الأحمال الخارجية المسموح بها على فتحات جدران الخزان النفطي[1]

المهندس مُضَر أحمد حَسَن[2] الدكتور المهندس عبد المعين أحمد الخضور[3]

الملخص

تعدَّ عملية تخزين النفط من العمليات المهمة في الصناعة النفطية، وذلك بسبب الكميات الهائلة التي يتم إنتاجها، وكذلك بسبب الكميات الضخمة التي يتم تكريرها، ومن ثَمَّ تجهيزها من أجل الاستخدام في معظم الصناعات، ومن أهمية هذه العملية (عملية التخزين) كان لابد من الاهتمام وبقدرٍ كافٍ بتصميم الخزانات التي سيتم وضع هذا المُنتَج فيها، كونه من المنتجات الخطرة والسامة. ومن النقاط المهمة في عملية تصميم الخزان النفطي، عملية تحديد الأحمال الخارجية الحدية على فتحات جدار الخزان، إذْ إنَّ تحديد هذه الأحمال الحدية يُمكّن من تحديد سماكات صفائح التقوية اللازمة على الفتحة وعلى عنق الفوهة، كي يتم تلافي تشوه الجدار المحتمل أو أي مضاعفات أخرى.

[1] أعد هذا البحث في سياق رسالة الماجستير للمهندس مضر أحمد حسن بإشراف الدكتور المهندس عبد المعين أحمد خضور.

[2] قسم هندسة التصميم الميكانيكي– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة دمشق.

[3] قسم هندسة التصميم الميكانيكي– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة دمشق.

1 مقدمة:

تعدُّ الخزانات النفطيّة الأسطوانيّة العموديّة من أكثر أنواع الخزانات المستخدمة في تخزين النفط ومشتقاته السائلة، وتتكون هذه الخزانات من قعر (أرضيّة) وجدار (قشرة Shell) وسقف (إما ثابت أو عائم) وتجهيزات إضافية أخرى، وتُصنع عادةً هذه الأجزاء من الفولاذ الكربوني.

ومن أجل عملية تعبئة الخزان بالنفط وتفريغه يتم فتح فوهات في الجدار الجانبي (وغالباً في الحلقة السفلية من الجدار) بالإضافة إلى فتحات من أجل التنظيف والدخول إلى الخزان، وتعدُّ هذه الفوهات والفتحات نقاط ضعف في جدار الخزان بسبب تعرضها لأحمال هيدروستاتيكية عالية قد تُسبب انحناءات عند هذه الفتحات، ولذلك وفي مرحلة تصميم الخزان يتم تحديد أبعاد الصفائح وسماكتها حول الفتحة بحيث تكون متلائمة مع أبعاد الخزان ومع موقع هذه الفتحات في الجدار، وكذلك عادةً ما يُستخدم تدعيم لهذه الفتحات وذلك بواسطة صفائح تدعيم بسماكة وأبعاد معينة تزيد من متانة هذه المنطقة من الجدار، أو من الممكن زيادة سماكة صفائح الجدار في هذه المنطقة.

نأتي الآن إلى موضوع دراستنا وهو تحديد الأحمال الخارجية الحديّة (المسموح بها) على فتحات جدار الخزان النفطي، إذْ إنَّ الأحمال الخارجية هي تلك الأحمال التي سوف تتعرض لها فتحات جدار الخزان (والتي تكون موصولة بأنابيب التعبئة والتفريغ) بسبب الضغط المتولد في أثناء عمليتي تعبئة الخزان وتفريغه وكذلك بسبب سرعة تدفق النفط في أثناء مروره في هذه الفتحات عند هاتين العمليتين (التعبئة والتفريغ)، إذْ إنّه وبسبب الضغط وسرعة التدفق تتولد ثلاث قوى وثلاثه عزوم أساسية على مركز الفتحة عند اتصال شبكة الأنابيب، ولكن القوى والعزوم التي يمكن أن تسبب تشوّه الجدار هي قوة واحدة F_R وعزمان M_L ، M_C ، وهي التي سنأخذها بالحسبان في الدراسة، إضافةً إلى الأحمال الناجمة عن الضغط الهيدروستاتيكي في

مركز الفتحة، وكذلك تماثل درجة الحرارة أو اختلافها بين الجدار والقعر، ولا بُدّ لي من الإشارة هنا إلى أن الأحمال الناجمة عن عملية اللحام لا تؤخذ بالحسبان وذلك لأنه عند القيام بعملية اللحام بعد أخذ كلّ العوامل الأساسية لهذه العملية بعين الاعتبار فإن هذه الأحمال يمكن أن تكون مهملة (وهذه العوامل الأساسية هي سماكة الصفائح الملحومة ومن ثَمَّ وجود الشنفرة أم لا، ومقدار جذر اللحام الضروري ومقدار الخلوص اللازم الذي يضمن التغلغل الجيد للحام ويضمن الانكماش السهل لوصلة اللحام، والذي يخفف من قيمة الإجهادات المتولدة في الوصلة الملحومة).

وهذه الدراسة تخصّ فقط الخزانات ذات القطر الأكبر من 36 m، وهي تخصّ أيضاً فتحات الجدار الموجودة في النصف السفلي من جدار الخزان والمخصصة لوصل أنابيب التعبئة والتفريغ.

وقد اعتمدنا في الدراسة على عوامل جُسُوءة (جساءة) جدار الخزان، وانحراف (انزياح) الجدار الشعاعي (باتجاه نصف قطر الخزان) بسبب قوة الدفع الشعاعي المطبقة عند منتصف سطح جدار الخزان عند وصلة الأنبوب، ودوران الجدار في المستوي الأفقي بسبب العزم المحيطي، ودوران الجدار في المستوي الشاقولي بسبب العزم الطولي، والمطبقين عند النقطة السابقة نفسها أي عند الحد المشترك (السطح البيني) بين نظام شبكة الأنابيب ووصلات فتحات جدار الخزان، هذه القوة والعزمان الناتجان عن تحرّك (دخول أو خروج) النفط، وكذلك أخذنا بالحسبان الضغط الهيدروستاتيكي عند النقطة المدروسة، وتماثل درجة الحرارة أو اختلافها بين الجدار والقعر.

