دراسة توازن الأنابيب الفولاذية المملوءة بالبيتون

الدكتور ابراهيم أحمد الجراد

قسم الهندسة الإنشائية

كلية الهندسة المدنية ـ جامعة دمشق

الملخص

يستعرض البحث المقارنة بين الخواص الهندسية للعناصر الإنشائية من مقاطع معدنيـة مفتوحـة مـع العنصر الإنشائي المقترح من أنبوب فولاذي رقيق السماكة ومملوء بالبيتون، وكذلك المقارنة بين طاقة تحمله على الانعطاف والفتل مع العناصر المفتوحة الأخرى عند تساوي المقطع والارتفاع. لقد وضحنا في هذا البحث الخواص الإنشائية للأنابيب البيتونية ومواصفات المواد التـي يتكـون منهـا الأنبـوب الفولاذي والبيتون المستخدم لملء النواة البيتونية.

لقد عالج هذا البحث دراسة الحالة الإجهادية للأنبوب البيتوني بالاستناد إلى مبادئ حسـاب الإنشـاءات المعروفة مقترحاً العلاقة الخاصة لحساب طاقة تحمل الأنبوب البيتوني تحت تأثير الضغط المركـزي وكيفية حل هذه العلاقة عند مستويات التحميل المختلفة. كما أجريت مقارنة ما بين النتائج الحسابية التي تم الحصول عليها باستخدام معادلة أويلر للحمولة الحرجة والقياسات التجريبية التي تم إجراؤها مخبرياً على عينات خاصة صنعت لهذا الغرض، إذ تبين وجود توافق مقبول إلى حد ما بـين القـيم النظريـة والنتائج التجريبية.

1- تمهيد:

إن من أهم المسائل المطروحة أمام الباحثين والعلماء تطوير طرق حساب المنشـآت الهندسـية علـى المتانة والتوازن مع إيجاد عناصر إنشائية حاملة جديدة بحيث تحقق الشروط التالية:

تقليل الوزن، تخفيض حجم أعمال التصنيع والتركيب والإقلال من مصروف المـواد النـادرة والتـي بدورها تؤدي إلى تخفيض الكلفة الإجمالية للمنشآت الهندسية. لقد أثبتت الدراسات النظرية والتجريبيـة أنه يمكن تحقيق هذه المتطلبات عند استخدام الأنابيب الفولاذية المملـوءة بـالبيتون كعناصـر حاملـة للمنشآت الهندسية ونصطلح تسميتها بالأنابيب البيتونية.

2- الخواص الإنشائية للأنابيب البيتونية:

آ- الأنبوب البيتوني هو عنصر مركب مكون من أنبوب فولاذي ونواة بيتونية يعملان مع بعضهما ككتلة متجانسة بشكل جيد إذ إن الأنبوب الفولاذي يحقق غرضين أساسيين:

التسليح الطولي والتسليح العرضي. ولهذا يتحمل القوى كافة التي تؤثر فيه باتجاهات مختلفـة (عمودية أو موازية لمحوره الطولي) وكذلك في الاتجاهات المائلة بزوايـا مختلفـة بالنسـبة لمحوره الطولي لأن التسليح يعد منتظماً على كامل طول العنصر مما يساعد على استقراره.

في حين تزداد المقاومة للنواة البيتونية بمرتين تقريباً لأنها محاطة بالقشرة المعدنية مـن كـل الجوانب أي أنها معرضة لإجهادات ضغط ثلاثي المحاور.

إن تشوهات البيتون ضمن الأنبوب الناتجة عن الانكماش (أو التقلص) والسيلان، أقل بكثيـر مما هو عليه بسبب عدم تعرض النواة البيتونية لتأثيرات الوسط المحيط (حـرارة، رطوبـة، غازات سامة،...) لأن القشرة المعدنية تشكل طبقة عازلة للنواة وتؤمن الظروف الجيدة لعمل البيتون تحت تأثير الحمولات وتمنع ظهور الشقوق فيها. وفي الوقت نفسـه يبـدي الأنبـوب الفولاذي المملوء بالبيتون مقاومة كبيرة جداً ضد الانهيار في حالة فقدان الاستقرار الكلـي أو الموضعي للمنشأة.

ب- إن تعبئة الأنبوب بالبيتون تزيد من مقاومته ضد الصدأ هذا من ناحية ومن ناحية أخرى تقلـل من نحافة العنصر $\lambda = \frac{L}{r}$ مما يؤدي إلى زيادة متانة جدار الأنبوب ومن ثم زيادة مقاومـة

المقطع الكلية تحت تأثير الأحمال الديناميكية خلال فترة التركيب خاصة عند العقد وفي فترة الاستثمار.

جـ- نظراً لانسيابية السطح الخارجي للأنبوب البيتوني فيكون السطح الخارجي المعرض للرطوبة والغبار أقل من السطوح المصنعة من مقاطع معدنية أخرى؛ وهذا يحقق شروطاً أفضلَ أثناء مرحلة الاستثمار من حيث تقليل كلفة عمليات التنظيف والطلي.

د- مقاومة مقاطع الأنابيب الفولادية (حالة عمود مثلاً) على الفتل الناتج عن تأثير ضغط الرياح أكبر بكثير بمقارنتها مع مقاطع مركبة مفتوحة (I , ⌈ , [, T ...) كما هو مبين في الجدول التالي:

الجدول ـ 2 ـ

طاقة تحمل المقاطع المختلفة المتساوية والارتفاع في حالة الانعطاف والفتل

90[σ]	67 [σ]	58 [σ]	[M]= W_x[σ]
100	74	64	%
10 [τ]	113 [τ]	116 [τ]	[λ/x]
100	1130	1160	%

الجدول ـ 1 ـ

مقارنة الخواص الهندسية للمقاطع العرضية رقيقة الجدران والمتساوية المساحة

الشكل	h : v	X_X	X_y	W_x
	2 : 1	100	6.2	100
	3 : 2	32	17	51
	1 : 1	25	25	50
	1 : 1	25	30	20
	1 : 2	18	25	21
	-	30	30	48

هـ- قابليتها للتصنيع في المعامل بشكل ميكانيكي -أتوماتيكي- تتم بشكل سهل وبسيط، وكذلك الحال عند تركيبها في مواقع البناء عن طريق استخدام المعدات الميكانيكية، وتوفير القوالب الخشبية اللازمة للتنفيذ عند استخدامها كأعمدة بمقارنتها مع أعمدة البيتون المسلح. أما مساوئ الأنابيب البيتونية فيمكن تلخيصها كالتالي:

آ- قلة توافر الأنابيب الفولاذية، لأن كلفة تصنيعها عالية، ولكن هذه تعد فترة مرحلية لأنه في كل عام يزداد تصنيعها بكميات كبيرة في العالم.

