A Study in Technical and Economic Indicators of Post-Tensioned Slabs Execution For Rise Buildings

Dr. Bassam Hassan [*]
Dr. Jamal Omran [**]
Ali Fedda [***]

(Received 16 / 10 / 2019. Accepted 2 / 2 / 2020)

□ ABSTRACT □

This research aims at highlighting the economic role and technical specifications, as well as the sustainable impact of using the Post-Tensioned Slab technology in the construction work, especially in the implementation of high buildings due to the urgent need to find a quick and economical construction alternatives, as well as decreasing the negative environmental impact as a result of horizontal urban expansion to agricultural areas, by supporting the vertical methods of sustainable construction, which lead to a professional execution level of high buildings in accordance with the latest technological and economic methods, and finding a practical solutions to the vertical expansion of cities.

This study includes the technical characterization of the post-tensioned slab technology according to the latest international norms (State of Arts), and studying a high building with three alternatives of slabs construction (Flat Slab, Pt Slab, Drop Panel Slab), which gave exact operational indicators for the post-tensioned slabs through comparison with other alternatives.

The results of the study showed a significant decrease in the usage of construction resources (Steel and concrete at 53.22% and 39.62%, respectively), as well as a decrease in the thickness of the slab with 25.93%.

This study was based on the Ram Concept program for the design of post-tensioned slab, and (Revit & AutoCAD) programs in the architectural design and rise building quantities calculation for each of the three alternatives.

Keywords: Post-tension, CUI(concrete usage index), Steel Strands

***Professor, Department of Construction Management, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia , Syria. Bassamh@tishreen.edu.sy**

[**]**Associate Professor, Department of Construction Management, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia , Syria. j-omran@tishreen.edu.sy**

[***]**Postgraduate Student, Department of Construction Management, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia , Syria. Eng.alifedda@gmail.com**

دراسة المؤشرات التقنية والاقتصادية لتنفيذ البلاطات اللاحقة الشد للأبنية العالية

د. بسام حسن*

د. جمال عمران**

علي فضة***

(تاريخ الإيداع 16 / 10 / 2019. قُبِل للنشر في 2/ 2 / 2020)

□ ملخّص □

يهدف هذا البحث إلى إبراز الدور الاقتصادي والمواصفات الفنية، وكذلك التأثير المستدام لاستخدام تقنية البلاطات اللاحقة الشد في أعمال البناء، لاسيما في تنفيذ الأبنية العالية نتيجة الحاجة الماسة إلى إيجاد بدائل تشييد سريعة واقتصادية، وتخفيض التأثير البيئي السلبي الناتج عن الزحف العمراني الأفقي إلى المناطق الزراعية، عبر دعم الطرائق الشاقولية للتشييد المستدام، مما يؤدي إلى رفع سوية تنفيذ الأبنية العالية وفقا لأحدث الطرائق التكنو اقتصادية، وإيجاد حلول عملية للتوسع الشاقولي للمدن السورية.

تتضمن هذه الدراسة التوصيف الفني لتقنية البلاطات اللاحقة الشد وفقا لأحدث النورمات العالمية، وكذلك دراسة مبنى عال وفقا لثلاثة بدائل لتشييد البلاطات، وهي نظام البلاطة المنبسطة والبلاطة اللاحقة الشد والبلاطة المنبسطة مع سقوط (Drop Panel Slab, Pt Slab, Flat Slab)، مما أعطى مؤشرات تنفيذية دقيقة للبلاطات اللاحقة الشد من خلال المقارنة مع البدائل الأخرى.

اعتمدت هذه الدراسة على برنامج (Ram Concept) من اجل تصميم البلاطات اللاحقة الشد، وكذلك برنامجي (Revit & AutoCAD) في التصميم المعماري وحساب الكميات للمبنى العالي لكل من البدائل الثلاثة.

بينت نتائج الدراسة انخفاض ملحوظ في استخدام موارد البناء(فولاذ تسليح و بيتون بنسبة53.22% و 39.62% على التوالي) وكذلك انخفاض سماكة البلاطة بنسبة 25.93 %.

الكلمات المفتاحية: لاحق الشد (Post-tension)، مؤشر استخدام البيتون (CUI)، جدائل فولاذية(Steel Strands).

* **أستاذ – قسم هندسة الإدارة والتشييد-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-سوريا. Bassamh@tishreen.edu.sy**

** **أستاذ مساعد – قسم هندسة الإدارة والتشييد- كلية الهندسة المدنية -جامعة تشرين – سوريا. j-omran@tishreen.edu.sy**

*** **طالب دراسات عليا- قسم هندسة الإدارة والتشييد- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- سوريا. Enf.alifedda@gmail.com**

مقدمة:

يعد عصرنا الحالي عصر التنافس والتطور بما يلبي الحاجات الإنسانية المتزايدة إلى أنظمة بناء حديثة، والتي أصبحت مؤشرا هاما لقياس تطور أي مجتمع، وقد شهدت منطقة الشرق الأوسط قفزات نوعية ونموا واضحا في مجال الأبنية العالية وذلك بالاعتماد على تقنية بناء حديثة تدعى البلاطات اللاحقة الشد (Post-Tensioned Slabs).

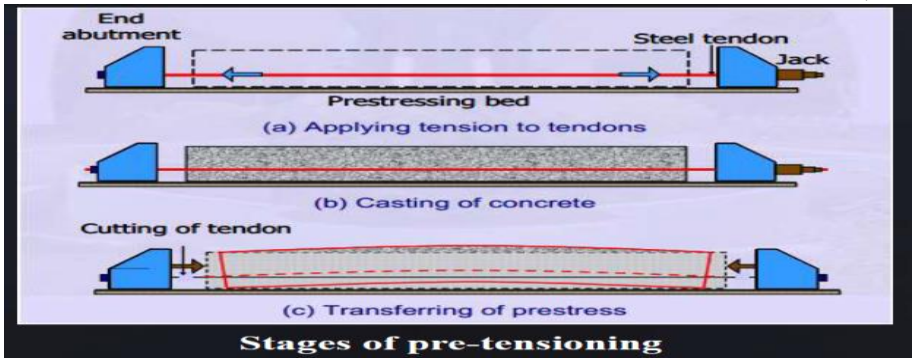
ما هو سبق الإجهاد؟

هو طريقة لتقوية وتسليح البيتون، حيث أن الحمولات الخارجية المطبقة تحدث إجهادات داخلية في البيتون خلال مراحل التنفيذ والاستثمار للعنصر، وبالتالي يتم تعريض البيتون لسبق الإجهاد ليعاكس الإجهادات المطبقة خلال حياة العنصر [1] .

ويتم التمييز بين نوعين لتطبيق سبق الإجهاد وهما:

1- الشد السابق: طريقة يتم سبق الإجهاد فيها عن طريق شد الكابلات قبل صب البيتون.