2- المصطلحات:

a : نصف القطر الخارجي لوصلة الأنبوب (mm).

E : عامل المرونة (Mpa) يؤخذ من الجدول (1).

F_R : الدفع الشعاعي (باتجاه نصف قطر الخزان) المطبق عند منتصف سطح جـــدار الخزان عند وصلة الأنبوب (N).

F_P : حمل نهاية الضغط على الفتحة لأجل الضغط الناتج عن تقدُّم المُنْتَج التـــصميمي عند ارتفاع الخط المركزي للفتحة $\pi \cdot a^2 \cdot P$ (N).

G : الكثافة النسبية للسائل.

H : ارتفاع ملء الخزان الأعظمي (mm).

K_C : عامل الجُسُوءة لأجل العزم المحيطي (الحلقي) $(N-mm/radian)$.

K_L : عامل الجُسُوءة لأجل العزم الطولي $(N-mm/radian)$.

K_R : عامل الجُسُوءة لأجل حمل الدفع الشعاعي (N/mm).

L : البعد الشاقولي للخط المركزي للفتحة عن قعر الخزان (mm).

M_C : العزم المحيطي المطبق على منتصف السطح لجدار الخزان $(N-mm)$.

M_L : العزم الطولي المطبق على منتصف السطح لجدار الخزان $(N-mm)$.

P : الضغط الناتج عن تقدم المُنتَج عند ارتفاع الخط المركزي للفتحة (Mpa).

R : نصف قطر الخزان الاسمي (mm).

t : سماكة الجدار عند وصلة الفتحة (mm).

ΔT : الفرق بين درجة حرارة التشغيل الاسمية ودرجة حرارة المنشأة (C^o).

W : الزيادة النصف قطرية المفرطة للجدار (mm).

W_R : الانحراف الشعاعي الناجم عند اتصال الأنبوب (mm).

$L+a=X_A$ (mm).

$L-a=X_B$ (mm).

$L=X_C$ (mm).

Y_C : عامل يُحدد من الشكل (11).

Y_L, Y_F : عوامل تحدد من الشكل (10).

α : عامل التمدد الحراري لمعدن الجدار $\left[mm/\left(mm-C^{o}\right)\right]$ الجدول (1).

$\beta = 1.285/\left(Rt\right)^{0.5}$: عامل الخصوصيّة $\left[rad/mm\right]$.

$\lambda = a/\left(Rt\right)^{0.5}$.

θ :دوران الجدار المفرط الناتج عن تدفق المُنتَج (بالراديان).

θ_C : دوران الجدار في المستوي الأفقي عند وصلة الفتحة الناتج عن العزم المحيطي (بالراديان).

θ_L : دوران الجدار في المستوي الشاقولي عند وصلة الفتحة الناتج عن العزم الطولي (بالراديان).

درجة الحرارة التصميمية C^0	معامل المرونة E Mpa	عامل التمدد الحراري α $\left[mm\times10^{-6}/\left(mm-C^{o}\right)\right]$
20	203000	--
90	199000	12.0
150	195000	12.4
200	191000	12.7
260	188000	13.1

الجدول (1) معاملات المرونة وعامل التمدد الحراري عند درجة الحرارة التصميمية.

3- عوامل الجُسُوءة لأجل وصلات الفتحات:

إن عوامل الجُسُوءة K_C, K_L, K_R مطابقة لأحمال شبكة الأنابيـــب M_C, M_L, F_R على التوالي عند وصلة الأنبوب، كما هو مبين في الشكل (1)، ويمكن الحصول عليها من الأشكال (2) حتى (7).

4- انحراف الجدار ودورانه:

4-1- الزيادة الشعاعية للجدار:

يحدَّد الزيادة الشعاعية الخارجية المفرطة للجدار عند مركز وصلة الفتحة والناتجة عن تقدم المُنتَج و/أو التمدد الحراري كما يأتي:

$$W = \frac{0.036 \cdot G \cdot H \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \left[1 - e^{-\beta \cdot L} \cdot \cos(\beta \cdot L) - \frac{L}{H}\right] + \alpha \cdot R \cdot \Delta T \quad [1]$$

4-2- دوران الجدار:

يُحَدَّدُ الدوران المفرط للجدار عند مركز وصلة الفوهة مع الجدار الناتج عن تقدم المنتج كما يأتي:

$$\theta = \frac{0.036 \cdot G \cdot H \cdot R^2}{E \cdot t} \cdot \left[\frac{1}{H} - \beta \cdot e^{-\beta \cdot L} \cdot (\cos(\beta \cdot L) + \sin(\beta \cdot L))\right] \quad [1]$$

5- تحديد الأحمال على وصلة الفتحة:

إن العلاقة بين التشوّه المرن لوصلة الفتحة وأحمال شبكة الأنابيب الخارجية يعبر عنها كما يأتي: [2]

$$W_R = \frac{F_R}{K_R} - L \cdot \tan\left(\frac{M_L}{K_L}\right) + W$$

$$\theta_L = \frac{M_L}{K_L} - \tan^{-1}\left(\frac{F_R}{L \cdot K_R}\right) + \theta$$

$$\theta_C = \frac{M_C}{K_C}$$

إذْ:

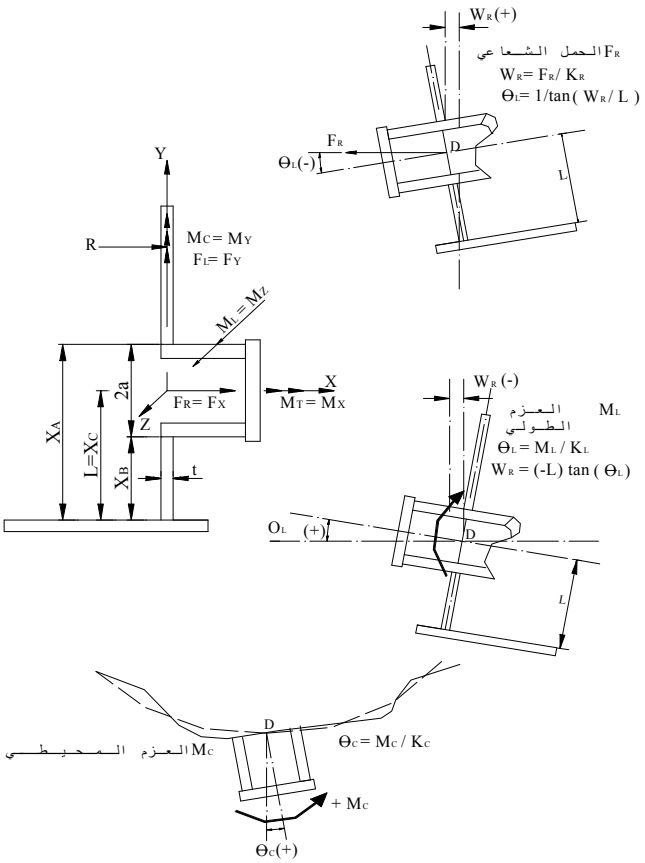
K_C, K_L, K_R هي عوامل الجُسُوءة المحددة من الأشكال (2)حتى (7)، θ_C, θ_L, W_R هي ناتج الانحراف والدوران الشعاعي للجدار عند وصلة الفتحة، والناتجة عن أحمال شبكة الأنابيب M_C, M_L, F_R وتقدم المُنتَج والضغط وتطابق درجات واختلافها الحرارة بين الجدار وقعر الخزان.

[1] - API STANDARD 650. Welded Stell Tanks for Oil Storage. MARCH 2000. P. P-2

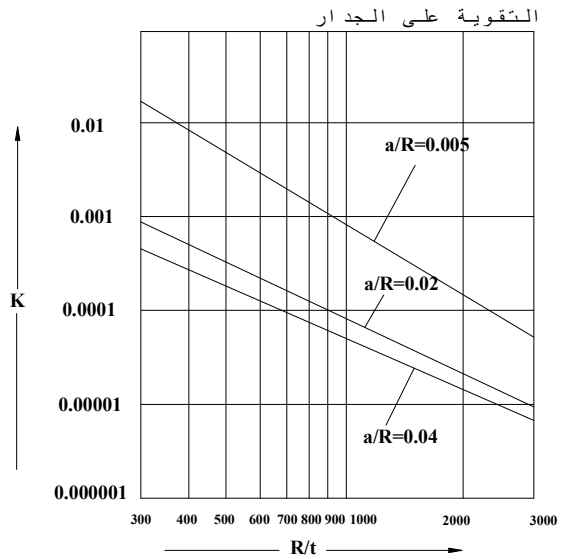
[1] - API 650. Welded Stell Tanks for Oil Storage. NOVEMBER-1998. P. P-2

[2] - API STANDARD 650. Welded Stell.....MARCH 2000. P. P-2

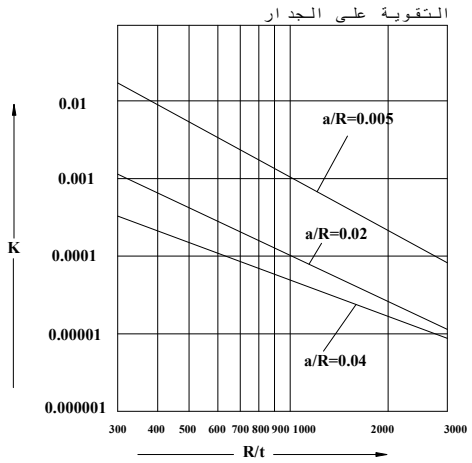
M_C, M_L, F_R يتم الحصول عليهم من تحليل استقرار شبكة الأنابيب والمبني على اعتبار جُسُوءة الجدار المحددة من الأشكال (2) حتى (7). وهنا أخذنا حالة واحدة فقط وهي أن $L/2a = 1$ (علماً أنه توجد حالة أخرى وهي عندما $L/2a = 1.5$ ولكننا لم نعرض هذه الحالة من أجل التقيّد بقوانين المجلة والخاصّة بعدد صفحات البحث). والشكل (1) يبيّن أحمال وتشوّه شبكة الأنابيب المتصلة بجدار الخزان.



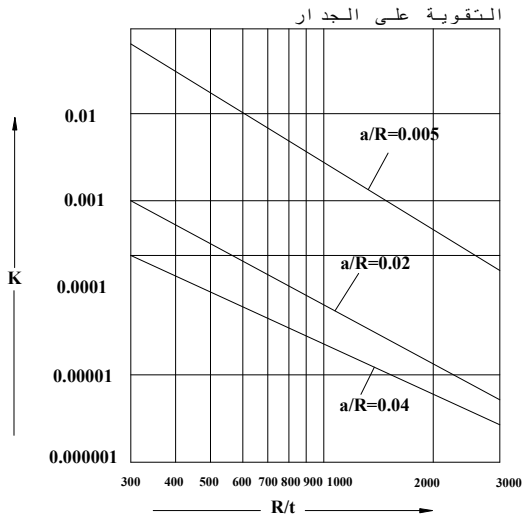
الشكل (1) أحمال وتشوّه شبكة الأنابيب



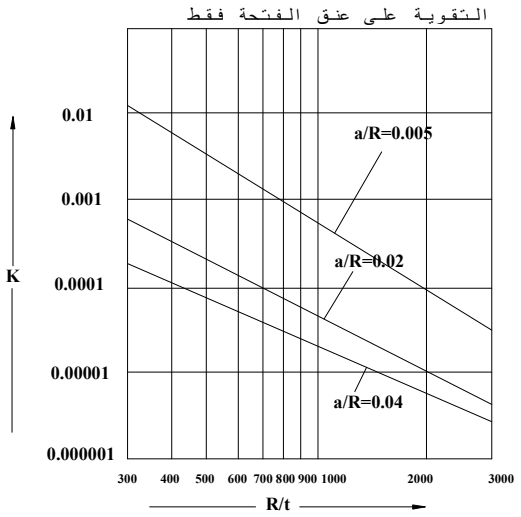
الشكل (2) عامل الجسوءة من أجل الحمل الشعاعي



