02	7.503E-01	6.198E-02	2.660E-01	8.781E-03
2.182	1.233E+00	1.2886E-01	8.000E-01	7.408E-02	2.694E-01	8.907E-03
2.4	1.480E+00	1.7248E-01	8.197E-01	8.494E-02	2.723E-01	8.950E-03
2.667	1.764E+00	2.2560E-01	8.068E-01	9.402E-02	2.729E-01	8.965E-03
3	2.088E+00	2.8896E-01	7.719E-01	1.006E-01	2.735E-01	8.954E-03

شکل‌های ۸ و ۹ نمودارهای مقادیر KI و K را بر اساس فلنج مهارى بدون ورق تقويتى را در کنار يکديگر نشان مى‌دهد. درصد خطای نتایج عددی کمتر از ۲٪ و نتیجه قابل قبول است. شکل ۱۰، نمودار مقادیر تحلیلی و عددی را در حالت

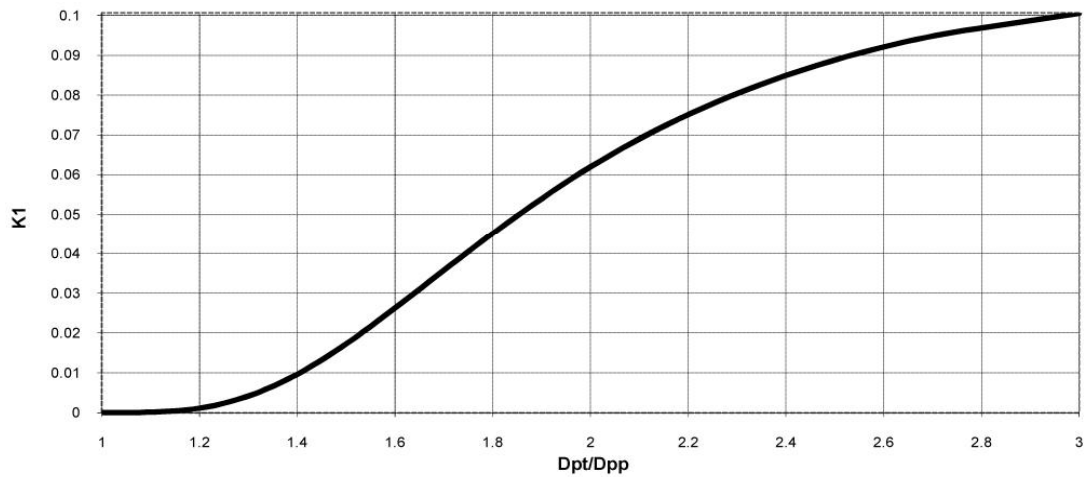


شکل ۸- نمودار مقدار نسبت k بر اساس D_{pt}/D_{pp}

