مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الهندسية والمعمارية

مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 48 . العدد 5

1448 هـ - 2026 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**

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	عضو هيئة التحرير

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 : 2138071 31 963 ++

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

. البريد الالكتروني : 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.
- **اذا كان الباحث طالب دراسات عليا:**

يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقته على النشر في المجلة.

- **اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:**

يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.

- **اذا 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.

- **اذا 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 17.5×25 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

ـ كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي ـ 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 وورد 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 ـ الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة ـ سنة النشر ـ وتتبعها معترضة (–) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة ـ دار النشر وتتبعها فاصلة ـ 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:

ـــ بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة ـــ المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة ـــ 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 الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .**
3. **دفع رسم نشر (200) مئتا 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

اسم البحث	اسم الباحث	الصفحة
تقييم دقة النماذج الارتفاعية الرقمية SRTM30m وAW3D30m باستخدام الطائرات المسيرة وتحليلها هيدرولوجياً	د. أحمد العمر	32-11
تقييم القص القاعدي لنماذج من خزانات المياه العالية البيتونية المسلحة بالاعتماد على معامل السلوك اللامرن R	رهام أبو بالا د. عصام ناصر د. بسام حويجة	56-33
البناء بطريقة مستدامة خلال الكوارث بحفز إعادة الإعمار المستدام	د.م. عصام حسن السماعيل	90-57
دراسة تغير خواص الانتفاخ والقص للترب الناعمة بعد خلطها مع المطاط	واصف هيثم كوسى د. محمد تقلا د. لينا كراكيت	108-91

تقييم دقة النماذج الارتفاعية الرقمية SRTM30m وAW3D30m باستخدام الطائرات المسيرة وتحليلها هيدرولوجياً

الملخص

تعتبر نماذج الارتفاع الرقمية التي تتيحها العديد من الأقمار الصناعية حول العالم ضرورة ملحة في معظم المشاريع. تختلف هذه النماذج من حيث دقتها الرأسية و كذلك دقة التحليلات المورفومترية التي تنتج عنها، وتتأثر هذه الدقة بعدد من العوامل مثل الطبيعة الطبوغرافية والغطاء الأرضي و غيرها من العوامل.

يهدف البحث إلى استخدام النماذج الارتفاعية عالية الدقة، الناتجة عن المسح التصويري باستخدام الطائرة دون طيار (المسيرة) لتقييم الدقة الرأسية لنموذجي ارتفاع رقميين عالميين هما SRTM30m و AW3D30m بدقة مكانية 30 متر، كما يهدف إلى تقييم هذين النموذجين الارتفاعيين إضافة إلى النموذج الارتفاعي الناتج باستخدام الطائرات المسيرة هيدرولوجياً من خلال مقارنة مواقع وكثافة المسيلات المائية المستنتجة منهما مع المسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية.

بينت نتائج المقارنة أن الارتفاعات المستنتجة من نموذج AW3D 30m لها أصغر خطأ متوسط تربيعي (2.14 م) علماً أن نموذجSRTM 30m أعطى أقل خطأ متوسط تربيعي (3.03م) في منطقة الارتفاعات العظمى، كما بينت الدراسة أن اكبر قيم للأخطاء في الارتفاعات كانت موجودة في مناطق الميول التي تزيد عن 20%. كانت قيمة معامل التوافق المكاني للمسيلات المائية المشتقة من نموذج الارتفاعات الرقمي الناتج عن مسح الطائرة المسيرة بالمقارنة مع المسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية هي الأعلى إذ بلغ معامل التوافق المكاني 0.20 تليها المسيلات المستنتجة من نموذج SRTM30m حيث بلغت قيمة معامل التوافق المكاني 0.16، و كانت المسيلات المستنتجة من مسح الدرون هي الأفضل من حيث كثافة المسيلات بأقل خطأ نسبي 2% تلها المسيلات المستنتجة من النموذج SRTM30m بخطأ نسبي 4%.

كلمات مفتاحية: نموذج الارتفاع الرقمي SRTM 30m ، نموذج الارتفاع الرقمي AW3D 30m ، الدقة الرأسية، المسيلات المائية، الطائرات المسيرة.

Drone-Based Accuracy Assessment and Hydrological Analysis of SRTM30m and AW3D30m Digital Elevation Models.

Abstract

Digital Elevation Models (DEMs) provided by various satellites worldwide are essential for most projects. These models vary in terms of vertical accuracy and the precision of the morphometric analyses they produce, with their accuracy influenced by factors such as topographic features, land cover, and other elements.

This research aims to utilize high-resolution DEMs, generated through photogrammetric surveys using unmanned aerial vehicles (UAVs), to evaluate the vertical accuracy of two global DEMs: SRTM30m and AW3D30m. Additionally, it seeks to assess the hydrological accuracy of these models, along with the UAV-derived DEM, by comparing the locations and density of streams derived from them against those digitized from a topographic map.

The comparison results indicated that the elevations derived from the AW3D30m model had the lowest Root Mean Square Error (RMSE) of 2.14 meters, while the SRTM30m model showed a lower RMSE of 3.03 meters in areas of maximum elevation. It is also found that the highest elevation errors were in areas with slopes exceeding 20%. The spatial concordance coefficient of the streams derived from the UAV-based DEM, when compared to the digitized streams from the topographic map, was the highest, with a coefficient of 0.20. This was followed by streams from the SRTM30m model, with a spatial concordance coefficient of 0.16. Moreover, the streams extracted from the drone survey demonstrated the highest density accuracy, with a relative error of 2%, followed by those from the SRTM30m model, which had a relative error of 4%.

Keywords: Digital Elevation Model (DEM), SRTM 30m, AW3D 30m, Vertical accuracy, Streams, Drones.

1 مقدمة:

أصبحت نماذج الارتفاع الرقمية التي تتعدد بمصادرها ودقاتها وطريقة قياسها أداة شائعة الاستخدام في مختلف أنواع الدراسات البيئية والهيدرولوجية وحتى تحديد مناطق التنمية، وأصبحت تعتبر بديلا

عن المسح الطبوغرافي خاصة في مناطق الدراسة ذات المساحات الكبيرة أو التي يصعب الوصول إليها كما أنها متاحة مجاناً مما يخفف من تكاليف العمل الطبوغرافي والوقت اللازم لإنجازه[1] .
لابد من تقييم دقة هذه النماذج الرقمية في كل بلد وتحديد النماذج الأنسب لاشتقاق المعالم المورفومترية التي تعبر عن شكل الأرض وخاصة تلك المرتبطة بالأحواض و المسيلات المائية، كالارتفاعات والميول والاتجاهات و اطوال المسيلات المائية و خصائصها الشكلية، وأيها الأنسب للتحليلات الهيدرولوجية التي تتضمن تحديد المسيلات المائية والأحواض الصبابة[2] .
في سورية تم إجراء العديد من الدراسات لتقييم دقة نماذج الارتفاعات الرقمية، مثل (Abdo,2015) [3] لتقييم دقة النموذج الارتفاعي ASTER 30m في استنتاج الخصائص المورفومترية لحوض المنطار في طرطوس بالمقارنة مع الطريقة التقليدية، حيث بين البحث مرونة وسرعة العمل باستخدام نماذج الارتفاعات الرقمية بالإضافة إلى دقة نتائج التحليل المروفومتري للشبكة النهرية. و كذلك (Alashkar,2018)[4] لتقييم دقة أربع نماذج ارتفاعية رقمية هي SRTM30m، وAW3D30m، و ASTERGDEM30m ، ونموذج HydroSHED90m في منطقتين مختلفتين في سورية هما حوض صدد ذو الطبيعة السهلية في معظم مساحته وحوض الأبرش ذو الطبوغرافية المتنوعة بين السهول والتلال والجبال، وذلك من خلال المقارنة مع الخرائط الطبوغرافية بمقياس50000/1، من حيث تمثيل الارتفاعات والميول، ومواقع المسيلات المائية، وخواص الأحواض الصبابة، حيث بينت نتائج البحث أن النموذجين AW3D30m وSRTM 30m هما الأكثر دقة في تمثيل الارتفاعات والمسيلات المائية والأحواض الصبابة في منطقتي الدراسة مقارنةً مع باقي النماذج المدروسة.

على الرغم من أن الدراسات التي تعمل عالمياً على المقارنة بين نماذج الارتفاعات الرقمية (DEMs) بالاستفادة من مخرجات المسح باستخدام الطائرات المسيرة قد التطوير، إلا أن هذا المجال البحثي يشهد نمواً متسارعاً في مجال التطبيقات الهيدرولوجية على وجه الخصوص، فهناك العديد من الأبحاث العلمية التي تناولت هذا الموضوع من جوانب متنوعة.[5] ، [6] ، [7].
لا توجد، حتى تاريخه، في سورية دراسات لتقييم دقة نماذج الارتفاع الرقمية العالمية بالاستعانة بمخرجات المسح باستخدام الطائرات المسيرة.

تم في هذا البحث الاستفادة من المسح الطبوغرافي باستخدام الطائرات المسيرة لمنطقة حسياء الصناعية بمساحة قدرها 2700 هكتار و بإجمالي عدد صور بلغ 47231 صورة رقمية و دقة مكانية تصل إلى 4.6 سم من أجل تقييم نموذجين رقميين أثبتا كفاءتهما في العديد من الدراسات في سورية وهما SRTM 30m و Aw3D30m ، و ذلك من خلال مقارنتهما مع النموذج الرقمي الناتج عن المسح الدقيق للطائرة المسيرة، كما تم تقييم دقة هذين النموذجين بالإضافة إلى النموذج الناتج من المسح باستخدام الطائرات المسيرة في التحليلات الهيدرولوجية من خلال مقارنتها مع المسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية بمقياس 1:50000.

2 هدف البحث:

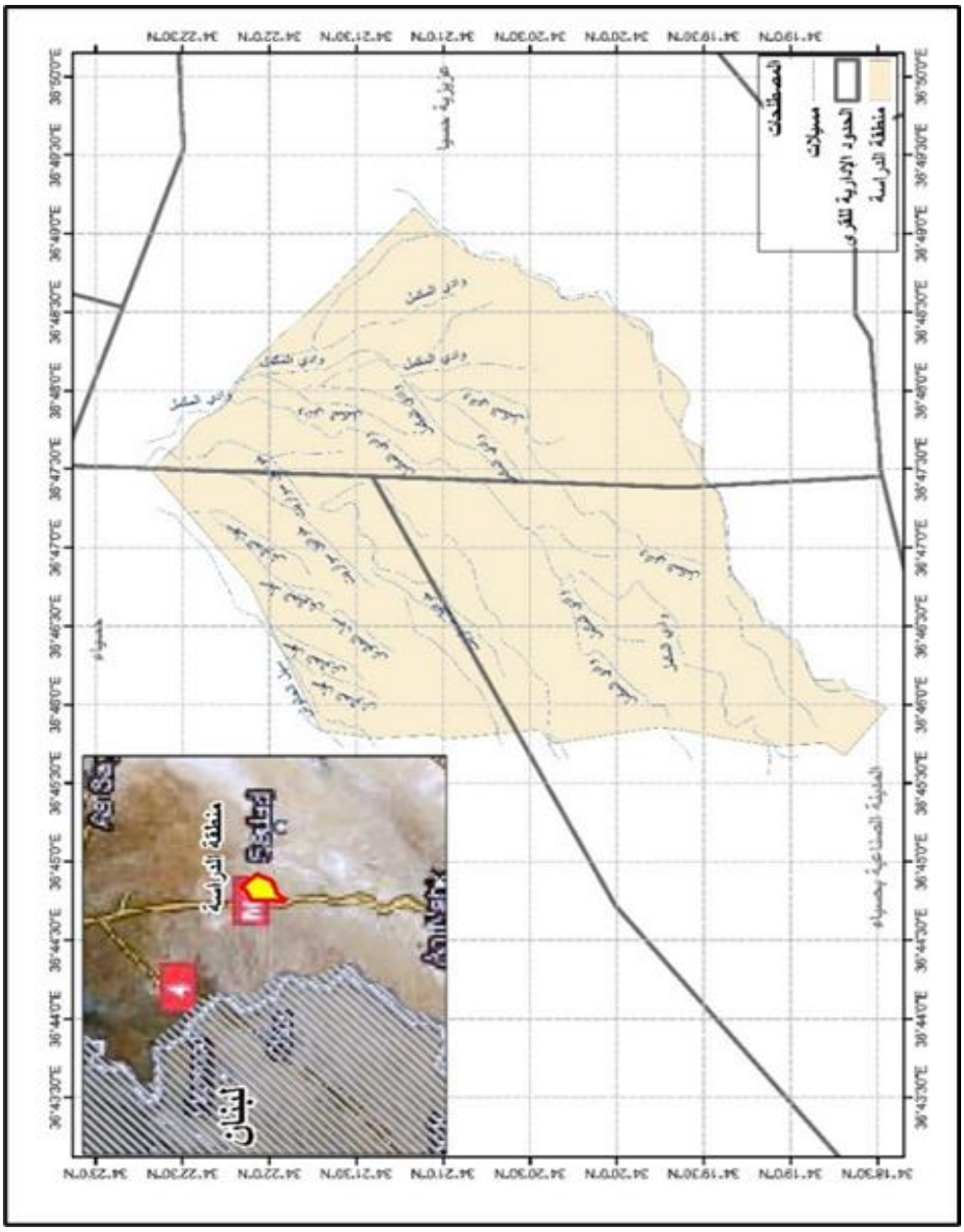
يهدف البحث إلى تقييم الدقة الرأسية لنموذجي ارتفاع رقميين شائعي الاستخدام واثبتا كفاءتهما في سورية، وهما SRTM30m و AW3D30m بالمقارنة مع نموذج ارتفاعات رقمي مبني بالمسح التصويري باستخدام الطائرات المسيرة في منطقة حسياء الصناعية، وكذلك تقييم فاعليتها في التحليلات الهيدرولوجية من حيث مواقع المسيلات وكثافتها لثلاثة نماذج ارتفاع رقمية هي SRTM30m و AW3D30m و النموذج الناتج عن مسح الطائرة المسيرة بالمقارنة مع المسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية.

3 أهمية البحث:

أصبحت النماذج الرقمية المتاحة مجاناً بدقة 30م من مصادر متعددة أداة هامة لدى الباحثين في مختلف المجالات الهندسية، غير أن هذه النماذج تختلف عن بعضها بحسب القمر الصنعي والمستشعرات المستخدمة والخوارزميات التي تم الاستناد عليها لتحليل البيانات واستنتاج نماذج الارتفاع الرقمية منها، لذا كان لابد من تقييم هذه النماذج في مناطق مختلفة لتحديد النماذج الأفضل بحسب الغاية من استخدامها سواء كان لاستنتاج الارتفاعات عن سطح البحر أو إجراء التحليلات الهيدرولوجية، وقد يكون هناك نموذج أفضل من الآخر لمنطقة معينة وتختلف الأفضلية باختلاف ظروف المنطقة الطبوغرافية والغطاء الأرضي بشكل أساسي.

4 منطقة الدراسة:

حيث أن المدينة الصناعية بحسياء لها أهميتها الاقتصادية، خصوصاً بعد عودة النشاط والتنمية إليها، ونظرا لتوفر مسوحات باستخدام الطائرات المسيرة بدقة حقيقية 4.6 سم لهذه المنطقة، فقد برزت أهمية تحديد تضاريس الأرض بدقة، وكذلك تقييم الوضع الهيدرولوجي والأحواض الصبابة لما له من دور في تحديد مناطق الجريان السطحي وقابلية الفيضان، لذلك كان من المهم تحديد



الشكل /1/: منطقة الدراسة

النماذج الرقمية الأنسب للاستخدام في هذه المنطقة من حيث دقتها الرأسية ودقة تحليلاتها الهيدرولوجية.

تقع منطقة الدراسة وسط الجمهورية العربية السورية. تبلغ مساحة المنطقة 27 كم2 و تتراوح ارتفاعاتها بين 840 م شمالاً و 1010 م عن سطح البحر. تضاريس المنطقة سهلية في معظمها حيث تبدأ شمالا بسهل الحالوش وتتعقد التضاريس باتجاه الجنوب و الجنوب الشرقي حيث تظهر مجموعة من الضهور أهمها ضهر شميس الحيات وضهر وادي المكمل ويحدها غرباً الطريق الدولي الواصل بين حمص و دمشق ويحدها من الشمال الغربي الطريق الواصل بين مدينة صدد ومدينة حسياء.

5 منهجية البحث و مواده:

5.1 البيانات المستخدمة في البحث:

تم استخدام ثلاثة نماذج ارتفاع رقمية للمقارنة هي:

5.1.1 نموذج الارتفاع الرقمي AW3D30m

نموذج AW3D هو اختصار ل ALOS World 3D 30 m mesh ،أتيح في العام 2016 من قبل وكالة استكشاف الفضاء اليابانية JAXA ، بدقة 30 متر للخلية الواحدة ،تم بناؤه من خلال المطابقة البصرية التصويرية التي تم الحصول عليها من الطيف الأحادي للمستشعر المحمول على القمر ALOS، وحددت دقته الشاقولية ب 2.08 متر كما تجدر الإشارة إلى أنها متوفرة بنظام الإسقاط الجغرافي العالمي WGS1984.[8]

5.1.2 نموذج الارتفاع الرقمي SRTM30m

نموذج SRTM هو اختصار لـــ Shuttle Radar Topography Mission ، أتيح هذا النموذج عام 2000 من قبل وكالة ناســـا الأمريكية، بدقة 30m للخلية الواحدة، يعتمد نظام الرادار، قدرت دقته الرأســـية المطلقة بأقل من 16m، وأبرز عيوبه صـــعوبة تمثيل ارتفاعات المناطق الوعرة شـــديدة الانحدار نظراً لتراكم أخطاء الظلال و التراكب و التقارب التي تســـبب فجوات في هذا النموذج. و هو متوفر بنظام الإسقاط الجغرافي العالمي WGS1984. [9]

5.1.3 نموذج الارتفاع الرقمي من المسح التصويري باستخدام الطائرات المسيرة:

يشكل نموذج الارتفاعات الرقمي إحدى مخرجات عملية معالجة الصور المستحوذة للمنطقة المدروسة باستخدام طائرة دون طيار .Phantom 4 Pro مزودة بآلة تصوير رقمية مدمجة دقة تمييزها 20 MP. بلغ عدد الصور الملتقطة لمنطقة الدراسة 47231 صورة رقمية تمت معالجتها باعتماد إحدى برمجيات الرؤية الحاسوبية Agisoft Metashape. بلغت دقته 4.6 سم، وهو يعتمد سطح البحر مرجعاً للارتفاعات و الإهليلج السوري Clarke 1880.

5.1.4 الخارطة الطبوغرافية 1:50000

استخدمت في هذا البحث المسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية ذات المقياس 1:50000 كبيانات مرجعية لمقارنة المسيلات المستنتجة من النماذج الارتفاعية الرقمية. أنجزت الخارطة الطبوغرافية 1:50000 من خلال العمل الحقلي والتصوير الجوي و مصدرها المؤسسة العامة للمساحة العسكرية. تتبع الخارطة المستخدمة نظام تربيع ميركاتور المعترض.

5.2 البرامج والأدوات المستخدمة في البحث:

استخدمت في هذا البحث البرامج والأدوات التالية:

1. برنامج Arc GIS10.8 (Geographic Information System).
2. الأداة HECgeoHMS 10.8 هو عبارة عن ملحق ل Arc GIS10.8 يتضمن مجموعة من الأدوات التي تساعد في إجراء التحليلات الهيدرولوجية [10].
3. أداة Map Downloader Google Earth Pro: تستخدم لتنزيل صور Google Earth .

5.3 مؤشرات التحليل الإحصائي:

تم استخدام المؤشرات الإحصائية التالية:

- القيمة العظمى Maximum value.
- القيمة الدنيا Minimum value.
- المتوسط الحسابي Mean value.
- الخطأ المتوسط التربيعي Root Mean Square Error (RMSE) وهو طريقة معتمدة من قبل USGS لتقييم دقة النماذج الارتفاعية.
- الانحراف المتوسط Mean Bias Deviation MBD.

- الخطأ النسبي MBD%.

وذلك باستخدام المعادلات التالية:[11]

$$M = N^{-1}\sum_{i=1}^{N} Y_i \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - x_i)^2}{N}} \quad (2)$$

$$MBD = \frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - x_i)}{N} \quad (3)$$

$$RMSE\% = 100 \times \frac{RMSE}{\overline{x_i}} \quad (4)$$

$$MBD\% = 100 \times \frac{MBD}{\overline{x_i}} \quad (5)$$

Yi: القيم المستقرأة من النماذج الارتفاعية.

Xi: القيم المستقرأة من النموذج المرجعي.

N: عدد النقاط المستخدمة في المقارنة.

$\overline{x_i}$: الفرق الأعظمي بين القيم المقاسة $\overline{x_i} = (xi)\max - (xi)min$

- معامل التوافق المكاني Kappa Index of Agreement (KIA)

يستخدم معامل التوافق Kappa لاختبار مدى التوافق أو عدم التوافق بين شريحتين نقطيتين (Raster)، وتقع قيمه في المجال [0 –1] والقيمة الأعلى تدل على توافق أكبر [12]، وتم استخدامه في هذا البحث لحساب مدى التوافق بين المسيلات المائية المستنتجة من النماذج الارتفاعية المختلفة والمسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية (المرجعية).

يستنتج معامل Kappa من مصفوفة الارتباك:

$$\begin{bmatrix} a_{01} & a_{00} \\ a_{11} & a_{10} \end{bmatrix}$$

حيث:

a_{00}: عدد النقاط المتوافقة التي لا تمثل مسيلات مائية في كلا النموذجين المقارنين.

a_{11}: عدد النقاط المتوافقة التي تمثل مسيلات مائية في كلا النموذجين اللذين تتم مقارنتهما

a_{01}:عدد النقاط غير المتوافقة التي تمثل مسيلات في النموذج المرجعي و لا تمثل مسيلاً مائيا في النموذج المقارن.

a_{10}: عدد النقاط غير المتوافقة التي لا تمثل مسيلا ت في النموذج المرجعي و تمثل مسيلات في النموذج المقارن.

يحسب معامل كابا بتطبيق المعادلة:

$$KIA = \frac{(OA - AC)}{(1 - AC)} \quad (6)$$

حيث:

OA: مدى التوافق (Observed Agreement).

AC: التوافق بالصدفة (Agreement by Chance).

$OA = \frac{\sum a_{11} + \sum a_{00}}{\sum a}$ حيث: (7)

$\sum a$: عدد النقاط التي تغطي منطقة الدراسة.

$$AC = \frac{((a_{00} + a_{10}) \times (a_{00} + a_{01})) + ((a_{01} + a_{11}) \times (a_{10} + a_{11}))}{a \times a} \quad (8)$$

كما يمكن حساب كل من الدقة (Accuracy) والموثوقية (Reliability) من مصفوفة الارتباك، حيث تعطيان بالمعادلتين التاليتين:

$$Accuracy = \frac{a_{10}}{a_{10} + a_{11}} \quad (9)$$

$$Reliability = \frac{a_{01}}{a_{01} + a_{11}} \quad (10)$$

تم استخدام الطرق الإحصائية أعلاه من اجل مقارنة المواصفات التالية:

- الدقة الرأسية.
- التوافق المكاني للمسيلات المائية.
- كثافة المسيلات المائية.

5.4 منهجية البحث:

5.4.1 توحيد نظم الإرجاع للنماذج المدروسة:

قبل إجراء المقارنة بين نماذج الارتفاعات الرقمية، تم تحويل نظم إحداثياتها إلى نظام إسقاط مركاتور المستعرض العالمي WGS_1984_UTM_Zone_37N المناسب لمنطقة الدراسة، و ذلك باستخدام وظائف نظم المعلومات الجغرافية GIS.

5.4.2 رقمنة المسيلات المائية من الخارطة الطبوغرافية:

تمت رقمنة المسيلات المائية من الخارطة الطبوغرافية مقياس 1:50000 وبعد ذلك تم تدقيقها واستكمالها من صور غوغل ايرث عالية الدقة. حيث تم تنزيل صور غوغل ايرث باستخدام الأداة Google Earth Pro Map Downloader.

5.4.3 بناء نموذج ارتفاع رقمي انطلاقا من المسح التصويري باستخدام الطائرة المسيرة:

تم بناء نموذج ارتفاع رقمي انطلاقاً من استخدام خطوط التسوية (Contour Lines) للأرض الطبيعية، المستنتجة من المسح التصويري باستخدام الطائرة المسيرة بتباعد قدره 1 متر ومن ثم تم رفع حجم الخلية إلى 30 متر من خلال معالجتها ضمن ArcMap GIS 8.1 للحصول على نموذج ارتفاع رقمي DEM قابل للمقارنة مع نماذج الارتفاع الرقمية الأخرى وبنفس حجم الخلية بنظام إسقاط WGS_1984_UTM_Zone_37N.

توليد شبكة المسيلات المائية:

تم استخدام الأداة HECgeoHMS 10.8 للتحليلات الهيدرولوجية لثلاثة نماذج ارتفاع رقمية هي SRTM30m و AW3D 30m و النموذج الرقمي المستنتج من مسح الطائرة المسيرة ، حيث تم استنتاج الأحواض الصبابة والمسيلات المائية وفقاً للخطوات التالية: ملء الفجوات(Fill Sinks) ، تحديد اتجاهات الجريانات (Flow Direction) ، تعيين التدفق التراكمي(Flow Accumulation)، تحديد المسيلات المائية (Stream Definition) عند عتبة 140 خلية على الأقل لتحديد مسيل مائي، تقطيع المسيلات (Stream Segmentation)، استنتاج شبكة الأحواض الصبابة (Catchment Grid Delineation)، رسم المضلعات التي تحدد الأحواض الصبابة (Catchment Polygon Processing)، توليد خطوط المسيلات المائية (Drainage Line Processing)، توليد الأحواض الصبابة (Adjoint Catchment Processing).

5.4.4 مقارنة الدقة الرأسية:

تمت مقارنة الدقة الراسية لنموذجي الارتفاع الرقميين SRTM 30m و AW3D 30m، باعتبار بيانات نموذج الارتفاع الرقمي الناتج عن مسح الطائرة المسيرة كبيانات مرجعية. تمت مقارنة القيم العظمى والقيم الصغرى ومتوسط الارتفاع وتم حساب الخطأ المطلق وحساب الخطأ المتوسط التربيعي في قيم الارتفاعات المستنتجة من النماذج الارتفاعية الرقمية بالمقارنة مع القيم المرجعية المشتقة من مسح الطائرة المسيرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وفق الخطوات التالية:

- باستخدام Raster calculator يتم حساب شريحة الفروقات بين النماذج المدروسة والارتفاعات المرجعية والتي تحدد بالمعادلة:

$$sdiff = Square(\text{'obs'} - \text{'pred'}) \quad (11)$$

- استنتاج الشريحة النقطية التي تعبر عن قيم الخطأ المتوسط التربيعي بتطبيق المعادلة التالية من خلال نافذة Raster Calculator:

$$RSME = Square\ Root\ (Focal\ Statistics\ (sdiff, NbrRectangle\ (3,3, CELL)\ "MEAN", "")) \quad (12)$$

حيث:

Obs: القيم المرجعية (ارتفاعات النموذج الرقمي المستنتج من مسح الطائرة المسيرة).

Pred: القيم المقارنة (قيم نماذج الارتفاع الرقمية).

5.4.5 مقارنة التوافق المكاني للمسيلات المائية:

تمت مقارنة التوافق المكاني بين المسيلات المستنتجة من النماذج الارتفاعية AW3D30m و SRTM 30m والنموذج الارتفاعي المستنتج من المسح التصويري باستخدام الدرون مع المسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية بمقياس 1:50000، حيث تم حساب Kappa ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية من خلال اتباع الخطوات التالية:

- توليد عدد من النقاط العشوائية من خلال وظيفة:

Create Accuracy Assessment Points

- توليد مصفوفة الارتياب(Compute Confusion Matrix).

تُعد مصفوفة الارتياب أداة أساسية لتقييم دقة النماذج الهيدرولوجية. تمثل عناصر المصفوفة حالات التوقع الصحيح والخاطئ للنموذج. تساعد هذه الأداة في تحليل أداء النماذج من خلال تحديد

الأخطاء، سواء كانت إنذارات كاذبة أو حالات فائتة. كما تُستخدم لحساب مؤشرات الدقة (Accuracy) و الموثوقية (Reliability).