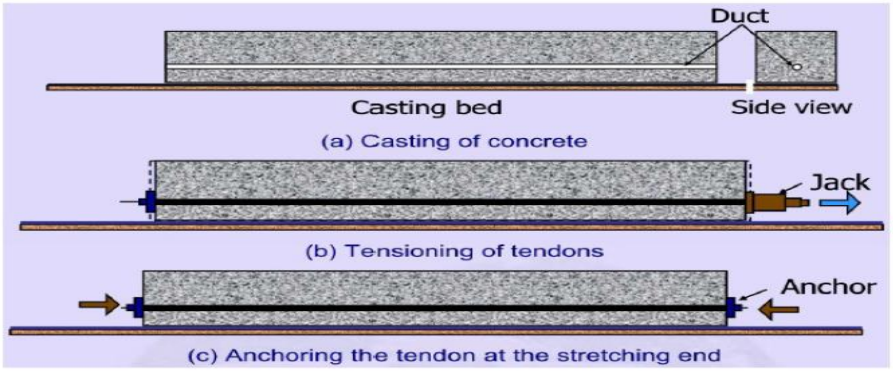
كما هو موضح في الشكل رقم (1).



الشكل رقم (1) يظهر طريقة الشد السابق.المصدر(NPTEL Web Site).

2- الشد اللاحق: طريقة يتم سبق الإجهاد فيها عن طريق شد الكابلات بعد تصلب البيتون.

كما هو موضح في الشكل رقم (2).



الشكل رقم (2) يظهر طريقة الشد اللاحق.المصدر(NPTEL Web Site).

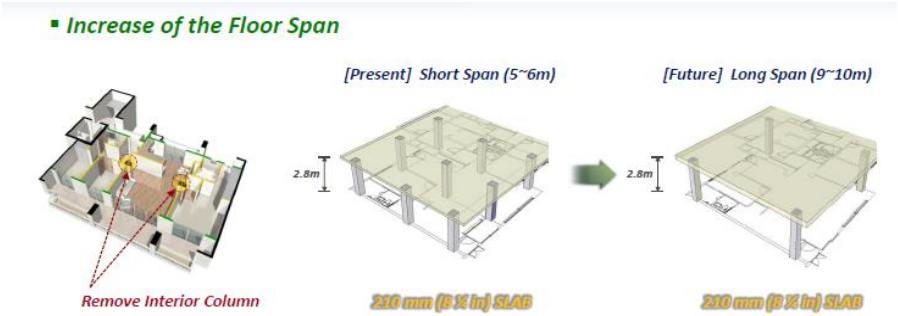
يتم استخدام الشد السابق لإنتاج عناصر الهيكل بشكل مسبق الصنع، في حين يتم استخدام تقنية الشد اللاحق للبلاطات والجوائز المصبوبة في المكان.إن استخدام تقنية الشد السابق مناسب جدا للأبنية الأفقية وإنشاء الجسور، بالمقارنة مع استخدام الشد اللاحق في تشييد الأبنية العالية، والذي أثبت جدوى اقتصادية جيدة.

أهمية استخدام البلاطات لاحقة الشد في تشييد الأبنية:

1- **السرعة في التنفيذ:** وبالتالي اختصار زمن المشروع.

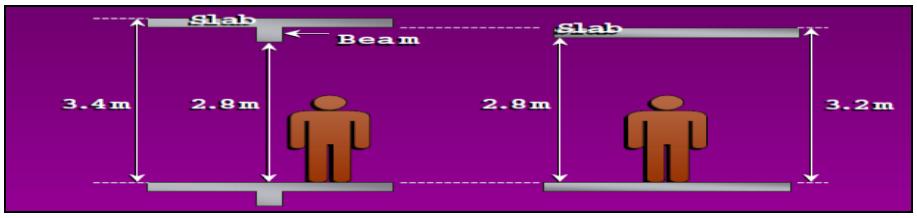
2- **وزن اقل للبلاطات:** الذي يؤدي إلى تخفيف الوزن الكلي للمنشأ وبالتالي تحسين مقاومته للزلازل وتخفيض قيم تسليح العناصر الشاقولية والأساسات.

3- **مجازات أكبر بين الأعمدة:** والذي يعطي مرونة في استخدام المبنى معماريا،كما في الشكل رقم (3).



الشكل رقم (3) يظهر زيادة المجاز باستخدام طريقة الشد اللاحق. المصدر(DAELIM Co. Korea).

4- **تقليل الارتفاع الكلي للمبنى:** وذلك من خلال تخفيض الارتفاع الطابقي مع الحفاظ على الارتفاع الصافي للطابق، كما يؤدي ذلك إلى توفير مواد الإكساء الخارجية و الداخلية، كما في الشكل رقم (4).



الشكل رقم (4) يظهر تخفيض الارتفاع الطابقي باستخدام طريقة الشد اللاحق. المصدر(الباحث).

5- **سهولة التمديدات الصحية والخدمية والتدفئة والتكييف:** بالمقارنة مع البلاطات الأخرى ،وذلك نتيجة لاستواء البلاطة اللاحقة الشد لمجازات كبيرة وعدم وجود جوائز ساقطة، شكل رقم (5).

الشكل رقم (5) سهولة أعمال الخدمة باستخدام بلاطات لاحقة الشد للمبنى.المصدر(PTI-USA).

6- وبعض المعايير الأخرى المتعلقة بالتنمية المستدامة لمشاريع التشييد:

6-1: تخفيض المواد المستخدمة.

6-2: تقليل انبعاث الكربون والطاقة.

6-3:تخفيض تكاليف المالك من خلال:

أ- تخفيض التشققات.

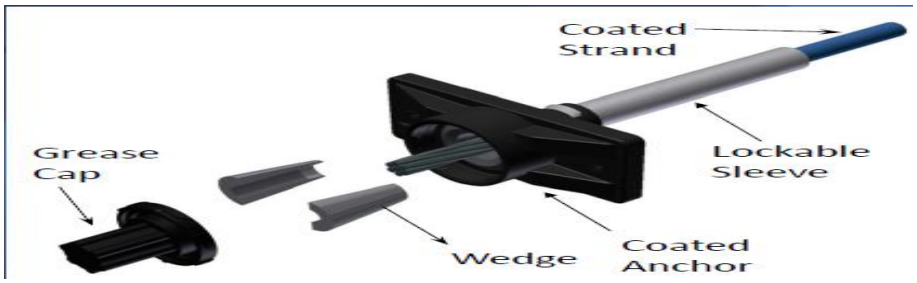
ب- قيم سهوم اقل.

ج-تخفيض تكلفة الصيانة الخاصة بالصدأ.

يوجد نظامين في تقنية الشد اللاحق وهما:

1-نظام الشد اللاحق بدون حقن:

في هذا النظام لا توجد مادة حقن بين الجدائل الفولاذية والمواسير المحيطة بها، شكل رقم (6).



Un bonded System

الشكل رقم (6) نظام الشد اللاحق بدون حقن. المصدر(CCL Co. England).

