

الدراسة التحليلية للعناصر الخاضعة للانعطاف من البيتون المدعم بألياف فولاذية

رامية بديع غالية*

(تاريخ الإيداع 11 / 9 / 2007. قُبل للنشر في 2007/11/7)

□ الملخص □

انتشر استخدام البيتون الليفي في الآونة الأخيرة لميزاته وتفوقه على البيتون العادي خاصة عند استخدامه في المنشآت الهامة منها، والتي تكثر فيها الحالات الحرجة، ويتم حساب المقاطع وفق الطريقة الحدية باعتماد مخطط $(\sigma - \epsilon)$ لكن في حالة البيتون الليفي.

من الضروري الأخذ بالحسبان أثر وجود الألياف في هذا المخطط ومن ثمة في مقاومة المقاطع، حيث تعرضنا إلى دراسة حساب العناصر المستطيلة الخاضعة للانعطاف من البيتون المدعم بألياف فولاذية.

الهدف من هذا البحث هو دراسة تأثير خطأ استبدال مخطط إجهادات الضغط في البيتون المدعم بألياف فولاذية بمستطيل مكافئ أبعاده $c \times f \times \beta \times x$ حيث تعد كل من β و δ مساوية لـ 0.85، بدلاً من استخدام القيم الحقيقية الخاصة بحالة البيتون الليفي، ومن ثم الدراسة التحليلية للعناصر المستطيلة الخاضعة للانعطاف وإيجاد المعادلات بالحالة العامة بإدراج هذين الثابتين فيها، وإظهار الفرق بالأمتثلة. وقد اعتمدت الطريقة على تحديد أبعاد مستطيل الضغط بحيث تكون مساحته تساوي مساحة مخطط إجهاد التشوه للبيتون ومركز ثقله مطابق لمركز ثقل المخطط الأصلي.

الكلمات المفتاحية:

البيتون - الألياف الفولاذية - حمولات ضغط - النسبة الحجمية - عامل الشكل.

* قائمة بالأعمال - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

An Analytical Study of the Elements of Possible Bending Steel Fibers of Reinforced Concrete

Ramia Badee Ghalia *

(Received 11 / 9 / 2007. Accepted 7/11/2007)

□ ABSTRACT □

The use of fiber reinforced concrete has recently spread due to its characteristics and its superiority to ordinary concrete, specially when used in important constructions, with many critical cases, and in which calculation of the sections is done using the limited method of $(\sigma - \varepsilon)$ curve of fiber reinforced concrete. It is necessary to consider the effect of fibers existence on the curve and the strength of sections.

This paper studies the rectangular elements, which submit to bending of steel fiberreinforced concrete. It also examines the error which results from the substitution of actual stress block of steel fiber reinforced concrete with an equivalent rectangular stress block with dimensions of $\delta \times f'c$, $\beta \times x$ which consider that $\delta=\beta=0.85$ instead of the real parameters that had been dedused. It then studies the rectangular members which submit to bending of steel fiber reinforced concrete, and create the equations with the real parameters. In order to show the difference with examples, we dedused the relationship of rectangular stress block in function to the compression strength in terms of the reinforcing index $(V_f.L/\phi)$: ($V_f\%$ Volume Fraction – L/ϕ Aspect Ratio). We realized a constitutive equation describing the behavior of the steel fiber reinforced concrete.

This research aims to define the parameters of rectangular stress block by realizing that the essential attributes of the equivalent rectangular stress block should have the same area and centroidal height as those of the actual stress block.

Keywords: Concrete, Steel fibers, Compression loading, Volume Fraction, Aspect Ratio.

* Work Perfomer, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Teshreen University, Lattakia, Syria.

1 - مقدمة:

أجريت دراسات كثيرة لتحديد أبعاد المستطيل الذي سيتم مكافأته بدلا من مخطط إجهاد الضغط في حالة العناصر الخاضعة للانعطاف من البيتون العادي، واعتمد عند دراسة وتصميم العناصر الخاضعة للانعطاف بالطريقة الحدية التعويض عن δ, β بـ $\delta = \beta = 0.85$ أي تصبح أبعاد مستطيل الضغط المكافئ لمخطط الإجهاد على النحو التالي:

$$\sigma'c = 0.85 \times f'c \quad , \quad y = 0.85 \times x$$

حسب الكود العربي السوري

حيث أن: x : ارتفاع منطقة الضغط. $f'c$: المقاومة المميزة للبيتون على الضغط.

سنقوم في هذه الدراسة بتحديد قيم الثوابت δ, β للبيتون المدعم بألياف فولاذية، واستنتاج العلاقات الأساسية للعناصر المستطيلة الخاضعة للانعطاف منه، وتدعيم الدراسة بالأمثلة العملية التحليلية لحساب مسائل تختلف فيها قيم المقاومة المميزة للبيتون الليفي، ومن ثمة تختلف قيم الثوابت δ, β ، لإظهار ضرورة استخدام هذه الثوابت عند التصميم بهذا النوع من البيتون.

2 - أهمية البحث وأهدافه:

دخل البيتون المدعم بألياف فولاذية كمادة جديدة، مجال الاختبارات العلمية، وتمت الدراسات عليه لكن مع الأخذ بالحسبان تطبيقه في المنشآت الهامة في أماكن مختلفة من العالم. يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير تغير قيم الثوابت δ, β للبيتون الليفي في نتائج تصميم العناصر المستطيلة الخاضعة للانعطاف من هذا البيتون. حيث تحسب δ, β من منحى خاص بها والذي يحسبها بعلاقتها بالمقاومة المميزة للبيتون الليفي $f'cf$.

3 - طريقة البحث:

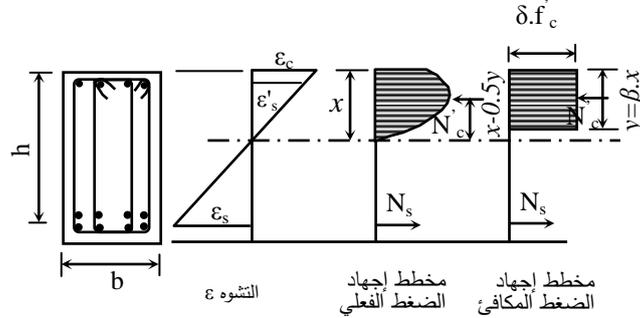
اعتمدت الدراسة على استبدال مخطط $\sigma-\epsilon$ في البيتون بمخطط آخر، شكله مستطيل مكافئ له من حيث المساحة وموقع مركز الثقل، وبالاتتماد على دراسة وتحليل النتائج المخبرية لأبحاث عالمية منها الأبحاث [1-2-3-4-5-6]. تم التوصل إلى تحديد علاقة مخطط $\sigma-\epsilon$ الخصائص الميكانيكية للبيتون الليفي [7]، ومن خلال ربطها مع مثيلاتها للبيتون العادي، ومع دليل التقوية للبيتون الليفي، أمكن حساب متحولات مخطط $\sigma-\epsilon$ للبيتون الليفي باستخدام الحاسب وبالاتتماد على برنامج إكسل، حيث تم التحليل وإيجاد الثوابت δ و β ، ورسم مخطط تغييرها مع $f'c$ [7]. ثم تحديد قيم الثوابت δ و β ورسم المخطط الموافق لهم على نحو أكثر دقة ومجال أكبر، وإيجاد المعادلات الخاصة بحالة العناصر المستطيلة الخاضعة للانعطاف من البيتون المدعم بألياف فولاذية.

