مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (4) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (4) 2016

التصميم الأمثل للمقاطع البيتونية المسلحة ذات الشكل T باستخدام البرمجة اللاخطية وفق الكود العربي السوري

الدكتور نزيه منصور [*]
الدكتور جمال عمران [**]
لونا عيسى [***]

(تاريخ الإيداع 23 / 3 / 2016. قُبِل للنشر في 3/ 8 / 2016)

□ ملخّص □

يتناول هذا البحث تصميم المقاطع البيتونية المسلحة ذات الشكل T وفق الكود العربي السوري وصولاً للمقطع ذو الكلفة الأقل، مع اعتبار كافة متطلبات التصميم. تعتمد الطريقة التقليدية على مجموعة من الفرضيات التصميمية ، فيما تهدف هذه المنهجية للوصول إلى الحل الأمثل مع الأخذ بعين الاعتبار للشروط المقيدة، لذلك فإن استخدامها سيقودنا لتصميم المقطع البيتوني المسلح ذو الكلفة الأدنى.

يبين هذا البحث إمكانية صياغة هذه المسألة في نموذج برمجي رياضي لاخطي، وذلك من خلال عدة حالات تم استخدامها لشرح كيفية تطبيق هذه النمذجة ضمن شروط الكود العربي السوري.

تم اعتماد الطريقة التقليدية المتبعة في الكود العربي السوري لتصميم المقاطع في هذا البحث، باستخدام طريقة البرمجة اللاخطية المضمنة ببرنامج Lingo14.0 من شركة LINDO Systems Inc. وقد أظهرت مقارنة النتائج التوفير الكبير في كلفة المقطع البيتوني المسلح ذو الشكل T.

الكلمات المفتاحية: الأمثلة؛ البرمجة اللاخطية؛ البيتون المسلح؛ الجوائز ذات المقطع T

[*] **مدرس ـ قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**
[**] **أستاذ مساعد ـ قسم هندسة وإدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**
[***] **طالبة ماجستير ـ قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.**

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (4) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (4) 2016

Optimum Design of Reinforced Concrete T-Beam Sections Using Nonlinear Programming According to Syrian Code

Dr. Nazih Mansour[*]
Dr. Jamal Omran[**]
Luna Issa[***]

(Received 23 / 3 / 2016. Accepted 3 / 8 / 2016)

□ ABSTRACT □

This research deals with the minimum cost design of reinforced concrete T-beams according to the Syrian code. The aim is to minimize the total cost of the beam while respecting all the design requirements. Traditional method depend on a set of suppositions, in the opposite this methodology aim to reach the optimal solution among a set of constraints with respect the objective function. So that, using this methodology leading to the minimum cost reinforced section design.

This research is shown that the problem can be formulated in a nonlinear mathematical programming format.

Several cases are used to explain the applicability of the formulation in accordance with the current Syrian code. Traditional method of Syrian code has been used to design sections in this paper, utilizing the nonlinear programming method provided by Lingo14.0 software from LINDO Systems Inc. The comparison of the results shows that important saving can be obtained at the total cost of a reinforced concrete T-beams design.

Keywords: Optimization; Non-linear Programming; Reinforced Concrete; T-beams

[*]**Assistant Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.**
[**]**Associate Professor, Department of Construction Management, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.**
[***] **Postgraduate student, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

خلال السنوات القليلة الماضية، باتت الأسعار تتذبذب كثيراً في سوريا، بما في ذلك أسعار مواد البناء، مثل البيتون، فولاذ التسليح والمواد الأخرى المستخدمة في عملية التنفيذ. يضاف إلى ذلك أجور اليد العاملة المتغيرة من حين إلى آخر. لذلك، أصبح من الضروري إيجاد طريقة للوصول إلى التصميم الأمثل ذو الكلفة الأقل للمنشآت البيتونية المسلحة.

يحدد الكود العربي السوري مجموعة من الشروط التي تنظم عمل التصميم الهندسي في سوريا. هذه الشروط تميز عملية التصميم عن مثيلاتها في الدول الأخرى، على الرغم من اشتراكها معها في العديد من المعايير والشروط. هذه الخصوصية تقود إلى ضرورة تحديث عملية الأمثلة بما يتوافق مع معايير الكود العربي السوري، مما يقدم مادة هامة للبحث، خصوصاً في ظل الظروف الاقتصادية الحالية.

يعد التصميم الهندسي نوعاً من عمليات صنع القرار. فهو يتطلب قرارات حاسمة في كل مرحلة من مراحل إنهاء المنتج أو النظام، ابتداءً من مرحلة التصميم الأولي وصولاً إلى مرحلة التصميم النهائي. إن وجود هدف تصميمي وحيد يجعل من تحديد التصميم الأمثل مهمة بسيطة للغاية.

في عملية التصميم التقليدية، غالباً ما يفترض المصمم مقطع جائز دون الاعتماد على الكلفة حسابياً، ويتم تكرار هذه العملية في حال كان المقطع المفروض غير كافٍ [1] لمقاومة الحمولات المطبقة عليه.

تتألف الكلفة بشكل أساسي من كلف مواد البناء: بيتون، فولاذ تسليح، وأجور يد عاملة. من منظور اقتصادي، يفضل ملاءمة عملية التصميم الأمثل للمقاطع الحرجة، والسلوك اللاخطي الأقصى للبيتون وفولاذ التسليح مع كودات التصميم الحالية [2]. تتألف عملية التصميم المرتبط بالكلفة من إجراء يقوم أولاً بصياغة نموذج الأمثلة الإنشائي ثم حله باستخدام خوارزمية البرمجة الرياضية المناسبة. [3]

تم اختيار مقاطع الجوائز البيتونية المسلحة ذات الشكل T في هذا البحث كأمثلة لتطبيق المنهجية المقترحة عليها. حيث أُخذ العديد من هذه الأمثلة من المقاطع الموجودة في الكتب الأكاديمية في الجمهورية العربية السورية. استخدُمت الطريقة الحدية المتبعة في الكود العربي السوري لتصميم المقاطع في هذا البحث، باستخدام طريقة البرمجة اللاخطية المعتمدة في برنامج Lingo14.0.