ب- بسبب تآكل المعدن عند تعرضه للأبخرة والمواد الكيميائية، لذلك يجب طلي السطوح الخارجية للأنابيب بدهانات خاصة، والتأكد من ثبات هذه الدهانات بصورة مستمرة مما يؤدي إلى زيادة كلفة استثمار هذه المنشآت.

جـ- عند تعرض المنشآت المعدنية للحريق، وفي درجات الحرارة العالية تتمدد هذه المنشآت، ويمكن أن تنصهر أحياناً، ولهذا يجب عزلها ضد الحريق ببيتون خاص مقاوم للحريق، ولكن هذه المساوئ يمكن حلها أثناء انتقاء المقاطع المطلوبة للمنشأة المراد تصميمها.

3- المواد اللازمة لمنشآت الأنابيب البيتونية:

تستخدم في منشآت الأنابيب البيتونية الأشكال التالية للأنابيب الفولاذية:

آ- أنابيب فولاذية ملساء ومن دون بروز لخط الالتحام مدلفنة على الساخن تتراوح أقطارها من 83-820 ملم، وسماكة جدرانها من 3.5-18 ملم، وأطوالها من 4-12.4 م وعندما تصنع على البارد تكون أقطارها 85-200 ملم، وسماكة جدرانها 2-10 ملم، وبأطوال 1.5-9 م.

ب- أنابيب فولاذية منفذة باللحام الكهربائي تتراوح أقطارها من 83-1620ملم، وسماكة جدرانها 2-16 ملم وبأطوال 4-18 م.

وتختلف هذه الأنابيب سواء برز خط الالتحام أم لم يظهر عن بعضها بعضاً فقط بطريقة تصنيعها من الصفائح الفولاذية على البارد أو الساخن، ويجب أن تستخدم من فولاذ يمتاز بخواص ميكانيكية عالية، ويحتوي على نسبة قليلة من المعادن الأخرى، بحيث يؤخذ عامل مرونة الفولاذ المستخدم أثناء حساب منشآت الأنابيب البيتونية مساوياً $E = 2.1.10^6\ kg/cm^2$، وعامل التشوه العرضي يساوي $\nu = 0.3$ والوزن الحجمي $\gamma = 7850\ kg / m^3$ لمختلف ماركات الأنابيب.

أما مواصفات البيتون المستخدم لملء الأنابيب الفولاذية فيستخدم البيتون الثقيل كما في حالة منشآت البيتون المسلح، وتتراوح ماركته من 200-800 مع مراعاة الشروط المطلوبة في نسب الرمل والبحص والاسمنت البورتلاندي، ونسبة الماء إلى الاسمنت لتحقيق التدرج الحبي المطلوب كما في حالة البيتون المسلح.

وتتم عملية تعبئة الأنابيب الفولاذية وفق المراحل التالية:

آ- يجب أن ينظف السطح الداخلي للأنبوب الفولاذي بشكل جيد وذلك باستخدام فرشاة معدنية مدورة موصولة بمحرك كهربائي بواسطة ساعد لين ويتم التنظيف خلال 1-2 دقيقة.

ب- يجب أن يكون مقطع الأنبوب الطرفي ذا سطح أملس عمودي على محوره الطولي ليسهل استخدامه كمسند، وخاصة عندما تكون مقاطع الأنابيب البيتونية موصولة مع مقاطع معدنية أخرى على شكل T مثلاً.

جـ- تتم التعبئة بوضع الأنابيب شاقولياً على شكل حزم مربوطة بصفائح معدنية مثبتة ببراغي أو اللحام الكهربائي وذلك على قاعدة رجاجة (أوهزازة) بطاقة 3000 هزة/دقيقة لمدة 2-3 دقيقة.

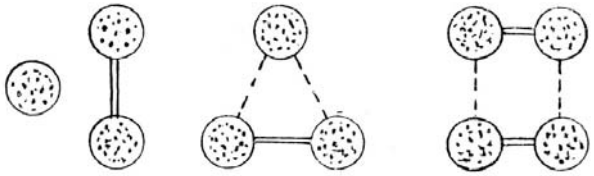
كما يمكن أن تتم تعبئة الأنابيب يدوياً في مواقع العمل دون استخدام المعامل الجاهزة لإنشاءات البيتون المسلح، ويستخدم من أجل ذلك قضيب معدني لتحشية البيتون بشكل جيد لزيادة كثافته وتقليل المسامات الفارغة. ولكن هذه الطريقة غير جيدة لسوء نوعية البيتون الحاصل، وفي كل الحالات يتم وضع البيتون من الأعلى عن طريق قمع خاص يصّنع لهذه الغاية.

4- مقاطع وأشكال عناصر الأنابيب البيتونية:

في الفترة الأخيرة للتطور الحاصل في استخدام العنصر الإنشائي، المكون من أنبوب فولاذي رقيق الجدران ومملوء بالبيتون، كعنصر يعمل بشكل جيد على الضغط المركزي أدى إلى إيجاد مقاطع بأشكال مختلفة من هذه العناصر ليتسنى استخدامها في مختلف المنشآت الهندسية والصناعية، فتستخدم العناصر المتعددة الأنابيب على شكل واسع النطاق كأعمدة معرضة للضغط المركزي، وكذلك في ركائز الجسور والأوتاد ذات الأقطار الكبيرة شكل (1).

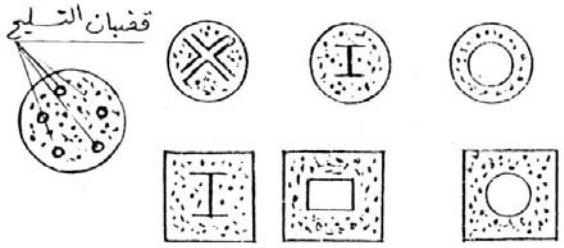
ولابد من الإشارة إلى أن مثل هذه العناصر تستخدم حالياً في البلدان المتطورة صناعياً: ألمانيا والصين وروسيا، وفرنسا، وبلجيكا، إيطاليا، كندا، الولايات المتحدة الأمريكية واليابـان.... ودول أخـرى لأن استخدامها يرتبط بتوفير الدراسة النظرية والتجريبية لطرق التصميم وإمكانية تصنيع المقاطع المطلوبة من الصفائح الفولاذية. ويمكن تسليح النواة البيتونية الداخلية بتسليح لين (قضبان معدنيـة) أو بتسـليح صلب (مقاطع فولاذية) كما في الشكل (2)، وهذا يؤدي إلى تخفيض قطر القشرة الفولاذية ومن ثَم يقلل من الأبعاد العرضية للمنشأة. ويمكن أن تأخذ القشرة الفولاذية أشكالاً أخرى كمقطع مستطيل أو مربـع شكل (2).