4 - متحولات مخطط إجهاد الضغط للبيتون الليفي (S.F.R.C.):

استناداً إلى النموذج المقترح الذي يصف سلوك البيتون الليفي [7]، أمكن إيجاد متحولات مستطيل الضغط التي تمكننا من رسم مخطط إجهادات المستطيل وفقاً للقيم الحقيقية لـ δ و β في حالة البيتون الليفي، حيث يتم التعويض في الشكل (1) بـ $\delta, f'cf$ و $y = \beta \cdot x$ فيكون:

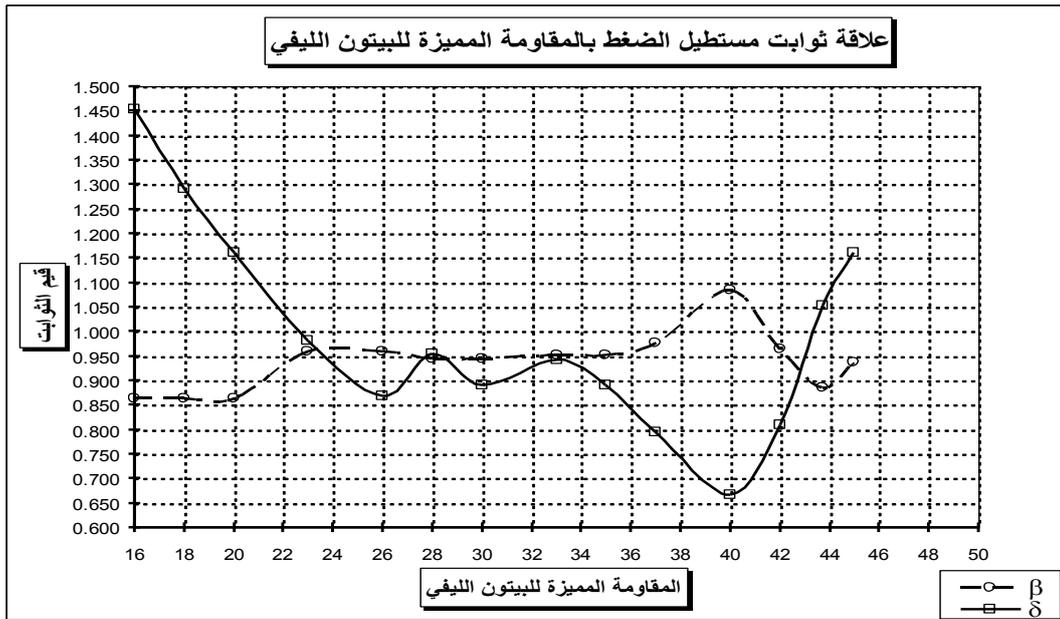
$$-f'cf \text{ (المقاومة المميزة للبيتون الليفي) تتعلق بـ } (Vf \text{ و } L/\phi \text{ و } f'c) [7].$$

- V_f هي النسبة الحجمية للألياف وهي عبارة عن عيار الألياف في الخلطة مقاساً بالحجم [1,2,4,3,6,5].
- L/ϕ عامل الشكل وهو نسبة طول الليف L إلى قطره ϕ [2,1,6,5,4,3].
- f'_c المقاومة المميزة للبيتون العادي.



الشكل (1): متحولات مخطط الإجهاد للبيتون الليفي بالانعطاف حالة التسليح الأحادي [7].

نحصل على المخطط الفعلي لقيم δ و β ، حيث نلاحظ أنه لا يوجد قيمة ثابتة لـ δ و β ، وهي تتغير تبعاً لقيمة مقاومة البيتون كما هو موضح في الشكل (2).



الشكل (2) علاقة ثوابت مستطيل الضغط (δ, β) بالمقاومة المميزة f'_{cf} للبيتون الليفي.

5 - العناصر المستطيلة الخاضعة لانعطاف:

5-1 - العناصر المستطيلة الخاضعة لانعطاف أحادية التسليح:

5-1-1 - العلاقات الأساسية:

يعتمد الحساب على شروط توازن القوى الداخلية والقوى الخارجية كما في الشكل (1):

$$\sigma'_c = \delta \times f'_{cf} \quad , \quad y = \beta \times x$$

$$\Sigma N = 0 \Rightarrow N'_c - N_s = 0 \Rightarrow \delta \cdot f'_{cf} \cdot b \cdot \beta \cdot x = A_s \cdot f_y \Rightarrow \delta \cdot f'_{cf} \cdot b \cdot y = A_s \cdot f_y \quad (I)$$

$$\Sigma M = 0 \Rightarrow \left\{ \delta \cdot f'_{cf} \cdot b \cdot y(d-0.5y) \right\} = \frac{M_u}{\Omega} \quad (II)$$

$$\Sigma M = 0 \Rightarrow \left\{ A_s \cdot f_y \cdot (d-0.5 \cdot y) \right\} = \frac{M_u}{\Omega} \quad (II)$$

لدينا بالحالة التوازنية:

$$\frac{y_b}{d} = \frac{\beta \cdot \epsilon'_c \cdot E_s}{\epsilon'_c \cdot E_s + f_y} \quad (1)$$

ومن شرط توازن القوى (I) نجد أن:

$$\frac{y_b}{d} = \mu_b \frac{f_y}{\delta \cdot f'_{cf}} \quad (2)$$

بمساواة (1) و(2) نحصل على μ_b :

$$\mu_b = \frac{\delta \cdot \beta \cdot \epsilon'_c \cdot E_s \cdot f'_{cf}}{(\epsilon'_c \cdot E_s + f_y) f_y} \quad (3)$$

$$\Rightarrow A_{SP} = \mu_b \cdot b \cdot d$$

$$\alpha_{max} = \frac{y_{max}}{d} = \frac{0.75 \times y_b}{d} = \frac{0.75 \times \beta \times \epsilon'_c \cdot E_s}{\epsilon'_c \cdot E_s + f_y} \quad (4)$$

$$\Rightarrow \mu_b = \frac{\delta \cdot \alpha_{max}}{0.75 \cdot f_y} \cdot (f'_{cf}) \quad (5)$$

$$\& \alpha_{max} = \frac{y_{max}}{d} = \mu_{Smax} \cdot \frac{f_y}{\delta \times (f'_{cf})} \quad (6)$$

إن العلاقات الأساسية في العناصر المستطيلة الخاضعة للانعطاف أحادية التسليح اعتمدت الفرضيات التالية :

$$\left. \begin{aligned} \alpha = \frac{y}{d} \Rightarrow y = \alpha \cdot d \\ \mu_s = \frac{A_s}{b \cdot d} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \alpha = \mu_s \frac{f_y}{\delta (f'_{cf})}$$

وبالتعويض في معادلات العزوم نحصل على المعادلات بدلالة α فيكون:

$$M_u = \Omega \cdot d^2 \left\{ \delta \cdot f'_{cf} \cdot b \cdot \alpha \cdot (1 - 0.5 \cdot \alpha) \right\} \Rightarrow$$

$$M_u = \Omega \cdot d \cdot [A_s \cdot f_y \cdot (1 - 0.5 \cdot \alpha)]$$

عندما يكون لدينا $\alpha = \alpha_{max}$ نحصل على M_u, max العزم الأعظمي الذي يتحمله المقطع بتسليح أحادي.