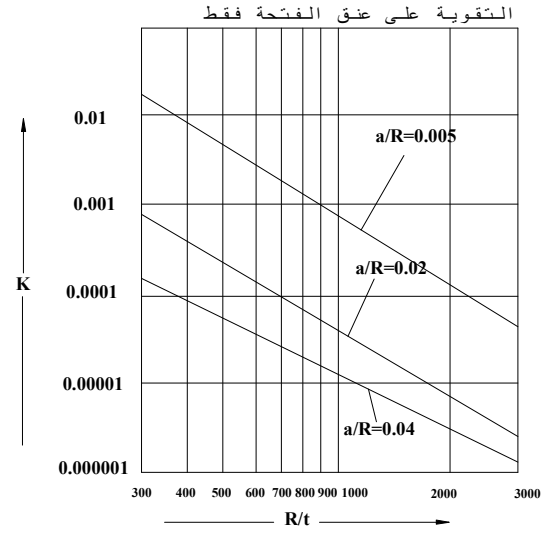
الشكل (3) عامل الجسوءة من أجل العزم الطولي



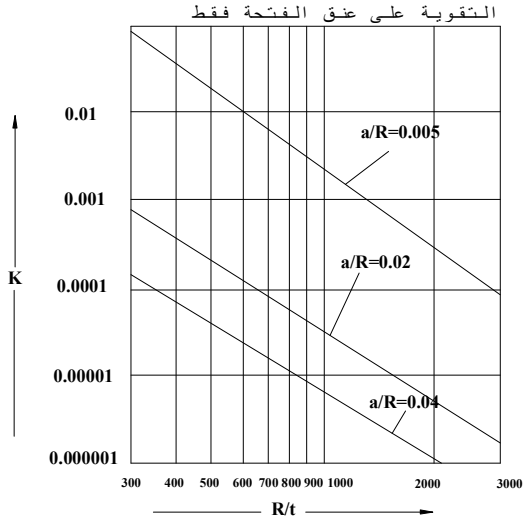
الشكل (4) عامل الجسوءة من أجل العزم المحيطي



الشكل (5) عامل الجسوءة من أجل الحمل الشعاعي



الشكل (6) عامل الجسوءة من أجل العزم الطولي



الشكل (7) عامل الجسوءة من أجل العزم المحيطي

ونورد الجدول الآتي (رقم 2) من أجل تبيان قيمة العامل K في الأشكال السابقة (من الشكل 2 حتى الشكل 7).

رقم الشكل	قيمة العامل K
الشكل (2)	$K = K_R / E \times (2a)$
الشكل (3)	$K = K_L / E \times (2a)^3$
الشكل (4)	$K = K_C / E \times (2a)^3$
الشكل (5)	$K = K_R / E \times (2a)$
الشكل (6)	$K = K_L / E \times (2a)^3$
الشكل (7)	$K = K_C / E \times (2a)^3$

الجدول رقم (2) قيمة العامل K للأشكال (من الشكل 2 حتى الشكل 7)

6- تحديد الأحمال الحديّة (المسموح بها) من أجل فتحات الجدار:

6-1- إنشاء المخططات البيانية:

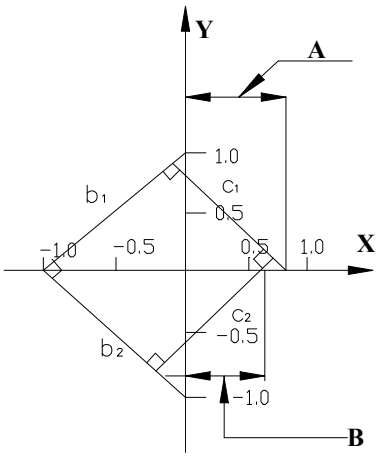
أولاً: يتم تعيين الكميات غير المتعلقة بالأبعاد وهي $X_A/(R\cdot t)^{0.5}, X_B/(R\cdot t)^{0.5}, X_C/(R\cdot t)^{0.5}$ لأجل شكل الفتحة المدروسة.

ثانياً: يتم رسم محورين متعامدين على ورقة المخطط وتحديد الإحداثيات الأفقية والشاقولية كما هو مبين في الأشكال (8) و (9).

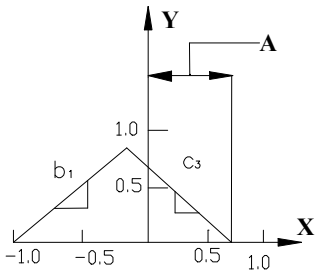
إذْ Y_L, Y_F, Y_C هي عوامل تحدد من الأشكال (10) و(11).

ثالثاً: يتم إنشاء أربعة حدود من أجل الشكل (8) وحدين من أجل الشكل (9) الحدود b_1, b_2 ستكون منشأة كخطوط في زاوية قدرها (45) درجة بين الإحداثيات الأفقية والإحداثيات الشاقولية.

الحدود C_1, C_2, C_3 ستكون منشأة كخطوط في زاوية قدرها (45) درجة مارةً عبر القيم المحسوبة المبينة في الأشكال (8) و(9) مرسومة على محور السينات الموجب.



