Syrian Arab Republic
Al-wataniya Private University
Hama

الجمهورية العربية السورية
الجامعة الوطنية الخاصة
حماه

الاستثمار الأمثل لفولاذ التسليح في العناصر البيتونية الخاضعة للشد المركزي (1)

الجزء الأول (مبدأ الحساب)

مهندس الرأي، الأستاذ الدكتور أحمد عبود*

ملخص

تستخدم العناصر البيتونية المسلحة الخاضعة للشد بشكل واسع أثناء تصميم تنفيذ المنشآت البيتونية المسلحة . وفي مختلف الظروف وشروط الاستثمار، وفي الأوساط المختلفة.

عند استخدام هذه العناصر في الأوساط الضارة بفولاذ التسليح، يمنع عادة نشوء التشققات في البيتون لكي يقوم بدوره في حماية حديد التسليح. ويتم الحساب باعتبار أن البيتون غير متشقق، وبالتالي فهو يعمل جنباً الى جنب مع حديد التسليح لمقاومة الحمولات الخارجية.

أما عند استخدامها في الأوساط غير الضارة بحديد التسليح، فيسمح بنشوء التشققات في البيتون، ويكون البيتون غير عامل، وبالتالي فإن حديد التسليح يعمل لوحده.

يخطئ كثير من المهندسين عندما يعتقدون أن طاقة تحمل العنصر في الحالة الأولى أكبر من طاقة تحمل العنصر المماثل، العامل في الحالة الثانية.

لذا تمت كتابة هذه المقالة لتصحيح هذا الخطأ الشائع. ويتضمن الجزء الأول مبدأ الحساب ويتضمن الجزء الثاني أمثلة مختلفة للحساب، تشمل جميع الحالات الممكنة للعناصر البيتونية المسلحة العادية أو مسبقة الإجهاد.

Optimal design of reinforcement in reinforced concrete elements subject to central tension (1)

Part One (The Principle of Calculation)

* Professor Dr. Ahmad Abboud

abstract

Tensioned reinforced concrete elements are widely used in the design and implementation of reinforced concrete structures, in various conditions and investment terms, and in different environments.

When these elements are used in environments that are harmful to reinforcing steel, cracks are usually prevented in the concrete in order to protect the reinforcing steel. The calculation is made on the assumption that the concrete is not cracked, and therefore it works together with the reinforcement to resist external loads.

When used in environments that are not harmful to the reinforcement, cracks are allowed to form in the concrete, and the concrete is not working, and thus the reinforcement works alone.

Many engineers make a mistake, believing that the bearing capacity of the element in the first case is greater than the bearing capacity of the similar element, working in the second case.

The first part includes the calculation principle and the second part includes different examples of calculation, covering all possible cases of reinforced or prestressed concrete members.

* أستاذ الهندسة الإنشائية في الجامعة الوطنية الخاصة – حماه – الجمهورية العربية السورية.

* Professor of Structural Engineering at the National Private University - Hama - Syrian Arab Republic.

Syrian Arab Republic
Al-wataniya Private University
Hama

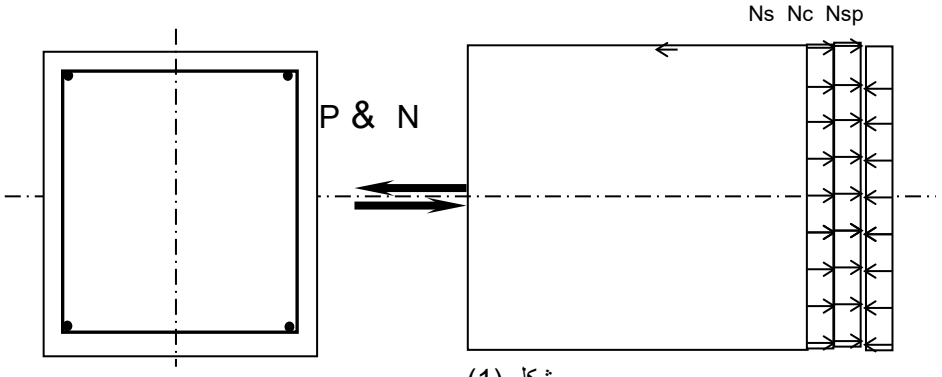
الجمهورية العربية السورية
الجامعة الوطنية الخاصة
حماه

الاستثمار الأمثل لفولاذ التسليح ي العناصر البيتونية المسلحة الخاضعة للشد المركزي (1)

الجزء الأول (مبدأ الحساب)

مهندس الرأي، الأستاذ الدكتور أحمد عبود*

إذا أخذنا مخطط الجسم الحر لجزء من شداد بيتوني مسلح شكل (1) نرى أن القوى المؤثرة عليه هي مجموعة قوى واقعة على محور واحد ، وذلك بعد الأخذ بعين الاعتبار أن قضبان التسليح موزعة بشكل منتظم حول محور العنصر .