5-1-2-- حالات التصميم:

5-1-2-1- الحالة الأولى:

هي حالة تصميم كامل المقطع البيتوني مع التسليح اللازم له لمقاومة العزم المطبق عليه، في هذه الحالة نفرض قيمة ثابتة للعرض b ، ونفرض نسبة التسليح μ_s بين العظمى والدنيا:

$$\mu_{s\min} = \frac{0.9}{f_y} \leq \mu_s = \frac{A_s}{b.d} \leq \mu_{s\max} = \frac{0.75 \times \delta \times \beta \times \varepsilon'_c \cdot E_s (f'_{cf})}{(\varepsilon'_c \cdot E_s + f_y) f_y}$$

بالتعويض في معادلات التوازن:

باعتبار أن: $\gamma = (1-0.5 \times \alpha)$ و $A_o = \alpha \times (1-0.5 \times \alpha)$ فيكون:

$$d = \sqrt{\frac{M_u}{\Omega \cdot \delta \cdot f'_{cf} \cdot b \cdot A_o}} \quad (7)$$

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega \cdot d \cdot \gamma \cdot f_y} \quad (8)$$

نحسب A_s من العلاقة السابقة ونختار بعدها أبعاد المقطع الفعلية وقطر وعدد قضبان التسليح اللازمة لتحمل العزم المطبق.

5-1-2- الحالة الثانية:

هي حالة إيجاد التسليح اللازم، عندما تكون أبعاد المقطع معلومة والعزم المطبق معلوماً، في هذه الحالة نحسب α من علاقة العزم حول تسليح الشد:

$$M_u = \Omega \cdot d^2 \{ \delta \cdot f'_{cf} \cdot b \cdot \alpha \cdot (1-0.5 \cdot \alpha) \} \Rightarrow$$

وبعد إيجاد α نجري المقارنة التالية: في حال: $\alpha \leq \alpha_{\max}$ نحسب التسليح من العلاقة (8)

وفي حال: $\alpha > \alpha_{\max}$ يكون المقطع بحاجة لتسليح ثنائي.

5-1-3 حالات التحقيق:

هنا يكون معلوماً لدينا أبعاد المقطع والتسليح، ونريد معرفة العزم الأعظمي الذي يتحملة المقطع المفروض بأبعاده وتسليحه في هذه الحالة نقوم بمايلي:

نحسب $\mu_s = A_s / b \cdot d$ ومنها نوجد α الموافقة:

$$\alpha = \mu_s \cdot \frac{f_y}{\delta \cdot (f'_{cf})}$$

وهنا نواجه حالتين:

أ- $\alpha \leq \alpha_{\max}$: نعوض لنحسب M_u العزم الأعظمي الذي يتحملة المقطع من إحدى المعادلتين التاليتين:

$$M_u = \Omega \cdot d^2 \cdot \{ \delta \cdot f'_{cf} \cdot b \cdot \alpha \cdot (1-0.5 \cdot \alpha) \}$$

$$M_u = \Omega \cdot d \cdot [A_s \cdot f_y \cdot \varepsilon]$$

ب- $\alpha > \alpha_{\max}$: عندها يكون المقطع مسلحاً ليتحمل عزماً أكبر من العزم الأعظمي للتسليح الأحادي ومن ثمة

يتعلق تحمل المقطع بالطاقة القصوى للبيتون فنأخذ $\alpha = \alpha_{\max}$ و نحسب:

$$M_u = \Omega \cdot d^2 \cdot \{ \delta \cdot f'_{cf} \cdot b \cdot \alpha_{\max} \cdot (1-0.5 \cdot \alpha_{\max}) \}$$

وهو العزم الأعظمي الذي يتحملة المقطع البيتوني بتسليح أحادي.

2-5 - العناصر المستطيلة الخاضعة للانعطاف ثنائية التسليح:

1-2-2-5 - العلاقات الأساسية:

من شروط توازن القوى الداخلية والقوى الخارجية كما في الشكل (3):

نأخذ مجموع العزوم حول تسليح الشد فيكون:

$$M_u = \Omega \cdot [\delta \cdot f'_{cf} \cdot b \cdot y \cdot (d - 0.5 \cdot y) + A'_s \cdot f_y \cdot (d - a')]$$

ومن معادلة إسقاط القوى نحصل على:

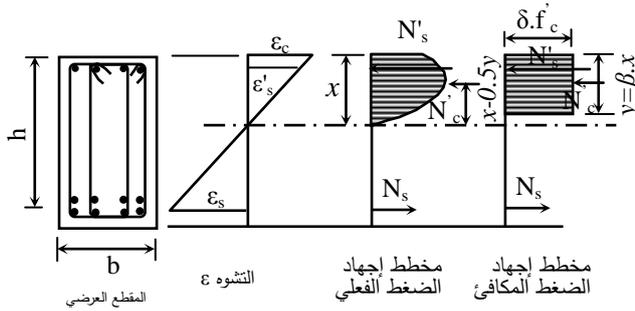
$$N'_c + N'_s = N_s \Rightarrow \delta \cdot f'_{cf} \cdot b \cdot y + A'_s \cdot f_y = A_s \cdot f_y \Rightarrow (A_s - A'_s) \cdot f_y = \delta \cdot b \cdot y \cdot f'_{cf}$$

ويجب أن يتحقق الشرطان التاليان:

$$\mu_s - \mu'_s \leq \mu_{s \max}$$

$$y \leq y_{\max}$$

والتحقق من وصول التسليح المضغوط إلى حد السيلان.



الشكل (3): متحولات مخطط الإجهاد للبيتون اللبفي بالانعطاف حالة التسليح الثنائي.