الشكل (8) إنشاء المخطط البياني للحدود b_1, b_2, c_1, c_2



الشكل (9) إنشاء المخطط البياني للحدود b_1, c_3

في الشكل (8) يمثل محور العينات $(\lambda / aY_L)(M_L / F_P)$، ومحور السينات يمثل $(\lambda / 2Y_F)(F_R / F_P)$، وإن القيمة A تكون 0.1 أو $\left[1.0 - 0.75 \times X_B / (Rt)^{0.5}\right]$ أيهما أكبر، والقيمة B تكون 0.1 أو $\left[1.0 - 0.75 \times X_A / (Rt)^{0.5}\right]$ أيهما أكبر.

وفي الشكل (9) محور العينات يمثل $(\lambda / aY_C)(M_C / F_P)$، ومحور السينات يمثل $(\lambda / 2Y_F)(F_R / F_P)$، وإن القيمة A تكون 0.1 أو $\left[1.0 - 0.75 \times X_C / (Rt)^{0.5}\right]$ أيهما أكبر.

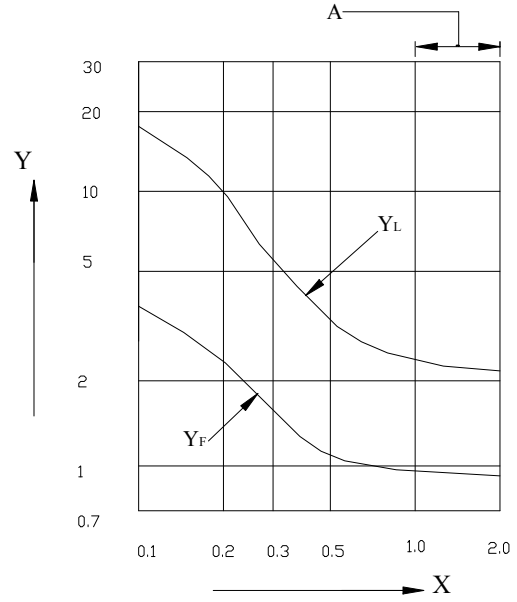
2-6- تحديد الأحمال الحديّة (المسموح بها):

a. نستخدم القيم الآتية M_C, M_L, F_R التي حصلنا عليها من تحليل شبكة الأنابيب وذلك لتحديد المقادير $(\lambda/2Y_F)(F_R/F_P)$، $(\lambda/aY_L)(M_L/F_P)$، $(\lambda/aY_C)(M_C/F_P)$.

b. نرسم النقاط السابقة $(\lambda/2Y_F)(F_R/F_P)$، $(\lambda/aY_L)(M_L/F_P)$ على المخطط البياني المنشأ كما هو مبين في الشكل (12).

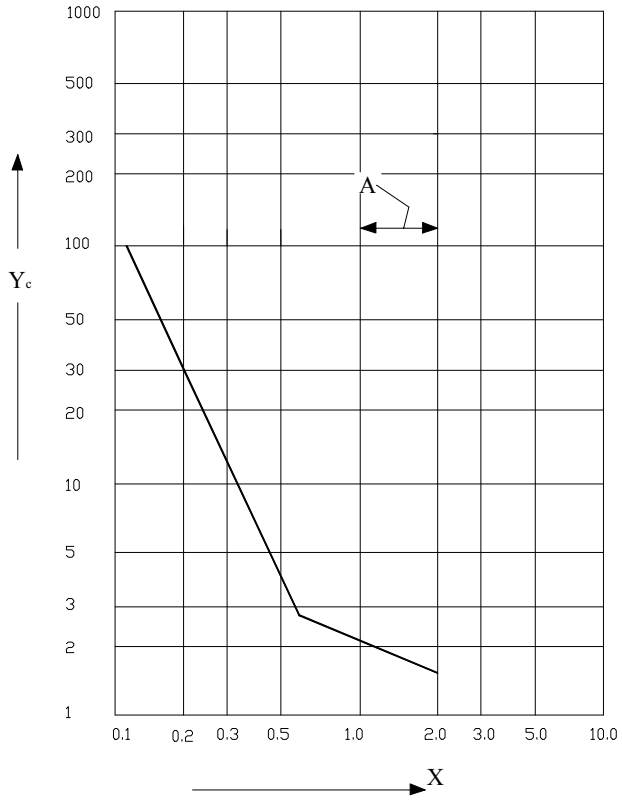
c. نرسم النقاط $(\lambda/2Y_F)(F_R/F_P)$، $(\lambda/aY_C)(M_C/F_P)$ على المخطط البياني المنشأ كما هو مبين في الشكل (13).

d. إن أحمال شبكة الأنابيب الخارجية M_C, M_L, F_R التي تكون مفروضة على فتحة الجدار تكون مقبولة في حال أن كلا النقطتين المحددتين من الفقرتين b و c السابقتين تظهران ضمن حدود المخططات البيانية المنشأة لأجل شكل فتحة الخزان المدروسة.



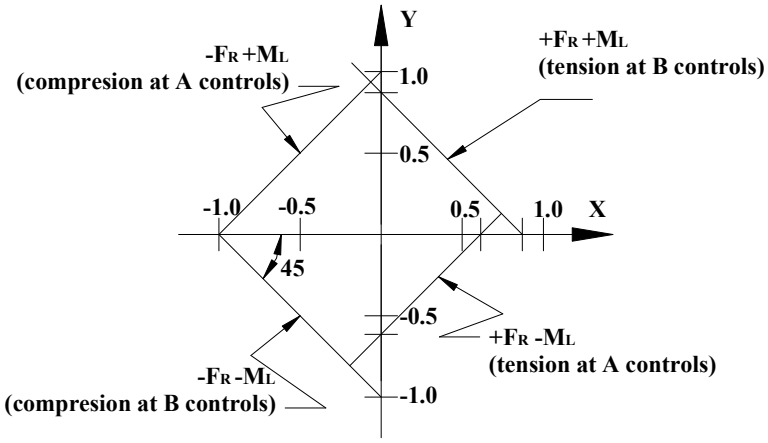
الشكل (10) العوامل Y_F, Y_L

وفي الشكل (10) يمثل محور العينات العوامل Y_F وY_L ومحور السينات يمثل $\lambda = a/(Rt)^{0.5} = (a/R)(R/t)^{0.5}$ ، وأما القيمة A فهي تمثل أنه ثلثان من المساحة المقوّاة المتطلبة يجب أن تكونا متموضعتين ضمن $a + 0.5\ (Rt)^{0.5}$ من خط مركز الفتحة.