5.4.6 مقارنة كثافة المسيلات المائية:

وهي واحدة من أهم الخواص المورفومترية التي تعرف بمعدل طول المسيلات المائية في وحدة المساحة ويمكن الحصول عليها من خلال معادلة هورتون [13]:

$$D_a = \frac{\sum L}{A} \qquad (13)$$

حيث:

D : كثافة أطوال المسيلات المائية km/km^2 ، Σ L: مجموع أطوال المسيلات المائية km ، A: مساحة الحوض km^2.

6 المناقشة و التحليل:

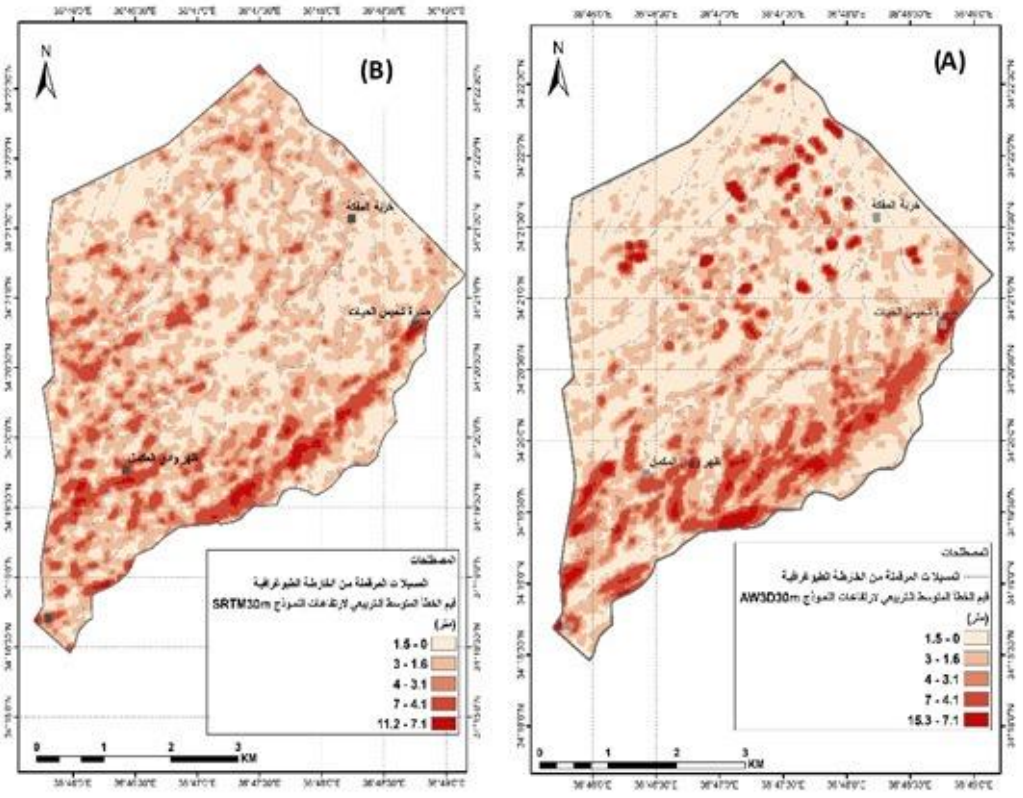
6.1 تقييم الدقة الرأسية:

يبين الجدول رقم /1/ أن الخطأ المطلق في متوسط الارتفاعات كان أقل ما يمكن في نموذج AW3D ومقداره 0.21 م أما في نموذج SRTM فقد بلغ 1.24 متر كذلك تفوق نموذج AW3D في الارتفاعات الدنيا للمنطقة بأقل خطأ مطلق ويعزى ذلك إلى أن نموذجSRTM يعتمد على الرادار، حيث أنه من المعروف أن قراءات الرادار للارتفاعات في المناطق الجرداء تكون أخفض من الارتفاعات الحقيقية بسبب ضعف موجة الرادار المرتدة عن مثل هذه المناطق أما في مناطق الارتفاعات العظمى فيلاحظ أن اقل خطأ مطلق كان لنموذج SRTM بمقدار 3.03 م. بمقارنة الخطأ المتوسط التربيعي للارتفاعات الذي تم حسابه لكل من هذه المناطق من النماذج الارتفاعية المدروسة بالمقارنة مع ارتفاعات المسح بالطائرة المسيرة تبين أن قيم الخطأ المتوسط التربيعي كانت متقاربة بين النموذجين حيث كان أقل خطأ لنموذج AW3D بمقدار 2.14 م يليه نموذج SRTM بمقدار 2.20 م.

يبين الشكل (2) التوزع المكاني لقيم الخطأ المتوسط التربيعي في قيم ارتفاعات كلا النموذجين الرقميين AW3D30m وSRTM30m بالمقارنة مع قيم الارتفاع المرجعية المشتقة من مسح الطائرة المسيرة.

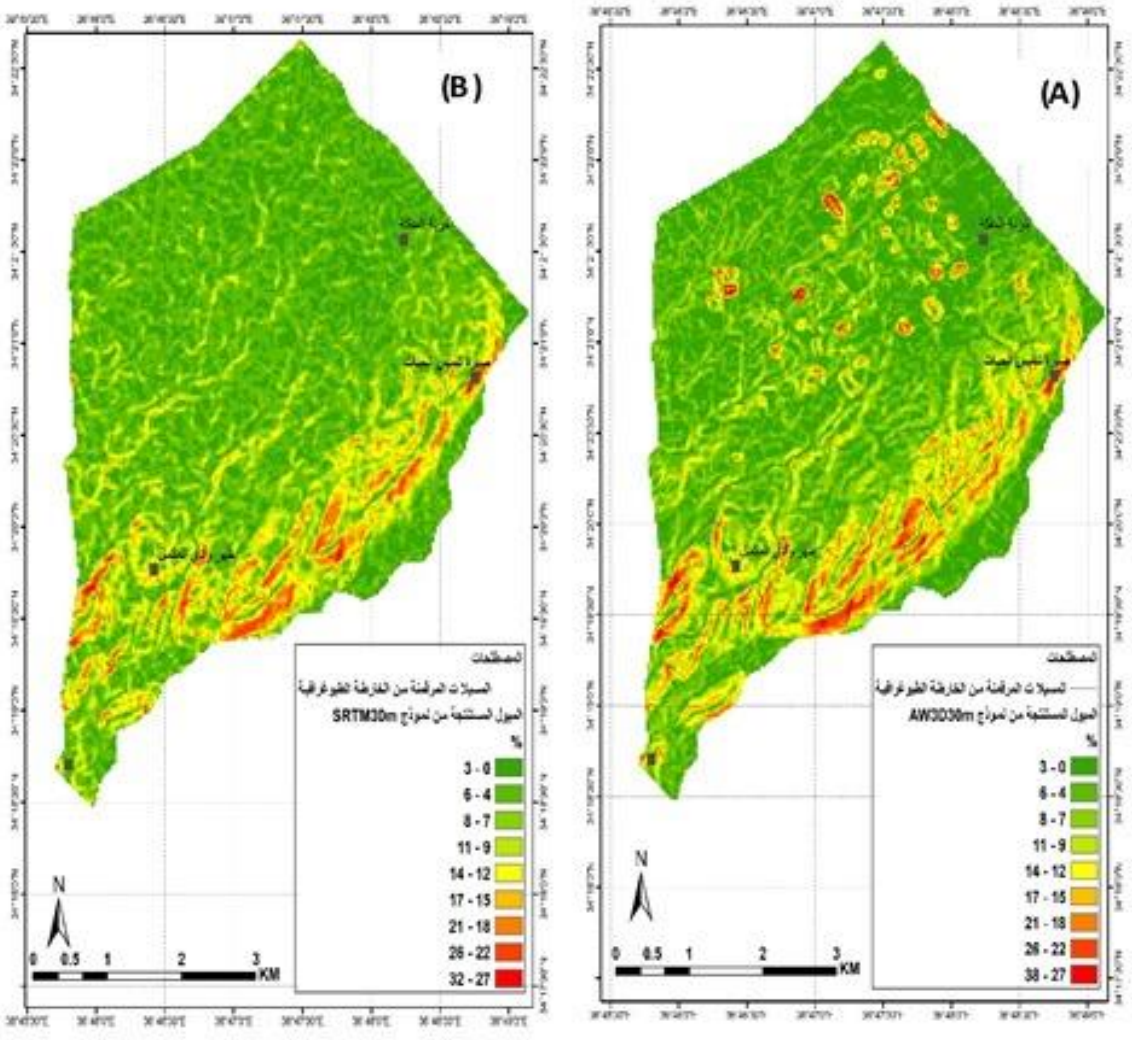
جدول /1/ قيم الخطأ المطلق و الخطأ المتوسط التربيعي للارتفاعات المحسوبة من النماذج الارتفاعية SRTM و AW3D بالمقارنة مع نموذج الدرون الارتفاعي.

النموذج الارتفاعي (DEM)	متوسط الارتفاع (m)		القيم الدنيا للارتفاعات (m)		القيم العظمى للارتفاعات (m)		RMSE) (m)
	الارتفاع	الخطأ المطلق	الارتفاع	الخطأ المطلق	القيمة العظمى	الخطأ المطلق	
Drone DEM	910.07	-	831.77	-	1012.97	-	-
AW3D30	910.23	0.21	831.00	0.77	1023.00	10.03	2.14
SRTM30m	908.77	1.24	825.00	6.77	1016.00	3.03	2.20



الشكل /2/: خريطة التوزع المكاني للخطأ المتوسط التربيعي في قيم الارتفاعات المستنتجة من النماذج الارتفاعية الرقمية بالمقارنة مع ارتفاعات مسح الطائرات المسيرة. A: النموذج AW3D30m، B: النموذج SRTM30m.

يوضح الشكل (3) قيم الميول، وبالمقارنة البصرية مع الشكل (2) يتبين أن هناك علاقة طردية بين قيم الخطأ المتوسط التربيعي وقيم الميول حيث تتركز أكبر أخطاء الارتفاعات في مناطق الميول التي تزيد عن 20% والمتركزة جنوب غرب منطقة الدراسة.

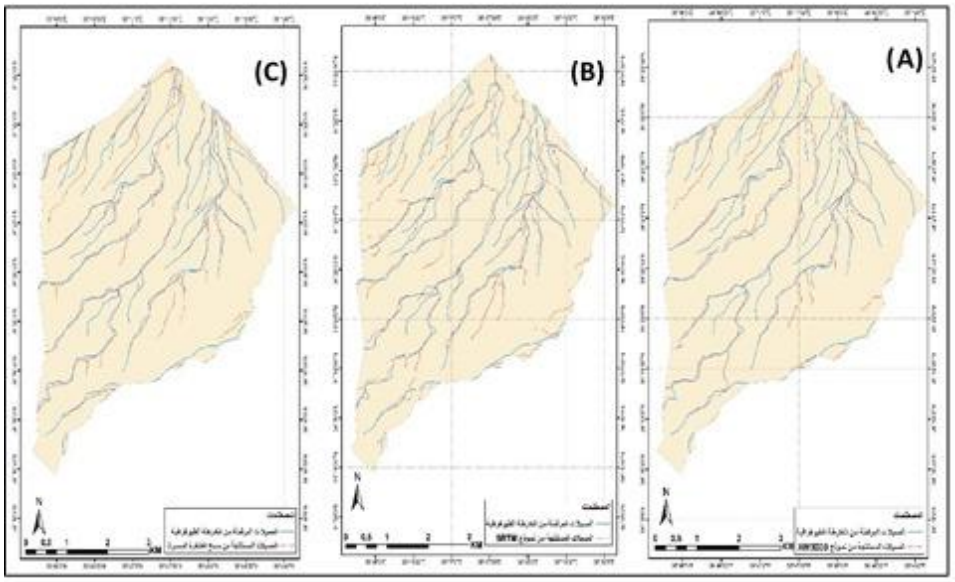


الشكل /3/: خريطة الميل المستنتجة من النماذج الارتفاعية الرقمية. A: النموذج AW3D30m، B: النموذج SRTM30m.

6.2 مقارنة خصائص شبكة المسيلات المائية:

6.2.1 مقارنة التوافق المكاني:

تبين المقارنة البصـــرية الأولية بين المســـيلات المســـتنتجة من النماذج الارتفاعية المدروســـة والمسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية، أن المسيلات المستنتجة من مسح الطائرة المسيرة هي الأكثر توافقاً وتبين الأشـكال (4-A, 4-B, 4-C) شـبكات المسـيلات المائية المسـتنتجة من النماذج الارتفاعية الرقمية بالمقارنة مع المسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية.



الشكل /4/: خريطة التوافق المكاني بين المسيلات المرجعية المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية و كل من: A: المسيلات المستنتجة من النموذج AW3D30m، B: المسيلات المستنتجة من النموذج SRTM30m ، C: المسيلات المستنتجة من نموذج الطائرة المسيرة.

بتطبيق المعادلات (6 ، 7 ، 8، 9، 10) تم حســـاب معامل التوافق المكاني kappa، حيث توضـح الجداول (2,3,4,5) قيم معامل التوافق المكاني Kappa بين المسـيلات المسـتنتجة من النماذج الارتفاعية الثلاثة والمسـيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية وتبين أن التوافق المكاني عموما ضعيف و لم يتجاوز 0.2 في المسيلات المستنتجة من المسح باستخدام الطائرات المسيرة (الدرون) والتي كانت الأكثر توافقاً تليها المســـيلات المســـتنتجة من النموذج SRTM .ويعزى

التوافق المكاني الضـــعيف إلى أن تحديد المســـيلات المائية من خلال نماذج الارتفاع الرقمية يحتمل الكثير من الأخطاء وبخاصة في المناطق السهلية كمنطقة الدراسة حيث لا يتجاوز عرض المسيل المائي 30 متر أي ما يعادل خلية واحدة من خلايا نموذج الارتفاع الرقمي.

جدول /2/ مصفوفة الارتباك الخاصة بالمسيلات المستنتجة من نموذج AW3D30m بالمقارنة مع المسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية في منطقة حسياء.

المسيلات المستنتجة من النموذج AW3D30m		المسيلات المرجعية		
		لا مسيلات	مسيلات	الموثوقية
لا مسيلات		944	56	94%
مسيلات		784	216	26%
الدقة		55%	79%	KIA=0.16

جدول /3/ مصفوفة الارتباك الخاصة بالمسيلات المستنتجة من نموذج SRTM 30m بالمقارنة مع المسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية في منطقة حسياء.

المسيلات المستنتجة من النموذج SRTM 30m		المسيلات المرجعية		
		لا مسيلات	مسيلات	الموثوقية
لا مسيلات		921	79	92%
مسيلات		747	253	25%
الدقة		55%	76%	KIA=0.17

جدول /4/ مصفوفة الارتباك الخاصة بالمسيلات المستنتجة من مسح الدرون بالمقارنة مع المسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية في منطقة حسياء.

		المسيلات المرجعية		
		لا مسيلات	مسيلات	الموثوقية
المسيلات المستنتجة من مسح الطائرة المسيرة	لا مسيلات	943	57	94%
	مسيلات	740	260	26%
	الدقة	56%	82%	KIA=0.20

جدول /5/ ملخص قيم معامل التوافق المكاني للمسيلات المائية المستنتجة من النماذج الارتفاعية المدروسة.

النموذج الارتفاعي المدروس	معامل التوافق المكاني (KIA)
SRTM 30m	0.17
AW3D30m	0.16
Drone DEM	0.20

6.2.2 مقارنة كثافة شبكة المسيلات المائية:

يبين الجدول رقم (6) أن المسيلات المستنتجة من النماذج الارتفاعية الثلاثة كانت أقل كثافة من المسيلات المرقمنة ويمكن أن يعزى ذلك إلى التطور العمراني والتنمية في المنطقة والتي تجاوزت حرم العديد من المسيلات في المنطقة وكذلك طبيعة المنطقة السهلية التي تجعل من الصعب تمييز المسيلات المائية من النماذج الارتفاعية، بينما تزداد دقة المسيلات المحددة بالعمل الحقلي في الخارطة الطبوغرافية في المناطق السهلية التي يمكن الوصول إليها بسهولة. وتراوح الخطأ النسبي لشبكة المسيلات المستنتجة من 2% في نماذج مسح الطائرات المسيرة إلى 22% في

النموذج AW3D حيث كانت المسيلات المستنتجة من نموذج مسح الطائرة المسيرة هي الأكثر دقة وهو أمر منطقي كونها ذات دقة مكانية عالية جدا بالنسبة للنموذجين الرقميين المدروسين.

جدول /6/ قيم الخطأ النسبي في كثافة المسيلات المائية المستنتجة من النماذج الارتفاعية المدروسة بالمقارنة مع المسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية.

	مساحة منطقة الدراسة ($كم^2$)	مجموع أطوال المسيلات(كم)	كثافة شبكة المسيلات(كم/$كم^2$)	الخطأ النسبي%
المسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية	23.36	73.71	3.15	
المسيلات المستنتجة من AW3D30m		57.67	2.47	−22
المسيلات المستنتجة من SRTM30m		71.05	3.04	−4
المسيلات المستنتجة من مسح الطائرة المسيرة		71.94	3.08	−2

7 النتائج والتوصيات:

بينت نتائج الدراسة والتحليل الإحصائي للنماذج الارتفاع الرقمية المدروسة ما يلي:

1- اعتماد النموذج AW3D 30m كأفضل نموذج يمثل ارتفاعات الأرض في المناطق السهلية وذات الميول الخفيفة و الغطاء النباتي الخفيف.

2- اعتماد النموذج SRTM30mهي الأكثر توافقاً مع ارتفاعات مسح الطائرة المسيرة في المناطق الجبلية شديدة الميول.

3- تزداد قيمة أخطاء ارتفاعات النماذج الرقمية في المناطق شديدة الميول ويوصى في مثل هذه الحالات بتحسين نماذج الارتفاع الرقمية من خلال دمج بياناتها الارتفاعية مع بيانات ارتفاعات مقاسة للمنطقة سواء كانت رفع طبوغرافي أو خرائط طبوغرافية مرقمنة ومن ثم إعادة بناء نموذج ارتفاعي جديد معدل بقيم مقاسة على الأرض.

4- المسيلات المائية المستنتجة من نماذج الارتفاع الرقمية عموما تكون ذات توافق مكاني ضعيف ، ولذلك يوصى دائما بإعادة تدقيق مواقع المسيلات المائية المستنتجة من النماذج الارتفاعية الرقمية باختلاف أنواعها و خاصة في المناطق السهلية التي لا تنطوي على تباين كاف في الارتفاعات و بالتالي يصبح تمييز مسارات المسيلات المائية مهمة صعبة من خلال نماذج الارتفاع ذات الدقة المكانية 30 متر، ويتم تدقيقها إما مع المسيلات المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية أو الصور الفضائية العالية الدقة المتوفرة على منصات عديدة مثل غوغل ايرث وغيرها .

5- إن كثافة المسيلات المستنتجة من مسح الطائرة المسيرة ومن نموذج SRTM30m كانت ذات دقة جيدة بينما كانت الأخطاء كبيرة في نموذج AW3D30m حيث كانت كثافة المسيلات المستنتجة منه هي الأقل . ولابد من الإشارة إلى أن اختيار عتبة استنتاج المسيلات المائية في أداة HecgeoHMS تلعب الدور الأساسي في كثافة شبكة المسيلات المستنتجة، وإن تغيير هذه العتبة يمكن ان يغير النتائج بشكل كلي ، لذلك يوصى بتجربة أكثر من عتبة لاستنتاج المسيلات من نماذج الارتفاع الرقمية واختيار العتبة التي تعطي مسيلات بكثافة أقرب إلى المسيلات المرجعية المرقمنة من الخارطة الطبوغرافية او من الصور الفضائية عالية الدقة حتى تكون الأخطاء بالحد الأدنى.

8 المراجع:

1. Kennedy, M., 2006. Introducing geographic information systems with ArcGIS. John Wiley & Sons.
2. Jothimani M, Dawit Z, Mulualem W (2020) Flood Susceptibility model-ing of Megech River Catchment, Lake Tana Basin, North WesternEthiopia, using morphometric analysis. Earth Syst Environ. https://doi.org/10.1007/s41748-020-00173-7
3. حازم عبدو، و جولييت سلوم، 2015. فعالية استخدام نموذج الارتفاع الرقمي في التحليل المورفومتري للشبكة النهرية في حوض المنطار Tishreen University Journal-Arts and Humanities Sciences Series, 37(4).
4. الأشقر .هيام، 2018 . تقييم النماذج الارتفاعية الرقمية بمقاييس مختلفة، مع الخرائط الطبوغرافية، في مجال الدراسات المائية في سورية. رسالة ماجستير. جامعة دمشق.قسم الطبوغرافيا.
5. Brandimarte et al. "Testing UAV-derived topography for hydraulic modelling in a tropical environment" , Natural Hazards, 2020.
6. "Drone-Based Imagery in Hydrological Science", ArcGIS Story Maps, 2023
7. Allotey et al., "UAV-borne, LiDAR-based elevation modelling: a method for improving urban flood assessments", Natural Hazards, 2022
8. Tadono, T., Takaku, J., Tsutsui, K., Oda, F. and Nagai, H., 2015, July. Status of "ALOS World 3D (AW3D)" global DSM generation. In 2015 IEEE international geoscience and remote sensing symposium (IGARSS) (pp. 3822-3825). IEEE.
9. Mission, S.R.T., SRTM. sf). Spatial Information. https://srtm. csi. cgiar. org/srtmdata.
10. CEIWR-HEC; HEC-HMS. Hydrological Modeling System: Application Guide; US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center: Davis, CA, USA, 2017; pp. 3.1–3.19.
11. Willmott Cort J. "Some Comments on the Evaluation of Model Performance", Bulletin of the American Meteorological Society, 1982.
12. Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, 37(1), 35–46.

13. Horton, R. E., (1945)"Erosional development of streams and their drainage basins:Hydrological approach to quantitative morphology", Geological Society of America Bulletin. 5

تقييم القص القاعدي لنماذج من خزانات المياه العالية البيتونية المسلحة بالاعتماد على معامل السلوك اللامرن R

الدكتور عصام ناصر1
الدكتور بسام حويجة2
رهام ابوبالا3

ملخص

يعد القص القاعدي أساساً في عملية التصميم الإنشائي الزلزالي للمنشآت، ويحسب كنسبة من وزن المنشأ، ويعتمد التصميم الزلزالي للمنشآت على سلوكها اللامرن وقدرتها على تبديد الطاقة الزلزالية، وبهذا السياق يستخدم معامل السلوك اللامرن R الذي يعكس قدرة المنشأ على تخفيض القوى الزلزالية التصميمية بما يحقق تصميم آمن وتكلفة اقتصادية مناسبة لاسيما خزانات المياه العالية نظراً لأهمية استمرار وظيفتها بتخزين مياه الشرب أو الإطفاء بعد حدوث الزلزال.

يتناول البحث دراسة تحليلية لمجموعة نماذج خزانات مياه عالية من البيتون المسلح ذات أحواض دائرية سعتها $(200\ ,100)\ m^3$ وهيكلها الحامل إطاري واسطواني. حيث قمنا بتحديد قيم المعامل R وفق مبدأ الطاقة وأجرينا تحليل لاخطي للنماذج باستخدام برنامج ABAQUS مع نمذجة الماء وفق طريقة Housner بهدف الحصول على القص القاعدي ومقارنة القص الناتج مع قيم القص الموافقة لقيم R الواردة في الكود العربي السوري.

أظهرت الدراسة تباين الأمان باستخدام القص القاعدي للخزانات مع قيم المعامل R المُقدمة في الملحق (7) للكود العربي السوري، وضرورة إعادة التقييم لهذه القيم لما أبدته النماذج المدروسة من سلوك ضعيف تحت تأثير الحمل الزلزالي تَمثّل بتضرر البيتون وزيادة الضرر بزيادة الشدة الزلزالية.

الكلمات المفتاحية: القص القاعدي– معامل السلوك اللامرن– خزانات مياه عالية – تحليل لاخطي – نموذج هوسنر.

1 أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية – الهندسة المدنية – جامعة اللاذقية – اللاذقية – سورية.
2 أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية – الهندسة المدنية – جامعة اللاذقية – اللاذقية – سورية.
3 طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الإنشائية – الهندسة المدنية – جامعة اللاذقية – اللاذقية – سورية.

Evaluation of Base Shear for RC Elevated Water Tanks Models Based on the Inelastic Behavior Factor R

Dr.Issam Nasser 1
Dr.Bassam Hweijeh 2
Reham abobala 3

Abstract

Base shear is considered a fundamental parameter in seismic structural design process, and it is calculated as a proportion of the structural weight. Seismic design of structures depends on their ductile behavior and their ability to dissipate seismic energy.

In this context the behavior (response modification) factor R is used, reflecting the structure's capacity to reduce seismic forces. This enables achieving a safe and economical design, particularly for elevated water tanks, given the importance of maintaining their function of storing drinking or fire-extinguishing water after an earthquake.

This study presents an analytical investigation of a set of models of reinforced concrete water tanks with circular basins, having capacities of (100,200) m^3, supported on frame and cylindrical staging systems. The values of the factor R were determined based on the energy principle. Nonlinear analyses were carried out using the ABAQUS software, taking into account fluid – structure interaction according to Housner's method. The objective was to obtain the base shear and compare the resulting shear values with the permissible limits of R specified in the Syrian Arab Code.

The study demonstrated that using base shear for tanks, together with the values of the factor R specified in Appendix (7) of the Syrian Arab Code, leads to conservative estimates. It also highlighted the necessity of re-evaluation these values, as the studied models exhibited weak behavior under seismic loading, characterized by brittle failure of the concrete and an increase in damage with increasing earthquake intensity.

Keywords: Base Shear- Inelastic Behavior Factor - Elevated water Tanks – Nonlinear Analysis – Housner Model.

1 Professor- Department of Structural Engineering - Civil Engineering - University of Latakia – Latakia - Syria.
2 Professor- Department of Structural Engineering - Civil Engineering - University of Latakia – Latakia -Syria.
3 Postgarduat Student- Department of Structural Engineering- Civil Engineering- University of Latakia- Latakia – Syria.

جدول(1) الرموز ودلالاتها:

الرمز	دلالته
$(A_h)_i$	معامل زلزالي أفقي تصميمي للمركبة النبضية
m_i	الكتلة النبضية للسائل
m_s	كتلة الحوض وثلث كتلة الهيكل الحامل للخزان
$(A_h)_c$	معامل زلزالي أفقي تصميمي للكتلة الاضطرابية
m_c	الكتلة الاضطرابية للسائل
Z	معامل المنطقة الزلزالية
I	معامل أهمية المنشأ
$\frac{S_a}{g}$	المعامل المتوسط لتسارع الاستجابة
R	معامل السلوك اللامرن
Ω_0	معامل المقاومة الزائدة
R_μ	معامل تخفيض المطاوعة
V_e	القص القاعدي المرن الأعظمي
V_y	القص القاعدي عند الخضوع
μ	معامل المطاوعة
Δ_{max}	الانتقال الجانبي الأعظمي لأعلى المنشأ
Δ_y	الانتقال الجانبي الموافق لقص الخضوع
R_S	معامل السلوك للمقاومة الإنشائية
R_ξ	معامل السلوك للتخامد
R_R	معامل درجة عدم التقرير
PGA_u	التسارع الأعظمي الموافق لحد الانهيار للمنشأ
PGA_y	التسارع الأعظمي الموافق لحد الخضوع
E_h	الطاقة الهيستيرية (اللدنة)
E_s	الطاقة المرنة
$\overline{\sigma_t}$	إجهاد الشد المسموح في البيتون
$f_c^/$	المقاومة المميزة للبيتون

إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح	f_y
الإجهاد المسموح في فولاذ التسليح	$\overline{\sigma_S}$
مساحة فولاذ التسليح	A_S
قوة الشد المحورية	N_t
إجهاد الشد في البيتون	σ_{ct}
عزم الانعطاف	M
الارتفاع الفعال للمقطع	d
كتلة الماء	m
القطر الداخلي لحوض الخزان	D
ارتفاع الماء في حوض الخزان	h
ارتفاع الكتلة النبضية عن قاع حوض الخزان	h_i
ارتفاع الكتلة الاضطرابية عن قاع حوض الخزان	h_c

1. المقدمة:

إن التصميم الإنشائي للمنشآت المقاومة للزلازل يعتمد على القص القاعدي، فهو يمثل محصلة القوى الأفقية الناتجة عن الحمل الزلزالي عند قاعدة المنشأ، وتكتسب خزانات المياه العالية أهمية خاصة نظراً لطبيعتها الديناميكية المركبة الناتجة عن تفاعل السائل مع المنشأ مما يؤثر على خصائص الاستجابة الزلزالية مقارنة بالمنشآت الأخرى. تستخدم نماذج مبسطة لمحاكاة حركة المياه ضمن حوض الخزان ويعد نموذج (HOUSNER،1963) أقدمها وأكثرها شيوعاً واستُخدم في دراسات عديدة منها (موسى،2016) و(الضايع،2024) حيث يُقسم كتلة المياه إلى كتلتين سفلية وتسمى الكتلة النبضية أو الدفعية (Implusive Mass) ذات اتصال صلب مع جدران الخزان والعلوية وتسمى الكتلة الاضطرابية أو الانتشارية (Convective Mass) ذات اتصال نابضي مع جدارن حوض الخزان، قدَّم الكود الأوروبي (EN1998, 2006) جدولاً يمكن من خلاله حساب هذه الكتل بالاعتماد على ارتفاع الشريحة المائية h ونصف القطر الداخلي للحوض R وعَرض (2022،الملحق (7) للكود العربي السوري) علاقات تربط كتلتي الماء في الحوض بأبعاد مقطع الحوض الدائري والمستطيل وارتفاع الشريحة المائية ضمنه.