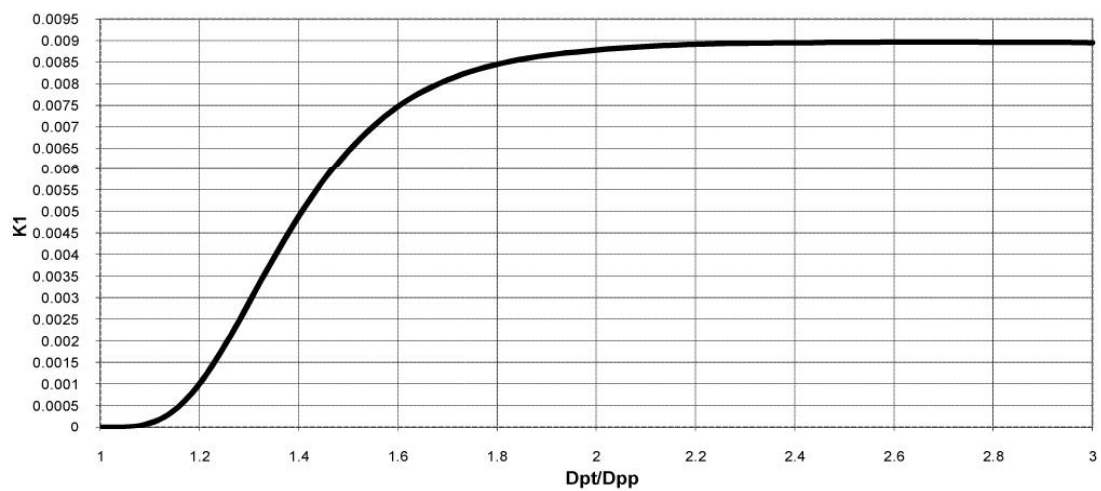
Values of K1 for 0-Stiffeners



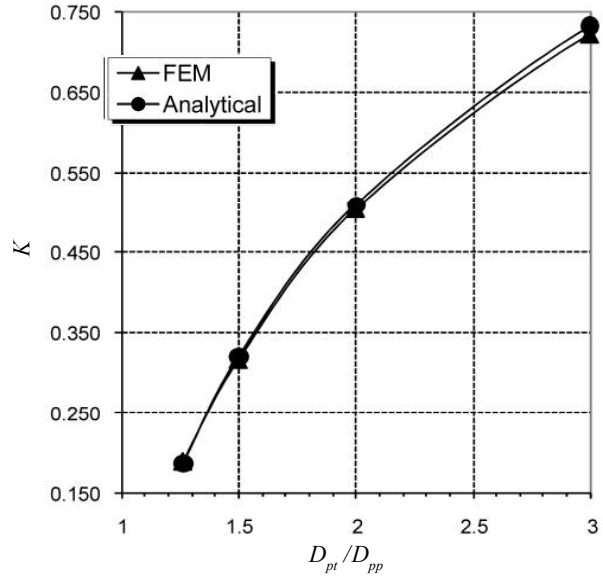
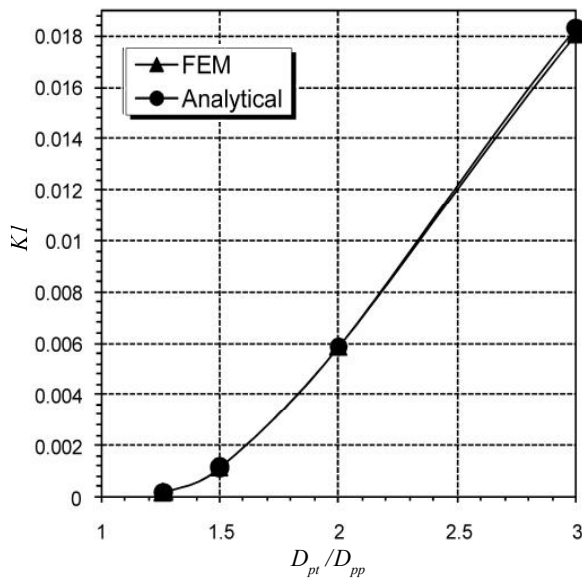
Values of K1 for 4-Stiffeners



Values of K1 for 8-Stiffeners



شکل ۹- نمودار مقدار $k1$ بر اساس نسبت D_{pt}/D_{pp}



شکل ۱۰- مقایسه مقادیر عددی و تحلیلی k, KI

$$MC/I \leq \sigma_b \quad (17)$$

σ_b : حداکثر تنش مجاز خمشی ورق

$$M = FL_{NA}/N \quad (18)$$

M : ممان اینرسی در محل تماس ورق‌ها با لوله است.

N : تعداد ورق‌های تقویتی است.

C برابر است با:

$$C = L_s + t_{pt}/2 \quad (19)$$

I : ممان اینرسی سطح مقطع گسترده در شکل ۱۲ می‌باشد.

