Journal of Azzaytuna University (JAZU)
JAZU Homepage: https://azzujournal.azu.edu.ly
P-ISSN:2325-1006 DOI: 10.35778/jazu.i54.a546

تصميم الاعمدة الخرسانية المسلحة القصيرة بأقل كمية تسليح ممكنة

عبدالرحمن إمحمد[1] ،محمد رمضان الموسي[2]*
[1]كلية الهندسة، جامعة بني وليد ، ليبيا
[2]كلية الهندسة ، جامعة الزيتونة ، ترهونة ، ليبيا
[1]abdalrahmanemhemmed@bwu.edu.ly, [2]m.almousi@azu.edu.ly
المؤلف المرسل: (*)

الملخص:

تعتبر نسبة التسليح الطولي المستخدم في الأعمدة الخرسانية المسلحة هي عامل رئيسي في إجمالي تكاليفها نظرًا لان حديد التسليح باهظ الثمن، في الظروف العادية يجب استخدام نسبة صغيرة من حديد التسليح ويمكن تحقيق ذلك باستخدام أحجام أعمدة أكبر و/أو خرسانة ذات قوة أعلى، وإذا ما تم الحفاظ على نسبة حديد التسليح في حدود (1% – 3%) فسيكون هناك مساحة كافية لوضع الاسياخ بشكل ملائم في الأعمدة مما يسهل ويسرع اعمال التنفيذ بالإضافة ان ذلك يساهم بشكل كبير في التخلص من مشاكل التعشيش في الاعمدة، نتناول في هذه الدراسة امكانية تحليل وتصميم الاعمدة الخرسانية المسلحة القصيرة باستعمال اقل نسبة تسليح ممكنة وفق الحدود التي توصي بها المواصفات، زيادة مقاومة الخرسانة المستعملة للضغط يعتبر احد الحلول الغير مكلفة نسبياً مقارنة بكمية حديد التسليح التي سيتم الاستغناء عنها، أوضحت نتائج الدراسة انه بزيادة غير مكلفة لمقاومة الخرسانة المستعملة للضغط من (28 Mpa) الى (32 Mpa) ستنخفض كمية حديد التسليح المستخدمة بشكل ملحوظ ومؤثر من (12ϕ28) الى (8ϕ28).

الكلمات المفتاحية: الاعمدة الخرسانية القصيرة، اقل نسبة حديد تسليح، التعشيش، مقاومة الخرسانة للضغط

ABSTRACT: The proportion of longitudinal reinforcement used in reinforced concrete columns is a major factor in their total costs since reinforcing steel is expensive. Under normal circumstances, a small proportion of reinforcing steel should be used and this can be achieved by using larger column sizes and/or higher strength concrete. If the proportion of reinforcing steel is maintained within the range of (1% - 3%), there will be sufficient space to place the bars appropriately in the columns, which facilitates and speeds up the implementation work. In addition, this contributes significantly to eliminating the nesting problems in the columns. In this study, we discuss the possibility of analyzing and designing short reinforced concrete columns using the lowest possible reinforcement ratio according to the limits recommended by the specifications. Increasing the compressive strength of the concrete used is one of the relatively inexpensive solutions compared to the amount of reinforcing steel that will be dispensed with. The results of the study showed that by inexpensively increasing the compressive strength of the concrete used from (28 MPa) to (32 MPa), the amount of reinforcing steel used will decrease significantly and effectively from (12ϕ28) to (8ϕ28).

Keywords: Short concrete columns, minimum reinforcement ratio, nesting, compressive strength of concrete

1. مقدمة

 This is an open access article under the CC BY-SA license.

الاعمدة هي العناصر الانشائية التي تعمل على نقل قوى الضغط بصورة رئيسية وفي الغالب تكون عمودية وظيفتها الرئيسية في المباني هي نقل احمال الكمرات وبلاطات الاسقف الى الطوابق السفلي ثم الى التربة عن طريق الاساسات، بسبب اتصالها بالكمرات فان الاعمدة تتعرض ايضا الى قوى قص و عزم انحناء وتسمى في هذه الحالة عناصر الكمرة – العمود (Beam-column members) كما يمكن ان تتعرض ايضا الى عزم التواء، من النادر ان تكون مهمة الاعمدة الخرسانية في المباني هي مقاومة الاحمال المحورية فقط بل هي تعمل على مقاومة عزوم الانحناء والاحمال المحورية في نفس الوقت، لان الاعمدة جزءًا من هيكل خرساني وبسبب وجود الكمرات فوق الاعمدة وتداخل حديد التسليح بحيث يمكن اعتبار المفاصل جاسئة (Rigid) فان الاعمدة تقاوم فرق العزوم للكمرات المتجاورة، هذا بالإضافة الى ان اختلاف مراكز الاعمدة ووجود احمال جانبية وتغير مواقع الاحمال الحية يؤدي الى وجود عزم انحناء.