وتصّنع مثل هذه العناصر المركبة باستخدام صفائح معدنية بأشكال مختلفة: صـفائح ملسـاء صـفائح مضلعة أو صفائح مطواة (متموجة).



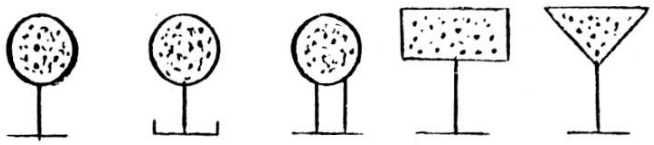
شكل رقم ـ 1 ـ

بينما تستخدم عناصر الأنابيب البيتونية المركبة كأعمدة ركنية، وكأعمدة حاملة للرافعات فـي الأبنيـة الصناعية، وغالباً ما تنفذ الأعمدة المعرضة لضغط لا مركزي من مقاطع مركبة بحيث يوضع الأنبوب في منطقة الضغط، وجزء المقطع الفولاذي في منطقة الشد، ويصنع الجزء الفولاذي من صفائح معدنية على شكل مقطع T أو I.



شكل رقم ـ 2 ـ

وتبدي المقاطع المركبة شكل (3) اقتصادية كبيرة من حيث مصروف المعدن عند استخدامها في حالـة الانعطاف كجوائز في الإنشاءات المعدنية.



شكل رقم ـ 3 ـ

وقد بينت الدراسة الاقتصادية التي أجراها البروفسور سنجروفسكي عند مقارنة مقاطع الأنابيب البيتونية مع مقاطع الإنشاءات المعدنية والبيتون المسلح باستخدام المؤشرات التالية: وزن المعدن، وزن المنشـأة الكلي، كلفة العمل، ثمن متر طولي للمنشأة، وكلفة التصنيع والتركيب، وتبين المقارنة ما يلي:

توفر الأعمدة المنفذة من أنابيب بيتونية وفراً اقتصادياً بوزن الحديد حتى 50 % بالمقارنة مع الأعمدة المعدنية المتعارف عليها هندسياً.

توفر الأنابيب المركبة شكل (3) عند استخدامها كجوائز وفراً مقداره 30 % من الحديد بالمقارنة مـع الجوائز المعدنية المعروفة الأخرى، وكذلك توفر 28 % من كلفة التركيب والإنشـاء وتـؤمن وفـراً

اقتصادياً 20 % من حيث الكلفة الاجمالية (كلفة صرف المواد الواحدة لكل منهما) بالمقارنة مع الجوائز المنفذة من البيتون المسلح.

أما من حيث العمل الستاتيكي لهذه المقاطع فهي تعمل بشكل جيد في حالة الضغط المركزي (أعمدة) وفي العناصر المضغوطة للجوائز المركبة (كجوائز شبكية) والأقواس.

5- مجالات استخدام الأنابيب البيتونية في المنشآت:

استخدمت الأنابيب الفولاذية المفرغة منذ أكثر من مئة عام، في أغلب المنشآت التقانية، والأبنية السكنية، ومنشآت الجسور (كركائز وجوائز) وفي صناعة الطائرات والسيارات وفي عام 1924م تعد ألمانيا أول دولة في العالم نفذت جائزاً شبكياً من الأنابيب الفولاذية المفرغة لسقف متكرر مجازه 9.25 م. وفي إيطاليا عام 1933م نُفّذ برج (Torre Littoria) مؤلف من ستة طوابق بارتفاع 115م من أنابيب فولاذية مفرغة بقطر وسماكة 432×14ملم. كما أنه تم استخدام الأنابيب البيتونية في المنشآت الأولى على شكل حزمة (باكيت) مؤلفة من مجموعة أنابيب مملوءة بالبيتون وذات أقطار صغيرة ونذكر على سبيل المثال الجسر القوسي المنفذ من قبل المهندس ميناجيه في الضاحية الجنوبية لباريس عام 1931م.

ونتيجة لمقاومة هذه العناصر ضغط الرياح بشكل جيد، استخدمت الأنابيب المعدنية المفرغة كأعمدة لأبراج محطات البث التلفزيوني والراديو في روسيا عام 1941م مما أدى إلى تخفيض المقاطع المستخدمة ووزن العناصر اللازمة كما هو موضح في [5].

مما سبق نستنتج أنه يمكن استخدام الأنابيب البيتونية كأعمدة للخزانات المائية، والأبنية السكنية، وكذلك في العناصر المضغوطة للمنشآت القوسية، والجوائز الشبكية ذات الفتحات الكبيرة، وفي أعمدة الإطارات. وتثبت هذه الأمثلة السابقة الدليل القاطع على اقتصادية الأنابيب البيتونية لاستخدامها في المنشآت الهندسية المختلفة.

6- الحالة الإجهادية للأنبوب البيتوني:

إن مسألة متانة واستقرار العناصر الإنشائية المنفذة من الأنابيب البيتونية ما زالت من المسائل الهامة والصعبة التي تواجهنا حتى الآن نظراً لوجود نظريات وآراء مختلفة من قبل الباحثين حول دراسة الحالة الإجهادية - التشوهية لمثل هذه العناصر. وذلك من اعتبار أن طاقة تحمل عناصر الأنابيب

البيتونية تمثل قيماً تجريبية ونظرية مختلفة كفرضيات أساسية للحصول على الحالة الحدية المعتمدة كما ورد في [1] و [3].

إن طريقة تعيين الحالة الإجهادية لعنصر الأنبوب البيتوني تحت تأثير الضغط المركزي تستند على نتائج التجارب المخبرية لعناصر الأنابيب البيتونية القصيرة ($\frac{L}{D} \leq 5$) المختبرة على الضغط المحوري. ومن نتائج التجارب المخبرية يمكن تعيين العلاقات بين الحمولة المحورية والتشوهات العرضية والطولية على التوالي ε_1 و ε_2 أي ($N-\varepsilon_1$ و $N-\varepsilon_2$) وبدلالة قيم التشوهات ε_1 و ε_2 يمكن إيجاد قيم الإجهادات في قشرة الأنبوب في الحالة المرنة باستخدام المعادلة العامة لقانون هوك:

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_2 + \gamma\varepsilon_1) \qquad (1)$$

حيث:

σ_2 – الإجهاد الناظمي للفولاذ بالاتجاه الطولي للأنبوب.

E – عامل المرونة للفولاذ.

ε_1 – التشوه النسبي العرضي.

ε_2 – التشوه النسبي الطولي.

ν - عامل التشوه العرضي = $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$، وقيمته $0.3 \leq \nu \leq 0.5$.