2-2-2-5 -- حالات التصميم:

1-2-2-5 - الحالة الأولى:

نصادف المقاطع ثنائية التسليح في حال كون المقطع مفروض الأبعاد، ويطلب حساب A_s و A'_s . نحسب

أولاً القيمة القصوى للعزم التي يتحملها المقطع بتسليح أحادي:

فيكون $\alpha = \alpha_{\max} \Leftarrow y = y_{\max}$

$$M_{u1 \max} = \Omega \cdot d^2 \cdot [\delta \cdot f'_{cf} \cdot b \cdot \alpha_{\max} \cdot (1 - 0.5 \cdot \alpha_{\max})]$$

وهي قيمة العزم الأعظمي الذي يتحملة المقطع بتسليح أحادي وتكون قيمة التسليح الموافقة على النحو التالي:

$$A_{s1 \max} = \frac{M_{u1 \max}}{\Omega \cdot d \cdot \gamma \cdot f_y}$$

عندما يكون $M_{u1 \max} < M_u$ فيكون التسليح ثنائياً، وهنا نحسب العزم الباقي $\Delta M_u = M_u - M_{u1 \max}$ ثم نحسب

تسليح الضغط والتسليح المقابل من العلاقة التالية:

$$A'_S = A_{S2} = \frac{\Delta M_u}{\Omega \cdot f_y (d - a')} \Rightarrow A_S = A_{S1max} + A_{S2}$$

5-2-2-2- الحالة الثانية:

يكون في هذه الحالة أبعاد المقطع معلومة وكذلك A'_S (تسليح الضغط) ويطلب حساب (تسليح الشد) A_S ، كما في حالة البيتون العادي نحسب:

$$\Delta M_u = \Omega \cdot A'_S \cdot f_y (d - a') \Rightarrow \\ M_{u1} = M_u - \Delta M_u$$

نحسب α من معادلة M_{u1} التالية:

$$M_{u1} = \Omega \cdot d^2 \cdot \{ \delta \cdot f'_{cf} \cdot b \cdot \alpha \cdot (1 - 0.5 \cdot \alpha) \}$$

نحسب A_{S1} المقابلة لـ M_{u1} من العلاقة (8) ومن ثم $A_S = A_{S1} + A_{S2}$ وهو التسليح اللازم في منطقة الشد، وفي حال عدم وصول التسليح المضغوط إلى حد السيلا نعيد الحساب بتعويض قيمة f'_s الحقيقية في علاقة العزم ثم نحسب A_S من المعادلة التالية:

$$A_S = \frac{\delta \cdot b \cdot y \cdot (f'_{cf}) + A'_S \cdot f'_s}{f_y}$$

5-2-3- حالات التحقق:

في هذه الحالة يكون المطلوب حساب تحمل المقطع $M_u = ?$ ، وتكون كل من أبعاد المقطع والتسليح في منطقتي الشد والضغط معلومة:

نفرض في هذه الحالة أن A'_S وصل حد السيلا ونحسب كما في حالة البيتون العادي:

$$\Delta M_u = \Omega \cdot A'_S \cdot f_y (d - a') \Rightarrow A_{S1} = A_S - A'_S \Rightarrow$$

ونقارن ما يلي:

أ- في حال تحقق $\epsilon'_s \geq \epsilon'_y$ أي وصل A'_S حد السيلا نوجد M_{u1} بالعلاقة التالية:

$$M_{u1} = \Omega \cdot d^2 \cdot [\delta \cdot f'_{cf} \cdot b \cdot \alpha_1 \cdot (1 - 0.5 \cdot \alpha_1)] \Rightarrow M_u = M_{u1} + \Delta M_u$$

أما في حال $\epsilon'_s < \epsilon'_y$ نحسب f'_s من العلاقة: $f'_s = \epsilon'_C \cdot E_S \cdot \frac{y - \beta \cdot a'}{y}$ ونعوض في العلاقات.

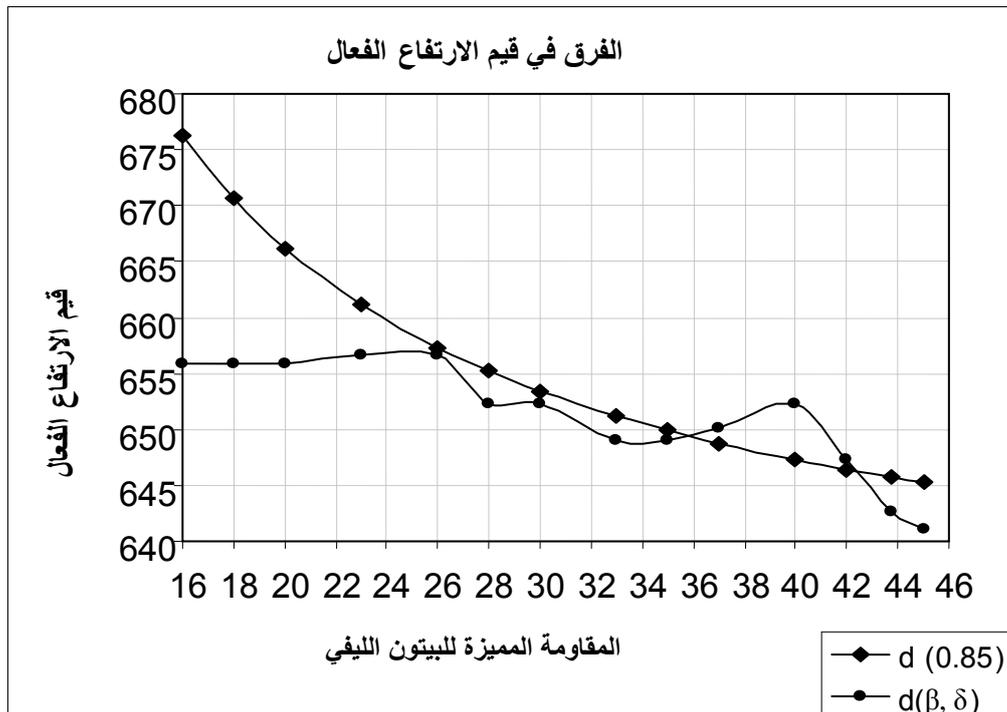
5-3- النماذج الحسابية:

5-3-1- النموذج الأول:

في هذا النموذج تعرضنا إلى حالة جانز بيتوني مقطعه مستطيل معرض لعزم انعطاف $M_u = 450 \text{ KN.m}$. يطلب تصميم هذا الجانز لكي يتحمل العزم المطبق علماً أن f'_{cf} تتغير ضمن المجال $[16 \sim 45] \text{ Mpa}$ ، وهو المجال الذي ستنتم عليه الدراسة و $f_y = 360 \text{ MPa}$ ثابت لجميع الاحتمالات في النموذج.

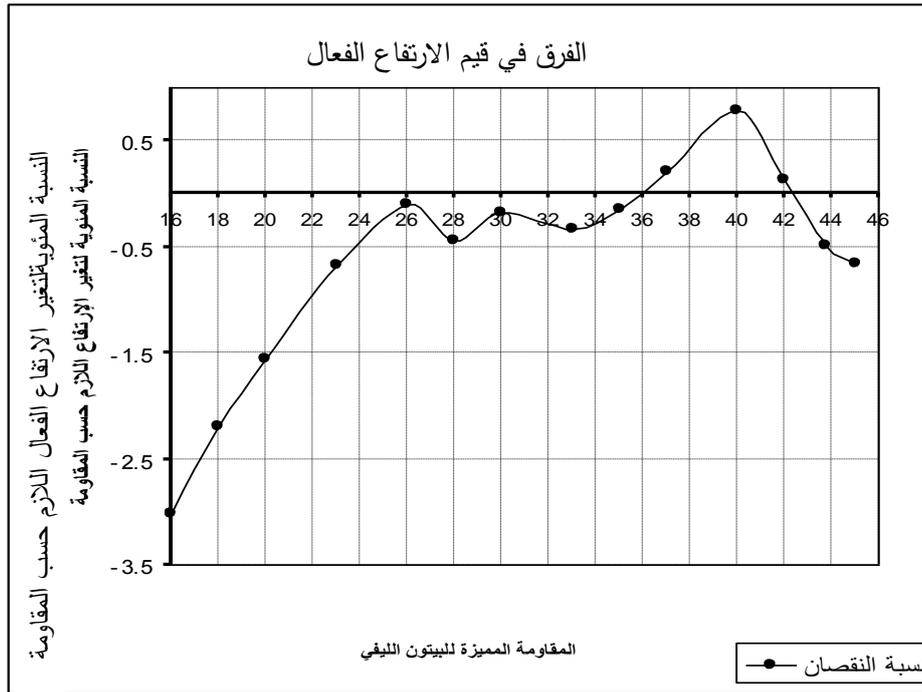
تم تصميم الجائز من البيتون الليفي لكل قيمة للمقاومة المميزة في حالة اعتبار مستطيل الضغط كما في حالة البيتون العادي، ومرة أخرى باعتبار قيم العوامل التي تأخذ بعين الاعتبار وجود الألياف التي توضحها المنحنيات في الشكل (2) لكل من δ و β .