2-نظام الشد اللاحق مع الحقن:

في هذا النظام توجد مادة حقن بين الجدائل الفولاذية والمواسير المحيطة بها. شكل رقم (7).

Bonded System

الشكل رقم (7) نظام الشد اللاحق مع الحقن. المصدر(CCL Co. England).

إن استخدام مادة الحقن له دوره الخاص في الحفاظ على الكابلات الفولاذية من التآكل بفعل عوامل الطبيعة، كما تساعد مادة الحقن على نقل قوى سبق الإجهاد من الجدائل الفولاذية إلى المواسير المحيطة بها وبالتالي البيتون عن طريق التماسك، أما بالنسبة لنظام الشد اللاحق بدون حقن، يتم نقل هذه القوى عن طريق رأس التثبيت.

الدراسات المرجعية:

تناول العديد من الباحثين تقنية اللاحق الشد للبلاطات في مختلف البلدان، و قاموا بدراسة إستراتيجية التصميم والتنفيذ الملائمة للواقع العملي لدى بلادهم، وفيما يلي نلخص أهم الأبحاث ذات الصلة بموضوع البحث.

بينت نتائج دراسة في الهند [2] أن نظام البلاطات اللاحقة الشد أكثر اقتصادية بالمقارنة مع نظام البلاطات البيتونية المسلحة، واعتمدت منهجية البحث على نمذجة المنشأ باستخدام برنامج (RAPT) بالنسبة للبلاطات اللاحقة الشد، كما تم اعتماد برنامج (ETABS) للبلاطات البيتونية المسلحة.

كما قام باحث هندي آخر[3] بمقارنة وتقدير الكلف لجائز بيتوني عادي وآخر لاحق الشد بمجاز (26متر)، وقد أظهرت هذه الدراسة بأن الجائز اللاحق الشد أوفر ب (34%) بالمقارنة مع الجائز البيتوني المسلح، مع زيادة المقاومة نتيجة تعريض المقاطع البيتونية في الجائز إلى قوى ضغط بفعل الجدائل المستخدمة.

أما بالنسبة لدراسة أجريت في العام 2013 في استراليا [4]، فقد تناولت الفوائد البيئية المنجزة من خلال استخدام طرائق إنشائية متعددة للبلاطات البيتونية لمبنى مكاتب مكون من عشر طوابق، أظهرت نتيجة هذا البحث بأن استخدام تقنية البلاطات اللاحقة الشد في التشييد أدى إلى نسب تخفيض ما بين (28.8% إلى 40.9%) في ظاهرة الاحتباس الحراري العالمي، وتخفيض بين (23% إلى 37%) في مواد الإنشاء المستخدمة.

كما أظهرت نتائج دراسة في كاليفورنيا في الولايات المتحدة الأمريكية [5] مؤشرات التكلفة لنظام البلاطات اللاحقة الشد لعشر مدن حسب الأسعار المحلية، من خلال إجراء تحليل يدوي وتحليل باستخدام برنامج (Adapt-PT) الخاص بالتصميم اللاحق الشد.

بالنسبة لورقة بحثية تم نشرها في العام 2011 [6]، فقد قدمت هذه الورقة مقارنة بين البلاطات المسلحة واللاحقة الشد من وجهة نظر الاستدامة، وكذلك التأثير البيئي من خلال قياس الطاقة وانبعاث الكربون للمواد المستخدمة في البدائل، وكذلك التأثير الاجتماعي والتأثير الاقتصادي، ومن نتائج هذا البحث على الصعيد البيئي توفير 720طن من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون وذلك من خلال مواد البلاطة فقط.

خلاصة الدراسات السابقة:

إن اغلب الدراسات السابقة اعتمدت على البرامج الهندسية لدراسة منشآت افتراضية فقط لم يتم تنفيذها على ارض الواقع، كما أن هذه الدراسات تناولت عدد قليل من المؤشرات بحيث لا يمكن تعميم نتائجها على الحالات المشابهة، حيث اقتصرت هذه المؤشرات على حساب كميات فولاذ التسليح والبيتون اللازمة لعملية إنشاء البلاطات أو الجوائز، وتقدير التكاليف الخاصة بذلك دون التطرق إلى مواد البناء الأخرى، أو تأثير استخدام البلاطات اللاحقة الشد على العناصر الشاقولية للمباني العالية.

اختلاف البحث الحالي عن الدراسات السابقة:

يقدم هذا البحث تحليل المؤشرات الفنية والتكنولوجية للبلاطات اللاحقة الشد للمباني العالية بالاعتماد على النورمات العالمية، وسوف يتم إضافة مؤشرات جديدة تتناول تأثير استخدام البلاطات اللاحقة الشد على موارد المبنى، كفولاذ التسليح والبيتون الذين تم استخدامهما عمليا، وذلك بالاعتماد على المخططات التنفيذية للمبنى، واقتراح مؤشرات جديدة لم يتم تناولها في الدراسات السابقة، كدليل استخدام البيتون، ومؤشر فرق الارتفاع، إضافة إلى مؤشرات مواد البناء المستخدمة لتشييد العناصر الشاقولية من هيكل البناء العالي.

أهمية البحث وأهدافه:

أهمية البحث:

نتيجة الحاجة الماسة إلى إرساء دعائم التطور الشاقولي للمدن السورية، والمحافظة على الأراضي الزراعية، تتجلى أهمية البحث بمقدار المعلومات التي سوف يقدمها لصانعي القرار، وكذلك أصحاب المصلحة من (مالكين وشركات مقاولات واستشاريين)، وذلك من خلال تحليل المؤشرات الفنية والتكنولوجية لتنفيذ البلاطات اللاحقة الشد بالاعتماد على النورمات العالمية، بما يؤدي إلى تطوير منهجية قابلة للتنفيذ، وتحقيق معايير الاستدامة، وفق الظروف الخاصة بسورية.

هدف البحث:

يهدف البحث بشكل أساسي إلى توضيح تكنولوجيا البلاطات اللاحقة الشد لصناعة التشييد في سوريا بعد مرحلة التصميم، وكذلك التوصيف الفني، و إجراء التحليل الاقتصادي بالاستفادة من تجارب الدول المجاورة، باعتبار أنه لم يتم اعتماد هذه التقنية حتى الآن في سوريا، ومقارنة نظام البلاطات اللاحقة الشد في تنفيذ الأبنية العالية مع بدائل أخرى، من خلال دراسة حالة مبنى عالي، ودراسة معايير الاستدامة الخاصة بهذه التقنية.

منهجية ومراحل البحث:

تتضمن منهجية البحث دراسة حالة مبنى عالي من اجل تحديد المؤشرات الاقتصادية المتعلقة بتوفير موارد المبنى، وكذلك مؤشري الارتفاع وسماكة البلاطة، إضافة إلى حساب دليل استخدام البيتون، وذلك من خلال حساب هذه المؤشرات لثلاث بدائل تشييد، وهي نظام البلاطة المنبسطة والبلاطة اللاحقة الشد والبلاطة المنبسطة مع سقوط Flat (Drop Panel Slab, Pt Slab, Slab) ومقارنة هذه البدائل الثلاثة.