2. أنواع الأعمدة

يشار إلى الأعمدة الخرسانية المسلحة باسم الأعمدة المربوطة أو الحلزونية، اعتمادًا على الطريقة المستخدمة للتدعيم الجانبي أو تثبيت القضبان في مكانها، إذا كان العمود يحتوي على سلسلة من الروابط المغلقة (الكانات) يشار إليه باسم العمود المربوط، هذه الروابط فعالة في زيادة قوة العمود فهي تمنع القضبان الطولية من التحرك أثناء البناء، وتقاوم ميل القضبان نفسها إلى الانحناء للخارج تحت الحمل مما قد يتسبب في كسر الغطاء الخرساني الخارجي أو تفتته، تكون الأعمدة المربوطة عادةً مربعة أو مستطيلة و يمكن أن تكون مثمنة الشكل أو دائرية أو على شكل حرف L أو ما إلى ذلك، تُستخدم الأشكال المربعة والمستطيلة بشكل شائع بسبب بساطة إنشاء القوالب، ومع ذلك في بعض الأحيان و عندما تُستخدم في المساحات المفتوحة تكون الأشكال الدائرية اكثر جاذبية، غالبًا ما تكون قوالب الأعمدة المستديرة مصنوعة من أنابيب من الورق المقوى أو البلاستيك، والتي يتم تقشيرها والتخلص منها بمجرد أن تتصلب الخرسانة بدرجة كافية. إذا ما تم لف قضيب أو سلك ثقيل حلزوني مستمر حول القضبان الطولية في هذه الحالة يُشار إلى العمود باسم عمود حلزوني، اللوالب أكثر فعالية من الكانات في زيادة قوة العمود فاللوالب المتقاربة تؤدي وظيفة أفضل في تثبيت القضبان الطولية في مكانها كما أنها تحصر الخرسانة في الداخل وتزيد بشكل كبير من مقاومتها للضغط المحوري، وبما أن الخرسانة داخل اللولب تميل إلى الانتشار جانبيًا تحت الحمل الانضغاطي، فإن اللولب الذي يقيدها يوضع تحت الشد، ولن ينهار العمود حتى ينكسر اللولب، مما يسمح بتفجير الخرسانة في الداخل، عادة ما تكون الأعمدة الحلزونية مستديرة، ولكن يمكن أيضًا تحويلها إلى أشكال مستطيلة أو مثمنة أو أشكال أخرى. بالنسبة لمثل هذه الأعمدة مكلفة بشكل ملحوظ ونتيجة لذلك تُستخدم عادةً فقط للأعمدة الكبيرة المحملة بشكل كبير وللأعمدة في المناطق الزلزالية بسبب مقاومتها الكبيرة لأحمال الزلازل. (في المناطق غير الزلزالية، ربما يكون أكثر من 9 من أصل 10 أعمدة خرسانية مسلحة موجودة مربوطة.) تعمل اللوالب بشكل فعال للغاية على زيادة ليونة ومتانة الأعمدة، ولكنها أكثر تكلفة بكثير من الكانات McCormac) & Brown, 2015)

ان عملية تصميم الاعمدة الخرسانية لا يمكن فصلها عن عملية تحليل الاعمدة والتي يقصد بها تحديد العزم الاقصى والحمل المحوري الاقصى عند الانهيار والتي تعرف بالمقاومة الاسمية للانحناء والمقاومة الاسمية للحمل المحوري، في هذه العملية نحتاج فيها الى فرض ابعاد العمود او اعطاء قيم نسبية لكل من عزم القصور الذاتي (I) ومساحة المقطع (A) حتى نتمكن من عملية تحليل العمود والحصول على قيمة القوة المحورية التصميمية (Pu) والعزم التصميمي (Mu) وباستعمال المعادلة $e = \frac{Mu}{Pu}$ يتم حساب قيمة اللامركزية، يلي ذلك فرض قيم لأبعاد المقطع وحديد التسليح ليتم حساب كلا من قيمة المقاومة المحورية التصميمية ($P_n\phi$) ومقاومة الانحناء التصميمية ($Mn\phi$) ومقارنتها مع نتائج التحليل الانشائي، قد يتم اعادة هذه الخطوات عدة مرات للحصول على التصميم الصحيح من خلال

تغيير الابعاد و/او حديد التسليح لحين تقارب القوة المحورية التصميمية والعزم التصميمي مع مقاومة الحمل المحوري التصميمية ومقاومة الانحناء التصميمية ليتم اعتماد التصميم، ولهذا فان عملية تحليل المقطع هي جزء من عملية التصميم ويمكن اجراء عملية التحليل والتصميم بطريقة اسهل وذلك باستخدام المنحنيات الخاصة بتداخل العزوم مع القوي المحورية.