كثيراً ما تستخدم الجوائز البيتونية المسلحة ذات المقطع T في الأبنية الصناعية، وخصوصاً في بلاطات الأبنية، الجدران الاستنادية، الجسور، وبشكل عام في مشاريع التشييد البيتونية المسلحة. إن استخدام الجوائز ذات المقطع T على نطاق واسع – كما في حالة إنتاج عنصر صناعي بيتوني مسلح مسبق الصنع – يقتضي تطوير مقاربة تصميم تدخل فيها كلفة العنصر، وذلك باستخدام تقنيات البرمجة اللاخطية.

من الناحية المثالية، يجب أن يحقق التصميم النهائي التوافق بين الأبعاد الهندسية للمقطع الأمثل ذو الشكل T، وشرط التحميل الأقصى (Ultimate loading condition) بما في ذلك الوزن الذاتي للجائزT. [4]

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية هذا البحث، في تقديمه لمنهجية جديدة لتصميم ذو كلفة أقل للمقاطع البيتونية المسلحة ذات الشكل T، بما يتوافق مع متطلبات الكود العربي السوري. حيث توفر البرمجة اللاخطية العديد من المزايا التي تساهم في الوصول إلى التصميم الأمثل ذو الكلفة الأقل، دون الحاجة للحسابات التكرارية لعملية التصميم من قبل المستخدم، مما

يساهم في توفير نفقات إضافية يمكن أن نكون بغنى عنها خصوصاً في هذه الفترة الاستثنائية التي تمر بها الجمهورية العربية السورية.

يهدف هذا البحث إلى اقتراح منهجية جديدة لتصميم المقاطع البيتونية المسلحة، بالاعتماد على طرق البرمجة اللاخطية Nonlinear Programming وصولاً للتصميم الأمثل (المقطع ذو الكلفة الأقل)، وذلك وفق المتغيرات الأساسية التي تعتمد كلاً من شروط الأمان والاقتصاد الداخلة في التصميم، بما يتطابق مع متطلبات الكود العربي السوري.

طرائق البحث ومواده:

مفهوم الأمثلة (Optimization):

لقد وصلت الأمثلة إلى مرحلة النضوج، وذلك بسبب الأبحاث الواسعة النطاق التي قدمت خلال السنوات الستين الأخيرة تقريباً [5] .

تُعتبَر عملية صياغة مسألة الأمثلة بالشكل الرياضي خطوة هامة لحل هذه المسألة. فإن لم تتم نمذجة مسألة الأمثلة بالشكل الملائم، فإن الحل سيكون، على الأرجح، غير مقبول. كمثال على ذلك، إن لم يتم تضمين الشرط الحدي في نمذجة المسألة، فعندها، على الأرجح، سيُنتهك هذا الشرط عند نقطة الحل الأمثل. لذا فهناك حاجة إلى انتباه شديد عند صياغة مسألة الأمثلة بالشكل الرياضي. [5]

إن تطور الطرق العددية في حل مشاكل البرمجة اللاخطية واستخدام البرمجيات المتطورة (Matlab أو Lingo)، سهّل كثيراً قضية التعاطي مع هذه المسائل وحلها بشكل سريع. وقد أصبحت النقطة الأشد أهمية هي القدرة على تشكيل النموذج الرياضي الأساسي لكل مشكلة على حدة، والذي يأخذ الشكل العام المؤلف من تابع هدف وشروط مقيدة وشروط عدم سلبية.

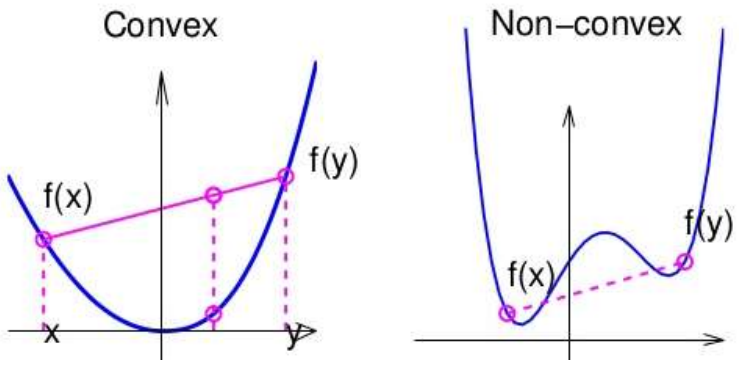
تتضمن مجموعة الشروط المقيدة بشكل عام:

1. حدود متحولات التصميم (الاشتراطات البعدية).
2. اشتراطات التوازن والأمان.
3. الاشتراطات التصميم الكودية الأخرى.

مفهوم البرمجة اللاخطية (Nonlinear Programming NLP):

في الرياضيات، البرمجة اللاخطية (Nonlinear Programming (NLP هي الإجراء الذي يقوم بحل مسألة الأمثلة والمعرف بنظام متكامل من المعادلات والمتراجحات، ومجموعة المقيدات على جملة متغيرات حقيقية، مع تابع هدف تكبير أو تصغير، حيث تكون بعض المقيدات أو تابع الهدف لا خطية. [6]

وتُعتبر مشكلة المجموعات المحدبة وإثبات تحدب مجموعة الشروط المقيدة واحدة من أهم المشاكل التي تواجه حل نموذج البرمجة اللاخطية، لأنه في حال عدم إثبات التحدب لمجموعة الشروط المقيدة تصبح المسألة صعبة الحل. يبين الشكل [1] بعض نماذج للتوابع المحدبة وغير المحدبة.



الشكل [1] نماذج للتوابع المحدبة وغير المحدبة

يجب ملاحظة النقاط التالية في مسائل البرمجيات المحدبة:

1. يمكن وجود عدة نقاط صغرى مطلقة لمسألة البرمجة المحدبة، مع أخذ تابع الكلفة لنفس القيمة العددية.
2. يمكن ألا يكون التابع المقيد محدباً أحياناً إن كان هذا المقيد متغيراً، في الوقت الذي ت بقى فيه منطقة الإمكانات المحددة بالمقيد محدبة.
3. حتى في حال عدم وجود التحدب، يمكن أن يكون هناك حل أصغري مطلق في منطقة الحلول الممكنة.
4. على الرغم من ذلك، من الصعب أن نقول في الخاتمة أننا قد وصلنا إلى الحل المطلق. [5]

إن المدخل الأساسي للبرمجة اللاخطية هو تعريف متغيرات المسألة (Decision Variables)، والتي تكون عادة عبارة عن مجموعة القيم التصميمية المطلوبة في مسألة تصميم المقطع.