۲- تنش برشی: در این حالت مقدار تنش ناشی از برش در

محل تماس نباید از حداکثر تنش مجاز برشی بیشتر باشد:

$$VQ/It \leq \tau_{al} \quad (20)$$

τ_{al} : حداکثر تنش برشی مجاز

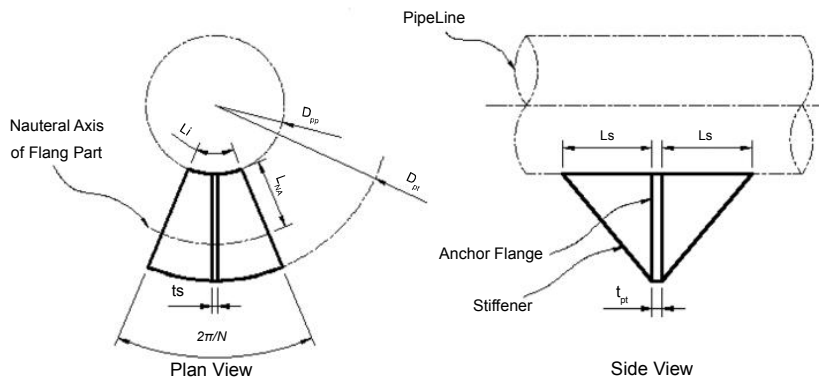
V : نیروی برشی است:

کنترل ابعاد ورق‌های تقویتی

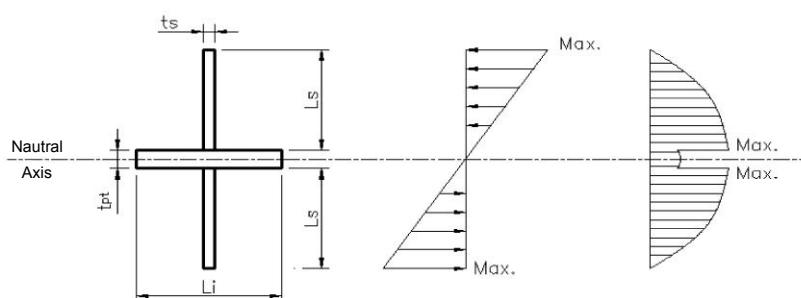
ابعاد ورق‌های تقویتی با معیارهای کنترلی طراحی و انتخاب می‌شود. با انتخاب یک طرح اولیه (انتخاب یک مقدار برای L_s و t_s) و سپس با کنترل ابعاد انتخاب شده با برخی معادلات کنترلی به روش سعی و خطا، ابعاد و مشخصات قابل قبول به دست می‌آیند. در شکل ۱۱ متغیرهای ابعادی مرتبط با ورق‌های تقویتی نشان داده شده‌اند. در این شکل ناحیه مربوط به هر ورق تقویتی پر رنگ شده است.

معیارهای کنترلی ابعاد تقویتی به شکل زیر است:

۱- تنش خمشی: در این حالت مقدار تنش کششی یا فشاری ناشی از خمش در محل تماس ورق‌های فلنج مهارتی با لوله نباید از حداکثر تنش مجاز خمشی بیشتر باشد؛ به عبارتی:



شکل ۱۱- متغیرهای ابعادی مرتبط با ورق‌های تقویتی



شکل ۱۲- ناحیه تماس بین لوله و اجزای فلنج مهاری

دوم: $t_s = 20 \text{ mm}$ و $L_s = 200 \text{ mm}$ را در نظر می‌گیریم. پس از محاسبه: $MC/I = 1315 \text{ kg/cm}^2$ و $I = 14199 \text{ cm}^4$ به دست می‌آید لذا معیار اول را تامین و به کنترل معیار دوم می‌پردازیم:

$$Q = 478 \text{ cm}^3$$

$$V = 27500 \text{ kg}$$

$$VQ/It = 462 \text{ kg/cm}^2$$

که از مقدار مجاز آن یعنی $\tau_{al} = 960 \text{ kg/cm}^2$ کمتر است؛ لذا ابعاد تقویتی معیار دوم را نیز تامین می‌کند و ابعاد گرفته شده قابل قبول هستند.