نصّت الإرشادات (IITK-GSDMA,2007) على حساب مركبتي القص للكتلتين النبضية V_i والاضطرابية V_c وفق المعادلات التالية:

$$V_i = (A_h)_i * (m_i + m_s)\, g \qquad (1)$$

$$V_c = (A_h)_c * m_c\, g \qquad (2)$$

فيكون القص الكلي على الخزان :

$$V = \sqrt{{V_i}^2 + {V_c}^2} \qquad (3)$$

ويحسب المعامل الزلزالي وفق العلاقة (4)

$$A_h = \frac{Z}{2}\,\frac{I}{R}\,\frac{S_a}{g}$$

التالية:

ويحسب معامل السلوك اللامرن R من علاقة الكود (UBC،97) كما يلي:

$$R = \Omega_0 * R_\mu \qquad (5)$$

Ω_0 : معامل المقاومة الزائدة (Over Strength Factor)، يخفض قص الخضوع إلى قص تصميمي وفق الصيغة:

$$\Omega_0 = \frac{V_y}{V_d} \qquad (6)$$

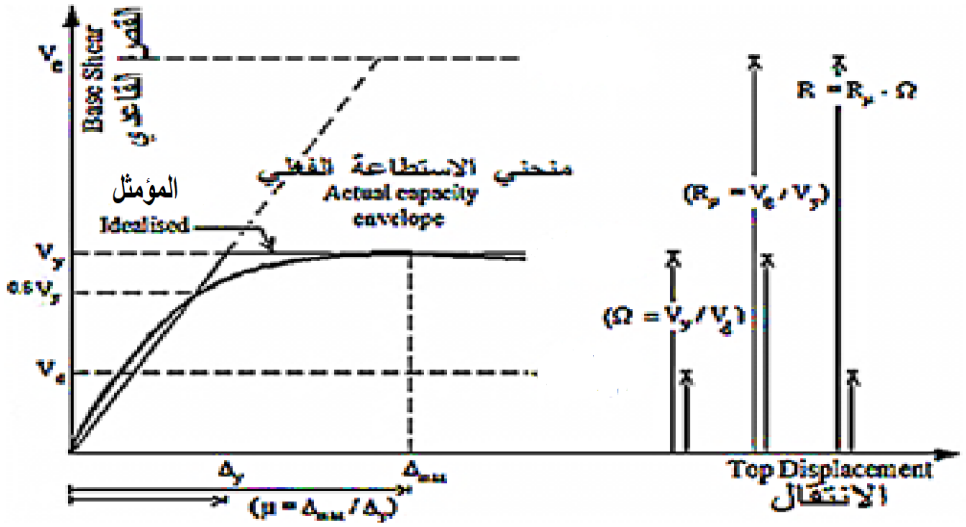
R_μ : معامل تخفيض المطاوعة أو معامل السلوك للمطاوع (Reduced Ductilty Factor) R_μوهو النسبة التي تخفض القص المرن إلى قص الخضوع للمنشأ ويعطى بالصيغة:

$$R_\mu = \frac{V_e}{V_y} \qquad (7)$$

معامل المطاوعة μ الذي يمثل النسبة بين الانتقال الأعظمي إلى انتقال الخضوع لأعلى المنشأ.

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \qquad (8)$$

يظهر الشكل (1) دور المعامل R في تخفيض القص المرن إلى قص تصميمي:



الشكل (1) تأثير المعامل R على قوة القص القاعدية V

تعطى علاقة حساب المعامل R وفق الـ (ATC-19 , 1995) بالشكل:

$$R = R_S * R_\mu * R_\xi \qquad (9)$$

R_S : معامل السلوك للمقاومة الإنشائية (Resisting Behavior Factor).

R_ξ : معامل السلوك للتخامد (Damping Behavior Factor).

وفق(ATC-34) نكتب العلاقة الآتية لحساب R:

$$R = R_S * R_\mu * R_\xi * R_R \qquad (10)$$

R_R : معامل درجة عدم التقرير.

كما يمكن حساب المعامل R بتحديد مستويات التسارع الأعظمي المرتبطة بحدود الأداء المختلفة للمنشأ، حيث يعرف المعامل R كنسبة بين التسارع الأعظمي الموافق لحد الانهيار للمنشأ PGA_u والتسارع الأعظمي الموافق لحد الخضوع PGA_y (ZAFAR ،2009).

$$R = \frac{PGA_u}{PGA_y} \qquad (11)$$

كما يمكن أن يعبَّر عن المعامل R بدلالة العلاقة بين الطاقة الزلزالية الداخلة إلى المنشأ E_{TOTAL} والطاقة المرنة المختزنة فيه مؤقتاً $E_{Elastic}$ والتي تعكس قدرته على تبديد جزء من الطاقة بآليات لامرنة مما يوفر تمثيل مبسط لسلوك المنشأ تحت تأثير الأحمال الزلزالية. وهذا التمثيل أقرب إلى معامل السلوك للمطاوعة R_μ لأن الطاقة الكلية مجموع للطاقات الحركية E_k والطاقة المرنة E_s وطاقة التخميد اللزج E_d والطاقة الهيستيرية (اللدنة) E_h (Gholami et al,2021) وجميعها ناتجة عن سلوك لايمثل مقاومة المقاطع للعناصر الإنشائية، وعندما نستثني الطاقة الحركية وطاقة التخميد اللزج يمكن لنا التعبير عن المعامل R كما يلي:

$$R = \sqrt{1 + \frac{E_h}{E_s}} \qquad (12)$$

تناولت العديد من الكودات والمعايير التصميمية منها ASCE 7-10، ACI 350-3 تحديد قيم للمعامل R لخزانات المياه بالاعتماد على خصائص النظام الإنشائي وظروف التأسيس ونوع مادة الإنشاء، وهي قيم تقريبية مما يستدعي اجراء المزيد من الدراسات التحليلية بهدف وضع قيم أكثر تمثيلا لخصائص خزانات المياه ذات السلوك الديناميكي المركب.

اعتمد الكود العربي السوري العلاقات (1–2–3–4) كمنهجية لحساب القص القاعدي التصميمي وقدم قيم للمعامل R حسب الهيكل الحامل ومادة الإنشاء: القيم 2.5–4 للهيكل الإطاري والقيم 3.5– 4 للهيكل الاسطواني من البيتون المسلح.

2. أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذه الدراسة من الحاجة إلى فهم سلوك خزانات المياه العالية تحت تأثير الحمل الزلزالي وتحديداً فيما يتعلق بحساب القص القاعدي لدوره في التصميم الإنشائي وضمان سلامة واستمرار عمل هذه المنشآت بعد الزلزال، وفي تقييم مدى ملاءمة استخدام قيم معامل السلوك اللامرن R الواردة في ملحق الخزانات للكود العربي السوري.

يهدف البحث إلى حساب القص القاعدي لنماذج خزانات مياه عالية من البيتون المسلح محمولة على هيكل إطاري وأخرى على هيكل اسطواني بسعات تخزينية $100m^3$ و $200m^3$ وذات أحواض دائرية واقعة في المنطقة الزلزالية 2C، أجرينا الدراسة للخزانات وفق ثلاث حالات ملء: فارغ، نصف مليء لسعتي التخزين، بالإضافة إلى ربع مليء وثلاثة أرباع مليء لسعة $100m^3$ باستخدام تحليل ديناميكي لاخطي وتم حساب القص القاعدي بالاعتماد على معامل السلوك اللامرن R المحسوب وفق قدرة الخزان على تبديد الطاقة الزلزالية.

وقمنا بمقارنة القص الناتج مع القص المحسوب بالعلاقة (3) باعتماد القيم الدنيا للمعامل R الواردة في الملحق(7) للكود العربي السوري (2.5 للهيكل الإطاري – 3.5 للهيكل الاسطواني).

3. مواد وطرائق البحث:

3.1 النماذج المستخدمة في الدراسة:

تم استخدام أربعة نماذج من الخزانات العالية ويوضح الجدولين(2-3) أبعاد عناصرها البيتونية المسلحة، والشكل (2) نماذجها ثلاثية الأبعاد ومساقطها الأفقية. تمت النمذجة العددية وفق برنامج ABAQUS حيث نُمذجَت عناصر البيتون كعناصر حجمية صلبة ثلاثية الأبعاد (C3D8R) بشكل مكعب بثمان عقد عند الزوايا ونمذجة فولاذ التسليح كعناصر خطية (T3D2) قضبان ثلاثية الأبعاد على الشد والضغط فقط بعقدتين وربطه مع البيتون باستخدام Embedded Region أي ترابط تام بينهما وربط أجزاء الخزان باستخدام قيود Tie لضمان استمرارية الاتصال، مع توليد شبكة عناصر (m1-0.5) تعد مناسبة لدراسة سلوك الخزان بأبعاده الكبيرة، وإدخال التأثير الزلزالي على شكل تسارع قاعدي Acceleration Boundary Condition (على السطح السفلي للحصيرة) يُلزم بدرجة حرية باتجاه تطبيق التسارع الزلزالي مع وثق باقي درجات الحرية، وهذا يوافق التحليل الديناميكي اللاخطي Dynamic Implicit، وقمنا بإسناد خصائص الكثافة Density والمرونة Elasticity للبيتون والفولاذ وسلوك البيتون على الشد والضغط CDP Concrete Damaged Plasticity واللدونة للفولاذ Plactisty.

تجدر الإشارة إلى أن دقة التحليل العددي ترتبط بدقة النموذج الرياضي للمنشأ المدروس وإن دقة النموذج الرياضي تستند إلى نمذجة كافة العناصر المشكلة للمنشأ بما فيها قضبان التسليح وبالنظر إلى إمكانيات

الحواسيب الشخصية المستخدمة فإن النمذجة الدقيقة إضافة إلى استخدام تحليل ديناميكي ضمني لا خطي والمجال الزمني للسجل الزلزالي ستساهم في إطالة زمن التحليل بشكل غير وافي. لذلك قمنا باعتماد بعض التبسيطات التي تمكننا من اجراء الحساب بطريقة منطقية مع المحافظة على دقة النتائج وهذه التبسيطات مرتبطة باعتماد طبقة تسليح للعناصر مكافئة للتسليح الحقيقي ونمذجة المياه في حوض الخزان وفق مبدأ HOUSNER واجراء التحليل على الجزء الذي يضم قيم تسارعات كبيرة من السجل الزلزالي.

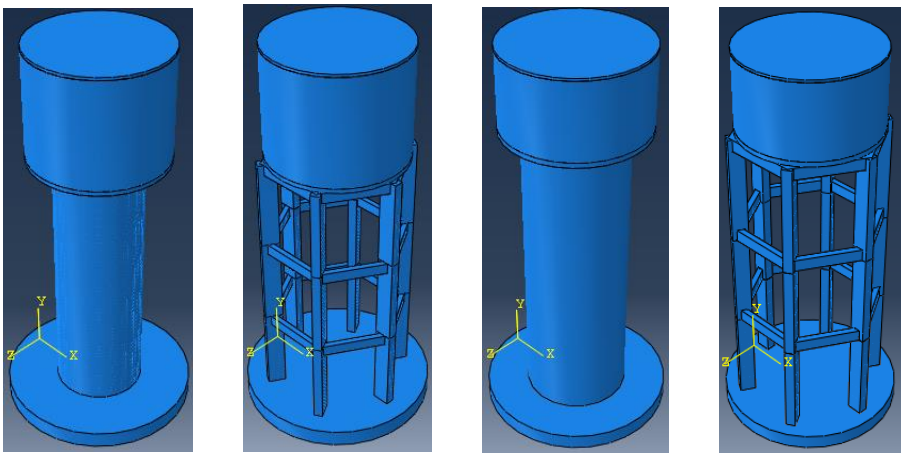
الجدول (2) نموذجي الخزان بهيكل حامل إطاري وحوض دائري بسعتي $100m^3, 200m^3$.

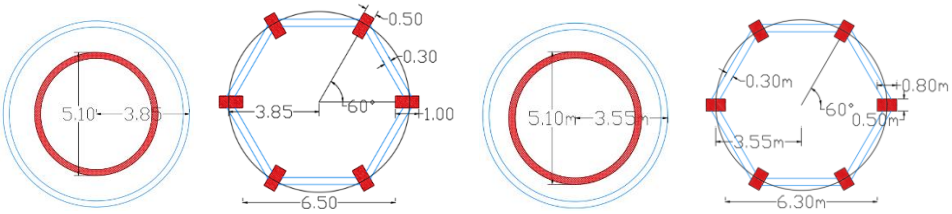
نموذج الخزان بهيكل حامل إطاري وحوض دائري	سعة $100m^3$ الأبعاد mm	سعة $200m^3$ الأبعاد mm
ارتفاع الخزان	15000	15000
مقاطع الأعمدة	500*800	500*1000
ارتفاع العمود	5000	5000
مقاطع الجوائز	300*600	300*600
سماكة بلاطة حوض الخزان السفلية	250	250
نصف قطر بلاطة حوض الخزان السفلية	3550	3850
ارتفاع جدار الحوض	3800	6000
سماكة جدران حوض الخزان	250	250
نصف قطر بلاطة حوض الخزان العلوية	3550	3850
سماكة بلاطة حوض الخزان العلوية	120	150
نصف قطر الحصيرة	4650	5400
ارتفاع الحصيرة	800	1000

الجدول (3) نموذجي الخزان بهيكل حامل اسطواني وحوض دائري بسعتي $100m^3, 200m^3$.

نموذج الخزان بهيكل حامل اسطواني وحوض دائري	سعة $100m^3$	سعة $200m^3$

الأبعاد mm	الأبعاد mm	
15000	15000	ارتفاع الجدار الاسطواني المفرغ
250	250	سماكة الجدار الاسطواني المفرغ
3850	3550	نصف قطر بلاطة حوض الخزان السفلية
250	250	سماكة بلاطة حوض الخزان السفلية
6000	3800	ارتفاع جدار الحوض
250	250	سماكة جدران حوض الخزان
3850	3550	نصف قطر بلاطة حوض الخزان العلوية
150	120	سماكة بلاطة حوض الخزان العلوية
5400	4650	نصف قطر الحصيرة
1000	800	ارتفاع الحصيرة





الشكل (2) نماذج الخزانات والمساقط الأفقية للهيكل الحامل

3.2 تصميم المقاطع العرضية لعناصر خزانات المياه:

تمَّ تصميم عناصر خزانات المياه وفقاً لما جاء في (2022،الملحق (7) للكود العربي السوري) و (2012، الكود العربي السوري) حيث تُحسب سماكات جدران وبلاطة الحوض الملامسة للماء وفق المرحلة الأولى الموافقة لعدم تجاوز الإجهادات المسموحة على الشد للبيتون (عدم تشقق البيتون) ويتم التحقق من الكتامة لهذه العناصر باعتبارها خاضعة لحمولة ضغط هيدروستاتيكية بألا يتجاوز إجهاد الشد في البيتون الإجهاد المسموح $\overline{\sigma_{ct}} = 0.4\sqrt{f_c'}$ في حالة الشد المركزي أو الشد اللامركزي بلا مركزية صغيرة، و $\overline{\sigma_{cb}} = 0.57\sqrt{f_c'}$ في حالة الانعطاف البسيط أو الشد اللامركزي بلا مركزية كبيرة، وألا يتجاوز حد التشقق القيمة 0.1mm مع عدم ضرورة دراسة الكتامة عند تشكل إجهادات الشد على وجه المقطع البعيد عن الماء.

ويحسب التسليح في حالة الاستثمار أو في حالة الحد الأقصى وتعتمد نسبة دنيا بقيمة 0.3% للتسليح من النوع عالي المقاومة.

العلاقة المستخدمة في التصميم لحساب فولاذ التسليح على قوى الشد المحورية بفرض إهمال مقاومة البيتون للشد:

$$A_S = \frac{N_t}{\overline{\sigma_S}} \qquad (13)$$

A_S : مساحة فولاذ التسليح N_t : قوة الشد المحورية $\overline{\sigma_S} = 0.55f_y$: الإجهاد المسموح في فولاذ التسليح

ولضمان عدم تجاوز الإجهادات في البيتون قيم الإجهادات المسموحة:

$$\sigma_{ct} = \frac{N_t}{A_C + (n-1)A_S} < \overline{\sigma_t} \qquad (14)$$

A_C: مساحة المقطع البيتوني المشدود n: النسبة المعيارية وتؤخذ مساوية ل 10

μ : نسبة التسليح (نسبة مساحة التسليح على مساحة البيتون) .

والإجهادات المتولدة في المقطع بتأثير عزم الانعطاف M تحسب كما يلي:

$$\sigma_{cb} = \mp \frac{6\,M}{b\,t^2} \qquad (15)$$

t : سماكة جدار الخزان b : شريحة مترية وتكون مساحة فولاذ التسليح اللازمة:

$$A_S = \frac{M}{\overline{\sigma_s}\,0.8\,d} \qquad (16)$$

d : العمق الفعال للمقطع

تم اعتماد سلوك لاخطي للفولاذ والبيتون CDP Concrete Damaged Plasticity، وكانت خواص المواد المستخدمة: $f_c^{/} = 30\ MPa \ - \ f_y = 410\ MPa$.

3.3 نمذجة المياه:

اعتُمدت طريقة HOUSNER في دراستنا لنمذجة المياه الشكل (3) والملحق (7) للكود العربي السوري لحساب كتل الماء وارتفاعاتها وفق العلاقات (17-18-19-20-21)، وكانت قيم ومنسوب الكتل النبضية والاضطرابية عن قاع الحوض كما في الجدول (4).

$$\frac{m_i}{m} = \frac{\tanh\left(0.866\frac{D}{h}\right)}{0.866\frac{D}{h}} \qquad (17)$$

$$\frac{h_i}{h} = 0.375 \qquad \text{عندما} \quad \frac{h}{D} \le 0.75 \qquad (18)$$

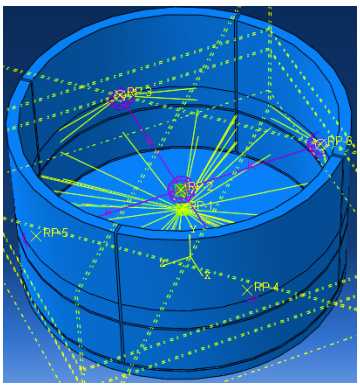
$$\frac{h_i}{h} = 0.5 - \frac{0.09375}{\frac{h}{D}} \qquad \text{عندما} \quad \frac{h}{D} > 0.75 \qquad (19)$$

$$\frac{m_c}{m} = 0.23 \frac{\tanh(3.68 \frac{h}{D})}{\frac{h}{D}} \quad (20)$$

$$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh\left(3.68 \frac{h}{D}\right) - 1.0}{3.68 \frac{h}{D} \sinh\left(3.68 \frac{h}{D}\right)} \quad (21)$$

جدول (4) قيم الكتل النبضية والاضطرابية وارتفاعاتها لنماذج الخزانات المدروسة

سعة الحوض الدائري	حالة الملء	الكتلة النبضية للماء Impulsive Mass (kg)	منسوب الكتلة النبضية h_i , (m)	الكتلة الاضطرابية للماء Convectiv Mass (kg)	منسوب الكتلة الاضطرابية h_c , (m)
$100m^3$	ربع مليء	3199	0.274	20068	0.370
	نصف مليء	13445	0.563	35511	0.791
	ثلاثة أرباع مليء	28450	0.822	43460	1.215
	مليء	51525	1.125	48446	1.773
$200m^3$	نصف مليء	40257	0.938	57714	1.395
	مليء	138228	1.875	66569	3.325

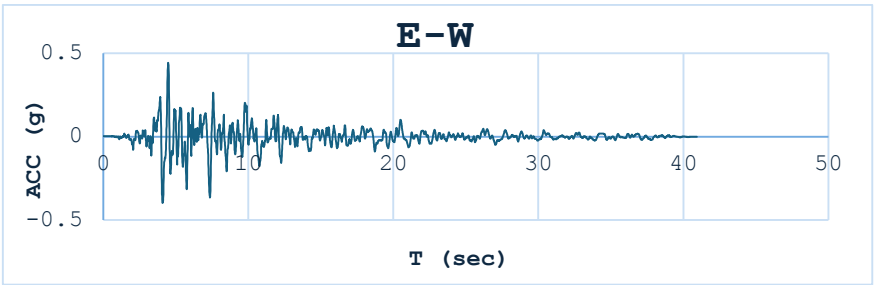


الشكل (3) نمذجة المياه ضمن حوض الخزان

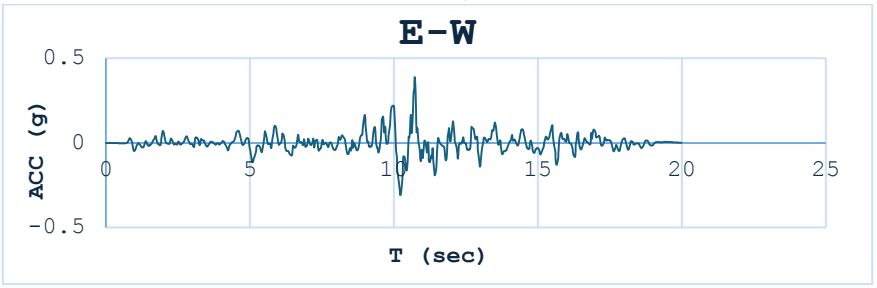
3.4 تم تحليل النماذج وفق ثلاثة سجلات زلزالية مقيَّسة لزلازل حقيقية تم الحصول عليها من المعهد العالي للدراسات والبحوث الزلزالية في دمشق مناسبة للاستخدام في المنطقة الزلزالية 2C (المنطقة المعتمدة لدراسة نماذج الخزانات)، الأول لزلزال اليونان 1981 والثاني أرمينيا 1988 والثالث لزلزال تركيا 1999 وفق المعطيات الواردة بالجدول التالي:

الجدول (5) معطيات الزلازل المستخدمة في تحليل النماذج

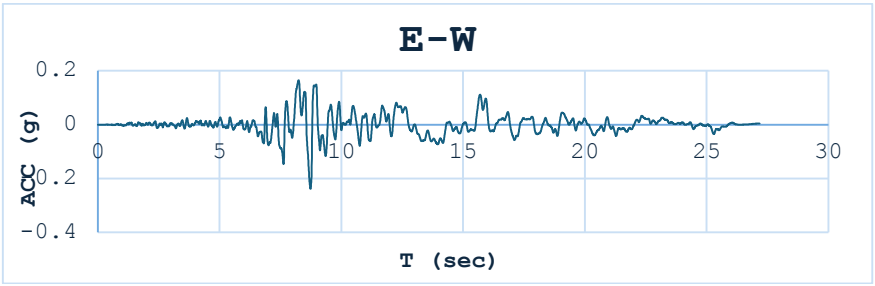
No	الزلزال	العام	مقدار الزلزال	التسارع الأرضي الأعظمي PGA-E (g)	التسارع الأرضي الأعظمي المقيّس $PGA\text{-}E_{sc}$ (g)
1	Corinth, (Greece)	1981	6.6	0.236	0.443
2	Spitak, (Armenia)	1988	6.8	0.2	0.387
3	Kocaeli, (Turkey)	1999	7.5	-0.311	0.238



الشكل (4) السجل الزمني المقيّس لزلزال اليونان 1981



الشكل (5) السجل الزمني المقيّس لزلزال أرمينيا 1988



الشكل (6) السجل الزمني المقيّس لزلزال تركيا 1999

4. النتائج ومناقشتها:

4.1 تم حساب معامل السلوك للمطاوعة R_μ وفق العلاقة (12) مع اعتماد الإزاحة الأعظمية Δ_{max} كمؤشر لذروة الاستجابة فهي تعكس بشكل دقيق تطور السلوك أثناء الحمل الزلزالي واعتماد اللحظة الزمنية المرافقة لها لتكون اللحظة الزمنية التي نستخدم عندها قيمة طاقة اللدونة Plastic Dissipation ALLPD كمؤشر للطاقة اللدنة E_h (الطاقة المبددة المرتبطة بالتشوهات غير المرنة) وقيمة طاقة الانفعال Strain Energy ALLSE للطاقة المرنة المخزنة والتي تزول بإزالة التحميلE_s، حيث يعطي التحليل العددي في برنامج ABAQUS قيم هذه الطاقات عند كل لحظة زمنية من مدة التحليل.

وحساب معامل السلوك للمقاومة الزائدة Ω_0 وفق العلاقة (6) استناداً إلى قوة القص التصميمة المحسوبة بالعلاقة (3) (قيم المعامل R الكودية) وقص الخضوع الناجم عن التحليل الديناميكي اللاخطي، وكانت النتائج كما يظهر الجدول(5) التالي:

جدول (5) قيم معامل السلوك للمطاوعة R_μ ومعامل المقاومة الزائدة Ω_0 الناتجة لنماذج الخزانات المدروسة

شدة السجل الزلزالي PGA_{SC}	الهيكل الحامل	مقطع الحوض وسعته التخزينية	حالة الملء	R_μ	Ω_0
TURKIA 1999 $PGA_{SC} = 0.238g$	إطاري	دائري $100m^3$	فارغ	2.76	2.99
			ربع مليء	2.51	2.83

			1.41	1.08	نصف مليء
			2.36	2.76	ثلاثة أرباع مليء
			1.84	2.5	مليء
	اسطواني		6.24	1.94	فارغ
			6.25	1.92	ربع مليء
			5.76	1.79	نصف مليء
			3.79	1.89	ثلاثة أرباع مليء
			3.72	1.79	مليء
	اطاري	دائري $200m^3$	2.51	2.027	فارغ
			2.07	1.97	نصف مليء
			1.66	1.76	مليء
	اسطواني		5.06	1.11	فارغ
			5.26	1.07	نصف مليء
			3.89	1.45	مليء
ARMENIA 1988 $PGA_{SC} = 0.387g$	اطاري	دائري $100m^3$	4.23	2.64	فارغ
			3.89	2.42	ربع مليء
			3.91	2.49	نصف مليء
			3.14	2.54	ثلاثة أرباع مليء
			2.04	3.29	مليء
	اسطواني		8.17	2.12	فارغ
			11.34	2.59	ربع مليء
			6.19	1.8	نصف مليء
			4.32	2.07	ثلاثة أرباع مليء

شدة السجل الزلزالي PGA_{SC}	الهيكل الحامل	مقطع الحوض وسعته التخزينية	حالة الملء	R_μ	Ω_0
ARMENIA 1988 $PGA_{SC} = 0.387g$	اسطواني	دائري $100m^3$	مليء	1.72	5.31
	اطاري	دائري $200m^3$	فارغ	2.62	3.38
			نصف مليء	3	1.96
			مليء	2.87	1.5
	اسطواني		فارغ	1.45	9.84
			نصف مليء	1.11	6.82
			مليء	1.39	5.78
GREEC 1981 $PGA_{SC} = 0.443g$	اطاري	دائري $100m^3$	فارغ	3.39	5.16
			ربع مليء	3.12	4.73

			نصف مليء	2.45	4.39	
			ثلاثة أرباع مليء	2.67	3.71	
			مليء	2.84	2.29	
		سطواني	فارغ	2.85	11.30	
			ربع مليء	2.59	11.13	
			نصف مليء	2.24	8.77	
			ثلاثة أرباع مليء	2.61	5.26	
			مليء	2.34	5.24	
		اطاري	فارغ	2.78	4.92	
			نصف مليء	2.71	3.05	
			مليء	2.52	2.29	
	دائري $200m^3$	اسطواني	فارغ	1.72	11.88	
			نصف مليء	1.45	6.91	
			مليء	1.99	5.57	

نلاحظ أن قيم معامل السلوك للمقاومة Ω_0 كبيرة لحالة الهيكل الاسطواني مقارنة مع الهيكل الإطاري، وتزداد مع زيادة شدة الزلزال وهذا يعود إلى أن القص المحسوب بالتحليل الديناميكي اللاخطي يتأثر بشدة الزلزال، ولكن المعامل Ω_0 هو خاصية تتعلق بالمنشأ لذلك تم اعتماد قيمة دنيا $\Omega_0 = 1.2$ والتي تعد أكثر واقعية لمقاومة عناصر النموذج للشدة الزلزالية الأقل $0.238g$ المستخدمة في التحليل.

