

مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الهندسية المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد 12

1447 هـ - 2025 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص

المدير المسؤول عن المجلة

أ. د. وليد حمادة	رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الإنسانية
د.نعيمة عجيب	رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية

عضو هيئة التحرير	د.محمد فراس رمضان
عضو هيئة التحرير	د. مضر سعود
عضو هيئة التحرير	د. ممدوح عبارة
عضو هيئة التحرير	د. موفق تلاوي
عضو هيئة التحرير	د. طلال رزوق
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الجاعور
عضو هيئة التحرير	د. الياس خلف
عضو هيئة التحرير	د. روعة الفقس
عضو هيئة التحرير	د. محمد الجاسم
عضو هيئة التحرير	د. خليل الحسن
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. أحمد حاج موسى

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

سورية . حمص . جامعة حمص . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

. موقع الإنترنت : www.homs-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : journal.homs-univ.edu.sy

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة حمص

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
 - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
 - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
 - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
 - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
 - 2- هدف البحث
 - 3- مواد وطرق البحث
 - 4- النتائج ومناقشتها .
 - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
 - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
 - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5 - يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي - العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج. يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.

10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة
11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام ورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة - الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة - سنة النشر - وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة - دار النشر وتتبعها فاصلة - الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- **Flame Spectroscopy**. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

— بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة — المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة — أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases **Clinical Psychiatry News** , Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة حمص

1. دفع رسم نشر (50000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (200000) ل.س مئة ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مننًا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (15000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
38-11	احمد الناصر د.محمد عيسى	دراسة تأثير درجة انتظام الجملة الإنشائية ونوع مادة الجوائز على سلوك المنشأ المُعرّض للأحمال الزلزالية
62-39	د.محمد الشلاش	تقوية طبقة أساس الخط الحديدي في حالة الترب الضعيفة
94-63	رغد علي د.وسيم موسى د.عمر الخليل	دراسة تأثير أعداد نقاط الضبط وأنماط توزيعها في دقة المسح التصويري باستخدام الطائرات المسيّرة
124-95	نادين بروجود د.محمد عيسى	دراسة مقارنة لأداء البلاطات الخرسانية ثنائية الاتجاه تحت أنظمة تسليح كاملة بالفولاذ وGFRP: وفق الكودين السوري والأمريكي ونمذجة FEM

دراسة تأثير درجة انتظام الجملة الإنشائية ونوع مادة الجوائز على سلوك المنشأ المعرض للأحمال الزلزالية

طالب الدراسات العليا: احمد الناصر - كلية الهندسة المدنية - القسم إنشائي - جامعة حمص.

الدكتور المشرف: محمد عيسى

مُلخَصُ البَحْث: يهدف هذا البحث إلى دراسة الانتقالات في طوابق المنشأ عند تعرّضه للقوى الزلزالية، وتأثيرها بدرجة انتظام المنشأ أفقياً ورأسياً. سنتناول بعض حالات عدم الانتظام الواردة في الملحق رقم (2) للكود العربي السوري ومن ثم نقيّم الانتقالات الحاصلة من أجل كل حالة ونقترح الحلول المناسبة لخفض قيمها. تم في هذا البحث دراسة ثلاث حالات، حيث أُستخدم برنامج ETABS 2016 في تحليل جميع الجمل الإنشائية. وقد تم إضافة عناصر معدنية إلى الجملة الإنشائية لكل حالة ومقارنة النتائج.

- الحالة الأولى: المنشأ منتظم أفقياً ورأسياً.
- الحالة الثانية: المنشأ فيه زاوية داخلية.
- الحالة الثالثة: المنشأ فيه طابق طويل.

نتيجة البحث: يمكن التنبؤ بسلوك المنشأ بشكل دقيق كلما اقترب المنشأ من حالة الانتظام أفقياً ورأسياً. من المفيد استخدام العناصر المعدنية في المنشآت لأنها تساهم في خفض قيم الانتقالات بشكل جيّد.

الكلمات المفتاحية: درجة انتظام الجملة الإنشائية، القوى الزلزالية، انتقالات الطوابق، العناصر المعدنية، زاوية داخلية، طابق طويل.

Research Title:

A Study on the Effect of the Degree of Structural System Regularity and Beam Material Type on the Behavior of a Structure Subjected to Seismic Loads

Abstract: This research aims to study the story drifts of a structure when subjected to seismic forces and how they are influenced by the structure's degree of regularity in plan and elevation. We will address some irregularity cases mentioned in Appendix (2) of the Syrian Arab Code, then evaluate the resulting drifts for each case and propose appropriate solutions to reduce their values. In this research, three cases were studied, using ETABS 2016 software for the analysis of all structural systems. Metallic beams were added to the structural system for each case, and the results were compared.

- **Case 1:** A structure regular in both plan and elevation.
- **Case 2:** A structure with a re-entrant corner.
- **Case 3:** A structure with a soft story.

The result of the research: The behavior of the structure can be predicted more accurately as the structure approaches full regularity in both plan and elevation. The use of metallic beams in structures is beneficial as they contribute significantly to reducing story drift values.

Keywords: Degree of Structural Regularity, Seismic Loads, Story Drifts, Metallic Beams, Re-entrant Corner, Soft Story.

1- المقدمة:

1-1 مقدمة:

إن ارتباط سلوك المنشآت بدرجة انتظام جملتها الإنشائية وطبيعة ارتباطها مع العناصر غير الإنشائية فرض على الباحثين ضرورة تقييم درجة الانتظام سواء الانتظام الرأسي أو الأفقي بالإضافة إلى وضع طرق التحليل المناسبة للحصول على قيم أقرب إلى الدقة.

2-1 مشكلة البحث:

إن التوزيع الغير منتظم للجملية الإنشائية في المباني يجعل من الصعب تحديد سلوك المنشأ عند تعرّضه للأحمال الزلزالية، حيث تختلف استجابة المنشأ لهذه الأحمال، ويحصل تركّز للإجهادات في بعض مناطق المنشأ، لذلك تحتاج هذه الحالات للتقييم والبحث.

3-1 أهمية البحث:

تكمن أهمية البحث في توضيح التغيير الحاصل في انتقالات الطوابق والتي تتأثر بتوزع العناصر الإنشائية المقاومة للقوى الأفقية التي سببها.

4-1 الهدف من البحث:

تخفيض أثر حالات عدم الانتظام على الانتقالات لطوابق المنشأ من خلال استعمال العناصر المعدنية والمختلطة، بالإضافة إلى إظهار أهمية تجنّب ظهور حالات عدم الانتظام في الجمل الإنشائية.

5-1 فرضيات البحث:

سنفترض في الدراسة وجود منشأ منتظم أفقياً ورأسياً ومؤلّف من 10 طوابق متماثلة بأبعاد 8 x 8 متر للطابق الواحد، وبافتراض نوع البلاطة هوردي والجملية المقاومة للزلازل هي جملية جدران قص فقط. سنقوم بنمذجة المنشأ على برنامج ETABS ومن ثم نفترض وجود مجموعة من حالات عدم الانتظام وندرس تأثير كل منها على قيم الانتقالات الحاصلة بفعل القوى الزلزالية.

- الحالة الأولى: المنشأ منتظم أفقياً ورأسياً.
- الحالة الثانية: المنشأ فيه زاوية داخلية.
- الحالة الثالثة: المنشأ فيه طابق طويل.

6-1 منهج البحث:

منهج البحث هو منهج تحليلي، حيث أُستخدم برنامج ETABS 2016 في تحليل الجمل الإنشائية.

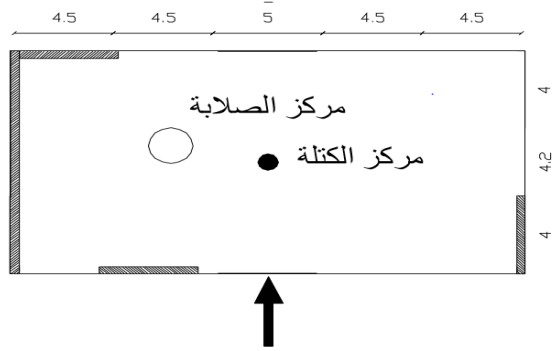
- **الحالة الأولى:** تمت دراسة المنشأ بافتراض أنه منشأ منتظم وجدران القص موزعة على الأطراف ومن ثم افتراض جدران القص مركزة في الوسط وتم حساب انتقالات الطوابق للحالتين باعتبار أن الجوائز من البيتون المسلح ثم تم إعادة الحسابات باعتبار أن الجوائز معدنية.
- **الحالة الثانية:** تم حساب انتقالات الطوابق للمنشأ بافتراض وجود زاوية داخلية ثم أُعيد الحساب باستخدام جوائز معدنية.
- **الحالة الثالثة:** تم حساب انتقالات الطوابق للمنشأ بافتراض وجود طابق طويل هو الطابق الثاني ومن ثم أُعيد الحساب باستخدام جوائز معدنية وأعمدة مختلطة.

سنعتمد التحليل الديناميكي من أجل الحالات الثلاث السابقة.

2- حالات عدم الانتظام:

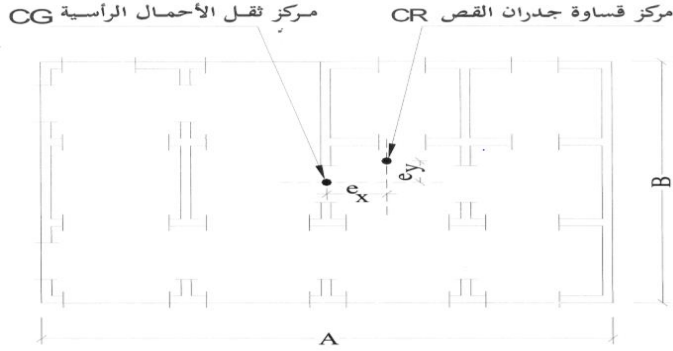
2-1 عدم الانتظام الأفقي:

1. تطابق مركز كتلة المبنى مع مركز قساوته: يعرف مركز كتلة طابق في المبنى بأنه مركز تطبيق محصلة الأوزان الرأسية لهذا الطابق. أما مركز القساوة لهذا الطابق، فإنه يمثل مركز القساوة لعناصر الجملة الإنشائية المقاومة للأحمال الجانبية في هذا الطابق، وهي النقطة التي إذا طبقت فيها قوة أفقية يحصل انتقال في هذا الطابق باتجاه القوة دون دوران. إن انطباق مركز القساوة لطابق مع مركز الكتلة، يؤدي إلى تقليل أثر القوة الزلزالية المطبقة على العناصر الإنشائية المقاومة للأحمال الجانبية إلى حدودها الدنيا وذلك بإلغاء أثر ظاهرة الفتل. وكلما ابتعد المركزان أحدهما عن الآخر كما هو موضح في الشكل (1) تزداد آثار هذه القوى بسبب اللي (الفتل)، وقد تصل هذه الزيادة إلى أضعاف قيمتها. وهذا ما يفسر لماذا تتطلب الاشتراطات الفنية دائماً اختيار المنشآت المتناظرة في المسقط قدر الإمكان.



الشكل رقم (1) حالة عدم تطابق مركز الكتلة مع مركز الصلابة.

2. يُعد التناظر الإنشائي محققاً إذا تم التأكد بأن المسافة الأفقية ما بين مركز ثقل الأحمال الشاقولية ومركز القساوة لا تتجاوز (0.05) من بعد الكتلة في كل اتجاه وإذا كان لابد من وجود بعض عدم التناظر في المقطع العرضي للجملة المقاومة للقوى الأفقية كما في الشكل (2)، فيجب أخذ الفتل الذي سينتج عن ذلك بالحسبان عند حساب مقاومة الجملة المقاومة للقوى الأفقية.



الشكل رقم (2) حالة عدم تطابق مركز الكتلة مع مركز الصلابة.

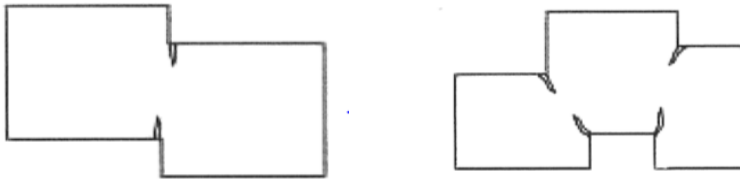
$$e_x \leq 0.05 A \quad \text{تحقق شرط التناظر:}$$

$$e_y \leq 0.05 B$$

لامركزية صغيرة للفتل في المسقط الأفقي (شبه متناظر)

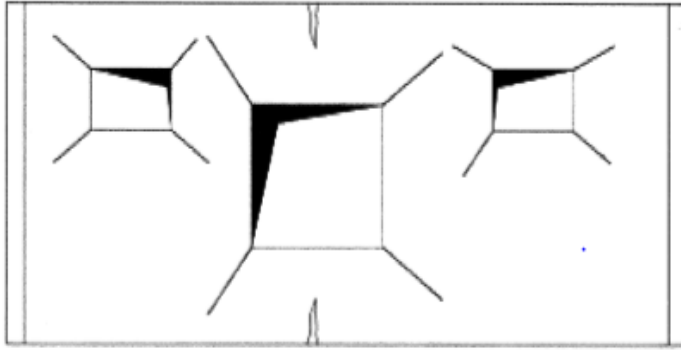
3. وجود زوايا داخلية: يؤدي وجود زوايا داخلية في المسقط الأفقي للمنشأة إلى تغير مفاجئ في مقطع البلاطة التي تعمل كجوائز أفقية تحت تأثير الزلزال، وبالتالي يتولد تركيز إجهادات في هذه البلاطة عند مناطق التغير كما في الشكل(3).

أما في جدران القص التي تعمل كعناصر إنشائية مقاومة، ويسبب تناوب الأحمال الزلزالية عليها فإن البلاطة في إحدى الحالتين تكون معلقة بجدار القص فتتسأ في البلاطة قوة شد أو (ضغط) عالية في حواف البلاطة. لذا تعد الزوايا الداخلية في المسقط الأفقي للمنشأ نقاط ضعف يتوجب معالجتها.



الشكل رقم (3) حالة وجود زوايا داخلية.

4. وجود انقطاعات مفاجئة (أو فتحات كبيرة) في البلاطات: تعمل بلاطات السقوف في المنشآت كجائز أفقي مهمته نقل أحمال الزلزال الأفقية إلى الجملة الإنشائية المقاومة للأحمال الجانبية. لذا يجب أن تحقق هذه السقوف صلابة ملائمة ومقاومة كافية. فإذا كانت في هذه السقوف انقطاعات مفاجئة أو فتحات كما في الشكل (4) فإنها تؤثر على كفاءتها وتحدث تركيز إجهادات فيها وتغير سلوكها العام. وتكون هذه المناطق نقاط ضعف تؤدي إلى انهيارات موضعية.

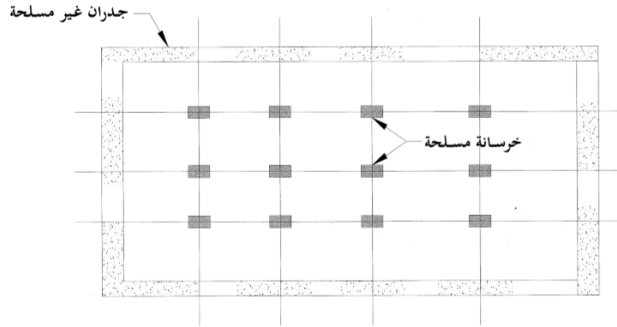


الشكل رقم (4) حالة وجود انقطاعات مفاجئة في البلاطات.

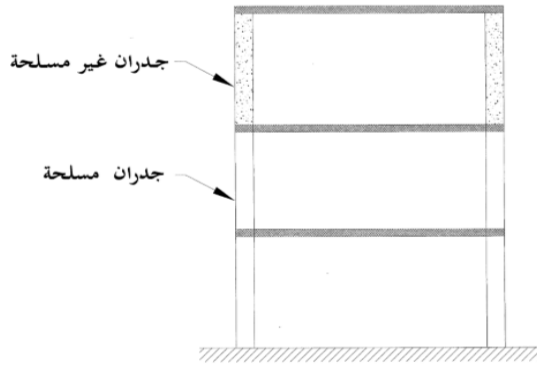
2-2 عدم الانتظام الشاقولي:

1. عدم الانتظام في القساوة للطوابق بسبب القساوة (الجساءة) الفعلية للعناصر أو تغير مادة الإنشاء: إن وجود منشآت فيها طابق أو أكثر من الخرسانة المسلحة، وطوابق أخرى منفذة من مواد إنشاء مختلفة يسبب تغير مفاجئ في القساوة وبالتالي عند تعرض هذه المنشآت إلى زلزال، فإن مناطق التغير في القساوة تُركّز فيها القوى والإجهادات مما يؤدي إلى تشققات أو تكسرات فيها. لذا يتوجب التحقق الحسابي منها، واقتراح حلول مناسبة لها. (يبين الشكل (5) نماذج لعدم الانتظام في القساوة للطوابق، سواء بسبب تغير القساوة الفعلية للعناصر، أو تغير مادة الإنشاء)

دراسة تأثير درجة انتظام الجملة الإنشائية ونوع مادة الجوائز على سلوك المنشأ المُعرَّض للأحمال الزلزالية



تأثير إختلاط الحمول والمواد الإنشائية في المسقط



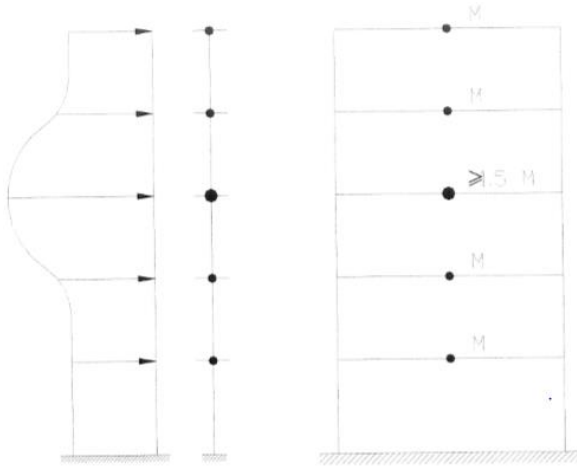
تأثير تغيير المواد الإنشائية في الطوابق

الشكل رقم (5) حالة عدم انتظام في قساوة العناصر .

2. الطابق اللين والطابق الضعيف والطابق الطويل: يُعرف الطابق اللين بأنه الطابق الذي يحدث فيه تغيير مفاجئ في القساوة للعناصر المقاومة للأحمال الجانبية حيث تقل النسبة بين قساوته وقساوة الطابق الذي يعلوه عن 0.7 أو عن 80% من معدل القساوة النسبية للطوابق الثلاثة الواقعة فوقه. يعرف الطابق الضعيف بأنه الطابق الذي تكون نسبة مقاومة عناصره على مقاومة عناصر الطابق الذي يعلوه أقل من 80%. أما الطابق الطويل فهو الطابق الذي يزيد ارتفاعه بنسبة لا تقل عن 25% من ارتفاع الطابق المجاور، وبالتالي يتغير سلوك هذا الطابق عند تعرضه إلى زلزال. لذا

يتوجب الانتباه إلى الإزاحة الأفقية الناجمة في هذا الطابق والإجهادات المركزة في المناطق الحرجة. قد يكون الطابق طابقاً ليناً أيضاً، تبعاً لقساوته النسبية مقارنة مع قساوات الطوابق التي تعلوه.

3. عدم الانتظام في كتل الطوابق: يؤدي عدم الانتظام في كتل الطوابق في المنشآت القائمة كما هو موضح في الشكل (6) إلى تركيز القوى وتضخمها في بعض الطوابق بقيم كبيرة جداً، وبالتالي إلى حدوث انهيارات موضعية وجزئية في بعض عناصر المنشأة. لذا يتوجب إعادة التحقق من المنشأة باستعمال الطرائق الديناميكية، والعمل على إعادة تأهيل المناطق الحرجة لهذه المنشأة.

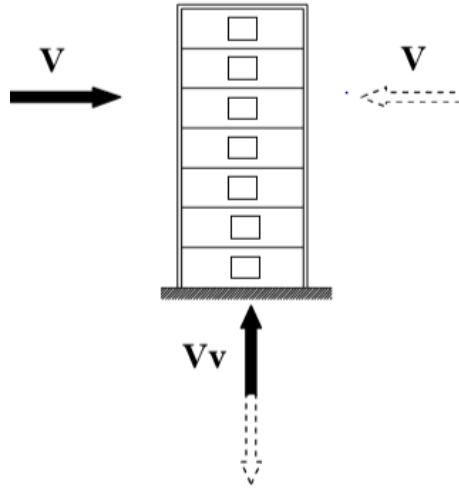


الشكل رقم (6) حالة عدم انتظام في كتل الطابق.

3- التحليل وفق الطريقتين الاستاتيكية والديناميكية:

3-1 التحليل وفق الطريقة الاستاتيكية المكافئة:

يتم في هذه الطريقة إيجاد القوى الزلزالية الاستاتيكية المكافئة للقوى الزلزالية ولهذه القوى مركبتان: أفقية ورأسية كما في الشكل (7)، ولكن معظم الكودات تهمل المركبة الرأسية للقوى الزلزالية. وبشكل عام تنحصر دقة نتائج الطريقة الاستاتيكية المكافئة بالمنشآت المنتظمة أو الشبه منتظمة، وتتلخص فكرة هذه الطريقة في تمثيل القوى الزلزالية وكأنها قوى أفقية تؤثر في المباني.



الشكل رقم (7) توزيع مركبات القوة الزلزالية.

تُحسب قيمة هذه القوى وفقاً لكودات التصميم الزلزالي من خلال استخدام المعادلة :

$$V = C_s \times W$$

حيث:

V : القوة الزلزالية الاستاتيكية الأفقية المكافئة، وتعرف باسم قوة القص القاعدي (Base Shear Force).

W : وزن المنشأ.

C_s : المعامل الزلزالي، وقيمة هذا العامل تمثل نسبة أو جزءاً من قيمة الجاذبية الأرضية (g).

نلاحظ من المعادلة السابقة أن زيادة وزن المنشأ تؤدي لزيادة قيمة القوى الزلزالية الأفقية، وقيمة المعامل الزلزالي C_s أقل من واحد وبالتالي فإن قيمة القوة الزلزالية الأفقية V هي نسبة من وزن المنشأ. إذا كانت قيمة المعامل الزلزالي أقل من 0.05 يكون تأثير القوة الزلزالية في المنشأ محدوداً ويمكن للمنشأ أن يتحمل هذه القوة بسهولة.

تتأثر قيمة كل من المعامل C_s والقوة الزلزالية V بعدة عوامل تظهر في العلاقة التالية:

$$V = \frac{C_v I}{R \cdot T} W$$

وبحيث لا يتجاوز القص القاعدي التصميمي الكلي القيمة التالية:

$$V = \frac{2.5 C_a I}{R} W$$

ولا تقل عن القيمة التالية:

$$V = 0.11 C_a I W$$

وإضافة لما سبق يجب ألا تقل قيمة القص القاعدي الكلي للمنطقة الزلزالية (4) عن:

$$V = \frac{0.8 Z N_v I}{R} W$$

C_v : معامل زلزالي تتم إيجاد قيمته من الجداول من خلال العوامل Z و S .

Z : معامل زلزالية المنطقة ، و يمثل هذا المعامل ذروة التسارع الزلزالي الأرضي للمنطقة على الصخر، و يؤخذ من الخرائط الزلزالية.

S : معامل نوعية و تأثير تربة الموقع، حيث S_A ، S_B ، S_C ، S_D ، S_E ، S_F تمثل أصناف المقاطع الشاقولية للتربة.

I : عامل أهمية المنشأ.

T : الفترة الأساسية للاهتزاز المرن (الزمن الدوري الطبيعي الأساسي)، مقدراً بالثواني وذلك للمنشأ بالاتجاه المدروس.

R: معامل يمثل مقدار الممطولية العامة للنظام المقاوم للقوى الأفقية.

و تُحسب قيمة T (الفترة الأساسية لاهتزاز المنشأ) بشكل تقريبي لكافة المباني من العلاقة:

$$T = C_t (h_n)^{\frac{3}{4}}$$

حيث:

$C_t = 0.0853$ للإطارات المعدنية المقاومة للزوم.

$C_t = 0.0731$ للإطارات الخرسانية المسلحة المقاومة للزوم.

$C_t = 0.0488$ لكافة الأبنية الأخرى.

h_n : (مقدرة بالمتراً) هي الارتفاع فوق القاعدة حتى المنسوب n.

3-2 التحليل الديناميكي:

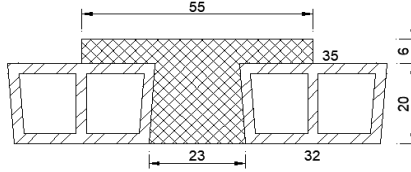
إن استجابة المنشأ الديناميكية وهي مجموعة الانتقالات والتشوهات والإجهادات تابعة للزمن لأن الأحمال الديناميكية التي سببتها تابعة للزمن أيضاً، مما يؤدي إلى مجموعة غير منتهية من الحلول خلال المجال الزمني المدروس. يتم في الطرق الاستاتيكية تحديد قوى العطالة كقوى ساكنة مكافئة باستخدام علاقات تجريبية لا تأخذ بشكل ظاهري الخصائص الديناميكية للجملة الإنشائية المدروسة (الطريقة الاستاتيكية الأولى)، لكن تم تطوير هذه العلاقات لتمثل السلوك الديناميكي للمنشآت المنتظمة ذات التوزيع المنتظم للكتلة و الصلابة، و في هذه الحالة تعتبر الطريقة المكافئة الساكنة كافية في معظم الأحوال (الطريقة الاستاتيكية الثانية)، بينما يؤدي تطبيقها على المنشآت غير المنتظمة إلى نتائج غير صحيحة ، و يتم اللجوء إلى التحليل الديناميكي في هذه الحالة.

4- التحليل باستخدام برنامج ETABS 2016:

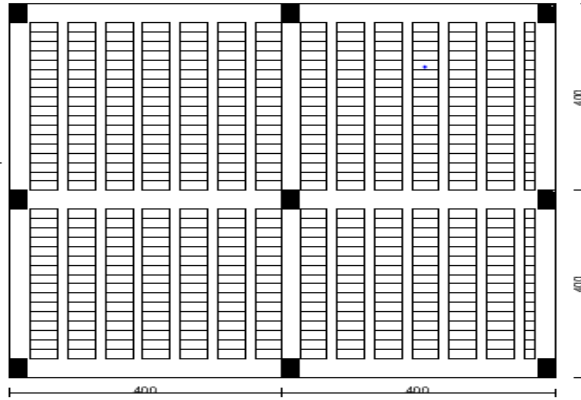
4-1 نمذجة المنشأ:

البلاطة المستخدمة في النماذج هي بلاطة مفرغة (هوردي) عاملة باتجاه واحد. تم حساب سماكة بلاطة الهوردي الموضحة في الشكل (8)، (9) من اشتراط الكود:

تأخذ سماكة البلاطة $t = 26 \text{ cm}$.
مستمرة من طرف واحد ومستندة على جوائز من سمك البلاطة.
 $t \geq \frac{400 \text{ cm}}{18} = 22.22 \text{ cm}$



الشكل رقم (8) أبعاد مقطع بلاطة الهوردي المدروسة، الأبعاد بوحدة (cm).



الشكل رقم (9) أبعاد مسقط بلاطة الهوردي المدروسة، الأبعاد بوحدة (cm).

بافتراض حمولة التغطية 2 KN/m^2 والحمولة الحية 2 KN/m^2

$DL = 3.12 \text{ KN/m}^2$ و $LL = 2 \text{ KN/m}^2$

تم اختيار مقاطع الأعمدة ونسبة التسليح 1.5% كما هو موضح في الجدول (1).

الجدول رقم (1) أبعاد مقاطع الأعمدة ونسب التسليح.

C2		C1		Story
(a x b) cm	T (mm)	(a x b) cm	T (mm)	
30 x 30	10 T16	25 x 40	10 T16	1-2
30 x 40	10 T16	30 x 40	4 T18 + 6 T16	3-4
35 x 45	10 T18	35 x 40	10 T18	5-6
40 x 45	12 T18	40 x 40	12 T18	7-8
45 x 45	12 T18	40 x 45	12 T18	9-10

الجدول رقم (2) سماكات جدران القص في كل طابق.