3. تصميم العمود الخرساني الاقتصادي

حديد التسليح باهظ الثمن نسبيا ولهذا فإن نسبة التسليح الطولي المستخدم في الأعمدة الخرسانية المسلحة هي عامل رئيسي في إجمالي تكاليفها، هذا يعني أنه في الظروف العادية يجب استخدام نسبة صغيرة من حديد التسليح (ربما في حدود من 1.5٪ إلى 3٪)، يمكن تحقيق ذلك باستخدام أحجام أعمدة أكبر و/أو خرسانة ذات قوة أعلى، علاوة على ذلك وإذا ما تم الحفاظ على نسبة حديد التسليح في هذه الحدود تقريبًا فسيكون هناك مساحة كافية لوضعها بشكل ملائم في الأعمدة.

يمكن استخدام الخرسانة ذات القوة العالية بشكل أكثر اقتصادًا في الأعمدة مقارنة بالكمرات تحت الأحمال العادية، يكون 30% إلى 40% فقط من مقطع الكمرة تحت تأثير قوى الضغط بينما يكون 60% إلى 70% الباقية تحت تأثير قوى الشد وهذا يعني أنه إذا تم استخدام خرسانة عالية القوة للكمرات فإن 60% إلى 70% منها تهدر، بالنسبة للعمود فإن الوضع مختلف تمامًا لأن نسبة أكبر بكثير من مقطعه العرضي يكون تحت الضغط ونتيجة لذلك من الاقتصادي تمامًا استخدام خرسانة عالية القوة للأعمدة، على الرغم من أن بعض المصممين استخدموا خرسانة ذات مقاومة ضغط قصوى تصل إلى (131 Mpa) مثل ما تم استعماله في (Two Union Square) في سياتل لتصميم الأعمدة، فإن استخدام أعمدة خرسانية تتراوح مقاومتها للضغط بين (35 Mpa)إلى (42 Mpa) هو القاعدة الطبيعية لتحديد قوة ضغط عالية لخرسانة الأعمدة.

بشكل عام تكون الأعمدة المربوطة أكثر اقتصادًا من الأعمدة الحلزونية خاصةً إذا كان من المقرر استخدام مقاطع عرضية مربعة أو مستطيلة، استعمال الأعمدة الحلزونية والخرسانة عالية القوة والنسب العالية من حديد التسليح تساهم بشكل مؤثر في استغلال مساحة المباني، يجب استخدام أقل عدد ممكن من أحجام الأعمدة المختلفة في جميع أنحاء المبنى، من غير الاقتصادي تمامًا تغيير حجم العمود من طابق إلى آخر لتلبية الأحمال المختلفة التي يجب أن يتحملها، وهذا يعني أن المصمم قد يختار حجم عمود للطابق العلوي من مبنى متعدد الطوابق (باستخدام أقل نسبة ممكنة من حديد التسليح) ثم يستمر في استخدام نفس الحجم عموديًا لأكبر عدد ممكن من الطوابق، عن طريق زيادة نسبة حديد التسليح طابقًا تلو الآخر حسب الحاجة، علاوة على ذلك ومن المستحسن استخدام نفس حجم العمود قدر الإمكان في كل مستوى طابق لان ذلك سيوفر بشكل ملحوظ في تكاليف العمالة، على الرغم من أن الأعمدة في المباني العالية قد تكون متباعدة إلى حد ما إلا أنها ستظل تشغل مساحة أرضية واسعة، لهذا السبب يحاول المصممون وضع العديد من الاعمدة على محيط المبنى حتى لا يستخدموا المساحة الداخلية المهمة، بالإضافة إلى ذلك فإن التقليل من الأعمدة الداخلية يوفر المزيد من المرونة للمستخدمين للاستغلال الامثل لمساحة المبنى ويوفر مساحات مفتوحة كبيرة (McCormac & Brown, 2015) .