نفرض أن عرض الجائز $b=350$ mm و $\mu_s = 1\%$ ثم نحسب α الموافقة، ومن ثم d و A_s لكل حالة نحصل على النتائج المبينة في المنحنيات التالية:



الشكل (4): النقصان في قيمة الارتفاع الفعال للمقطع اللازم لمقاومة العزم المفروض عند كل مقاومة بين حالتي الحساب.

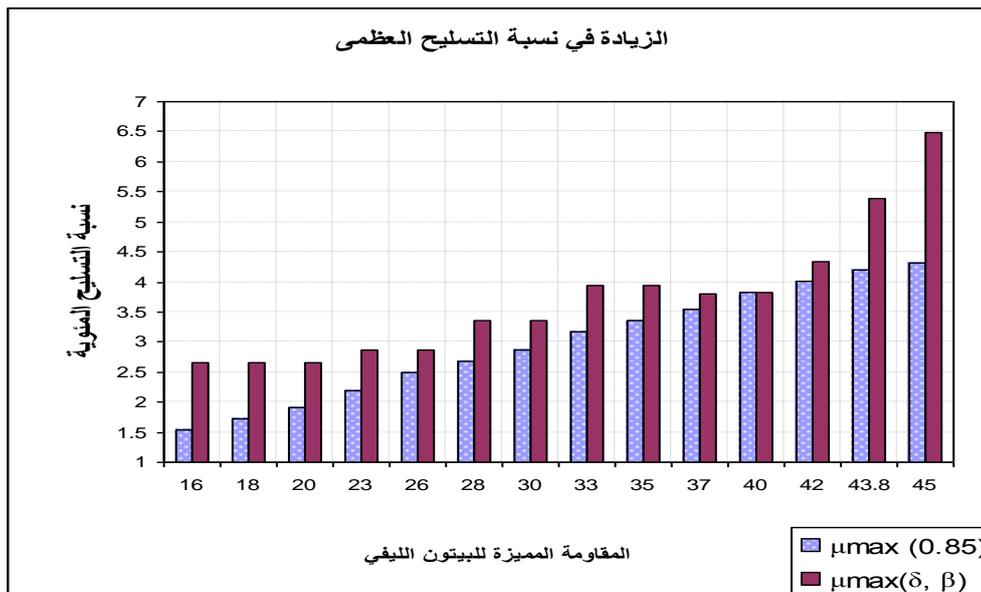
نلاحظ من الشكل (4) أن الارتفاع الحسابي اللازم يقل في حالة اعتماد المتحولات β , δ من المنحنى المحسوب في الشكل (2) عنه في حالة اعتماد المتحولات للبيتون العادي ما عدا المجال بين $f'_{cf}=[37 \sim 42]$ Mpa حيث أننا في هذا المجال نحتاج لارتفاع أكبر لمقاومة العزم المفروض، ففي المجال $f'_{cf}=[16 \sim 26]$ Mpa نجد أن تغير الارتفاع مع المقاومة يكون في حالة استخدام δ و β مساوية 0.85 واضحاً في حين يكون غير ملحوظ في حالة إيجاد δ و β من الشكل (2). أما في المجال $f'_{cf}=[26 \sim 36]$ Mpa يكون في الحالتين متساويين، لكن في حال استخدام δ و β الحقيقية نحصل على قيم d أصغر بقليل، وكذلك الحال في المجال $f'_{cf}=[42 \sim 46]$ Mpa. ويوضح الشكل التالي النسبة المئوية لانخفاض قيمة الارتفاع الفعال.



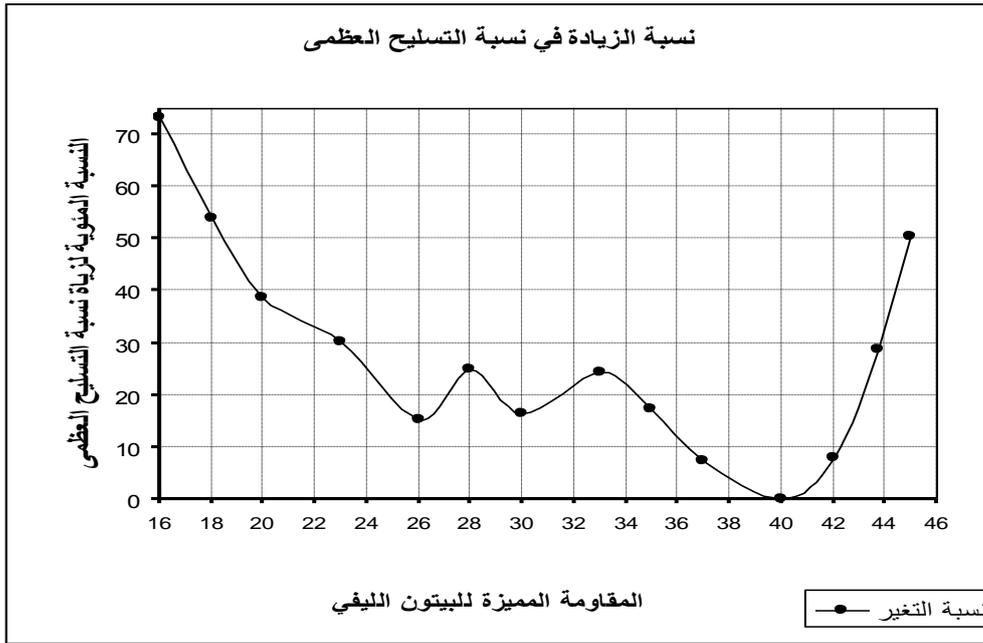
الشكل (5): النسبة المئوية لنقصان قيمة الارتفاع الفعال للمقطع واللازم لمقاومة العزم المفروض عند كل مقاومة بين -تي الحساب.

وهنا نلاحظ أن النسبة المئوية للنقصان في الارتفاع تتراوح بين: 0.25% ~ 3% في المجال $f_{cf} = [16 \sim 26]$ Mpa، وتتذبذب في المجالين $f_{cf} = [26 \sim 36]$ Mpa $f_{cf} = [42 \sim 46]$ Mpa في حين يكون لدينا زيادة في الارتفاع بنسبة تصل إلى 0.75% في المجال $f_{cf} = [37 \sim 42]$ Mpa أي في حالة المقامات المنخفضة يكون هناك نقصان أكبر في قيمة الارتفاع عنها في حالة المقامات المرتفعة حيث يكون النقصان غير ملموس، أما في حال المقامات المتوسطة فيكون لدينا زيادة في الارتفاع.