4.2 انطلاقاً من العلاقة (3) تم حساب القص القاعدي المرن $V_{elastic}$ ($R = 1$) والقص القاعدي التصميمي V_d وفق قيم R الكودية الدنيا والقص القاعدي $V_{Analyses}$ الموافقة لقيم ((5) جدول) $R_{Analyses} = 1.2 * R_{\mu}$ ، كما يظهر الجدول (6).

الجدول(6) قيم القص القاعدي ومعامل السلوك اللامرن R لنماذج الخزانات المستخدمة في الدراسة

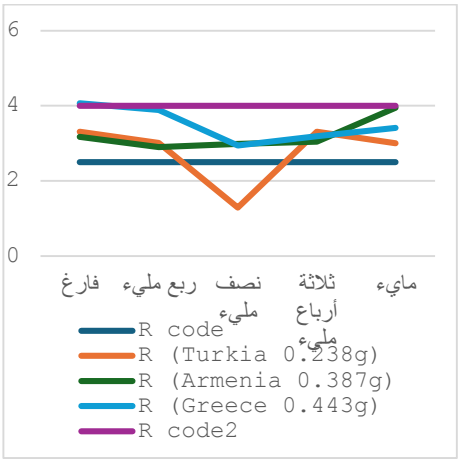
شدة السجل الزلزالي PGA_{SC}	الهيكل الحامل	مقطع الحوض وسعته التخزينية	حالة الملء	$V_{elastic}$ 10^5 N	R_{code}	V_d 10^5 N	$R_{Analyses}$	$V_{Analyses}$ 10^5 N
TURKIA 1999	اطاري	دائري	فارغ	5.923	2.5	2.37	3.31	1.789

2.018	3.01	2.43	2.5	6.075	ربع مليء	$100m^3$		$PGA_{SC} = 0.238g$
5.078	1.29	2.62	2.5	6.55	نصف مليء			
2.183	3.31	2.89	2.5	7.225	ثلاثة أرباع مليء			
2.758	3	3.31	2.5	8.275	مليء			
2.749	2.33	1.83	3.5	6.405	فارغ		اسطواني	
2.846	2.3	1.87	3.5	6.545	ربع مليء			
3.256	2.15	2.0	3.5	7	نصف مليء			
4.764	2.27	3.09	3.5	10.815	ثلاثة أرباع مليء			
4.884	2.15	3.0	3.5	10.5	مليء			
3.467	2.43	3.37	2.5	8.425	فارغ	دائري $200m^3$	اطاري	
4.735	2.36	4.47	2.5	11.175	نصف مليء			
7.002	2.11	5.91	2.5	14.775	مليء			
6.000	1.33	2.28	3.5	7.98	فارغ		اسطواني	
8.981	1.29	3.31	3.5	11.585	نصف مليء			
9.434	1.74	4.69	3.5	16.415	مليء			
1.869	3.17	2.37	2.5	5.925	فارغ	دائري $100m^3$	اطاري	ARMENIA 1988 $PGA_{SC} = 0.387g$
2.095	2.9	2.43	2.5	6.075	ربع مليء			
2.191	2.99	2.62	2.5	6.55	نصف مليء			
2.369	3.05	2.89	2.5	7.225	ثلاثة أرباع مليء			
2.095	3.95	3.31	2.5	8.275	مليء			
2.512	2.55	1.83	3.5	6.405	فارغ		اسطواني	
2.105	3.11	1.87	3.5	6.545	ربع مليء			
3.241	2.16	2.0	3.5	7	نصف مليء			
4.361	2.48	3.09	3.5	10.815	ثلاثة أرباع مليء			
5.097	2.06	3.0	3.5	10.5	مليء			
2.683	3.14	3.37	2.5	8.425	فارغ	دائري $200m^3$	اطاري	
3.104	3.6	4.47	2.5	11.175	نصف مليء			
4.295	3.44	5.91	2.5	14.775	مليء			
4.586	1.74	2.28	3.5	7.98	فارغ		اسطواني	
8.646	1.34	3.31	3.5	11.585	نصف مليء			
9.771	1.68	4.69	3.5	16.415	مليء			
1.456	4.07	2.37	2.5	5.925	فارغ	دائري $100m^3$	اطاري	GREEC 1981 $PGA_{SC} = 0.443g$

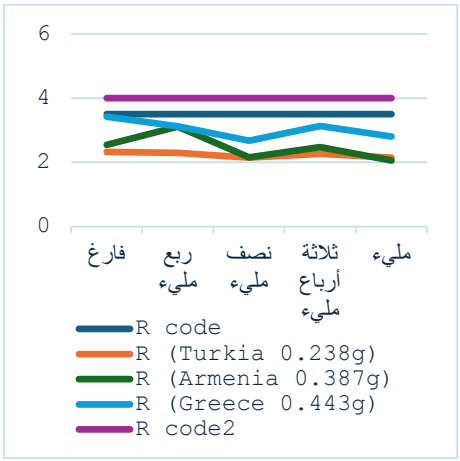
$V_{Analyses}$ 10^5 N	$R_{Analyses}$	V_d 10^5 N	R_{code}	$V_{elastic}$ 10^5 N	حالة الملء	مقطع الحوض	الهيكل الحامل	شدة السجل الزلزالي PGA_{SC}

		وسعته التخزينية						
GREEC 1981 $PGA_{SC} = 0.443g$	اطاري	دائري $100m^3$	ربع مليء	6.075	2.5	2.43	3.89	1.562
			نصف مليء	6.55	2.5	2.62	2.94	2.228
			ثلاثة أرباع مليء	7.225	2.5	2.89	3.19	2.265
			مليء	8.275	2.5	3.31	3.41	2.427
	اسطواني		فارغ	6.405	3.5	1.83	3.42	1.873
			ربع مليء	6.405	3.5	1.87	3.12	2.053
			نصف مليء	7	3.5	2.0	2.68	2.612
			ثلاثة أرباع مليء	10.815	3.5	3.09	3.13	3.455
			مليء	10.5	3.5	3.0	2.81	3.737
	اطاري	دائري $200m^3$	فارغ	8.425	2.5	3.37	3.34	2.522
			نصف مليء	11.175	2.5	4.47	3.25	3.438
			مليء	14.775	2.5	5.91	3.02	4.892
	اسطواني		فارغ	7.98	3.5	2.28	2.06	3.874
			نصف مليء	11.585	3.5	3.31	1.74	6.658
			مليء	16.415	3.5	4.69	2.38	6.897

نجد من الأشكال (a-7) و(a-8) أن قيم معامل السلوك اللامرن R الناتجة بالدراسة تقع ضمن مجال القيم الكودية (2.5–4) للهيكل الإطاري الحامل لحالة الشدات الزلزالية الأعلى نتيجة تأثر سلوك الخزان بالشدة الزلزالية ومتقاربة مع الحد الأدنى للشدة الأقل والتي تعتبر أكثر تمثيلاً للخصائص الإنشائية للخزان، في حين تظهر الأشكال (b–7) و(b–8) أن معامل السلوك اللامرن R الناتجة بالدراسة هي أقل من القيم الكودية (3.5–4) للهيكل الاسطواني الذي يعطينا قيم قص قاعدي أكبر من الهيكل الاطاري، الأشكال(9–10).

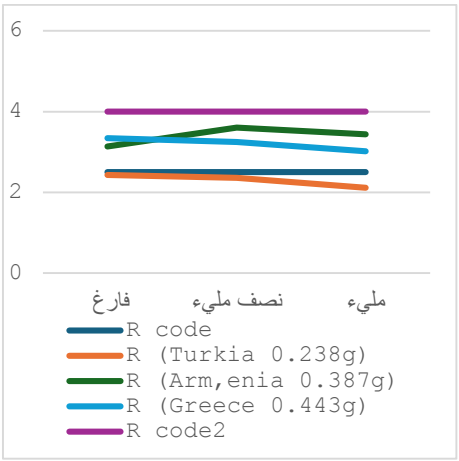


الشكل (a) هيكل اطاري

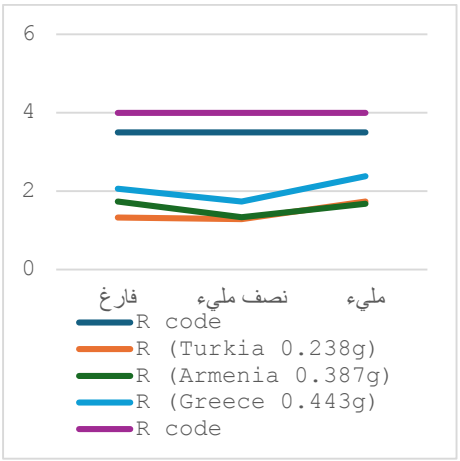


الشكل (b) هيكل اسطواني

الشكل (7) معامل السلوك اللامرن R لنماذج الخزانات المدروسة، حوض دائري، سعة تخزينية $100m^3$

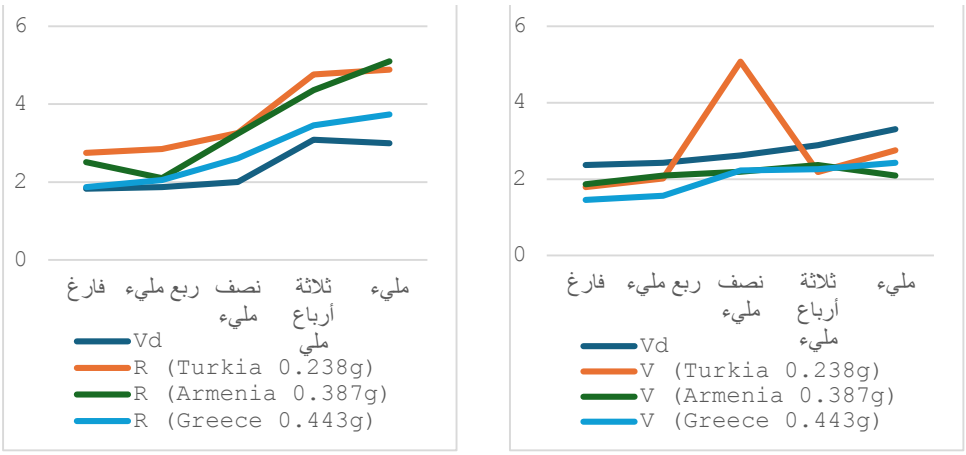


الشكل (a) هيكل اطاري



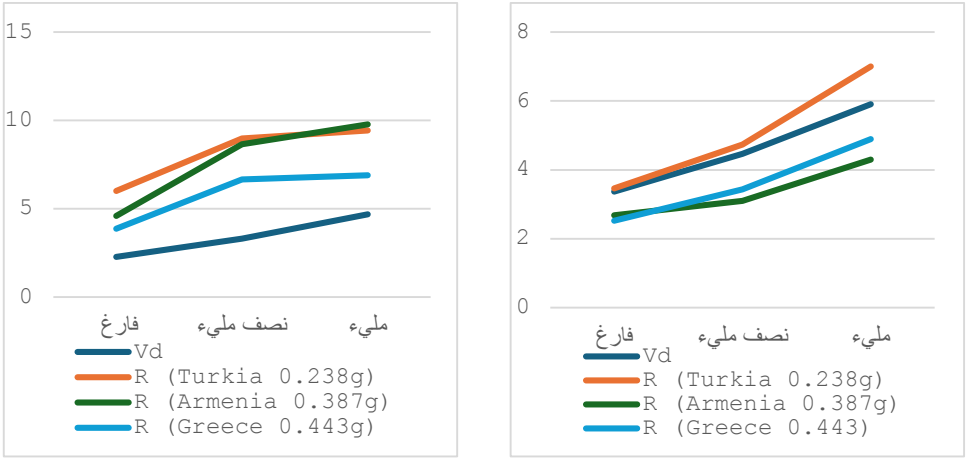
الشكل (b) هيكل اسطواني

الشكل (8) معامل السلوك اللامرن R لنماذج الخزانات المدروسة، حوض دائري، سعة تخزينية $200m^3$



الشكل (a) هيكل اطاري الشكل (b) هيكل اسطواني

الشكل (9) القص القاعدي لنماذج الخزانات المدروسة، حوض دائري، سعة تخزينية $100m^3$



الشكل (a) هيكل اطاري الشكل (b) هيكل اسطواني

الشكل (10) القص القاعدي لنماذج الخزانات المدروسة، حوض دائري، سعة تخزينية $200m^3$

5. الاستنتاجات والتوصيات:

5.1 أعطت استجابة نماذج خزانات المياه العالية المستخدمة في الدراسة ذات الهيكل الاسطواني الحامل قص قاعدي أكبر من الهيكل الإطاري، ويزداد القص القاعدي بازدياد سعة التخزين وحالة الملء لحوض الخزان (فارغ – ربع مليء– نصف مليء– ثلاثة أرباع مليء – مليء).

5.2 إن تأثر القص القاعدي بالشدة الزلزالية مرتبط بتأثر معامل السلوك اللامرن R حيث يفضل اعتماد قيمه لشدات زلزالية منخفضة فمع شدات أعلى يزداد التضرر الموضعي الحاصل في الخزان ولا يعبر عن طاقة فعلية مبددة وإنما عن تدهور سلوك مادة الإنشاء.

5.3 إن استخدام قيم ثابتة لمعامل السلوك اللامرن R أمر ضروري لأغراض التصميم العملي، إلا أنّ القص القاعدي المحسوب وفق قيم R الكودية لخزانات المياه ذات الهيكل الاسطواني الحامل ($R = 3.5$) لحالات الملء المذكورة في البند الأول قد يكون غير آمن لتخفيضه للقص القاعدي المرن بنسبة تفوق قدرة المنشأ الحقيقية على الاستجابة اللامرنة مما يستدعي إعادة معايرتها بحيث تعكس بشكل أفضل خصائص الهيكل الحامل (النظام الإنشائي).

ونوصي بأن يتم:

1. استخدام مفاهيم الطاقة في تقييم معامل السلوك للمطاوعة R_μ بسبب تقديرها المناسب للسلوك اللاخطي للمنشأ ومدى تأثر هذا السلوك بالشدة الزلزالية، والبحث في حساب المعامل Ω_0 وصولاً لمعامل السلوك اللامرن R وحساب القص القاعدي.
2. دراسة عدد أكبر من نماذج خزانات المياه العالية ذات الهيكل الحامل الاسطواني بسعات تخزينية مختلفة بهدف التأكد من موثوقية قيم معامل السلوك اللامرن R الناتجة في الدراسة.

6. المراجع:

[1] الكود العربي السوري، 2012، *الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة*.

[2] الملحق (7) للكود العربي السوري،2022، *تصميم خزانات المياه الخرسانية المسلحة وتنفيذها*. سورية.

[3] ناصر، عصام ، حسن، مالك، وموسى منهل.2016، *دراسة تحليلية مقارنة لبعض طرق نمذجة السائل في خزانات المياه العالية*. مجلة جامعة حمص مجلد 38، العدد5.

[4] الطرشة، إحسان، غريب، تراث، الضايع، عبدالحليم. 2024، *التحليل الديناميكي اللاخطي لخزان عالي مع أخذ أثر حركة المياه ضمن الحلة*. مجلة جامعة حمص مجلد 46، العدد6.

[5] American Society of Civil Engineers.2010, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE7-10)*.Reston, VA, USA.

[6] Applied Technology Council. 1995, CALIFORNIA.

[7] European Committee for Standardization, Eurocode8.2006, *Design of structures for earthquake resistance-Part4:Soils,tanks and pipelines.* Brussels, Belgium.

[8] GHOLAMI, N; GARIVANI, S; ASKARIANI, S, S.2021, *State – of – the Art Review of Energy – Based Seismic Design Methods.* Archives of Computational Methods in Engineering (2022) 29:1965-1996, CIMNE, Barcelona, Spain2021.

[9] Housner, G, W.1963, *"The Dynamic Behavior of Water Tanks"* ,*Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 53, No. 2, pp. 381-387. February,.

[10] IITK-GSDMA Project Team. 2007,*Guidelines for Seismic Design of Liquid Storage Tanks*.Indian Institute of Technology Kanpur and Gujarat State Disaster Management Authority, Kanpur, India

[11] Uniform Building Code .1997,Volume 2.

[12] ZAFAR, A. 2009, *RESPONSE MODIFICATION FACTOR OF REINFORCED CONCRETE MOMENT RESISTING FRAMES IN*

DEVELOPING COUNTRIES. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Civil Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign,92.

البناء بطريقة مستدامة خلال الكوارث بحفز إعادة الإعمار المستدام

د.م عصام حسن السماعيل

كلية الهندسة المعمارية - جامعة إدلب

الملخص: يهدف هذا البحث إلى تقييم استدامة المساكن التي شُيّدت خلال النزاع الداخلي في سورية، مع التركيز على السياق المحلي وتجارب السكان المتضررين. باستخدام منهجية بحثية مختلطة (كمية ونوعية)، تم جمع بيانات من 180 مشاركًا من أصحاب مساكن أنشأتها منظمات إنسانية في سورية. تم تحليل البيانات لتحديد مدى توافق هذه المساكن مع معايير الاستدامة البيئية والاقتصادية والاجتماعية. أظهرت النتائج أن المساكن الحالية تعطي الأولوية للسرعة والتكلفة على حساب التكامل البيئي والوظيفي، مما يؤدي إلى مشكلات طويلة الأجل مثل ارتفاع تكاليف الصيانة ونقص المرونة الوظيفية. كما كشفت عن فجوات كبيرة في الكفاءة الاجتماعية، بما في ذلك غياب البنية التحتية المجتمعية وسوء التصميم الشامل. تؤكد النتائج أهمية دمج السكان المحليين في عمليات التصميم والتخطيط، واستخدام مواد محلية مستدامة لتقليل التكاليف والأثر البيئي. بناءً على النتائج، يُقترح نموذج شمولي للإسكان المستدام يركز على الإنسان، ويُراعي السياق المحلي، ويُعزز القدرة على الصمود والتماسك المجتمعي. يسعى البحث إلى تحويل الإسكان الطارئ من استجابة إنسانية قصيرة الأجل إلى عامل محفز لإعادة الإعمار المرن والمستدام.

الكلمات المفتاحية: الاستدامة، الإسكان المستدام، ما بعد الكوارث، إعادة الإعمار، سورية.

Building sustainably during disasters stimulates sustainable reconstruction

Dr. Issam Hasan Ismail
Idlib University- Faculty of Architecture

Abstract: This research aims to assess the sustainability of housing constructed during the internal conflict in Syria, focusing on the local context and the experiences of affected populations. Using a mixed-methods (quantitative and qualitative) research approach, data were collected from 180 residents of housing provided by humanitarian organizations in northwest Syria. The data were analyzed to determine the extent to which these housing units meet environmental, economic, and social sustainability criteria. The results showed that existing housing prioritizes speed and cost over environmental and functional integration, leading to long-term problems such as high maintenance costs and a lack of functional flexibility. Significant gaps in social efficiency were also revealed, including the absence of community infrastructure and poor overall design. The findings underscore the importance of integrating local communities into design and planning processes and using sustainable, locally sourced materials to minimize costs and environmental impact. Based on these findings, a holistic, human-centered, context-sensitive, and resilient sustainable housing model is proposed. This research seeks to transform emergency housing from a short-term humanitarian response into a catalyst for resilient and sustainable recovery.

Keywords: Sustainability, Sustainable Housing, Post-Disaster, Reconstruction, Syria.

١. **مقدمة:** تنتج الكوارث عن أحداث طبيعية واجتماعية واقتصادية وسياسية [1]. وللكوارث آثار اقتصادية واجتماعية ونفسية، وتؤثر على المساكن والعديد من جوانب الحياة اليومية الأخرى [2]. تُلحق الكوارث أضرارًا بالمساكن وتدمرها، تاركةً الناس بلا مأوى مناسب [3]. وتُعد إعادة بناء المساكن بعد الكوارث أمرًا بالغ الأهمية، إذ إن التعافي منها يُمثل مشكلة بالغة التعقيد [4]. وتؤدي الحاجة المُلحة إلى مساكن دائمة إلى برامج إعادة الإعمار والطلب على مواد البناء. غالبًا ما يكون السكن هو أثمن ما يملكه الناس في البلدان النامية. عند وقوع الكوارث، يكون السكن هو العنصر الأكثر تضررًا [5]. في أعقاب الكوارث، تسود الفوضى، وتندر الموارد، ويجب إنجاز

المشاريع بسرعة لتعزيز التعافي وإرضاء الجهات المانحة التي ترغب في رؤية نتائجها. غالبًا ما تُهمل جوانب الاستدامة خلال عمليات إعادة الإعمار بعد الكوارث، مما يزيد من الآثار البيئية السلبية للإسكان، ويؤدي إلى ضعف كفاءة المساكن، وعدم دمجها في خطة التنمية المستدامة طويلة الأجل [6]. نظرًا لكثرة المتضررين من الكوارث وشدتها، تُعتبر البيئة ثانوية في الاستجابة لما بعد الكوارث [7] في معظم البلدان النامية، تُنفذ برامج الإسكان بمعايير متدنية وفي مناطق نائية، دون مراعاة حياة السكان وثقافتهم. كما أن من أبرز المشكلات التي تعاني منها المساكن عدم ملاءمتها للسياق الثقافي وافتقارها للاستدامة [8]. وتختلف أساليب التدخل في عملية إعادة الإعمار أثناء الكوارث وبعدها، مما يؤثر على استدامة المنطقة المتضررة. بالإضافة إلى ذلك، يؤدي غياب التخطيط وسوء التنظيم إلى مشاكل مثل إزالة الغابات، واستنزاف الموارد الطبيعية، وتلوث مصادر المياه. كما أن غياب التصميم المناسب واختيار مواد وتقنيات البناء غير الملائمة يؤديان إلى نتائج سيئة، مما يزيد من احتمالية تكرار الكوارث. في عملية تخطيط إعادة الإعمار، يجب الحفاظ على العلاقات المادية والنفسية والاقتصادية للمكان بالنسبة للسكان المتضررين. هذا النهج يؤدي إلى أشكال أكثر فعالية لإعادة الإعمار، ويزيد من فرص النجاح مقارنةً بالحلول الجذرية.

لذا، ثمة حاجة ملحة لدمج الاستدامة في إعادة بناء المساكن الجديدة، وبالتالي ربط إعادة البناء بخطة التنمية [6]. بعد وقوع كارثة، تتاح للمجتمعات فرصة لتطبيق مفاهيم التنمية المستدامة. ووفقًا لدراسات سابقة، يُعدّ البناء بشكل أفضل من السابق وسيلة مهمة لتحقيق التنمية المستدامة في مرحلة ما بعد الكارثة. إذ يُعاد تصميم البنية التحتية والمرافق وإعادة بنائها بطريقة تجعلها قادرة على الصمود أمام الكوارث المستقبلية. كما تُعتمد تدابير وتقنيات مستدامة في مجالات الإسكان والطاقة والنقل وغيرها. ووفقًا [9]، ينبغي استغلال فترة ما بعد الكارثة كفرصة لتنفيذ التنمية المستدامة والحد من التعرض للكوارث المستقبلية. وينبغي تنفيذ الأنشطة مع التركيز على الاستدامة لتعزيز قدرة المجتمعات على مواجهة الكوارث وتحقيق التنمية المستدامة. وبالتالي، تمثل عملية إعادة البناء فرصة جديدة لتطبيق مبادئ التنمية المستدامة وبناء مجتمعات أكثر مرونة قادرة على التعافي من الكوارث المستقبلية [10]. يمكن اعتبار عملية إعادة الإعمار بعد الكوارث سياسة ناجحة لمعالجة مواطن الضعف في المجتمعات المتضررة وإعادة بناء قدراتها. ويتحقق ذلك من خلال توفير بنية تحتية قوية ومرنة، واعتماد نهج التنمية المستدامة، وبناء مجتمعات قادرة

على الصمود في وجه الكوارث المستقبلية. وبهذا النهج، تُتيح إعادة الإعمار فرصة لتحويل المناطق المتضررة إلى مجتمعات جديدة مرنة. كما يمكن استخدامها كحافز لتحسين حياة الناس وجعل المجتمعات أكثر أمانًا [11]. وسيؤدي اتباع نهج مستدام في بناء المساكن إلى الحد من الأضرار البيئية، وتحفيز النظم الاجتماعية والاقتصادية، وبالتالي تعزيز القدرة على مواجهة الكوارث. ولتحقيق هدف إعادة الإعمار بعد الكوارث، يجب عدم المساس باستدامة المنطقة المتضررة، ويجب تنفيذ أعمال إعادة الإعمار بطريقة مستدامة في جميع مراحلها. ووفقًا لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة [12] من المتوقع أن تُنتج عملية إعادة الإعمار نفايات، وتلوث المياه والهواء، وتُؤدي إلى تدهور الظروف المعيشية للسكان في المستقبل. كما أن إعادة الإعمار غير المستدامة ستؤثر على النظم الاجتماعية والبيئية .[13] لذا، ينبغي رفع مستوى الوعي لدمج السياسات المستدامة في مرحلة ما بعد الكوارث. يجب تعزيز فعالية إعادة الإعمار من خلال تطبيق تخطيط مناسب يشمل إعادة بناء المجتمعات، وضمان العدالة، وتوفير الموارد وتكافؤ الفرص، وليس مجرد استبدال المباني والبنية التحتية المتضررة. لذلك، من المهم دمج مبادئ الاستدامة في المراحل المبكرة من إعادة الإعمار لتجنب الفشل. يجب مراعاة نهج شامل في جميع المراحل لتحقيق القدرة على مواجهة الكوارث وضمان بيئة عمرانية مستدامة للأجيال القادمة. وبناءً على ذلك، يجب أن تراعي عملية إعادة الإعمار الاحتياجات المختلفة للسكان، وتعزز مشاركة المجتمع، وتتضمن آليات فعالة للرصد والتنفيذ. إضافةً إلى ذلك، ينبغي دمج سياسات الإسكان مع السياسات الأخرى. يجب أن تعمل هذه السياسات معًا لتحقيق تنمية مستدامة شاملة في المجتمعات [7].

على الرغم من تزايد الإدراك بأن مرحلة ما بعد الكوارث تُتيح فرصة استراتيجية لإعادة البناء على نحو أفضل، وهو مبدأ أساسي في إطار سنداي للحد من مخاطر الكوارث (2015–2030) .[14]، إلا أن تطبيقه العملي لا يزال محدودًا، لا سيما في مناطق النزاعات الممتدة كالصراع في سورية. يدعو إطار سنداي صراحةً إلى دمج الحد من مخاطر الكوارث في عمليات التعافي والتأهيل وإعادة الإعمار لتعزيز القدرة على الصمود. ومع ذلك، فإن الدراسات التجريبية التي تُقيّم مدى توافق مبادرات الإسكان المستدام مع هذا التوجه العالمي نادرة.

يتناول هذه البحث ثغرة بحثية هامة: بينما تدعو الأدبيات إلى دمج الاستدامة في إعادة الإعمار بعد الكوارث، هناك نقص في الدراسات التجريبية التي تُراعي السياق المحلي لتقييم استدامة الإسكان في المناطق المتضررة من النزاعات، مع التركيز على أصوات وتجارب السكان النازحين.

يهدف البحث إلى تقييم استدامة المساكن التي شُيّدت بعد النزاع الداخلي في سورية. وباستخدام منهجية بحثية متعددة الأساليب، شملت 180 مشاركًا من سكان مساكن أنشأتها منظمات إنسانية، تسعى الدراسة إلى تحقيق هدفين فرعيين: (1) تحديد معايير تصميم المساكن المستدامة في سياقات ما بعد الكوارث، و(2) اقتراح تحسينات عملية تُواءم برامج الإسكان مع أهداف التنمية المستدامة. ومن خلال الربط بين أطر السياسات العالمية والواقع المحلي، يسعى هذا البحث إلى تحويل الإسكان الطارئ من استجابة إنسانية قصيرة الأجل إلى عامل محفز للتعافي المرن والشامل والمستدام.