في عام 2005 قدم (Umesh K. Sharma et.al) بحث يتضمن اجراء دراسة تجريبية للتحقيق في سلوك الأعمدة الخرسانية القصيرة عالية القوة المحصورة بواسطة لوالب دائرية وروابط مربعة، تضمنت متغيرات الاختبار النسبة الحجمية، والتباعد ومقاومة الخضوع للتسليح العرضي، ونسبة التسليح الطولي، وشكل المقطع العرضي ومقاومة ضغط الخرسانة، ومن نتائج البحث أن سلوك أعمدة الخرسانة عالية القوة يتميز بالتقشير المفاجئ للغطاء الخرساني، مما يؤدي إلى انخفاض قدرته على مقاومة الاحمال المؤثرة ,Sharma, Bhargava

.(Ihsan A. S. et.al) بحث يتضمن العمل على أحكام الأعمدة الخرسانية المسلحة النحيلة في المواصفات الامريكية ACI، في الطريقة المقترحة لهذا العمل وجد أن بعض هذه الأعمدة القصيرة طويلة، وبالتالي تحتاج إلى تكبير العزم نظرًا لأن تحليل/تصميم الأعمدة يمثل التعامل مع أحد أكثر أجزاء المباني الخرسانية المسلحة أهمية (Sharma & Bhargava, 2005)، في عام 2010 قدم (Giuseppe Campione et.al) بحث يتضمن استجابة العناصر الخرسانة المسلحة القصيرة عالية القوة للضغط، النتائج التي تم الحصول عليها تتفق جيدًا مع بعض البيانات المتاحة في الأدبيات ومع النتائج التحليلية التي تم الحصول عليها باستخدام النماذج الحديثة الواردة في الأدبيات أيضًا.(Campione & Minafò, 2010) في عام 2020 قدم (Seung-Ho Choi et.al) دراسة تتضمن معادلة مقترحة لحساب قوى الضغط الفعالة للأعمدة الزاوية والخارجية والمعزولة دون أي تأثيرات حصر للبلاطة، بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء اختبارات التحميل المحوري للأعمدة المعزولة وتم التحقق من المعادلة المقترحة.(Choi et al., 2020)

4. تخفيض كمية حديد التسليح بالأعمدة الخرسانية القصيرة

نتناول في هذا البحث دراسة امكانية تصميم الاعمدة القصيرة المعرضة لحمل محوري باستعمال اقل كمية ممكنة من حديد التسليح على ان تستوفي حدود تسليح الاعمدة التي توصي بها المواصفات الامريكية (ACI code)، ولإجراء هذه الدراسة سنقوم اولا بتحديد مثال معين يتناول تصميم عمود معرض لحمل محوري ثم سنقوم بتغيير بعض معطيات هذا المثال لنتمكن من الاطلاع على نتائج ذلك ودراسة العلاقة بين المتغيرات المختلفة الداخلة في عملية التصميم.

خطوات تصميم عمود خرساني مربع لمقاومة حمل ميت قدره (1400 KN) وحمل حي قدره (1600 KN)، نسبة التسليح (3%) ومقاومة الخرسانة للضغط (28 Mpa) واجهاد خضوع حديد التسليح (420 Mpa).

$$P_u = 1.2D + 1.6L = 1.2(1400) + 1.6(1600) = 4240\ kN$$
$$P_u = \phi P_{n(max)} = \phi\alpha P_o = 0.8 \times 0.65\left[0.85\, f'_c\,(A_g - A_{st}) + f_y\, A_{st}\right]$$
$$4240000 = 0.8 \times 0.65\left[0.85 \times 28\,(A_g - 0.003A_g) + 400 \times 0.003A_g\right]$$
$$A_g = 228489\ mm^2 = h^2 \quad , \ h = 478mm$$

لتسهيل اعمال التنفيذ نستعمل طول ضلع العمود 480 مم لتكون مساحة التسليح الجديدة كما يلي:

$$For\ h = 480mm \qquad A_g = 230400\ mm^2$$

تغيير طول ضلع العمود ينتج عنه تغير في مساحة المقطع وبالتالي تغير مساحة التسليح كما يلي:

$$4240000 = 0.8 \times 0.65\left[0.85 \times 28\,(A_g - A_{st}) + 420\, A_{st}\right]$$
$$A_{st} = 6740\ mm^2 \ \Rightarrow\ for\ 12\phi 28 \ \Rightarrow\ A_{st} = 7390\ mm^2$$