ويظهر الشكلان (6)، (7) تأثير نسبة التسليح العظمى للتسليح الأحادي الممكن استخدامها في المقطع لمقاومة العزم المطبق وزيادتها على نحو واضح أكثر من تأثير الارتفاع تبعاً لقيم المعاملات المعتمدة.



الشكل (6): الزيادة في نسبة التسليح العظمى الممكن استخدامها للتسليح الأحادي.



الشكل (7): النسبة المئوية للزيادة في نسبة التسليح العظمى الممكن استخدامها للتسليح الأحادي.

نرى من خلال الشكلين (6) و (7) أنه:

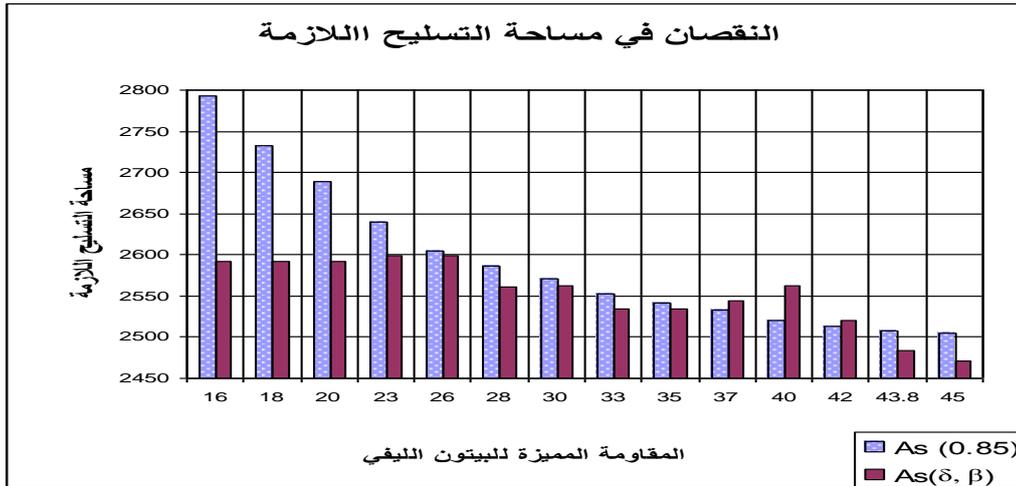
- في المجال $f'_{cf} = [16 \sim 26]$ Mpa لدينا زيادة في نسبة التسليح العظمى تتراوح بين $[15 \sim 75]$ % .
- وفي المجال $f'_{cf} = [26 \sim 40]$ Mpa تكون قليلة وتتراوح بين $[0 \sim 15]$ % .
- أما في المجال $f'_{cf} = [40 \sim 46]$ Mpa تعود لتزداد فتتراوح بين $[0 \sim 50]$ % .

5 - 3 - 2 - النموذج الثاني:

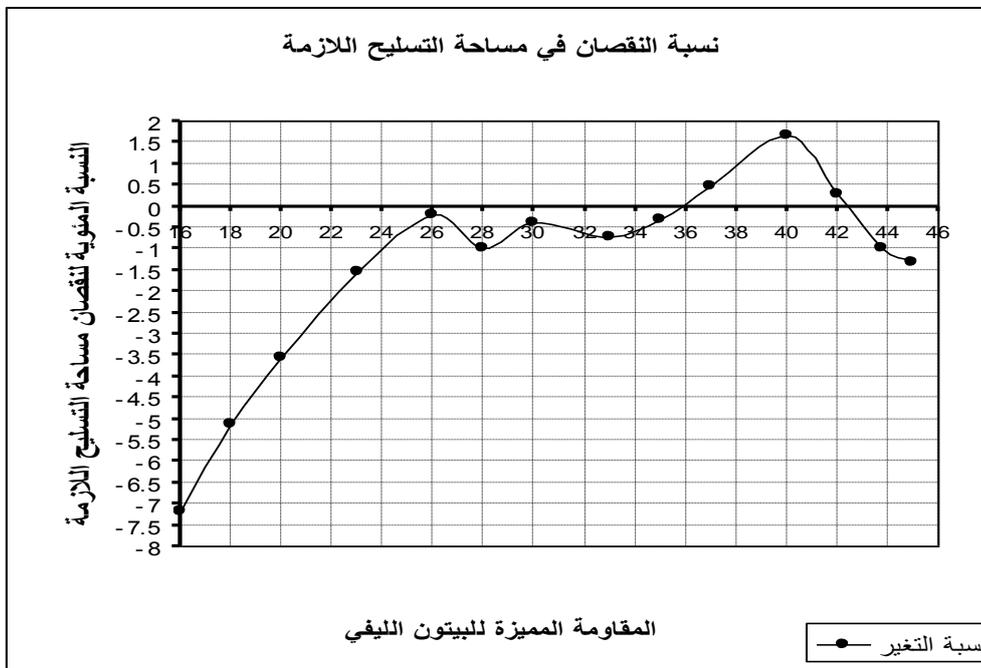
يمثل هذا النموذج مقطع مستطيل أبعاده معلومة وثابتة لكل حالات الدراسة $b.h = 350 \times 800 \text{ mm}^2$ خاضع لعزم انعطاف $M_u = 565 \text{ KN.m}$. سوف نحدد التسليح اللازم في حالة البيتون اللبفي وباستخدام العوامل للبيتون العادي، والليفي وبعتماد المعطيات التالية: $f_y = 360 \text{ N/mm}^2$ $d = 730 \text{ mm}$
 $f'_{cf} = [16 \sim 45] \text{ N/mm}^2$

ومن ثم إيجاد العزم الأعظمي الذي يتحمله المقطع بتسليح أحادي.

- يبين الشكل (8) النقصان في مساحة التسليح اللازمة لمقاومة العزم المفروض على المقطع بنسبة تصل حتى 7% عند المقاومات الصغيرة وزيادة مساحة التسليح اللازمة في مجال المقاومات بين 37 - 42. ونوضح في الشكل (9) النسب المئوية للنقصان والزيادة في مساحة التسليح عند كل مقاومة.



الشكل (8): النقصان في مساحة التسليح اللازمة لتحمل العزم المفروض.