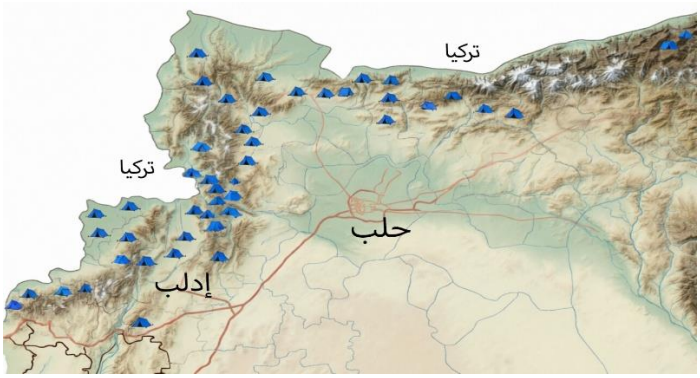
1.1. منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة في شمال غرب سورية، على طول الحدود مع تركيا ضمن محافظة حلب وإدلب، وهي منطقة أصبحت مركزًا محوريًا للنزوح والاستجابة الإنسانية بعد أكثر من عقد من الصراع الممتد. يقطن المنطقة ما يقارب 5.1 مليون نسمة، منهم 3.4 مليون متضرر بشكل مباشر من النزوح والدمار الناجمين عن الصراع.[14] وتواجه المنطقة ضغطًا هائلًا على المساكن والبنية التحتية والخدمات الأساسية. ومع انحسار الأعمال العدائية في بعض المناطق، أطلقت العديد من المنظمات الإنسانية والتنموية برامج الإسكان المستدام كجزء من جهود التعافي المبكرة، مستهدفةً الأسر التي دُمرت منازلها جزئيًا أو كليًا.

أدت هذه التدخلات إلى إنشاء العديد من المساكن المصممة لتلبية الاحتياجات العاجلة للمأوى، مع وضع الأسس لإعادة الإعمار على المدى الطويل. وكما هو موضح في الشكل1، تختلف هذه المساكن اختلافًا كبيرًا في الحجم والتصميم ومواد البناء وعدد الطوابق وإمكانية الوصول إلى الخدمات الأساسية مثل المياه والصرف الصحي والكهرباء والمرافق العامة. تم تصميم العديد من هذه المساكن على شكل "قرى" متكاملة، تضم وحدات سكنية مستقلة محاطة بمساحات خضراء ومرافق مشتركة كالمدارس والعيادات الصحية والمراكز المجتمعية، مما يعكس طموحًا لتجاوز الاستجابة الطارئة نحو بيئات معيشية كريمة ومستدامة.

بهدف تحقيق هدفين رئيسيين: **أولهما**، توفير مساكن آمنة ومستدامة ومناسبة ثقافيًا للنازحين والمتضررين من النزاعات؛ **وثانيهما**، تحفيز الانتقال من مرحلة الإغاثة إلى مرحلة التعافي من خلال دمج مبادئ الصمود والتماسك المجتمعي والاستدامة البيئية في البيئة العمرانية. مع ذلك، لا يزال مدى استيفاء هذه المساكن لمعايير الاستدامة، لا سيما فيما يتعلق بدعم سبل العيش، والأثر

البيئي، والاندماج الاجتماعي، والتوافق مع الأطر العالمية كأهداف التنمية المستدامة، غير مدروس بشكل كافٍ.



الشكل 1 يوضح منطقة الدراسة (شمال غرب سورية) – الباحث.

2. الدراسات السابقة

يُعرَّف المبنى المستدام بأنه "مبنى مصمم ومُشيَّد لتقليل الأثر البيئي إلى أدنى حد، وباستخدام مواد تتسم بالكفاءة في استخدام المواد والطاقة والمياه والمساحة" خلال تشغيله وصيانته .[15]. ويتميز "بتصميم محلي متصل ومتوافق مع البيئة المحيطة بكل عناصرها الطبيعية والصناعية والاجتماعية، مع تحقيق الكفاءة الوظيفية والبيئية من خلال توفير الراحة للمستخدمين والحد من الأثر السلبي على الصحة العامة والبيئة" .[16] ووفقًا [7]، ترتبط مبادئ تصميم المساكن المستدامة بموقع التصميم من خلال الموقع والمناخ والتكنولوجيا وثقافة المجتمع المحلي. وفقًا [17] فإن المنازل المستدامة صحية ومتينة وآمنة وبأسعار معقولة، وتستخدم مواد وتقنيات بناء صديقة للبيئة، وقادرة على تحمل الكوارث الطبيعية المحتملة، ومتصلة بمرافق الطاقة والمياه والصرف الصحي، وتستخدم الطاقة والمياه بكفاءة أكبر، ومجهزة بقدرات توليد الطاقة المتجددة، وتعيد تدوير المياه، ولا تلوث البيئة، وترتبط بالوظائف والمتاجر والرعاية الصحية والتعليم والخدمات الأخرى، وتندمج في النسيج الاجتماعي والثقافي والاقتصادي المحلي، ويتم صيانتها باستمرار.

يوجد كثير من الدراسات التي تناقش الاستدامة في قطاع البناء. وعليه، تركز هذه الورقة البحثية على الجوانب التي تُبرز استدامة المساكن المستدامة في سياق إعادة الإعمار بعد الكوارث. تستكشف هذه الورقة مؤشرات رئيسية متعلقة بالمساكن المستدامة، والتي تشمل عوامل بيئية واجتماعية واقتصادية ذات صلة بإعادة بناء المأوي خلال الكوارث. يُعدّ تحديد الجوانب الرئيسية للاستدامة عاملاً أساسياً في تقييم البناء المستدام، مما يُسهم في تطويره وتطبيقه.

من خلال مراجعة الدراسات السابقة، تم تحديد العديد من المؤشرات، والتي نصنفها على النحو التالي: **الكفاءة الوظيفية والبيئية (كفاءة الطاقة، وكفاءة استخدام المواد، وكفاءة استخدام المياه)، والكفاءة الاجتماعية، والكفاءة الاقتصادية.**

2.1 **الكفاءة الوظيفية والبيئية:** وذلك من خلال تكييف المساحات لأغراض السكن مع تحقيق مرونة تصميمية تسمح بالتوسعات المستقبلية لاستيعاب التغييرات التي قد تطرأ على المساكن. ويلعب تشكيل الكتل والمساحات دورًا هامًا في عمليات التدفئة والتبريد شتاءً وصيفًا.[18] تتحقق الكفاءة في الأداء البيئي من خلال توفير جميع عناصر الراحة للمستخدمين في التصميم مع تجنب المناطق الخطرة وغير الصحية، وإدخال العمليات الطبيعية في التصميم مثل الإشعاع الشمسي والإضاءة والتهوية الطبيعية، واستخدام التقنيات النظيفة [19].

2.1.1 **كفاءة الطاقة:** تهدف إلى تقليل استهلاك الطاقة داخل المنزل من خلال اختيار موقع قريب من المناطق الحضرية ووسائل النقل، وبعيدًا عن الأنهار والفيضانات والأماكن الخطرة والسامة. مع مراعاة توجيه المبنى لتقليل الأحمال الحرارية، والاستفادة من الإشعاع الشمسي في الشتاء، واستغلال حركة الرياح. يجب تصميم غلاف المبنى بطريقة تقلل من فقدان أو اكتساب الحرارة لتوفير درجة حرارة مناسبة للسكان [20]. مع تقليل تكلفة تشغيل المبنى. يجب البحث في ثقافة المجتمع عن وسائل صديقة للبيئة لإنتاج الطاقة داخل المبنى [21].

2.1.2 **كفاءة المواد:** تتحسن هذه الكفاءة باستخدام المواد المحلية لتوفير الطاقة اللازمة لتصنيعها، والطاقة اللازمة لنقلها إلى موقع البناء، واستخدام مواد ملائمة للمناخ المحلي، والاستفادة من الخبرات المحلية في تصنيعها وصيانتها ([13] ،[22]).

2.1.3 **كفاءة استخدام المياه:** تعد عنصرًا هامًا في تحقيق الاستدامة، وذلك من خلال تقليل الحاجة إلى المياه لتنسيق الموقع عبر زراعة نباتات قليلة الاستهلاك للمياه وتطبيق أنظمة ري حديثة موفرة للمياه [23] كما تشمل هذه الكفاءة الاهتمام بعمليات جمع وتخزين مياه الأمطار لاستخدامها في الري، ونشر الوعي بثقافة استخدام المياه والحفاظ عليها، وزراعة أشجار لا تستهلك المياه [7].

2.2 **الكفاءة الاقتصادية:** تشير الكفاءة الاقتصادية في تصميم المساكن المستدامة إلى تقليل التكاليف الإجمالية، ليس فقط خلال مرحلة الإنشاء الأولية، بل طوال دورة حياة المأوى، وذلك من خلال التخطيط الاستراتيجي، ودعم السياسات، والممارسات المراعية للسياق المحلي وتشمل:

منح إعفاءات ضريبية على مواد البناء المستوردة وتوفير أراضٍ مجانية وإلغاء رسوم التراخيص لتخفيف الأعباء المالية الأولية المشاركة الفعّالة للجهات الحكومية في دعم أو تمويل مشاريع المساكن لتخفيف التكاليف على السكان المتضررين تعديل قوانين البناء ولوائح استخدام الأراضي لتسهيل استخدام مواد محلية بأسعار معقولة وتبسيط إجراءات الموافقة. وإعطاء الأولوية للبناء باستخدام المواد المتاحة محليًا لتقليل تكاليف النقل، ودعم الاقتصادات المحلية، وتقليل الأثر البيئي. اختيار مواد تتناسب مع مهارات العمال المحليين، وضمان جودة التنفيذ وسهولة الصيانة. واعتماد تقنيات بناء فعّالة من حيث التكلفة تُحسّن استخدام المواد. زيادة استخدام المواد المُدارة أو المُعاد تدويرها أو المُعاد استخدامها لتقليل النفايات وخفض النفقات ([19], [7]).

وتطبيق ممارسات التصميم والبناء التي تُقلل من مخلفات المواد ونفايات البناء، مما يُخفض تكاليف التخلص منها ويُقلل الأثر البيئي.

2.3 **الكفاءة الاجتماعية:** يُعدّ البُعد الاجتماعي ركيزة أساسية لتحقيق الاستدامة الشاملة للإسكان المستدام. فهو يتجاوز مجرد توفير الحماية المادية ليشمل تعزيز الكرامة والخصوصية والتماسك المجتمعي والشمولية. وتشير الدراسات إلى أن الإسكان المستدام اجتماعيًا هو ذلك الذي يراعي التنوع الديموغرافي، ويضمن سهولة الوصول للأشخاص ذوي الإعاقة وكبار السن، ويوفر مساحات مشتركة تُعزز التفاعل الاجتماعي والهوية الثقافية ([25] ; [24]). ويتماشى هذا مع توصيات [26] التي تُشدد على أهمية الدمج المبكر للبنية التحتية الاجتماعية في المجتمعات الجديدة لمنع التفكك الاجتماعي. لذا، لا يُمكن تحقيق الاستدامة الاجتماعية من خلال وحدات سكنية معزولة فقط؛ بل يتطلب الأمر تخطيطًا متكاملًا على مستوى الأحياء يُراعي الممارسات المحلية، ويدعم سُبل العيش، ويُعزز الشعور بالانتماء والقدرة على التأثير لدى السكان المتضررين.

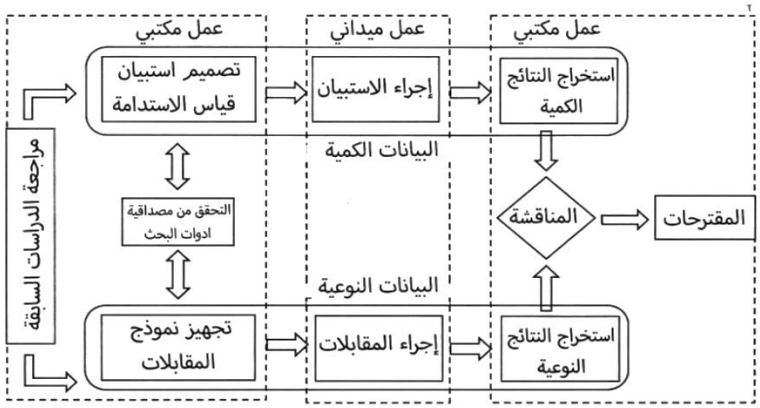
3. المنهجية

تعتمد المنهجية على العمل الموزع بين **مكتبي:** من خلال بمراجعة الدراسات السابقة وغيرها من الدراسات ذات الصلة بهدف البحث، واعدادّ استمارة لتقييم السكن المستدام، مع وضع نموذجٍ لجلسات الحوار. **وميداني** من خلال زيارات لمجمعات الإسكان، حيث عُقدت جلسات حوارٍ مع السكان المستفيدين، وأُجريت تقييماتٌ للسكن وفقًا للاستمارة المُصممة، ومن خلال الملاحظة المباشرة والاجتماعات مع المسؤولين المحلين.

استخدم المنهج الوصفي التحليلي في عملية جمع البيانات من خلال أساليب كمية ونوعية. يُتيح جمع البيانات الكمية الحصول على معلوماتٍ مُحددةٍ حول استدامة السكن المستدام، بينما تُوفر

البيانات النوعية تفاصيلَ مُعمقةً ورؤىً ثاقبةً حول تجارب وآراء السكان المتضررين. ويُشير [27] إلى أنه يُمكن استخدام البيانات النوعية لدعم النتائج الكمية، شريطة تحليل كلا المنهجين بشكلٍ مُنفصل. يُنتج التحليل النوعي نتائج لا يُمكن التوصل إليها بالوسائل الكمية، وبينما قد تكون بعض البيانات قابلة للقياس الكمي، فإن غالبية التحليل المُقدّم هو تحليل تفسيري [28] وباستخدام هذا النهج المختلط، يُمكننا اكتساب فهم أشمل لاستدامة الإسكان المستدام ودمجه في التنمية المستدامة الشكل 2.

تم الحصول على **البيانات الكمية** من خلال استبيان لتقييم استدامة المساكن بعد الكوارث، والذي طُوّر بناءً على مراجعة الدراسات والأبحاث السابقة المتعلقة باستدامة المساكن بعد الكوارث. أما **البيانات النوعية**، فقد جُمعت من خلال عقد عدد من جلسات الحوار والنقاش مع السكان للتعرف على آرائهم واحتياجاتهم. من الضروري الاستماع إلى آراء السكان بدلاً من الاعتماد فقط على البيانات الكمية. بعبارة أخرى، من الضروري التشاور مع السكان لتحديد الخصائص التي يفضلونها في السكن المناسب. فمشاركتهم أساسية في تطوير وتحسين المساكن المستدامة المتوافقة مع إعادة الإعمار. "إن إشراك المستخدمين في صنع القرار يؤدي إلى نتائج إيجابية"[9].



الشكل 2 يبين المنهجية المتبعة–الباحث

لتحقيق هدف البحث، تم زيارة مكتب التنسيق الإنساني للحصول على الموافقات اللازمة. بعد ذلك، تم زيارة المجمعات السكنية، والتواصل المباشر مع السكان الراغبين في المشاركة في جلسات الحوار، وشرح كيفية استخدام بياناتهم مع الحفاظ على خصوصيتهم، والتأكيد على حقهم في الانسحاب في أي وقت دون أي تبعات. تم إبلاغهم بأن الجلسات ونوعية الأسئلة وأسلوبها لن تسبب أي حرج، وأن الحوار سيُجرى باحترام لهم.

لتحقيق أقصى استفادة وتقليل المخاطر المحتملة، تم إطلاع المشاركين على طبيعة البحث وأهدافه وأهميته. تم التأكيد على ألا تتجاوز مدة كل جلسة 20 دقيقة، بمتوسط 16 دقيقة للمقابلة. تم تحديد مواعيد الجلسات وفقًا لتوافر المشاركين، ورُوعي فيها التركيز على أهداف البحث المحددة، مع تجنب المناقشات غير ذات الصلة.

وقّع جميع المشاركين على نموذج الموافقة المستنيرة. عُقدت جلسات معمقة لاكتساب المزيد من الفهم حول استدامة الإسكان المستدام. تم تدوين الملاحظات الميدانية قبل وأثناء وبعد كل جلسة لتسجيل الملاحظات والنقاط الرئيسية المطروحة.

بعد جمع البيانات، نُظمت المعلومات في نصوص وجداول. وتم تحليل البيانات الكمية باستخدام أساليب إحصائية معتمدة لتحديد الأنماط والاتجاهات. وفي الوقت نفسه، أُجري تحليل نوعي للمحتوى لاستخلاص الأفكار والمواضيع الرئيسية. وأخيرًا، دُمجت النتائج الكمية والنوعية: استُخدمت البيانات النوعية لتفسير وتوضيح النتائج الكمية، بينما دعمت النتائج الكمية التحليل النوعي وأثرته، مما وفر فهمًا شاملًا لنتائج الدراسة.

3.1. موثوقية جمع البيانات

صُممت أدوات الدراسة بعناية لضمان دقتها وموثوقيتها، وأُجريت الاختبارات اللازمة للتحقق من فعاليتها. تم اختيار عينة تمثل جميع أفراد المجتمع لتعزيز إمكانية تعميم النتائج. تلقى المشاركون تعليمات واضحة ومفصلة قبل بدء الدراسة، بما في ذلك شرح الأهداف والمعايير والإجراءات.

تم جمع البيانات وتوثيقها بدقة متناهية، واستُخدم برنامج متخصص لتحليل البيانات. اتُخذت تدابير إضافية لتشجيع التواصل المفتوح والصادق، مثل استخدام أنشطة تمهيدية لبناء علاقة ودية وإظهار اهتمام حقيقي بمخاوف المشاركين واحتياجاتهم. أُعيدت بعض الجلسات لتقييم ثبات المعلومات واتساقها بمرور الوقت. سُجلت جميع المقابلات (بموافقة المشاركين) للتحقق من دقة الترميز، وطُلب من المشاركين تأكيد النقاط الموثقة أثناء الجلسات لتجنب سوء الفهم أو التفسير الخاطئ. تم اختيار عينة عشوائية من نصوص جلسات الحوار، وطُلب من ثلاثة محللين مدربين ترميزها بشكل مستقل. حُسبت موثوقية الترميز بين المُقيّمين لتقييم اتساق الترميز. تم الحفاظ على الشفافية طوال إجراءات التحليل النوعي، حيث طُلب من باحثين آخرين مراجعة التحليلات ومواضيعها.

3.2 تصميم الاستبيان

بعد مراجعة الأدبيات النظرية والدراسات السابقة ذات الصلة، تم تصميم الاستبيان بناءً على معايير استدامة الإسكان. يهدف هذا الاستبيان إلى قياس استدامة الإسكان ومعرفة مدى التزامه بمبادئ الاستدامة (البيئية والاقتصادية والاجتماعية) وفقًا للمحاور المحددة. يتكون الاستبيان من الأقسام التالية: القسم الأول: مقدمة موجزة عن الباحث، واسم الدراسة، وسبب وهدف الأداة، ودعوة للمشاركة. القسم الثاني: أسئلة توضح أهداف الدراسة لمعرفة معدل استدامة الإسكان وفقًا للمحاور الرئيسية: كفاءة الطاقة، وكفاءة استخدام المواد، وكفاءة استخدام المياه، والكفاءة الوظيفية والبيئية، والكفاءة الاقتصادية.

3.2.1. موثوقية أدوات البحث

أُجريت اختبارات تجريبية أولية لضمان فعالية البحث وموثوقية نتائجه. وبناءً على ملاحظات المشاركين والخبراء، أُدخلت تعديلات على أدوات جمع البيانات الكمية والنوعية على النحو التالي:

- **مراجعة الخبراء:** تم التحقق من قبل مجموعة من خمسة مراجعين، تم اختيارهم لضمان التنوع في العمر والمستوى التعليمي والجنس، مما سهّل جمع وجهات نظر شاملة ومتنوعة. كان الغرض من إشراك هؤلاء المراجعين هو جمع ملاحظاتهم حول مدى ملاءمة أدوات البحث – الاستبيان ونموذج جلسة الحوار – فيما يتعلق بالأهداف العامة والأهداف الفرعية المحددة للمقياس. وقد أُولي اهتمام خاص لمدى توافق البنود مع المفاهيم التي صُممت لقياسها، ووضوح العبارات والأسئلة من حيث المعنى واللغة، ومدى تغطية البنود للمجالات المدروسة بشكل كافٍ.

بناءً على توصيات المراجعين، أُعيدت صياغة بعض العبارات لتضمين هذه التوضيحات والتعديلات. عززت هذه العملية صحة المحتوى، وضمنت وضوحه وملاءمته لأهداف المقياس المحددة، وبالتالي حسّنت جودة الأدوات المستخدمة في جمع البيانات.

- **الاختبار التجريبي:** أُجريت جلسة حوار تجريبية على عينة استطلاعية مكونة من 8 مشاركين لم يكونوا ضمن عينة الدراسة الرئيسية. كان الهدف من هذه الدراسة الاستطلاعية هو التأكد من فهم المشاركين للأسئلة ووضوحها خلال جلسات الحوار. طُلب من المشاركين الاستفسار عن أي نقاط وجدوا صعوبة أو غموضًا في فهمها أو الإجابة عنها. أُخذت التعليقات المقدمة

من المراجعين والمشاركين بعين الاعتبار، وتم تطوير أداة البحث في شكلها النهائي. وبذلك، يمكن اعتبار الأداة مناسبة للدراسة.

3.3. العينة المستهدفة

تم اختيار شمال غرب سورية كمنطقة للدراسة نظرًا لكثرة السكان المتضررين نتيجةً للنزاع الداخلي المستمر على مدى السنوات الماضية، بالإضافة إلى الزلزال الذي ضرب جنوب تركيا وشمال غرب سورية، والذي أسفر عن تدمير آلاف المباني وتشريد العديد من العائلات. استُخدمت عينة مقصودة من السكان المقيمين في مساكن في شمال غرب سورية. وذلك لأن البحث لا يهدف إلى التعميم الإحصائي، بل إلى الحصول على معلومات غنية ومتعمقة من سياقات مرتبطة مباشرة بالظاهرة. وقد تم اختيار العينة عمدًا لضمان إشراك المشاركين الذين:

– يقيمون بالفعل في مساكن بُنيت خلال النزاع الداخلي في سورية. وعانوا من النزوح أو إعادة التوطين. ولديهم خبرة مباشرة في استخدام المأوي لفترات طويلة (أكثر من عام). وتضمنت العينة تنوعًا في الخلفيات الديموغرافية (العمر، الجنس، الحالة الاجتماعية، المهنة) لاستيعاب نطاق واسع من وجهات النظر.

يُعدّ مؤلفو الدراسة من سكان شمال غرب سورية، مما أتاح فرصًا قيّمة ومناسبة لتجاوز صعوبة الوصول إلى البيانات. وقد ساهم ذلك في المشاركة الفعّالة في جمع البيانات، وخلق بيئةً داعمةً لبناء الثقة مع المشاركين. وكان الهدف من جلسات الحوار جمع آراء السكان حول السكن المستدام. أُجريت مقابلات مع 180 شخصًا. وقد سهّل ذلك المشاركة الفعّالة في جمع البيانات، وعزز بيئةً قائمةً على الثقة مع المشاركين. كما هدفت جلسات الحوار إلى جمع وجهات نظر السكان حول السكن المستدام. وتألفت العينة من 110 رجلاً 70 امرأةً يقيمون في 12 مشروعًا سكنيًا مستدامًا في منطقتي حلب وإدلب بشمال غرب سورية، وبلغ افراد اسرهم 954 فردًا، بمتوسط حجم أسرة يبلغ 5.3 فرد.

بحسب تقرير المجمعات السكنية [29]، يبلغ عدد المساكن التي تضم أكثر من 40 مبنى 117 مجمعًا في شمال غرب سورية، 79% منها في محافظة إدلب و21% في محافظة حلب. 94% منها تتكون من طابق واحد، و75% من الشقق متشابهة من حيث عدد الغرف، وتتراوح مساحة الشقق بين 20 و80 مترًا مربعًا. تم اختيار 10% من المجمعات السكنية لإجراء دراسة الاستدامة، نظرًا لتشابه معظمها من حيث التصميم والمواصفات، ولأنها من تنفيذ نفس الجهة الإنشائية، وبالتالي يبلغ حجم العينة المختارة 12 موقعًا، وفقًا للجدول 1.

يوضح الجدول 1 المواقع المختارة للدراسة.												
المنطقة	حلب			إدلب								
المجمع	النهضة	عمران	السلام	البنيان	دوف	قرية طينية	فردان	ألوان	شام	الكوينية	البشير	العمرين

3.4. معالجة البيانات

بالنسبة للبيانات الكمية، أُدخلت البيانات المُجمّعة في برنامج مايكروسوفت إكسل. ثم حُسبت نسبة الاستدامة لكل مأوى وفقًا لـ 100 نقطة موزعة بالتساوي على المحاور الجدول 2. بعد ذلك، حُسب متوسط نسبة الاستدامة الإجمالية للعينة المعتمدة بأكملها. استُخدم التحليل الموضوعي لتحليل البيانات النوعية. شمل هذا التحليل تنظيم البيانات وتصنيفها في مجموعات لتسهيل فهمها، وذلك وفقًا لخطوات متتالية باستخدام تطبيق NVivo، الإصدار 12.

في الخطوة الأولى، أجرى الباحث الجلسات بنفسه. ثم سُجلت جلسات الحوار واستمع إليها، وجرى التحقق من دقة البيانات. الخطوة الثانية، استُخدم الترميز الوصفي، ووُضعت رموز أولية، ولُخصت البيانات في عبارات أو كلمات قصيرة. وباستخدام منهج الترميز الاستقرائي المفتوح، تم اكتشاف رموز جديدة من البيانات. الخطوة الثالثة، جرى ترميز جلسات الحوار، وحُللت كل جلسة على حدة. وتم تلخيص المقاطع باستخدام رمز واحد أو أكثر. وقد تم استخدام ميزة الترميز في برنامج NVivo لتبسيط هذه العملية.

الخطوة الرابعة، جرى استعراض المواضيع والتأكد من جودة التحليل. الخطوة الخامسة، حُدِّدت المواضيع ووُضِّحت، مع الحرص على أن تُشكِّل حلقةً متماسكةً حول البيانات. وأخيرًا، صدر تقرير نهائي يشرح نتائج تحليل البيانات.

٤. النتائج

بعد تطبيق نموذج الاستدامة على عينة الدراسة، تم التوصل إلى نتائج لتقييم استدامة المساكن المختارة وفقًا لمحاور الاستدامة المحددة. انظر الجدول ٢.

يوضح الجدول 2 نسبة استدامة المواقع التي تمت دراستها ومتوسطاها وفقًا لمحاور الاستدامة					
		الكفاءة الوظيفية والبيئية		الكفاءة الاجتماعية	

N	المجمع	كفاءة الطاقة	كفاءة استخدام المواد	كفاءة استخدام المياه	النسبة		**الكفاءة الاقتصادية**	النسبة الكلية
1	النهضة	50	44.4	57.1	**50.5**	41	28.6	**52.5**
2	عمران	40	44.4	42.9	**42.4**	35	28.6	**47.6**
3	السلام	40	55.6	42.9	**46.2**	39	28.6	**46.3**
4	البنيان	25	44.4	42.9	**37.4**	41	42.9	**44**
5	دوف	15	33.3	42.9	**30.4**	36	42.9	**38.6**
6	قرية الطين	65	77.8	42.9	**61.9**	50	42.9	**61**
7	فردان	40	55.6	42.9	**46.2**	51	33.3	**47.3**
8	ألوان	10.5	11.1	14.3	**12.0**	43	33.3	**23.3**
9	شام	30	22.2	42.9	**31.7**	37	42.9	**41.7**
10	الكويتية	25	22.2	28.6	**25.3**	35.3	42.9	**30.8**
11	البشير	15	33.3	14.3	**20.9**	32	42.9	**40.9**
12	العمرين	10.5	11.1	14.3	**12.0**	39	33.3	**24.2**
	المعدل	**30.5**	**38**	**35.7**	**34.73**	**39.95**	**37**	**40.5**

تؤكد هذه النتائج على ضرورة تطبيق ممارسات استدامة موحدة، لا سيما في المجالين البيئي والمادي. ووفقًا للزيارات الميدانية، لوحظ أن 50% من المنازل المختارة في الدراسة بُنيت على أراضٍ زراعية، و10% على أراضٍ مزروعة بالأشجار. 36% منها بُنيت على أراضٍ صخرية، و3% على أراضٍ مخصصة للبناء فقط. 90% من مواقعها مناسبة للسكن. 82% منها قريبة من المدن والبلدات المجاورة. 79% منها تقع بعيدًا عن الطرق الرئيسية. بلغت نسبة المنازل المجهزة بدراسات هندسية 33%، بينما بلغت نسبة المنازل التي تحتوي على مساحات خضراء 18%،

و15% منها تحتوي على أسواق تجارية فقط. خلال جلسات الحوار، أشار السكان إلى عدد من القضايا، أهمها:

أُكد على أن السكن ذو أهمية قصوى في الحفاظ على كرامتهم وحياتهم اليومية. فهو خيار أفضل بكثير من المساكن المؤقتة، إذ يوفر بيئة مناسبة ومستدامة للأسر. ولم يواجهوا أي أعباء مالية في الحصول عليه. يتمتع السكان الآن بقدر كبير من الخصوصية مع عائلاتهم، وتتميز المباني بمتانتها الهيكلية الجيدة التي تحافظ على أمن العائلات وممتلكاتها. وأشارت العديد من النساء إلى شعورهن بالأمان حتى بدون أزواجهن.