السؤال الذي نحاول الاجابة عنه في هذا البحث هو هل يمكن تخفيض كمية التسليح بهذا العمود الى اقل ما يمكن وفي الحدود التي توصي بها المواصفات، سنبحث امكانية تحقيق ذلك باستعمال خرسانة ذات مقاومة ضغط أكبر، سنقوم في المثال السابق بتغيير قيمة مقاومة الخرسانة للضغط فقط لتكون (f'_c = 32 Mpa) مع نفس قيم المتغيرات الاخرى.

$$\mathrm{P_u = \phi P_{n(max)} = \phi\alpha P_o = 0.8 \times 0.65[0.85\, f'_c\,(A_g - A_{st}) + f_y\, A_{st}]}$$
$$4240000 = 0.8 \times 0.65[0.85 \times 32\,(230400 - A_{st}) + 420A_{st}]$$

$A_{st} = 4804\ mm^2 \quad \Rightarrow \quad \text{for } 8\phi 28 \ A_{st} = 4927\ mm^2$

نلاحظ انه تم تخفيض كمية حديد التسليح اللازمة لهذا العمود الخرساني من 12 سيخ الى 8 اسياخ لتتغير نسبة التسليح من (3%) الى (2%) وهي أكبر من (1%) وفق ما تنص عليه المواصفات، ومن خلال ذلك يمكن استنتاج معادلة لتحديد مقاومة الخرسانة للضغط المطلوبة لتصميم عمود خرساني باستعمال اقل كمية من حديد التسليح ووفق ما تنص عليه المواصفات.

$$P_u = \phi P_{n(max)} = \phi\alpha P_o = 0.8 \times 0.65\left[0.85\, f'_c\,(A_g - A_{st}) + f_y\, A_{st}\right]$$

$$P_u = 0.442\, f'_c\,(A_g - A_{st}) + 0.52\, f_y\, A_{st}$$

$$\frac{P_u}{A_g} = 0.442\, f'_c - 0.442\, f'_c\,(\frac{A_{st}}{A_g}) + 0.52\, f_y\,(\frac{A_{st}}{A_g})$$

$$\frac{P_u}{A_g} = 0.442\, f'_c\,[1 - (\frac{A_{st}}{A_g})] + 0.52\, f_y\,(\frac{A_{st}}{A_g})$$

$$\frac{P_u}{A_g} - 0.52\, f_y\,(\frac{A_{st}}{A_g}) = 0.442\, f'_c\,[1 - (\frac{A_{st}}{A_g})]$$

$$0.442\, f'_c\,[1 - (\frac{A_{st}}{A_g})] = (\frac{P_u}{A_g}) - 0.52\, f_y\,(\frac{A_{st}}{A_g})$$

$$f'_c = \frac{\frac{P_u}{A_g} - 0.52\, f_y\,(\frac{A_{st}}{A_g})}{0.442\,(1 - \frac{A_{st}}{A_g})}$$

$$\because \ \rho = \frac{A_{st}}{A_g}$$

$$f'_c = \frac{\frac{Pu}{Ag} - 0.52\, fy\, \rho_{min}}{0.442(1 - \rho_{min})} \qquad (1)$$

يمكن ايضا استنتاج معادلة لتحديد ابعاد المقطع المطلوبة لتصميم عمود خرساني باستعمال اقل نسبة حديد تسليح ووفق ما تنص عليه المواصفات

$$\frac{P_u}{A_g} = 0.52\, f_y\, \rho + 0.442\, f'_c\,(1 - \rho)$$

$$A_g = \frac{Pu}{0.52\, fy\, \rho_{min} + 0.442\, f'c\,(1 - \rho_{min})} \qquad (2)$$

بتطبيق المعادلة رقم (1) تم التوصل الى النتائج الموضحة بالجدول (1) حيث يبين مقاومة الخرسانة للضغط المناظرة لنسب التسليح المختلفة والمحصورة ما بين 1% الى 8% وفق ما تنص عليه المواصفات لعمود خرساني مربع الشكل طول ضلعه 480 مم مع ثبات قيمة الحمل

المحوري المؤثر (P_u kN=4240) واجهاد خضوع لحديد التسليح (f_y 420Mpa =)، كما يبين مساحة التسليح وعدد اسياخ حديد التسليح لكل حالة وتم توضيح العلاقة بين مقاومة الخرسانة للضغط ونسبة تسليح العمود بالشكل (1).