W (cm)	Story
25	8-9-10
30	5-6-7
35	3-4
40	1-2

تحديد العوامل الزلزالية بالاعتماد على موقع المنشأ $a = 300 \text{ m/sec}^2$ في منطقة القصير بحمص، والجملة المقاومة للزلازل وهي جملة جدران قص فقط، وقدرة تحمل التربة 3 kg/cm^2 فكانت قيمة العوامل:

$$R = 5.5$$

$$C_a = \begin{cases} Z \\ g \\ S_c \end{cases} = \frac{a}{g} = \frac{300}{1000} = 0.3 \Rightarrow C_a = 0.33$$

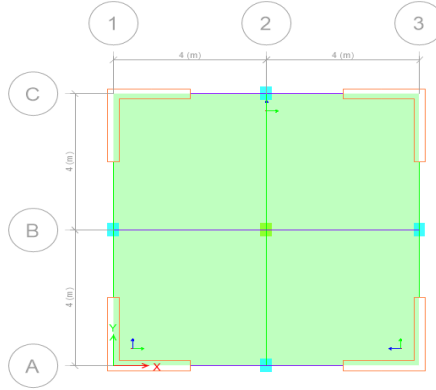
$$C_v = 0.45$$

بالاعتماد على عوامل المنطقة الزلزالية C_a, C_v نقوم بتعريف طيف الاستجابة الديناميكي

الخطي وفق كود UBC 97.

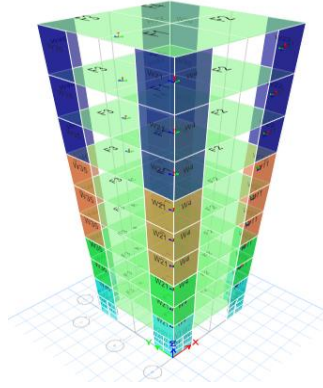
2-4 دراسة الحالة الأولى:

بعد تعريف المواد والمقاطع وإسناد الأحمال تم رسم المنشأ على برنامج ETABS كما في الشكل (10)،(11).



الشكل رقم (10) مسقط للمنشأ في حالة جدران القص موزعة على الأطراف.

الجوائز من البيتون المسلح بأبعاد (40 X 26) و (30 X 26)، الأعمدة الطرفية متماثلة تماماً ورُمز لها C1، أما الوسطية C2. الوزن الحجمي للبيتون المسلح 25 KN/m^2 والمقاومة المميزة $F_c' = 25 \text{ mpa}$ كما أن إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح الطولي $F_y = 400$ و $H = 240$ لفولاذ التسليح العرضي. المنشأ منتظم أفقياً ورأسياً وجدران القص موزعة على الأطراف بشكل متناظر.



الشكل رقم (11) منظور للمنشأ في حالة جدران القص موزعة على الأطراف.

بعد تحليل المنشأ على البرنامج كانت انتقالات الطوابق مبينة في الجداول (3) و (4).
الجدول (4) انتقالات الطوابق بالاتجاه (Y). الجدول (3) انتقالات الطوابق بالاتجاه (X).

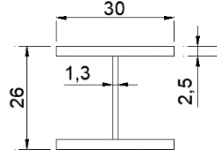
C10:D+L+SPEC X+Z Max

Displacement (mm)	Story
58.866	Story10
51.481	Story9
43.947	Story8
36.337	Story7
28.818	Story6
21.593	Story5
14.931	Story4
9.131	Story3
4.479	Story2
1.312	Story1

C11:D+L+SPEC Y+Z-1

Displacement (mm)	Story
56.334	Story10
49.29	Story9
42.087	Story8
34.79	Story7
27.575	Story6
20.63	Story5
14.219	Story4
8.651	Story3
4.212	Story2
1.241	Story1

تم استخدام جوائز معدنية على شكل حرف ا كما هو موضح في الشكل(12):



مقطع الجوائز المعدنية

الشكل رقم (12) أبعاد

المستخدمة، الأبعاد بوحدة (cm).

كانت انتقالات الطوابق الموافقة للتركيب الزلزالية التالية كما في الجداول (5) و (6)

الجدول (6) انتقالات الطوابق بالاتجاه (Y). الجدول (5) انتقالات الطوابق بالاتجاه (X).

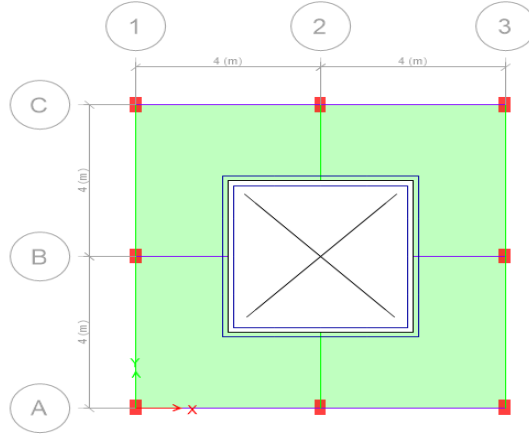
C10:D+L+SPEC X+Z Max	
Displacement (mm)	Story
49.879	Story10
44.137	Story9
38.166	Story8
31.983	Story7
25.723	Story6
19.549	Story5
13.708	Story4
8.506	Story3
4.239	Story2
1.268	Story1

C11:D+L+SPEC Y+Z	
Displacement (mm)	Story
46.182	Story10
40.927	Story9
35.438	Story8
29.727	Story7
23.923	Story6
18.175	Story5
12.724	Story4
7.918	Story3
3.96	Story2
1.189	Story1

نلاحظ

أن قيم الانتقالات في الطوابق قد انخفضت بشكل ملحوظ، حيث انخفضت في الطابق الأخير بالاتجاه X والاتجاه Y بحدود 9 mm.

سنقوم بإعادة توزيع جدران القص حيث سيتم تركيزها في الوسط كما هو موضح في الشكل (13)، (14).

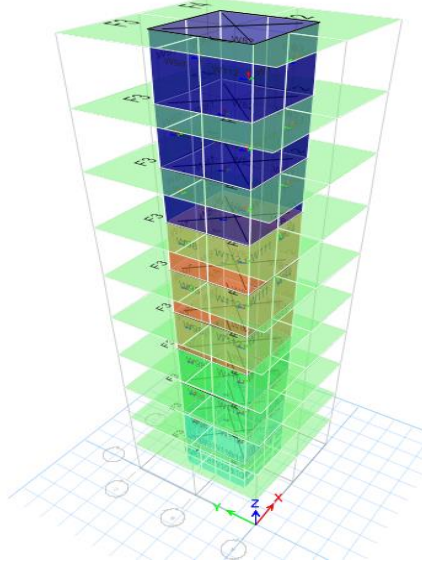


الشكل رقم (13) مسقط للمنشأ في حالة جدران القص مركزة في الوسط.

المنشأ مطابق للمنشأ السابق بمواصفات المواد والمقاطع والمنطقة الزلزالية المفروضة، والأعمدة متماثلة في الطابق، ومقاطعها في كل طابق موضحة في الجدول (7).

الجدول رقم (7) أبعاد مقاطع الأعمدة في حالة جدران القص مركزة في الوسط.

C1		Story
(a x b) cm	T (mm)	
25 x 40	10 T16	1-2
30 x 40	4 T18 + 6 T16	3-4
35 x 40	10 T18	5-6
40 x 40	12 T18	7-8
40 x 45	12 T18	9-10



الشكل رقم (14) منظور للمنشأ في حالة جدران القص مركزة في الوسط.
فكانت نتائج التحليل كما هو موضَّح في الجداول (8) و (9).

الوزن (Kn)
710.4

الجدول (9) انتقالات الطوابق بالاتجاه (Y). الجدول (8) انتقالات الطوابق بالاتجاه (X).

C10:D+L+SPEC X+Z Max	
Displacement (mm)	Story
28.011	Story10
24.231	Story9
20.412	Story8
16.629	Story7
13.008	Story6
9.612	Story5
6.564	Story4
4.001	Story3
1.982	Story2
0.628	Story1

C11:D+L+SPEC Y+Z	
Displacement (mm)	Story
25.468	Story10
22.077	Story9
18.636	Story8
15.215	Story7
11.93	Story6
8.837	Story5
6.051	Story4
3.701	Story3
1.841	Story2
0.588	Story1

دراسة تأثير درجة انتظام الجملة الإنشائية ونوع مادة الجوائز على سلوك المنشأ المُعرَّض للأحمال الزلزالية

تم إضافة جوائز معدنية على شكل مقطع ا مطابقة للجوائز المعدنية السابقة، فكانت النتائج كما في الجداول (10) و (11)

الوزن (Kn)
677.289

الجدول (11) انتقالات الطوابق بالاتجاه (Y). الجدول (10) انتقالات الطوابق بالاتجاه (X).

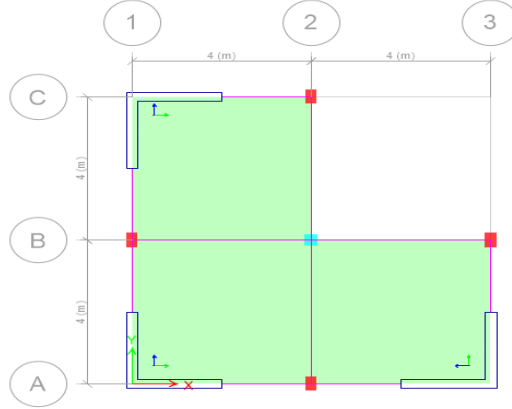
C10:D+L+SPEC X+Z Max	
Displacement (mm)	Story
26.737	Story10
23.13	Story9
19.485	Story8
15.875	Story7
12.419	Story6
9.177	Story5
6.267	Story4
3.821	Story3
1.894	Story2
0.601	Story1

C11:D+L+SPEC Y+Z	
Displacement (mm)	Story
24.387	Story10
21.137	Story9
17.841	Story8
14.565	Story7
11.42	Story6
8.459	Story5
5.792	Story4
3.542	Story3
1.763	Story2
0.563	Story1

إن وجود الجوائز المعدنية في المنشآت التي تكون فيه جدران القص مركزة في الوسط لا يؤثر على انتقال المنشأ بشكل كبير، وإنما تأثير الجوائز المعدنية يشكّل فارق كبير في انتقالات الطوابق للمنشآت التي تكون فيها جدران القص موزعة على الأطراف حيث يصل إلى حدود 9 mm أي ما يقارب 18.02%.

3-4 دراسة الحالة الثانية:

المنشأ فيه زاوية داخلية، وتوزع جدران القص فيه غير منتظم كما هو موضح في الشكل (15).



الشكل رقم (15) مسقط للمنشأ في حالة وجود زاوية داخلية.

طابق للمنشأ السابق بمواصفات المواد والمقاطع والمنطقة الزلزالية المفروضة، ولكن يوجد عدم انتظام في المسقط الأفقي. كانت انتقالات الطوابق الموافقة للتراكيب الزلزالية التالية كما هو في الجداول (12) و (13).

الجدول (12) انتقالات الطوابق بالاتجاهين.

C10:D+L+SPEC X+Z Max		
Dis-X (mm)	Story	Dis-Y (mm)
82.665	Story10	59.109
71.169	Story9	51.259
59.715	Story8	43.354
48.491	Story7	35.501
37.742	Story6	27.872
27.714	Story5	20.654
18.759	Story4	14.11
11.19	Story3	8.498
5.31	Story2	4.076
1.465	Story1	1.14

الجدول (13) انتقالات الطوابق بالاتجاهين.

C11:D+L+SPEC Y+Z		
Dis-X (mm)	Story	Dis-Y (mm)
64.705	Story10	59.962
55.633	Story9	52.007
46.615	Story8	43.993
37.806	Story7	36.028
29.396	Story6	28.289
21.57	Story5	20.964
14.596	Story4	14.323
8.707	Story3	8.629
4.134	Story2	4.142
1.142	Story1	1.163

دراسة تأثير درجة انتظام الجملة الإنشائية ونوع مادة الجوائز على سلوك المنشأ المُعرَّض للأحمال الزلزالية

نلاحظ أن كل طابق في المنشأ يملك انتقال باتجاه X وانتقال باتجاه Y من أجل اتجاه واحد لتطبيق القوى الزلزالية.

تم استخدام جوائز معدنية على شكل حرف I مطابقة للجوائز المعدنية المستخدمة في المنشأ المنتظم، فكانت الانتقالات في طوابق المنشأ كما هو موضَّح في الجداول (14) و (15).

الجدول (14) انتقالات الطوابق بالاتجاهين.

C10:D+L+SPEC X+Z Max		
Dis-X (mm)	Story	Dis-Y (mm)
55.74	Story10	44.877
48.953	Story9	39.57
41.993	Story8	34.088
34.898	Story7	28.446
27.826	Story6	22.774
20.952	Story5	17.219
14.545	Story4	12.003
8.909	Story3	7.384
4.35	Story2	3.624
1.245	Story1	1.044

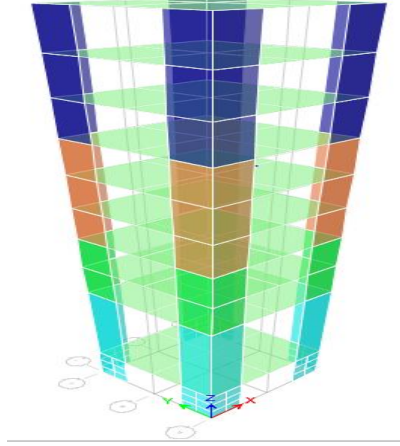
الجدول (15) انتقالات الطوابق بالاتجاهين.

C11:D+L+SPEC Y+Z		
Dis-X (mm)	Story	Dis-Y (mm)
45.997	Story10	47.567
40.369	Story9	41.949
34.604	Story8	36.142
28.738	Story7	30.164
22.901	Story6	24.152
17.236	Story5	18.261
11.96	Story4	12.729
7.324	Story3	7.832
3.575	Story2	3.845
1.023	Story1	1.11

نلاحظ أنه في جميع الحالات كانت انتقالات الطوابق بالاتجاه Y أقل من الاتجاه X ، وذلك لأن بلاطة الهوردي افترضنا أنها عاملة باتجاه واحد هو الاتجاه Y فهي تمنع الانتقال باتجاه عملها.

4-4 دراسة الحالة الثالثة:

المنشأ فيه طابق طويل كما في الشكل(16)، سنفترض الطابق الثاني طابق طويل ارتفاعه 8 m ومطابق للمنشأ السابق بمواصفات المواد والمقاطع والمنطقة الزلزالية المفروضة.



الشكل رقم (16) منظور للمنشأ في حالة وجود طابق طويل.

فكانت النتائج كما هو موضَّح بالجداول (16) و (17).

الوزن (Kn)
809.853

دراسة تأثير درجة انتظام الجملة الإنشائية ونوع مادة الجوائز على سلوك المنشأ المُعرَّض للأحمال الزلزالية

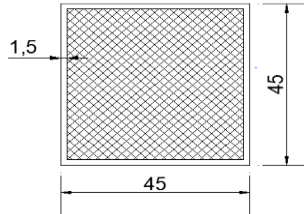
الجدول (17) انتقالات الطوابق بالاتجاه (X). الجدول (16) انتقالات الطوابق بالاتجاه (Y).

C10:D+L+SPEC X+Z Max	
Displacement (mm)	Story
72.882	Story10
65.467	Story9
57.866	Story8
50.103	Story7
42.273	Story6
34.498	Story5
26.95	Story4
19.838	Story3
13.366	Story2
1.344	Story1

C11:D+L+SPEC Y+Z	
Story	Displacement (mm)
Story10	77.78
Story9	69.379
Story8	60.855
Story7	52.257
Story6	43.705
Story5	35.334
Story4	27.328
Story3	19.898
Story2	13.239
Story1	1.258

تم إضافة

جوائز معدنية ذات مقطع ا واستبدال مقاطع الأعمدة في الطابقين الأول والثاني بمقطع مختلط مستطيل مقطعه كما في الشكل(17).



الشكل رقم (17) مقطع الأعمدة في الطابقين الأول والثاني،مقطع مختلط مستطيل، الأبعاد بوحدة (cm).

فكانت النتائج كما هو موضَّح في الجداول (18) و (19)

الوزن (Kn)
789.122

الجدول (19) انتقالات الطوابق بالاتجاه (X). الجدول (18) انتقالات الطوابق بالاتجاه (Y).

C10:D+L+SPEC X+Z Max	
Displacement (mm)	Story
60.332	Story10
54.898	Story9
49.212	Story8
43.244	Story7
37.055	Story6
30.734	Story5
24.411	Story4
18.283	Story3
12.538	Story2
1.313	Story1

C11:D+L+SPEC Y+Z	
Story	Displacement (mm)
Story10	56.396
Story9	51.373
Story8	46.106
Story7	40.548
Story6	34.764
Story5	28.838
Story4	22.896
Story3	17.134
Story2	11.796
Story1	1.245

نلاحظ انخفاض قيم الانتقالات عند استخدام عناصر معنية ومختلطة في المنشأ بشكل كبير حيث تراوحت بين (20% - 37%) تقريباً.

5- النتائج والتوصيات:

5-1 النتائج:

1. عندما يكون المنشأ منتظماً أفقياً ورأسياً ويكون توزيع جدران القص على الأطراف بشكل متناظر فإن استجابة المنشأ يمكن التنبؤ بها وتكون أقرب ما يمكن إلى الواقع.
2. عندما يكون المنشأ غير منتظم كما في الحالة الثانية (وجود زاوية داخلية في المسقط الأفقي) فإن باستجابة المنشأ يصعب التنبؤ بها.
3. إن وجود طابق طويل في المنشأ يسبب انتقالات كبيرة في طوابق المبنى، كما أن وجود طابق طويل قد يجعل هذا الطابق ليناً أيضاً.
4. إن استخدام الجوائز المعدنية أدى إلى انخفاض قيمة انتقالات الطوابق بشكل جيد.
5. إن تأثير الجوائز المعدنية على المنشأ الذي تكون فيه جدران القص موزعة على الأطراف أكبر من تأثيرها في حالة تركيز جدران القص في الوسط.
6. إن استخدام الأعمدة المختلطة (أعمدة فولاذية مملوءة بالبيتون) المستمرة من الطابق الأرضي حتى الطابق الطويل (الطابق الثاني في حالتنا) سبب انخفاض في قيم انتقالات الطوابق بشكل كبير جداً.
7. إن اختيار البلاطات العاملة باتجاهين يساهم في خفض قيم انتقالات الطوابق.
8. عند تطبيق القوى الأفقية على المنشأ في الحالة الثانية (وجود زاوية داخلية في المسقط الأفقي) فإن الإجهادات ستكون مركزة على البلاطة وفق اتجاه عملها مهما كانت جهة القوى.

5-2 التوصيات:

1. يُنصح بدراسة السلوك اللاخطي للمنشأ من أجل حالات عدم الانتظام السابقة.
2. ضرورة دراسة تأثير حالات عدم انتظام أخرى على سلوك المنشأ.
3. ضرورة دراسة تأثير حالات عدم الانتظام على توزيع الإجهادات في عناصر المنشأ.
4. يجب تطوير استخدام العناصر المعدنية والمختلطة في المنشآت.

المراجع:

- 1) نقابة المهندسين.(2012). الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة. دمشق: سوريا. نقابة المهندسين. ص:404.
- 2) نقابة المهندسين.(2013). الملحق رقم (2) للكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة تصميم وتحقيق المباني والمنشآت المقاومة للزلازل. دمشق: سوريا. نقابة المهندسين. ص:271.
- 3) م.المحمدي، سليمان قائد. (2012). دليل التحليل والتصميم الإنشائي وفق الكود الأمريكي بمساعدة ETABS. ط: 1، صنعاء: اليمن. ص: 520.
- 4) م.الدبيك، جلال نمر.(2010). التصميم المعماري للمباني المقاومة للزلازل. نابلس: فلسطين. مطبعة النصر. ص: 169.
- 5) م.فطوم، شادي.(2017). استخدام التحليل الزلزالي الستاتيكي اللاخطي في الجمل الثنائية (جدران قص - إطارات). ماجستير. قسم الهندسة الإنشائية. كلية الهندسة المدنية. حمص: سوريا. جامعة حمص. ص: 129.

- (6) م. الخضور، حيدر. (2020). دراسة سلوك الجمل المختلطة ذات جدران القص غير المستمرة باستخدام تحليل استاتيكي لاخطي. ماجستير. قسم الهندسة الإنشائية. كلية الهندسة المدنية. حمص: سوريا. جامعة حمص. ص: 167.

تقوية طبقة أساس الخط الحديدي في حالة الترب الضعيفة

د. محمد الشلاش*

ملخص البحث

يُعد النقل بالخطوط الحديدية ركيزة أساسية للتنمية الاقتصادية والاجتماعية نظراً لكفاءته وقدرته الاستيعابية العالية. لكن وجود الترب الضعيفة على مسار الخطوط الجديدة يحتاج إلى معالجة لما له من أثر على انخفاض قدرة تحمل أساس الخط أو الهبوط الكبير تحت تأثير الحمولات الديناميكية لمحاور عجلات القطارات. وللتغلب على المشاكل الناتجة عن ذلك فقد تم الحل باستبدال التربة الضعيفة. حيث يتم إزالة الترب ذات المواصفات السيئة واستبدالها بتربة ذات مواصفات أفضل وذات قدرة تحمل مناسبة. ومن الحلول أيضاً التثبيت الكيميائي (بالإسمنت) عن طريق خلط التربة الموجودة بنسبة معينة من الإسمنت مما يؤدي إلى تحسن ملحوظ في خصائصها الميكانيكية (التماسك، زاوية الاحتكاك) وزيادة قدرة التحمل بشكل كبير. ويستخدم الجيوتكستايل الذي يعمل كطبقة فاصلة تمنع اختلاط المواد كما تساعد على توزيع الحمولات على مساحة أكبر، الأمر الذي ينعكس إيجاباً على خفض قيمة الضغوط التي يتعرض لها أساس الخط. في هذا البحث تمت دراسة حالتها الاستبدال لأعلى طبقة الأساس أو تثبيتها بواسطة الإسمنت، بوجود الجيوتكستايل على عينات من تربة على مسار خط حديدي ووفقاً للمواصفات الفنية للخط الحديدي موضوع الدراسة.

الخط الحديدي، تقوية طبقة أساس الخط، تثبيت طبقة الأساس، الجيوتكستايل.

تقوية طبقة أساس الخط الحديدي في حالة الترب الضعيفة

1 - مقدمة:

نظراً للدور الحيوي للخطوط الحديدية في النقل والانعكاس الاقتصادي لتطور شبكات الخطوط الحديدية، فمن الضرورة بمكان ضمان جودة واستقرار وأمان هذه الخطوط.

تشكل الترب الضعيفة تحدياً كبيراً للبنية التحتية للخط الحديدي (الطابق الترابي) وذلك نتيجة انضغاطيتها العالية وضعف قدرتها على تحمل الضغوط الناتجة عن حمولات المحاور للقطارات. وكذلك الأمر حساسية هذه الترب وبالأخص الغضارية للمياه، الأمر الذي يؤدي إلى هبوط غير منتظم للطابق الترابي. ولتفادي ما سبق لابد من تقوية أساس الخط لتحسين قدرته على التحمل والتخلص من الهبوط التفاضلي الناتج عن الحمولات الشاقولية التي يتعرض لها الخط.

2 - الهدف من البحث:

سوف نتعرض في هذا البحث للمقارنة والتقييم والفاعلية لطريقتين من طرق تحسين التربة (استبدال جزء من طبقة الأساس والتنبيت بالأسمنت) واستخدام الجيوتكستايل في كلا الحالتين وما يعكس من استخدام هاتين الطريقتين على:

- تحسين توزيع الإجهادات وخفضها على سطح طبقة الأساس.
- تقليل الهبوط وانتظامه.
- زيادة قدرة التحمل للطابق الترابي الخط الحديدي.

3- الأساس النظري:

1-3 السلوك الهندسي للترب الغضارية الضعيفة:

للقوف على سلوك الترب الطينية الضعيفة لابد من معرفة الخواص الهندسية لهذه الترب:

- قوة قص منخفضة: تتميز بحبيبات دقيقة جداً (أصغر من 0.002 مم) ومسامية عالية، مما يجعلها ضعيفة وغير قادرة على تحمل الأحمال العالية دون تشوه.
- نفاذية منخفضة جداً: الفراغات بين حبيباتها ضيقة جداً، مما يعيق تسرب الماء منها بسرعة.
- الانضغاطية العالية: بسبب هيكلها المسامي والضعيف، فإنها تتنضغط بشكل كبير عند تطبيق الحمل، حيث يخرج الماء من مسامها ببطء.
- حساسية للماء: تتأثر خصائصها بشكل كبير بمحتوى الرطوبة. عند تشبعها بالماء (وهي الحالة الشائعة في الطبقات العميقة)، تفقد جزءاً كبيراً من قدرة تحملها.
- 3-2 النظرية والأساليب المقترحة لتقوية الأساس الترابي الضعيف
- نعرض فيما يلي الأساليب النظرية المتبعة لتقوية الأساس الترابي الضعيف
- 3-2-1 تحسين خصائص التربة نفسها

- a - مبدأ الاستبدال: إزالة التربة الطينية الضعيفة إلى عمق مناسب واستبدالها بمواد حبيبية ذات نفاذية عالية وقدرة تحمل جيدة (مثل الرمل والحصى المرصوص جيداً [1] . هذا يحل مشكلة الضعف من جذورها ولكن قد يكون مكلفاً للغاية للمساحات الكبيرة.
- b - مبدأ التثبيت الكيميائي: تعتمد على نظرية التفاعلات الكيميائية.
- إضافة مواد مثل الجير أو الأسمنت أو الرماد المتطاير [2] إلى التربة الطينية يؤدي إلى:
- تفاعلات بوزولانية: تكون سيليكات الكالسيوم وألومينات هيدرات، والتي تعمل كمواد لاحمة تربط حبيبات التربة.
- تقليل حد اللدونة ونسبة الانتفاخ عن طريق تعديل التوازن الأيوني على سطح حبيبات الطين.
- زيادة ملحوظة في مقاومة القص ومعامل الصلابة.
- 3-2-2 تسريع عملية الانضغاط
- مبدأ هذه الطريقة هو التحميل المسبق مع ألواح الصرف الرأسية وتعتمد

- على نظرية الانضغاط التي تنص على أن وقت الانضغاط يتناسب طردياً مع مربع أطول مسار تصريف للماء وآلية العمل تتم كما يلي:
- تقوم ألواح الصرف البلاستيكية بتقصير مسار تصريف الماء المسامي من منتصف طبقة التربة إلى السطح، مما يسرع بشكل كبير من عملية الانضغاط والهبوط.
 - يتم تطبيق حمل مؤقت (كدعامة ترابية) لدفع الماء للخروج وليحدث الهبوط قبل بناء الخط، مما يمنع الهبوط المستقبلي بعد تشغيل القطارات.

3-2-3 عزل وتوزيع الأحمال:

مبدأ هذه الطريقة هو استخدام المواد الجيوسينثتية.

3-2-3-1 التحسين بواسطة الجيوتكستائل أو الجيوغريد يعتمد على نظرية تقوية

سطح الفصل بين طبقة البلاست وطبقة أساس للخط. المواد

الجيوسينثتية تقاوم قوى الشد مما يؤدي إلى:

a- توزيع الأحمال على مساحة أوسع من التربة الأساس، مما يقلل ضغط التماس.

b - احتجاز حبيبات البلاست ومنعها من الغوص في التربة الطينية اللينة.

c - زيادة مقاومة القص الكلية للطبقة المركبة.

3-2-3-2 التحسين بواسطة الخلايا الصناعية وهي عن إنشاء "فراش مرن" من الخلايا

المملوءة بالتربة أو الرمل، والتي تعمل على عزل طبقة الأساس عن

الأحمال الديناميكية المباشرة وتوزيعها بشكل ممتاز.