وأشار عدد من المشاركين إلى ضيق المساحة مقارنةً بعدد أفراد الأسرة، والحاجة إلى مساحة أكبر، وعدم وجود حمام منفصل أو دمجه مع المرحاض في نفس المنطقة. وأُشير إلى أهمية وجود مساحة محيطة بالشقق أو شرفة واسعة لما لها من أهمية في الأنشطة اليومية وإمكانية الاسترخاء والاستمتاع بالهواء النقي، حيث يمكن استغلالها لإنشاء حدائق صغيرة.

واشتكى العديد من السكان من سوء الأحوال الجوية نتيجة استخدام مواد بناء رديئة وعدم الاهتمام بالعزل الحراري. وعانت العديد من المباني من الرطوبة وتسرب المياه من الجدران والأسقف. وأعرب بعض السكان عن قلقهم بشأن جودة البناء والمواد المستخدمة في المباني وعدم الاهتمام الكافي بجودة العمل، مما يتسبب في مشاكل ومتاعب طويلة الأمد. ويصعب عليهم إنفاق مدخراتهم لتحسين المساكن، وإضافة مساحات، وتعديل المساحات القائمة، واستبدال بعض التجهيزات. تعاني بعض المنازل من ضعف الإضاءة والتهوية بسبب صغر حجم النوافذ وعدم ملاءمتها للمساحة، بالإضافة إلى صعوبة تهوية وإضاءة المساحات المختلفة. وأشار إلى مشاكل تتعلق بتوزيع المباني وتقاربها.

أكد المشاركون أنهم لم يُستشاروا في عملية تصميم الشقق ولم يُبلغوا برغباتهم. وأكد عدد منهم عدم مراعاة احتياجات ذوي الاحتياجات الخاصة في تصميم الشقق، كما أشير إلى أن الطرق والممرات غير مُعبّدة وغير مُجهزة لاستيعاب كبار السن وذوي الاحتياجات الخاصة. وركز بعض المشاركين على نقص الخدمات الأساسية كالماء والصرف الصحي والكهرباء وإدارة النفايات في بعض المشاريع، وأن المنازل لا تخضع للصيانة اللازمة بعد استلامها. واشتكى البعض من بُعد بعض المنازل عن المناطق الحضرية الرئيسية أو المرافق الأساسية كالمدارس والمستشفيات والمتاجر،

مما يُسبب صعوبات إضافية للسكان في الوصول إلى الخدمات والتسوق والتعليم. وأكد العديد من المشاركين غياب الحدائق والمساحات الخضراء ومناطق لعب الأطفال في الموقع.

لوحظ أن معظم المنازل تفتقر إلى التقنيات المستدامة، مثل توليد الطاقة المتجددة أو أنظمة إدارة النفايات، مما قد يُؤثر سلبًا على البيئة المحيطة. وأشار البعض إلى ضعف الحياة الاجتماعية والتفاعل بين السكان نتيجةً لنقص المرافق الاجتماعية والترفيهية والثقافية في المشروع الواحد.

٥. المناقشة

أظهرت نتائج التحليل للمساكن المدروسة أنها مستدامة بنسبة ٤٠,٥٪ الجدول٢، الذي يشير إلى عدم كفاية تطبيق الاستدامة في عملية بناء المساكن. "إذا لم تُبنَ المساكن مع إيلاء أقصى درجات الاهتمام للاستدامة والكفاءة (بكل معاني هاتين الكلمتين)، فسيتراكم عبء جديد كبير على البيئة والمناخ بسرعة، مع تفاقم الهدر الاقتصادي وعدم الكفاءة الاجتماعية" [17].

تُعدّ المساكن المستدامة خيارًا أفضل بكثير من المساكن المؤقتة، إذ توفر بيئة مناسبة ومستدامة للسكان المتضررين. يرى البعض أن توفير المساكن مكلف وغير مستدام وغير ضروري، وأنه يحوّل التمويل عن جهود إعادة الإعمار الدائمة. من جهة أخرى، يقترح آخرون أن توفير المساكن يمكن أن يدعم التعافي السريع ويمنح المجتمعات الوقت لإعادة البناء بأمان. على الرغم من الانتقادات، لا يزال السكان المتضررون بحاجة إلى مكان للعيش فيه [30].

5.1 الاستدامة الوظيفية والبيئية

تم تقييم الاستدامة الوظيفية والبيئية لاثني عشر وحدة سكنية. يُظهر التحليل الكمي (الجدول 2) أن جميع المؤشرات الثلاثة أقل بكثير من العتبات المثلى، حيث بلغ متوسط الدرجات 30.5% لكفاءة الطاقة، و35.7% لكفاءة استخدام المياه، و38% لكفاءة استخدام المواد. تباينًا كبيرًا بين الوحدات السكنية، مما يعكس عدم اتساق تطبيق ممارسات التصميم والبناء المستدامة. بلغ متوسط درجة الكفاءة البيئية المركبة 34.7%، مما يؤكد وجود أوجه قصور منهجية في الأداء البيئي عبر العينة.

على الرغم من تحقيق الكفاءة الوظيفية والبيئية، إلا أن الاستدامة لم تلبِّ بعض متطلبات المأوى المستدام المناسبة لاحتياجات السكان. هناك نقص في مساحات المأوى، مما يؤثر على راحة واستقرار السكان المتضررين، إذ تؤثر المساحة على تحسين جودة الحياة اليومية والصحة النفسية والعلاقات الأسرية. تُعد مشكلة نقص مساحات المأوى إحدى مشكلات تصميم المأوي عالميًا،

حيث يُعتبر عدم كفاية مساحات المأوى مقارنةً بعدد المحتاجين أو احتياجاتهم مشكلة شائعة في حلول المأوى [31].

"نحن عائلة مكونة من سبعة أفراد نعيش في غرفتين. الحمام مشترك مع المطبخً." نازح من قرية البشير.

كما أن صغر فتحات التهوية والإضاءة يؤثر على جودة الحياة في المنازل، ويدفع السكان إلى إجراء تعديلات لتحسين ظروفهم المعيشية. هذه التعديلات كانت "وظيفية وجمالية". "لم يسألنا أحد عما نريده. جاؤوا وبنوا، وسلمونا المفاتيح. بعد أسبوع، بدأنا بحفر ثقوب في الجدران لفتح نوافذ إضافية." شاب من قرية عمران. كذلك، يجب التركيز خلال مرحلة التصميم على المطبخ والحمامات، فغياب هذه المرافق يؤدي إلى مشاكل صحية ونفسية، فضلاً عن تكلفة المواد اللازمة لإضافتها لاحقاً. كما يجب مراعاة إمكانية الصيانة وجودة المواد المستخدمة لتعزيز عمر المنازل، وهو أمر بالغ الأهمية للبناء المستدام. بحسب [7]. لتقليل تكاليف الصيانة، ينبغي تصميم المنازل المستدامة باستخدام مواد ومكونات أكثر متانة. يجب مراعاة احتياجات الأشخاص ذوي الإعاقة في التصميم، إذ يؤدي إغفالها إلى صعوبات وضعف في الوصول والاستخدام. لذا، يجب على المصممين العمل على تضمين مبادئ تصميم تراعي احتياجات الأشخاص ذوي الإعاقة لضمان توفير منازل يمكن استخدامها بكفاءة وراحة من قبل جميع السكان، حيث يتعرض العديد من الأفراد للإصابات أثناء النزاعات الداخلية. يجب أن تكون المنازل مرنة ومتجاوبة مع الاحتياجات المختلفة والمتغيرة للسكان، بمن فيهم كبار السن والأشخاص ذوو الحركة المحدودة، والأطفال، والنساء. معظم المنازل غير مرنة بما يكفي لتلبية احتياجات كبار السن والأشخاص الذين يستخدمون الكراسي المتحركة للوصول إلى المرافق (مثل المياه، والمراحيض، والاستحمام)، والخدمات، وأماكن العمل الأخرى [24]. يقول أحد سكان منطقة "دوف" مستخدمًا كرسيًا متحركًا بعد إصابته في نزاع مسلح: "الطريق إلى منزلنا ترابي ووعر. لا يمكن للكرسي المتحرك المرور فيه في الشتاء. أحيانًا أضطر للبقاء في المنزل لأيام لعدم وجود طرق معبدة".

تُعدّ كثافة الوحدات السكنية، وتقاربها الشديد، وغياب المساحات الخضراء والترفيهية، من الأسباب التي تُقوّض الاستدامة في هذه المواقع. يجب أن تتناسب الكثافة السكانية الفعلية مع السياق؛ إذ يوجد حدٌّ تتجاوزه الكثافة السكانية، ما يؤدي إلى ازدحام اجتماعي واقتصادي وبيئي، ويُقوّض الاستدامة. في مثل هذه الحالات، ينبغي خفض الكثافة السكانية بشكل فعّال، وإنشاء

مساحات عامة مفتوحة وخضراء جديدة للترفيه والاستجمام. علاوة على ذلك، فإنّ المنازل متعددة الطوابق المستخدمة حاليًا غير مناسبة للكثيرين منهم، لأنهم يستخدمونها لأعمالهم غير الرسمية التي غالبًا ما تتطلب الوصول إلى الطابق الأرضي [17].

يجب تشجيع أنماط الحياة الصحية والآمنة من خلال تسهيل المشي وركوب الدراجات كوسيلة نقل، وتوفير مرافق لممارسة الرياضة والأنشطة العائلية، فضلًا عن توفير أماكن راحة لذوي الاحتياجات الخاصة وكبار السن. إذا أتيحت للسكان فرصة التنقل بأمان سيرًا على الأقدام أو بالدراجة، فإن ذلك يُحسّن من جاذبية المناطق وجودة الحياة فيها، فضلًا عن فوائده الصحية، والتماسك الاجتماعي، والبيئة [36]. ويُمثّل الحيّ المُصمّم جيدًا بيئة معيشية أكثر جاذبية، تُعزّز رضا السكان وشعورهم بالانتماء، وترفع من معنويات المجتمع، وتُشجّع التفاعلات الاجتماعية [17].

ووفقًا [25] فإن للعلاقات الاجتماعية الجيدة آثارًا إيجابية على الصحة البدنية والمعنوية، والمرونة الاقتصادية والإنتاجية، والقدرة على النجاة والتعافي من الكوارث. فعندما يكون الناس على تواصل أفضل، يتبادلون الأخبار والمعرفة والمهارات، ويُساعدون بعضهم بعضًا في مواجهة مختلف التحديات اليومية. يجب تعزيز الحياة الاجتماعية والثقافية للمجتمعات المحلية من خلال تنويع البيئة العمرانية وتطويرها ثقافيًا، ودعم الإبداع المجتمعي عبر المرافق والمراكز المجتمعية والتدريب والرياضة والأنشطة الثقافية والترفيهية، وتوفير الخدمات الاجتماعية الأساسية في المراحل الأولى من نشأة المجتمعات الجديدة حتى لا يُضطر السكان إلى الانتقال إليها، فضلًا عن تعزيز الروابط مع أماكن إقامتهم [26]. نازح من النهضة: "لو كان هناك مركز يجمعنا، لتعليم أطفالنا الحرف اليدوية، وإقامة الفعاليات، وتبادل الخبرات. أما الآن، فالجميع يعيش في عزلة، حتى الاحتفالات فقدت رونقها".

يُعدّ التواصل والتفاعل مع المستفيدين أمرًا حيويًا لضمان تلبية احتياجاتهم ومعالجة شواغلهم في عملية التصميم. ويمكن للمصممين الاعتماد على الاستبيانات وورش العمل وجلسات النقاش للحصول على آراء وفهم احتياجاتهم الخاصة. وينبغي التركيز على ثقافة السكان وأسلوب حياتهم [7]. أدى نقص فهم ثقافة الإسكان وسبل عيش السكان إلى هجر المستوطنات، وتدهور البيئة، ومشاكل صحية، ومبانٍ غير آمنة [35]. يمكن أن تكون المعارف والتقنيات المحلية ذات قيمة كبيرة في تحسين قدرة المنازل على التكيف من خلال تطوير أساليب البناء لمواجهة المخاطر الطبيعية [26] .في أي تصميم، ينبغي إشراك المستفيدين منذ المراحل الأولى. إذا كانت عملية

البناء بقيادة المجتمع المحلي، فإنها تُمكّن المجتمعات من تولي زمام عملية التعافي، كما تُسهم في رفع مستوى الوعي بأهمية البناء الآمن [2]. يقول أحد سكان ألوان: "لم يُطلب رأينا في أي شيء، لا في شكل المنزل، ولا في عدد الغرف، ولا حتى في موضع النوافذ. جاؤوا، بنوا، وسلموا المفاتيح. لسنا شركاء، بل متلقين."

5.1.1 **كفاءة الطاقة**

سجلت كفاءة الطاقة أدنى متوسط (30.5%)، حيث بلغت نسبة المنازل في منطقتي ألوان والعمرين 10.5% فقط، بينما حققت القرية الطينية أعلى نسبة بلغت 65%. ويعود هذا التفاوت بشكل أساسي إلى غياب استراتيجيات التصميم المُراعية للمناخ. فقد عانت معظم المنازل من سوء توجيه المباني، وعدم كفاية الكتلة الحرارية، وعزل ضعيف، مما أدى إلى اكتساب حرارة كبيرة في الصيف وفقدانها في الشتاء. وأبلغ السكان باستمرار عن شعورهم بعدم الراحة الحرارية، والرطوبة، والتكثيف، وعزوا ذلك إلى استخدام مواد رديئة الجودة وغير عازلة، وسوء تصميم غلاف المبنى. تقول أرملة من الكويتية: "في الصيف، ترتفع درجة حرارة الجدران لدرجة أننا نضطر إلى رشها بالماء كل مساء. وفي الشتاء، يتسرب البرد من كل شق، ولا يوجد عزل للسقف". وكما لاحظ [19]، "يؤدي تحسين الظروف الحرارية والرطوبة الداخلية إلى مستويات أعلى من الراحة والصحة، وفترات صيانة أطول، وتقليل التعرض للظروف الخارجية، والوقاية من الرطوبة والصدأ والعفن". أكدت الملاحظات الميدانية أن جميع المنازل لم تتضمن تصميمًا شمسيًا سلبيًا، أو وسائل تظليل، أو أنظمة إضاءة موفرة للطاقة. علاوة على ذلك، غابت تمامًا تقنيات الطاقة المتجددة، مثل الألواح الكهروضوئية أو سخانات المياه الشمسية. يُعد هذا الإغفال مثيرًا للقلق بشكل خاص، نظرًا لأن "جميع تطبيقات الطاقة المتجددة تُعد إضافة إيجابية لأي تصميم مأوى".[31] . كما تؤكد جمعية سفير[32] على أن "المأوى يجب أن يوفر الحماية من تقلبات الطقس من خلال الاهتمام بالعزل"، وهو مبدأ لم يُراعَ إلى حد كبير في المواقع التي تم تقييمها. من المرجح أن يكون غياب الدراسات الهندسية في 67% من المنازل قد ساهم في هذه النواقص التصميمية، مما أثر سلبًا على راحة السكان وعلى استدامة الطاقة على المدى الطويل.

5.1.2 **كفاءة استخدام المياه**

على الرغم من وقوع المنازل في منطقة تعاني من ندرة المياه، إلا أنها لم تحقق سوى معدل كفاءة متوسط في استخدام المياه بلغ 35.7%. وفي حين غابت إلى حد كبير تجهيزات ترشيد

استهلاك المياه القياسية، وأنظمة إعادة تدوير المياه الرمادية، وبنية تحتية لتجميع مياه الأمطار، كشفت البيانات النوعية أن السكان انخرطوا بنشاط في ممارسات غير رسمية لترشيد استهلاك المياه، مثل تجميع مياه الأمطار وزراعة أنواع نباتية مقاومة للجفاف كأشجار الزيتون واللوز. تعكس هذه التكيفات الشعبية المعرفة البيئية المحلية، لكنها لا تزال تفتقر إلى التصميم الرسمي أو البنية التحتية اللازمة.

تؤكد الدراسات على أهمية الإدارة المتكاملة للمياه في المناطق القاحلة. ويشير [23] إلى أنه "يمكن استخدام المياه المعالجة للري والبستنة ولأغراض غير بشرية. كما يمكن تحويل مياه الأمطار ومياه الصرف الصحي المعالجة لاستخدامات غير بشرية". ومع ذلك، لم يشتمل أي من المنازل التي تم تقييمها على مثل هذه الأنظمة. إن غياب هذه التدابير لا يزيد الضغط على موارد المياه فحسب، بل يتعارض أيضاً مع أفضل الممارسات المتبعة في مجال الإيواء الإنساني المستدام، والتي تدعو إلى "تقنيات ترشيد استهلاك المياه، بما في ذلك الري بالتنقيط وأنظمة التحكم الآلي في المياه". وبالتالي، فبينما تُعوّض مشاركة السكان المحليين جزئياً عن الثغرات المؤسسية، لا يزال التكامل الهيكلي لتقنيات ترشيد استهلاك المياه متخلفاً بشكل خطير. تقول إحدى النساء من رحمة: "المطر ينهمر على السطح بينما نشتري الماء. لو تم تركيب أنابيب بسيطة لجمعه، واستخدامه في الغسيل والري".

5.1.3 **كفاءة استخدام المواد**

بلغ متوسط كفاءة استخدام المواد 38%، بينما حققت قرية الطين أعلى نسبة أداء بلغت 77.8% بفضل استخدامها مواد طبيعية محلية المصدر، مثل الطين والحجر والطوب المصنوع يدويًا. يتوافق هذا النهج مع التوجيهات الدولية: إذ يوصي مركز المأوى والمنظمة الدولية للهجرة [1] بـ "اختيار مواد ملائمة ثقافيًا، لأنها تُسهم في حماية الموارد الطبيعية، وتعكس الخبرات المحلية في إدارة الموارد، وتُقلل من استهلاك الطاقة والتلوث". لا تقتصر مزايا هذه المواد على كونها منخفضة الكربون وقابلة لإعادة التدوير، بل تدعم أيضًا الاقتصادات المحلية والحرف اليدوية. في المقابل، أفاد السكان مرارًا وتكرارًا بإنفاق مدخراتهم الشخصية لإصلاح أو تجديد الوحدات السكنية بسبب رداءة جودة البناء، وهي نتيجة تتفق مع ما ذكر[7] الذين يؤكدون على ضرورة تصميم المنازل المستدامة باستخدام مواد ومكونات أكثر متانة لتقليل تكاليف الصيانة. بالإضافة إلى ذلك، كان هدر المواد شائعًا أثناء البناء، مما يعكس قصورًا في التخطيط والإشراف. وكما يؤكد [33] فإن "تقليل هدر المواد أثناء التصنيع... يقلل من تكلفة المنازل" ويعزز الأداء البيئي.

يُظهر التباين بين قرية الطين والمواقع ذات الأداء المنخفض إمكانات المناهج الهجينة التي تدمج المعارف المحلية مع المعايير المعاصرة. ومع ذلك، وكما لوحظ في البيانات الميدانية، "هناك قلة ثقة في الجدوى التقنية والاقتصادية للتقنيات التقليدية" لدى الجهات المنفذة، مما يؤدي إلى تهميشها على الرغم من مزاياها في مجال الاستدامة ([34] ; [35]). يقول أحد سكان قرية الطين: "الجدران مبنية من الطين، باردة في الصيف ودافئة في الشتاء. يساعد الجيران بعضهم بعضًا في البناء، وجميع المواد تأتي من الأرض المحيطة. لسنا بحاجة إلى شاحنات ".

تكشف البيانات مجتمعةً عن نمط من الأداء البيئي المتدني المتجذر في ثغرات تقنية وإجرائية وسياقية. تعكس المقاييس الكمية ضعف تبني استراتيجيات ترشيد الموارد، بينما تكشف التقارير النوعية عن العواقب المعيشية: الإجهاد الحراري، وانعدام الأمن المائي، وهشاشة الهياكل. ومن الجدير بالذكر أن 50% من المنازل شُيّدت على أراضٍ زراعية و10% على مناطق حرجية، مما يثير مخاوف بشأن اضطراب النظام البيئي وتخطيط استخدام الأراضي غير المستدام [17]. كما أن الغياب شبه التام للمساحات الخضراء (82% منها تفتقر إليها)، وأنظمة الطاقة المتجددة، ومعالجة مياه الصرف الصحي في الموقع، يُضعف المرونة البيئية.

تشير هذه النتائج إلى أن المنازل الحالية تُعطي الأولوية للسرعة والتكلفة على حساب التكامل البيئي. وكما تنص عليه جمعية سفير [32] فإن "أحد الإجراءات الرئيسية هو استخدام حلول ومواد وتقنيات بناء مقبولة ثقافيًا ومستدامة بيئيًا". ويتطلب تحقيق ذلك ليس فقط تحسينات تقنية، بل أيضًا مشاركة فعّالة مع أنظمة المعرفة المحلية، وضمان جودة صارم، وتخطيط مراعٍ للموقع يحترم الحدود البيئية والاحتياجات البشرية على حد سواء.

5.2 **الكفاءة الاقتصادية.**

يكشف تقييم الكفاءة الاقتصادية في مشاريع الإسكان عن تفاعل معقد بين القدرة على تحمل التكاليف الأولية، وأعباء التكاليف طويلة الأجل، والقيود التصميمية النظامية. كميًا، حققت العينة متوسطًا في الكفاءة الاقتصادية بلغ 37%، مما يشير إلى أداء معتدل ومتسق نسبيًا مقارنةً بمحاور الاستدامة الأخرى. يُعزى هذا الاتساق إلى حد كبير إلى السياسة الإنسانية المتمثلة في توفير المأوى مجانًا، وهو إجراء بالغ الأهمية يهدف إلى "تخفيف العبء المالي على الأسر النازحة وتمكينها من توجيه مواردها نحو احتياجات أخرى". في الواقع، أكد السكان بالإجماع عدم وجود تكاليف مسبقة، وهي نتيجة تتوافق مع المبادئ الإنسانية الأساسية للحماية والرعاية. مع ذلك،

تكشف البيانات النوعية عن تباين كبير بين القدرة على تحمل التكاليف. فبينما تم توفير المساكن دون أي تكلفة مباشرة، أفادت العديد من الأسر بنفقات كبيرة بعد السكن لمعالجة أوجه القصور الوظيفية. كما أوضح أحد سكان الكويتية: "كان المنزل مجانيًا، لكننا أنفقنا دخل ثلاثة أشهر على عزل السقف وإضافة جدار فاصل. التكلفة الحقيقية بدأت بعد استلام المفتاح."

وبالمثل، أشارت امرأة من جمعية "الكويتية": "اضطررنا لبناء حمام منفصل في الخارج لأن الحمام الأصلي كان صغيرًا جدًا ومشتركًا مع المطبخ. كلّفنا ذلك أكثر مما توقعنا."

تُجسّد هذه التجارب فكرة بالغة الأهمية: لا يمكن اختزال الكفاءة الاقتصادية إلى تكلفة البناء أو التخصيص الأولية فقط. يجب أن تشمل القدرة الحقيقية على تحمل التكاليف نفقات دورة حياة المنزل، بما في ذلك الصيانة والتعديل وتكاليف المرافق، وكلها تتأثر بالتصميم واختيارات المواد.

ترتبط هذه الظاهرة ارتباطًا مباشرًا بانخفاض الأداء البيئي، لا سيما في كفاءة استخدام المواد والطاقة. وقد أدى استخدام مواد بناء رديئة الجودة، وعدم كفاية العزل، وضعف العزل المائي، فضلًا عن غياب الدراسات الهندسية في 67% من المنازل، إلى تحميل الأسر الهشة أعباءً مالية طويلة الأجل. ويتوافق هذا مع ملاحظة [7]: بأن "المنازل المستدامة ينبغي تصميمها باستخدام مواد ومكونات أكثر متانة لتقليل تكاليف الصيانة". فعندما تُضحّى بالمتانة من أجل تحقيق مكاسب قصيرة الأجل، تتأثر الكفاءة الاقتصادية سلبًا رغم انعدام التكلفة الأولية.

بالإضافة، يُفاقم ضيق المساحة من الضغط على ميزانيات الأسر. أكد سكان من مواقع متعددة أن "نقص مساحات الإيواء مقارنة بعدد المحتاجين. مشكلة شائعة في حلول الإيواء" [30]. أجبر عدم كفاية عدد الغرف، بالإضافة إلى سوء تصميم المطابخ ووحدات الحمامات المتكاملة، العائلات على الاستثمار في عمليات ترميم مكلفة، غالباً باستخدام مواد رديئة الجودة، بسبب ضيق الميزانية، مما أدى إلى استمرار حلقة مفرغة من التدهور والإنفاق.

كما يؤثر الموقع على النتائج الاقتصادية. فبينما تقع 82% من المنازل بالقرب من المدن المجاورة، تقع 79% منها بعيداً عن الطرق الرئيسية، مما يزيد من تكاليف النقل للوصول إلى العمل والأسواق والمدارس والخدمات الصحية. وقد علّق أحد المشاركين قائلاً: "أمشي 30 دقيقة إلى أقرب موقف للحافلات. لو وجدت عملاً قريباً، لاحتفظت بجزء أكبر من راتبي ".

يتناقض هذا التباعد المكاني مع مبادئ المرونة الاقتصادية، التي تتطلب "الوصول إلى فرص العمل والخدمات الحضرية دون إجبار السكان على الاعتماد على السيارات" [17]. فبدون قرب من فرص كسب العيش، حتى السكن "المجاني" يفرض عقوبات اقتصادية غير مباشرة.

ومن الجدير بالذكر أن حالة قرية الطين تقدم نموذجًا مضادًا. فعلى الرغم من محدودية الموارد، فإن استخدامها لمواد محلية متينة (مثل الطين والحجر) لم يُحسّن الأداء البيئي فحسب (بكفاءة بيئية بلغت 61.9%)، بل قلّل أيضًا من التكاليف طويلة الأجل ووفر فرص عمل محلية. وهذا يُجسّد تأكيد [34] على أن "تطوير مواد وتقنيات بناء محلية مستدامة يُعزز أيضًا قطاعي التجزئة والاستشارات"، مما يُبيّن إمكانية تعزيز الكفاءة الاقتصادية من خلال سلاسل القيمة المحلية، وهو بُعد غائب في المناهج التقليدية التي تعتمد على المواد المستوردة.

أخيرًا، يُفاقم غياب التصميم التشاركي أوجه القصور. فبما أن المستفيدين لم يُستشاروا في عملية التصميم، غالبًا ما كانت المساكن غير متوافقة مع ممارسات كسب العيش، كالمشاريع المنزلية غير الرسمية التي تتطلب الوصول إلى الطابق الأرضي [17] هذا التباين يُقلل من الفائدة الوظيفية والقدرة على التكيف الاقتصادي، مما يُعزز تحذير [35] من أن "عدم فهم ثقافة السكن وسبل عيش الناس قد أدى إلى مبانٍ غير آمنة" ومستوطنات غير مُجدية اقتصاديًا.

تشير النتائج إلى أن الكفاءة الاقتصادية في مجال الإيواء الإنساني لا تتحقق من خلال توفير المساكن مجانًا فقط، بل من خلال قرارات تصميمية تُقلل من تكاليف دورة الحياة، وتدعم الاقتصادات المحلية، وتتوافق مع سبل عيش السكان. يُؤدي النموذج الحالي الذي يُعطي الأولوية للسرعة والتوحيد القياسي على حساب المتانة والقدرة على التكيف ومراعاة السياق إلى مفارقة: مساكن مجانية غير مُستدامة اقتصاديًا. ولتصحيح هذا الوضع، يجب أن تدمج برامج الإيواء تحليل تكلفة دورة الحياة، ومشاركة المجتمع، والاستثمار في مواد عالية الجودة ومناسبة محليًا، وهي مبادئ تربط المساعدات الإنسانية بالتنمية المستدامة.

وكما خلص [7]"عند تصميم ملاجئ مستدامة لما بعد الكوارث، يجب أن ننطلق من منظور القدرة على تحمل التكاليف والعدالة الاجتماعية". وبالتالي، لا تكمن الكفاءة الاقتصادية الحقيقية في انعدام التكلفة، بل في تحقيق القيمة المثلى بمرور الوقت، سواء للأسر أو للجهات المنفذة.