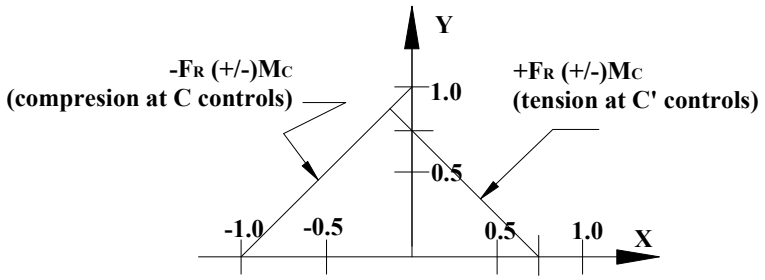


الشكل (11) العامل Y_C

وفي الشكل (11) يمثل محور السينات $\lambda = a/(Rt)^{0.5} = (a/R)(R/t)^{0.5}$، ومحور العينات يمثل العامل Y_C، وأما القيمة A فهي تمثل أنه ثلثان من المساحة المقوّاة المتطلبة يجب أن تكونا متموضعتين ضمن $a + 0.5\ (Rt)^{0.5}$ من خط مركز الفتحة.



الشكل (12) تحديد الأحمال المسموح بها من المخطط البياني
M_L, F_R



الشكل (13) تحديد الأحمال المسموح بها من المخطط البياني
MC, FR

في الشكل (12): $(\lambda / aY_L)(M_L / F_P)$ يمثل محور العينات.

و $(\lambda / 2Y_F)(F_R / F_P)$ يمثل محور السينات.

وفي الشكل (13): $(\lambda / aY_L)(M_C / F_P)$ يمثل محور العينات.

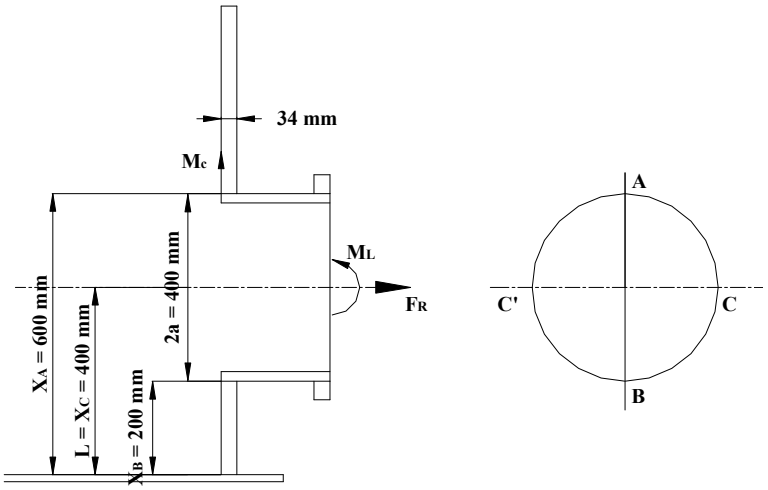
و $(\lambda / 2Y_F)(F_R / F_P)$ يمثل محور السينات.

7- مثال تطبيقي على تحديد الأحمال الحدية الخارجية على فتحات الجدار النفطي:

7-1- المسألة:

خزان أسطواني عمودي لتخزين النفط بقطر 80 m وبارتفاع 19.2 m، وسماكة حلقة الجدار السفلية 34 mm. ويملك الخزان فوهة بقطر خارجي قدره 400 mm وبعد خط مركز الفوهة عن صفيحة القعر 400 mm، والتدعيم على عنق الفتحة فقط (كما في الشكل 14). والمطلوب هو تحديد الحالات النهائية للعوامل الآتية: $(W, \theta, K_R, K_L, K_C)$ من أجل تحليل مرونيّة (قابلية انثناء) شبكة الأنابيب، وما قيمة الأحمال الحدية من أجل هذه الفوهة؟.

المعطيات: $a = 200mm$ ، $L = 400mm$ ، $H = 19200mm$ ، $\Delta T = 90 - 20 = 70C^o$ ، $R = 80000/2 = 40000mm$ ، $t = 34mm$. ومن الجدول (1) نجد عند درجة حرارة تشغيل $T_P = 90C^0$ أن $E = 199000N/mm^2$ و $\alpha = 12 \times 10^{-6} \left[mm/\left(mm - C^0\right) \right]$.



الشكل (14) فوهة مُدعمة عند عنق الفوهة فقط.

7-2- الحل:

7-2-1- حساب معاملات الجسوءة من أجل اتصال (الخزان –الفوهة):

نحسب المقادير الآتية: $R/t = 40000/34 = 1176$ ، $a/R = 200/40000 = 0.005$ ، $L/2a = 400/400 = 1.0$ ومن ثَمَّ من أجل الحمل الشعاعي من الشكل (5) نجد $\frac{K_R}{E(2a)} \approx 5.6\times10^{-4}$ و يكون $K_R = 44576 N/mm$. ومن أجل العزم الطولي من الشكل (6) نجد $\frac{K_L}{E(2a)^3} \approx 6.47\times10^{-4}$ ومن ثَمَّ $K_L = 8.24\times10^9 N-mm/rad$. ومن أجل العزم المحيطي نجد من الشكل (7) أن $\frac{K_C}{E(2a)^3} \approx 2.353\times10^{-3}$ ومن ثَمَّ $K_C = 29.97\times10^9 N-mm/rad$.