شكل (1)

نعرف من الشكل (1) أن:

N ـ قوة الشد الخارجية .
Nc ـ قوة الشد في البيتون .
Ns ـ قوة الشد في الفولاذ .
P ـ قوة الإجهاد المسبق .
NsP ـ قوة الضغط الناتجة عن الإجهاد المسبق.

ولكي تكون جملة القوى هذه متوازنة يجب أن تتحقق معادلة التوازن :

$$\Sigma X = 0$$

$$N + Nsp = P + Nc + Ns \qquad (1)$$

فعندما تكون $N < P$ تكون قوى الشد في البيتون الفولاذ الناتجة عن الحمولات الاستثمارية معدومة . وتأخذ المعادلة (1) الشكل التالي :

$$N + Nsp = P \qquad (2)$$

أما عندما تكون $N = P$ تكون Nsp , Nc , Ns معدومة وتأخذ المعادلة (1) الشـــكل التالي:

$$N = P \qquad (3)$$

• أستاذ الهندسة الإنشائية في الجامعة الوطنية الخاصة – حماه – الجمهورية العربية السورية.
• Professor of Structural Engineering at the National Private University - Hama - Syrian Arab Republic.

وفي الحالة الثالثة ، عندما تكونP > N تكون قوة الضـــغط في البيتون معدومة وتأخذ المعادلة (1) الشكل التالي :

$$N = P + Nc + Ns \qquad (4)$$

وفي حال عدم وجود قوة إجهاد مسبق (العنصر غير مسبق الإجهاد) تأخذ المعادلة (1) الشكل التالي :

$$N = Ns + Nc \qquad (5)$$

تستثمر العناصر البيتونية المشدودة مركزياً عادة في الحالة الثالثة ، أي عندما تكون :

$$N > P$$

وفي هذه الحالة تكون المعادلة العامة لحساب العناصر الخاضعة للشد المركزي هي المعادلة (4)، أي :

$$N = P + Nc + Ns$$

وســوف نناقش هنا العناصــر غير مســبقة الإجهاد فقط أي عندما يكون P = 0 وبالتالي يكون N = Nc + Ns . ولحساب مكونات هذه المعادلة نكتب :

$$Ns = As.\sigma s$$
$$Nc = Ac.\sigma c$$

فتأخذ المعادلة الشكل التالي :

$$N = As\sigma s + Ac.\sigma c \qquad (6).$$

وفي الحالة الحدية يكون :

$$N = As\overline{\sigma s} + Ac.\overline{\sigma c}$$

حيث :

$\overline{\sigma s}, \overline{\sigma c}$ - الاجهاد المسموح به على الشد في البيتون والفولاذ على الترتيب .

تحسب قيمة إجهاد الشد المسموح في البيتون حسب الكود المعتمد. فهو يحسب حسب الكود الروسي بالعلاقة :

$$\overline{\sigma' c} = 3.22.\gamma.\sqrt[3]{f'c}$$

حيث :

f'c - المقاومة المميزة للبيتون على الضغط .

γ ـــ عامل يأخذ القيمة 0.8 للبيتون ذي الماركة B25 وما فوق والقيمة 0.7 للبيتون ذي الماركة B20 وما دون .

ولكن ما هي قيمة $\overline{\sigma s}$.وكيف تحسب؟ .

إذا رسمنا على مخطط واحد مخطط شد البيتون ومخطط شد الفولاذ ، نرى أنه يمكن اعتبار أن البيتون ينهار على الشد عند تشوه نسبي $\varepsilon c = 0.3\%$ ولكن الفولاذ ينهار عند تشوه نسبي يزيد عن 10% . شكل (2) .