5.3 **الكفاءة الاجتماعية**

يكشف تقييم الكفاءة الاجتماعية في مشاريع الإسكان الاثني عشر عن بُعدٍ يتمتع بقوة نسبية مقارنةً بالمحورين البيئي والاقتصادي، إلا أنه لا يزال غير مكتمل بشكلٍ كبير في تلبية المتطلبات الشاملة للإسكان المستدام اجتماعيًا. وقد حققت العينة، كميًا، متوسطًا في الكفاءة الاجتماعية بلغ 39.94%. ويعكس هذا الاتساق أساسًا مشتركًا في تلبية الوظائف الوقائية الأساسية، كالسلامة

الجسدية والخصوصية والسلامة الإنشائية، والتي أكد السكان باستمرار على أهميتها التحويلية مقارنةً بالبدائل المؤقتة.

وكما لوحظ في جلسات الحوار، "تم التأكيد على أن السكن ذو أهمية قصوى في الحفاظ على كرامتهم وحياتهم اليومية... فهم يتمتعون الآن بقدر كبير من الخصوصية مع عائلاتهم، وتتمتع المباني بسلامة إنشائية جيدة، مما يحافظ على أمن العائلات وممتلكاتها. وأشارت العديد من النساء إلى أنهن يشعرن بالأمان فيها حتى بدون شركائهن". وتتوافق هذه الشهادات مع المعايير الإنسانية الدولية التي تُعطي الأولوية للمأوى كحق أساسي في الحماية والكرامة [32].

مع ذلك، يكشف تحليل نوعي معمق عن فجوات كبيرة بين الأمن المادي الأساسي والاستدامة الاجتماعية الحقيقية. فبينما نجحت المساكن في توفير وحدات سكنية فردية، إلا أنها فشلت إلى حد كبير في تعزيز التماسك المجتمعي، والتعبير الثقافي، والشمولية، والبنية التحتية الاجتماعية القابلة للتكيف، وهي جميعها عناصر أساسية للكفاءة الاجتماعية في سياقات ما بعد الأزمات.

كان من بين المواضيع المتكررة في روايات السكان عدم التوافق بين حجم المأوى وتكوين الأسرة. لا يقوض هذا الضيق المكاني الخصوصية فحسب، بل يقوض أيضًا الصحة النفسية وديناميات الأسرة، مما يؤكد ملاحظة [30] بأن "عدم كفاية مساحة المساكن مقارنة بعدد المحتاجين... مشكلة شائعة بين حلول الإيواء"، ويؤثر بشكل مباشر على "جودة الحياة اليومية، والصحة النفسية، والعلاقات الأسرية". كما أن غياب المساحات الخارجية شبه الخاصة، مثل الأفنية أو الشرفات ذات الحجم المناسب، يحد من فرص الأنشطة المنزلية، والتواصل الاجتماعي، وسبل العيش الصغيرة (مثل البستنة المنزلية)، وهي أمور حيوية للمرونة الاجتماعية.

أظهر تصميم غالبية المنازل قصورًا بنيويًا في مراعاة احتياجات الأشخاص ذوي الإعاقة وكبار السن وغيرهم من الفئات الضعيفة. يعكس هذا نمطًا أوسع نطاقًا: فالطرق المؤدية إلى المنازل غير معبدة، والمداخل تفتقر إلى المنحدرات، والمرافق الصحية غير مهيأة لذوي الإعاقة الحركية. ونظرًا لارتفاع معدل الإصابات المرتبطة بالنزاعات في المنطقة، يُعد هذا الإغفال خللًا جوهريًا في التصميم الشامل. وكما ورد في الدراسات، "يجب أن تكون المنازل مرنة ومتجاوبة مع الاحتياجات المختلفة والمتغيرة للسكان، بمن فيهم كبار السن، وذوو الإعاقة الحركية، والأطفال، والنساء" [24] إن غياب هذه الاعتبارات يتعارض مع مبدأ التصميم الشامل ويقوض العدالة الاجتماعية.

– **غياب البنية التحتية المجتمعية والنسيج الاجتماعي:** أكدت الملاحظات الميدانية أن 82% من المنازل تفتقر إلى المساحات الخضراء، وأن الحدائق ومناطق لعب الأطفال والمراكز المجتمعية

والمرافق الثقافية أو الترفيهية غائبة تمامًا. هذا الفراغ المادي يُترجم إلى فراغ اجتماعي. كما عبّر أحد كبار السن " عن أسفه قائلاً:

"لو كان هناك مركز يجمعنا، لتعليم أطفالنا الحرف اليدوية، وإقامة الفعاليات، وتبادل الخبرات. أما الآن، فالجميع يعيش في عزلة، حتى الاحتفالات فقدت رونقها."

يتوافق هذا مع تأكيد [25] على أن "للعلاقات الاجتماعية الجيدة آثارًا إيجابية على الصحة البدنية والمعنوية، والمرونة الاقتصادية والإنتاجية، والبقاء والتعافي من الكوارث". فبدون مساحات مشتركة، تتضاءل فرص تبادل المعرفة، والمساعدة المتبادلة، والحفاظ على التراث الثقافي، والهوية الجماعية بشكل كبير. وتؤكد مؤسسة يونغ [25] كذلك على ضرورة "توفير المرافق الاجتماعية الأساسية في وقت مبكر من حياة المجتمعات الجديدة حتى لا يُجبر السكان على الانتقال إليها"، مُسلطةً الضوء على الدور الوقائي للبنية التحتية الاجتماعية في استقرار السكان النازحين.

– **غياب التصميم التشاركي والتنافر الثقافي:** أكد السكان في جميع المواقع، بشكلٍ حاسم، أنهم لم يُستشاروا خلال مرحلة التصميم. وصرح أحد المشاركين من ألوان بوضوح: "لم يُطلب رأينا في أي شيء، لا في شكل المنزل، ولا في عدد الغرف، جاؤوا، بنوا، وسلمونا المفاتيح. لسنا شركاء، بل متلقين. "أدى هذا النهج التنازلي إلى تصاميم تتعارض في كثير من الأحيان مع ثقافات السكن المحلية، مثل تفضيل الوصول من مستوى الأرض للمشاريع المنزلية غير الرسمية [17] أو الأفنية المشتركة للتفاعل الاجتماعي. وكما يحذر [35]: "أدى نقص فهم ثقافة السكن وسبل عيش الناس إلى مستوطنات مهجورة، وأضرار بيئية، ومشاكل صحية، ومبانٍ غير آمنة". إن عدم دمج المعارف والممارسات المكانية المحلية لا يُضعف الاستمرارية الثقافية فحسب، بل يُقلل أيضًا من شعور السكان بالملكية والقدرة على التأثير.

نحو فهم شامل للكفاءة الاجتماعية، تشير هذه النتائج إلى أن الكفاءة الاجتماعية لا تقتصر على توفير وحدات سكنية خاصة وآمنة فحسب. فالاستدامة الاجتماعية الحقيقية تتطلب مساحات داخلية وخارجية كافية وقابلة للتكيف لدعم مختلف أنماط الأسر وممارساتها اليومية. مع إمكانية الوصول الشاملة لجميع مستويات القدرات.

مرافق على مستوى المجتمع تعزز التفاعل والترفيه والحياة الثقافية. وعمليات تخطيط تشاركية تُدمج المعرفة المحلية وتُمكّن السكان وتخطيط للموقع يُتيح دمج سبل العيش (مثل توفير محلات تجارية في الطابق الأرضي).

في حين أن النسبة الكمية البالغة 40% تعكس النجاح في الحماية الأساسية، إلا أنها تُخفي النقص النوعي في الاندماج الاجتماعي والرفاه الجماعي. وكما يُشير [17]، فإن "الحي المصمم جيدًا يزيد من رضا السكان وشعورهم بالانتماء، ويرفع من معنويات المجتمع، ويشجع التفاعلات الاجتماعية". يحقق النموذج الحالي كفاءة اجتماعية جزئية من خلال ضمان السلامة والخصوصية الأساسيتين، ولكنه لا يرقى إلى مستوى بناء مجتمعات مرنة وشاملة ومتماسكة. ولتعزيز الاستدامة الاجتماعية، يجب أن تتجاوز التدخلات المستقبلية نطاق التنفيذ على مستوى الوحدة السكنية لتشمل تخطيطًا على مستوى الأحياء يدمج البنية التحتية الاجتماعية والتصميم التشاركي والحساسية الثقافية. عندها فقط يمكن للمنازل أن تتحول من مجرد وحدات سكنية إلى بيئات كريمة وديناميكية ومُنتجة اجتماعيًا.

6. الخلاصة

قيّمت الدراسة استدامة ١٢ وحدة سكنية عبر ثلاثة أبعاد رئيسية: البيئية والاقتصادية والاجتماعية. بلغت نسبة الاستدامة الإجمالية ٤٠,٥٪، مما يشير إلى عدم كفاية دمج مبادئ الاستدامة في ممارسات الإسكان الحالية.

– الاستدامة البيئية (المتوسط: ٣٤,٧٪)

كانت كفاءة الطاقة أضعف الأبعاد الفرعية (٣٠,٥٪)، ويعود ذلك أساسًا إلى سوء توجيه المباني، ونقص العزل الحراري، وغياب التصميم السلبي أو أنظمة الطاقة المتجددة.

تفاوتت كفاءة استخدام المواد (٣٨ ٪) بشكل كبير، حيث تفوقت قرية الطين (٧٧,٨٪) من خلال استخدام مواد محلية طبيعية (مثل الطين والحجر)، بينما اعتمدت وحدات أخرى على مواد منخفضة الجودة، مما أدى إلى الرطوبة والتلف وتكاليف باهظة للترميم.

ظلت كفاءة استخدام المياه (٣٥,٧٪) منخفضة على الرغم من جفاف المنطقة؛ إذ لم يكن هناك تجميع لمياه الأمطار أو إعادة تدوير للمياه الرمادية، على الرغم من ممارسة السكان لترشيد استهلاك المياه بشكل غير رسمي.

بُني 50% من المنازل على أراضٍ زراعية و10% على مناطق حرجية، مما أثار مخاوف بيئية. وافتقر 82% منها إلى المساحات الخضراء، ولم تخضع 67% منها لدراسات هندسية، مما ساهم في إخفاقات التصميم.

–الكفاءة الاقتصادية (المتوسط: 36.9%)

تم توفير المنازل مجانًا، مما خفف الأعباء المالية الأولية. مع ذلك، ظهرت تكاليف خفية طويلة الأجل: أنفقت الأسر مدخراتها على الإصلاحات والتعديلات المكانية وتحديثات المرافق بسبب رداءة جودة البناء وعدم كفاية المساحة.

زاد الموقع من الضغط الاقتصادي: 79% من المنازل كانت بعيدة عن الطرق الرئيسية، مما زاد من تكاليف النقل للوصول إلى الخدمات وسبل العيش.

أظهرت قرية الطين أن المواد المحلية والبناء بقيادة المجتمع يمكن أن يقلل من تكاليف دورة الحياة ويحفز الاقتصادات المحلية، على عكس منطق التكلفة قصيرة الأجل للأساليب التقليدية.

-الكفاءة الاجتماعية (المتوسط: 39.9%)

نجحت المنازل في توفير الخصوصية والأمان والسلامة الهيكلية، حيث أفادت العديد من النساء بزيادة الشعور بالأمان. مع ذلك، بقيت فجوات اجتماعية حرجة:

عدم كفاية المساحة بشكل كبير: وحدات سكنية مكتظة، ومساحات مشتركة للمطبخ والحمام. واستبعاد الأشخاص ذوي الإعاقة: ممرات غير معبدة، وعدم وجود منحدرات، ومرافق غير مُهيأة لذوي الإعاقة. ونقص البنية التحتية المجتمعية: غياب الحدائق العامة، ومناطق اللعب، والمراكز المجتمعية، مما يؤدي إلى العزلة الاجتماعية. مع انعدام المشاركة في التصميم: لم يتم استشارة السكان، مما أدى إلى تصميمات غير متناغمة ثقافيًا تتجاهل سبل العيش المحلية.

7. التوصيات

بناءً على النتائج، تُقترح التوصيات التالية للجهات الفاعلة في المجال الإنساني وصانعي السياسات، والوكالات المنفذة لتصميم مساكن مستدامة تكون جزء من عملية إعادة الاعمار لا عبئ عليها:

يجب وضع معايير تصميم تراعي دورة حياة المباني وتُعطي الأولوية للمتانة، الراحة الحرارية، وكفاءة استخدام المياه، حتى في حالات الطوارئ يجب أن تكون هذه المعايير مرنة بما يكفي للتكيف مع السياقات المحلية واحتياجات المجتمعات المتضررة.

ومن الضروري إجراء دراسات جدوى بيئية واجتماعية قبل اختيار مواقع البناء لتجنب البناء على الأراضي الزراعية أو الحساسة بيئيًا. مع ضمان توافق مواقع المساكن مع متطلبات السلامة والاستدامة طويلة الأجل.

ويطلب إجراء دراسات هندسية دقيقة واختبار المواد المستخدمة قبل وأثناء وبعد الإنشاء. وتطبيق رقابة مستمرة على جودة البناء لضمان تحقيق المعايير الفنية والبيئية. ويجب تصميم المساكن لتقليل استهلاك الطاقة باستخدام تقنيات مثل العزل الحراري، التهوية الطبيعية، والاستفادة من الطاقة الشمسية. وتشجيع استخدام مواد بناء محلية ومستدامة لتقليل التكلفة والأثر البيئي. وضرورة إشراك السكان المتضررين في عملية التصميم والتخطيط لضمان أن المساكن تتماشى مع احتياجاتهم الثقافية والاجتماعية.

وتوفير فرص للمشاركة المجتمعية لتحفيز الشعور بالملكية والقدرة على التأثير.

مع النظر إلى التكلفة الاقتصادية بمنظور شامل يشمل نفقات دورة حياة المنزل (الصيانة، التعديل، المرافق). وتشجيع الاستثمار في مواد عالية الجودة ومناسبة محليًا لتقليل التكاليف طويلة الأجل. والعمل على تحسين البنية التحتية المجتمعية (حدائق عامة، مناطق لعب، مراكز مجتمعية) لتقليل العزلة الاجتماعية وتعزيز التماسك المجتمعي.

ويجب تخصيص مساحات داخلية وخارجية قابلة للتكيف لدعم مختلف أنماط الأسر وممارساتها اليومية تصميم المساكن لتكون ملائمة للأشخاص ذوي الإعاقة من خلال توفير ممرات معبدة، منحدرات، ومرافق مهيأة. وضمان سهولة الوصول إلى الخدمات الأساسية مثل التعليم والرعاية الصحية. يجب على صانعي السياسات تبني سياسات تربط إعادة الإعمار بخطة التنمية المستدامة. واستغلال فترة ما بعد الكارثة كفرصة لتنفيذ مفاهيم التنمية المستدامة. وإجراء تقييمات دورية للمشاريع لإعادة الإعمار لضمان استدامتها وفعاليتها. واستخدام البيانات النوعية والكمية لتقييم الأداء والتأثير طويل الأجل.

المراجع

[1]. Shelter Centre and IOM. (2012). Transitional Shelter Guidelines. Shelter Center. Retrieved May 20 2024 from https://sheltercluster.s3.eu-central-1.amazonaws.com/public/docs/20120522_tsg_onlinedoc_0_0.pdf

[2]. Stroebe, K., Kanis, B., Richardson, J., Oldersma, F., Broer, J., Greven, F., & Postmes, T. (2021). Chronic disaster impact: the long-term psychological and physical health consequences of housing damage due to induced earthquakes. BMJ open, 11(5), e040710. doi: 10.1136/bmjopen-2020-040710

[3]. Ferrer, C. I. (2009). The IFRC Shelter Kit. International Federation of Red Cross and Red. Crescent Societies, Retrieved Jan 20, 2024 from https://www.ifrc.org/sites/default/files/2021-08/IFRC_shelter-kit-guidelines-EN-LR.pdf

[4]. Demir, A., Celebi, E., Ozturk, H., Ozcan, Z., Ozocak, A., Bol, E., ... & Mert, N. (2025). Destructive impact of successive high magnitude earthquakes occurred in Türkiye's Kahramanmaraş on February 6, 2023. Bulletin of Earthquake Engineering, 23(3), 893-919. https://doi.org/10.1007/s10518-024-01865-5

[5]. Comerio, M. C. (2014). Disaster Recovery and Community Renewal: Housing Approaches. Cityscape, 16(2), 51–68. http://www.jstor.org/stable/26326883

[6]. Tucker, S. G. (2014). Some design aspects of sustainable post-disaster housing. International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment, 5(2), 163-181. http://dx.doi.org/10.1108/IJDRBE-06-2012-0019

[7]. Ismail, I. H., Al-Hazmi, A. M., & Al-Hussein, A. (2024b). Deepening the understanding of shelter through the proposals of the displaced in Syria. GeoJournal, 89.181 https://doi.org/10.1007/s10708-024-11171-x

[8]. Sukhwani, V., Napitupulu, H., Jingnan, D., Yamaji, M., & Shaw, R. (2021). Enhancing cultural adequacy in post-disaster temporary housing. Progress in Disaster Science, 11, 100186. https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2021.100186

[9]. Davidson, C. H., Johnson, C., Lizarralde, G., Dikmen, N., & Sliwinski, A. (2007). Truths and myths about community participation in post-disaster housing projects. Habitat International, 31(1), 100–115. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2006.08.003

[10]. Dube, E. (2020). The build-back-better concept as a disaster risk reduction strategy for positive reconstruction and sustainable development in Zimbabwe: A literature study. International Journal

of Disaster Risk Reduction 43. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101401

[11]. Alexander, D. (2004). Planning for post-disaster reconstruction. I-Rec international conference improving post-disaster reconstruction in developing countries, 1-12.

[12]. UN Environment Programme. (2024). Building resilience to disasters and conflicts. Retrieved 2024, from https://www.unep.org/regions/latin-america-and-caribbean/regional-initiatives/building-resilience-disasters

[13]. Chang, Y., Wilkinson, S., & Potangaroa, R. (2010). Resourcing challenges for post-disaster housing reconstruction: a comparative analysis. Building Research & Information, 38(3), 247-264. https://doi.org/10.1080/09613211003693945

[14]. (UNDRR), U. N. (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Retrieved from UNDDER: https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030

[15]. ALameen, O. A. (2020). A methodology for sustainable housing policy in Libya case: city of Tripoli. Ph.D. thesis the graduate school of natural and Applied, Çankaya University

[16]. Fakush, t., & Makdisi, M. (2020). Concepts and Applications of Sustainable Housing Design Study of Youth Housing ituation in Lattakia City", Tuj-eng, 42(5).

[17]. UN-Habitat, (2012). Sustainable housing for sustainable cities, a policy framework for developing countries. Kenya: united nations human settlements programme (first published in Nairobi in 2012), Retrieved May 2024, from https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Sustainable%20Housing%20for%20Sustainable%20Cities.pdf

[18]. Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., &. (2012). An overview of sustainability assessment methodologies. Ecological Indicators, 15(1). 281-299. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.01.007

[19]. Clarke, J. L. (2025). Sustainable Buildings for Sustainable Behaviour: Theory and Practice. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-98905-6

[20]. Sarmento, R., Posani, M., Fernande, P., & Mo, A. (2024). Energy efficiency in modular emergency houses: Impact of envelope finishings and shadowing,. Journal of Building Engineering, 94. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110029

[21]. Schneider, C. (2012). Sustainable Reconstruction in Disaster-Affected Countries; Practical Guidelines. Retrieved May 15 2024 from http://www.unep.org/sbci/pdfs/PracticalGuidelines_SustainableReconstruction.pdf

[22]. Omer, M. A., & Noguchi, T. (2020). A conceptual framework for understanding the contribution of building materials in the achievement of Sustainable Development Goals (SDGs). Sustainable Cities and Society, 52, 101869. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101869

[23]. Pereira, L. S., Cordery, I., & Iacovides, I. (2012). Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. Agricultural water management, 108, 39-51. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.022

[24]. Bui, B. K. H., Anglewicz, P., & VanLandingham, M. J. (2021). The impact of early social support on subsequent health recovery after a major disaster: A longitudinal analysis. SSM-Population Health, 14, 100779. https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2021.100779

[25]. Young Foundation. (2011). Design for social. Retrieved from http://www.youngfoundation.org/files/images/Design_for_Social_Sustainabilitypdf

[26]. Granderson, A. A. (2017). The role of traditional knowledge in building adaptive capacity for climate change: Perspectives from Vanuatu. Weather, Climate, and Society, 9(3), 545-561. https://doi.org/10.1175/WCAS-D-16-0094.1

[27]. Kendall, K. (2008). Systems Analysis and Design. Pearson Education Inc.

[28]. Juliet, C., & Strauss, A. (2014). Basics of Qualitative Research Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory. SAGE Publications, Inc.

[29]. ACU. (2022). Residential complexes. Support Coordination Unit/Information Management Section. Retrieved January 5, 2024 from https://acu-sy.org/ar/imu/

[30]. Alshawawreh, L. (2019). Architecture of Emergencies in the Middle East Proposed Shelter Design Criteria. PhD. Edinburgh Napier University.

[31] Johnson, C. (2007). Impacts of prefabricated temporary housing after disasters: 1999. Habitat International, 31(1), 36-52. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2006.03.002

[32]. Sphere Association. (2018). The Humanitarian Charter and minimum standards in humanitarian response. Geneva, Switzerland. Retrieved from spherestandards.org

[33]. Tumbeva ،M., Wang, Y., Sowar, M., Sowar, M & ،.Thrall, A. (2016). Quilt pattern inspired engineering: Efficient manufacturing of shelter topologies .Automation in Construction, 63, 57-65 . https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.12.005

[34]. Golubchikov ،O. (2009). Climate Neutral Cities: How to Make Cities Less Energy and Carbon Intensive and More Resilient to Climatic Challenges. Geneva: United Nations ،Economic Commission for Europe.

[35]. Barenstein, D., & J, E. (2011). The home as the world: Tamil Nadu, in: Beyond Shelter. New York: Metropolis Books.

[36]. Giles, C. B., Kelty, S. F., Zubrick, S. R., & Villanueva, K. P. (2009). Encouraging walking for transport and physical activity in children and adolescents: how important is the built environment? Sports medicine, 39, 995-1009. https://doi.org/10.2165/11319620-000000000-00000

دراسة تغير خواص الانتفاخ والقص للترب الناعمة بعد خلطها مع المطاط

إعداد
المهندس واصف هيثم كوسى

إشراف

د. محمد تقلا (مشرف أساسي)
أستاذ في قسم الهندسة الجيوتكنية
كلية الهندسة المدنية – جامعة حمص

د.لينا كراكيت (مشرف مشارك)
أستاذ مساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية
كلية الهندسة المد نية – جامعة حمص

ملخص البحث :

يتضمن هذا البحث إجراء دراسة تجريبية لتأثير إضافة المطاط على خواص الانتفاخ والقص لنوعين من الترب الناعمة ، وقد تم خلط الترب الناعمة المدروسة مع المطاط وفق نسب محددة باستخدام نوعين للمطاط النوع الأول قطع مطاطية بطول cm (1.5–1) ناتجة عن قص يدوي لإطارات تالفة ، والنوع الثاني حبيبات مطاطية تستخدم في الملاعب بقطر mm(3-4) ، وتم إجراء تجارب الانتفاخ وتجارب القص المباشر للعينات المشكلة ، ومن ثم تم إجراء تحليل رياضي للنتائج التجريبية ، وتم التوصل إلى أن استخدام المطاط القطع في الترب الناعمة يخفض انتفاخها ويزيد من تماسكها ، كذلك تم التوصل لعدة نتائج هامة ، وتوصيات للأبحاث المستقبلية.

الكلمات المفتاحية : تربة منتفخة ، مقاومة القص ، ضغط الانتفاخ ، الإطارات المطاطية

Study of Changes in the Swelling and Shear Properties of Soft Soils After Mixing with Rubber

Abstract :

This research includes an experimental study of the effect of adding rubber on the swelling and shear properties of two types of soft soils. The studied soft soils were mixed with rubber in specific ratios using two types of rubber, the first type consisted of rubber pieces (1-1.5 cm long) resulting from the manual cutting of damaged tires, and the second type consisted of rubber granules used in sports fields with a diameter of (3-4) mm. Swelling tests and direct shear tests were performed on the resulting samples. A mathematical analysis of the experimental results was then performed, revealing that the use of rubber pieces in soft soils reduces their swelling and increases their cohesion. Several important results and recommendations for future research were also reached.

Key words : expansive soil , Shear strength, Swelling pressure, Rubber tyre.

1- مقدمة :

إن إقامة المشاريع الهندسية على الترب الناعمة والغضارية يشكل تحدياً مستمراً لمهندسي الجيوتكنيك ، حيث تتميز التربة الغضارية الطرية المشبعة بقابلية عالية للهبوط ومقاومة قص ضعيفة ، ويؤثر ذلك بشكل مباشر على قدرة تحملها وعلى توازن المنحدرات ، مما يسبب أضراراً كبيرة في المنشآت الهندسية المشيدة على هذه الترب ، و أهم الترب الناعمة التي تسبب مشاكل للمنشآت المقامة عليها هي التربة الغضارية المنتفخة التي تتميز بحساسية كبيرة تجاه الرطوبة وتغيرات حجمية انتفاخ وتقلص بشكل متكرر تبعاً للظروف الجوية ورطوبة التربة ، وهذا التغير في الحجم يؤدي إلى تشوهات في التربة ، تكون على شكل هبوط بسبب انكماش التربة إثر الجفاف أو على شكل نهوض بسبب انتفاخ التربة إثر امتصاصها للماء وزيادة رطوبتها ، هذا

الاختلاف في السلوك يؤثر بشكل مباشر على تصميم المنشآت الهندسية المشيدة على هذه الترب ، وعند التأسيس دون إجراء تحسين لمواصفات التربة سوف ينعكس ذلك سلباً على سلامة المنشآت، وقد لجأ الإنسان إلى تحسين خواص التربة الغضارية بالفطرة منذ القديم قبل أن يتوصل إلى ذلك علمياً فخلطها مع القش للتخفيف من الشقوق التي يمكن أن تظهر فيها .

تحسين التربة هو العمل على زيادة مقاومة التربة للقص وقدرة تحملها وتقليل قابلية الانضغاط وتقسم طرق تحسين التربة إلى طرق ميكانيكية وكيميائية وحرارية ، وتعتمد الطرق الميكانيكية على الرص المناسب أو تحسين التدرج الحبي بخلط نوعين أو أكثر من الترب المختلفة للحصول على مواد تلبي الشروط المطلوبة ، والطرق الكيميائية تكون بإضافة مواد كيميائية للتربة حيث تحصل تفاعلات بين منرلات التربة والمواد المضافة وتتشكل مواد جديدة ، وفي هذا البحث تم استخدام المطاط مع التربة الناعمة ودراسة خصائص القص والانتفاخ اعتماداً على مقترحات بعض الدراسات الحديثة في هذا المجال .

أجرى الباحث [1] Srivastava,A.(2014) تجاربه على تربة غضارية عالية اللدونة مع إضافة مطاط أبعاده mm(2–4.75) فوجد انخفاض ضغط انتفاخ التربة حوالي 84% عند إضافة المطاط بنسبة 30% ، بينما ازداد التماسك للتربة حوالي 63% من أجل إضافة المطاط بنسبة 5% .

استخدم الباحثون [2] Solanki, D.and Dave, M. (2017) قطعاً مستطيلة من مطاط إطارات السيارات وزنها النوعي (0.9–1) لتحسين خواص تربة غضارية ، طول القطع المطاطية mm(50–3) والعرضmm(25–1) ، وتوصل الباحثون من نتائج التجارب إلى أنه تزداد مقاومة التربة للقص مع زيادة نسبة المطاط حتى النسبة 25% وبزيادة نسبة قطع المطاط عن 25% تناقصت مقاومة القص للتربة .

استخدم الباحث [3] Soltani,A.(2018) المطاط بنوعين النوع A أبعاده 75– 1.18 mm µm ، النوع B أبعاده mm(1.18–4.75) مع تربة غضارية منتفخة عالية اللدونة ، وجد

الباحث تناقص في قيم دليل الانتفاخ الرئيسي مع زيادة نسب المطاط ، فمن أجل نوع المطاط A بنسبة 30% تناقص دليل الانتفاخ الرئيسي بنسبة 46% ، أما من أجل نفس نسبة المطاط من النوع B حصلنا على تناقص بنسبة 56%، كذلك تناقص قيم دليل الانتفاخ الثانوي مع زيادة نسب المطاط ، فمن أجل نوع المطاطA بنسبة 30% تناقص دليل الانتفاخ الثانوي بنسبة 42% ، أما النوع B حصلنا على تناقص بنسبة 64% لدليل الانتفاخ الثانوي ، حيث إن التناقص الأكبر في خواص الانتفاخ وافق دوماً استخدام المطاط من النوع B الخشن.