7-2-2- حساب انحراف ودوران الجدار المفرط عند خط مركز الفوهة الناتج عن الضغط الهيدروستاتيكي للخزان المملوء:

نحسب المقادير الآتية: $\beta = \frac{1.285}{(Rt)^{0.5}} = 0.0011(rad/mm)$ ويكون

$\beta \cdot L = 0.44rad$ عندئذٍ نجد:

$$W = \frac{9.8\times10^{-6}GHR^2}{Et}\left[1-e^{-\beta L}\cos(\beta L)-\frac{L}{H}\right]+\alpha R\Delta T = 48.5126mm$$

ونجد:

$$\theta = \frac{9.8\times10^{-6}GHR^2}{Et}\left[\frac{1}{H}-\beta e^{-\beta L}\{\cos(\beta L)+\sin(\beta L)\}\right] = -0.02945rad$$

هذه القيم (W,θ,K_R,K_L,K_C) تستخدم لتحليل مرونيّة شبكة الأنابيب ومن ثَمَّ تحديد W_R,θ_L,θ_C وهي التشوّه والدوران الشعاعي الحاصل للجدار عند اتصال الفتحة الناتج عن أحمال شبكة الأنابيب وتقدّم المُنتَج والضغط الهيدروستاتيكي وانتظام درجة الحرارة أو اختلافها بين الجدار وقعر الخزان، وذلك في حال كانت أحمال شبكة الأنابيب محددة، ولكن في مثالنا هذا أحمال شبكة الأنابيب غير محددة لذلك لا نستطيع حساب هذه القيم، والمطلوب هو حساب الأحمال الحديّة لشبكة الأنابيب، ولذلك نقوم بما يأتي:

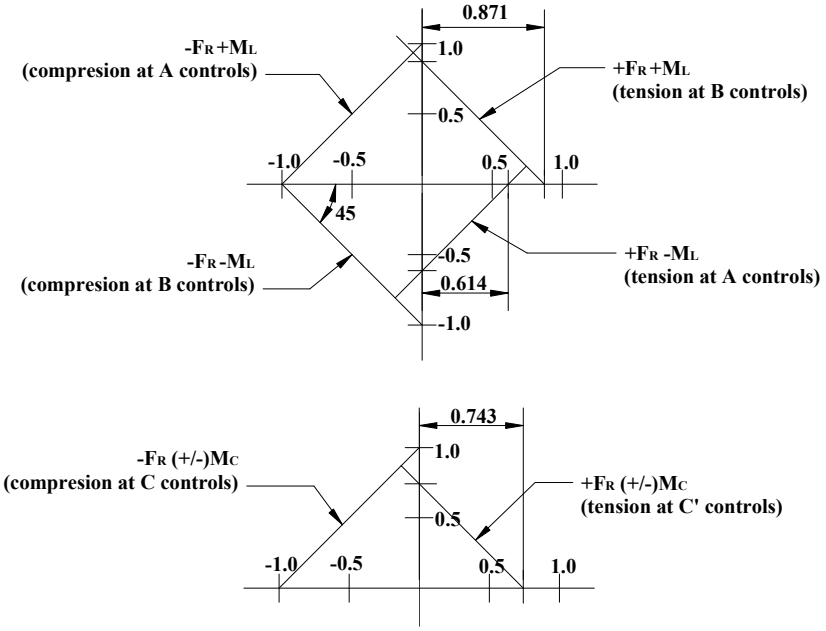
من الشكل (14) نجد القيم الآتية: $X_A = 600mm$ ، $X_B = 400mm$ ، $X_C = 200mm$.

والآن نحدد الأحمال الحدية (المسموح بها) من أجل فتحة الجدار.

7-2-3- تحديد الكميات غير البعدية:

$\frac{X_A}{(Rt)^{0.5}} = 0.5145$ ، $\frac{X_B}{(Rt)^{0.5}} = 0.1715$ ، $\frac{X_C}{(Rt)^{0.5}} = 0.343$ ، $\lambda = \frac{a}{(Rt)^{0.5}} = 0.1715$.

ومن ثَمَّ من الأشكال (10 و11) نجد $Y_L = 13.16mm$ ، $Y_F = 3mm$ ، $Y_C = 40mm$.



الشكل (15) مخططات الأحمال المسموح بها من أجل المسألة المدروسة

من أجل الإحداثيات في هذا الشكل راجع الشكلين (12) و(13).

7-2-4- إنشاء المخططات البيانية للحمل (انظر الشكل 15):

نحسب أولاً المقادير الآتية: $\frac{X_B}{(Rt)^{0.5}} = 0.871 - 0.75 = 1.0$ وهي القيمة الحديّة لقيمة الحمل في الربع الأول للقسم العلوي من الشكل (15).

$1.0-0.75\frac{X_A}{(Rt)^{0.5}}=0.614$ وهي القيمة الحديّة لقيمة الحمل في الربع الرابع للقسم العلوي من الشكل (15). $1.0-0.75\frac{X_C}{(Rt)^{0.5}}=0.743$ وهي القيمة الحدية لقيمة الحمل في الربع الأول للقسم السفلي من الشكل (15). بعد تحديد هذه القيم نقوم برسم هذه القيم على الشكل، وذلك بعد القيام برسم محوريّ إحداثيات نحدد على القسم العلوي من الشكل القيمة 0.871 على محوري السينات والعينات ومن ثم نصل بينهما فنحصل على الضلع الأول (الذي في الربع الأول)، الأضلاع في الربعين الثاني والثالث لهذه المسألة ستكون بين القيم 1.0 و−1.0 بالنسبة للربع الثاني، و−1.0 و − 1.0 بالنسبة للربع الثالث، أما فيما يخصّ الضلع في الربع الرابع فإنه سيكون المستقيم الواصل بين القيمتين 0.614 و−0.614 وهي القيمة الحدية لقيمة الحمل في الربع الرابع لهذا القسم كما حصلنا عليها بالحساب، ومن ثَمَّ هكذا يكون اكتمل رسم القسم العلوي من الشكل (15). أما بالنسبة للقسم السفلي من الشكل (15) فنجد القيمة 0.743 التي حصلنا عليها سابقاً فنرسم في الربع الأول من القسم السفلي من الشكل (15) الضلع والذي يصل بين القيمتين (للسينات والعينات) 0.743 و0.743 أما الضلع في الربع الثاني من هذا القسم فيرسم في هذه الحالة بين القيمتين −1.0 و1.0 ، وهكذا نكون قد رسمنا الشكل (15) كاملاً، ونلاحظ على الشكل ما يمثل كل ضلع من أحمال وعند أية نقطة من نقاط الفتحة الأربع المبينين في الشكل (14).