طرائق البحث ومواده:

أ- المبنى المدروس(برج الوفاق-أبو ظبي- الإمارات العربية المتحدة-2010-2012): هو عبارة عن مبنى سكني عال مكون من (33) طابقا متكررا، إضافة إلى ثلاث طوابق تحت أرضية وطابق ارضي وثلاث طوابق فوق أرضية، تستخدم كمواقف للسيارات ومحلات تجارية، إضافة إلى كافة أنظمة الخدمة للمبنى.

تم استثناء أعلى طابقين من الدراسة بحكم أنهما يختلفان عن بقية الطوابق المتكررة، إضافة إلى وجود أنظمة الخدمة على سطح الطابق الأخير.

الارتفاع الطابقي اعتبارا من الطابق الرابع حتى الطابق (31) هو (3,5م)، باستثناء الطابق (25) حيث الارتفاع الطابقي هو (3,850م)، أما سماكة البلاطة المتكررة هي (27سم)، مع وجود جوائز ساقطة بسماكة (60سم).

- تم تصميم البلاطات المتكررة للمبنى بنظام البلاطات المنبسطة (Flat Slab System)، وقد تم إعداد كامل المخططات التنفيذية (Shop dwgs)، مما ساعد على حساب الكميات الحقيقية التي تم تنفيذها على ارض الواقع.

ب- بالنسبة لنظام البلاطة المنبسطة مع سقوط (Drop Panel System)، تم الاعتماد على نتائج دراسة لنفس المبنى خلال مرحلة تصميمه من قبل المكتب الاستشاري الدارس. الارتفاع الطابقي اعتبارا من الطابق الرابع حتى الطابق (31) هو (3,2م)، أما سماكة البلاطة المتكررة هي (20سم) إضافة إلى (10سم) في أماكن السقوط .

ج- تم تصميم نظام البلاطات اللاحقة الشد(Post-Tensioned System) باستخدام برنامج (Ram Concept)، الارتفاع الطابقي اعتبارا من الطابق الرابع حتى الطابق (31) هو (3,1م)، أما سماكة البلاطة المتكررة هي (20سم) فقط.

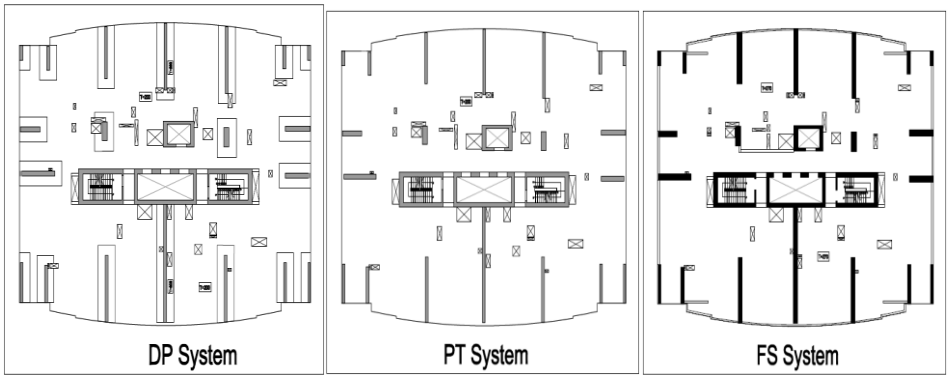
د- تم تصميم الأنظمة الثلاثة باستخدام الكود البريطاني (BS-8110) وكذلك الملحق الفني (TR-43) .

هـ- تم استخدام برنامجي (Revit & AutoCAD) في حساب الكميات.

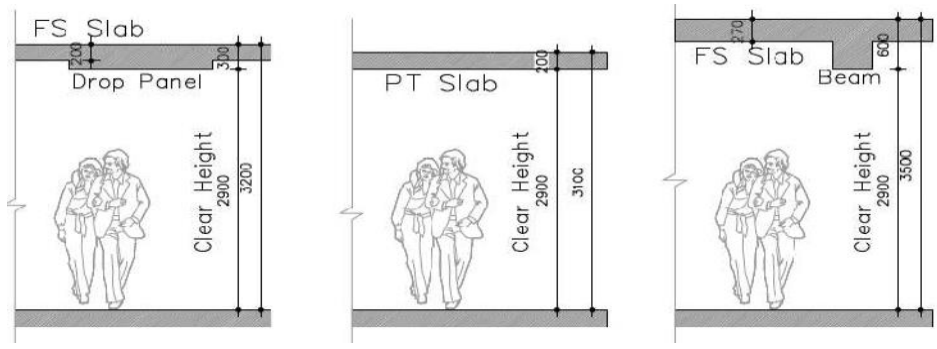
و- تم الحفاظ على الجملة الإنشائية في التصاميم الثلاثة من أجل مقاومة الرياح والزلازل وضبط المقارنة.

ي- تم حساب الكميات للطوابق الثمانية والعشرين اعتبارا من الطابق الرابع حتى الطابق الواحد والثلاثين باعتبارها طوابق متكررة بنفس المواصفات بالنسبة للبلاطات مع تغير تدريجي في سماكة العناصر الشاقولية (نواة وجدران).

يظهر من خلال الشكل (8) المساقط الأفقية للبدائل الثلاثة ، أما الشكل رقم (9) يوضح التوصيف الطابقي للبدائل الثلاثة.



الشكل رقم (8) المساقط الأفقية للأنظمة الثلاثة.المصدر(الباحث).



بلاطة منبسطة مع سقوط **بلاطة لاحقة الشد** **بلاطة منبسطة**

الشكل رقم (9) التوصيف الطابقي للأنظمة الثلاثة. المصدر(الباحث).

1) المؤشرات المستخدمة في عملية المقارنة:

1-1:تم حساب مؤشرات التوفير في موارد البناء لنظامي الشد اللاحق ونظام البلاطة المنبسطة مع سقوط، وتمت المقارنة مع النظام الأصلي للمبنى. يوضح الجدول المرفق أسماء مؤشرات الموارد، وذلك بأخذ الأحرف الأولى من النظام واسم العنصر واسم المورد.

على سبيل المثال: مؤشر التوفير في البيتون لنظام البلاطة المنبسطة مع سقوط (DPSC)، هو اختصار ل (Drop Panel Slab Concrete). وهكذا بالنسبة لبقية المؤشرات.

- من اجل حساب احد المؤشرات حسب العلاقة التالية:

DPSC=[(FS(concrete)-DP(concrete))/FS(concrete)]x100

الجدول رقم (1) أسماء المؤشرات التي تم حسابها باستخدام مماثل للعلاقة السابقة.