3-2-4 تجاوز منطقة الضعف

تعتمد على أوتاد تدق في طبقات التربة العميقة المستقرة. تقوم هذه الأوتاد بحمل

معظم الحمل الهيكلي، بينما تقوم حصيرة من المواد الجيوسينثتية الموضوعة

فوق رؤوس الأوتاد بنقل وتوزيع حمل الخط والبلاست إلى الأوتاد، متجاوزة

التربة الطينية الضعيفة.

4- طرق تقوية أساس الخت:

1-4 استبدال تربة الأساس:

ويعتبر هذا الأسلوب فعالاً إذ يُعد استبدال التربة الضعيفة بتربة أفضل أحد الحلول التقليدية والناجعة لتحسين خصائص أساس الخت الحديدي. ويتم بإزالة التربة الطينية ذات المواصفات السيئة واستبدالها بتربة ذات مواصفات أفضل عادة ما تكون رملية أو حصوية [3].

2-4 التثبيت الكيميائي بالأسمنت:

- ومبدأ عمل هذه الطريقة هو التمييه بين الاسمنت والماء والتربة ويؤدي ذلك إلى:
- تخفيض محتوى الرطوبة.
 - زيادة التماسك وتقليل الانضغاطية.
 - تكوين كتلة شبه صخرية.
- وطريقة التطبيق في هذه الطريقة تتم بالخلط السطحي أو العميق لنسب من الاسمنت تتراوح بين 3% إلى 10% من الوزن الجاف للتربة. وقد تم استخدام هذه الطريقة في:
- تحسين الطابق الترابي: لضمان القاعدة القوية والمستقرة التي تقوم بحمل القضبان والعوارض إضافة إلى البلاست وتمنع الهبوط التفاضلي [4].
 - التحكم في الانتفاخ: في التربة الغضارية إذ يمنع الإسمنت التغيرات الحجمية التي تشوه أساس الخت.
 - حماية جوانب الخنادق والمنحدرات: لزيادة استقرارها ومنع انهيارها.
 - دعم الهياكل المجاورة: مثل الجسور والجدران الاستنادية.

3-4 التقوية بالجيوتكستايل:

- ويعتمد على مبدأ تحسين طبقة الأساس من خلال العمل مع هذه الطبقة على:
- الفصل: يمنع فصل الطبقات اختلاط مواد طبقة البلاست أو طبقة ما تحت البلاست مع التربة الطينية الناعمة تحتها بسبب تكرار مرور الحمولات الديناميكية للقطارات أو تسرب المياه [5] وهذا يمنع تغلغل مواد طبقة البلاست أو ما تحت البلاست في طبقة الأساس

- الترابي الضعيف وبذلك تتم المحافظة على سماكة الطبقات الأعلى، وهو أمر هام لاستقرار الخط على المدى البعيد.
- التقوية: تقوم التكرسية الأرضية باستخدام مواد ذات خاصية شد عالية مثل الجيوغريد أو الجيوتكستائل المنسوج، بتوزيع الأحمال الناتجة عن مرور القطارات على مساحة أوسع. هذا يقلل من ضغط التلامس على التربة الطينية ويحد من تشوهها (الهبوط التفاضلي)
 - الترشيح: تسمح التكرسيات غير المنسوجة بمرور المياه الناتجة عن تسرب الأمطار أو ارتفاع المياه الجوفية من التربة الطينية إلى طبقة ما تحت البلاست، مع منع غسل وحمل جزيئات الطين الدقيقة. هذا يحافظ على استقرار التربة.
 - التصريف: تعمل التكرسيات غير المنسوجة السميكة كقناة تصريف أفقية، حيث تسهل التدفق الجانبي للمياه المحبوسة في التربة الطينية نحو أنظمة الصرف الجانبية، مما يسرع في عملية انضغاط التربة ويقلل من وقت المعالجة المطلوب.
- وفيما يلي المواصفات المقترحة لطبقة الجيوتكستائل: وزن المتر المربع من طبقة الجيوتكستائل بحدود $400 \text{ gr}/\text{m}^2$ وتحمل قوة شد قدرها $60 \text{ kg}/\text{m}$ ويحقق استتالة بنسبة $\geq 50\%$ قبل أن يتمزق. ويمتلك خاصية عالية على الثقب.
- وتنفذ هذه الطبقة بحيث يتم تسوية وتمهيد طبقة أساس الخط ثم يتم مد طبقة الجيوتكستائل بحيث يتحقق تداخل بين الألواح أو الصفائح بمقدار يتراوح بين $30-50 \text{ cm}$ [6]. يتم فرش طبقة ما تحت البلاست ثم طبقة البلاست أعلى طبقة الجيوتكستائل ومجموع سماكة هاتين الطبقتين هو 50 cm في حالتنا كان سماكة البلاست 30 cm وسماكة ما تحت البلاست هي 20 cm ، الشكل (1).

5- حساب الضغوط على سطح أساس الخيط:

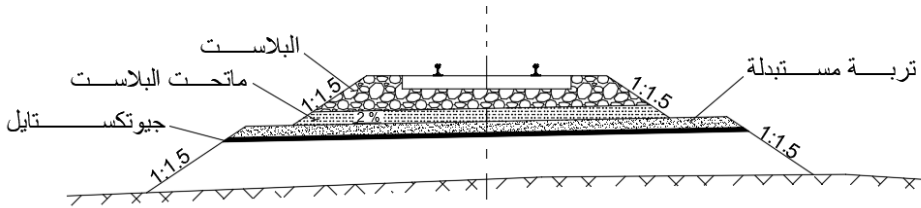
إذا كان عرض العارضة b وطول الجزء المحمل جزيئاً من العارضة مقاساً من محور

القضيب $\frac{C_s}{2}$ فإن الضغط على مادة البلاست تحت العارضة مباشرة يعطى بالعلاقة:

$$S_b = \frac{Q}{b \cdot C_s} \quad (1)$$

حيث S_b : الضغط أسفل العارضة kg/cm^2

Q : قوة ضغط القضيب على العارضة kg .



الأرض الطبيعية

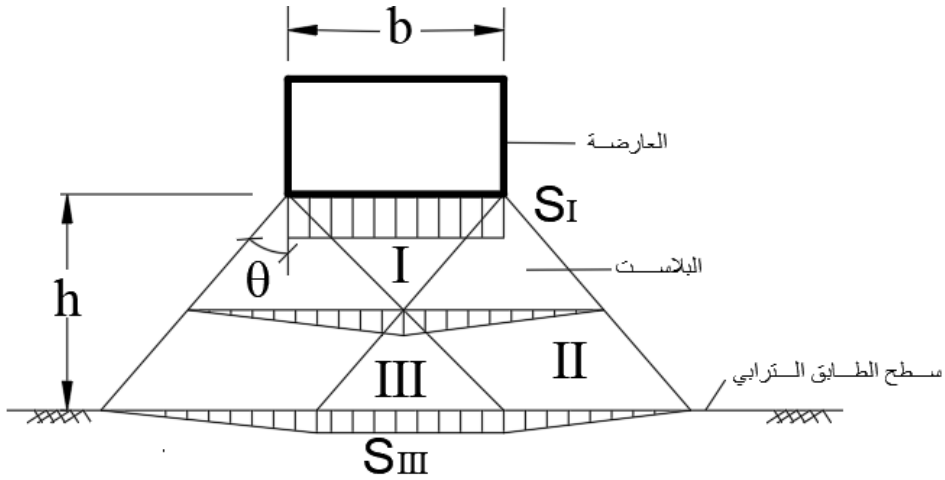
الشكل (1) مقطع عرضي في خط حديدي يبين توزيع طبقة الجيو تكتس تايل

معرفة قيمة الضغط بمادة البلاست وعلى سطح أساس السكة، أجريت قياسات عديدة أمكن على ضوئها تحديد طريقة توزيع هذه الضغوط. استناداً إلى الشكل (2) يمكننا أن نلاحظ ما يلي:

- في المنطقة I: الضغط الرأسي على مادة البلاست يساوي الضغط تحت العارضة مباشرة .SI

- في المنطقة II: الضغط الرأسي يتدرج من صفر عند خط التوزيع الخارجي إلى قيمة SI عند خط التوزيع الداخلي.

في المنطقة III: إذا زادت سماكة مادة البلاست ما بين أسفل العارضة وسطح أساس الخط فإنه يحدث تداخل للمنطقتين II,III وتعتينا ضغوط متساوية مع المستويات الأفقية (منطقة III) وهي أقل من ضغوط المنطقة I، الشكل (2).



الشكل (2) توزيع الضغوط تحت العارضة وضمن البلاست وعلى سطح أساس الخط

وتعطي قيمة الضغط بالعلاقة التالية:

$$S_{III} = \frac{1.5Q}{(3C_S + b)h.tg\theta} \quad (2)$$

حيث: h سماكة البلاست مقدره بـ cm .

θ زاوية توزع الضغط ضمن البلاست وتساوي:

$\theta = 45^\circ$ لمواد البلاست الجافة ذات التدرج الحبيبي وذات الأسطح المدببة الأطراف.

$\theta = 32^\circ$ لمواد البلاست الرطبة ذات الحبيبات الصغيرة والأسطح الملساء المستديرة.

يجب معرفة قيمة الحمولة التي تتعرض لها العارضة والمنقولة من القضيب. هذه الحمولة تتأثر بالعامل الديناميكي للسرعة التي تسير بها القطارات ومرونة الخط وعزم عطالة القضيب والتباعد بين العوارض. وتعطى قيمة الحمولة عند قاعدة القضيب بالعلاقة التالية باعتبار وقوع المحور على العارضة مباشرة وعدم اعتبار تأثير المحاور [8]، [9] المجاورة:

$$Q = k \cdot y \cdot a \quad (3)$$

$$= k \cdot \frac{P \cdot \beta}{2k} \cdot a = \frac{p \cdot \beta \cdot a}{2}$$

حيث Q : الحمولة عند قاعدة القضيب بـ kg .

k : معامل مرونة الخط kg/cm^2 .

y : قيمة الهبوط تحت العارضة cm .

a : التباعد بين محاور العوارض (cm) .

P : الحمولة الديناميكية للعجلة الواحدة kg .

أما قيمة المعامل β فتعطى بالعلاقة التالية:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot E \cdot I}} \quad (4)$$

حيث:

E : معامل مرونة القضيب مقدره وتساوي تقريبا $2.1 \times 10^6 kg/cm^2$.

I : عزم عطالة القضيب الحديدي cm^4 .

6- الدراسة العملية:

1-6 الدراسة المخبرية

سوف تتم هذه الدراسة على مشروع الدراسة التحليلية والتنفيذية التي تم إجراؤها لتفريعة الخط الحديدي بين محطتي كفر حلب والمنطقة الجمركية بحلب [7]، وفيما يلي نتائج التجارب المخبرية والخواص الهندسية لبعض العينات المأخوذة، الجدول (1).

الجدول (1) نتائج التجارب المخبرية والخواص الهندسية لعينات التربة.

رقم العينة	1	2	3	4	5
موقع العينة km	39+100	39+700	40+800	41+800	43+500
التماسك	0.12	0.26	0.28	0.2	0.41
زاوية الاحتكاك بالدرجة.	29	13	23	17	13
عامل المرونة kg/cm^2	148	29	60	34	51
نسبة المواد الناعمة %	40.1	88.5	69.7	94.4	89.6
نسبة الرمل %	17.3	10.5	28.2	4.7	8.4
نسبة البحص %	42.7	1.0	2.1	1.0	2.0
نسبة الرطوبة %	18.81	23	19.9	24.6	27.2
الوزن الحجمي الرطب gr/cm^3	2.07	2.01	1.97	1.92	2.08

2.74	2.75	2.74	2.76	2.74	الوزن النوعي
86.5	68	59	58	64.5	حد السيولة %
40.7	37.3	32.5	25.1	35.7	حد اللدونة %
45.8	30.7	26.5	32.9	28.8	دليل اللدونة %

بالنظر إلى خواص العينة (1) نلاحظ أن قيمة دليل اللدونة $PI = 28.8\%$ فإن التربة تصنف على أنها طينية ذات لدونة عالية. وهذا النوع من الترب يكون قابل للانضغاط بشدة تحت الأحمال، كما أنها حساسة للماء إذ تتغير خواصها جذرياً مع تغير محتوى الرطوبة. وطالما أن رطوبة العينة لم تصل حد الاشباع فهذا مفضل بشكل عام ولكنها لاتزال معرضة لامتصاص الماء والانتفاخ. كما يلاحظ أن قيمة تماسك هذه التربة منخفضة جداً أما قيمة الاحتكاك فهي جيدة نظراً لوجود نسب جيدة من الرمل والبصص. لذا فإن قوة القص تعتمد بشكل أكبر على زاوية الاحتكاك وهذا الأمر مهم عند اختيار نوع الجيوستاتيل. نلاحظ أن قيمة معامل المرونة منخفضة إلى متوسطة وبالتالي يمكن أن تخضع لهبوط دائم نظراً لقابليتها للانضغاط. أما العينة (2) فتظهر قيمة لدليل اللدونة $PI = 32.9\%$ وتصنف على أنها غضارية ذات لدونة عالية جداً وبالتالي فهي تظهر حساسية أكبر للماء وسلوك انضغاطي أكبر تحت الحمولات. كما أن التربة أقرب إلى حد اللزوجة بسبب الفرق البسيط بين الرطوبة وحد اللدونة. إن زاوية الاحتكاك الصغيرة لهذه التربة تجعل منها تربة غير مستقرة على الرغم من القيمة العالية للتماسك. من مجمل الخواص لهذه العينة نخلص إلى أن هذه التربة ضعيفة جداً وقابلة للانضغاط وبالتالي لهبوط كبير تحت تأثير الحمولات.

2-6 المواصفات الخاصة بعناصر الخط:

وفقاً للمواصفات الخاصة بالدراسة فإن حمولة المحور هي 25 ton . وسرعة القطارات التي تسير على هذه التفريفة لا تزيد عن 60 km/h . من أجل هذه السرعة والسرعات الأقل من 100 km/h تعطى قيمة معامل الحمولة الديناميكية بالعلاقة التالية:

$$\alpha = 1 + \frac{V^2}{30000} \quad (5)$$

حيث V : السرعة مقدرة بـ km/h ، وبالتالي من أجل السرعة المعتبرة $60km/h$ فإن المعامل الديناميكي هو: 1.12 ومن أجل الحمولة المحورية السابقة الذكر تصبح قيمة الحمل الديناميكي للعجلة هو:

$$P = 1.12 \times \frac{25 \times 10^3}{2} = 14000 \text{ kg}$$

والقضبان المستخدمة هي من نوع $UIC 60kg/m$ والعوارض هي بيتونية وفيما يلي جدول بخواص القضبان، الجدول (2).

الجدول (2) الأبعاد الهندسية وخصائص القضبان $60 kg/m$

الوزن Kg/m	مساحة المقطع cm^2	الارتفاع $y \text{ mm}$	عرض القاعدة $b \text{ mm}$	عرض التاج $a \text{ mm}$	سمك الجسد mm	عزم العطالة cm^4
60.4	76.86	150	172	72	17	3055

أما بالنسبة للعوارض المستخدمة فهي بيتونية لمسار الخط وخشبية للمحطة، ويوضح الجدول التالي (3) خواص هذه العوارض.

الجدول (3) الأبعاد الهندسية للعوارض.

نوع العارضة	الطول <i>cm</i>	العرض العلوي <i>cm</i>	العرض السفلي <i>cm</i>	سماكة العارضة تحت القضيب <i>cm</i>	وسطي المساحة المحملة <i>cm²</i>
خشبية	260	25	25	15	1660
بيتونية	240	19.6	28	19	1550

وهكذا يمكننا حساب الضغوط على سطح أساس الخط بعد تحديد قيمة معامل الخط الموافق للتربة والتباعد. وفيما يلي جدولاً بقيم معامل الخط تبعاً لنوع العارضة والتباعد بين محاور العوارض لأنواع مختلفة من التربة.

وعلى اعتبار أن المواصفات الخاصة بالخط تعتمد على تباعد بين محاور العوارض قدره 60 *cm*، سوف نقوم بحساباتنا التالية على اعتماد قيم معامل الخط الموافقة لهذا التباعد. ولحساب الضغوط على سطح أساس الخط لابد من تحديد القيمة الدنيا لسماكة طبقة البلاست، الشكل (3) والتي تؤمن الانضغاط التام لسطح طبقة الأساس وتعطى بالعلاقة التالية:

$$h_{\min} = \frac{a-b}{2 \operatorname{tg} \theta} \quad (6)$$

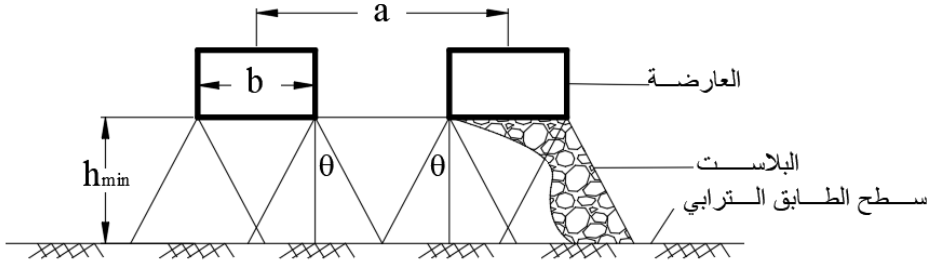
حيث:

a: التباعد بين محاور العوارض.

b: عرض العارضة.

θ زاوية توزع الضغط ضمن طبقة البلاست. وبالتالي وعلى اعتبار بلاست ذو زاوية توزع ضغط 40 درجة فإن الارتفاع الأدنى لطبقة البلاست $h_{\min} = 19 \text{ cm}$ من أجل العوارض البيتونية و $h_m = 21 \text{ cm}$ من أجل العوارض الخشبية.

سوف نستخدم قيمة لارتفاع البلاست 30 cm في الحسابات التالية لقيم الضغوط من أجل أنواع طبقة أساس الخيط.



الشكل (3) السماكة الدنيا لطبقة البلاست.

3-6 حساب قدرة التحمل للتربة:

نحسب قدرة التحمل للتربة وفقا لمعادلة مايرهوف [10] التالية:

$$q_{ult} = c.N_c + q.N_q + 0.5 \times \gamma . B . N_\gamma \quad (7)$$

حيث:

N_c, N_q, N_γ عوامل تعتمد على زاوية الاحتكاك الداخلي.

حساب قيمة الضغط على سطح التربة اعتمادا على خط توزيع الحمولة ضمن طبقة الحصويات (البلاست وما تحت البلاست).

$$\sigma_z = \frac{P}{(B+Z).(L+Z)} \quad (8)$$

حيث:

P : الحمولة الديناميكية تحت العجلة الواحدة (kg).

B : عرض العارضة (cm).

L : طول التحميل تحت القضيب الواحد (cm).

Z : عمق التحميل (cm).

من أجل العينة الأولى وفقا لما هو مبين في الجدول (3) ومن أجل العوارض البيتونية نجد أن الضغط المطبق أسفل العارضة هو:

$$\sigma_s = \frac{P}{B \times L} = \frac{14000}{28 \times 90} = 5.55 \text{ kg/cm}^2$$

بفرض زاوية انتشار الضغط ضمن الحصى هي 38 درجة نجد أن عرض التحميل هو:

$$\begin{aligned} B' &= B + 2h.tg\alpha \\ &= 28 + 50.tg38 = 106\text{cm} \end{aligned}$$

وبالتالي فإن الاجهاد الفعال على سطح التربة هو:

$$\sigma_0 = \frac{14000}{106 \times 100} = 1.32 \text{ kg/cm}^2$$

أما الاجهاد المسموح على سطح هذه الطبقة من معادلة مايرهوف:

$$\begin{aligned} \gamma &= 2 \text{ gr/cm}^3 \text{ باعتبار أن الوزن الحجمي للحصى هو:} \\ \text{وارتفاع الحصى } 50 \text{ cm فإن } q &= \gamma.h = 20 \times 0.5 = 10 \text{ kpa} \\ \text{أما العوامل الخاصة بالمعادلة والمرتبطة بزاوية الاحتكاك فهي:} \end{aligned}$$

$$N_c = 28, N_q = 16, N_\gamma = 17.5$$

وبالتالي فإن:

$$q_{ult} = 12 \times 28 + 10 \times 16 + 0.5 \times 27.4 \times 106 \times 17.5 = 750 \text{ kpa} = 7.5 \text{ kg/cm}^2$$

من أجل عامل أمان قدره 3 نجد:

$$q_{all} = \frac{q_{ult}}{3} = 2.5 > \sigma_0 = 1.32 \text{ kg/cm}^2$$

تقوية طبقة أساس الخط الحديدي في حالة الترب الضعيفة

وبالتالي فالحالة آمنة ولا تحتاج طبقة التربة للتقوية. وفي هذه الحالة يتم استخدام طبقة الجيوتكستائل فقط للفوائد الآتية الذكر أعلاه.

4-6 دراسة استبدال أعلى طبقة الأساس

من أجل العينة عند الموقع رقم 4 نجد أنه بعد تطبيق المعادلات السابقة فإن قدرة التحمل المسموحة تساوي $1\text{kg}/\text{cm}^2$ وبالتالي نجد أن سماكة الطبقة المستبدلة هي 25 cm تقريباً ونوع التربة المقترحة للاستبدال هي تربة رملية حصوية (A-I-b) درجة رصها لا تقل عن 95% وزاوية احتكاكها لا تقل عن 35 ونسبة المواد الناعمة لا تزيد عن 15%. إذا قمنا بتغيير سماكة الطبقة المستبدلة نلاحظ انخفاضاً في قيم الضغوط التي يتعرض لها سطح الطبقة الأصلية. كما أنه وفي حال تم وضع طبقة الجيوتكستائل فإنه من المفضل وضعها بين الطبقة المستبدلة وتربة الأساس. يلاحظ أن زاوية انتشار الضغط تزداد بقيمة تتراوح بين (5-8 درجات) مما يؤدي إلى زيادة في عرض الانتشار للضغوط بنسبة (15-25%). وهذا ينعكس على تقليل سماكة الطبقة المستبدلة بنسبة 20% تقريباً، الجدول (4).

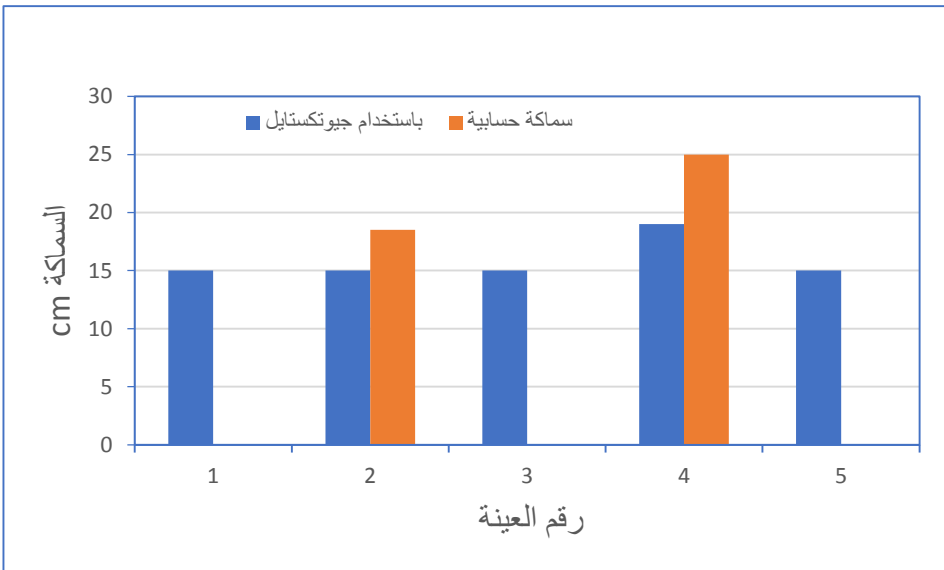
الجدول (4) يبين قيم السماكات المستبدلة وقيم الضغوط الموافقة.

العينة	1	2	3	4	5
قدرة التحمل المسموح kg/cm^2	1.34	1.12	1.89	1.00	1.69
سماكة الاستبدال الحسابية، cm	0	18.5	0	20	0
السماكة الدنيا، cm	20	20	20	25	20
السماكة بعد إضافة الجيوتكستائل، cm	15	15	15	19	15

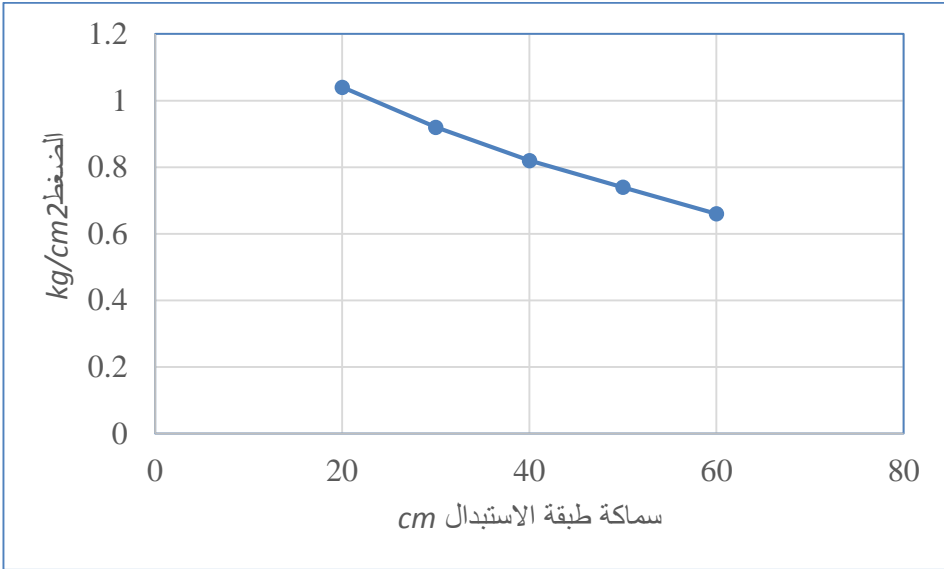
ويظهر المخطط الشريطي التالي مقارنة بين سماكات الاستبدال الدنيا في حالتي استخدام طبقة الجيوتكستائل وعدمها. نلاحظ أن العينات 1 و3 و5 لا يوجد فيها تغير لأن التربة جيدة جداً إلى

متوسطة وبالتالي فإن سماكة الاستبدال الأصلية معدومة حسابيا وقد يوصى باستخدام طبقة بسماك 20 cm وهذه السماكة تنخفض إلى 15 cm عند استخدام طبقة الجيوتكستائل، الشكل (4).

وإذا ما تم تغيير سماكات الاستبدال من أجل العينة رقم 4 ابتداء من 20 cm ثم 30 فـ 40 و 50 وأخيرا 60 cm. فمن الملاحظ انخفاض في قيم الضغوط على سطح طبقة الأساس كما يبين الشكل (5). حيث انخفضت قيمة الضغط بنسبة 33% نتيجة زيادة طبقة الاستبدال من 20 إلى 60 cm.



الشكل (4) سماكات الطبقة المستبدلة بدون ومع استخدام الجيوتكستائل.



الشكل (5) العلاقة بين قيم سماكة طبقة الاستبدال والضغط.

5-6 التثبيت الكيميائي بالإسمنت:

إن خلط التربة الضعيفة بالإسمنت سوف ينعكس ايجاباً على زيادة التماسك وزاوية الاحتكاك وبالتالي تحسن قدرة التحمل للتربة. إن نسب الاسمنت المناسبة للخلط تتراوح بين 3 و 10% من وزن التربة الجافة. سوف تتم عملية الحساب من أجل العينة رقم 4. إن المعادلة التي تحسب قيم التماسك الموافقة لنسب خلط مختلفة للإسمنت [11] هي التالية:

$$c_{im} = C_{or} (1 + k. \text{ cement content}) \quad (9)$$

حيث:

C_{im} : التماسك المحسن.

C_{or} : التماسك الأولي.

K: معامل يعتمد على نوع التربة تتراوح قيمته بين (3-5). من أجل التربة الطينية

يساوي 4 وهو يوافق حالتنا.

أما بالنسبة لتحسن زاوية الاحتكاك فيمكن حساب قيمها الموافقة لنسب خلط اسمنت مختلفة بالمعادلة التجريبية [12] التالية:

$$\Phi_{im} = \Phi_{or} + (\alpha \cdot \text{cement content}) \quad (10)$$

حيث: Φ_{im} : زاوية الاحتكاك المحسنة.