يمكن أن تعين الإجهادات في قشرة الأنبوب في المرحلة المرنة - اللدنة واللدنة باستعمال التشوهات المرنة اللدنة الصغيرة وهي صحيحة في حالات التحميل البسيط عندما تتغير مركبات التشوه بالنسبة لمتغير واحد. ولما كان الأنبوب يعمل في شروط التحميل المركب (ضغط - شد) لذا يمكن أن تعين شدة الإجهاد والتشوه في الأنبوب كما جاء في المصدر [6] بالعلاقات:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1 - \sigma_1\sigma_2} \qquad (2)$$

$$\varepsilon_i = \frac{2}{3}\sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 - \varepsilon_1\varepsilon_2 - \varepsilon_3\varepsilon_1 - \varepsilon_2\varepsilon_3} \qquad (3)$$

حيث:

σ_1 - الإجهادات الناظمية، المتكونة بشكل مماسي على السطح الخارجي للأنبوب (عرضي).

σ_2- الإجهادات الناظمية المتشكلة بالاتجاه الطولي للأنبوب (طولي).

σ_3- الإجهادات الناظمية المتعامدة على السطح الخارجي للأنبوب (قطري).

إن قيم σ_i الإجهاد الكلي وε_i التشوه الكلي يرتبطان فيما بينهما بالعلاقة:

$$\sigma_i = E'.\varepsilon_i \qquad (4)$$

حيث:

E`- ثابت متحول يعين كمماس للمنحني σ_i - ε_i

وبإهمال الإجهاد القطري $\sigma_3 = 0$ أي في الحالة المستوية للأنبوب تؤول المعادلتان (2) و (3) إلـى الشكل:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2} \qquad (5)$$

$$\varepsilon_i = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{1-\nu+\nu^2}{(1-\nu)^2}\left[\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_1\varepsilon_2\left(\frac{3\nu}{1-\nu+\nu^2} - 1\right)\right]} \qquad (6)$$

من أجل المادة غير المضغوطة ($\nu = 0.5$) في الحالة اللادنة تأخذ المعادلة (6) الشكل:

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_1\varepsilon_2} \qquad (7)$$

ومن المعلوم أن مركبات التشوه ترتبط بمركبات الإجهاد على النحو الآتي كما ورد في [6]:

$$\varepsilon_1 - \frac{1}{3}\theta = \frac{3}{2}E'(\sigma_1 - S) \qquad (8)$$

$$\varepsilon_2 - \frac{1}{3}\theta = \frac{3}{2}E'(\sigma_2 - S) \qquad (9)$$

$$\varepsilon_3 - \frac{1}{3}\theta = \frac{3}{2}E'(\sigma_3 - S) \qquad (10)$$

حيث:

$$\theta = \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)$$

$$S = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

من أجل المادة غير المضغوطة في الحالة الإجهادية المستوية لقشرة الأنبوب ومـن العلاقتـين (8) و (10) نجد:

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E'}(\sigma_2 - \frac{1}{2}\sigma_1) \qquad (11)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E'}(\sigma_1 - \frac{1}{2}\sigma_2) \qquad (12)$$

من العلاقتين (11) و (12) يمكن إيجاد الإجهادات الطولية في قشرة الأنبوب:

$$\sigma_2 = \frac{4}{3}E'(\varepsilon_2 + \frac{1}{2}\varepsilon_1) \qquad (13)$$

أما الحالة الإجهادية أحادية المحور في الحالة العامة تمثل بالمنحني الحاصل σ-ε الناتج مـن اختبـار مادة قشرة الأنبوب على الشد وتعين قيمة شدة الإجهاد والتشوه كالآتي:

$$\varepsilon_i = \frac{2}{3}(1+\nu)\varepsilon \qquad \text{و} \qquad \sigma_i = \sigma \qquad (14)$$

حيث:

ε- التشوه النسبي الحاصل من اختبار مادة الأنبوب على الشد، علماً بأن أغلـب النظريـات الحديثة تقيم الحالة الإجهادية للفولاذ عندما تكون قيم التشوهات $\varepsilon_i \le 0.03$.

من العلاقة (14) ومن شروط المادة غير المضغوطة فـي المرحلـة اللدنـة ($\nu = 0.5$) نـرى أن المخططين $\sigma_i - \varepsilon_i$ و $\sigma - \varepsilon$ متطابقان، وبناءً على ذلك فإن الثابت المتحول $E`$ يمكن أن يعين فـي المرحلة اللدنة من استخدام المنحني العادي $\sigma - \varepsilon$ لحالة الشد. وبعد تعيين قيم الإجهادات الطولية في الفولاذ بمعرفة ε_1 و ε_2 القيم التجريبية يمكن أن نوجد القوة الطولية التي تتحملها قشـرة الأنبـوب، ومن ثم نحسب القوة الطولية التي تتحملها النواة البيتونية من التركيب الفيزيائي للأنبـوب البيتـوني، و يمكن أن نكتب طاقة تحمله كما جاء في [2] من الشكل:

$$N = \sigma_C A_C + \sigma_S A_S \qquad (15)$$

حيث:

N – طاقة تحمل الأنبوب بكامله (الحمولة الحدية).

σ_c- الإجهاد الناظمي للنواة البيتونية.

σ_s- الإجهاد الناظمي لقشرة الأنبوب الفولاذي.

A_c - مساحة النواة البيتونية = πR^2.

A_s– مساحة فولاذ قشرة الأنبوب = $2\pi Rt$.

ومن المعادلة (15) نحسب قيمة الإجهاد في النواة البيتونية عند كل مرحلة تحميل تزداد فيها الحمولة تدريجياً

$$\sigma_C = \frac{N - \sigma_S A_S}{A_C} \qquad (16)$$

وبهذا الشكل نكون قد عينا الإجهادات في النواة البيتونية وقشرة الأنبوب، ومن قياس التشوه النسبي (تقلص) الطولي عند مراحل التحميل المختلفة للعنصر ككتلة واحدة (نواة + قشرة) نرسم العلاقة σ_C $\sigma_S - \varepsilon_2$ و $\sigma_C - \varepsilon_2$. وهذه العلاقات ضرورية جداً من أجل دراسة العناصر الطولية $(\frac{L}{D} > 5)$ على الضغط المركزي لتعيين حالتها الحدية ومعرفة فقدان توازنها الأولي عند وصول الحمولات على العنصر الحمولة الحرجة (أويلر)، وتحسب قيمة الحمولة الحرجة نظرياً بالعلاقة:

$$N_{Cr} = \frac{\pi^2 E' I}{L^2} \qquad (17)$$

حيث:

N_{cr} – الحمولة الحرجة (أويلر) للأنبوب بكامله.

E` - يمثل الثابت المماسي لمخطط (ε-σ) الناتج من عمل المادة على الشد.

I - عزم عطالة المقطع العرضي للأنبوب بكامله

L- طول العنصر.