نتیجه‌گیری

با توجه به عدم وجود یک استاندارد مشخص در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی برای طراحی فلنج‌های مهاری، روش ارائه شده در این مقاله می‌تواند به عنوان روشی کاربردی برای تحلیل و طراحی فلنج‌های مهاری نوع صفحه‌ای باشد. این روش را می‌توان برای هر اندازه لوله و هر نیروی محوری اعمال کرد. این روش در پروژه میدان گازی و تاسیسات سرچاهی تنگ بیجار استفاده و کلیه مراحل طراحی و نظارت اجرای آن در بخش مهندسی طرح‌های توسعه‌ای شرکت نفت مناطق مرکزی ایران انجام شده است [۶]. در شرایط خاص می‌توان از تعدادی متفاوت از ورق‌های تقویتی استفاده کرد که شرایط مرزی و روش طرح آنها نیز مشابه همین روش است.

$$V = F/N \quad (21)$$

Q : گشتاور اول سطح در موقعیت حداکثر تنش برشی است (شکل ۱۲).

t : عرض مقطع در موقعیت τ_{max} که برابر است با:

$$t = t_s$$

حال با کنترل مقادیر حداکثر تنش‌های خمشی و برشی

در موقعیت‌های بحرانی، می‌توان به ابعاد قابل قبول t_s و L_s ورق‌های تقویتی رسید.

طرح یک نمونه از ورق‌های تقویتی

فلنج مهاری بخش قبلی را در نظر می‌گیریم؛ به عنوان یک حدس اولیه می‌توان طول و ضخامت ورق تقویتی را چنین در نظر گرفت:

$$L_s = D_{pt} + D_{pp}$$

$$t_s = t_{pt}/2$$

لذا با فرض اولیه: $L_s = 150 \text{ mm}$ و $t_s = 20 \text{ mm}$ به کنترل معیارهای دوگانه می‌پردازیم:

$$L_i = \pi \cdot D_{pp} / N = 2.19 \text{ cm}$$

$$L_{NA} = 3.09 \text{ cm}$$

$$M = 850575 \text{ kg.cm}$$

$$I = 6591 \text{ cm}^4$$

$$MC/I = 2187 \text{ kg/cm}^2$$

که از مقدار مجاز آن یعنی $\sigma_b = 1440 \text{ kg/cm}^2$ بیشتر است؛ لذا طول L_s را افزایش می‌دهیم. حال برای فرض

علائم و نشانه‌ها

حروف زیرنویس به این صورت‌اند:	$A_m = \pi(D_o - t)t$: سطح مقطع لوله که برابر است با:
L: طولی	D_o : قطر خارجی لوله
H: محیطی (Hoop)	D_i : قطر داخلی لوله
A: نقطه A که در شرایط کاملاً مقید است.	t: ضخامت دیواره لوله
B: نقطه B که در شرایط غیر مقید است.	E: مدول الاستیسیته یانگ
PR: فشار	F: نیروی مهار
TE: دما	L: طول ناحیه انتقالی
PO: پواسون	P: فشار طراحی خط لوله
D_{pp} : قطر خارجی لوله	T_i : دمای زمان نصب (دمای محیط)
D_{pt} : قطر خارجی ورق فلنج مهاری	T_o : دمای زمان کارکرد
t_{pt} : ضخامت ورق فلنج مهاری	$\Delta T = T_o - T_i$: تغییرات دما که برابر است با:
q_{at} : تنش فشاری مجاز بتن	α : ضریب انبساط حرارتی
q_c : تنش فشاری اعمالی به بتن	σ : تنش
σ_{at} : تنش مجاز ورق فلنج مهاری	ν : ضریب پواسون

منابع

- [1] Timoshenko S.P. & Woinowsky-Krieger S., *Theory of plates and shells*, 2nd Ed., McGraw-Hill, New York, NY, 1959.
- [2] Timoshenko S., *Theory of Elasticity*, 1985.
- [3] Pipe line rules of thumb handbook: a manual of quick, accurate solutions to everyday pipe line problems / E.W. McAllister, editor, 3rd Ed.
- [4] Ugural A.C., *Stresses in shell and plates*.
- [5] ANSYS, *ANSYS Command reference guide*, swanson analysis systems, Houston, PA, 1999.

- [۶] پروژه تنگ بیجار- مهندسی طرح‌های توسعه شرکت نفت مناطق مرکزی ایران
- [۷] اطلاعات پروژه بی‌بی حکیمه و رگه سفید، شرکت نفت مناطق نفت‌خیز جنوب