Φ_{or} : زاوية الاحتكاك الأولية.

α : معامل يعتمد على التدرج الحبي وقيمته بين (10-20)، من أجل الترب

الناعمة كحالتنا يعتبر 15.

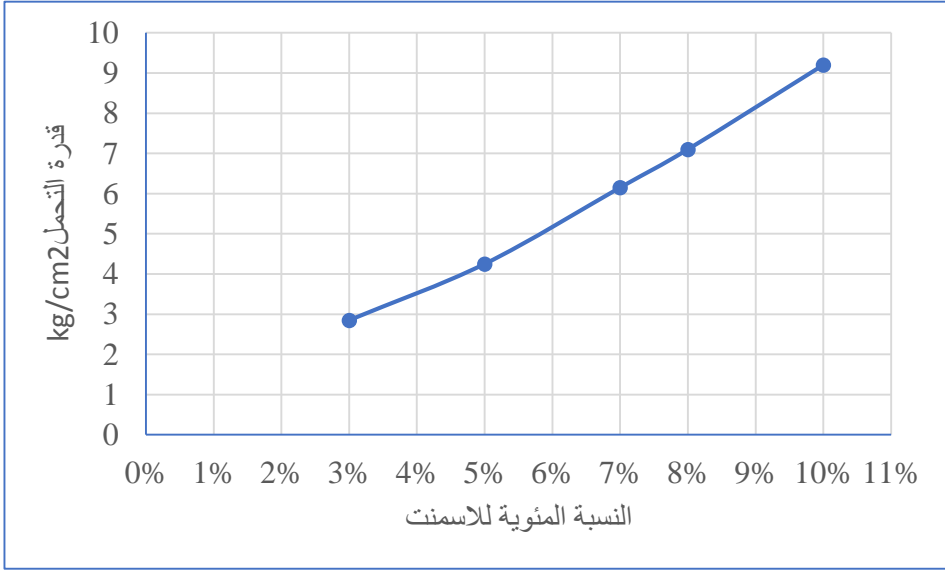
من أجل قيم متزايدة لعيارات الاسمنت تلاحظ تزايد في قدرة تحمل التربة قد تصل إلى أكثر من 600% عند نسبة اسمنت مختارة هي 7% من وزن التربة الجافة. ويبين الجدول (5) التماسك وزوايا الاحتكاك المحسنة وقيم قدرة التحمل الموافقة.

الجدول (5) نسب خلط الاسمنت الخلط وقدرة التحمل الموافقة.

نسبة الخلط بالإسمنت	التماسك المحسن kg/cm^2	زاوية الاحتكاك المحسنة بالدرجات	قدرة التحمل kg/cm^2
0 (بدون خلط)	0.2	17	1.00
3%	0.44	21.5	2.85
5%	0.60	24.5	4.25
7%	0.76	27.5	6.15
8%	0.84	29	7.1
10%	1.00	32.0	9.20

تقوية طبقة أساس الخيط الحديدي في حالة الترب الضعيفة

إن سماكة التربة المثبتة هي 20cm تقريباً، كما أن نسبة ماء الخلط (نسبة الماء إلى الاسمنت) هي بحدود $w/c = 0.9 - 1.1$. إن استخدام الجيوتكستايل تحت الطبقة المثبتة يقلل من تشققات الانكماش بنسبة 40 إلى 60% . كما أنه يحسن من توزيع الأحمال على تربة الأساس حيث يزيد من زاوية انتشار الحمولة بمقدار يتراوح بين $5-10$ درجات الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض الضغوط بمقدار يتراوح بين 15 إلى 30% . وإذا ما تم تمثيل العلاقة بين نسبة الخلط بالإسمنت وقدرة التحمل بيانياً نلاحظ أن هذه العلاقة شبه خطية، كما يبين الشكل (6). أضف إلى ذلك أن الجيوتكستايل يمنع اختراق المياه إلى الطبقة المثبتة ويقلل من تأثير الصقيع عليها.



الشكل (6) العلاقة بين نسبة الخلط بالإسمنت وقدرة التحمل.

7- النتائج:

من خلال ما تقدم يمكن أن نورد النتائج التالية:

- 1- إن السماكة التصميمية لطبقتي البلاست وما تحت البلاست (50 cm) كافية لتحمل طبقة الأساس الضغوط التي تتعرض لها في بعض المواقع، مواقع العينات (5-3-1).
- 2- المواقع التي توافق العينات (4-2) ذات تربة ضعيفة وبالتالي تحتاج إلى معالجة إما باستبدال بتربة ذات مواصفات أفضل لسماكة معينة أو التثبيت بالإسمنت.
- 3- إن سماكة الاستبدال أو سماكة الطبقة المثبتة بالخلط تنخفض بحدود 5 cm في حال استخدمنا فاصل من الجيوتكستايل لما لها من أثر على زيادة المساحة المعرضة للضغط أعلى سطح أساس الخط.
- 4- إن النسب المثلى للخلط بالإسمنت للمواقع الضعيفة الأنسب هي بحدود 5-7 % . أضف إلى ذلك أن التحسن سيكون للتماسك وزاوية الاحتكاك وبالتالي قدرة التحمل لتربة الأساس.
- 5- توضع طبقة الجيوتكستايل بين التربة المستبدلة و سطح الأساس أو بين الطبقة المثبتة و سطح الأساس حيث يعمل كعازل ومقوي للطبقة السفلى.
- 6- إن طرق المعالجة الآتفة الذكر تساعد في ضمان سلامة الخط على المدى الطويل وبالتالي تقليل تكاليف الصيانة.

7- المراجع:

- 1- AREMA. Manual for Railway Engineering, Maryland USA: American Railway Engineering and Maintenance, 2024.
- 2- Sariosseiri, F. & Muhunthan, B. Mechanical behavior of Cement-Stabilized Soils, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 135(6), 2009.
- 3- Slig, E.T., & Walters, J. M. Track Geotechnology and Substructure Management. London: Taylor & Francics, 1994.
- 4- Federal Highway Administration, Soils stabilization and Modification, Washington, DC: U.S. Department of transportation, 2019.
- 5- Koerner, R. M., Designing with Geosynthetics (6 thed.), Geotextiles, in Separation and Stabilization. Xlibris corporation, 2012.
- 6- Transportation Research Board. Geosynthetic design and Construction Guidelines. Washington, DC: National Academic press, 2018.

-
- 7- الدراسة الأولية والتنفيذية لمشروع تفريجة الخط الحديدي كفر حلب – المنطقة الجمركية، المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية، 2004
- 8- Uzarski, D., Introduction to Railroad Track Structure Design Urbana, IL: Railroad Engineering Program, University of Illinois at Urbana- Champaign, 2003.
- 9- Dr. Bernhard Lichtberger., Track Compendium, Hamporg, Germany, Euralpress, 2005.
- 10- Li, D. & Seleg, E. T., Bearing Capacity for Railway Track Foundation using Modified Meyer Approach, Transportation Geotechnics, 2021.
- 11- TRB, Cement Stabilization of Soils: State-of-the-Art Report TRB Circular E-C168, 2012.
- 12- Sariosseiri, F., & Muhunthan, B. (2009). Mechanical Behavior of Cement-Stabilized Soils, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 135(6)

Railway Track Subgrade in Weak Soil Conditions Reinforcement

Dr. Mohammad AL-shlash

Abstract:

Railway transportation is considered a fundamental pillar for economic and social development due to its efficiency and high capacity. However, the presence of weak soils along the track of new railway lines requires treatment, as it negatively affects the bearing capacity of the track foundation and causes significant settlement under the dynamic loads of train axles.

To address the resulting problems, soil replacement has been implemented as a solution. This involves removing soils with poor specifications and replacing them with soils of better quality and adequate bearing capacity. Another solution is chemical stabilization (using cement) by mixing the existing soil with a specific percentage of cement, leading to a noticeable improvement in its mechanical properties (cohesion, angle of internal friction) and a significant increase in bearing capacity.

Geotextile is also used; it acts as a separating layer that prevents material mixing and helps distribute loads over a larger area, which positively reduces the stress levels on the track foundation.

This research studied two cases: replacing the top foundation layer or stabilizing it using cement, in the presence of geotextile, on soil samples from a railway line and in accordance with the technical specifications of the railway line under study.

Keywords: Reinforcement the Railway Track Subgrade, Stabilization of the Subgrade Layer, Geotextile.

دارسة تأثير أعداد نقاط الضبط وأنماط توزيعها في دقة المسح التصويري باستخدام الطائرات المسيّرة

د. وسيم موسى *

د. عمر الخليل **

رغد علي ***

ملخص

مع التطور المتسارع في تقنيات الاستشعار عن بُعد، أصبحت الطائرات المسيّرة (الدرونات) أداة فعالة ومتعددة الاستخدامات في جمع البيانات المكانية، خاصة في مجال المسح التصويري. ومن بين أبرز المنتجات الناتجة عن معالجة صور الدرونات، تُعدّ الصور المصححة عمودياً (Orthophotos) والنماذج ثلاثية الأبعاد (D Models3) للمشهد من أهميتها. وتكتسب صور الأورثوفوتو أهمية خاصة لدى المختصين في علم المساحة، لكونها تمثل خرائط صورية خالية من التشوهات الهندسية والبصرية التي قد تنتج عن ميل محور التصوير أو تأثير تضاريس الأرض، مما يجعلها صالحة للاستخدام كخرائط طبوغرافية دقيقة.

تتأثر دقة هذه المنتجات بعدة عوامل، ويُعدّ عدد وتوزيع نقاط الضبط الأرضية (Ground Control Points - GCPs) أحد العوامل الجوهرية التي تؤثر على جودة نتائج التثليث الجوي (Aerial Triangulation) وصور الأورثوفوتو. في هذا البحث، تم دراسة تأثير هذا العامل من خلال إعداد ستة سيناريوهات مختلفة من حيث عدد وتوزيع نقاط الضبط الأرضية. كما تم توظيف نقاط اختبار مستقلة (Check Points) للتحقق من دقة ناتج التثليث الجوي والأورثوفوتو في كل سيناريو.

وقد أظهرت نتائج الدراسة فعالية منهجية Structure from Motion (SfM) المعتمدة في برامج المسح التصويري القائمة على صور الدرونات، كما تم إبراز التكامل التقني بين هذه البرامج ونظم المعلومات الجغرافية (GIS). وتبيّن أن السيناريو الذي يجمع بين توزيع مركزي وطرفي لنقاط الضبط الأرضية هو الأكثر كفاءة، حيث حقق أفضل دقة كلية في التثليث الجوي بلغت 4.4 سم، في حين وصلت الدقة الأفقية لصورة الأورثوفوتو الناتجة عن هذا السيناريو إلى 2.6 سم.

الكلمات المفتاحية: الدرونات، اقتطاع البنية من الحركة، نقاط الضبط الأرضي، التثليث الجوي، الأورثوفوتو.

* أستاذ مساعد. قسم الهندسة الطبوغرافية. كلية الهندسة المدنية. جامعة حمص. سورية.

** أستاذ. قسم الهندسة الطبوغرافية. كلية الهندسة المدنية. جامعة اللاذقية. سورية.

*** طالبة دراسات عليا (ماجستير). قسم الهندسة الطبوغرافية. كلية الهندسة المدنية. جامعة حمص. سورية.

Studying the effect of ground control points numbers and distribution patterns on the accuracy of photogrammetry surveying using Drones

Dr.Wasswm Mossa*

Dr.Omar Alkhalil**

Raghad Ali***

ABSTRACT

With the rapid advancement of remote sensing technologies, unmanned aerial vehicles (UAVs or drones) have become highly effective and versatile tools for spatial data acquisition, particularly in the field of photogrammetry. Among the most significant products derived from drone imagery are orthophotos and 3D models of captured scenes. Orthophotos, in particular, hold great value for surveying professionals, as they represent geometrically corrected images free from distortions caused by camera tilt or terrain variations, thus making them suitable for use as accurate topographic maps. The accuracy of such drone-derived products is influenced by several factors, among which the number and spatial distribution of Ground Control Points (GCPs) play a critical role in determining the quality of aerial triangulation and orthophoto outputs. This study investigates the impact of this factor through six different scenarios varying in the number and distribution of GCPs. Independent Check Points were employed to evaluate the accuracy of both aerial triangulation and the resulting orthophotos in each scenario. The findings demonstrated the effectiveness of the Structure from Motion (SfM) methodology implemented in photogrammetric software that utilizes drone imagery. The study also highlighted the technical integration between photogrammetry and Geographic Information Systems (GIS). Results showed that the

scenario combining central and peripheral distribution of GCPs yielded the highest overall accuracy, achieving a total aerial triangulation accuracy of 4.4 cm and a horizontal orthophoto accuracy of 2.6 cm.

Key words: Drones, Structure from Motion (SfM), Ground Control Points (GCPs), Aerial Triangulation, Orthophoto.

*** Associate Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Homs University, Syria.**

**** Professor, Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Lattakia University, Syria.**

***** Postgraduate Student (Master), Department of Topography, Faculty of Civil Engineering, Homs University, Syria**

1- مقدمة

ءءء ءروراء فف الورء الءاضر مصءراً قفماً للبفاناء المءلءة برسء الءرائط والنمءءة ءلائفة الأبعاء ءفء ءءءر بءائل منءفضة ءءلءة عن الطائراء المأهولة، ءفء ءءل ءروراء على البفاناء باسءءءام آلات صوءفر رقمفة وبمعالءة صور هءه الطائراء نءل على عءة منءءاء مثل النموءء الرقمي للارءءاء (DEM) Digital Elevation Model، النموءء الرقمي للسطء (DSM) Digital Surface Model، النماءء ءلائفة الأبعاء، وما إلى ءلك [1].

ءءمل المزافا المهمة لءقنفة ءروراء مقارنة بالطرائق ءلقفءفة انءفاء ءءلءة، ورسم الءرائط بشكل أسرع، والمراقبة الآمنة للمناطق الءطرة ءفء بفءءر الوصول إليها، والاسءءابة السرفعة فف ءالاء الطوارئ. وفف الآونة الأءفرة كان هناك انءءار لءرساءء ءءءق من صءه المسء القاءم

على تقنية الدرونات وتقييم دقته، ولا بد من مناقشة العوامل الرئيسية التي تؤثر في دقة منتجات هذه التقنية [2].

تتأثر الدقة النهائية للمسح باستخدام الدرونات بالعديد من المتغيرات المتنوعة بما في ذلك تخطيط الرحلة وجودة آلة التصوير وخوارزميات وإستراتيجية الإرجاع الجغرافي Georeferencing. والجدير بالذكر بأن المعالجة اللاحقة لصور الدرونات تتم باستخدام تقنية اقتطاع البنية من الحركة Structure from Motion (SfM)، والتي تمت أتمتها بدرجة عالية باستثناء بعض المهام مثل اختيار مستوى المعالجة المناسب ووضع علامات على نقاط الضبط Control points المستخدمة [3].

ومن العوامل الأساسية التي تعتمد عليها الدقة نذكر دقة المستشعر وارتفاع الطيران والتداخلات الطولية والعرضية للصور وعدد نقاط الضبط الأرضية Ground Control Points (GCPs) وتوزعها ودقتها إضافة إلى أن برامج المعالجة تلعب دوراً رئيسياً، فخطه الطيران الجيدة واستخدام برنامج المعالجة المناسب يؤمنان دقة أفقية وشفافية أعلى [2].

في العام 2014، نشرت الجمعية الأمريكية للمساحة التصويرية والاستشعار عن بعد (ASPRS, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) أول معايير الدقة لرسم خرائط على الإطلاق المصممة حصرياً للبيانات الجغرافية المكانية الرقمية [3].

عند استخدام معايير الدقة الموضوعية الجديدة ASPRS للبيانات الجغرافية المكانية الرقمية في مشروع ما، يحتاج المستخدم فقط إلى تحديد دقة المنتج النهائي الذي يجب تسليمه وستحدد المعايير الجديدة جميع مواصفات دقة العمليات الوسيطة، مثل المسح الأرضي، والتلثيث الجوي، الخ، والتي تشارك في الحصول على المنتج النهائي [3]. وتجدر الإشارة إلى أنه يجب أن تكون نقاط الاختبار موزعة بشكل جيد حول منطقة المشروع، وتشكيل عينة إحصائية تتكون من 20 نقطة اختبار كحد أدنى للأورثوفوتو و25 نقطة اختبار للبيانات الارتقاعية [4].

تتاولت العديد من الدراسات السابقة طرائق تقييم الدقة المكانية للخرائط الناتجة عن معالجة الصور الملتقطة بواسطة الدرونات ومناقشة مزايا وعيوب كل طريقة [2]، [5]، [6]. سلّطت إحدى الدراسات [7] الضوء على التطبيقات الجديدة الناتجة من تطبيق هكذا تقنية تحت ظروف عمل متنوعة ومختلفة ومن توافر بيانات ذات دقة مكانية فائقة بتكلفة منخفضة مقارنة بتقنيات المسح التقليدية

وهذا يفسر بوضوح سبب تنامي استخدام هذه التقنية في وضع وتحديث المخططات والخرائط الطبوغرافية. وبينت الحالة الدراسية المطبقة في البحث [8] لياقة التقنية ومرونة قدرتها على تلبية متطلبات الدقة المكانية وإن تنوع المخرجات وأنية استخلاصها بما يلبي مختلف متطلبات الدراسة والبحث والتحليل فضلاً عن غزارة وانسيابية التفاصيل ومحاكاتها التشكيل الهندسي لمعالم المكان أكد تميز التقنية بتفوقها على قريناتها من أساليب المسح التقليدية. وبالتالي أكدت هذه الدراسات على ميزات هذه الطائرات من حيث حركتها المرنة والنقاطها لصور ذات دقة تمييز هندسية عالية إضافة إلى سهولة إقلاعها وهبوطها، كما أوضحت ضرورة وجود بيانات مرجعية ذات دقة عالية لتقييم دقة الخرائط الناتجة وذلك عبر عملية مقارنة.

2- أهمية البحث

تتركز أهمية هذا البحث في أنه يسعى إلى تحديد تأثير بيانات الضبط، من ناحية العدد والتوزيع، وإمكانيات برنامج المعالجة المستخدم على نوعية منتجات المسح التصويري بالدرونات.

3- أهداف البحث

- 1- تحديد العدد ونمط التوزيع الأفضل لنقاط الضبط بحيث نحصل على الأورثوفوتو الأدق من معالجة الصور الملتقطة باستخدام الدرونات.
- 2- اقتراح معايير لتقييم فعالية برامج المسح التصويري التي تتيح معالجة صور الدرونات مما يساعد المستخدم في اختيار أحد هذه البرامج. في الواقع، تقوم كل الخوارزميات المتوافرة في برامج المسح التصويري باستخدام صور الدرونات باقتطاع النقاط المتوافقة في الصور المتداخلة ومن ثم حساب الموقع ثلاثي الأبعاد لكل منها والحصول على معطيات مكانية مختلفة، ويسبب كثرة هذا النوع من البرامج يعتبر اختيار أحدها مشكلة حقيقية في مشاريع النمذجة ثلاثية الأبعاد وإنتاج الخرائط.

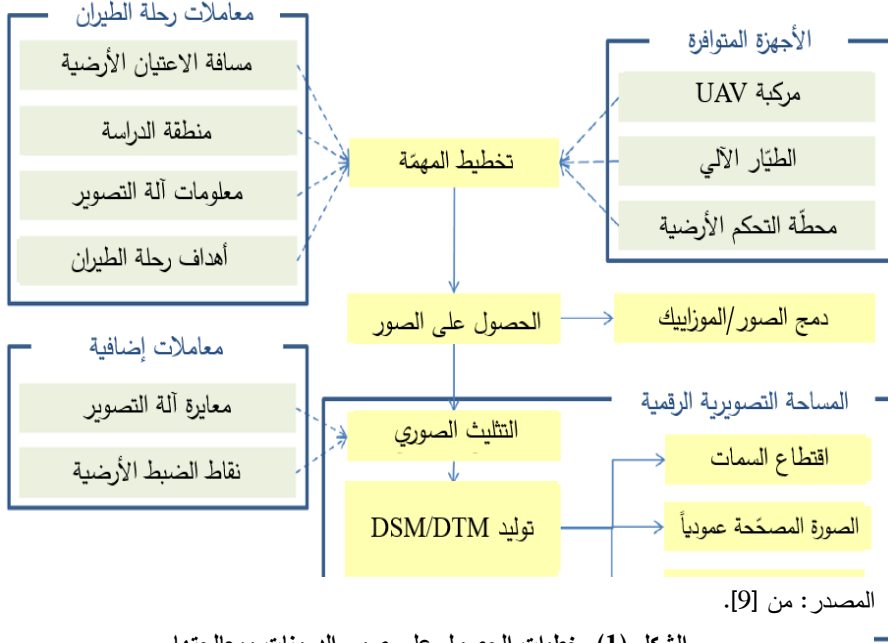
4- مواد وطرائق البحث

4-1- المساحة التصويرية

تتطلب المساحة التصويرية النموذجية القائمة على صور الدرونات تخطيط رحلة الطيران وقياس نقاط الضبط الأرضية (GCPS) بهدف الإرجاع الجغرافي. ويمكن استخدام الصور التي يتم الحصول عليها لأغراض الدمج Stitching وإنشاء الموزاييك Mosaicking، أو يمكن أن تكون هذه الصور مدخلات لعملية المسح التصويري. وبهذه الحالة الأخيرة، يجب معايرة آلة التصوير وإجراء التثليث الصوري من أجل توليد النموذج الرقمي للسطح (DSM) أو النموذج الرقمي للأرض (DTM). وفي النهاية يمكن استخدام هذه المنتجات الأخيرة لإنتاج الأورثوفوتو، وتطبيقات النمذجة ثلاثية الأبعاد، ولاستخراج معلومات مترية إضافية. يُظهر (الشكل 1)) سير العمل العام للحصول على صور الدرونات ومعالجتها: تمت الإشارة إلى المدخلات باللون الأزرق، بينما تمت الإشارة إلى خطوات سير العمل الفردية باللون الأصفر وسيتم مناقشتها بمزيد من التفصيل في الأقسام الآتية [9].

4-2- التثليث الجوي وطريقة تقييم دقته

يتطلب تحديد نقاط الضبط باستخدام التقنيات الجيوديزية والمساحية التقليدية (مثل بناء شبكات



الشكل (1). خطوات الحصول على صور الدرونات ومعالجتها.

التثليث، التقويم (التقاطع الخلفي)، التقاطع، ونظام الملاحة العالمي بالأقمار الصناعية (GNSS) وقتاً وكلفة. وللتغلب على هذه المشكلة، تم تطوير منهجية تهدف إلى تبسيط عملية توجيه الصور الجوية وحساب نقاط التحكم الأرضية بدقة. تسمى هذه المنهجية التثليث الجوي Aerial triangulation.

وقد تم تعريف التثليث الجوي على أنه العملية المستخدمة في:

- تحديد معاملات التوجيه الكاملة لكل صورة في المشروع، وهي إحداثيات مركز الإسقاط X_0, Y_0, Z_0 ، والدورانات ω, φ, k .
- تحديد الإحداثيات الأرضية (X, Y, Z) للنقاط المقاسة على الصور.

يعدّ التثليث التصويري خطوةً ضروريةً نحو إنتاج مختلف المنتجات التصويرية، مثل الرسومات الخطية، الأورثوفوتو، النماذج ثلاثية الأبعاد، إلخ. تعتمد جودة هذه المنتجات إلى حد كبير على نتائج التثليث. وعليه؛ يتمّ تحديد المعاملات المحددة لتنفيذه وفقاً لمواصفات المشروع [10]. لتقييم دقة التثليث الجوي المنجز نقوم بالحصول على إحداثيات نقاط الاختبار من الصور الناتجة من عملية التثليث الجوي ومن ثم يتم حساب الفروق بين هذه الإحداثيات والإحداثيات المرجعية لنقاط الاختبار، ثم نحسب من الفروق قيم الأخطاء المتوسطة التربيع على كل من الموقعين الأفقي والشاقولي لنقاط الاختبار وفق العلاقات التالية، وذلك بعد القيام بالتحليل الإحصائي لقيم الفروقات باستخدام البرنامج NCSS واستبعاد النقاط الشاذة واختبار تبعية هذه الفروقات للتوزيع الطبيعي [9].

$$RMSE_X = \sqrt{\frac{\sum (X_{referencei} - X_{checki})^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_Y = \sqrt{\frac{\sum (Y_{referencei} - Y_{checki})^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{\sum (Z_{referencei} - Z_{checki})^2}{n}} \quad (3)$$

حيث: n: هو عدد نقاط الاختبار.

$(X_{reference(i)}, Y_{reference(i)}, Z_{reference(i)})$ هي الإحداثيات المرجعية لنقطة الاختبار i على الصور الناتجة من التثليث الجوي.

$(X_{check(i)}, Y_{check(i)}, Z_{check(i)})$ هي الإحداثيات المقاسة لنقطة الاختبار i على الصور الناتجة من التثليث الجوي.

تقترح المعايير العالمية الخاصة بالبيانات المكانية، استخدام مفهوم GSD لتقييم الدقة المطلقة للتثليث الجوي حيث لنا توقع دقة أفقية تتراوح من $1 \times GSD$ إلى $2 \times GSD$ ودقة شاقولية

تتراوح من $1 \times \text{GSD}$ إلى $3 \times \text{GSD}$ من أجل منتجات المساحة التصويرية بأستخدام تقنية الطائرات دون طيار UAV-photogrammetry.

إضافة إلى ذلك يمكن حساب قيمة الخطأ المتوسط التربيع الكلي على نقاط الاختبار من خلال العلاقة:

$$RMSE_{XYZ} = \sqrt{RMSE_r^2 + RMSE_z^2} \quad (4)$$

حيث:

$$RMSE_r^2 = RMSE_x^2 + RMSE_y^2 \quad (5)$$

4-3- الصورة المصححة عمودياً (الأورثوفوتو) وطريقة تقييم دقته

الأورثوفوتو هو صورة تعرض السمات في مواقعها الطبوغرافية الصحيحة من خلال عملية تسمى التقويم التفاضلي Differential rectification أو التصحيح التفاضلي، حيث يتم تقويم كل عنصر تفاضلي من الصورة عند مقياس مشترك بدلاً من تقويم كامل الصورة عند مقياس متوسط (لأن التقويم عند مقياس متوسط لا يسمح بالتخلص من الإزاحات الناتجة عن الارتفاعات الأرضية) [11]، فالصور ذات الإسقاط المنظوري الملتقطة بوساطة الدرونات تحتوي على إزاحات Displacements في مواقع السمات مثل الإزاحة الناتجة عن التضاريس والإزاحة الناتجة عن ميل الصورة، وذلك بسبب عوامل عدة مثل حركات المستشعر.

لتقييم دقة الرفع الطبوغرافي بالاعتماد على منتجات الطائرات المسيرة (الأورثوفوتو الناتج)، يتم تحديد مجموعة من نقاط الاختبار على الأورثوفوتو والتي تقاس إحداثياتها الأفقية عليه ومن ثم يتم حساب الفروق بين هذه الإحداثيات المقاسة والإحداثيات المرجعية المأخوذة من مصدر مستقل ذي دقة أعلى ومن ثم تحليل الفروق إحصائياً وحساب الخطأ المتوسط التربيع على الموقع الأفقي لنقاط الاختبار.

وتحسب مركبتا الخطأ متوسط التربيع الأفقي من خلال العلاقتين الآتيتين:

$$RMSE_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{Ortho(i)} - X_{check(i)})^2}{n}} \quad (6)$$

$$RMSE_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{Ortho(i)} - Y_{check(i)})^2}{n}} \quad (7)$$

حيث: $(X_{Ortho(i)}, Y_{Ortho(i)})$ هي إحداثيات نقطة الاختبار مقاسة على الأورثوفوتو.
 $(X_{check(i)}, Y_{check(i)})$ هي إحداثيات نقطة الاختبار من المصدر المستقل ذي الدقة الأعلى.