الجدول (1): مقاومة الخرسانة للضغط المناظرة لنسب التسليح المختلفة

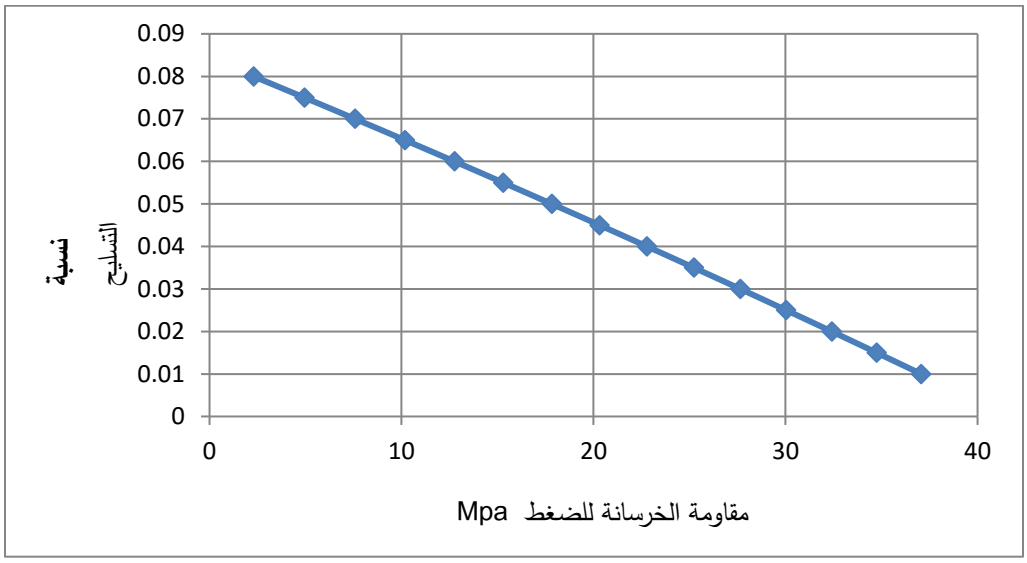
نسبة التسليح ρ	مقاومة الخرسانة للضغط f´c (Mpa)	مساحة حديد التسليح A_{st} (mm^2)	عدد الاسياخ 28Φ	
0.01	37.06	2304	4	*
0.015	34.74	3456	6	*
0.02	32.40	4608	8	*
0.025	30.03	5760	10	*
0.03	27.64	6912	12	*
0.035	25.22	8064	14	*
0.04	22.78	9216	15	*
0.045	20.31	10368	17	*
0.05	17.82	11520	19	x
0.055	15.30	12672	21	x
0.06	12.75	13824	23	xx
0.065	10.18	14976	25	xx
0.07	7.58	16128	27	xx
0.075	4.95	17280	29	xx
0.08	2.29	18432	30	xx

بتطبيق المعادلة رقم (2) تم التوصل الى النتائج الموضحة بالجدول (2) حيث يبن مساحة مقطع العمود المناظرة لنسب التسليح المختلفة والمحصورة ما بين 1% الى 8% وفق ما تنص عليه المواصفات مع ثبات قيمة الحمل المحوري المؤثر (P_u kN=4240) واجهاد خضوع لحديد التسليح (f_y 420 Mpa =) ومقاومة الخرسانة للضغط ($f'c$ 28 Mpa =)، كما يبين طول ضلع العمود المربع ومساحة التسليح وعدد اسياخ حديد التسليح لكل حالة. وتم توضيح العلاقة بين طول ضلع العمود المربع ونسبة تسليح العمود بالشكل (2).

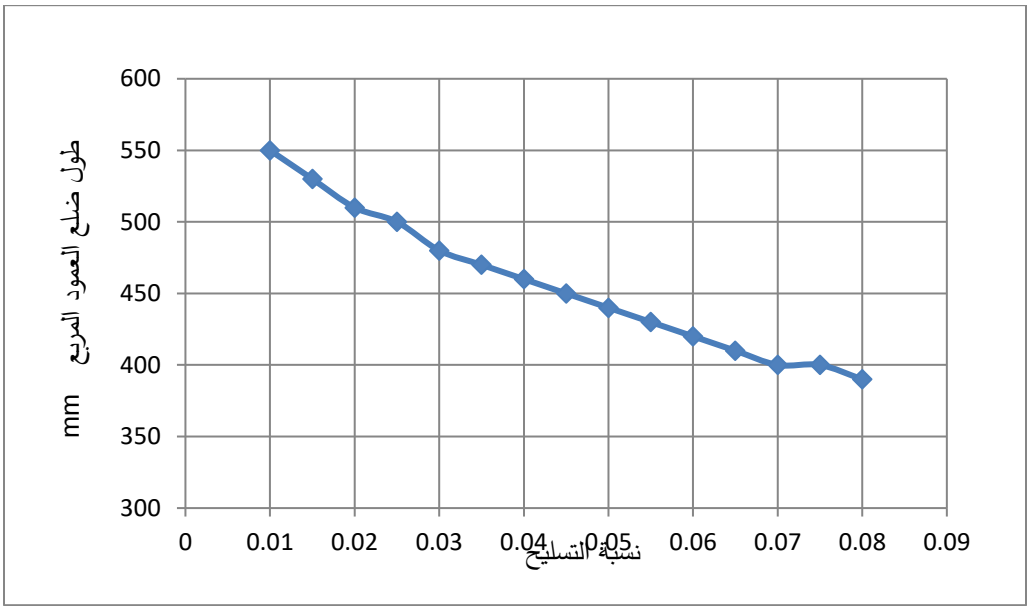
الجدول (2) مساحة مقطع العمود وطول ضلعه المناظرة لنسب التسليح المختلفة