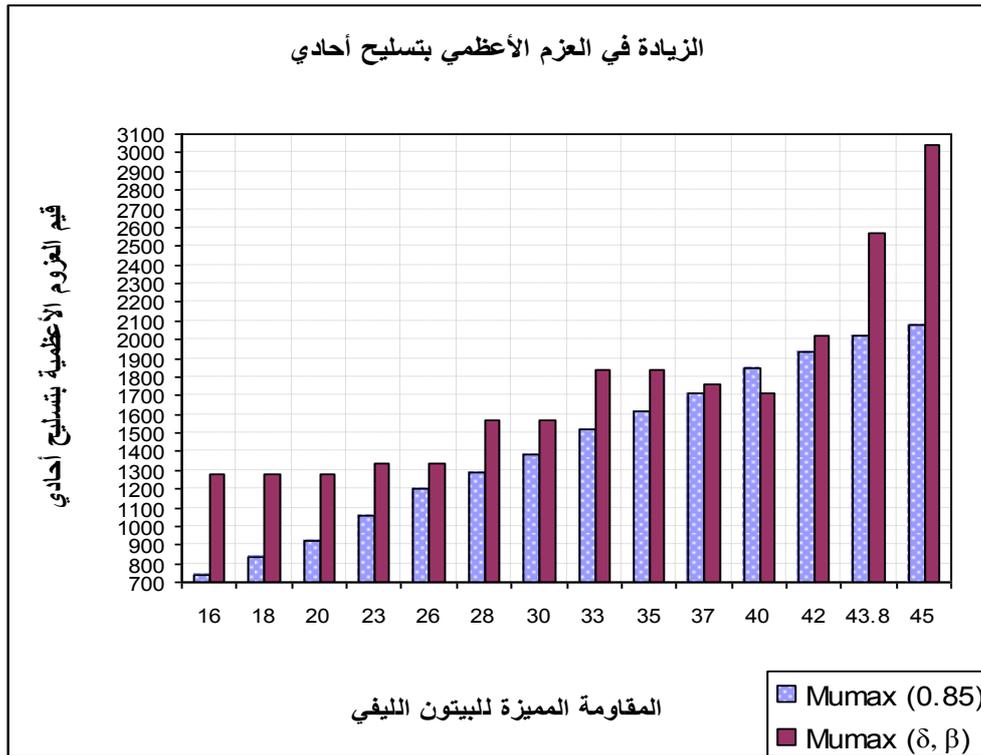


الشكل (9): النسبة المئوية للتغير في مساحة التسليح اللازمة لتحمل العزم المفروض.

تبين الأشكال مايلي:

- في المجال $f'_{cf} = [16 \sim 26] \text{ Mpa}$ لدينا نقصان في مساحة التسليح اللازمة يتراوح بين $0.25\% \sim 7\%$.
- وفي المجال $f'_{cf} = [26 \sim 36] \text{ Mpa}$ يكون قليلاً ويتراوح بين $0\% \sim 1\%$.
- أما في المجال $f'_{cf} = [36 \sim 42] \text{ Mpa}$ فتزداد فتتراوح بين $0\% \sim 1.5\%$.
- أما في المجال $f'_{cf} = [42 \sim 46] \text{ Mpa}$ فتعود لتتقصر فيتراوح النقصان بين $0\% \sim 1.5\%$.

ومن خلال مقارنة الزيادة في العزم الأعظمي الذي يتحمله المقطع بتسليح أحادي أي العزم المقاوم للمقطع نحصل على النتائج الموضحة في الشكل (10).

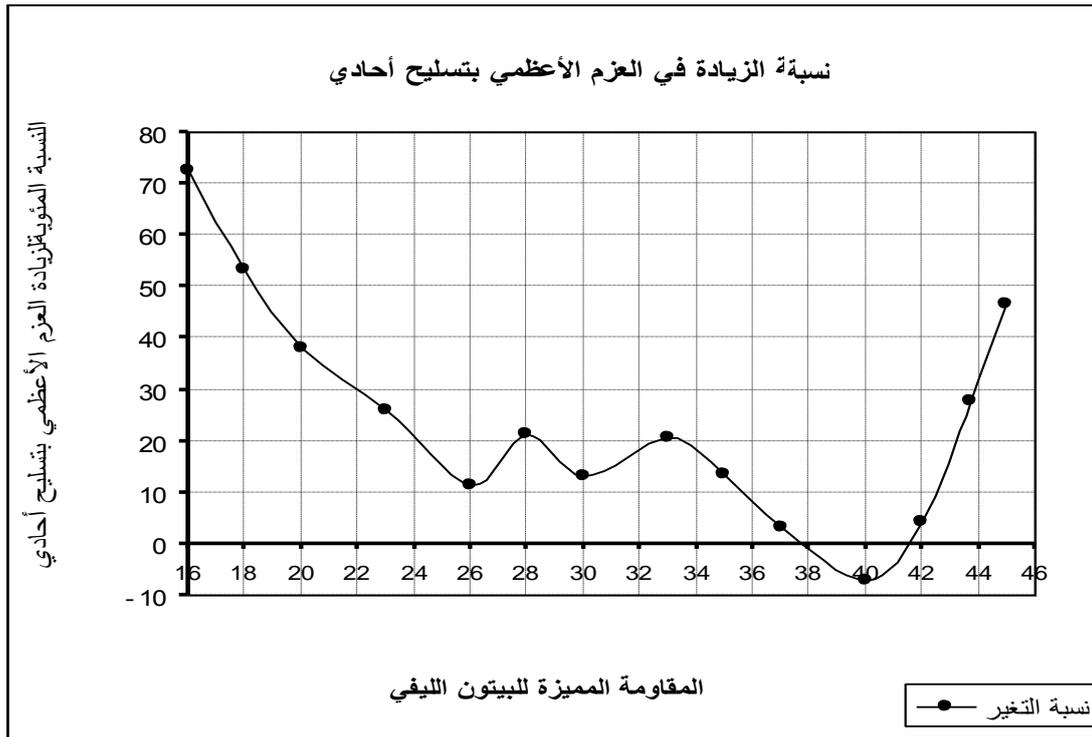


الشكل (10): الزيادة في العزم المقاوم للمقطع (العزم الأعظمي الذي يتحمله المقطع بتسليح أحادي).

يظهر الشكل وجود زيادة واضحة في العزم المقاوم للمقطع في مجال المقاومات المنخفضة والكبيرة في حين تكون قليلة في حالة المقاومات المتوسطة لتتحول في بعضها إلى نقصان في العزم المقاوم للمقطع، وهذا موضح أكثر في الشكل (11) الذي يوضح النسبة المئوية للزيادة في العزم. حيث نلاحظ من الشكل (11) مايلي:

في المجال $f_{cf} = [16 \sim 26] \text{ Mpa}$ تحصل زيادة واضحة في العزم المقاوم تتراوح بين $[10 \sim 70] \%$.
 وفي المجال $f_{cf} = [26 \sim 38] \text{ Mpa}$ تكون قليلة وتتراوح بين $[0 \sim 20] \%$.
 أما في المجال $f_{cf} = [38 \sim 41] \text{ Mpa}$ فنتحول إلى نقصان في العزم المقاوم تتراوح نسبته بين $[0 \sim 10] \%$.

أما في المجال $f_{cf} = [41 \sim 46] \text{ Mpa}$ فتعود لتزداد فتتراوح بين $[0 \sim 45] \%$. وهذا يوضح التأثير الكبير لاستخدام قيم δ و β الحقيقية في قيم العزم المقاوم الذي يفصل بين نوعي التسليح الأحادي والثنائي.