4-4- أدوات البحث

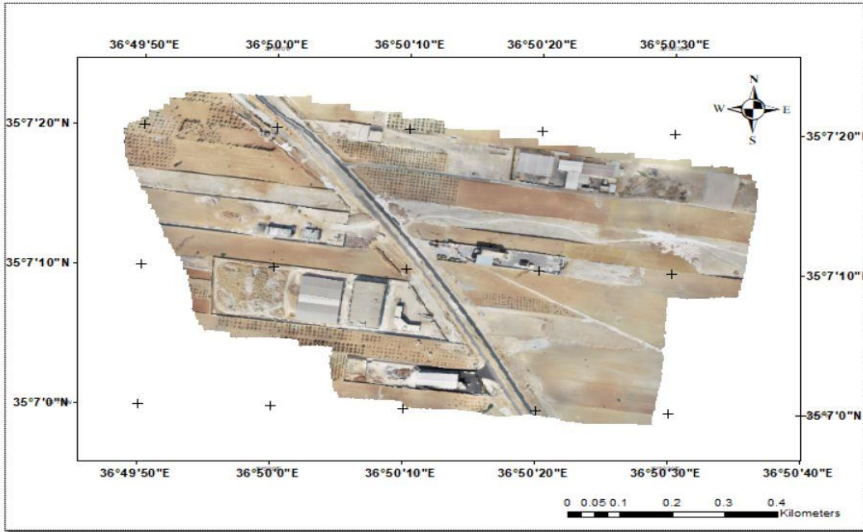
تم في هذا البحث استخدام الأدوات التالية:

1. البرنامج Agisoft Metashape: وهو برنامج روسي للنمجة ثلاثية الأبعاد يستخدم أحدث تقنيات البناء ثلاثي الأبعاد من الصور المتعددة Multi-view المطورة في مجال الرؤية بمعونة الحاسب. كما يمكن من توجيه الصور الملتقطة من أية مواقع مع مراعاة تحقيقها لشروط وقوع أية نقطة من نقاط العنصر على صورتين على الأقل [13].
2. البرنامج ArcGIS: نظام معلومات جغرافي (GIS) متكامل طورته شركة Esri، يقوم بدمج البيانات وربطها من خلال سياق الجغرافيا. فهو يوفر إمكانيات رائدة عالمياً لإنشاء جميع أنواع البيانات وإدارتها وتحليلها ورسم خرائطها ومشاركتها [14]، وسيتم استخدامه لاقتطاع الإحداثيات المستقرة لنقاط الاختبار.
3. البرنامج NCSS: وهو برنامج إحصائي يستخدم لتحليل البيانات وإنشاء الرسوم البيانية. ويتضمن العديد من الميزات والأدوات المتخصصة مثل التحليل الإحصائي الوصفي والاستنتاجي والتجريبي وتصميم الدراسات الإحصائية وتحليل الانحدار والعديد من التحليلات الأخرى. كما يدعم البرنامج العديد من التنسيقات المختلفة للبيانات والرسوم البيانية.

ويعمل على مختلف أنظمة التشغيل، ويستخدم على نطاق واسع في الأبحاث العلميّة والدراسات الإحصائية والتحليلات البيانية الأخرى [15].

4-5- منطقة الدراسة والبيانات المتوافرة

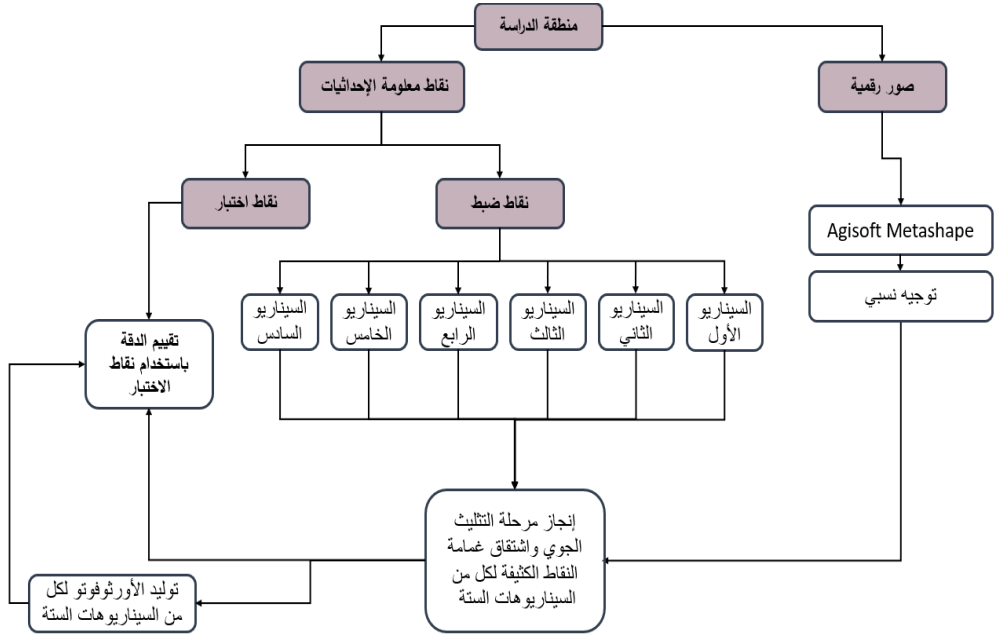
منطقة الدراسة هي المنطقة الصناعية (الجافية 3) على طريق حماه-سلمية (الذي يقسمها الى نصفين) وإلى الشرق من مجبل الزفت التابع لمديرية الخدمات الفنية وتتصف منطقة الدراسة بأرض مستوية خالية من الانحدارات. حيث تبلغ مساحتها 47 هكتاراً. أما بالنسبة للبيانات فهي نوعان نقاط الضبط والصور الرقمية، بالنسبة لنقاط الضبط المتوافرة فقد بلغ عددها 43 نقطة مقاسة ضمن نظام الإحداثيات WGS84/UTMZONE37N، أما بالنسبة للصور فقد تم تغطية المنطقة بواسطة 4020 صورة التقطت باستخدام درون ذات محركات دوارة ومزودة بآلة تصوير رقمية بعدها المحرقي يساوي 8.8mm وأبعاد بيكسل في الصورة مساوية ل (2.61 x 2.61 μm) وبلغت مسافة الاعتيان الأرضية 1.62cm/pixel (GSD) Ground Sample Distance .



الشكل (1). منطقة الدراسة.

4-6- منهجية البحث

اعتمدت الدراسة أسلوب العمل التالي ذكره، حيث تم جمع البيانات اللازمة للبحث ومن ثم مُعالجتها لنقوم بعدها بإجراء عملية تقييم للنتائج التي حصلنا عليها.
والمنهجية الشاملة لآلية العمل موضحة في (الشكل (2)):



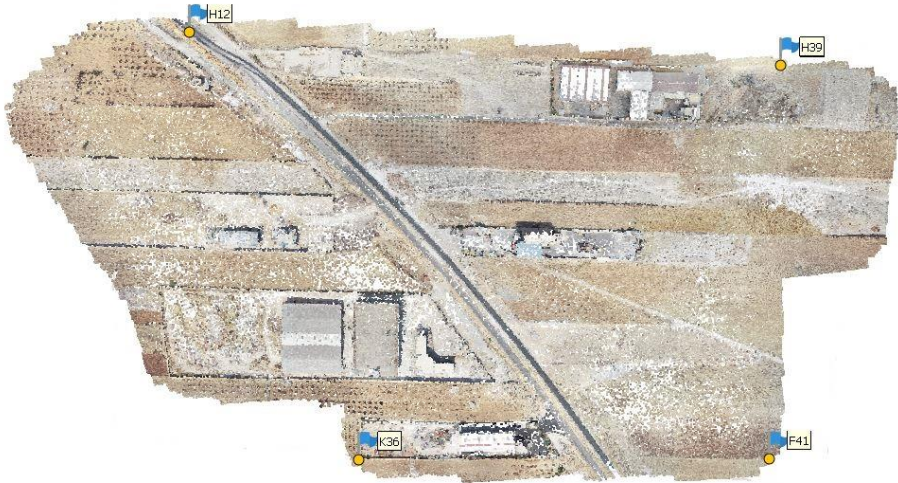
الشكل (2). المنهجية المستخدمة في البحث.

5- النتائج ومناقشتها

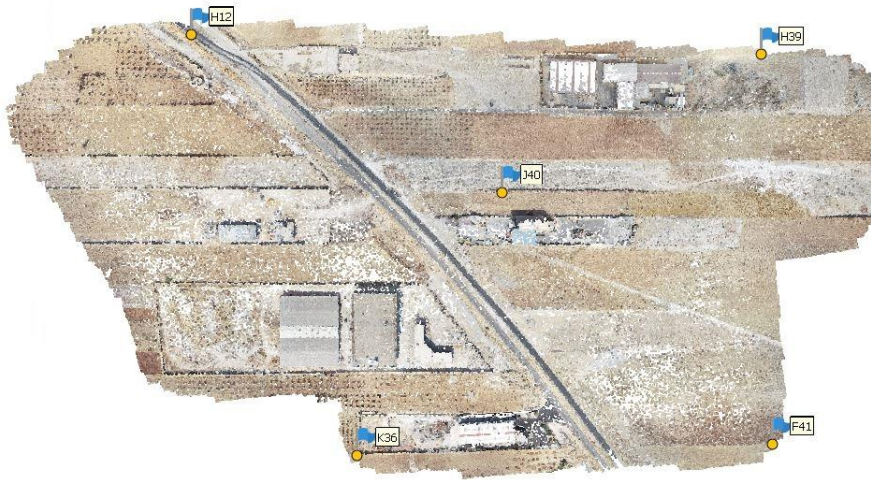
بعد عملية النقاط نقاط الضبط على الصور Dense point cloud (التوجيه المطلق) ومن ثم توليد غمامة النقاط الكثيفة والنموذج الرقمي للارتفاعات وأخيراً توليد الأورثوفوتو. ولتحديد العدد ونمط التوزيع الأفضل لنقاط الضبط تم اختبار ستة سيناريوهات كالتالي:

الجدول (1). السيناريوهات التي سيتم اختبارها في هذا البحث.

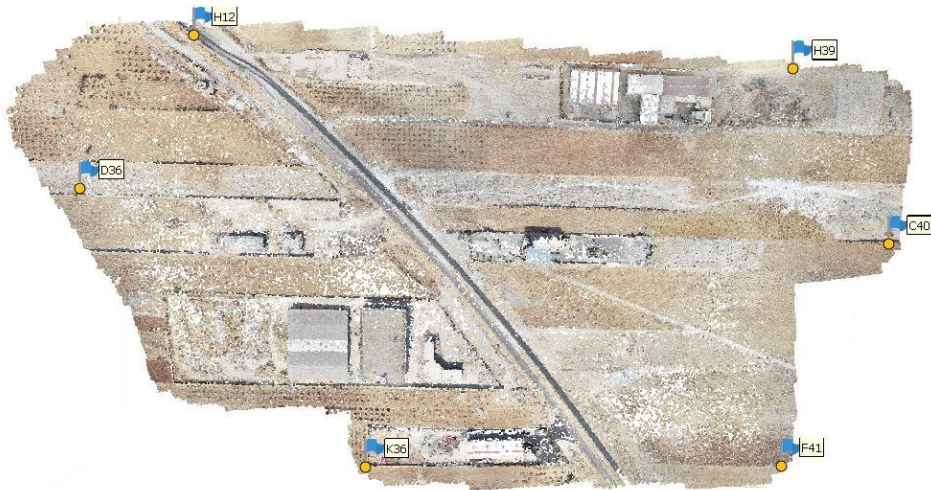
السيناريو الأول	السيناريو الثاني	السيناريو الثالث	السيناريو الرابع	السيناريو الخامس	السيناريو السادس	
عدد نقاط الضبط	4	5	6	7	8	9
عدد نقاط الاختبار	39	38	37	36	35	34
نمط التوزيع	طرفي	طرفي مع مركزي	طرفي	طرفي مع مركزي	طرفي	طرفي مع مركزي
اختبار التوزيع الطبيعي	محقق	محقق	محقق	محقق	محقق	محقق



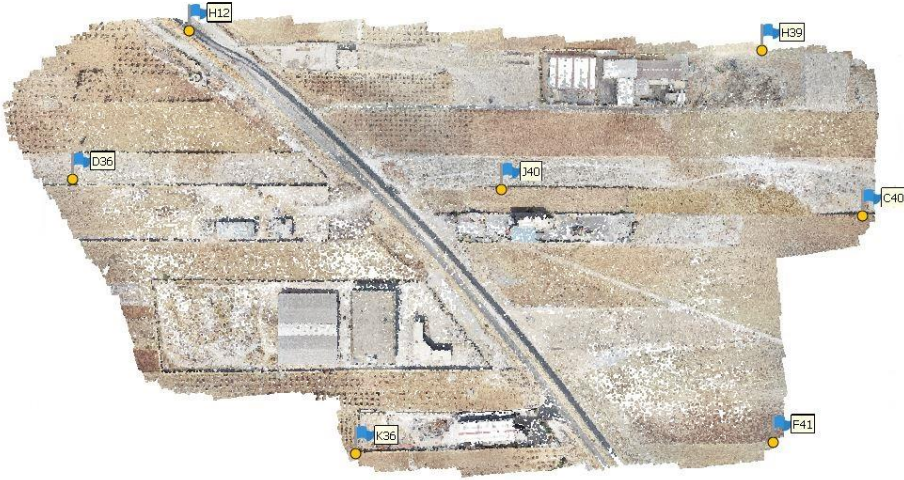
الشكل (3). السيناريو الأول لعدد وتوزيع نقاط الضبط المستخدمة لإنجاز عملية التثليث.



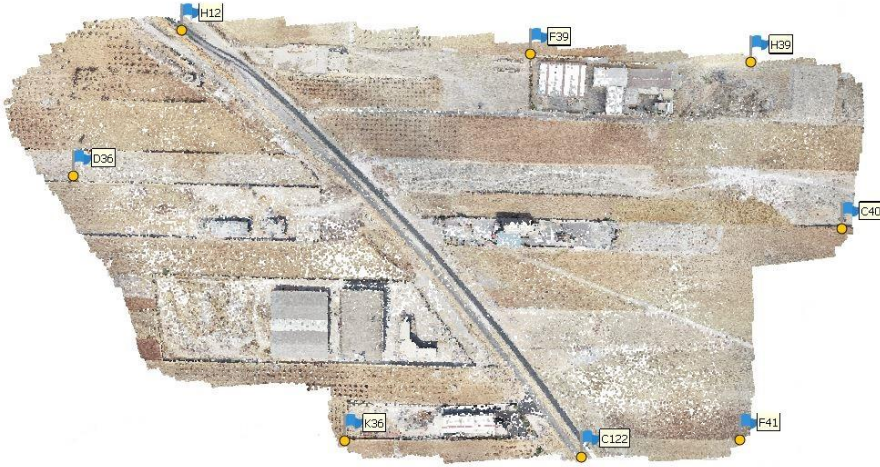
الشكل (5). السيناريو الثاني لعدد وتوزيع نقاط الضبط المستخدمة لإنجاز عملية التثليث.



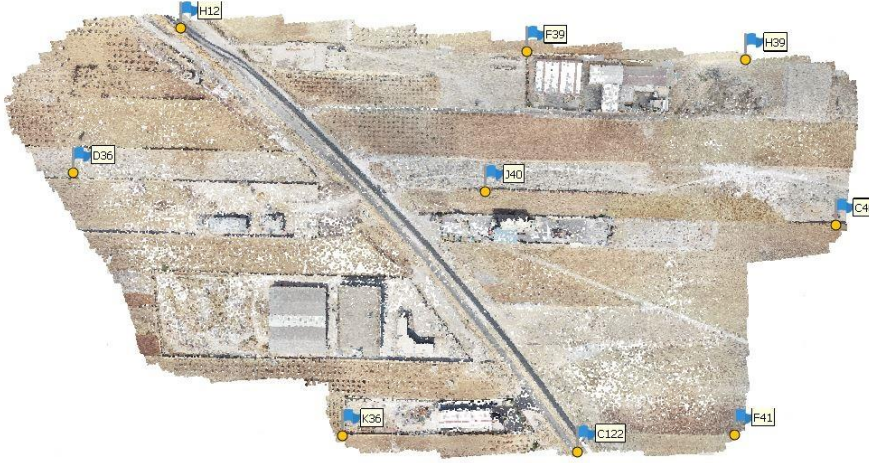
الشكل (6). السيناريو الثالث لعدد وتوزيع نقاط الضبط المستخدمة لإنجاز عملية التثليث.



الشكل (4). السيناريو الرابع لعدد وتوزيع نقاط الضبط المستخدمة لإنجاز عملية التثليث.



الشكل (8). السيناريو الخامس لعدد وتوزيع نقاط الضبط المستخدمة لإنجاز عملية التثليث.



الشكل (9). السيناريو السادس لعدد وتوزيع نقاط الضبط المستخدمة لإنجاز عملية التثبيت.
أما الخطوات التفصيلية لعملية المعالجة وتقييم نتائجها مبينة في الأقسام التالية.

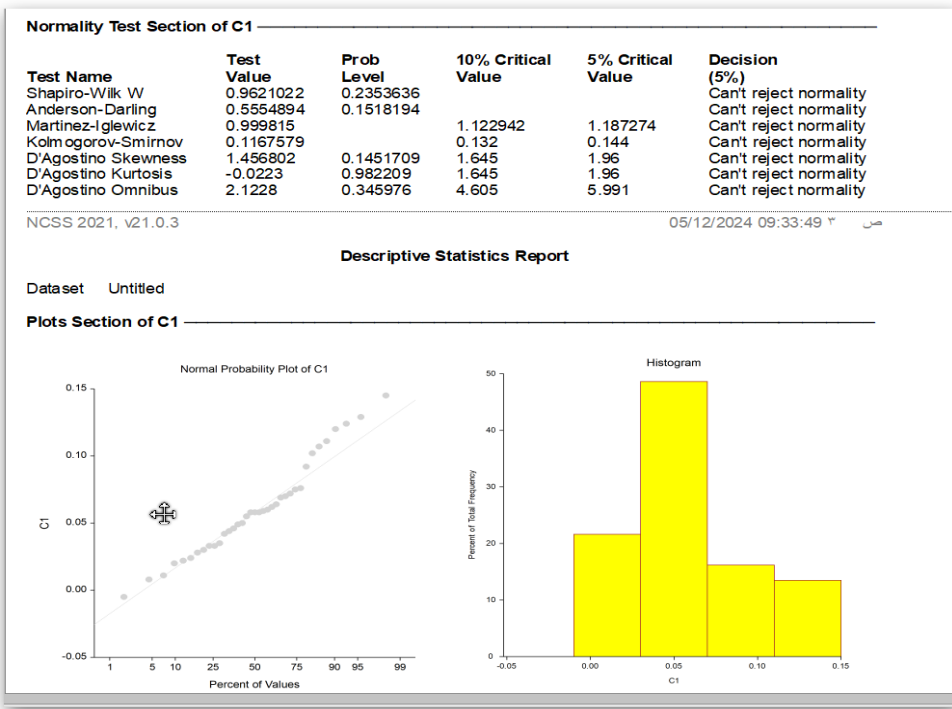
5-1- التثبيت الجوي وتقييم دقته

✓ في مرحلة التوجيه الأولي تم اشتقاق غمامة نقاط مبعثرة بلغ عدد نقاطها (582185) نقطة مع نجاح البرنامج في توجيه كل الصور. تمت إضافة نقاط الضبط ونقاط الاختبار وقياسها على كل الصور. في مرحلة التوجيه الأولي تم اشتقاق غمامة نقاط مبعثرة بلغ عدد نقاطها (582185) نقطة مع نجاح البرنامج في توجيه كل الصور. تمت إضافة نقاط الضبط ونقاط الاختبار وقياسها على كل الصور ومن ثم يتم حساب الفروق بين هذه الإحداثيات والإحداثيات المرجعية لنقاط الاختبار. يوضح الجدول (1) الإحداثيات ثلاثية الأبعاد المرجعية والمقاسة لعينة من نقاط الاختبار والفروق بينها.

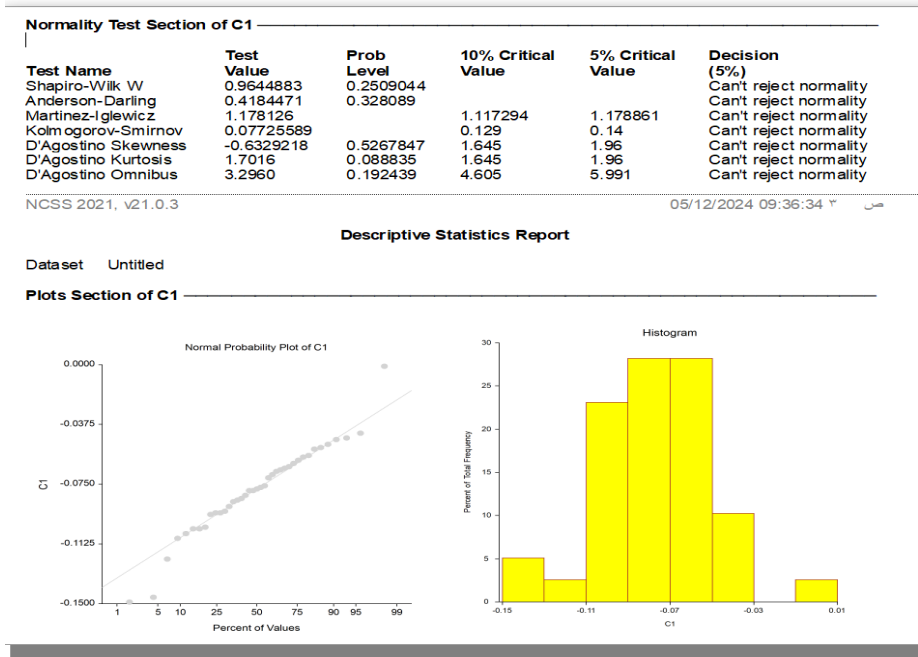
الجدول (1). الفروق بين الإحداثيات المرجعية والمقاسة لعيّنة من نقاط الاختبار

اسم النقطة	المرجعية			المقاسة			الفروق		
	x	y	z	x	y	z	dx	dy	dz
A36	-211231.819	104715.510	342.701	-211231.852	104715.556	342.346	0.033	-0.046	0.355
A37	-210930.239	104377.651	332.526	-210930.309	104377.694	331.009	0.070	-0.043	1.517
A38	-211146.167	104570.251	334.826	-211146.269	104570.336	333.807	0.102	-0.085	1.019
A39	-211047.941	104734.382	340.922	-211048.000	104734.439	340.071	0.059	-0.057	0.851
A41	-210808.749	104416.387	335.638	-210808.795	104416.473	333.971	0.046	-0.086	1.667
B36	-211396.927	104722.381	335.968	-211396.976	104722.503	336.912	0.049	-0.122	-0.944
B37	-211055.983	104451.388	330.703	-211056.090	104451.454	329.438	0.107	-0.066	1.265
B38	-211302.911	104597.996	332.700	-211303.040	104598.105	332.490	0.129	-0.109	0.210
B39	-211061.818	104653.490	338.220	-211061.893	104653.557	337.084	0.075	-0.067	1.136
B40	-210315.480	104479.080	341.444	-210315.538	104479.140	341.818	0.058	-0.060	-0.374
B41	-210715.682	104365.467	335.026	-210715.717	104365.546	333.593	0.035	-0.079	1.433
C36	-211408.652	104640.608	333.017	-211408.772	104640.754	333.596	0.120	-0.146	-0.579
C37	-211152.997	104451.237	331.587	-211153.121	104451.295	330.560	0.124	-0.058	1.027
C39	-210873.281	104707.392	347.798	-210873.336	104707.445	346.264	0.055	-0.053	1.534
C40	-210338.022	104396.886	339.454	-210338.114	104396.957	339.903	0.092	-0.071	-0.449
C41	-210583.490	104299.505	327.980	-210583.514	104299.574	327.400	0.024	-0.069	0.580
C122	-210741.861	104102.912	332.211	-210741.856	104102.959	331.703	-0.005	-0.047	0.508
D12	-210815.608	104274.257	330.883	-210815.650	104274.307	329.626	0.042	-0.050	1.257
D36	-211418.534	104602.295	331.043	-211418.679	104602.444	331.551	0.145	-0.149	-0.508
D37	-211303.216	104498.377	326.552	-211303.407	104498.480	326.277	0.191	-0.103	0.275
D39	-210888.869	104627.096	342.493	-210888.927	104627.173	340.825	0.058	-0.077	1.668
D40	-210436.358	104497.065	335.342	-210436.380	104497.130	335.039	0.022	-0.065	0.303
D41	-210477.099	104237.909	328.155	-210477.175	104238.002	328.364	0.076	-0.093	-0.209
E40	-210511.926	104393.192	335.433	-210511.970	104393.271	334.754	0.044	-0.079	0.679
E41	-210647.525	104225.136	322.961	-210647.533	104225.198	322.525	0.008	-0.062	0.436
E122	-210949.650	104438.035	333.794	-210949.719	104438.099	332.198	0.069	-0.064	1.596
F12	-210993.296	104538.222	336.313	-210993.368	104538.298	334.750	0.072	-0.076	1.563
F39	-210755.808	104691.723	346.760	-210755.858	104691.807	345.178	0.050	-0.084	1.582
F40	-210587.335	104471.858	335.824	-210587.365	104471.947	334.690	0.030	-0.089	1.134
G12	-211129.431	104669.606	332.165	-211129.491	104669.658	339.639	0.060	-0.052	-7.474
G36	-211336.259	104442.976	340.582	-211336.486	104443.068	325.059	0.227	-0.092	15.523
G39	-210587.844	104664.214	325.247	-210587.872	104664.307	343.931	0.028	-0.093	-18.684
G40	-210608.389	104582.899	345.046	-210608.422	104583.002	339.115	0.033	-0.103	5.931
G41	-210642.379	104117.521	340.397	-210642.390	104117.615	327.266	0.011	-0.094	13.131
H40	-210678.712	104483.775	337.906	-210678.776	104483.881	339.225	0.064	-0.106	-1.319
I39	-210451.798	104565.358	340.858	-210451.818	104565.436	335.300	0.020	-0.078	5.558
I40	-210777.290	104493.692	329.798	-210777.348	104493.794	337.763	0.058	-0.102	-7.965
J36	-211063.007	104282.957	335.665	-211063.118	104282.958	331.709	0.111	-0.001	3.956
J40	-210834.362	104504.982	339.551	-210834.424	104505.064	337.605	0.062	-0.082	1.946

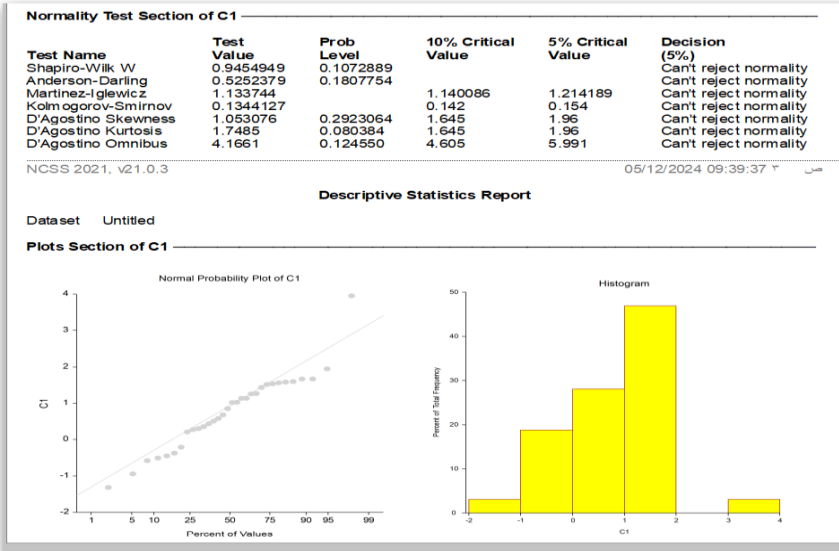
ومن ثم تم تكرار المنهجية السابقة وحساب الفروقات الخاصة بجميع السيناريوهات وبعد ذلك قمنا بالتحليل الإحصائي لقيم الفروقات لجميع السيناريوهات باستخدام البرنامج الإحصائي NCSS واستبعاد النقاط الشاذة واختبار تبعية هذه الفروقات للتوزيع الطبيعي ومن ثم حساب الأخطاء المتوسطة التربيع على هذه النقاط.