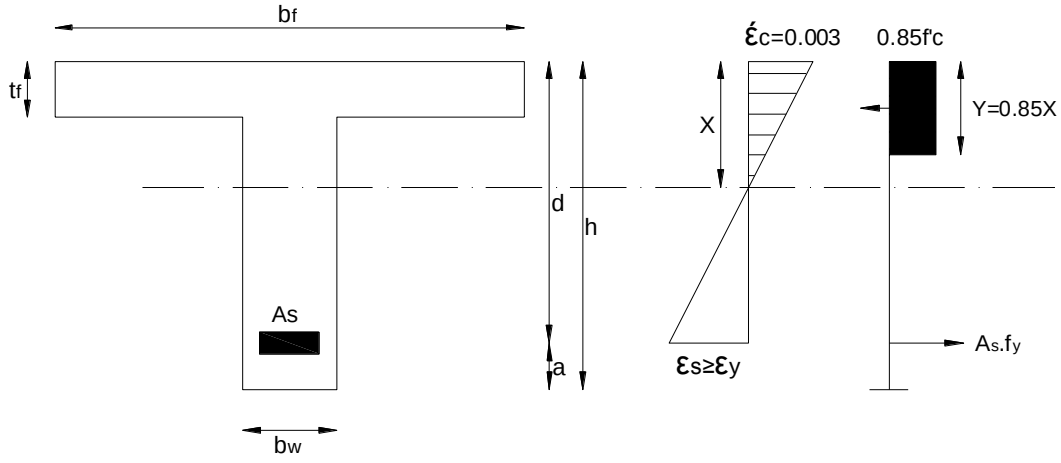
تتجسد أهمية صياغة هذه المتغيرات في اجراء نمذجة رياضية سليمة، بحيث تكون جميع المتغيرات المستخدمة هي متغيرات مستقلة خطياً. نذكر منها: أبعاد المقطع، مساحة التسليح والارتفاع الفعال.

وبالاعتماد على مبدأ اقتصادية التصميم يتم تعريف تابع الهدف من متغيرات الكلفة الإجمالية للمقطع، بحيث أننا سنبحث في نهاية الأمر عن القيمة الصغرى للتابع باحترام الشروط المقيدة.

الشروط المقيدة هي كافة الاشتراطات الانشائية الكودية متكاملة مع بعضها في منظومة رياضية تدعى جملة الشروط المقيدة أي أنها تؤثر في وقت واحد.

النموذج الرياضي:

ليكن لدينا الجائز التالي من البيتون المسلح ذو المقطع T المبين بالشكل [2] والمعرض لعزم الانعطاف الأقصى M_u.



الشكل [2] المقطع البيتوني المسلح ذو الشكل T

عند تصميم المقطع البيتوني ذو الشكل T المعرض لعزم الانعطاف M_u، فإن سماكة الجناح t_f، وعرض الجناح b_f، يتم تحديدهما أثناء تصميم البلاطة، وبحسب الحدود التي يفرضها الكود العربي السوري لعرض الجناح b_f. كما يمكننا فرض سماكة الجسد لا تقل عن قيمة دنيا b_{wmin}. ما يزال هناك مجهولان يجب تحديدهما، الارتفاع الفعال d، والمساحة الكلية لقضبان الفولاذ A_s. علماً أن M_u هو عزم الانعطاف، و f'_c المقاومة المميزة للبيتون على الضغط، و f_y إجهاد الخضوع للفولاذ على الشد تكون معلومة دائماً [7]. كما أن نسبة التسليح العظمى $\mu_{s\,max}$ ونسبة التسليح الصغرى $\mu_{s\,min}$ يتم تحديدهما أيضاً من الكود العربي السوري.

المعادلات التي يتم اعتمادها عند تصميم المقطع T هي كالتالي [7]:

الجدول [1]: مجموعة الشروط المقيدة

الاشتراطات البعدية	$t_f \geq \frac{h}{10}$ $b_w \geq b_{w\min}$ $t_f \geq t_{f\min}$ $d = h - a$ $h \geq \frac{L}{16}$ حالة جائز بسيط

اشتراطات التوازن والأمان	$$M_{u1} = 0.85 \cdot f_c^{'} \cdot \Omega \cdot b_w \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot (1 - 0.5 \cdot \alpha)$$ $$M_{ut} = 0.85 \cdot f_c^{'} \cdot \Omega \cdot (b_f - b_w) \cdot t_f \cdot (d - 0.5 \cdot t_f)$$ $$M_u = M_{ut} + M_{u1}$$ $$M_u > 0.85 \cdot f_c^{'} \cdot \Omega \cdot b_f \cdot t_f \cdot (d - 0.5 \cdot t_f)$$ $$A_{s1} = \frac{M_{u1}}{\Omega \cdot d \cdot f_y \cdot (1 - 0.5 \cdot \alpha)}$$ $$A_{st} = \frac{M_{ut}}{\Omega \cdot f_y \cdot (d - 0.5 \cdot t_f)}$$ $$A_s = A_{s1} + A_{st}$$
اشتراطات التصميم الكودية الأخرى	$$\mu_{s\,min} \le \frac{A_s}{A_c} \le \mu_{s\,max}$$ $$A_c = b_w.d$$ $$\mu_{s\min} = \frac{9}{f_y}$$ $$\mu_{s\max} = \frac{3400}{6300 + f_y} \cdot \frac{f_c'}{f_y} + 0.64 \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \frac{(b_f - b_w) \cdot t_f}{b_w \cdot d}$$ $$\alpha = \frac{\mu_{s1} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c'}$$ $$\alpha_{\max} = \frac{\mu_{s\max} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c'}$$ $$\alpha \le \alpha_{\max}$$ $$\mu_{s1} = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d}$$ $$y = \alpha * d$$ $$y > t_f$$

حيث:

M_u العزم الكلي الذي يتعرض له المقطع T،

μ_s نسبة التسليح،

$\mu_{s,\min}$ نسبة التسليح الدنيا،

$\mu_{s,\max}$ نسبة التسليح العظمى،

$f_c^{'}$ المقاومة المميزة للبيتون على الضغط،

f_y إجهاد الخضوع للفولاذ على الشد،

Ω عامل تخفيض الحمولة حيث $\Omega = 0.9$ للانعطاف،

A_s مساحة فولاذ التسليح،

A_{s1} مساحة فولاذ التسليح المقابلة لمنطقة الضغط في الجسد،

A_{st} مساحة فولاذ التسليح المقابلة لمنطقة الضغط في الأجنحة،

bf عرض الجناح،

b_w عرض الجسد،

h الارتفاع الكلي،

d الارتفاع الفعال،

t_f سماكة الجناح،

y ارتفاع منطقة الضغط.