ولما كان الأنبوب البيتوني مكوناً من مادتين (النواة والقشرة) تعملان بشكل مشترك فمـن الضـروري تعيين المخططات σ_S-ε_2 و σ_C-ε_2 وتعين الثوابت المماسية للتشوهات الطولية ε_2 للقشرة E'_S وللنواة البيتونية E'_C باشتقاق المنحنيات $\sigma = f(\varepsilon_2)$ حيث :

$$E'_S = \frac{\partial \sigma_S}{\partial \varepsilon_2} \quad \text{و} \quad E'_C = \frac{\partial \sigma_C}{\partial \varepsilon_2}$$

إن مشتق المنحنيات مبني على اعتماد طريقة النهايات الصغرى استناداً إلى المعادلة (17) يمكـن أن نعين الحمولة الحرجة للأنبوب البيتوني في حالة الضغط المركزي بالمعادلة:

$$N_{Cr} = \frac{\pi^2}{L^2}(E'_C I_C + E'_S I_S) \qquad (18)$$

وبتعبير آخر يمكن صياغة الحمولة الحرجة بدلالة الإجهادات الحرجة قبل ضياع التوازن بالعلاقة:

$$N_{Cr} = \sigma_C^{Cr} A_C + \sigma_S^{Cr} A_S \qquad (19)$$

ومن حل المعادلتين (19) و (18) نحصل على معادلة من أجل رسم المنحني (الحمولـة الحرجـة - الطول النسبي للعنصر) على النحو التالي:

$$\frac{L}{D} = 0.785\sqrt{\frac{E'_C + 2E'_S.\mu}{\sigma_C^{Cr} + \mu\,\sigma_S^{Cr}}} \qquad (20)$$

حيث:

D – قطر الأنبوب الفولاذي.

$\mu = \frac{A_S}{A_C} = \frac{2\,\pi\,Rt}{\pi\,R^2} = \frac{2t}{R}$ نسبة التسليح.

t- سماكة الأنبوب الفولاذي.

R- نصف قطر الأنبوب.

نلاحظ من المعادلة (20) أنه يمكن تعيين الحمولة الحرجة بدلالة الطول النسبي للعنصر (L:D).

7- دراسة التجارب المخبرية للأنابيب البيتونية تحت تأثير الضغط المركزي:

إن الغاية من التجارب المخبرية هي تعيين قيمة الحمولة الحرجة تجريبياً والتي عندها تفقد الأعمدة توازنها الطولي ومقارنة هذه الحمولة مع قيمتها المعينة بالطريقة النظرية. ومن هنا وضعت التجارب المخبرية استناداً على فكرة طاقة تحمل العنصر على المتانة تحت تأثير الضغط المركزي وفق العلاقة (15). ولما كانت الحمولة الحدية N للأنبوب البيتوني هي حاصل جمع القوتين الطوليتين في النواة البيتونية وقشرة الأنبوب.

عند اجراء التجارب المخبرية وفق مراحل التحميل المختلفة للأنبوب البيتوني بحمولات $O \leq Pi \leq N$ نلاحظ أن قيم الإجهادات الناظمية في النواة البيتونية وقشرة الأنبوب تمثل قيماً مجهولة. وبهذا الشكل نصادف عند أي مرحلة تحميل قيمتين غير معلومتين وحتى نتمكن من حل معادلة بمجهولين لابدّ من حذف إحداهما من المعادلة (15). فإما أن نقوم بحذف الإجهادات في النواة البيتونية وذلك استناداً على المخططات التجريبية للضغط المحوري $\sigma - \varepsilon$ للبيتون حيث يمكن في الحالة العامة أن نكتب هذه العلاقة كتابع كثير الحدود من الشكل:

$$\sigma_C = \sum_{m=o}^{n} A_m . \varepsilon^{n-m} \qquad (21)$$

وهذه العلاقة التقريبية التجريبية يمكن أن تكون من الدرجة الثانية. أما في الحالة العامة عندما يكون للبيتون عتبة سيلان واضحة عندئذ العلاقة (21) تمثل مخطط $(\sigma-\varepsilon)$ حتى بداية عتبة السيلان ويمكن أن نقترح من هذه العلاقة الحالة الخاصة المعروفة في [4] على سبيل المثال:

$$\sigma c = A . \varepsilon^{K} (1- \gamma \varepsilon) \qquad (22)$$

حيث γ و K و A ثوابت متحولة يتم تعيينها تجريبياً وفق ماركة البيتون وعندما $\varepsilon = \varepsilon_T^C$ و $\frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} = 0$.

إن العلاقة (22) تمثل بمنحنيات تجريبية وهي تحقق قانون هوك من أجل A=E و K=1 و $\gamma = 0$. أما في حالة الشروط $\gamma = 0$ و $\sigma_T = A$ و K= O فهي تحقق شروط الجسم الصلب واللدن.

ولكن يفضل دائماً أن نحذف قيمة الإجهادات في قشرة الأنبوب والتي يتم تعيينها من معادلـة الطاقـة الكامنة في الحالة المستوية بالعلاقة (1) وذلك في المرحلة المرنة من عمل الفولاذ أما فـي المرحلـة اللدنة فنستخدم المعادلة (13). وبعد معرفة قيمة الإجهادات في الفولاذ يمكن أن تعين قيمة الإجهـادات في النواة البيتونية من العلاقة (16).

إن الهدف الأساسي للبحث هو الحصول على قيمة الحمولة الحدية N للأنبوب البيتوني وكـذلك إيجـاد المنحنيات ($N - \varepsilon_1$) و ($N - \varepsilon_2$) التي توضح تغير الحمولة الحدية مع قـيم التشـوهات العرضـية والطولية والتي يتم رسمها في النقاط المطابقة لكل مراحل التحميل المختلفة.

وحتى نتمكن من استخدام العلاقات (1) و(13) و (16) لابدّ من التعيين المسبق لعدد مـن الخـواص الميكانيكية للمواد المكّونة للأنبوب البيتوني، والتي تؤدي دوراً هاماً في ربط هذه المتحولات.

وهذا يتطلب استخدام عينات إضافية من الفولاذ مأخوذة من قشرة الأنبوب بالاتجـاه الطـولي وكـذلك عينات اسطوانية من النواة البيتونية والتي يتم استخراجها من الأنبوب المملوء بالبيتون بالإضافة لعينات مكعبية من البيتون المعدّ لملء الأنبوب الفولاذي.

إن فكرة نظرية استقرار عناصر الأنابيب البيتونية تستند على التجربة لذلك لابد من الحصول على قيم الحمولات الحرجة تجريبياً ومقارنتها بالقيم النظرية الموافقة لها وفق الطريقة المقترحة الخاصـة بكـل باحث. لذلك فالتجارب الموضوعة على الأساس النظري تطابق الحالة الحدية والتي غالباً ما تسـتخدم مبادئ حساب المنشآت بالحالة الحدية عند وضع التجارب المخبرية.