الشكل (10). نتائج اختبار تبعية فروقات الأحداثيات dx للتوزيع الطبيعي (بعد استبعاد النقاط الشاذة) في السيناريو الأول.



الشكل (11). نتائج اختبار تبعية فروقات الإحداثيات dy للتوزيع الطبيعي (بعد استبعاد النقاط الشاذة) في السيناريو الأول.



الشكل (12). نتائج اختبار تبعية فروقات الإحداثيات dz للتوزيع الطبيعي (بعد استبعاد النقاط الشاذة) في السيناريو الأول.

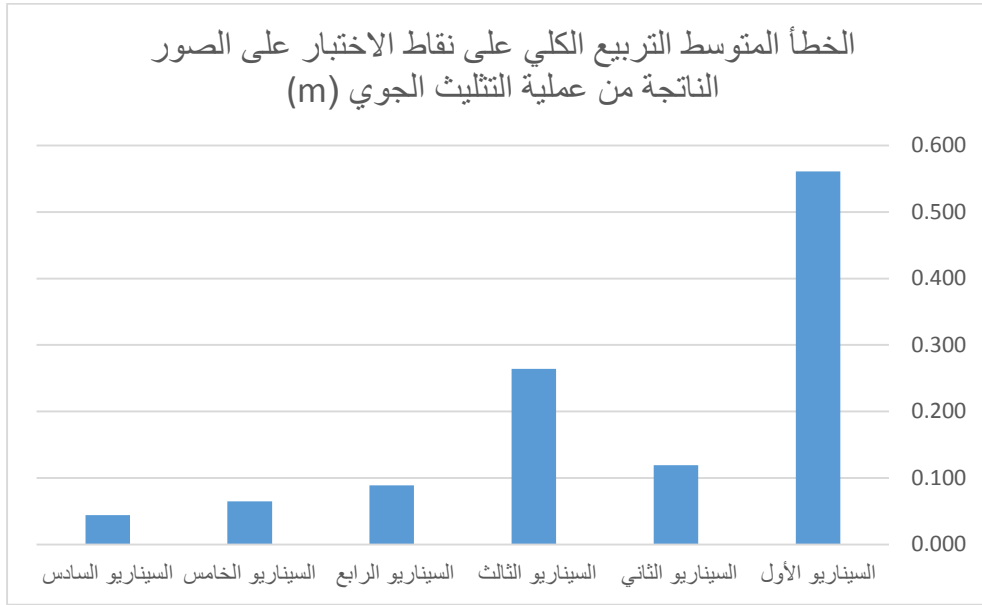
نقوم بتكرار التحليل السابق بالنسبة لجميع السيناريوهات والتحقق من تبعية جميع الأخطاء للتوزيع الطبيعي ثم نقوم بحساب الأخطاء المتوسطة التربيع الكلية على نقاط الاختبار حسب العلاقات (1) و (2) و (3) للسيناريوهات الستة بعد استبعاد النقاط الشاذة فكانت كما يلي:

الجدول (2). الأخطاء المتوسطة التربيع على نقاط الاختبار على الصور الناتجة من عملية التثليث الجوي.

	$RMS_x(m)$	$RMS_y(m)$	$RMS_z(m)$	$RMS_{xy}(m)$
السيناريو الأول	0.075	0.081	0.550	0.110
السيناريو الثاني	0.024	0.038	0.110	0.045
السيناريو الثالث	0.018	0.040	0.260	0.044
السيناريو الرابع	0.011	0.021	0.086	0.024

دراسة تأثير أعداد نقاط الضبط وأنماط توزيعها في دقة المسح التصويري باستخدام الطائرات المسيّرة

السيناريو الخامس	0.030	0.045	0.036	0.054
السيناريو السادس	0.010	0.016	0.040	0.018



الشكل (5). الخطأ المتوسط التربيع الكلي على نقاط الاختبار على الصور الناتجة من عملية التثليث الجوي.

✓ ونجد أنه بالنسبة للسيناريو السادس كانت:

- قيمة الخطأ المتوسط التربيع الكلي على الموقع الأفقي لنقاط الاختبار هو 1.8 cm وهي قيمة مقبولة طالما أن الدقة المتوقعة تتراوح بين 1*GSD إلى 2*GSD، أي من 1.6 cm إلى 3.2 cm.

- قيمة الخطأ المتوسط التربيع الكلي على الموقع الشاقولي لنقاط الاختبار هو 4 cm وهي قيمة مقبولة طالما أن الدقة المتوقعة تتراوح بين $1 * GSD$ إلى $3 * GSD$ ، أي من 1.6 cm إلى 4.9 cm.

5-2- تقييم دقة الرفع الطبوغرافي (الأورثوفوتو)

لتقييم دقة الرفع الطبوغرافي بالاعتماد على منتجات الطائرات المسيرة (الأورثوفوتو الناتج)، تم تصديره إلى البرنامج ArcGIS ومن ثم الحصول على الإحداثيات الأفقية لنقاط الاختبار. ويوضح الجدول (2) نتائج هذه القياسات مع الفروقات بين الإحداثيات المقاسة والإحداثيات المرجعية.

الجدول (3). الفروق بين الإحداثيات المقاسة والمرجعية لعيّة من نقاط الاختبار الأفقية.

النقطة	المرجعية (m)		المقاسة (m)		الفروق (m)	
	X	Y	X	Y	dx	dy
A36	211231.81 9	104715.5 10	211231.85 2	104715.5 76	0.03 3	- 0.06 6
A37	210930.23 9	104377.6 51	210930.30 9	104377.6 94	0.07 0	- 0.04 3
A38	211146.16 7	104570.2 51	211146.26 9	104570.3 66	0.10 2	- 0.11 5
A39	211047.94 1	104734.3 82	211048.00 0	104734.4 39	0.05 9	- 0.05 7
A41	210808.74 9	104416.3 87	210808.79 5	104416.4 73	0.04 6	- 0.08 6
B36	211396.92 7	104722.3 81	211396.97 6	104722.5 53	0.04 9	- 0.17 2

داسة تأثير أعداد نقاط الضبط وأنماط توزيعها في دقة المسح التصويري باستخدام الطائرات المسيرة

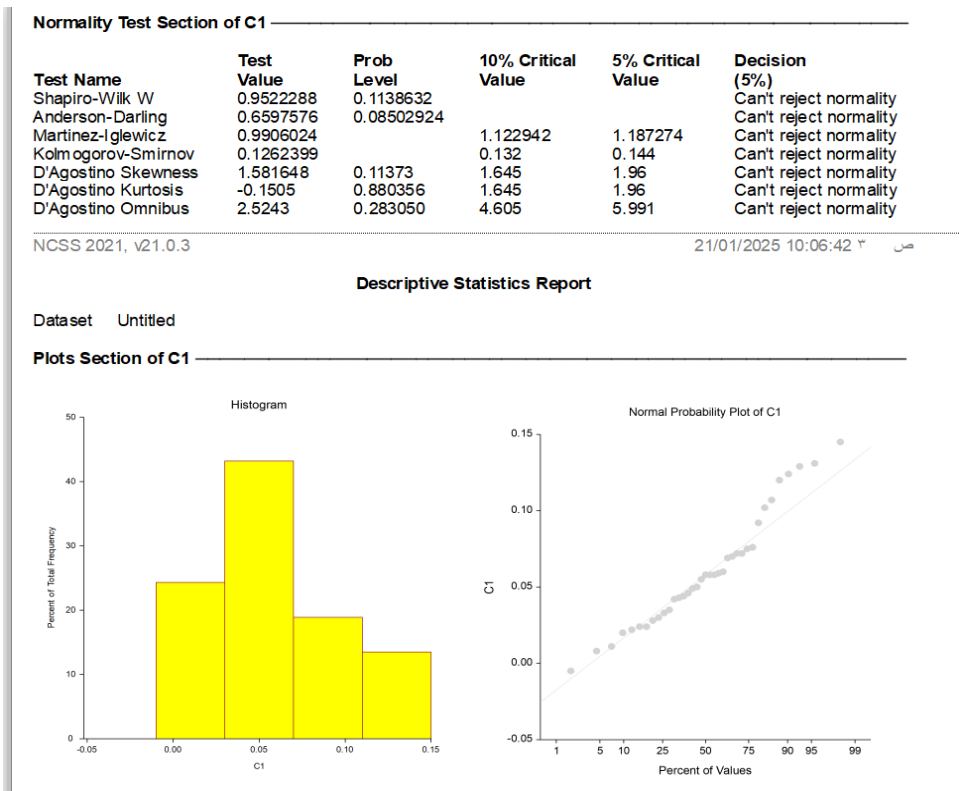
B37	- 211055.98 3	104451.3 88	- 211056.09 0	104451.4 54	0.10 7	- 0.06 6
B38	- 211302.91 1	104597.9 96	- 211303.04 0	104598.1 35	0.12 9	- 0.13 9
B39	- 211061.81 8	104653.4 90	- 211061.89 3	104653.5 57	0.07 5	- 0.06 7
B40	- 210315.48 0	104479.0 80	- 210315.53 8	104479.1 40	0.05 8	- 0.06 0
B41	- 210715.68 2	104365.4 67	- 210715.77 7	104365.5 46	0.09 5	- 0.07 9
C36	- 211408.65 2	104640.6 08	- 211408.77 2	104640.7 54	0.12 0	- 0.14 6
C37	- 211152.99 7	104451.2 37	- 211153.12 1	104451.2 95	0.12 4	- 0.05 8
C39	- 210873.28 1	104707.3 92	- 210873.33 6	104707.4 45	0.05 5	- 0.05 3
C40	- 210338.02 2	104396.8 86	- 210338.11 4	104396.9 57	0.09 2	- 0.07 1
C41	- 210583.49 0	104299.5 05	- 210583.51 4	104299.5 74	0.02 4	- 0.06 9
C12 2	- 210741.86 1	104102.9 12	- 210741.85 6	104102.9 59	- 0.00 5	- 0.04 7

	سلسلة العلوم الهندسية المدنية والمعمارية			مجلة جامعة حمص		
	د.عمر الخليل	د.وسيم موسى	رغد علي	المجلد 47 العدد 12 عام 2025		
D12	- 210815.60 8	104274.2 57	- 210815.65 0	104274.3 07	0.04 2	- 0.05 0
D36	- 211418.53 4	104602.2 95	- 211418.67 9	104602.4 44	0.14 5	- 0.14 9
D37	- 211303.21 6	104498.3 77	- 211303.48 7	104498.4 80	0.27 1	- 0.10 3
D39	- 210888.86 9	104627.0 96	- 210888.92 7	104627.1 73	0.05 8	- 0.07 7
D40	- 210436.35 8	104497.0 65	- 210436.39 0	104497.1 50	0.03 2	- 0.08 5
D41	- 210477.09 9	104237.9 09	- 210477.17 5	104238.0 42	0.07 6	- 0.13 3
E40	- 210511.92 6	104393.1 92	- 210511.97 0	104393.2 91	0.04 4	- 0.09 9
E41	- 210647.52 5	104225.1 36	- 210647.55 3	104225.1 98	0.02 8	- 0.06 2
E12 2	- 210949.65 0	104438.0 35	- 210949.71 9	104438.0 99	0.06 9	- 0.06 4
F12	- 210993.29 6	104538.2 22	- 210993.36 8	104538.2 98	0.07 2	- 0.07 6
F39	- 210755.80 8	104691.7 23	- 210755.85 8	104691.8 67	0.05 0	- 0.14 4

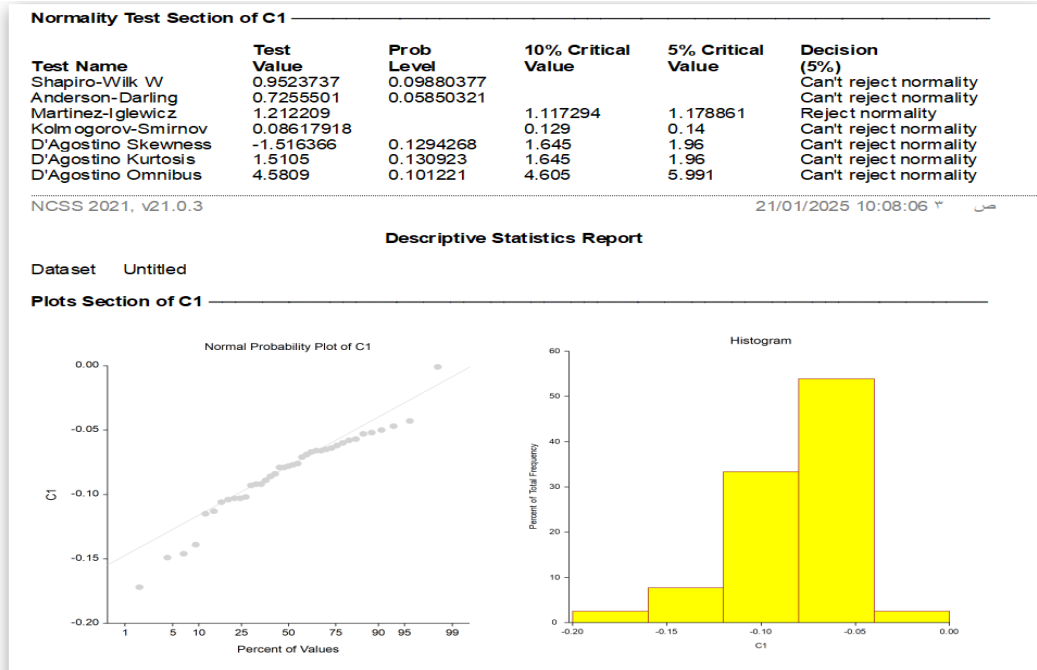
دأرة تأآئر أءاء نءاء الضبء وأنماط ءوزبعها فف ءقة المسء ءءصوئر ف باءءءءام الطائراء المسبرة

G12	- 211129.43 1	104669.6 06	- 211129.49 1	104669.6 58	0.06 0	- 0.05 2
G36	- 211336.25 9	104442.9 76	- 211336.48 6	104443.0 68	0.22 7	- 0.09 2
G39	- 210587.84 4	104664.2 14	- 210587.87 2	104664.3 27	0.02 8	- 0.11 3
G40	- 210608.38 9	104582.8 99	- 210608.43 2	104583.0 52	0.04 3	- 0.15 3
G41	- 210642.37 9	104117.5 21	- 210642.39 0	104117.6 55	0.01 1	- 0.13 4
H40	- 210678.71 2	104483.7 75	- 210678.73 6	104483.8 81	0.02 4	- 0.10 6
I39	- 210451.79 8	104565.3 58	- 210451.81 8	104565.4 36	0.02 0	- 0.07 8
I40	- 210777.29 0	104493.6 92	- 210777.34 8	104493.7 94	0.05 8	- 0.10 2
J36	- 211063.00 7	104282.9 57	- 211063.13 8	104282.9 58	0.13 1	- 0.00 1
J40	- 210834.36 2	104504.9 82	- 210834.43 4	104505.0 74	0.07 2	- 0.09 2

ومن ثم تم تكرار المنهجية السابقة وحساب الفروقات الخاصة بجميع السيناريوهات وبعد ذلك قمنا بالتحليل الإحصائي لقيم الفروقات لجميع السيناريوهات باستخدام البرنامج الإحصائي NCSS وحذف النقاط الشاذة واختبار تبعية هذه الفروقات للتوزيع الطبيعي ومن ثم حساب الأخطاء المتوسطة التربيع على هذه النقاط فوجدنا أنها تتبع للتوزيع الطبيعي عند مجال ثقة 95% وذلك بتطبيق كل الاختبارات المتاحة التي يوفرها البرنامج، وهذا ما توضحه الأشكال التالية:



الشكل (14). نتائج اختبار تبعية فروقات الإحداثيات dx للتوزيع الطبيعي (بعد استبعاد النقاط الشاذة) في السيناريو الأول.



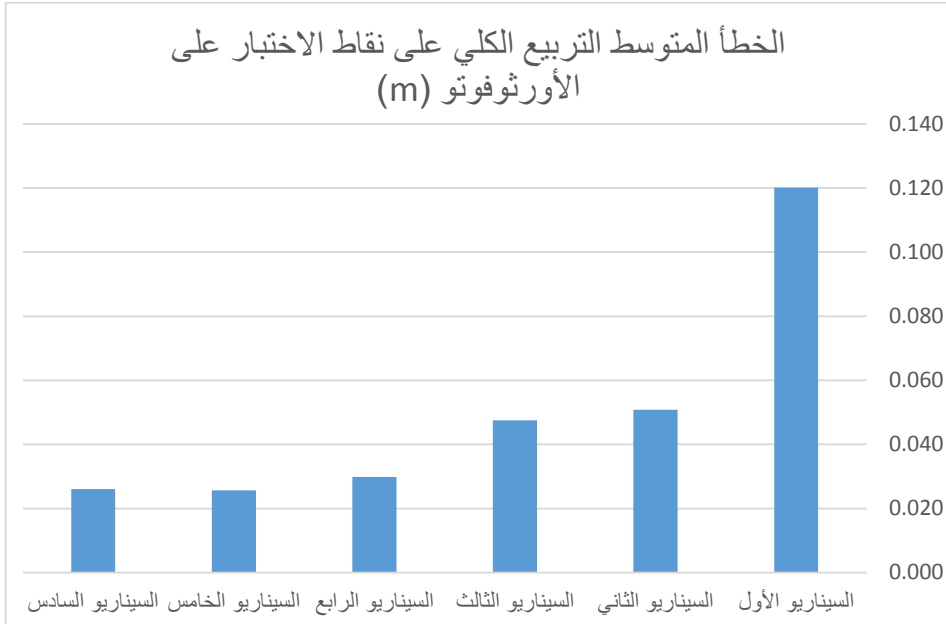
الشكل (15). نتائج اختبار تبعية فروقات الإحداثيات dy للتوزيع الطبيعي (بعد استبعاد النقاط الشاذة) في السيناريو الأول.

نقوم بتكرار التحليل السابق بالنسبة لجميع السيناريوهات والتحقق من تبعية جميع الأخطاء للتوزيع الطبيعي ثم نقوم بحساب الأخطاء المتوسطة التربيع الكلية على نقاط الاختبار على الأورثوفوتو حسب العلاقات (6) و (7) للسيناريوهات الستة بعد حذف النقاط الشاذة فكانت كما يلي:

الجدول (4). الأخطاء المتوسطة التربيع على نقاط الاختبار على الأورثوفوتو للسيناريوهات الستة.

	RMS_x (m)	RMS_y (m)	RMS_{xy} (m)
السيناريو الأول	0.005	0.009	0.120
السيناريو الثاني	0.001	0.002	0.051
السيناريو الثالث	0.000	0.002	0.047
السيناريو الرابع	0.010	0.028	0.030

سلسلة العلوم الهندسية المدنية والمعمارية			مجلة جامعة حمص
د.عمر الخليل	د.وسيم موسى	رغد علي	المجلد 47 العدد 12 عام 2025
السيناريو الخامس	0.000	0.000	0.026
السيناريو السادس	0.000	0.001	0.026



الشكل (16). الخطأ المتوسط التربيع الكلي على نقاط الاختبار على الأورثوفوتو.

6- الاستنتاجات

يمكننا أن نصل إلى الاستنتاجات الآتية وذلك بالاستناد إلى الدراسة النظرية والعملية المقدمة في هذه البحث:

1. بلغت الدقة الكلية للتثبيت الجوي للسيناريو السادس 4.4 cm وهي أفضل دقة حيث تم تقييم دقة هذه المرحلة بالاعتماد على نقاط الاختبار الأرضية وذلك بعد القيام بالاختبارات الإحصائية اللازمة.

2. بلغت دقة الرفع الطبوغرافي للأورثوفوتو الناتج عن السيناريوهين الخامس والسادس 2.6 cm والتي تم تقييمها أيضاً بالاعتماد على نقاط الاختبار الأرضية بعد إجراء الاختبارات الإحصائية.
3. السيناريو الأول (4 نقاط طرفية) والسيناريو الثالث (6 نقاط طرفية) كانا أسوأ السيناريوهات من حيث دقة التثليث الجوي.
4. كان السيناريو السادس بـ 9 نقاط ضبط (8 نقاط طرفية ونقطة مركزية) هو السيناريو الأفضل من حيث الدقة.

7- التوصيات

يمكننا في نهاية هذا البحث أن نوصي بما يأتي:

1. استخدام السيناريو ذي التوزع الطرفي والمركزي (8 نقاط موزعة على الأطراف ونقطة واحدة في المركز)، إذ حقق أفضل دقة للتثليث الجوي (4.4 سم) وفقاً لاختبارات الدقة باستخدام نقاط الاختبار الأرضية.
2. تحديث دفتر الشروط الفنية الخاص بالأعمال الطبوغرافية بحيث يشمل جزءاً خاصاً بمعايير تقييم دقة منتجات الدرونات.
3. استخدام نقاط الاختبار في تقييم دقة منتجات الدرونات بعد القيام بالاختبارات الإحصائية اللازمة.
4. دراسة تأثير عوامل مختلفة على دقة الخرائط المنتجة من صور الدرونات كمعايرة آلة التصوير، عدد الصور، نسب التداخلات بين الصور، ومواصفات الحاسب المستخدم في عملية المعالجة، والبرنامج المستخدم للمعالجة.

8- المراجع

- [1] Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F. C., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling: Current status and future perspectives. In *Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g)*: 14-16 September 2011, Zurich, Switzerland (pp. 25-31). International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS).
- [2] Deliry, S. I., & Avdan, U. (2021). Accuracy of unmanned aerial systems photogrammetry and structure from motion in surveying and mapping: a review. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(8), 1997-2017.
- [3] الخليل ع. (2022). المسح التصويري باستخدام الطائرات دون طيار. دار شعاع للعلوم والنشر. 152. <<https://darshoaa.com/30069-uavbased-photogrammetry>>.
- [4] Smith, D., & Heidemann, H. K. (2015). New standard for new era: Overview of the 2015 ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(3), 173-176.
- [5] Sanz-Ablanedo, E., Chandler, J. H., Rodríguez-Pérez, J. R., & Ordóñez, C. (2018). Accuracy of unmanned aerial vehicle (UAV) and SfM photogrammetry survey as a function of the number and location of ground control points used. *Remote Sensing*, 10(10), 1606.
- [6] Crommelinck, S., Bennett, R., Gerke, M., Nex, F., Yang, M. Y., & Vosselman, G. (2016). Review of automatic feature extraction from high-resolution optical sensor data for UAV-based cadastral mapping. *Remote Sensing*, 8(8), 689.
- [7] موسى و. (2020). التطورات الحالية في المساحة التصويرية باستخدام الطائرة بدون طيار مع أمثلة تطبيقية مجلة جامعة البعث - سلسلة علوم الهندسة المدنية، 42 (10). 35-64.

[8] العمر أ. (2023). المساحة التصويرية باستخدام الطائرات المسيّرة لأغراض التخطيط العمراني في سورية دراسة مقارنة. مجلة جامعة البعث - سلسلة علوم الهندسة المدنية، 45 (10). 64-45.

[9] زلخال، الخليل ع.، & أحمد م. (2024). تقييم فعالية استخدام الطائرات دون طيار (الدرونات) في إنتاج الخرائط الطبوغرافية. أطروحة ماجستير، قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين.

[10] أسد غ.، الخليل ع.، & علي أ. تحليل دقة برامج المسح التصويري المؤتمت المجانية ومفتوحة المصدر وإمكانية تطبيقها في النمذجة ثلاثية الأبعاد. أطروحة ماجستير، قسم الهندسة الطبوغرافية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين. 2023.

[11] الخليل ع.، & فحصة إ. (2015). اقتراح منهجية لإنتاج صور مصححة عامودياً من صور المتصفح المجاني Google Earth. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة العلوم الهندسية، 37(5). 67-51.

[12] Smith, D., & Heidemann, H. K. (2015). New standard for new era: Overview of the 2015 ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(3), 173-176.

[13] الخليل ع. (2019). اقتراح منهجية لتقييم التثليث الصوري وخوارزميات الربط الكثيف في نظم التوثيق ثلاثي الأبعاد القائم على الصور. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية- سلسلة العلوم الهندسية، 41 (5). 687-669.

[14] 22 February 2025. < <https://www.esri.com/en-us/arcgis/geospatial-platform/overview> >.

[15] NCSS 2021 Statistical Software (2021). NCSS, LLC. Kaysville, Utah, USA, ncss.com/software/ncss.

دراسة مقارنة لأداء البلاطات الخرسانية ثنائية الاتجاه تحت أنظمة تسليح كاملة بالفولاذ وGFRP: وفق الكودين السوري والأمريكي ونمذجة FEM

*د.محمد عيسى ، **م. نادين بروجود

المخلص:

تناولت هذه الدراسة تحليلاً مقارناً للأداء الإنشائي للبلاطات الخرسانية العاملة باتجاهين عند تسليحها بقضبان البوليمر المقوى بالألياف الزجاجية (GFRP)، مقارنة بالبلاطات المسلحة تقليدياً بالفولاذ. يأتي هذا التقييم في إطار البحث عن حلول بديلة تسهم في تحسين ديمومة المنشآت المعرضة لظروف البيئية القاسية، لا سيما في حالات تعرض التسليح التقليدي للتآكل. اعتمدت منهجية البحث على إجراء تحليلين نظري و عددي لسلوك الانحناء للبلاطات تحت تأثير حملات ساكنة متزايدة، باستخدام نماذج حسابية لاحتماب عزم التشقق، الانحراف، وقدرة التحمل القصوى. أظهرت النتائج أن البلاطات المسلحة بقضبان (GFRP) سجلت قيم انحراف أعلى، إلا أن قدرتها على التحمل بعد بلوغ الحمل الأقصى شهدت انخفاضاً نسبياً مقارنة بالبلاطات المسلحة بالفولاذ، والتي أظهرت كفاءة أكبر في مقاومة القص الناتج عن الثقب لكنها انهارت نتيجة عزم الانحناء.

وفي المقابل أظهرت البلاطات المسلحة بقضبان (GFRP) أداءً آمناً في مقاومة الانحناء، لكنها كانت أكثر عرضة للانهدام بسبب القص بالثقب، وبناء عليه توصي الدراسات بإمكانية تحسين هذا النوع من البلاطات، من خلال زيادة مقاومة الخرسانة على الضغط وسماكة المقطع مما يعزز كفاءتها الإنشائية، تسهم هذه النتائج في تحديد استراتيجيات تصميم أكثر فعالية عند استخدام GFRP كتسليح بديل، مع الأخذ بعين الاعتبار متطلبات التصميم والجدوى الاقتصادية، وخاصة في المنشآت ضمن البيئات القاسية.

كلمات مفتاحية: (FRP) البوليمر المقوى بالألياف، قضبان الألياف الزجاجية GFRP ، تسليح تقليدي، بلاطة عاملة باتجاهين، الثقب.

*مدرس في قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حمص.

**طالبة ماجستير في قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حمص.

Comparative Study on the Performance of Two-Way Concrete Slabs Fully Reinforced with Steel and GFRP: Evaluation According to Syrian and American Codes Using FEM Modeling

***Dr. Mohamad Issa , **Eng. Nadine Brjoud**

ABSTRACT:

This study presents a rigorous comparative assessment of the structural performance of two-way reinforced concrete slabs, focusing on the use of glass fiber reinforced polymer (GFRP) bars as an alternative to traditional steel reinforcement. The evaluation is motivated by the need for durable construction solutions in environments where corrosion of steel reinforcement compromises long-term structural integrity.

The research methodology incorporates both theoretical and numerical analyses to characterize flexural behavior under incrementally applied static loads. Advanced computational models were used to quantify key performance indicators, including cracking moment, mid-span deflection, and ultimate load-bearing capacity.

Experimental findings demonstrate that GFRP-reinforced slabs experience greater deflections than their steel reinforced counterparts. Although GFRP slabs exhibit reliable flexural performance, they are more susceptible to punching shear failure. In contrast, steel reinforced slabs display enhanced resistance to punching shear but tend to fail due to excessive bending moments.

To mitigate these shortcomings, the study proposes targeted design interventions namely, increasing concrete compressive strength and slab thickness to improve the structural performance of GFRP-reinforced systems. These recommendations contribute to the development of more robust design strategies, enabling the practical application of GFRP as a viable reinforcement material in aggressive environmental conditions where long term durability and structural resilience are critical.