Sl. No.	المؤشر	Unit	البلاطة المنبسطة (FS)System	البلاطة المنبسطة مع سقوط (DP)System	البلاطة اللاحقة الشد (PT)System
1	DPSC Ratio	%	نظام المقارنة	مؤشر التوفير في بيتون البلاطة لنظام DP	
2	PTSC Ratio	%	نظام المقارنة		مؤشر التوفير في بيتون البلاطة لنظام PT
3	DPSR Ratio	%	نظام المقارنة	مؤشر التوفير في تسليح البلاطة لنظام DP	
4	PTSR Ratio	%	نظام المقارنة		مؤشر التوفير في تسليح البلاطة لنظام PT
5	DPVC Ratio	%	نظام المقارنة	مؤشر التوفير في بيتون العناصر الشاقولية لنظام	
6	PTVC Ratio	%	نظام المقارنة		مؤشر التوفير في بيتون العناصر الشاقولية
7	DPVR Ratio	%	نظام المقارنة	مؤشر التوفير في تسليح العناصر الشاقولية لنظام	
8	PTVR Ratio	%	نظام المقارنة		مؤشر التوفير في تسليح العناصر الشاقولية
9	DPB Ratio	%	نظام المقارنة	مؤشر التوفير في حجم البلوك لنظام DP	
10	PTB Ratio	%	نظام المقارنة		مؤشر التوفير في حجم البلوك لنظام PT
11	DPP Ratio	%	نظام المقارنة	مؤشر التوفير في حجم مونة اللياسة لنظام DP	
12	PTP Ratio	%	نظام المقارنة		مؤشر التوفير في حجم مونة اللياسة لنظام PT
13	DPCW Ratio	%	نظام المقارنة	مؤشر التوفير في جدران الكساء لنظام DP	
14	PTCW Ratio	%	نظام المقارنة		مؤشر التوفير في جدران الكساء لنظام PT

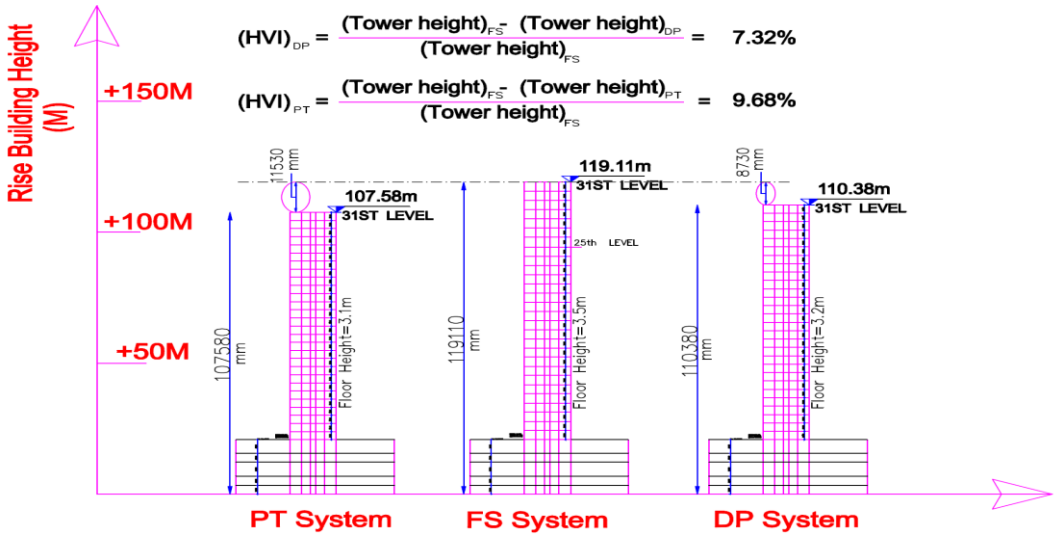
-بعد دراسة معمقة لحساب الكميات باستخدام برامج (Revit & AutoCAD & Excel)، تم ترتيب نتائج مؤشرات التوفير في موارد البناء حسب الجدول التالي:

الجدول رقم (2) قيم المؤشرات وكميات موارد المبنى.

Sl. No.	الموارد	الواحدة	إجمالي (منبسطة) (FS)	إجمالي(مع سقوط) (DP)	إجمالي(شد لاحق) (PT)
	بيتون البلاطة				
	مساحة البلاطة	m2	1,090.00	1,090.00	1,090.00
	المساحة الكلية ل 28 طابق	m2	30,520.00	30,520.00	30,520.00
	سماكة البلاطة	mm	270.00	200 300	200.00
	كميات البلاطة والجوائز	m3	15,541.00	9,827.07	9,380.60
	التوفير في بيتون اللاحق الشد والبلاطة مع سقوط.	Ton	-	5,713.93	6,160.40
1	DPSC Ratio	%		36.77	-
2	PTSC Ratio	%		-	39.64
	حديد تسليح البلاطة				
	نسبة فولاذ التسليح	kg/m2	37.97	27.93	14.38
	نسبة تسليح الجدائل	kg/m2	-	-	3.83
	نسبة المواسير المغلفة	kg/m2	-	-	0.50
	نسبة رؤوس التثبيت (0.1/PC/m2)	kg/m2	-	-	0.30
	نسبة تسليح السقوط	kg/m2	-	2.49	-
	نسبة تسليح جوائز البلاطة المنبسطة	kg/m2	2.66	-	-
	حديد تسليح البلاطة الكلي	Ton/Floor	44.28	33.15	20.72
	فولاذ التسليح ل 28 طابق	TON	1,239.87	928.28	580.04
	التوفير في تسليح اللاحق الشد والبلاطة مع سقوط	Ton	-	311.59	659.83
3	DPSR Ratio	%		25.13	-

4	PTSR Ratio	%		-	53.22
	كمية البيتون الشاقولي				
	أعمدة ل 28 طابق	m3	2,797.26	2,593.07	2,530.90
	نواة مركزية ل 28 طابق	m3	2,465.51	2,277.43	2,195.60
	أدراج ل 28 طابق	m3	268.80	260.40	252.00
	البيتون الشاقولي الكلي		5,531.57	5,130.90	4,978.50
	التوفير في بيتون اللاحق الشد والبلاطة مع سقوط	Ton	-	400.67	553.07
5	DPVC Ratio	%		7.24	-
6	PTVC Ratio	%		-	10.00
	حديد التسليح الشاقولي				
	بيتون أعمدة ل 28 طابق	m3	2,797.26	2,593.07	2,530.90
	نواة مركزية ل 28 طابق	m3	2,465.51	2,277.43	2,195.60
	بيتون أدراج ل 28 طابق	m3	268.80	260.40	252.00
	نسبة تسليح الأعمدة	kg/m3	201.68	201.68	201.68
	نسبة تسليح النواة المركزية	kg/m3	287.38	287.38	287.38
	نسبة تسليح الأدراج	kg/m3	70.00	70.00	70.00
	فولاذ الأعمدة ل 28 طابق	Ton	564.15	522.97	510.43
	فولاذ النواة ل 28 طابق	Ton	708.54	654.49	630.97
	فولاذ الأدراج ل 28 طابق	Ton	18.82	18.23	17.64
	التسليح الشاقولي الكلي		1,291.50	1,195.68	1,159.04
	التوفير في تسليح اللاحق الشد والبلاطة مع سقوط	Ton	-	95.82	132.46
7	DPVR Ratio	%		7.42	-
8	PTVR Ratio	%		-	10.26
	جدران البلوك				
	مساحة جدران البلوك	m2	45,090.00	40,764.00	39,361.00
	حجم البلوك	m3	9,018.00	8,152.80	7,872.20
	توفير البلوك لنظام اللاحق الشد والبلاطة مع سقوط	m3	-	865.20	1,145.80
9	DPB Ratio	%		9.59	-
10	PTB Ratio	%		-	12.71
	اللياسة				
	مساحة اللياسة	m2	90,180.00	81,528.00	78,722.00
	حجم اللياسة	m3	2,705.40	2,445.84	2,361.66
	توفير اللياسة لنظام اللاحق الشد والبلاطة مع سقوط	m3	-	259.56	343.74
11	DPP Ratio	%		9.59	-
12	PTP Ratio	%		-	12.71
	جدران الكساء				
	مساحة جدران الكساء	m2	13568.325	12373.76	11987.08
	توفير الكساء لنظام اللاحق الشد والبلاطة مع سقوط	m3	-	1,194.57	1,581.25
13	DPCW Ratio	%		8.80	-
14	PTCW Ratio	%		-	11.65