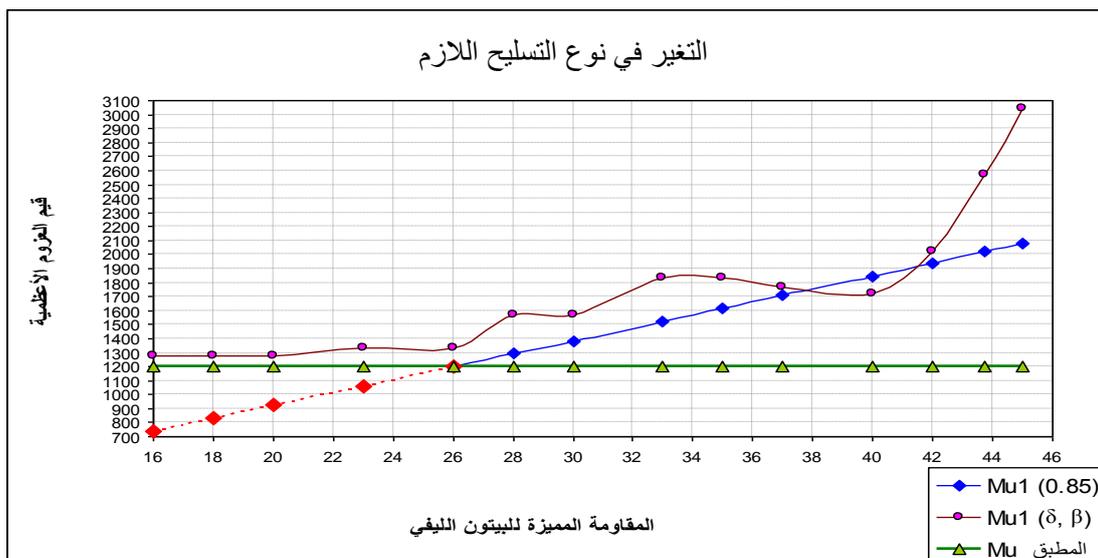
الشكل (11): نسبة الزيادة في العزم المقاوم للمقطع (العزم الأعظمي الذي يتحمله المقطع بتسليح أحادي).

5 - 3 - 3 - النموذج الثالث:

يمثل هذا النموذج مقطعاً مستطيلاً أبعاده معلومة وثابتة لكل حالات الدراسة $b.d=350 \times 730 \text{ mm}^2$ يخضع لعزم انعطاف $M_u = 1200 \text{ Kn.m}$ ، سوف نتعرض إلى دراسته مع تغير العوامل حسب تغير المقاومة المميزة وتغير متحولات مستطيل الضغط وباعتبار أن:

$$f'_{ci}=[16 \sim 45] \text{ N/mm}^2 \quad f_y=360 \text{ N/mm}^2$$

بحساب العزم المقاوم للمقطع في كل حالة والمقارنة مع العزم المطبق نحصل على النتائج الموضحة على الشكل (12) يظهر الحاجة أو عدم الحاجة إلى تسليح ثانوي.



الشكل (12): التغير في نوع التسليح اللازم بين أحادي وثانوي حسب تغير العزم المقاوم للمقطع.

نلاحظ من الشكل (12) أنه في حال استخدام متحولات مستطيل الضغط الحقيقية كان العزم المطبق أصغر من العزم المقاوم عند جميع المقامات المميزة للبيتون، في حين كان عند بعضها أكبر من العزم المقاوم في حال اعتبار متحولات مستطيل الضغط تساوي 0.85 أي يحتاج عندها للتسليح الثنائي، أي تحولت الدراسة من دراسة مقطع يخضع للانعطاف يحتاج تسليح ثنائي إلى مقطع يحتاج تسليحاً أحادياً.

ففي المجال $f'_{cf} = [16 \sim 26] \text{ Mpa}$ لدينا زيادة واضحة في العزم الأعظمي والانتقال من حالة مقطع يحتاج لتسليح ثنائي إلى مقطع يكفيه التسليح الأحادي.
وفي المجال $f'_{cf} = [26 \sim 38] \text{ Mpa}$ يكون العزم الأعظمي في حالة استخدام قيم δ و β الحقيقية أكبر منه في الحالة الأخرى لكن في الحالتين التسليح أحادي.

أما في المجال $f'_{cf} = [38 \sim 42] \text{ Mpa}$ فتتحول إلى نقصان في العزم المقاوم أي يكون العزم الأعظمي في حال استخدام القيم الحقيقية أقل منه في الحالة الأخرى لكن في الحالتين التسليح أحادي.

أما في المجال $f'_{cf} = [42 \sim 46] \text{ Mpa}$ فيعود ليزداد العزم الأعظمي في حال استخدام القيم الحقيقية لـ δ و β عنه في الحالة الأخرى وينسب كبيرة ويكون فيها التسليح أحادياً في الحالتين.

6 - الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال الدراسة المذكورة أعلاه نخلص إلى النتائج التالية:

1. إن متحولات مخطط مستطيل الضغط δ و β للبيتون الليفي ليست ثابتة ولا تعطى بقيمة محددة.
2. عند التصميم في حالة استخدام البيتون الليفي يجب تحديد قيم δ و β اللازمة لتحديد مخطط إجهادات الضغط على نحو دقيق.
3. إن استخدام قيم المعاملات الدقيقة لتحديد مخطط الإجهادات في حالة البيتون الليفي تؤدي إلى زيادة في قيم المقاومة للمقطع عنه في حالة استخدام المعاملات للبيتون العادي، ومن ثمة تقل الحالات التي نحتاج فيها لتسليح ثنائي.
4. ننصح باستخدام البرمجة لحساب مساحة ومركز ثقل المخططات الكاملة للاجهادات في البيتون الليفي بدل من مكافئتها بمستطيل، وهذا ما نسعى لدراسته في أبحاثنا اللاحقة.

المراجع:

- 1- SHAH, S.P. and NAAMAN, A.E. *Mechanical Properties of Glass and Steel Fiber Reinforced Mortar*. ACI journal, Title № 5-73, January 1976, 50-53.
 - 2- FANELLA, D.A. and NAAMAN, A.E. *Stress - Strain Properties of Fiber Reinforced Mortar in Compression*. ACI journal, Title № 82-41, / July-August 1985, 475-483.
 - 3- HUGHES, B.P. and FATTUHI, N.I. *Stress - Strain Curves for Fiber Reinforced Concrete in Compression*. Cement and Concrete Research, Vol. 7, 1976, 173-184.
 - 4 - DHIR, R.K. PAINE, M.D. and NEWLANDS, M.D. *Composite Materials in Concrete Construction*. proceeding of the two- day 5-11 september. 2002 , 408.
 - 5 - SCHNÜTGEN, B. VANDEVALLE, L. REINHARDT, H.W. and NAAMAN, A.E. *Test and Design Methods for Steel Fibre Reinforced Concrete*. Proceeding of RILEM TC162-TDF workshop. 2003 , 371.
 - 6 - REINHARDT, H.W. and NAAMAN, A.E. *High Performance Fiber Reinforced Cement Composites* . 1996 , 145.
- 7 - غالية، رامية. استخدام الببتون المدعم بألياف فولاذية في تقوية العناصر الإنشائية، دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة الإنشائية بإشراف د. علي تريكية ود. بسام حويجة، جامعة تشرين - اللاذقية 1999، 247.