Keywords: (FRP) fiber reinforced polymer, fiberglass rods, conventional reinforcement, two-way slab, punching.

1- مقدمة Introduction:

مع تطور العلوم و التقنيات في مجال الهندسة الإنشائية، تم ابتكار أنواع جديدة من مواد التسليح، كان من أبرزها قضبان البوليميرات المسلحة بالألياف FRP ، التي بدأت بالانتشار خلال العقد الماضي في أوروبا نظراً لامتلاكها خصائص ميكانيكية متميزة، أهمها ارتفاع نسبة قوتها إلى وزنها و عدم قابليتها للتآكل، هذه الخصائص جذبت اهتمام الباحثين و المهندسين لاستبدال نظام التسليح التقليدي المعتمد على الفولاذ العادي أو المسبق الإجهاد، خصوصاً في المنشآت المعرضة للظروف البيئية القاسية كالجسور و المنشآت البحرية و المنشآت التي تواجه تأثيرات الرطوبة و الحرارة و الأملاح ، حيث تؤدي هذه الظروف إلى تلف التسليح و تدهور أداء الخرسانة، مما يؤثر سلباً على عمرها واستثمارها الإنشائي[14].

في محاولة لتجاوز هذه التحديات، تم استخدام حلول جزئية كقضبان الفولاذ المغطاة بالإيبوكسي أو إضافات خاصة في الخلطة الخرسانية إلا أن هذه الإجراءات غالباً ما فشلت في الحد من مشكلة صدأ الحديد بشكل نهائي[14]. لذا ظهرت الحاجة إلى دراسة فعالية استخدام قضبان FRP كحل بديل واعد، مع مراعاة الحدود المسموحة لاستخدامه فيها نتيجة لعدة خصائص وسلوكيات ميكانيكية تختلف عن نظيراتها التقليدية.

وفي هذا السياق، تبرز أهمية مقارنة أداء البلاطات الخرسانية العاملة باتجاهين عند تسليحها بقضبان FRP مع تلك المسلحة بالفولاذ التقليدي، لاسيما أن هذا النوع من البلاطات يمتاز بقدرته على توزيع الأحمال بشكل متوازن في كلا الاتجاهين، مما يؤدي لتقليل الانحراف ويزيد من كفاءة التحمل مقارنة بالبلاطات ذات الاتجاه الواحد، كما أن مرونته التصميمية تجعله خياراً محبباً في المشاريع المعقدة والمباني التجارية ذات المساحات الواسعة المفتوحة.

تشير الدراسات الحديثة [2]، [3]، [16]، [17] إلى أن قضبان FRP تعد من البدائل الواعدة للفولاذ في تقوية الهياكل الخرسانية، وذلك لما لها من مزايا تشمل مقاومة التآكل، خفة الوزن، والخصائص الميكانيكية المميزة، ويتم تصنيعها من ألياف ذات مقاومة شد عالية، مثل الزجاج والكربون والبازلت والأراميد، المشبعة بالراتنجات البوليميرية، وتتميز هذه القضبان بأنها غير موصلة للكهرباء وتظهر سلوكاً مرناً خطياً دون نقطة خضوع، مع انخفاض في معامل المرونة مقارنة بالفولاذ [4]، [5]، [6]، [7]. لذا فإن دراسة السلوك الميكانيكي للبلاطات المسلحة بقضبان (FRP) بات ضرورياً لفهم آلية التسليح الأنسب وتحديد ظروف الاستخدام الأمثل.

2-دراسات مرجعية Literature Review:

يعد مرآب La Chancelière من أبرز الأمثلة الناجحة لبلاطة منفذة باستخدام قضبان GFRP [8] ، حيث أجريت دراسة لمعرفة تصميم وأداء الانحناء للبلاطات الخرسانية المسطحة في هذا المرآب بعد سنوات من الاستخدام و ذلك عند التسليح بقضبان GFRP للقضاء على التآكل الفولاذي الممتد ومشاكل التدهور ذات الصلة ،من أجل تصميم خرسانة لا تحتاج إلى صيانة، حيث خلصت الدراسة إلى أن قضبان GFRP قدمت حلاً عملياً وفعالاً من حيث التكلفة للتغلب على مشاكل التآكل ،كما أظهرت البلاطات المسطحة GFRP-RC أداءً إنشائياً طبيعياً من حيث الإجهاد والتشقق طوال 3.5 سنوات من ظروف الخدمة الحقيقية، لم تتجاوز التشوهات القصوى المقاسة في قضبان GFRP 20% من سعتها لكنها كانت أقل من التشوهات المتوقعة.

درس [9] Maher A. Adam et al أربع مجموعات من الألواح الخرسانية بأبعاد 700*1750 mm وسماكات مختلفة من 100mm إلى 150mm، جميع البلاطات المختبرة لها نفس قوة الضغط 60 MPa، اعتمد الباحث على نمذجة البلاطة باستخدام برنامج ANSYS2019-R1، وتوصل إلى أن سلوك الألواح المدعمة بألياف GFRP المختبرة كان مرناً ثنائي الخط حتى الانهيار وأن استخدام نسب تسليح قضبان GFRP أقل أو تساوي μ_b أدى إلى انهيار هش في قضبان GFRP وتحطم الخرسانة مع تمزق قضبان GFRP. أوضح الباحث Sukanta K

[10] Shill et al سلوك البلاطات المسلحة بقضبان الكربون والبازلت فقام بمقارنة نتائج السهوك الناتجة عن اختبار العينات مع نتائج العلاقات النظرية وخلص إلى أن قضبان FRP لا تتمزق بل تنهار العينات بالثقوب.

قام الباحث Minkwan Ju et al [11] بدراسة سلوك بلاطات عاملة باتجاهين بأبعاد 300*500*30mm باختلاف نسب التسليح، و قد قارن نتائج التجارب مع العلاقات الواردة في الكودات، انهارت جميع عينات الاختبار بالثقوب، أظهرت العينة المسلحة بالفولاذ سلوكاً أكثر صلابة حتى الانهيار مقارنةً بالعينات المسلحة بالفايبر التي تم تدعيمها باستخدام نسبة تسليح مكافئة، بالنسبة للحمل التشغيلي المختبر لعينات GFRP، كانت قدرة التحمل أعلى من حمولة الخدمة المصممة، بالإضافة إلى ذلك أظهرت النتائج التجريبية أن قدرة التحمل الإنشائية كانت كافية لمقاومة الحمل التصميمي المركز، على الرغم من أن كمية قضبان GFRP قد تم تصميمها باستخدام الحد الأدنى بالمقارنة مع الانحراف المسموح به عند حمل الخدمة التصميمي.

3 - مبررات البحث :Research Justification

على الرغم من التقدم في استخدام GFRP حول العالم، لا تزال الدراسات المتعلقة بسلوك البلاطات الخرسانية العاملة باتجاهين والمسلحة بهذه المادة محدودة، خصوصاً في السياق المحلي داخل الجمهورية العربية السورية، حيث تفتقر المخابر الجامعية الوطنية إلى بحوث تجريبية وتحليلية تعنى بهذا النوع من التسليح، وفي ظل غياب المقارنة الواضحة بين الكود السوري والكود الأمريكي ACI فيما يخص العلاقات التصميمية المرتبطة بتسليح GFRP، تظهر الحاجة إلى دراسة علمية متخصصة تسلط الضوء على الفروق التصميمية بين الكودين وتقييم أداء هذه البلاطات بشكل منهجي.

وعليه تبرر هذه الدراسة كونها تساهم في سد الفجوة البحثية المحلية، من خلال تحليل سلوك البلاطات العاملة باتجاهين المسلحة بقضبان GFRP، وتقديم إطار تصميمي قائم على أسس ومعايير علمية دقيقة، يعزز من فهم أداء هذا النوع من التسليح ويمهد لتطبيقه العملي في مشاريع البنية التحتية الحديثة

4 – أهداف البحث Research Objectives :

- تقييم قدرة التحمل النهائية للبلاطات لكل نوع من التسليح وتحديد آلية الانهيار المرافقة لها (قص بالثقب، انحناء، تشقق).
- تحليل تأثير نوع التسليح (الفولاذ مقابل GFRP) على الانحراف النسبي تحت تأثير الحمولات المتزايدة.
- مقارنة نتائج الانحناء، التشقق الأولي، والعزوم النهائي بين البلاطات المسلحة بالأسلوبين وفقاً لمتطلبات الكود.
- تحليل مدى توافق العلاقات التصميمية الواردة في الكود السوري والكود الأمريكي ACI عند استخدام GFRP، واقتراح توصيات تصميمية عملية.
- اقتراح تحسينات تصميمية في البلاطات المسلحة ب GFRP لتقليل احتمالية الانهيار بالقص.

5 – مواد وطرق البحث Materials and Methodology:

البيانات التجريبية الواردة في هذا البحث لعينات من البلاطات الخرسانية العاملة باتجاهين والمستددة من الجهات الأربعة، الأولى مسلحة بالتسليح التقليدي Steel، والثانية مسلحة بقضبان الألياف الزجاجية GFRP، ناتجة عن تجارب مخبرية أصلية أجريت في إطار أطروحة الماجستير بقسم الهندسة المدنية (جامعة حمص)، عُرضت النتائج في سمنار إنهاء الأطروحة وهي حالياً قيد المناقشة النهائية، كما أُدرجت هذه البيانات كمادة داعمة في مخطوطة قيد التحكيم لمؤتمر هندسي، أُجريت الاختبارات وفق بروتوكول موثق يشمل توصيف العينات، إجراءات التحميل، أجهزة القياس، تكرار الاختبارات، ومعايرة الأجهزة. تتوفر البروتوكولات والبيانات الأولية، ونتائج معايرة الأجهزة، وصور الاختبارات للعرض على المحكمين أو المحرر عند الطلب.

وبالتالي ستم مقارنة نتائج الانحراف تحت الأحمال التجريبية مع النتائج النظرية للدراسة التحليلية وفق علاقات الكود الأمريكي ACI 440.1R-15 والكود السوري التي تمت برمجتها على برنامج

Excel، إضافة إلى نمذجة البلاطات المدروسة على برنامج Abaqus ومقارنة النتائج والتحقق منها.

استناداً إلى الاختبارات المخبرية وأوراق بيانات المنتج الخاصة بالشركة المصنعة، فإن الخواص الفيزيائية والميكانيكية لقضبان Steel و GFRP المستخدمة في هذه الدراسة مدرجة في الجدول 1.

الجدول 1: الخواص الميكانيكية لقضبان التسليح والأقطار المستخدمة.

نوع التسليح		المعايير
GFRP	Steel	
8	10	d(mm)
50.3	78.5	A _b mm ²
1000	400	f _y MPa
42	210	E _s GPa

1.5- الدراسة التحليلية الحاسوبية Analytical and Computational Study :

1.1.5-العلاقات العامة لتصميم البلاطة المسلحة بقضبان الفولاذ حسب الكود السوري [15]:

1-الحل باستخدام طريقة الشرائح لبلاطة مستندة من الجهات الأربعة استناد بسيط من أجل تحديد نسبة التسليح اللازمة:

$r = \frac{m \cdot L}{m \cdot B} = 1.5, m=0.76, L=1200\text{mm}, B= 800\text{mm}$
$A_0 = \frac{M_u}{\Omega \cdot 0.85 \cdot f_c \cdot b \cdot d^2} = 0.128$
$\alpha = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot A_0} = 0.137$
$\alpha_{max} = 0.5 \cdot \frac{535.5}{630 + f_y} = 0.25 \Rightarrow \alpha < \alpha_{max} \dots OK$
$\gamma = 1 - 0.5\alpha = 0.93$

دراسة مقارنة لأداء البلاطات الخرسانية ثنائية الاتجاه تحت أنظمة تسليح كاملة بالفولاذ و GFRP: وفق الكودين السوري والأمريكي ونمذجة FEM

$A_s = \frac{M_u}{\Omega * f_y * d * \gamma} = 548.4 \text{ mm}^2/\text{m}$	
$A_{min} \geq \begin{cases} 0.002 * b * d \\ 0.0012 * b * t \end{cases} = 150 \text{ mm}^2/\text{m}$	
$\rho = \frac{A_s}{b * d} = 0.006$	
$M_{ult} = 0.85 * f'_c * b * y * \left(d - \frac{y}{2}\right) = 6.9 \text{ KN. m/m}$	
Ω عامل تخفيض المقاومة	حيث: M_u العزم التصميمي KN.m
b : عرض القطاع المصمم للبلاطة mm	f'_c : مقاومة الخرسانة على الضغط MPa
α : معامل توزيع الإجهاد	d : العمق الفعال للمقطع mm
f_y : مقاومة الخضوع للحديد MPa	α_{max} : القيمة القصوى لمعامل توزيع الإجهاد
A_s : مساحة مقطع الحديد المطلوب mm^2	γ : معامل التوزيع
t : سماكة البلاطة mm	A_{min} : مساحة التسليح الدنيا mm^2
M_{ult} : العزم المقاوم الأقصى للخرسانة KN.m	A_{max} : مساحة التسليح العظمى mm^2
ρ : نسبة التسليح	y : عمق كتلة الضغط المكافئة في الخرسانة mm

2.1.5- العلاقات العامة لتصميم البلاطة المسلحة بقضبان الفولاذ حسب كود

: [12] ACI 318-14

1-علاقات العزوم لحمولة موزعة على مساحة صغيرة

$$M_x = \frac{P}{8\pi} \left[\left(2.4 * \text{Ln} \frac{4*k_1}{\pi\sqrt{1+k^2}} \right) + 4.4 - \frac{9.6+6.4\pi r}{e^{\pi r}-1} + \left(0.4k - \frac{2}{k} \right) \tan^{-1}k - \frac{k\pi}{5} \right] = 9.78 \text{ KN. m/m}$$

$$M_y = \frac{P}{8\pi} \left[\left(2.4 * \text{Ln} \frac{4 * k_1}{\pi\sqrt{1 + k^2}} \right) + 2.8 - \frac{9.6 + 6.4\pi r}{e^{\pi r} - 1} + \left(2k - \frac{0.4}{k} \right) \tan^{-1}k - k\pi \right] = 3.06 \text{ KN. m/m}$$

حيث:

$$r = \frac{L}{B} = 1.5 , k = \frac{v}{u} = 1, k_1 = \frac{B}{u} = 1.33$$

2-تحديد سماكة البلاطة

$$h_f = \frac{2(B+L)}{180} = 100\text{mm}$$

وإذا كانت أقل من 90mm تفرض 100mm

$$d = h - c - \frac{d_2}{2} = 75\text{mm}$$

$$\mu = \frac{f_y}{0.85 * f'_c} = 18.82$$

$$R_u = \frac{M_u}{0.9 * B * d^2} = 2.416 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{1}{\mu} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 * R_u * \mu}{f_y}} \right] = 0.0062$$

$$A_s = \rho * B * d = 578.8 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$M_{ult} = \frac{2}{3} * f_{cu} * a * b * \left(d - \frac{a}{2} \right) = 6.75 \text{ KN. m/m}$$

$$f_{cu} = \frac{f'_c}{0.8} = 31.25 \text{ MPa}$$

$$M_{cr} = \frac{0.75 * f_{cb} * I_g}{y_t}$$

دراسة مقارنة لأداء البلاطات الخرسانية ثنائية الاتجاه تحت أنظمة تسليح كاملة بالفولاذ و GFRP: وفق الكودين السوري والأمريكي ونمذجة FEM

حيث: R_u : المقاومة اللحظية المطلوبة KN	f_{cu} : مقاومة الضغط الحدية للخرسانة MPa
f_{cb} : مقاومة الشد للخرسانة MPa.	I_g : عزم العطالة الاسمي للمقطع غير المتشقق mm ⁴

3.1.5-العلاقات العامة لتصميم البلاطة المسلحة بقضبان الفايبر حسب الكود السوري [14]:

سيتم التصميم على انهيار المقطع الخرساني على الضغط وذلك أفضل لأن العنصر يسلك سلوكاً لدناً أو بشكل جزئي عند الانهيار.

<p>- علاقة الإجهاد - التشوه خطية حتى الانهيار بفرض $\epsilon_{cu} = 0.003$ بفرض انهيار الخرسانة هش على الضغط</p> <p>$\mu_f \leq 1.4 * \mu_{fb}$</p> <p>حيث</p> <p>$\gamma_c = 1.7, \gamma_f = 1.7$</p> <p>$E_f = \frac{f_{fu}^*}{\epsilon_{fu}} = 42GPa$</p> $\sqrt{\frac{(E_f * \epsilon_{cu})^2}{4} + \frac{0.536 * f_{cu}}{\mu_f * \gamma_c} * E_f * \epsilon_{cu}} - 0.5 * E_f * \epsilon_{cu} \leq \frac{f_{fu}^*}{\gamma_f}$ <p>$\mu_{min} = 1.4 * \mu_{fb}$</p> <p>$\mu_f = \frac{A_f}{b * d} = 0.0043$</p> <p>$\mu_{fb} = 0.8 * \frac{0.67 * f_{cu}}{f_{fu}^*} * \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{fu}^*} = 0.0033$</p> <p>حيث</p> <p>$f_{fu}^* = f_{fu} * C = 487.5 MPa$</p>
--

$\varepsilon_{fu}^* = \varepsilon_{fu} * C = 0.0117 \text{ MPa}$ $C = \text{عامل يتعلق بالظروف البيئية يؤخذ } 0.75$	
$M_u = \left(\frac{A_f f_{fe}^*}{\gamma_f} \right) \left(d - \frac{a}{2} \right) = 6.43$	
ε_{fu}^* : التشوه الأقصى في قضبان الفايبر قبل الانهيار	f_{fu}^* : المقاومة القصوى للفايبر MPa
ε_{cu} : التشوه النهائي الأقصى للخرسانة تحت الضغط	E_f : معامل مرونة الفايبر MPa

4.1.5-العلاقات العامة لتصميم البلاطة المسلحة بقضبان الفايبر حسب الكود ACI 440.1R-15 [1]:

$E_c = \gamma_c * 0.043 * \sqrt{f'_c} = 26875 \text{ MPa}$ $\beta_1 = \begin{cases} 0.85 & \text{if } f'_c = 27.58 \\ 1.05 - 0.05 * f'_c & \text{if } 27.6 < f'_c < 55.16 \\ 0.65 & \text{Otherwise} \end{cases}$ $\varepsilon_{co} = \frac{1.71 * f'_c}{E_c} = 0.0015$ $\sigma_c'' = 0.9 f_c'' = 3263.2 \text{ MPa}$ $\sigma_c(\varepsilon_c) = \frac{2 * \sigma_c'' * \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)}{1 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} \right)^2} = 2701.1 \text{ MPa}$ حيث: E_c : معامل المرونة الانضغاطي MPa ، β_1 : عامل الإجهاد
2-حساب الحمولات المطبقة: $W_u = TFL = 1.2DL + 1.6LL$ $W_s = SL = DL + LL$
3-حساب العزم التصميمي والعزم الاستثمائي تؤخذ من علاقات الحمولة الموزعة
4-تصميم البلاطة على عزم الانحناء مع تحقيق القص: $f_{fu} = C_E * f_{fuu} = 551.6 \text{ MPa}$ $\varepsilon_{fu} = C_E * \varepsilon_{fuu} = 0.0144 \text{ MPa}$

$$f_{f\text{-creep}} = k_{\text{creep}} * f_{fu} = 110.32 \text{ MPa}$$

$$d_{f1} = t - c_c - \frac{\phi_{f\text{-bar}}}{2} = 76 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = t - c_c - \frac{3 * \phi_{f\text{-bar}}}{2} = 68 \text{ mm}$$

$$V_{co} = \left(\frac{5}{2}k\right) * 2 * \sqrt{f'_c} * (1ft) * \min(d_{f1}, d_{f2}) = 6.88 \text{ KN}$$

تحقيق السماكة:

$$\phi_V = 0.75$$

$$\{OK, \text{if } \phi_V V_{co} > V_{umax}$$

$$\{ \text{Otherwise, Not OK}$$

حساب نسبة التسليح الدنيا:

$$\rho_{f\text{-tsMin}} = \left(0.0018 \frac{60}{f_{fu}} * \frac{29000}{E_f}, 0.0036\right)$$

$$\Rightarrow A_{f\text{-tsMin}} = \rho_{f\text{-tsMin}} * t$$

$$A_f = \frac{A_{f\text{-bar}}}{S_{f\text{-ts}}} = 314 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$A_{f\text{-min}} = \left(\frac{4.9\sqrt{f'_c}}{f_{fu}} \min(d_{f1}, d_{f2}), \frac{300}{f_{fu}} \min(d_{f1}, d_{f2})\right) = 250 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$\{OK, \text{if } A_f > A_{f\text{-min}}$$

$$\{ \text{Otherwise, Not OK}$$

$$\rho_f = \frac{A_f}{\min(d_{f1}, d_{f2})} = 0.0042$$

$$\rho_{fb} = 0.85 * \beta_1 * \frac{f'_c}{f_{fu}} * \frac{E_f * \epsilon_{cu}}{E_f * \epsilon_{cu} + f_{fu}} = 0.0041$$

تحديد آلية الانهيار:

if $\rho_f > \rho_{fb}$ الانهيار في البيتون

if $\rho_f < \rho_{fb}$ الانهيار في قضبان الفايبر

$$x = \frac{A_f * E_f * \epsilon_f}{\alpha_1 * f'_c * \beta} = 13.7 \text{ mm}$$

$$M_n = \rho_f * f_{fu} * \left(1 - \frac{0.59 * f_{fu} * \rho_f}{f'_c}\right) * b * d_f^2$$

$$= 9.96 \text{KN.m/m}$$

$$M_{cr} = \frac{2 * f_{ct} * I_g}{t}$$

2.5- البارامترات الأساسية التي ستتم مقارنتها:

يعرض هذا القسم حمولات الانهيار- العزم المقاوم - العزم الحدي- الثقب في البلاطة بناءً على نتائج العلاقات السابقة عند تصميم البلاطة وفق الكود السوري والكود الأمريكي بطريقتي التسليح، وذلك تحت تحميل دوري متدرج.

1.2.5- قدرة التحمل Capacity :

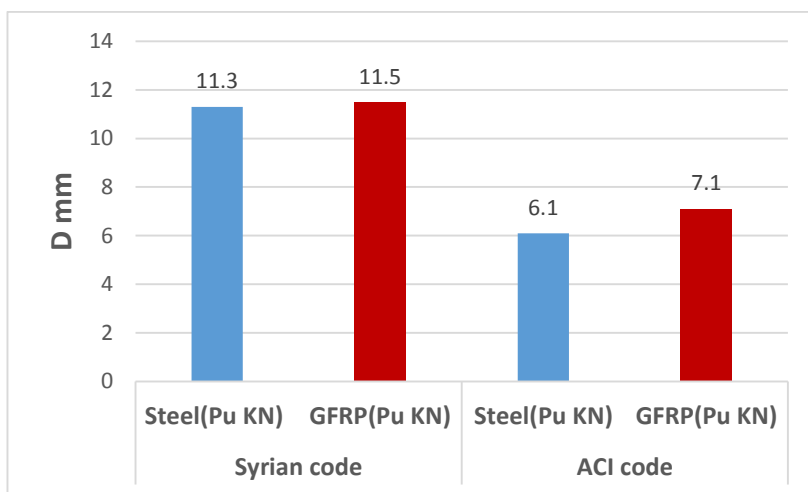
أظهرت النتائج أنه عند نسب التسليح الدنيا كانت قدرة تحمل البلاطة المسلحة بقضبان GFRP أكبر من قدرة تحمل البلاطة المسلحة بالفولاذ في حالة التحميل الساكن، وذلك نتيجة لتمتع قضبان GFRP بقوة شد عالية ومقاومتها للتآكل.

الجدول 2: يوضح نسب التسليح الدنيا وفق اتجاه عمل البلاطة، قيم حمولات وعزوم الانهيار، والعزم المقاوم وفق الكود الأمريكي والكود السوري.

M_{ult} (KN.m/m)	P_{u-fail} (KN)	M_{u-fail} (KN.m/m)	ρ %	نوع البلاطة	الكود المستخدم
6.75	90	9.7	0.006	SL-Steel	ACI
6.47	91	9.94	0.0042	SL-GFRP	code
6.9	89	9.63	0.006	SL-Steel	Syrian
6.43	90.5	9.86	0.0042	SL-GFRP	code

2.2.5- سلوك الانحراف Deviation Behavior:

نلاحظ أنه قبل حدوث التشقق تكون الاستجابة للحمل خطية، وأداء البلاطات بكلا نوعي التسليح متشابه، ومع زيادة التحميل تنهار العينة عند وصولها إلى الحمولة القصوى، تُظهر عينة GFRP انحرافاً أكبر من عينة Steel كما هو موضح في الشكل 1، ويرجع ذلك إلى انخفاض معامل المرونة في قضيب الفايبر مما يؤدي لزيادة التشوهات مقارنة بالفولاذ الذي يتمتع بصلابة أعلى.



الشكل 1: قيم السهوم وفق الكودات باختلاف نوع التسليح Steel/GFRP.

3.2.5 - سلوك التشقق Cracking Behavior:

ووفقاً لعلاقات الكودات، يحدث الانهيار في الخرسانة عندما تصل إلى أقصى قيمة إجهاد انضغاطية تبلغ 0.003، وأيضاً يحدث انهيار الخرسانة على الضغط إذا كان $\rho_f < \rho_{fb}$. وفي حالة أخرى يحدث تمزق لقضبان الفايبر، في هذه الدراسة كان السلوك مرناً خطياً قبل التشقق وعند بداية التشقق تظهر شقوق عمودية وتكون منتشرة أسفل عينة البلاطة، وبزيادة الحمل تظهر المزيد من التشققات الانشائية حتى يحدث الانهيار، تُظهر عينات SL-Steel شقوقاً أقل من عينات SL-GFRP.

الجدول 3: يوضح قيم حمولات وعزوم التشقق، وعزوم الاستثمار مقارنة بالحمولات والعزوم الحدية.

M_{u-fail} (KN.m/m)	P_{u-fail} (KN)	M_s (KN.m/m)	M_{cr} (KN.m/m)	P_{cr} (KN)	نوع البلاطة
97	90	2.19	5.55	82.6	Steel
9.94	91	1.47	1.49	84	GFRP

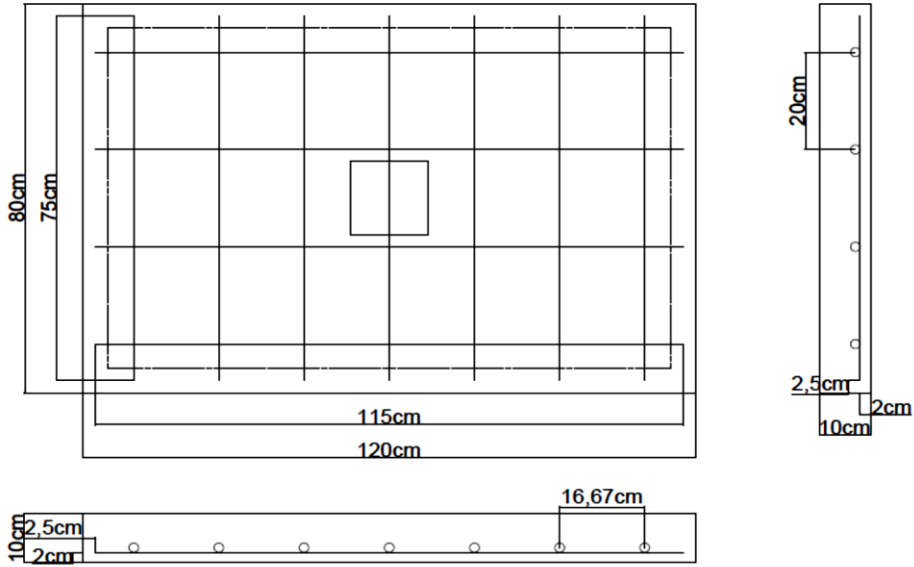
3.5- الدراسة العددية :Numerical Study

تمت دراسة البلاطة بأبعاد $1200*800*100$ mm ، ومسلحة في الجزء السفلي (منطقة الشد)، يوضح الجدول 4 نوع التسليح ومساحة المقطع العرضي، نسبة التسليح وقوة انضغاط الخرسانة لكل عينة بلاطة.