2-1:تم حساب مؤشر فرق الارتفاع (Height Variance Indicator) والذي يرمز له ب (HVI).



الشكل رقم (10) فروق الارتفاع الكلي للأنظمة الثلاثة. المصدر(الباحث).

3-1: تم حساب دليل استخدام البيتون (Concrete Usage Index)، والذي يرمز له ب (CUI).

الجدول رقم (3) حساب دليل استخدام البيتون (Concrete Usage Index).

البند	الواحدة	الإجمالي (FS)	الإجمالي (DP)	الإجمالي (PT)
كميات البيتون ل 28 طابق متكرر		منبسطة	منبسطة مع سقوط	شد لاحق
بلاطات وجوائز	m3	15,541.00	9,827.07	9,380.60
الأعمدة	m3	2,797.26	2,593.07	2,530.90
النواة المركزية	m3	2,465.51	2,277.43	2,195.60
الأدراج	m3	268.80	260.40	252.00
الطابق الأرضي				
بلاطات وجوائز	m3	1,297.48	1,297.48	1,297.48
الأعمدة	m3	35.00	35.00	35.00
النواة المركزية	m3	298.00	298.00	298.00
الأدراج	m3	-	-	-
الجدران الاستنادية الداعمة	m3	166.00	166.00	166.00
الطابق التجاري الأول				
بلاطات وجوائز	m3	1,189.48	1,189.48	1,189.48
الأعمدة	m3	108.00	108.00	108.00
النواة المركزية	m3	298.00	298.00	298.00
الأدراج	m3	9.36	9.36	9.36
الطابق التجاري الثاني				
بلاطات وجوائز	m3	1,189.48	1,189.48	1,189.48

الأعمدة	m3	86.00	86.00	86.00
النواة المركزية	m3	298.00	298.00	298.00
الأدراج	m3	18.72	18.72	18.72
الطابق التجاري الثالث				
بلاطات وجوائز	m3	1,232.26	1,232.26	1,232.26
الأعمدة	m3	95.00	95.00	95.00
النواة المركزية	m3	298.00	298.00	298.00
الأدراج	m3	18.72	18.72	18.72
جدران الأطاريف وأحواض الزراعة	m3	257.00	257.00	257.00
كميات البيتون الإجمالية	m3	**27,967.07**	**21,852.47**	**21,253.60**
المساحة الإجمالية للمبنى	**m2**		**41,324.00**	
دليل استخدام البيتون		**0.68**	**0.53**	**0.50**
توزيع النقاط		**1 Point**	**2 Points**	**3Points**
حصل المبنى على ثلاث نقاط باستخدام تقنية الشد اللاحق والتصنيف هو: **(العلامة الذهبية الخضراء+)**		**PT Solution is GREEN MARK GOLD+**		

يعرف دليل استخدام البيتون (Concrete Usage Index) أو (CUI)، وفقا لمركز الإنشاء و الأبنية المستدامة في سنغافورة [7]، بأنه حاصل قسمة حجم البيتون المصبوب بالمتر المكعب على المساحة الطابقية الكلية التي تم إنشاؤها بالمتر المربع.

$$CUI = \frac{\text{Concrete Volum in } m^3}{\text{Constructed Floor Area in } m^2}$$

ملاحظة: إن حساب قيمة هذا المؤشر لا تشمل البيتون المستخدم لتنفيذ الأعمال الخارجية والثانوية، وكذلك الطوابق التحت أرضية والأساسات، وبعبارة أخرى، يشمل هذا المؤشر كمية البيتون المستخدم لتنفيذ أعمال المبنى اعتبارا من الطابق الأرضي حتى الأعلى.

بالنسبة للأبنية السكنية وغير السكنية يتم وضع النقاط بناءا على قيم دليل استخدام البيتون حسب الجدول التالي:

الجدول رقم (4) حساب نقاط دليل استخدام البيتون (Concrete Usage Index).

PROJECT CUI (m^3/m^2)	POINTS ALLOCATION
≤ 0.70	1 point
≤ 0.60	2 points
≤ 0.50	3 points
≤ 0.40	4 points
≤ 0.35	5 points

SCORING UNDER BCA GREEN MARK
FOR NEW RESI / NON-RESI BUILDINGS

من اجل تشجيع التصميم مع الاستخدام الأمثل للبيتون،تم إعطاء التصنيف حسب النقط كما يلي:

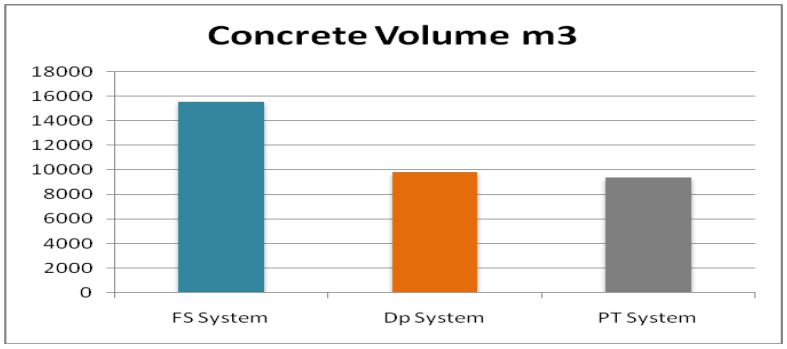
$$Green\ Mark\ Gold^{Plus} \geq 3\ points$$
$$Green\ Mark\ Platinum \geq 5\ points$$