لقد تمت الدراسة التجريبية في مخبر مدرسة العلوم الهندسية العليا- براك - الجماهيرية العربية الليبية العظمى. حيث تمّ تصنيع 6 عينات من الأنابيب الفولاذية المملوءة بالبيتون على شكل نموذجين مختلفين من الأعمدة بالإضافة إلى ثلاث عينات قصيرة بأطوال $\frac{L}{D} = 5$ ونبين خواصها الهندسية في الجداول (3)

الجدول رقم ـ 3 ـ

الخواص الهندسية للعينات المختبرة

النموذج	القطر الخارجي D mm	السماكة t mm	الطول الحسابي L mm	الطول الحقيقي l mm	مساحة قشرة الأنبوب A_S cm^2	مساحة النواة البيتونية A_C cm^2	العدد
I	102	2	1890	1800	6.41	78.45	3
II	90	4	2590	2500	11.31	58.06	3
III	102	2	590	500	6.41	78.5	2
IV	90	4	540	450	11.31	58.06	1

و- الخواص الميكانيكية للمواد المستخدمة:

لتحديد خواص فولاذ قشرة الأنبوب σ_T حد السيلان و ε_T التشوه النسبي أخذنا عينة اسطوانية من الأنبوب الفولاذي لكل نموذج بالاتجاه الطولي وقطعنا من هذه الأسطوانة 4 صفائح دائرية من أجل تصنيع عينات مستوية بأبعاد(L=350 mm وb= 20 mm). وأجري اختبار العينات في المخبر على مكبس هيدروليكي شدته 50 t؛ حيث تم وضع العينات بشكل صحيح بين فكي المكبس. إن حد السيلان وحد المقاومة المؤقتة للعينات على الشد أي مخطط(ε - N) رسم أتوماتيكياً على ورق مليمتري آلياً كما في الشكل (4). ولمعرفة حد السيلان σ_T والتشوه النسبي ε_T أخذنا القيمة الوسطية لنتائج القياس

$$\sigma_T = \frac{1}{n}\sum_{i}^{n=4}\sigma_{Ti}$$ ونبين هذه النتائج في الجدول (4)

الجدول رقم ـ 4 ـ قيم إجهاد السيلان وتشوه السيلان والإجهاد الأعظمي للعينات الفولاذية

السماكة t mm	حمولة السيلان Nti	الحمولة الوسطية $\overline{N}$ ti Kg	الحمولة العظمى Nmax Kg	الحمولة الوسطية $\overline{N}$ max	σ_T kg/cm^2	σmax kg/cm^2	ε_T 1.10^{-3}	E kg/cm^2 1.10^6
4	2310 2298 2308 2300	2304	2805 2800 2793 2802	2800	2880	3500	1,749	2,1

2	1565 1582 1570 1571	1572	1804 1809 1808 1809	1807,5	3930	4518.7	1.82	2,1

أما بالنسبة لخواص البيتون المستخدم لملء كل الأنابيب الفولاذية تكوّن من اسمنت بورتلاندي وبحص بأقطار تتراوح بين 5 - 20 mm ونسبة الماء إلى الاسمنت 0.55.

وتمّ تعيين متانة البيتون تجريبياً بواسطة 3 عينات مكعبية بأبعاد 15 × 15 × 15 cm حيث أجرينا اختبار المكعبات بعد مرور 28 يوماً من تاريخ ملء الأعمدة وكانت المقاومة المكعبية $f'_{co} = 250$ kg/cm^2. وللتحقق من صحة الخواص الميكانيكية للمواد المستخدمة عند اختبار العينات، أجريت تجارب أخرى إضافية على عينات من الأنابيب البيتونية القصيرة والمصنعة بشروط تصنيع الأعمدة نفسها وبأطوال $\frac{L}{D} = 5$ أخذت من الأعمدة نفسها كما بيّنا خواصها الهندسية في الجدول (3). قبل إجراء التجربة وعلى كل عنصر في منتصف طوله ألصقنا مؤشرات كهربائية لقياس التشوهات الطولية والعرضية كما في الشكل (5). ولمعرفة الحالة الإجهادية للأنبوب القصير المملوء بالبيتون أثناء عملية التحميل بالحمولات المؤقتة الضاغطة استخدمنا الطريقة النظرية المقترحة في هذا البحث. فمن أجل العينات القصيرة D102 × 2 mm

نعين إجهاد الضغط في النواة البيتونية بالعلاقة (16):

$$\sigma_T^C = \frac{N_{\varepsilon=\varepsilon_T} - \sigma_T . A_S}{A_C}$$

$$A_C = \frac{\pi D^2}{4} = 78.54 \quad cm^2$$

$$A_S = \pi D t = 6,41 \ cm^2$$

$$\sigma_T = 3930 \ kg/cm^2$$

$$E = 2,1 . 10^6 \ kg/cm^2$$

$$N_{\varepsilon=\varepsilon_T} = \frac{N_1 + N_2}{2} = \frac{70 + 76}{2} = 73 \ t$$

$$\sigma_T^C = \frac{73 . 10^3 - 3930 . 6,41}{78,54} = 608,7 \ kg/cm^2$$

ويعين تشوه السيلان في الفولاذ:

$$\varepsilon_T^S = \frac{\sigma_T}{E} = \frac{3930}{2{,}1.10^6} = 187{,}14 \ . \ 10^{-5}$$

تعد هذه الفرضية المقترحة أن الأنبوب البيتوني يعمل بالاتجاه الطولي مما يبسط مخطط عمله وفي الوقت نفسه نتمكن من حساب إجهاد النواة البيتونية.

وكذلك نبين نتائج لختبار عينة قصيرة واحدة D 90 × 4 mm في الجدول (5)

الجدول رقم ـ 5 ـ

مراحل التحميل	القوة الطولية في العنصر t	التشوه الطولي $\varepsilon^2.10^{-5}$	التشوه العرض $\varepsilon 1.10^{-5}$	ثابت التشوه العرضي للفولاذ ν	ثابت المرونة المتحول E` Kg/cm^2	الإجهاد الطولي في البيتون kg/cm^2	القوة الطولية في البيتون t	القوة الطولية في الفولاذ t	الإجهادات الطولية في الأنبوب kg/cm^2
1	20.5	53.1	16	0.3	$2{,}1.10^6$	160	8.25	12.25	1113
2	30.5	82	24.8	0.3	$2{,}1.10^6$	225	11.6	18.9	1719
3	40.7	116	36	0.3	$1{,}1.10^6$	272	14	26.7	2425
4	46.8	160	74	0.45	$1{,}73.10^6$	832	16.6	30.2	2750
5	50.5	220.6	120	0.50	$1{,}31.10^6$	822	19.7	30.8	2800
6	55.5	451	300	0.5	$0{,}64.10^6$	538	27.7	27.8	2535
7	60.5	703	499	0.5	$0{,}432.10^6$	617	31.7	28.7	2610