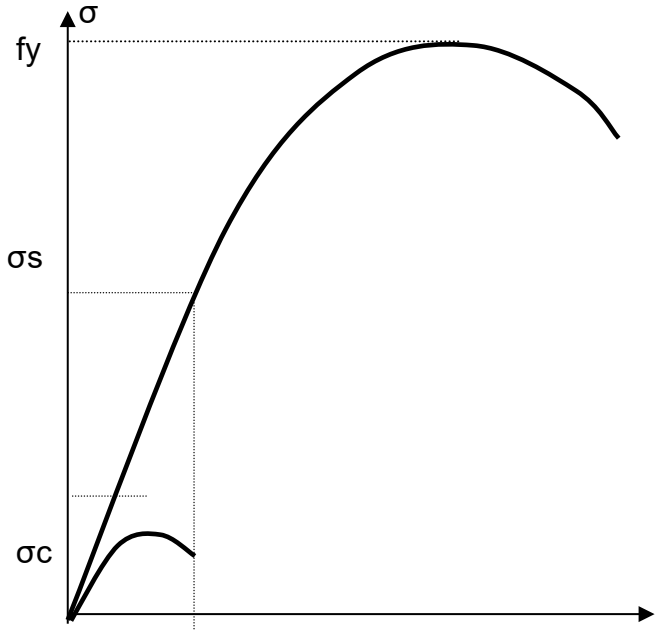
وباعتبار أن التماسك مطلق بين فولاذ التسليح والبيتون ، فان التشوه النسبي لهما واحد أي $\varepsilon_s = \varepsilon_c$. وبالتالي فلا يمكننا تشغيل فولاذ التسليح بالتوازي مع البيتون إلا ضمن حدود تشوه لا يزيد عن تشوه البيتون . وهنا نميز حالتين :

الحالة الأولى :

عندما يكون تشـوه الفولاذ والبيتون أصـغر من التشـوه الأعظمي للبيتون ، وعندها يكون البيتون والفولاذ عاملان بشكل مشترك .

الحالة الثانية :

عندما يكون تشوه فولاذ التسليح أكبر من التشوه المسموح به للبيتون . وعندها يكون البيتون متشققاً ، ويخرج من العمل بشكل كامل .



شكل (2)

وسوف نناقش هاتين الحالتين بالتفصيل :

الحالة الأولى :

يعمل البيتون والفولاذ بشكل مشترك . فنكتب ، في الحالة الحدية .

$$N = Ns + Nc \qquad (7)$$

$$N = As \cdot \overline{\sigma_s} + Ac \cdot \overline{\sigma'_c}$$

وباعتبار أن $\sigma c = Ec.\varepsilon c$ و $\sigma s = Es.\varepsilon s$ يكون:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_c \Rightarrow \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{\sigma_c}{E_c} \Rightarrow \sigma_s = \sigma_c \frac{E_s}{E_c}$$

نعوض فيكون :

$$N = As.\sigma c.\frac{Es}{Ec} + Ac.\sigma c \qquad (9)$$

$$N = Ac.\sigma c(1 + \frac{As}{Ac}.\frac{Es}{Ec})$$

$$N = Ac.\sigma c(1 + \mu.\frac{Es}{Ec})$$

$$N = Ac.\overline{\sigma}(1 + \mu.\frac{Es}{Ec}) \qquad (10)$$

وقد استخرجت العلاقة (10) للحالة الحدية .
وهذه هي العلاقة الأساسية للحساب في هذه الحالة .
ونورد في الجدولين التاليين القيم المعتمدة في الكود الروســـي لخواص البيتون والفولاذ، كون أغلب فولاذ التسليح المتوفر في بلادنا منتج وفق المواصفات الروسية .

Fy kg/Cm^2	Es kg/Cm^2	نوع الفولاذ
2350	2.1×10^6	A-I
2950	2.1×10^6	A-II
3900	2×10^6	A-III
5900	1.9×10^6	A-IV
7850	1.9×10^6	A-V
8900	1.9×10^6	A-VI
حسب القطر 14900-11000	2×10^6	B-II
حسب القطر 14900-11000	2×10^6	Bp-II
حسب القطر 19250-14500	1.8×10^6	K7
14100	1.8×10^6	K19

جدول (1)
قيم عامل مرونة فولاذ التسليح حسب الكود الروسي .

B35	B30	B25	B20	B15	B10	نوع البيتون
255	220	185	150	110	75	F'c
19.5	18	16	14	11.5	8.5	Fc
345000	325000	300000	270000	230000	180000	Ec

جدول (2)
قيم عامل مرونة البيتون ومقاومته للشد والضغط حسب الكود الروسي

.