4-6: تم حساب مؤشر التوفير في سماكة بلاطة نظام اللاحق الشد بالمقارنة مع نظام البلاطة المنبسطة:

$$(STI)_{PT} = \frac{(Slab\ Thick)_{FS} - (Slab\ Thick)_{PT}}{(Slab\ Thick)_{FS}} = 25.93\%$$

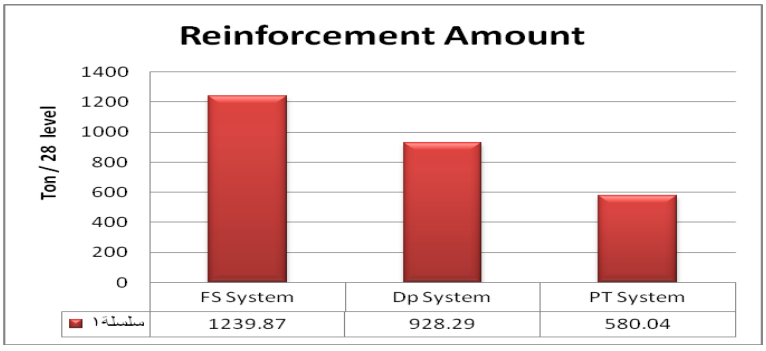
النتائج والمناقشة:

1- أ: إن استخدام نظام البلاطات اللاحقة الشد يؤدي إلى توفير (6160.40Ton) بالمقارنة مع نظام البلاطات المنبسطة (FS System)، وهذا يوفر حوالي (40%) من كمية البيتون المستخدم في تشييد البلاطات المكررة فقط، في حين يتم توفير (5714Ton) في حال تم استخدام نظام (DP System) بالمقارنة مع نظام (FS System). كما في الشكل رقم (11).



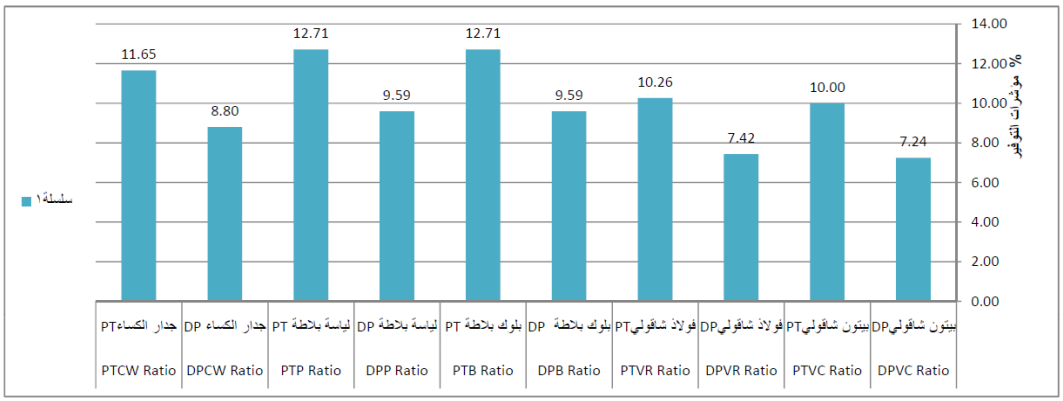
الشكل رقم (11) كمية البيتون المستخدم للبلاطات المتكررة للأنظمة الثلاثة. المصدر(الباحث).

1- ب: بالنسبة لفولاذ التسليح الذي تم استخدامه في تشييد البلاطات المتكررة، فقد بلغت كميته حوالي (1240Ton) باستخدام نظام (FS System)، بينما يتم استخدام فقط حوالي(580Ton) لنظام البلاطات اللاحقة الشد، مما يعطي مؤشر ايجابي جدا بلغت قيمته (PTSR Ratio = 53.22%)،وبمعنى آخر،يتم توفير أكثر من نصف حديد التسليح المستخدم للبلاطات. كما في الشكل رقم (12).



الشكل رقم (12) كمية الحديد المستخدم للبلاطات المتكررة للأنظمة الثلاثة. المصدر(الباحث).

1- ج: تراوحت نسب توفير المواد المستخدمة في تشييد العناصر الشاقولية لكل من البيتون والحديد وكذلك جدران البلوك وأعمال اللياسة وجدران الكساء الخارجي (Curtain Walls) ما بين (10%) إلى (12.7%) وذلك باستخدام الحلول التصميمية للبلاطات اللاحقة الشد، بينما تراوحت نسبة التوفير لنفس العناصر السابقة ما بين (7.25%) إلى (9.6%) باستخدام نظام(DP System)، وذلك بمقارنة كل من النظامين السابقين إلى نظام(FS System). كما يظهر في الشكل رقم (13).



الشكل رقم (13) مؤشرات التوفير في موارد البناء الشاقولية لنظامي (DP&PT) بالمقارنة مع نظام (FS). المصدر(الباحث).

2: بالنسبة لمؤشر فرق الارتفاع، يمكن تشييد نفس عدد الطوابق باستخدام (PT System) مع اختزال ارتفاع مقداره (11.53m)، مما يسمح بزيادة أربع طوابق بارتفاع (3.1m) للوصول إلى نفس ارتفاع المبنى والبالغ (119.11m)، في حين يتم توفير ارتفاع مقداره (8.73m) باستخدام نظام(DP System) فقط.

3: بلغت قيمة مؤشر استخدام البيتون للمبنى (CUI=0.5) وفقا لدليل الاستخدام الأمثل للبيتون في الأبنية المستدامة، لذلك حصل على ثلاث نقط وبالتالي التصنيف (Green Mark Gold plus) أو(العلامة الذهبية الخضراء +)، مما يشجع استخدام الحلول التصميمية باستخدام تقنية اللاحق الشد للأبنية العالية.

4: إن اختزال سماكة البلاطة من (270mm) باستخدام نظام (FS) إلى(200mm) باستخدام نظام (PT)، أعطى مؤشرا للتوفير في سماكة البلاطة بلغت قيمته (STI=25.93%)، وهذا المؤشر تبلغ أهميته في حال تشييد الأبنية العالية، حيث نحن بحاجة إلى سرعه التشييد والتي يمكن تحقيقها من خلال اختزال موارد البلاطة.

مقارنة وتفسير النتائج:

1: من خلال حساب كميات البيتون للبدائل الثلاثة، وباستخدام البلاطات اللاحقة الشد بسماكة (20cm) بدون جوائز متدلية، يفسّر توفير كميات البيتون والذي بلغ حوالي (40%) باعتماد الشد اللاحق مقارنة مع نظام البلاطات المنبسطة، ويتفق ذلك مع الدراسة التي أجريت في العام 2013 في استراليا [4]، والتي نتج عنها توفير بنسبة (37%) من حجم البيتون لمجازات تصل حتى (13m).