تتألف وحدة كلفة الجائز البيتوني المسلح ذو المقطع T من قسمين: كلفة البيتون وكلفة قضبان التسليح (حيث تكون كلفة اليد العاملة والقالب مضمَّنة في كلا الكلفتين).

تابع الهدف هو تابع الكلفة، تتم صياغته بالاعتماد على أبعاد المقطع البيتوني كالتالي الشكل [2]:

$$C = C_c \cdot A_c + C_s \cdot A_s$$

$$C = C_c \cdot \left[b_f \cdot t_f + b_w \left(h - t_f \right) \right] + C_s \cdot A_s$$

حيث:

C قيمة وحدة الكلفة للمقطع البيتوني المسلح،

Cc وحدة كلفة البيتون،

Ac مساحة المقطع البيتوني الفعال،

Cs وحدة كلفة قضبان الفولاذ المشدود،

As المساحة الكلية لفولاذ التسليح المشدود.

يتم تصغير تابع الهدف (تابع الكلفة) كالتالي:

$$C = C_c \cdot A_c + C_s \cdot A_s \longrightarrow Min$$

ويتم صياغة الشروط المقيدة بحسب الجدول [1] علماً أن:

$$M_u = 0.85 \cdot f_c^{'} \cdot \Omega \cdot \left(b_f - b_w \right) \cdot t_f \cdot \left(d - 0.5 \cdot t_f \right) + \Omega \cdot 0.85 f_c' \cdot b_w \cdot d^2 \cdot \alpha \cdot (1 - 0.5 \cdot \alpha)$$

يتألف النموذج من تابع الهدف والشروط المقيدة. هذا النموذج لاخطي، مما يستدعي صياغة مسألة أمثلة لاخطية مؤلفة من تابع هدف وشروط مقيدة.

يمكن نمذجة مسألة الأمثلة اللاخطية وحلها حسابياً باستخدام البرنامج Lingo. ويُعتبَر هذا البرنامج أداةً شاملة مصممة لبناء وحل نماذج الأمثلة الرياضية بشكل أسهل وأكثر فعالية. وهو يزود المستخدم بلغة برمجية فعالة يمكن بواسطتها التعبير عن نماذج الأمثلة.

النتائج والمناقشة:

الحالات المدروسة:

كي نوضح كيفية تأثير المنهجية المقترحة على الكلفة الكلية الناتجة عن تصميم الجائز البيتوني المسلح ذو المقطع T، سنعرض أمثلة واقعية مختلفة مصممة بالطريقة المتبعة بالكود العربي السوري.

الحالة 1:

لدينا الجائز البيتوني المسلح ذو المقطع T وفق الخصائص التالية:

$$L=400\ cm\ ;\ M=60\ t.m\ ;\ f_c^{'}=200\ Kg/cm^2\ ;\ f_y=3500\ kg/cm^2$$

باستخدام الطريقة الحدية المتبعة بالكود العربي السوري نحصل على النتائج التالية:

$$t_f=10cm\ ;\ b_w=30cm\ ;\ b_f=70cm\ ;\ d=53cm\ ;\ h=60cm\ ;\ A_s=40.7017cm^2$$

كلفة واحدة الطول لتصميم هذا المقطع بالطريقة الحدية هي:

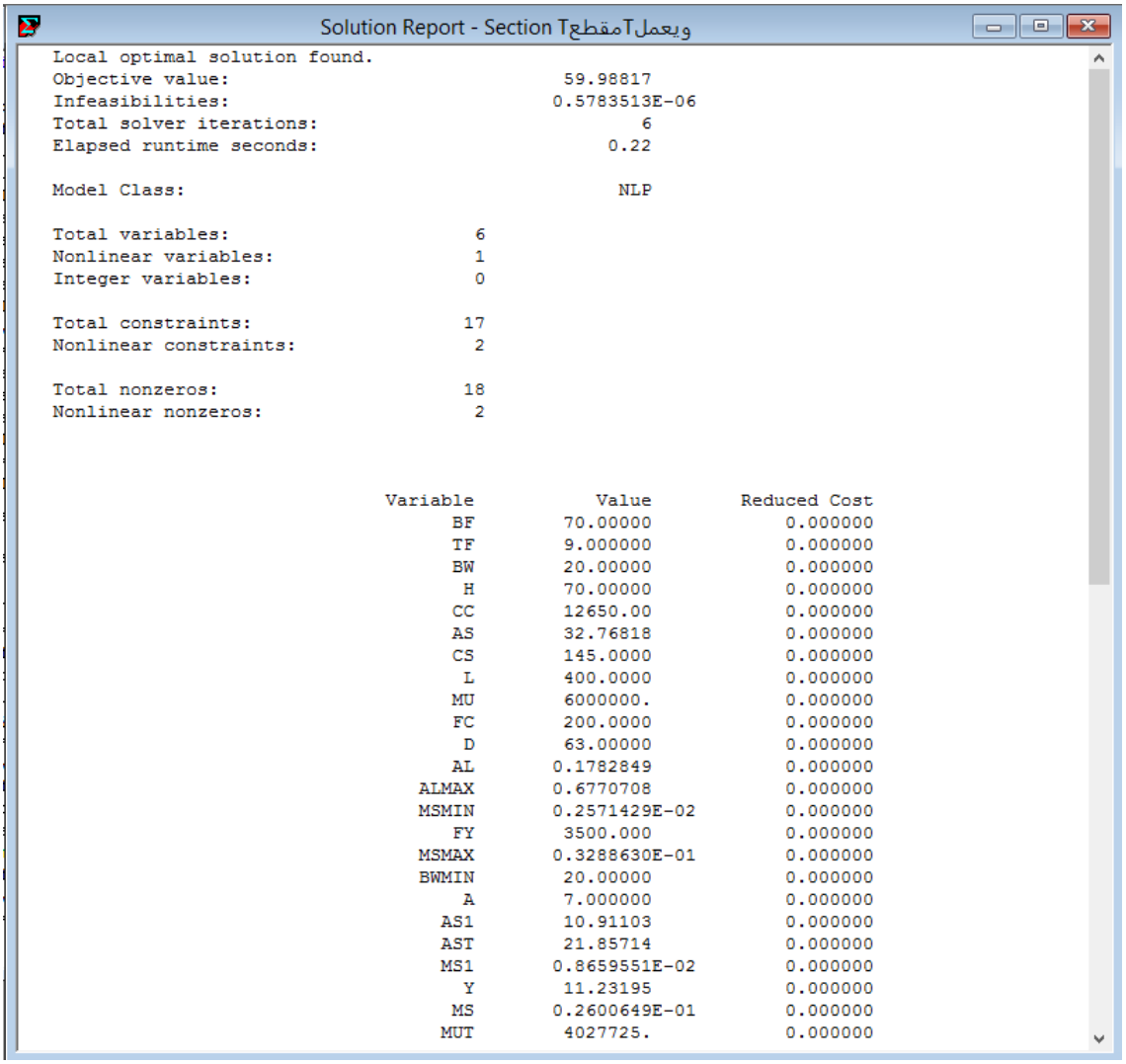
$$C_{class}=73.27\ S.P/cml$$

عند استخدام البرمجة اللاخطية للوصول إلى المقطع الأمثل أو المقطع ذو الكلفة الأقل، فإن تابع الهدف سيكون كالتالي:

$$C=12650\cdot(10^{-6})\cdot[b_f.t_f+b_w\cdot(h-t_f)]+7700\cdot A_s\cdot(10^{-6})\cdot 145\longrightarrow Min$$

والشروط المقيدة هي ذاتها المذكورة في النموذج الرياضي السابق.

إدخال هذا النموذج في البرنامج Lingo وحله يعطينا النتائج التالية:



Solution Report - Section Tمقطع Tويعمل

```
Local optimal solution found.
Objective value:                              59.98817
Infeasibilities:                          0.5783513E-06
Total solver iterations:                              6
Elapsed runtime seconds:                           0.22

Model Class:                                        NLP

Total variables:                      6
Nonlinear variables:                  1
Integer variables:                    0

Total constraints:                   17
Nonlinear constraints:                2

Total nonzeros:                      18
Nonlinear nonzeros:                   2


                     Variable           Value        Reduced Cost
                           BF        70.00000            0.000000
                           TF        9.000000            0.000000
                           BW        20.00000            0.000000
                            H        70.00000            0.000000
                           CC        12650.00            0.000000
                           AS        32.76818            0.000000
                           CS        145.0000            0.000000
                            L        400.0000            0.000000
                           MU        6000000.            0.000000
                           FC        200.0000            0.000000
                            D        63.00000            0.000000
                           AL       0.1782849            0.000000
                        ALMAX       0.6770708            0.000000
                        MSMIN   0.2571429E-02            0.000000
                           FY        3500.000            0.000000
                        MSMAX   0.3288630E-01            0.000000
                        BWMIN        20.00000            0.000000
                            A        7.000000            0.000000
                          AS1        10.91103            0.000000
                          AST        21.85714            0.000000
                          MS1   0.8659551E-02            0.000000
                            Y        11.23195            0.000000
                           MS   0.2600649E-01            0.000000
                          MUT        4027725.            0.000000
```

$t_f = 9cm$; $b_w = 20cm$; $b_f = 70cm$; $d = 63cm$; $h = 70cm$ $A_s = 32.77\ cm^2$

وتنتج كلفة واحدة الطول للمقطع البيتوني المسلح باستخدام برنامج Lingo:

$C_{opt} = 59.99\ S.P/cml$

يبين الجدول [2] الفرق بين الحل التقليدي والحل الأمثل بالبرمجة اللاخطية لهذه الحالة:

الجدول [2]: الفرق بين الحل التقليدي والحل الأمثل بالبرمجة اللاخطية للحالة 1

الحل التقليدي	الحل الأمثل
$b_f = 70$ cm	$b_f = 70$ cm
h = 60 cm	h = 70 cm
$b_w = 30$ cm	$b_w = 20$ cm
$t_f = 10$ cm	$t_f = 9$ cm
$A_s = 40.7017$cm2	$A_s = 32.768\ cm^2$
$C_{class} = 73.27$ S.P/cml	$C_{opt} = 59.99$ S.P/cml

نسبة التوفير:

$R= (C_{class}-C_{opt}) /C_{class} = 18.12\ \%$

وبالتالي فإن الحل الذي حصلنا عليه باستخدام المنهجية المقترحة يوفر حوالي 18.12 % من الكلفة التي نحصل عليها عند الحل باستخدام الطريقة المتبعة بالكود العربي السوري، وذلك للحالة المدروسة.

الحالة 2:

لدينا الجائز البيتوني المسلح ذو المقطع T وفق الخصائص التالية:

$L=400\ cm\ ;\ M=65\ t.m\ ;\ f_c^{'}=200\ Kg/cm^2\ ;\ f_y=3500\ kg/cm^2$

باستخدام الطريقة الحدية المتبعة بالكود العربي السوري نحصل على النتائج التالية:

$$t_f=10cm\ ;\ b_w=30cm\ ;\ b_f=70cm\ ;d=53cm\ ;\ h=60cm\ \ A_s=45cm^2$$

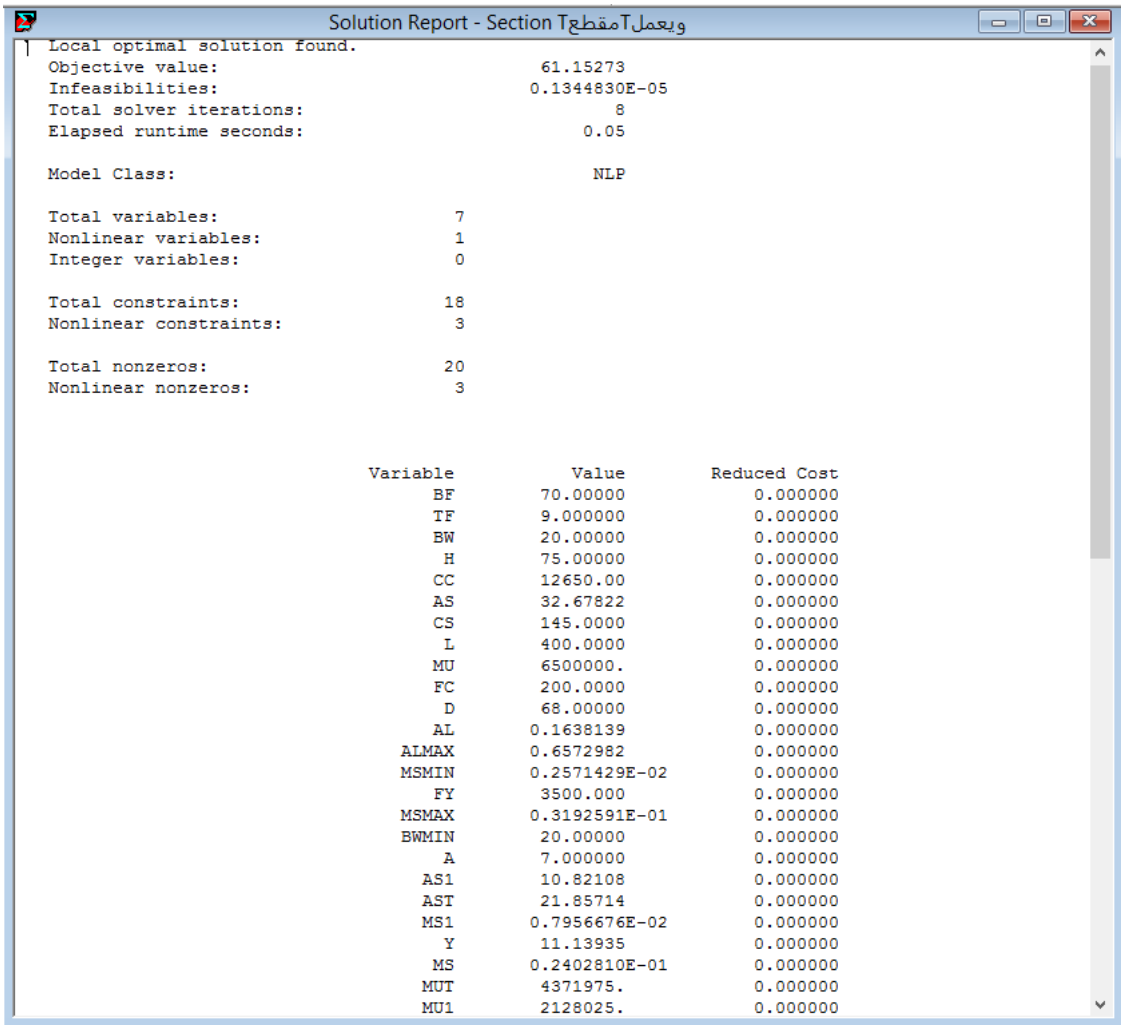
كلفة واحدة الطول لتصميم هذا المقطع بالطريقة الحدية هي:

$C_{class} = 78.07\ S.P/cml$

عند استخدام البرمجة اللاخطية للوصول إلى المقطع الأمثل أو المقطع ذو الكلفة الأقل، فإن تابع الهدف سيكون كالتالي:

$$C=12650\cdot(10^{-6})\cdot[b_f.t_f+b_w(h-t_f)]+7700\cdot A_s\cdot(10^{-6})\cdot 145 \longrightarrow Min$$

إدخال هذا النموذج في برنامج Lingo وحله يعطينا النتائج التالية:



$t_f = 9cm$; $b_w = 20cm$; $b_f = 70cm$; $d = 68cm$; $h = 75cm$ $A_s = 32.68cm^2$

وتنتج كلفة واحدة الطول للمقطع البيتوني المسلح:

$C_{opt} = 61.15\ S.P/cml$

يبين الجدول [3] الفرق بين الحل التقليدي والحل الأمثل بالبرمجة اللاخطية لهذه الحالة:

الجدول [3]: الفرق بين الحل التقليدي والحل الأمثل بالبرمجة اللاخطية للحالة 2

الحل التقليدي	الحل الأمثل
$b_f = 70$ cm	$b_f = 70$ cm
h = 60 cm	h = 75 cm
$b_w = 30$ cm	$b_w = 20$ cm
$t_f = 10$ cm	$t_f = 9$ cm
$A_s = 45$ cm^2	$A_s = 32.67822$ cm^2
$C_{class} = 78.07$ S.P/cml	$C_{opt} = 61.15$ S.P/cml

نسبة التوفير:

$$R= (C_{class}-C_{opt})/C_{class} = 21.67\ \%$$

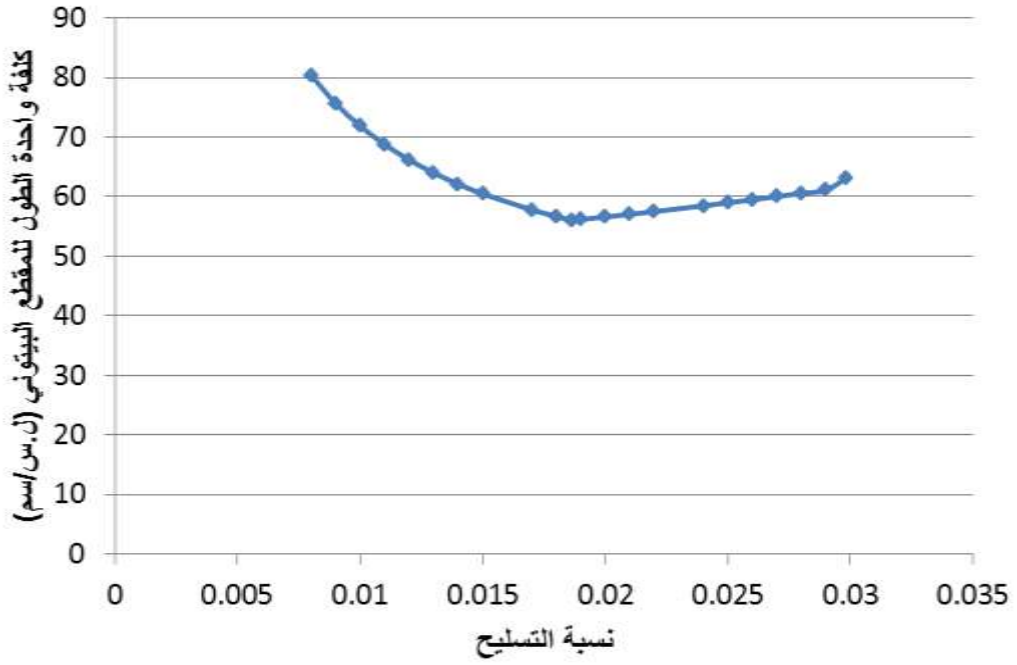
وبالتالي فإن الحل الذي حصلنا عليه باستخدام المنهجية المقترحة يوفر حوالي 21.67 % من الكلفة التي نحصل عليها عند الحل باستخدام الطريقة المتبعة بالكود العربي السوري، وذلك للحالة المدروسة.