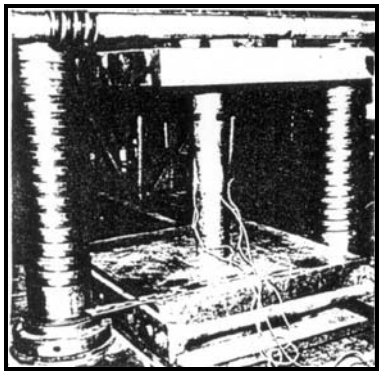
نبين في الجدول (5) نتائج حساب الإجهادات لأنبوب بيتوني D90×4mm مملوء بالبيتون ذي مقاومة مكعبية $f'_{Co} = 250\ kg/cm^2$ في مراحل التحميل المختلفة. ومن الجدول (5) نلاحظ أن الإجهادات الطولية في قشرة الأنبوب تصل قيمها الأعظمية في مرحلة التحميل الخامسة وبعد تزايد الحمولة تدريجياً على الأنبوب البيتوني بشكل عام تبدأ بالتناقص. الإجهادات الأعظميةفي القشرة قريبة من حد السيلان كما هو مبين في الجدول (6) ولاتزيد في آخر مرحلة عن % 1.5-3 وعندها الإجهادات العرضية ليست كبيرة وتبلغ حوالي 5% من حد السيلان.

الجدول رقم ـ 6 ـ قيم الإجهادات الطولية والعرضية في القشرة

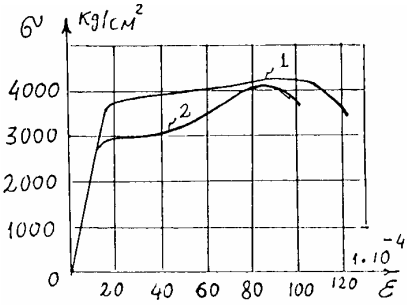
قطر الأنبوب D mm	حد السيلان σ_T kg/cm^2	الاجهادات الطولية الأعظمية kg/cm^2	الإجهادات الطولية الأعظمية في % من σ_T	الإجهادات العرضية في القشرة kg/cm^2	الإجهادات العرضية في % من σ_T
90	2880	2800	97.22	155	5.37
102	3900	3800	97.43	248	6.36

أما العناصر الطويلة فقد تم اختبارها على مكبس هيدروليكي قدرته 300t وذلك بعـد تـأمين شـروط استناد مفصلية باستخدام مفاصل اسطوانية تسمح بالدوران لمقطع العمود المستند في مستوى التحميـل. وعند إجراء التجارب المخبرية المختلفة أجريت كل القياسات الضرورية من سهوم وتشوهات طوليـة وعرضية خلال مراحل التحميل المختلفة. إن التشوهات الطولية تم قياسها بواسطة مؤشرات كهربائيـة (درجة قياسها 0.001 mm) والسهوم بمقياس درجة 0.01mm وتم تعيينها في 3 مقاطع معينة على طول العنصر (في الوسط وفي المقاطع الواقعة على مسافة 1/4 من المنتصف) والموافقة لقيم الحمولة المطبقة على العينة من مقياس المكبس:

قبل اختبار الأعمدة أخضعت العينات لحمولة مؤقتة بشكل مسبق قيمتهـا Ncr 0.35 مـن الحمولـة الحرجة وذلك للتحقق من عمل الأجهزة القياسية من حيث صلاحيتها وتثبيتها وتطبيق الحمولة الطولية. أثناء التجربة زدنا مقدار الحمولة على درجات وكل درجة t 1.5 وتمّ قياس الخواص المحددة للحالـة الإجهادية - التشوهية للأعمدة بعد مرور 15 - 20 دقيقة من تثبيت قيمة الحمولة عنـد كـل درجـة تحميل.



الشكل رقم ـ 5 ـ



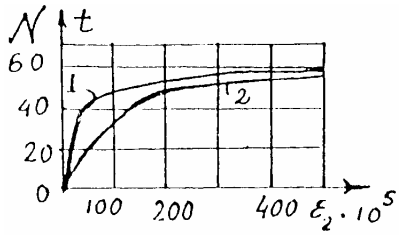
الشكل رقم ـ 4 ـ

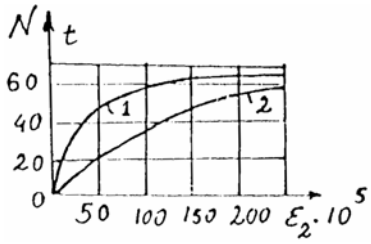
مخطط σ–ε شد العينات الفولاذية

1- الأنبوب الفولاذي D102×2 mm

2- الأنبوب الفولاذي D 90×2 mm

ومن أجل قيمة الحمولة الحرجة تجريبياً، والتي تصف الحالة الحدية للعمود، أخذت القيمـة الأعظميـة وفق مؤشر المكبس والتي عندها ازدادت التشوهات بشكل حدي وكبير ورافقها هبـوط الضـغط فـي المكبس أو هبوط انسيابي لضغطه. ومع زيادة الحمولة حصلت زيادة في السهوم والتي حددت فقـدان توازن الأعمدة مع ظهور تشوهات على طول الأنبوب في الاتجاه العرضي أو تشوهات موضعية فـي قشرة الأنبوب.





شكل رقم ـ 6 ـ

علاقة الحمولة الطولية مع التشوهات الطولية والعرضية لقشرة الأنبوب البيتوني

a) من أجل أنبوب D90 ×4 mm b) لأنبوب D102×2 mm

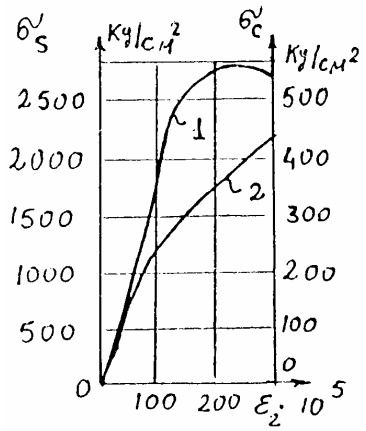
1) تشوهات عرضية **2) تشوهات طولية**

من نتائج التجارب المخبرية الموضوعة في الجـدول (7) والعلاقـات الحاصـة (N-ε) و (σ - ε) الموضحةفي الأشكال (6 و 7 و 8 و 9) يتبين أنه في المراحل الأولى للتحميل علاقـات التشـوهات الطولية والعرضية بدلالة الحمولة قريبة من الخطية (حالة مستقيم). وتصبح غير خطية عنـدما تصـل الحمولات 0.7 - 0.8 Nmax.