الحالة الثانية:

يعمل الفولاذ وحده ، ويكون البيتون خارج العمل بشـــكل كامل وتصـــبح معادلة التوازن على الشكل التالي :

$$N=As.\sigma s \qquad (11)$$

وهنا نميز شكلين لعمل المقطع:

الشكل الأول :

يسمح بنشوء التشققات مهما كان عرضها. أي أن نستثمر الفولاذ بكامل طاقته أي :

$$\sigma s = Rs = fy$$

الشكل الثاني :

يسمح بنشوء التشققات ، ولكن لا يسمح بأن يزيد عرضها عن قيمة محددة . والقيمة المسموحة لعرض التشققات بالمليمتر a_{crc} موضحة في الجدول (3) . حسب الكود الروسي، وذلك انطلاقاً من شرط حماية فولاذ التسليح .

ويحسب عرض التشققات بالمليمتر a_{crc} حسب الكود الروسي بالعلاقة التجريبية التالية :

$$a_{crc} = \delta.\varphi l.\eta.\frac{\sigma s}{E}.20.(3.5-100\mu)\sqrt[3]{d} \qquad (12)$$

حيث :

δ ـ عامل الحالة الإجهادية للعنصر ويأخذ القيمة :

1 = δ ـ للعناصر الخاضعة للانعطاف والضغط اللامركزي و الشد اللامركزي .

1.2 = δ ـ للعناصر الخاضعة للشد المركزي .

شروط الاستثمار المنشأ	قضبان A-I,A-II,A-III,AIV وأسلاك B-I,Bp-I		قضبان A-V,A-VI وأسلاك B-II,Bp-II قطر < 3.5mm كابلات K7,K19		أسلاك B-II,Bp-II وكابلات قطر الاسلاك فيها 3.5mm >	
	حمولة مؤقتة	حمولة دائمة	حمولة مؤقتة	حمولة دائمة	حمولة مؤقتة	حمولة دائمة
في الجو المغلق	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
في الجو المفتوح أو في التربة تحت أو فوق مستوى المياه الجوفية	0.4	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2
في التربة حيث مستوى المياه الجوفية متذبذب	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1

جدول (3)

عرض التشققات المسموحة بالـ mm في العناصر البيتونية المسلحة حسب الكود الروسي

φl ــ عامل يأخذ بعين الاعتبار نوع الحمولة ويأخذ القيمة المبينة في الجدول (4) . وتصعد قيمة العامل φl للحالات 6…10 بضربها بالعامل k حيث :

0.8 = k ـ في حالة البيتون المشبع بالرطوبة .

k = 1.2 ـ في حالة الرطوبة المتذبذبة للبيتون .

الرقم	نوع الحمولة	ϕ_l
1	الحمولات قصيرة الأمد	1
2	الحمولات المتكررة وطويلة الأمد حسب نوع البيتون :	
3	بيتون ثقيل رطوبته طبيعية . بيتون ثقيل مشبع بالماء .	1.6+15μ
4	بيتون ثقيل رطوبته متذبذبة .	1.2
5	بيتون صغير الحصويات فئة A .	1.75
6	بيتون صغير الحصويات فئة B .	1.75
7	بيتون صغير الحصويات فئة C .	2
8	البيتون الخفيف .	1.5
9	البيتون الرغوي .	1.5 <
10		2.5 <

جدول (4)
قيمة العامل ϕ_l

μـ نسبة التسليح وتؤخذ بحيث لا تقل عن 02 . 0 .

d ــ قطر قضبان التسليح بالمليمتر ، ويؤخذ متوسطاً موزوناً لأقطار قضبان التسليح المستخدمة في حال استخدام أكثر من قطر في المقطع .

σ_s ـ الإجهاد في الفولاذ ، والناتج عن الحمولات الاستثمارية MPa .

E_s ـ عامل مرونة الفولاذ MPa .

η ـ عامل يأخذ بعين الاعتبار نوعية فولاذ التسليح وتؤخذ قيمته من الجدول التالي :

الرقم	نوع الفولاذ	η
1	للقضبان المحلزنة	1
2	للقضاء الملساء	1.3
3	الأسلاك المحلزنة الكابلات	1.2
4	الأسلاك الملساء	1.4

جدول (5)
قيمة العامل η