نسبة التسليح ρ	مساحة المقطع $A_g\ (mm^2)$	مساحة المقطع معدلة $A_g\ (mm^2$	طول ضلع العمود $h\ (mm)$	مساحة حديد التسليح $A_{st}\ (mm^2)$	عدد الاسياخ 28Φ
0.01	293705.3	302500	550	3025.0	5
0.015	274143.4	280900	530	4213.5	7
0.02	257024.5	260100	510	5202.0	9
0.025	241918.0	250000	500	6250.0	11
0.03	228488.7	230400	480	6912.0	12
0.035	216471.9	220900	470	7731.5	13
0.04	205655.9	211600	460	8464.0	14
0.045	195869.4	202500	450	9112.5	15
0.05	186971.9	193600	440	9680.0	16
0.055	178847.7	184900	430	10169.5	17
0.06	171400.1	176400	420	10584.0	18
0.065	164548.0	168100	410	10926.5	18
0.07	158222.7	160000	400	11200.0	19
0.075	152365.6	160000	400	12000.0	20
0.08	146926.7	152100	390	12168.0	20

نلاحظ من خلال الجدول رقم (1) والشكل رقم (1) انخفاض ملحوظ في كمية حديد التسليح الى ما مقداره ($4\phi28$) عندما تم زيادة مقاومة الخرسانة للضغط الى ما مقداره (37 Mpa) وتزداد كمية حديد التسليح كلما قلت مقاومة الخرسانة للضغط الا ان تخفيض مقاومة الخرسانة الى اقل من (20 Mpa) غير مقبول واشرنا الى ذلك بوضع علامة (x) في اخر عمود بالجدول، ولو اعتبرنا ان الحد الادنى المسموح به لمقاومة الخرسانة للضغط هو (20 Mpa) نلاحظ من خلال الجدول ان كمية حديد التسليح المناظرة لهذا الحد هي ($17\phi28$) وبذلك تكون نسبة التخفيض في كمية حديد التسليح هي ($\frac{4}{17} = 23.5\%$)، وهذا يعني تخفيض تكلفة تنفيذ هذا العمود بنسبة 20% تقريبا الامر الذي يؤدي الى تخفيض تكلفة المبنى بشكل عام، و نلاحظ من خلال الجدول رقم (2) والشكل رقم (2) انخفاض في ابعاد العمود المربع من (553 mm) الى (387 mm) عندما تم زيادة نسبة التسليح في العمود من (1%) الى (8%) وأدى ذلك الى زيادة كبيرة في عدد الاسياخ الى الحد الذي ينتج عنه ازدحام شديد لحديد التسليح بالعمود وهذا غير مقبول.



الشكل (1): العلاقة بين مقاومة الخرسانة للضغط ونسبة تسليح العمود



الشكل (2) :العلاقة بين طول ضلع العمود ونسبة التسليح فيه

5. الاستنتاجات

من خلال ما تم تناوله بهذا البحث ومناقشة النتائج يمكن استنتاج ما يلي:

1- بالإمكان تصميم الاعمدة الخرسانية القصيرة باستعمال اقل كمية من حديد التسليح مما يجعلها أكثر اقتصادية كما يساهم ذلك في تقليل الزمن اللازم لتنفيذها.

2- غالبا ما تكون تكلفة حديد التسليح هي الاعلى في تنفيذ الخرسانة المسلحة من ناحية توفير هذه المادة بالإضافة الى توفر العمالة الماهرة في قص وثني وتركيب حديد التسليح وفق ما توصي به المواصفات.