في الحالات السابقة، تم تحميل مقطع الجائز البيتوني المسلح ذو المقطع T بثلاث قيم مختلفة لعزم الانعطاف. بحيث تضمن هذه القيم عمل المقطع المدروس كمقطع بيتوني مسلح ذو شكل T أحادي التسليح. وقد تراوحت القيمة القصوى للعزم المحمل على هذا الجائز بين M=55t.m و M=65 t.m . وقد لاحظنا أن تطبيق البرمجة اللاخطية لكل حالة تنتج عنه نسبة توفير تتراوح بين R=18.12% و R= 21.67 %.

تحليل الحساسية:

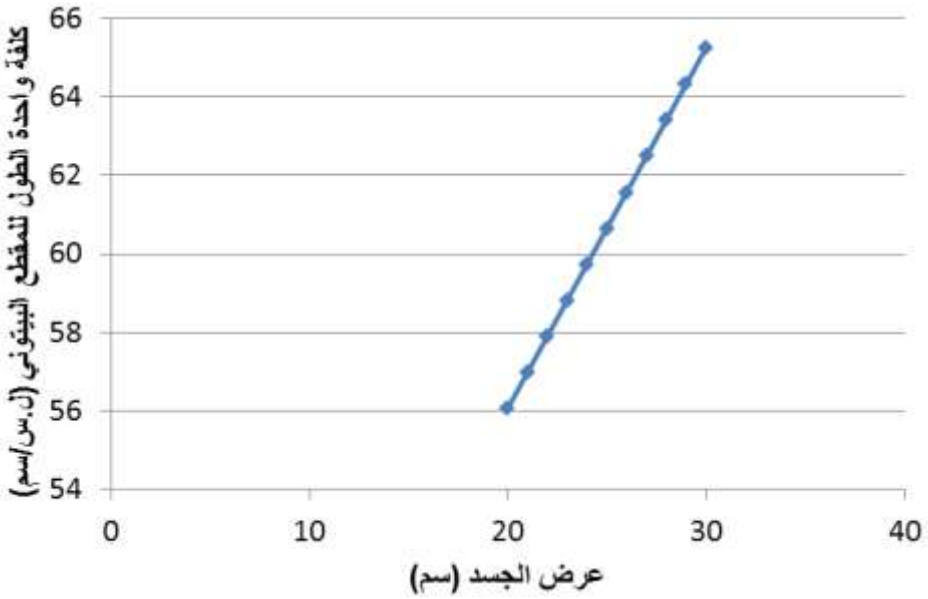
إن تحليل الحساسية هو أسلوب يستخدم لتحديد كيفية تأثير تغير قيم متحول مستقل، على قيمة التابع المرتبط به بشكل مباشر أو غير مباشر، في ظل مجموعة من الافتراضات. وتستخدم هذه التقنية ضمن مجال محدد من القيم التي تعتمد على متحول أو أكثر من المتحولات المدخلة.

تم إجراء تحليل لحساسية النموذج عند الحالة /1/، أي عند تصميم المقطع البيتوني المعرض لعزم انعطاف قدره M=60t.m، وذلك لكل من المتحولات التالية: نسبة التسليح μ_s وعرض الجسد b_w وسماكة الجناح t_f . ونعرض فيما يلي الأشكال التي تمثل درجة حساسية كلفة واحدة الطول للمقطع البيتوني بالنسبة لكل متغير من المتغيرات السابقة الذكر.



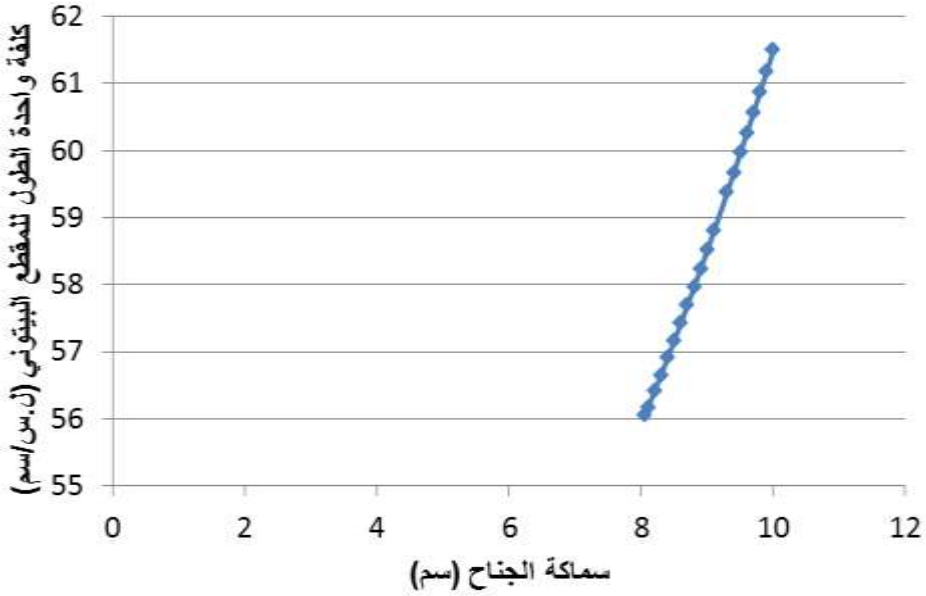
الشكل [3]: حساسية كلفة واحدة الطول للمقطع البيتوني بالنسبة لنسبة التسليح

من الشكل [3] يمكن ملاحظة أن الكلفة تتراوح بين القيمة المثلى 56.06 والقيمة العظمى 80.4، في مجال يتراوح بين قيمتي نسبتي التسليح الصغرى والعظمى. كما نلاحظ أن الكلفة تصبح أكثر حساسية لنسب تسليح أصغر من نسبة التسليح المثلى.