2: إن توفير (53.22%) من كمية فولاذ التسليح اللازمة لتشييد بلاطات المبنى العالي، باعتماد تقنية الشد اللاحق، يؤدي إلى تخفيض تكلفة التشييد للمبنى، وبذلك تكون هذه التقنية هي الأكثر اقتصادية مقارنة مع البديلين الآخرين، علما أن الخبرات العملية توصلت إلى توفير في فولاذ التسليح بلغت قيمته (65%)، وذلك بحسب محاضرة عملية لاستخدام تقنية الشد اللاحق في ناطحات السحاب في مؤتمر دولي في الهند[8].

وحسب الحالة الدراسية في هذا البحث، فإن زيادة التوفير في البيتون الناتج عن استخدام تقنية الشد اللاحق، يقابله تخفيض التوفير بنسبة (12%) في فولاذ التسليح المستخدم، وهذا يبرر الاختلاف ما بين نسبة توفير فولاذ التسليح والبالغة (53.22%) في هذا البحث بالمقارنة مع الخبرات العملية والبالغة (65%).

إن قيم التوفير تتوقف على نوعية الكود المستخدم والاشتراطات التنفيذية، وتحديدا عندما تتطلب جودة التنفيذ تسليح إضافي فوق الأعمدة لمقاومة قوى القص، أو تسليح إضافي سفلي في منتصف المجازات الكبيرة لمقاومة عزوم الانعطاف و الترخيم.

3: إن حساب مؤشر فرق الارتفاع (HVI) والذي يوفر (9.68%) من الارتفاع الكلي للمبنى، يسمح بزيادة أربع طوابق، وهذه المؤشر يمكن اعتماده من خلال إضافته إلى نظام ضابطة الأبنية في سوريا.

4: إن حساب قيمة دليل استخدام البيتون (CUI) للمبنى، والذي لم تتناوله الدراسات السابقة، يشكل إضافة هامة لهذا البحث، من خلال المقدرة على تقييم المبنى من وجهة نظر الاستدامة باستخدام تقنية الشد اللاحق.

5: إن تأثير استخدام تقنية الشد اللاحق على المؤشرات الاقتصادية الأخرى، كمؤشرات موارد المبنى اللازمة لتشييد العناصر الشاقولية بنسبة (11%) وسطيا، ومؤشر اختزال سماكة البلاطة (STI=25.93%)، يشجع في اقتراح تقنية اللاحق الشد كبديل اقتصادي لتشييد الأبنية العالية في سوريا.

6: نتيجة تطبيق قوى سبق الإجهاد على البيتون باستخدام تقنية الشد اللاحق، يؤدي ذلك إلى الاستثمار الأمثل للمقاطع البيتونية، وذلك من خلال ضغط البيتون باستخدام كابلات فولاذية عالية المقاومة، وبالتالي الحصول على بلاطات بيتونية أكثر جساءة، وأقل وزنا، ومقاومة للقوى الناتجة عن الحمولات الحية والميتة، وحمولات الرياح والزلازل والتي لها تأثير كبير في الحسابات التصميمية للأبنية العالية، وهذا يتفق مع نتائج المؤشرات في هذا البحث من حيث تخفيض الوزن الذاتي للمبنى.

7: بما أن هذا البحث تناول المؤشرات الاقتصادية الخاصة بموارد مبنى عال، يمكن تعميم نتائج هذا البحث في حال تم تشييد أبنية عالية ذات نظم إنشائية مماثلة في سوريا، أي نظام البلاطات اللاحقة الشد المنبسطة بدون جوائز متدلية، مع وجوب التأكيد على استخدام نفس المواصفات الفنية وضبط جودة التشييد حسب الكود المعتمد في هذه الدراسة، والتحفظ على أسعار مواد التشييد نتيجة الوضع الاقتصادي الراهن.

8: إن تأثير حجم الحالة الدراسية (والتي هي مبنى عالي) على نتائج هذا البحث، يفسر التوفير الكبير في قيم جميع المؤشرات الخاصة بموارد المبنى، وذلك باستخدام تقنية الشد اللاحق، وهذا يفتح المجال لإجراء دراسات مماثلة باستخدام هذه التقنية للأبنية ذات النظم الإنشائية المختلفة، أو الأبنية الأفقية، لاستخلاص المؤشرات الفنية والاقتصادية الخاصة بها.

الاستنتاجات والتوصيات:

1- لم تشمل الدراسة كميات التوفير بالنسبة لخدمات الكهرباء والميكانيك ونظام التكييف وكافة أنظمة الخدمة.

2- تناولت الدراسة نوع واحد من أنظمة البلاطات اللاحقة الشد وهو نظام البلاطات المنبسطة بدون جسور، يوصي البحث بإجراء دراسات مقارنة باستخدام تقنية الشد اللاحق لعدة أنظمة إنشائية أخرى للأبنية العالية.

4- يوصي البحث بإجراء دراسات باستخدام هذه التقنية في كافة أنواع المنشات الأخرى كالمطاعم والصالات الضخمة وصوامع الحبوب ومواقف السيارات والمنشآت الصناعية وكذلك الجسور الطرقية ذات المجازات الضخمة.

5- أهمية تناول تقنية اللاحق الشد في المؤتمرات العلمية وتوعية أصحاب المصلحة والقرار بأهمية هذا النوع من تقنيات التشييد، وكذلك ضرورة إضافة كافة الاشتراطات التصميمية والتفاصيل الإنشائية ونظام ضبط جودة تشييد هذه التقنية إلى الكود العربي السوري.

References:

1-TUMKUR,M. *Design Of Concrete Structures*, Canadian Standards Association, A23.3-04 , CANADA,2004,232.

2-REDDY,R. *Study of Post Tensioned and RCC Flat Slab in Multi-Storey Commercial Building.* International Research Journal of Engineering and Technology, INDIA, Vol. 04, N°.06,2017,238-242.

3- SAHU,A; RAI,A; BAJPAI, K. *Cost Comparison Between Rcc &Post-Tensioned Pre-stressed Beams Spanning 26m.*International Journal of Computational Engineering Research, INDIA, Vol. 04, N°.06,2014,11-14.

4-MILLER,D; DOH,J.H; GUAN, H; MULVEY,M; FRAGOMENI,S. *Environmental impact assessment of post-tensioned and reinforced concrete slab construction.*

Faculty Of Engineering and information Sciences Papers-Part A, Research online, University of Wollongong, Australia, 2013.

5-KRAUSER,G. *Optimization of Two-Way Post-Tensioned Concrete Floor Systems.* Faculty of California Polytechnic State University, U.S.A,2009.

6- HAYEK,C; KALIL,S. *A Project-Based Comparison Between Reinforced And Post-Tensioned Structures From A Sustainability Perspective* .fib Symposium PRAGUE, Session 4-1: 2,U.K, 2011.

7-KEUNG,J. *A Guide On Concrete Usage Index* ,Building and Construction Authority. The Centre for Sustainable Buildings and Construction, Singapore,2012,88.

8-ROY, P.*(December,2016).* Use Of Post-Tensioning In High-Rise Building. *Conference On Planning And Design Of Tall Buildings Including Earthquake And Wind Effects*. ADAPT International Pvt. Ltd. India.