3- عملية تثبيت حديد التسليح المزدحم أكثر صعوبة من التسليح المتوسط وقد يسبب التثبيت العشوائي الى تغير في خواص العمود الهندسية كتغير مركز ثقله وينتج عن ذلك عزوم ثانوية تزيد من القوى المؤثرة على العمود.

4- زيادة مقاومة الخرسانة للضغط اقل كلفة من زيادة كمية حديد التسليح بالإضافة الى ان تقليل كمية الخرسانة المطلوبة امر غير وارد لأنها هي العنصر الرئيسي في تنفيذ الاعمدة وكما تم توضيحه بالبحث ان الزيادة في مقاومة الخرسانة للضغط لا تعني تلك الزيادة الكبيرة التي تحتاج الى ملدنات فائقة تزيد من كلفة انتاج الخرسانة وانما زيادة بنسب بسيطة مثلا من مقاومة قدرها (28 Mpa) الى مقاومة قدرها (32 Mpa) وسيكون تأثيرها كبير على تخفيض كمية حديد التسليح مثلا من (ϕ2812) الى (8ϕ28).

5- زيادة مساحة مقطع العمود قد تكون حل بديل من اجل تخفيض كمية حديد التسليح المستعملة في العمود وهذا يؤدي الى زيادة كمية الخرسانة المستعملة الا ان ذلك قد يكون اقل كلفة من زيادة حديد التسليح.

6- تخفيض كمية التسليح بالعمود تساهم في تقليل مشاكل التعشيش في خرسانة الاعمدة القصيرة والتي تعتبر من المشاكل المصاحبة لعملية صب العمود وغالبا ما يكون سببها ازدحام حديد التسليح بالعمود وهي تسبب في اضعاف قدرة العمود على تحمل ضغوط المبنى ولا يوجد حل جذري لهذه المشكلة الا بإزالة العمود واعادة تنفيذه ويمكن ترميم العمود بدل ازالته الا ان ذلك لن يحقق كامل المقاومة التصميمية للعمود أي انه سيحدث تخفيض لمقاومته للضغوط المؤثرة كما ان اعمال الترميم قد لا يتم تنفيذها بشكل جيد يمنع تسرب المياه لحديد التسليح ويؤدي ذلك الى حدوث الصدأ بالحديد وما يصاحبه من تأثيرات سلبية على اضعاف العمود على المدي الطويل.

6. التوصيات

من خلال الاستنتاجات التي تم الوصول اليها في هذا البحث نوصي بما يلي:

1- دراسة امكانية تخفيض كمية التسليح في الاعمدة الطويلة.

2- دراسة تغيير بعض خصائص الاعمدة الطويلة لإمكانية تحويلها الى اعمدة قصيرة عن طريق زيادة مساحة مقطعها او مقاومة خرسانتها للضغط.

3- دراسة امكانية تخفيض كمية التسليح في باقي العناصر الانشائية كالكمرات والبلاطات والقواعد.

4- استعمال البرامج الحاسوبية كبرنامج الاكسل في تصميم الاعمدة الاقتصادية يتيح للمهندس الاطلاع على مقدار تقليل تكلفة الانشاء.

5- دراسة تأثير عملية تخفيض كمية التسليح بالأعمدة القصيرة على متانتها وتغير قدرة تحملها مع مرور الزمن ومقاومتها للظروف المحيطة ومقاومتها لأحمال الزلازل.

المراجع

1- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2015). *Design of reinforced concrete*. John Wiley & Sons.

2- Umesh K. Sharma, Pradeep Bhargava and S.K. Kaushik. Behavior of Confined High Strength Concrete Columns under Axial Compression. Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 3, No. 2, 267-281

3- Sharma, U. K., & Bhargava, P. (2005). Behavior of confined high strength concrete columns under axial compression. Journal of Advanced Concrete Technology, 3(2), 267-281.

4- Campione, G., & Minafò, G. (2010). Compressive behavior of short high-strength concrete columns. *Engineering Structures*, *32*(9), 2755-2766.

5- Choi, S. H., Hwang, J. H., Han, S. J., Cho, H. C., Kim, J. H., & Kim, K. S. (2020). Simplified effective compressive strengths of columns with intervening floor slabs. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, *14*(1), 42.

BIOGRAPHIES OF AUTHOR

He obtained his Master's degree from the University of Tripoli in 2013, and his bachelor's degree in civil engineering from Al-Zaytouna University in 1994. He has worked as an assistant lecturer in the Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Bani Walid, Libya since 2016. He has been a lecturer since March 2025. He has participated in several research papers in scientific conferences and local scientific journals. His research interests include concrete technology, structural analysis and design using software.