الجدول 4: يوضح العمق الفعال وتفاصيل ونسب التسليح الدنيا المسموحة.

ρ_f % طولي	ρ_f % عرضي	D_f (mm)	A_f (mm ²)	f'_c (MPa)	العينة المدروسة
0.0030	0.006	75	550	25	Steel
0.0027	0.0042	77	352	25	GFRP

دراسة مقارنة لأداء البلاطات الخرسانية ثنائية الاتجاه تحت أنظمة تسليح كاملة بالفولاذ و GFRP: وفق الكودين السوري والأمريكي ونمذجة FEM



الشكل 2: المسقط الأفقي والمقاطع العرضية للبلاطة إضافة إلى أبعادها والتباعد بين قضبان التسليح.

تمت نمذجة عينات من البلاطات المدروسة في هذا البحث باستخدام برنامج Abaqus وفق كودات التصميم المستخدمة، حيث تم تعريف خصائص المواد (البيتون وقضبان التسليح) كما هو موضح في الجداول 5-6، وطبقت الأحمال في منتصف البلاطة على صفيحة أبعادها 15*15cm وبسماكة 2cm ويوضح الشكل 2 نموذج للبلاطة المدروسة.

الجدول 5: المعاملات المدخلة على البرنامج الخاصة بمادة البيتون، الوزن الحجمي، معامل المرونة، معامل بواسون.

بلاطة SL-GFRP& SL-Steel	المعاملات المدخلة
25	$f_c \text{ N/mm}^2$
25	$\gamma \text{ KN/m}^3$

28960.41	$E_c N/mm^2$
0.2	ν

الجدول 6: المعاملات المدخلة على البرنامج الخاصة بالتسليح.

SL-GFRP	SL-Steel	المعاملات المدخلة
17.6	78.6	$\gamma KN/m^3$
1000	400	$f_y N/mm^2$
42000	210000	$E_s N/mm^2$
0.25	0.3	ν
0	0.053	Plastic strain N/mm^2

الجدول 7: المعاملات الخاصة بنموذج concrete_damage_plasticity.

μ	k_c	F_{b0}/F_{c0}	e	ψ	المعيار
0.0005	0.667	1.16	0.1	36	القيم

1.3.5 - خطوات النمذجة :

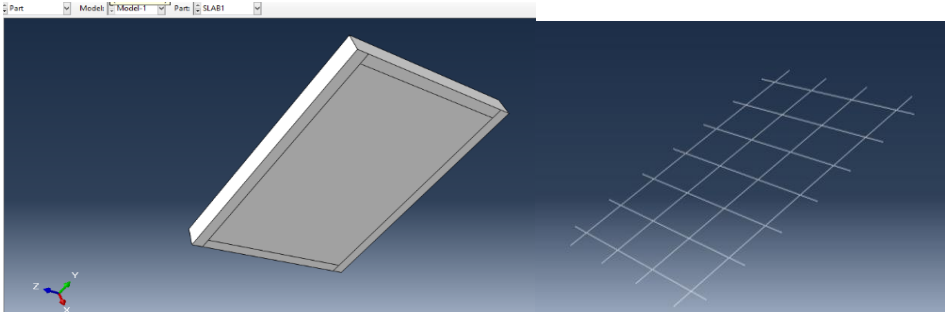
تم استخدام عناصر C3D8R لتمثيل جسم البلاطة، وعناصر T3D2 لتمثيل قضبان التسليح (الشكل 3)، ضمن شبكة غير منتظمة (unstructured mesh) مع مناطق تحسين محلي (refinement) حول مناطق التحميل، حجم العنصر النهائي بلغ 8mm بعد إجراء دراسة تقارب الشبكة (Mesh Convergence) أظهرت استقرار النتائج عند هذا الحجم (الشكل 6).

شروط الاستناد تم تمثيلها بقيود كاملة على الحواف الأربعة، مع السماح بالحركة الرأسية في نقاط التحميل، تم تمثيل التماسك بين الخرسانة والتسليح باستخدام تقنية embedded region (الشكل 5) دون افتراض perfect bond.

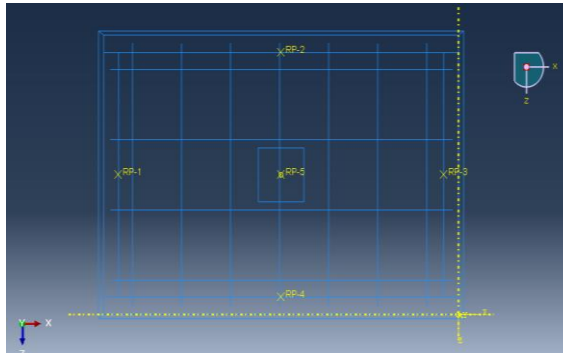
نموذج الضرر المستخدم للخرسانة هو Concrete Damage Plasticity (CDP)، وتم إدخال منحنيات الإجهاد-تشوه للضغط والشد بناءً على بيانات مخبرية، تم تتبع تطور التشققات من

دراسة مقارنة لأداء البلاطات الخرسانية ثنائية الاتجاه تحت أنظمة تسليح كاملة بالفولاذ و GFRP: وفق الكودين السوري والأمريكي ونمذجة FEM

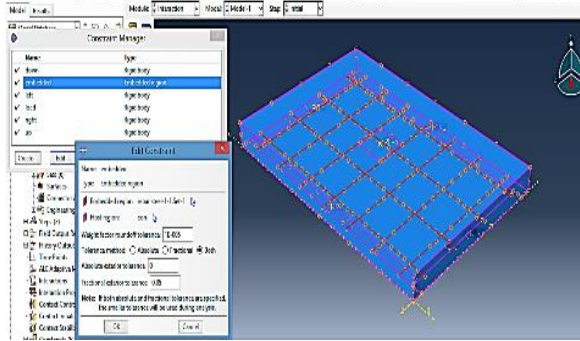
خلال توزيع الضرر داخل العناصر، دون استخدام فصل فعلي للعناصر، تم تطبيق الحمل باستخدام displacement control عبر صفيحة تحميل صلبة (الشكل 7)، وتم تمثيل التلامس باستخدام contact pair بين الصفيحة و سطح البلاطة.



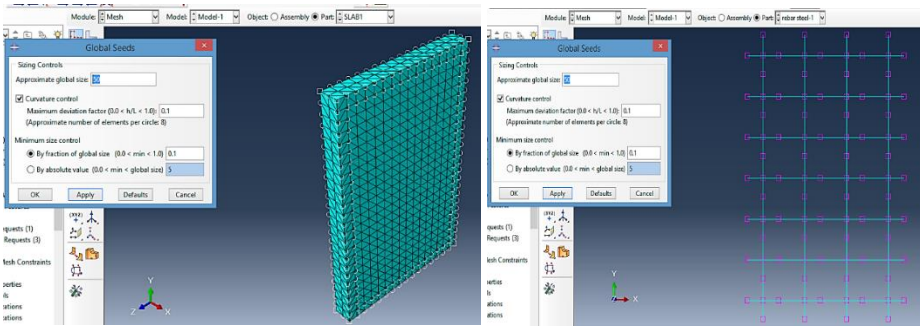
الشكل 3: تصميم البلاطة وشبكة التسليح وإسناد المواد الخاصة بهما.



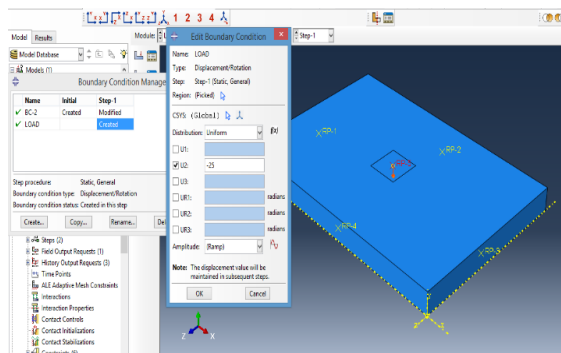
الشكل 4: المسقط الأفقي للبلاطة بعد دمج شبكة التسليح وتحديد موقع صفيحة التحميل.



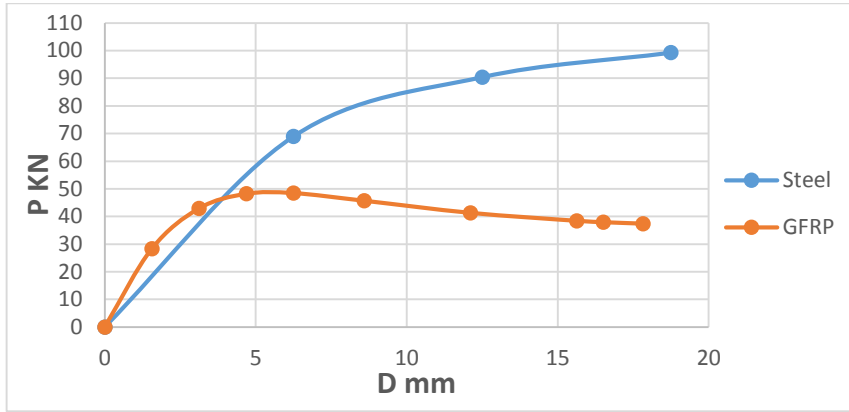
الشكل 5: طريقة التقييد المضمنة لتسليح الفولاذ و GFRP.



الشكل 6: تطبيق الشبكة النمذجية mesh على البلاطة الصلبة وشبكة التسليح المصنوعة من الفولاذ و GFRP.



الشكل 7: تطبيق الإزاحة عند نقطة التحميل.



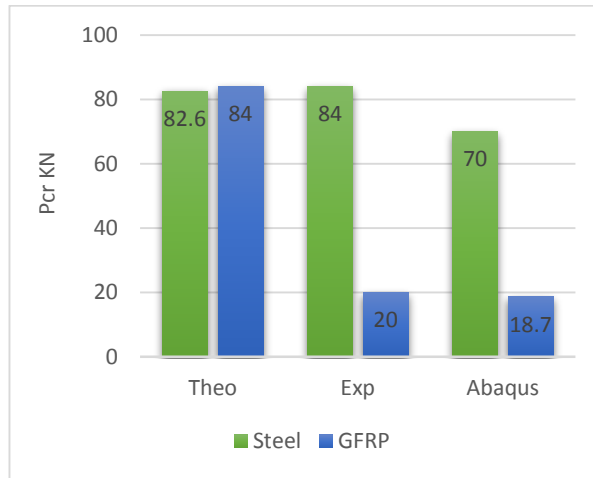
الشكل 8: علاقة الحمل والانتقال الموافقة لنتائج برنامج Abaqus في البلاطة المسلحة بقضبان Steel/GFRP.

6 - النتائج التحليلية مقارنة بالتجريبية Analytical results compared to experimental results

تُظهر البلاطات المسلحة بالفولاذ توافقاً جيداً بين النتائج النظرية (وفق الكود الأمريكي ACI 318) والنتائج التجريبية، نظراً لتقارب آلية الانهيار المفترضة (انحناء مرن) مع ما تم رصده فعلياً في التجربة، أما البلاطات المسلحة بقضبان GFRP، فقد أظهرت اختلافاً واضحاً في حمولة الانهيار، حيث افترض الكود انهياراً بالانحناء، بينما أظهرت التجربة انهياراً بالتقرب، وهو ما يتفق مع ما ورد في المراجع [1]، [11]، ويُعزى ذلك إلى انخفاض صلابة GFRP في مناطق التركيز وسلوكه الهش نسبياً في منطقة التقرب، كما أن العوامل التشغيلية مثل التماسك الفعلي بين الخرسانة والتسليح، وتوزيع التشققات، تؤثر على النتائج التجريبية ولا تُؤخذ بالكامل في الحسابات النظرية. في المقابل، أظهرت نتائج المحاكاة العددية باستخدام برنامج Abaqus توافقاً جيداً مع التجربة، نتيجة تمثيله لآلية الانهيار الواقعية وتضمينه لنموذج الضرر للخرسانة (CDP) الذي يسمح بتمثيل المرونة بعد التشقق، كما هو موضح في الجدول 8.

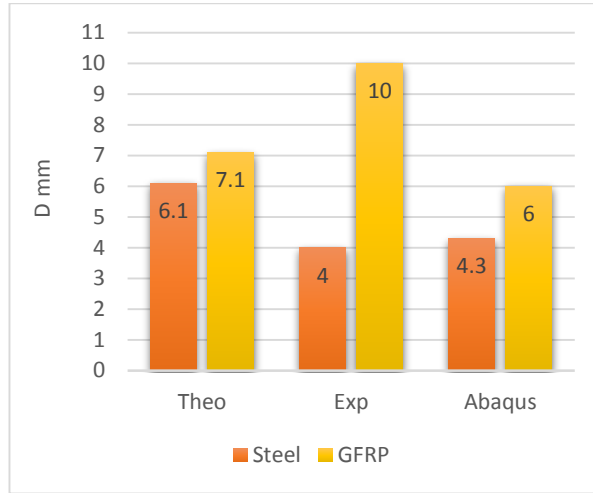
الجدول 8: يوضح المقارنة بين قيم حمولات الانهيار وحمولات التشقق والسهم الناتجة عن الحسابات باستخدام علاقات الكودات ونتائج التجارب وبرنامج Abaqus

GFRP			Steel			
Abaqus	Exp	Theo	Abaqus	Exp	Theo	
18.7	20	84	70	84	82.6	P_{cr} KN
49.8	50	91	91	90.46	90	P_{u-fail} KN
6	10	7.1	4.3	4	6.1	D mm

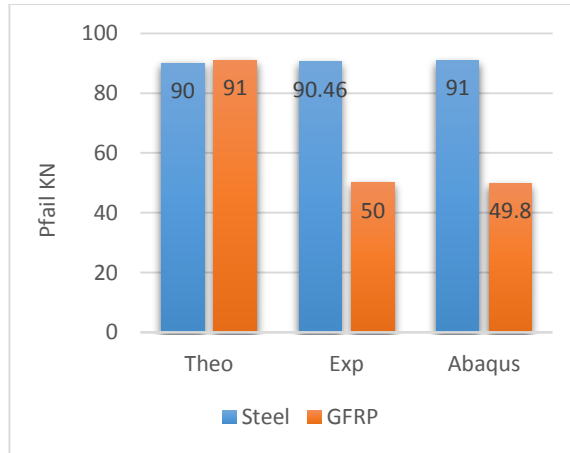


الشكل 9: قيم حمولة التشقق وفق طرق الحساب الثلاث باختلاف نوع التسليح Steel/GFRP.

دراسة مقارنة لأداء البلاطات الخرسانية ثنائية الاتجاه تحت أنظمة تسليح كاملة بالفولاذ و GFRP: وفق الكودين السوري والأمريكي ونمذجة FEM



الشكل 10: قيم السهوم وفق طرق الحساب الثلاث باختلاف نوع التسليح Steel/GFRP.



الشكل 11: قيم حمولة الانهيار وفق طرق الحساب الثلاث باختلاف نوع التسليح Steel/GFRP.

• تم حساب الخطأ النسبي لنتائج حمولة الانهيار (Pu) باعتبارها المؤشر الأساسي للسلوك

الإنشائي كما هو موضح في الجدول 9.

الجدول 9: الخطأ النسبي لحمولة الانهيار بين النتائج التجريبية والنظرية (الكود) والعديدية (Abaqus).

GFRP		Steel		
Diff ₂ %	Diff ₁ %	Diff ₂ %	Diff ₁ %	
0.4	82	0.59	0.5	P _{u-fail} KN

حيث

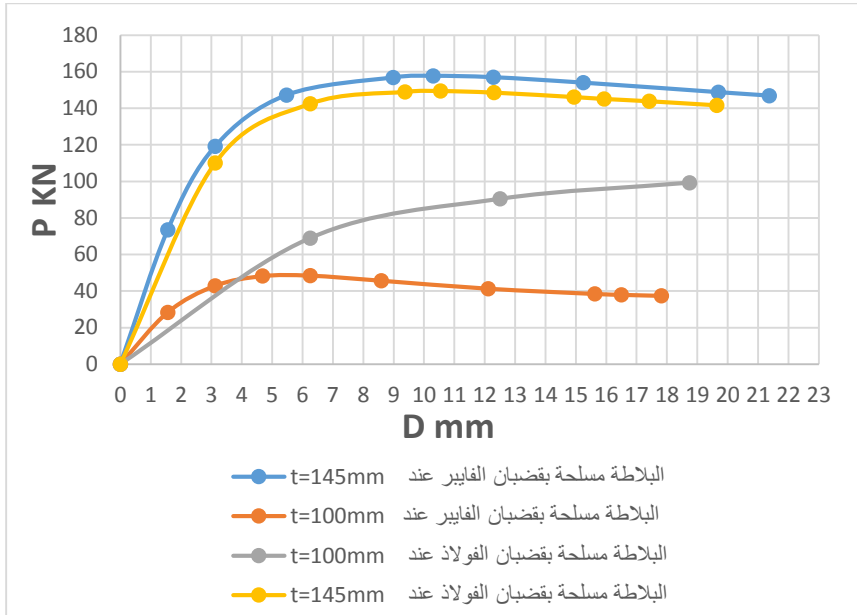
$$\text{Diff}_1 = \text{Diff}_{\text{code-exp}} = \frac{|P_{u\text{code}} - P_{u\text{exp}}|}{P_{u\text{exp}}} \times 100$$

$$\text{Diff}_2 = \text{Diff}_{\text{Abaqus-exp}} = \frac{|P_{u\text{Abaqus}} - P_{u\text{exp}}|}{P_{u\text{exp}}} \times 100$$

بلغ الخطأ النسبي بين نتائج الكود الأمريكي ACI 318 والتجربة المخبرية في البلاطة المسلحة بقضبان GFRP 82%، يُعزى هذا التباين إلى اختلاف آلية الانهيار إضافة إلى الأسباب الواردة في بداية الفقرة 6، وهذه الحالة تستدعي تعديل النموذج التصميمي أو إدخال معاملات تصحيحية لتكون قيمة الخطأ ضمن الحدود المسموحة.

من أجل تلافي مشكلة الثقب، قمنا بإعادة نمذجة البلاطة بواسطة برنامج Abaqus بزيادة سماكتها إلى 145mm حسب الشرط الوارد في الكود الأمريكي واستخدام قضبان بقطر $\varphi=10\text{mm}$ ، أظهرت نتائج المحاكاة تحسناً ملحوظاً في الأداء حيث انخفضت قيم الانتقال وزادت مقاومة البلاطة للقص الثاقب.

دراسة مقارنة لأداء البلاطات الخرسانية ثنائية الاتجاه تحت أنظمة تسليح كاملة بالفولاذ و GFRP: وفق الكودين السوري والأمريكي ونمذجة FEM



الشكل 12: علاقة الحمل والانتقال الموافق لنتائج برنامج Abaqus في البلاطة المسلحة

بقضبان الفايبر عند $f'_c = 25\text{MPa}$

بزيادة السماكة تزداد قيمة العمق الفعال مما يزيد مقاومة الثقب ويقلل تركيز الإجهاد حول محيط تطبيق القوة، وبالتالي تحسين الأداء في مرحلة الخدمة من حيث الانحرافات والتشققات.

العلاقة المقترحة لتحديد السماكة اللازمة:

$$V_u \leq \phi * V_{cr} = \phi * 4 * \sqrt{f'_c} * b_0 * d$$

ومنها تستخرج قيمة d المطلوبة وبالتالي نحصل على قيمة السماكة الإجمالية للبلاطة.

$$h_{req} = d + c + \frac{\phi_{bar}}{2}$$

7- دراسة الجدوى الاقتصادية:

- أظهرت الحسابات أن الكلفة الأولية للبلاطة المسلحة بقضبان الفولاذ أقل بنسبة 9.69%. مقارنة بالبلاطة المسلحة بقضبان الألياف الزجاجية (GFRP)، وذلك ضمن نفس الشروط الهندسية، كما تبين أن زيادة سماكة البلاطة المسلحة بقضبان GFRP أدت إلى ارتفاع الكلفة بنسبة 45٪، وهو ما يعكس حساسية الكلفة الأولية تجاه التعديلات التصميمية.
- في المقابل، تشير دراسة منشورة من قبل شركة [13] (Unicomposite (2025) إلى أن استخدام GFRP يمكن أن يوفر ما يصل إلى 50٪ من الكلفة الكلية خلال دورة حياة المنشأ، هذا التناقض الظاهري يُفسر هندسياً من خلال التمييز بين الكلفة الأولية والكلفة الكلية طويلة الأمد.
- الكلفة التي حسبتها تمثل فقط كلفة التنفيذ المباشر (مواد، صب، تسليح)، بينما تحليل Unicomposite يشمل أيضاً:
 - كلفة الصيانة الدورية للفولاذ (إزالة الصدأ، إعادة الطلاء، إصلاح التشققات).
 - كلفة التعطل أو الإغلاق الجزئي للمنشأة أثناء الإصلاح.
 - كلفة إعادة التأهيل بعد التآكل في البيئات البحرية أو الصناعية.
- تُظهر الدراسة أن كلفة صيانة الفولاذ خلال 30-50 سنة في البيئات القاسية قد تصل إلى 25-40٪ من كلفة التنفيذ الأصلية، بينما لا تتطلب GFRP أي تدخلات صيانة مرتبطة بالتآكل، وبالتالي رغم أن GFRP يبدو أعلى كلفة في البداية، إلا أن تحليلات دورة الحياة تُظهر تفوقه الاقتصادي على المدى الطويل، خاصة في المنشآت ذات عمر استثماري ممتد أو في ظروف بيئية قاسية.

8 - الاستنتاجات Conclusions:

- عند تسليح البلاطة المدروسة بنسبة التسليح الدنيا في الاتجاه العرضي القصير حيث العزوم الأعظمية، وجد حسابياً أن البلاطة المسلحة بقضبان الألياف الزجاجية تتحمل حمولة

وعزم أكبر بمقدار 1.2% من البلاطة المسلحة بقضبان الفولاذ، ومع ذلك لم تصل البلاطة المسلحة بقضبان GFRP إلى هذه الحمولة في الواقع بسبب حدوث الثقب عند الحمولة 50KN، وذلك لأن سماكة البلاطة غير كافية.

• قيم السهوم في البلاطة المسلحة بقضبان الألياف الزجاجية أكبر من سهوم البلاطة المسلحة بقضبان الفولاذ بمقدار 27.3%، ويعزى ذلك إلى أن معامل مرونة GFRP أقل بحوالي 5 مرات من معامل مرونة الفولاذ.

• عند تسليح البلاطة بقضبان الألياف الزجاجية بنسبة تسليح تساوي نسبة التسليح التوازنية، يكون هناك احتمال أكبر لانتهيار البلاطة بالثقب لذا يجب أن تكون أكبر من هذه القيمة.

• أظهرت علاقات الكود السوري توافقاً نسبياً مع علاقات الكود الأمريكي لكن الأخير كان أكثر وضوحاً، فوجب التنويه إلى ضرورة إدخال معامل مرونة قضبان التسليح E كنطاق متغير عند حساب السهوم وفق الكود السوري وتطبيق معامل تعديل لتأثير الزمن.

• قورنت النتائج التجريبية بالحسابات التحليلية للمعايير الدولية، ونظراً لعدم تضمين التحليل التجريبي جميع المعاملات في التعبيرات الرياضية، كان من المتوقع أن تتفوق النتائج التجريبية على الحسابات التحليلية، وقد أثبتت نتائج هذه الدراسة ذلك بشكل صحيح.

9- التوصيات Recommendations:

• استناداً إلى النتائج التحليلية وجد أنه يجب اعتماد القص الثاقب شرط التحكم الأول في تصميم وتدقيق البلاطات المسلحة بقضبان الألياف الزجاجية تحت الأحمال المركزة على صفائح صغيرة، حيث يجب استهداف آلية الفشل مباشرة عبر تدابير محلية تشمل زيادة سماكة البلاطة أو السماكة حول منطقة التحميل.

• بناءً على النتائج التجريبية و النمذجة العددية، يُوصى باستخدام قضبان GFRP في تسليح البلاطات العاملة باتجاهين ضمن المنشآت المعرضة للرطوبة والبيئات الكيميائية، شريطة تعديل السماكة التصميمية بزيادتها بنسبة تتراوح بين 40-45%

عن البلاطات التقليدية عند استخدام الحد الأدنى من التسليح، وذلك لتعويض انخفاض مقاومة القص الثاقب الناتج عن ضعف الصلابة النسبية لقضبان GFRP مقارنة بالفولاذ.

- نظراً لما أظهرته التجربة من فشل موضعي في منطقة التحميل للبلاطة المسلحة بقضبان GFRP، يُوصى بدراسة تأثير تحسين التماسك بين الخرسانة وقضبان GFRP باستخدام تقنيات مثل تعديل سطح القضيبي (Sand Coating) أو استخدام إضافات معدّلة للخلطة الخرسانية، وذلك بهدف تقليل التشوهات الموضعية وزيادة مقاومة القص الثاقب.

: 10-المراجع References

- [1]. ACI 440.1R-15 (2015) - **Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced-Polymer (FRP) Bars.** American Concrete Institute, 88p.
- [2]. ALJAZAERI, Z et al (2020) – **Effectiveness of Using Carbon Fiber Grid Systems in Reinforced Two-Way Concrete Slab System.** ACI Structural Journal, Vol. 117, pp. 81–89 .
- [3]. ERFAN, A.M et al (2021) – **Flexural behavior of HSC one way slabs reinforced with basalt FRP bars.** Case Studies in Construction Materials, Vol. 14, pp. e00513.
- [4]. WANG, X et al (2020) – **Punching shear behavior of two-way coral-reef-sand concrete slab reinforced with BFRP composites.** Construction and Building Materials, Vol. 231, pp. 117113.
- [5]. BANTHIA, N et al (1995) – **Behavior of Concrete Slabs Reinforced with Fiber-Reinforced Plastic Grid.** Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 7, pp. 252–257.
- [6]. MICHALUK, C.R et al (1998) – **Flexural behavior of one-way concrete slabs reinforced by fiber reinforced plastic reinforcements.** ACI Structural Journal, Vol. 95, pp. 353–365.
- [7]. TAERWE, L (2014) – **Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures.** CRC Press, Boca Raton, FL, 2nd ed., 456p.

[8]. AHMED, E.A et al (2017) – **Case study: Design, construction, and performance of the la Chancelière parking garage’s concrete flat slabs reinforced with GFRP bars.** Journal of Composites for Construction, Vol. 21, pp. 1–9.

[9]. ADAM, M.A et al (2021) – **Structural behavior of high-strength concrete slabs reinforced with GFRP bars.** Polymers, Vol. 13(17), pp. 2997.

[10]. SHILL, S.K et al (2022) – **Performance of two-way concrete slabs reinforced with Basalt and carbon FRP Rebars.** Journal of Composites Science, Vol. 6(3), pp. 74.

[11]. JU, M et al (2018) – **Punching shear behavior of two-way concrete slabs reinforced with glass-fiber-Reinforced polymer (GFRP) bars.** Polymers, Vol. 10(8), pp. 893.

[12]. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI (2014) - **Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and commentary (ACI 318R-14).** Farmington Hills, Mich. ACI Committee 318.USA.

[13]. UNICOMPOSITE COMPOSITE MATERIALS CO. (2025) – **Fiberglass (GFRP) Rebar vs. Steel Rebar: Complete Guide to Performance,** Cost & Applications. Unicomposite Composite Materials Co., 2025.

(In Arabic)

[14]. **Syrian Code for Designing and Implementing Structures, Addition No.18 :** Fiber Reinforced Polymer Bars (2018). Syrian Engineers Syndicate, 102p.

[15]. Syrian Arab Code for design and implementation of structures with reinforced concrete (2012). Syrian Engineer Candidate, 404p.

[16]. MIHOUB, A.M., HESHM, M.H (2024) – An experimental and analytical study of the performance of concrete beams reinforced with glass fiber bars (GFRP). Journal of Homs University, Vol. 64, No. 2, Homs, 22p.

[17]. ALMOUSADDI, M.R., ALAMODI, S.A (2024) – Experimental Study on Deflection Due to Bending in Concrete Beams Reinforced by BFRP Bars. Journal of Homs University, Vol. 64, No. 2, Homs, 34p.