الجدول الرقم ـ 7 ـ قيم الحمولة الحرجة النظرية والتجريبية والفرق بينهما

النموذج	القطر mm	العدد	$\mu = \frac{A_s}{A_c}$	E Kg/cm^2	الحمولة الحرجة 1.10^3		الفرق بين القيمتين النظرية والتجريبية %
					النظرية	التجريبية	
I	102	3	0.0816	$2,1.10^6$	53.3	51.5 49.6 50.2	3.37 6.94 5.81
II	90	3	0.1947	$2,1.10^6$	30.5	29.5 28.3 27.8	2.31 6.29 7.95

وفي هذه الحالة يلاحظ تزايد في التشوهات العرضية بشكل ملحوظ مع التشوهات الطولية لحالة العينات القصيرة. أما في حالة العينات الطويلة فإن تشوهها يماثل العينات القصيرة عندما تكون السهوم صغيرة نسبياً. إن السهوم تبدأ بالتزايد عند حمولات $(0.8\text{-}0.9)N_{c\ r}$ وبشكل مفاجئ تزداد السهوم في العنصر ثم يتشوه تدريجياً حتى يفقد توازنه.

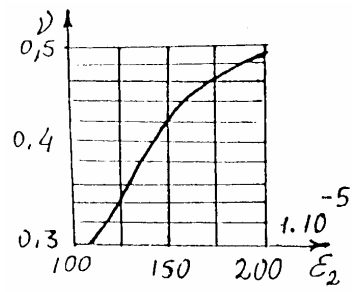


الشكل رقم ـ 7 ـ

العلاقة بين الإجهادات الطولية والتشوهات في النواة والقشرة للأنبوبD102×2 mm

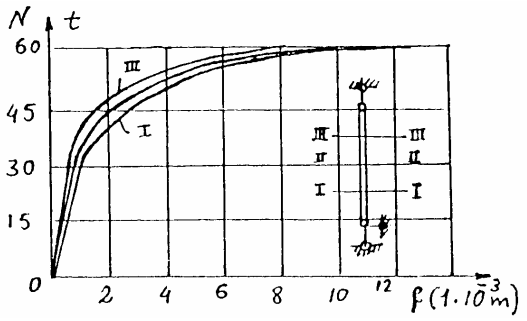
1- العلاقة (σ-ε_2) إجهاد القشرة

2- العلاقة (σ-ε_2) إجهاد النواة البيتونية مع التشـوه الطولي.



الشكل رقم ـ8 ـ

تعيين ثوابت بواسون لحالة الضغط المحوري لقشرة الأنبوب البيتوني D90×4 mm



الشكل رقم ـ 9 ـ

العلاقة بين الحمولة والسهم N-f في المقاطع الحسابية للأنبوب D102×2

إن قيم الحمولات الحرجة الحاصلة من التجارب المخبرية موضحة في الجدول (7) وكذلك نبين نتـائج مقارنة قيمها مع قيمها النظرية، الفرق الوسطي $\frac{N^\circ - N}{N^\circ}\%$ بين القيمتين لا يزيد 8% وهذا إلـى حد ما مقبول مقارنة بالحدود المسموحة مما يثبت صحة الفرضيات الموضوعة لهذه الطريقة المقترحة لحساب الأنابيب البيتونية.

8- نتائج وملاحظات ختامية:

آ- تكمن أهمية هذا البحث في اقتراح أشكال جديدة للعناصر الانشائية الحاملة مكونـة مـن أنبـوب فولاذي رقيق السماكة ومملوء بالبيتون (أنبوب بيتوني) ليعمل بشكل جيد على الضغط المركزي.

ب- يمكن استخدام الأنابيب الفولاذية المملوءة بالبيتون في العناصر الإنشـائية المركبـة (أعمـدة – جوائز) المنفذة من البيتون المسلح أو الإنشاءات المعدنية نظراً لاقتصاديتها العالية لتعمـل فـي منطقة الضغط لمثل هذه العناصر عند تعرضها لعزوم الانعطاف والفتل أو الضغط اللامركزي.

جـ- تمت دراسة الحالة الإجهادية للأنبوب البيتوني تحت تأثير قوى الضغط المركزي لمعرفة حالته الحدية مستخدمين المبادئ الأساسية لحساب الإنشاءات والبيتون المسلح، وكذلك اقتـراح شـكل للعلاقة الرياضية $\sigma = f(\varepsilon)$ لإجهاد النواة البيتونية.

د- تم اجراء التجارب المخبرية لمعرفة طاقة تحمل أعمدة الأنابيب البيتونية القصيرة والطويلة تحت تأثير الضغط المركزي.

هـ- تمّ تعيين عامل التشوه العرضي (بواسون) ν في الحالة المرنة اللادنـة مـن عمـل الأنبـوب البيتوني.

إن هذه التجارب سمحت لنا بدراسة طبيعة عمل هذه الأعمدة حتى ضياع توازنها وتعيين قيمة الحمولة الحرجة ومقارنتها مع الحمولات الحرجة المحسوبة بشكل نظري وفق أويلر، حيث تم الحصول علـى نتائج مرغوب بها وضمن المجال المسموح به.

المراجع

1- Gardner N.I Design of Pipe Columns. « Engineering. J » Can, vol. 53/3 No 3 , 1979.

2- Gardner N.I Use of spiral Welded steel tubes in Pipe columns. ACJ.J Proceeding vol. 65, Nov. 1978, P. 937-942.

3- Neogip; sen H. Chapment. Concrete- Filled tubular Steel columns under eccentric loading the structurael Eng. 1975. 47, No 5.

4- Motaoa I. A. Opredelenie prochnost sostavnikh balok S trobobetonnim verkhnim poisom. « Eng. J. »: Novie metodi rachota stroetelnikh konstrokts: Megvoz. Temat. Sb. Tr. L.: LISI , 1989.

5- Rosnovski V.A. Trobobetonom V mostostroeni. M., Transgel. Dorisdat. 1976.

6- Timoshenko S.P., young. Theory of elasticity, Mc. Grawhill Newyork 1951.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 1998/5/3.

Studying the Stability of Steel Pipes Full of Concrete

Ibrahim Al- Jarad
Civil Engineering
University of Damascus

Abstract

In this research paper, engineering properties of structural elements formed of combined metalic sections are compared with the suggested structural element made of steel pipes full of concrete.

Such a comparison is carried out for bending and torsion carrying capacities of above mentioned elements with the same height and cross-section.

Structural characteristics and material properties of steel pipes full of concrete are presented.

The Study of stress state created in concrete pipes using the general principles of structures mechanics is presented. A special relation to determine the carrying capacity of the concrete pipe under various levels of axial compression is suggested.

Theoretical results got on the basis of Euler equation are compared with experimental results of special specimen tested in laboratory. A good agreement between theoretical and experimental results is demonstrated.