والآن نحسب قيمة قوة الضغط الهيدروستاتيكي في النقطة المدروسة (مركز الفتحة) فنجد:

$$F_P = P\cdot\pi\cdot a^2 = \rho\cdot G\cdot(H-L)\cdot\pi\cdot a^2 =$$
$$= (9.8\times1000)(1.0)(19.2-0.4)\times3.14\times0.2^2 = 23140.5N$$

إذْ: $\rho = 1000 Kg/m^3$ وهي الكتلة النوعية الماء (باعتبار أن الخزان سيخضع إلى اختبار هيدروستاتيكي قبل تعبئته بالنفط لذلك تُؤخذ كثافة الماء)، الرقم 9.8 هو لتحويل Kg إلى نيوتن. $G = 1.0$ وهي الكثافة النسبية للماء.

نحسب الآن القيم الآتية: $\frac{\lambda}{2Y_F}\left(\frac{F_R}{F_P}\right) = 1.235\times10^{-6} F_R$،

$\frac{\lambda}{aY_L}\left(\frac{M_L}{F_P}\right) = 2.8158\times10^{-9} M_L$ ، $\frac{\lambda}{aY_C}\left(\frac{M_C}{F_P}\right) = 9.264\times10^{-10} M_C$.

7-2-5- تحديد أحمال شبكة الأنابيب الحديّة:

الآن ومن أجل الحصول على الأحمال الحدية لشبكة الأنابيب نقوم بما يأتي:

أولاً: نجعل $M_L = M_C = 0$ ومن ثَمَّ يكون لدينا المتراجحة الآتية: $\frac{\lambda}{2Y_F}\left(\frac{F_R}{F_P}\right) = 1.235\times10^{-6} F_R \le 0.614$ و من ثَمَّ يكون $F_{R\max} = 497166N(tensionatAcontrols)$.

ثانياً: نجعل $M_L = F_R = 0$ و من ثَمَّ يكون لدينا $\frac{\lambda}{aY_C}\left(\frac{M_C}{F_P}\right) = 9.264\times10^{-10} M_C \le 0.743$ وعندئذٍ يكون $M_{C\max} = 8.02\times10^8 N-mm(tensionatC'controls)$.

ثالثاً: نجعل $M_C = F_R = 0$ و من ثَمَّ يكون لدينا $\frac{\lambda}{aY_L}\left(\frac{M_L}{F_P}\right) = 2.8158\times10^{-9} M_L \le 0.614$ وعندئذٍ يكون $M_{L\max} = 2.18\times10^8 N-mm(tensionatAcontrols)$.

القيمة 0.614 والقيمة 0.743 أُخذَتا من الشكل (15)، بعد رسم المخططات البيانية الخاصة بالأحمال، وقيم الأحمال التي حصلنا عليها يجب أن لا تتجاوزها أحمال شبكة الأنابيب كي تكون الفتحة ضمن الحدود الآمنة.

والآن لو حاولنا تحديد العوامل التي تؤثر بشكل مباشر في قيمة هذه الأحمال الحديـــة فسنجد أن هذه القيم تزداد بزيادة سماكة الجدار في مكان وجود الفوهة، في حين نجـــد أن زيادة ارتفاع شبكة الأنابيب عن القعر يُخفّض من قيمة هذه الأحمال الحديّة و مـــن ثَمَّ هذا يجعل مجال الأحمال الناتجة عن شبكة الأنابيب مجالاً ضيقاً و هـــذا يفـــرض شروطاً مسبقةً على مُصمّم شبكة الأنابيب.

التوصيات والنتائج:

1. على المُصنّع أن يزود الجهة المستثمرة للخزان بعوامل جُـــسُوءة الجـــدار ودوران الجدار المفرط وانحرافه، وعلى الجهة المستثمرة للخزان أن تزود المُـــصنّع بمقـــدار أحمال فتحة الجدار.

2. وعلى المُصنّع أن يحدد وبانسجام مع الفقرة (6) من هذا البحث قبول أحمال فتحة الجدار المزودة من قبل الجهة المستثمرة للخزان، وعندما تكون الأحمال زائدة جـــداً، عندها شكل شبكة الأنابيب سيكون معدّلاً حتى تصبح أحمال فتحة الجدار ضمن حدود المخطط البياني المُنشَأ.

3. إن تغيير ارتفاع شبكة الأنابيب وتغيير سماكة الجدار هي الطرائق البديلة لتخفيض الإجهادات، ولكن هذه الإجراءات يمكن أن تؤثر في التركيب، وهذا يتم عمومـــاً فـــي حال الاتفاق بين الجهة المستثمرة للخزان والمُصنّع.

المراجع الأجنبية

1- API STANDARD 650, Welded Stell Tanks for Oil Storage. MARCH 2000.
2- API STANDARD 653, Tank Inspection, Repair Alteration, and Reconstruction. ADDENDUM 4, DECEMBER 1999.
3- API STANDARD 620, Design and Construction of Large, Welded, Low-pressure Storage Tanks. ADDENDUM 3, DECEMBER 1999.
4- API Guide for Inspection of Refinery Equipment, Chapter XIII-Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks. FOURTH EDITION, APRIL 1981.
5- API 650, Welded Stell Tanks for Oil Storage. NOVEMBER - 1998.

المراجع العربية

1- الإنشاءات القشرية– قسطنطين موخانوف– ترجمة د. داوود سليمان المنيـــر. دار مير للطباعة والنشر 1973.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق:2005/4/10.