الشكل [4]: حساسية كلفة واحدة الطول للمقطع البيتوني بالنسبة لعرض الجسد

من الشكل [4] يمكن ملاحظة أن الكلفة تتراوح بين القيمة المثلى 56.06 والقيمة العظمى 65.23، في مجال يتراوح بين القيمتين [20,30]. كما نلاحظ أن الكلفة تتغير خطياً مع عرض الجسد.



الشكل [5]: حساسية كلفة واحدة الطول للمقطع البيتوني بالنسبة لسماكة الجناح

من الشكل [5] يمكن ملاحظة أن الكلفة تتراوح بين القيمة المثلى 56.06 والقيمة العظمى 61.5، في مجال يتراوح بين القيمتين [8,10]. كما نلاحظ أن الكلفة تتغير خطياً مع سماكة الجناح.

إن التصميم الهندسي هو عملية صنع قرار، تتطلب قرارات حاسمة في كل مستوى لها خلال عملية الإنتاج، ابتداءً من مرحلة التصميم الأولي إلى مرحلة التصميم النهائي. إن الطريقة التقليدية (المتبعة في الكود العربي السوري) غير مرتبطة بالكلفة. إذ تبدأ بإعطاء قيم أولية لنسبة التسليح، سماكة الجناح، وعرض الجسد. حيث تتراوح هذه القيم ضمن المجال المسموح لها بين القيم الصغرى والقيم العظمى المسموحة. ثم يتم حساب الارتفاع المسموح، وبناءً عليه نحصل على الارتفاع الكلي. وأخيراً، يمكن حساب مساحة التسليح، والتحقق أن نسبة التسليح لا تزال ضمن المجال المسموح.

مما سبق، يمكن ملاحظة أن خبرة المصمم تلعب دوراً كبيراً في التصميم بالطريقة التقليدية، إذ ينبغي عليه اتخاذ العديد من هذه القرارات خلال عملية التصميم. فالوصول إلى تصميم مقطع يرضي كافة متطلبات الكود هو أمر ممكن، ولكن في معظم الحالات لا يمكن أن تقودنا تلك القرارات الشخصية إلى التصميم الأمثل من الناحية الاقتصادية.

تعتمد المنهجية المقترحة في هذا البحث على البرمجة اللاخطية. حيث تم تضمين الحدود المسموحة للأبعاد، ونسبة التسليح وعوامل تصميم أخرى مذكورة في الكود العربي السوري، ضمن نموذج البرمجة اللاخطية. مما يلغي الحاجة إلى اتخاذ قرارات تصميم شخصية لاأمثلية، ويقودنا مباشرة إلى التصميم الوحيد ذو الكلفة الأقل للجائز.

الاستنتاجات والتوصيات:

تعتمد الطريقة التقليدية المتبعة في الكود العربي السوري على مجموعة من الفرضيات للوصول إلى التصميم المناسب للجائز البيتوني المسلح ذو المقطع T، لكن تلك الفرضيات تهمل معامل الكلفة كهدف أساسي في عملية التصميم. لذلك أصبح من الضروري إيجاد طريقة للوصول إلى التصميم الأمثل ذو الكلفة الأقل للمنشآت البيتونية المسلحة، خصوصاً في ظل الظروف الاقتصادية الحالية في سوريا.

لقد تم التوصل في هذا البحث إلى التصميم ذو الكلفة الأقل للجوائز البيتونية المسلحة ذات المقطع T والمعرضة لحمولات التصميم القصوى، مع اعتبار كافة شروط التصميم في الكود العربي السوري، وذلك بالاستعانة بتقنيات البرمجة اللاخطية. حيث تم استخدم البرنامج Lingo لإدخال النموذج الرياضي وحله وصولاً إلى الحل الأمثل. تم استخلاص الشروط المقيدة في هذا النموذج بالاعتماد على العلاقات والاشتراطات الموجودة في الكود العربي السوري، مع استهداف تابع الكلفة إلى الحد الأدنى.

طبقت هذه المنهجية على حالتين تمت دراستهما بالطريقة الحدية المتبعة في الكود العربي السوري. وقد قادت النتائج التي تم الحصول عليها بمقارنة كلا الطريقتين، إلى أن استخدام هذه المنهجية قدم توفيراً أكبر في كلفة التصميم وصل في الحالتين المدروستين إلى نسبة تتراوح بين R=18.12% و R= 21.67 %، وأعطى قيمة إضافية، يمكن أن يكون لها أهمية كبيرة خصوصاً في ظل الظروف الاقتصادية الحالية في سوريا.

يوصى باستخدام هذه المنهجية لتصميم بقية أشكال الجوائز كالجوائز المستطيلة، كما يوصى باستخدامها في تصميم البلاطات البيتونية بأنواعها المختلفة.

المراجع

1. CHAKRABARTY, B. *Model for Optimal Design of Reinforced Concrete Beam*. Journal of Structural Engineering, Vol. 118, No. 11, 1992, 3238-3242.
2. FERREIRA, C.; BARROS, M.; BARROS, A. *Optimal design of reinforced concrete T-sections in bending*. Engineering structures, Vol. 25, No. 7, 2003, 951-964.
3. FEDGHOUCHE, F.; TILIOUINE, B. *Minimum cost design of reinforced concrete T-beams at ultimate loads using Eurocode2*. Engineering Structures, Vol. 42, 2012, 43-50.
4. TLIOUINE, B.; FEDGHOUCHE, F. *Optimal Design of Reinforced Concrete T-Beams under Ultimate Loads*. 2nd International Conference on Engineering Optimization,September 6 - 9, 2010, Lisbon, Portugal, 2010.
5. ARORA, J. S. Introduction to Optimization. In *Optimization of structural and mechanical systems.* World Scientific, 2007, p 595.
6. BERTSEKAS, D. *Nonlinear Programming*. 2nd ed., Belmont, Mass.: Athena Scientific, 1999.
7. HASSOUN, M. N.; AL-MANASEER, A. *Structural concrete: theory and design*. John Wiley \& Sons, 2012.
8. *الكود العربي السوري. الإصدار الرابع*.2012 ,.