استخدم الباحثون L.N.Snodi and I.S. Hussein.(2019)[4] تربة سيلتية مع قطع مطاط بمساحة مربعة ($1cm^2$) سماكة (3mm) ونسب المطاط المضافة %(2،4،6،8) نتج ازدياد التماسك مع زيادة نسب المطاط حتى وصلت نسبة الزيادة بحدود 50% من أجل نسبة المطاط المضافة 8% وكذلك ازدادت قيمة زاوية الاحتكاك حتى وصلت نسبة الزيادة 65% من أجل نسبة المطاط المضافة 8% ، وبزيادة نسبة المطاط عن 8% بدأت تنخفض خواص القص

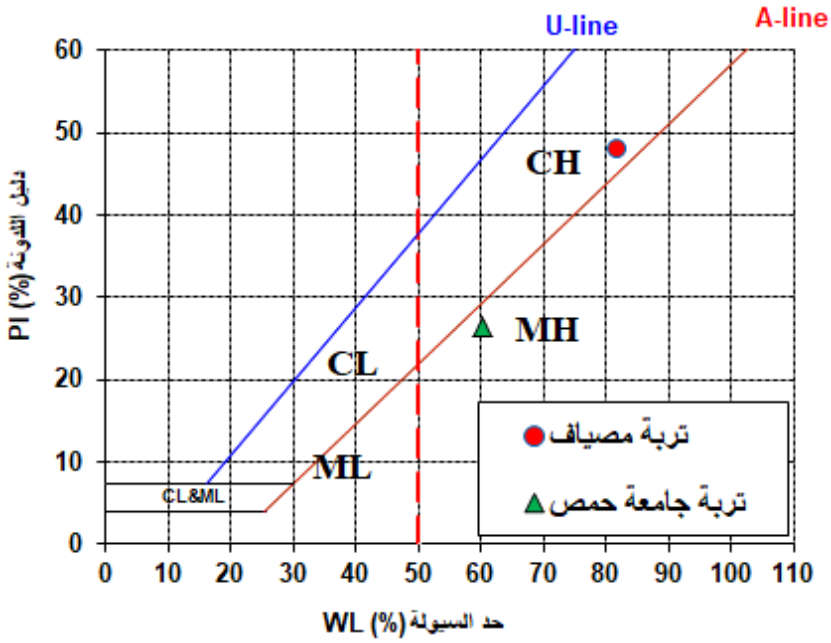
2-هدف البحث :

دراسة تأثير إضافة المطاط على خصائص الانتفاخ والقص للترب الناعمة ، وإجراء مقارنة بين تأثير إضافة كل من القطع المطاطية الناتجة من الإطارات التالفة والحبيبات المطاطية التي تستخدم في الملاعب.

3-مواد وطرق البحث : تمإجراء البحث باستخدام نوعين من الترب الناعمة التربة الأولى غضارية والثانية سيلتية حيث التربة الأولى من منطقة مصياف تم استخراجها أثناء الحفر لبئر من عمق 5 m تصنيفها تربة غضارية عالية اللدونة CH وزن نوعي 2.76 حد سيولة 82% دليل اللدونة 48% ، نسبة النواعم 94% ونسبة الغضار 59% ، زاوية الاحتكاك°17، التماسك $0.5\ kg/cm^2$ ، ضغط الانتفاخ $4.5kg/cm^2$ والانتفاخ النسبي الحر 12.5%.

التربة الثانية من منطقة جامعة حمص تم استخراجها من موقع حفريات بعمق 1m تصنيفها سيلت عالي اللدونة MH وزن نوعي 2.68 حد سيولة 60% دليل اللدونة % 27، نسبة النواعم 55.2% نسبة الغضار 43% ، زاوية الاحتكاك°26، التماسك $0.25\ kg/cm^2$ ، ضغط

الانتفاخ $3.2kg/cm^2$ والانتفاخ النسبي الحر 10.8%، ويتوضح تصنيف التربة الناعمة السابقة المستخدمة في هذا البحث على مخطط كاساغراندي كما في الشكل رقم (1)

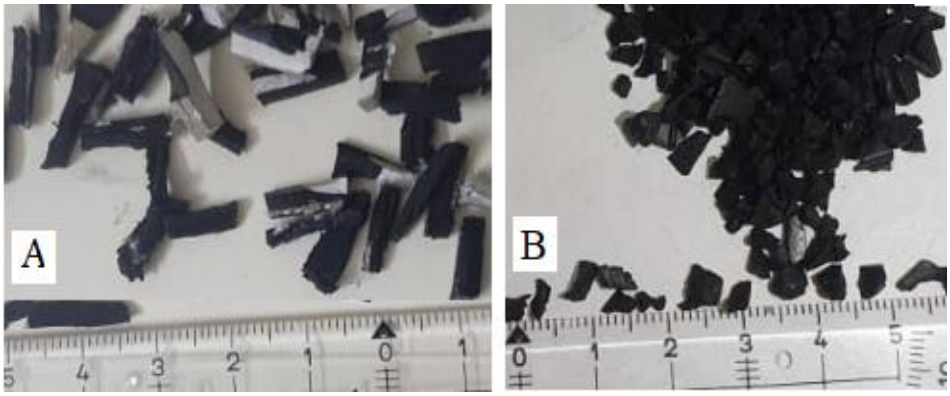


الشكل رقم (1) : مخطط كاساغراندي لتصنيف التربة المدروسة

وبهدف دراسة تغير خواص الانتفاخ والقص للتربة الناعمة المدروسة تم خلطها مع المطاط بالنسب (5,10,15)% مأخوذة كنسبة من الوزن الجاف للتربة ، حيث استخدم المطاط وفق طريقتين :

الطريقة الأولى A قطع مطاطية ناتجة عن قص يدوي لإطارات تالفة (قصاصات طولها1–1.5cm) وزنها النوعي1.1 وهي تتكون بشكل أساسي من حوالي(40–50)% مطاط طبيعي وصناعيStyrene ،(30–35)% سيليكا وكربون أسود والنسب المتبقية زيوت وكبريت .

الطريقة الثانية B حبيبات مطاطية بقطر mm(4–3) وزنها النوعي1.2 وهي حبيبات صناعية نوع SBR:(Styrene–Butadiene Rubber) ناتجة من إعادة تدوير الإطارات والأنابيب المطاطية القديمة وتقطيعها إلى حبيبات صغيرة متجانسة بعد التخلص من عناصر الحديد والألياف وغيرها من الشوائب ، ويوضح الشكل رقم (2) صوراً لأنواع المطاط المستخدم في هذا البحث.



الشكل رقم (2) : أنواع المطاط المستخدم في هذا البحث

تم استخدام المطاط بنوعيه قطع وحبيبات وفق حالته الطبيعية بعد أخذه من المصدر دون إجراء أي عمليات غسيل أومعالجة ، وتم تشكيل العينات للتربة المدروسة بالخلط اليدوي حتى الحصول على خليط متجانس وتغليفه لمدة 24 ساعة قبل بدء التجارب

4–الدراسة التجريبية ومناقشة النتائج :

<u>أولا :</u> تجارب الانتفاخ :

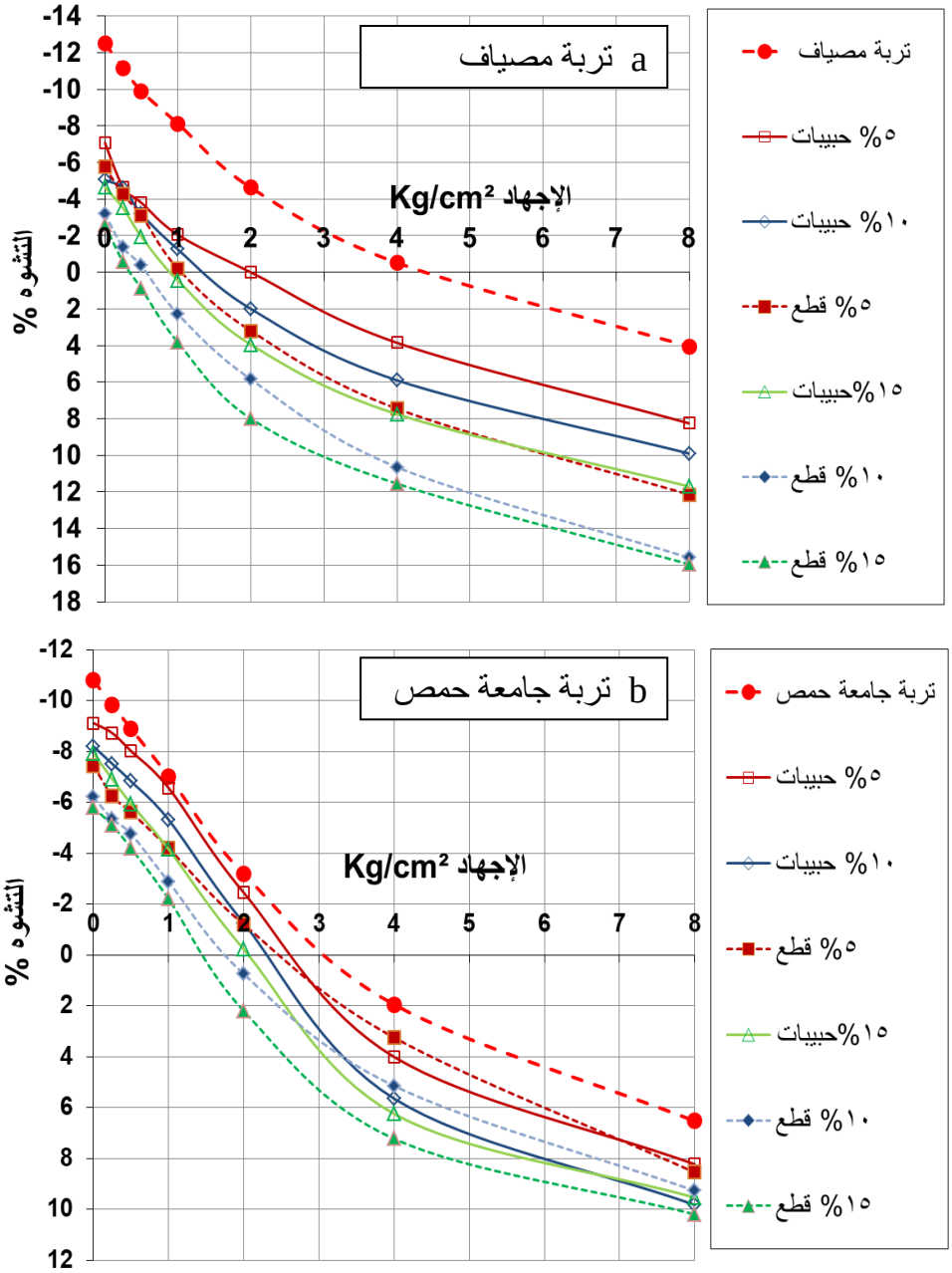
أجريت تجارب الانتفاخ على التربة الناعمة المدروسة في جهاز الآدومتر وفق الكود ASTM D4546 وفق الشروط البدائية بحيث ارتفاع العينة 20 mm ومساحة العينة $A=40cm^2$ وتم مراقبة انتفاخ العينات بعد بدء غمرها بالماء حتى استقرار الانتفاخ مدة 48 ساعة ثم طبقت الإجهادات $(0.25,0.5,1,2,4,8)kg/cm^2$ ، ويبين الشكل رقم(3) صورة لعينات مشكلة في حلقة تشديد لجهاز الآدومتر من أجل تجارب الانتفاخ في مخبر ميكانيك التربة جامعة حمص

a(تربة + حبيبات مطاطية)

b(تربة + قطع مطاطية)

الشكل رقم (3) : عينات مشكلة من التربة الناعمة والمطاط لتجارب الانتفاخ في جهاز الآدومتر بجامعة حمص

ويبين الشكل رقم (4) نتائج تجارب الانتفاخ مع نسب المطاط (حبيبات وقطع المطاطية) a من أجل تربة مصياف ، b من أجل تربة جامعة حمص.



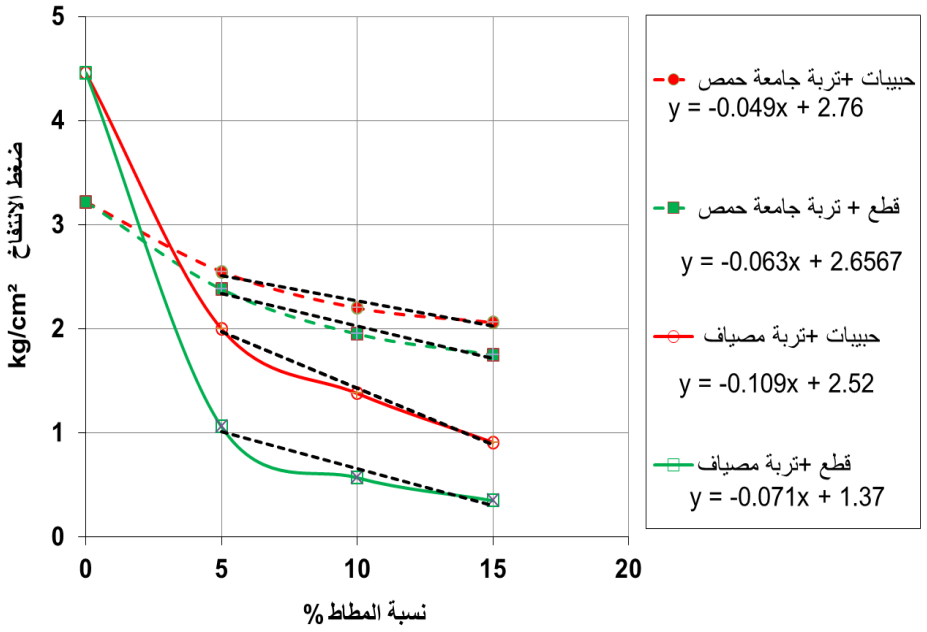
الشكل رقم (4) : نتائج تجارب الانتفاخ على الترب المدروسة المخلوطة مع نسب الحبيبات والقطع المطاطية

ويبين الجدول رقم (1) قيم خواص الانتفاخ (ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي الحر) المستخرجة من تجارب الانتفاخ من أجل تربة مصياف وتربة جامعة حمص

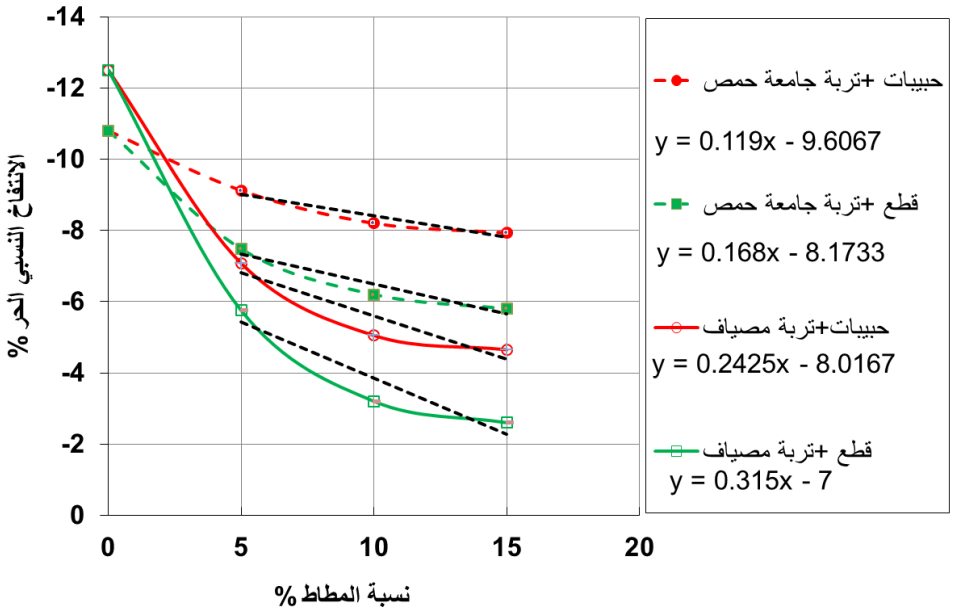
الجدول رقم (1) : قيم خواص الانتفاخ للترب المدروسة المخلوطة مع المطاط

1-تربة مصياف:			
نسبة المطاط%		ضغط الانتفاخ σ_{sw} kg/cm²	الانتفاخ النسبي الحر ε_{sw} %
0		4.46	-12.5
قطع	5	1.06	-5.75
	10	0.57	-3.20
	15	0.35	-2.60
حبيبات	5	2.00	-7.08
	10	1.38	-5.05
	15	0.91	-4.65
2-تربة جامعة حمص:			
نسبة المطاط%		ضغط الانتفاخ σ_{sw} kg/cm²	الانتفاخ النسبي الحر ε_{sw} %
0		3.22	-10.80
قطع	5	2.38	-7.48
	10	1.95	-6.20
	15	1.75	-5.80
حبيبات	5	2.55	-9.12
	10	2.20	-8.20
	15	2.06	-7.93

ويوضح الشكل رقم (5) العلاقة بين نسبة المطاط المضافة (قطع ، حبيبات) وضغط الانتفاخ للترب المدروسة ، والشكل رقم (6) العلاقة بين نسبة المطاط المضافة (قطع ، حبيبات) والانتفاخ النسبي الحر للترب المدروسة



الشكل رقم (5) : العلاقة بين نسب المطاط المضافة وضغط الانتفاخ للترب المدروسة



الشكل رقم (6) : العلاقة بين نسب المطاط المضافة والانتفاخ النسبي الحر للترب المدروسة

عند إضافة نسب المطاط (القطع ، الحبيبات) انخفضت خواص الانتفاخ ضغط الانتفاخ والانتفاخ النسبي الحر للترب الناعمة المدروسة وفق علاقات خطية تقريباً ، وتكون نسب تخفيض خواص الانتفاخ للترب المدروسة المخلوطة مع المطاط كما في الجدول رقم (2)

الجدول رقم(2) : نسب تخفيض خواص الانتفاخ للترب المدروسة المخلوطة مع المطاط

نسبة المطاط%		نسبة تخفيض ضغط الانتفاخ %		نسبة تخفيض التشوه لانتفاخي%	
		مصياف	جامعة حمص	مصياف	جامعة حمص
قطع	5	76	26	54	31
	10	87	39	74	43
	15	92	46	79	46
حبيبات	5	55	21	43	16
	10	69	32	60	24
	15	80	36	63	27

ويفسر انخفاض خواص الانتفاخ عند إضافة المطاط للتربة بزيادة نسبة الجزء الصلب غير المنتفخ في العينة المختبرة على حساب الفراغات والتربة الناعمة وتكون القطع المطاطية أكثر فعالية في تخفيض خواص الانتفاخ من الحبيبات المطاطية وتتوافق هذه النتائج مع نتائج الباحثين Heyer,L.C. (2012) و Solanki, D. and Dave, M. (2017) التي تفيد أن المطاط الخشن أدى لتخفيض خواص الانتفاخ بشكل أكبر من المطاط الناعم.

ثانيا : تجارب القص المباشر:

أجريت تجارب القص المباشر وفق الكود ASTM- D3080 وتم تشكيل العينات بحيث ارتفاع العينة 20 mm ومساحة العينة $A=36cm^2$ مع غمر العينات بالماء وانتظار زمن 24 ساعة ثم تطبيق قوة قص بسرعة 0.5mm/min وفق الشروط المصرفة للعينة ويبين الشكل رقم(7) صورة لعلب تشكيل العينات لتجارب القص المباشر في مخبر ميكانيك التربة جامعة حمص

(تربة + حبيبات مطاطية)

(تربة + قطع مطاطية)

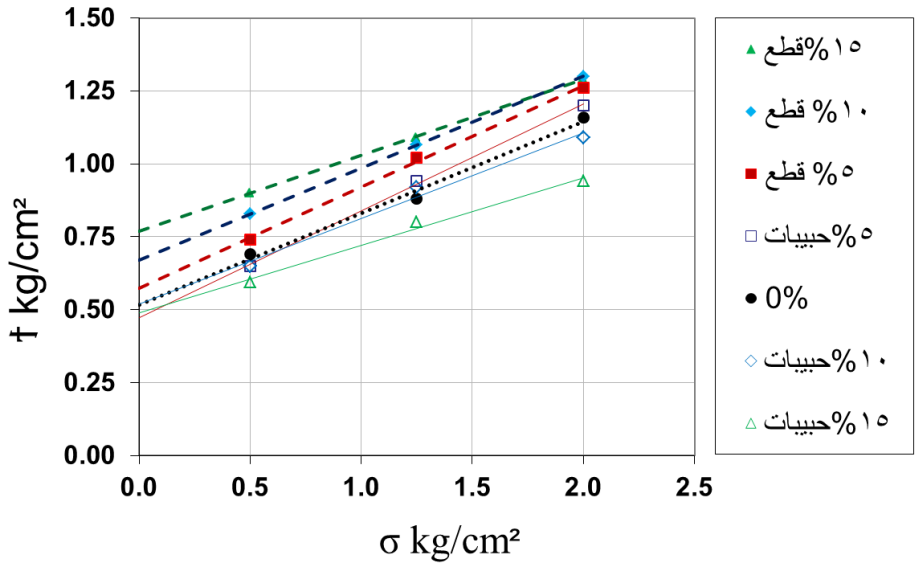
الشكل رقم (7) : عينات مشكلة من التربة الناعمة والمطاط

لتجارب القص المباشر في جامعة حمص

ويبين الجدول رقم(3) والشكل رقم (8) نتائج تجارب القص المباشر على تربة مصياف مع المطاط (قطع ، حبيبات)

الجدول رقم(3) : نتائج تجارب القص المباشر على تربة مصياف مع المطاط

تربة مصياف	مقاومة القص t kg/cm^2					
	نسبة الحبيبات المطاطية			نسبة القطع المطاطية		
σ kg/cm^2	5%	10%	15%	5%	10%	15%
0.50	0.65	0.65	0.48	0.74	0.83	0.90
1.25	0.94	0.92	0.80	1.02	1.06	1.09
2.00	1.20	1.09	0.48	1.26	1.30	1.29

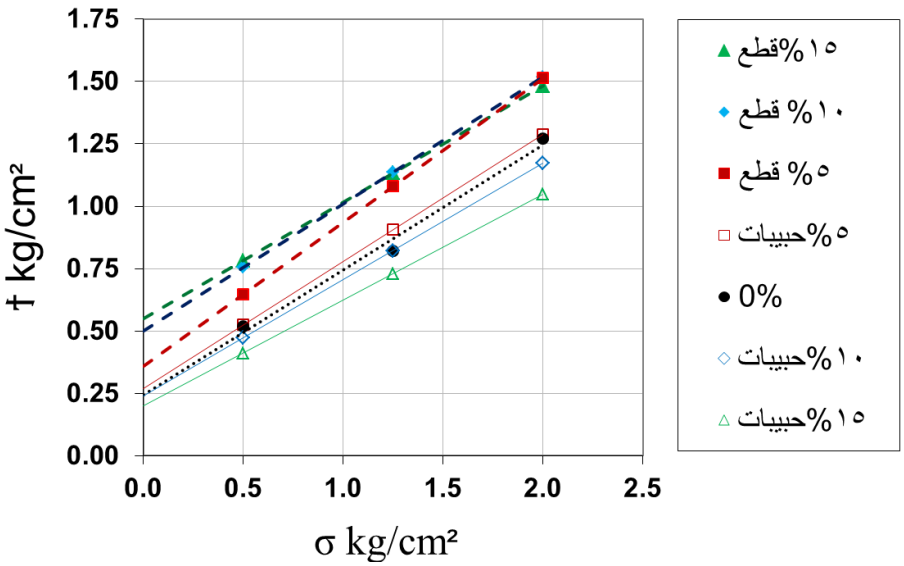


الشكل رقم (8) : نتائج تجارب القص المباشر على تربة مصياف مع المطاط

ويبين الجدول رقم(4) والشكل رقم (9) نتائج تجارب القص المباشر على تربة جامعة حمص مع المطاط (قطع ، حبيبات)

الجدول رقم(4) : نتائج تجارب القص المباشر على تربة جامعة حمص مع المطاط

تربة جامعة حمص	مقاومة القص t kg/cm²					
	نسبة الحبيبات المطاطية			نسبة القطع المطاطية		
σ kg/cm²	5%	10%	15%	5%	10%	15%
0.50	0.52	0.47	0.41	0.65	0.75	0.78
1.25	0.91	0.82	0.73	1.08	1.14	1.13
2.00	1.29	1.17	1.05	1.51	1.52	1.48



الشكل رقم (9) : نتائج تجارب القص المباشر على تربة جامعة حمص مع المطاط

من الشكلين السابقين رقم (8) و(9) يمكن استنتاج قيم زاوية الاحتكاك الداخلي وقيم التماسك للترب الناعمة المدروسة عند خلطها مع نسب المطاط المختلفة حبيبات وقطع كما في الجدولين رقم(5) ورقم (6)

الجدول رقم(5) : قيم زاوية الاحتكاك للترب المدروسة عند خلطها مع المطاط

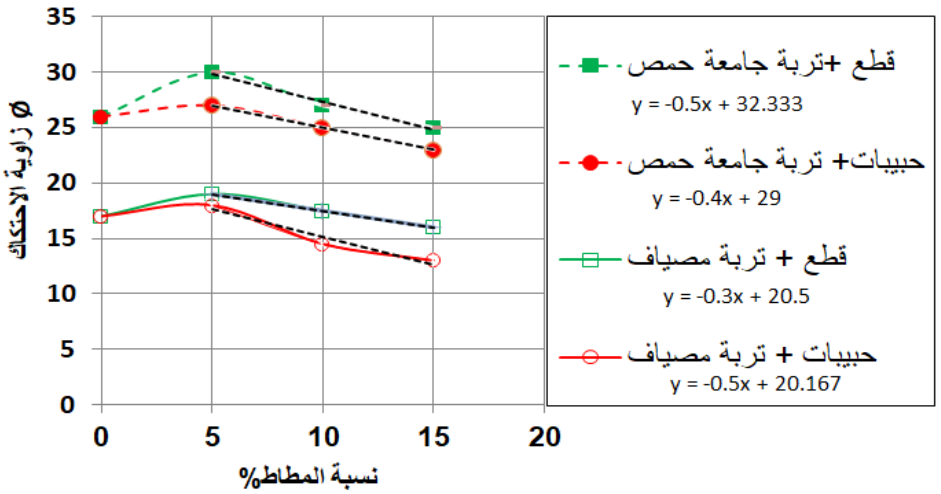
نسبة المطاط%		زاوية الاحتكاك	
		تربة مصياف	تربة جامعة حمص
حبيبات	0	17	26
	5	18	27
	10	14.5	25
	15	13	23
قطع	5	19	30
	10	17.5	27

	15	16	25

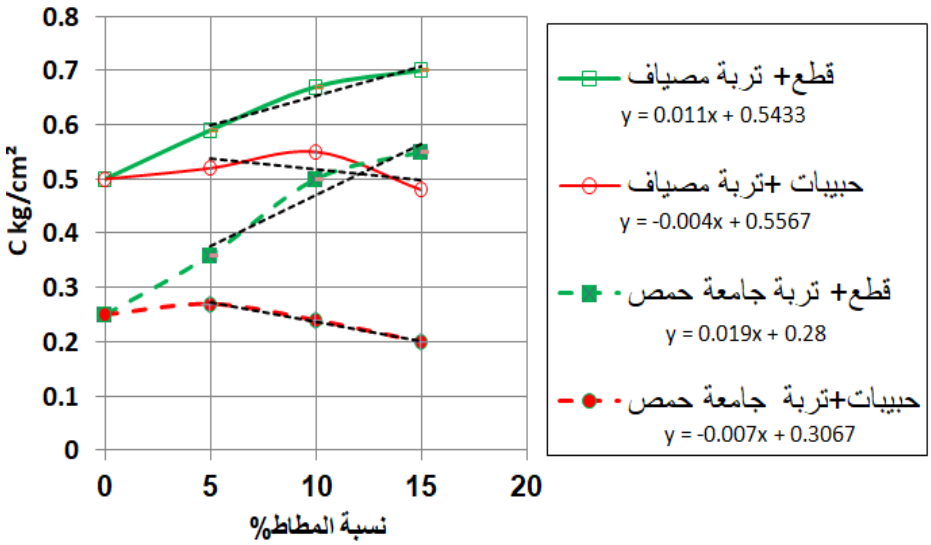
الجدول رقم(6) : قيم التماسك للتربة المدروسة عند خلطها مع المطاط

نسبة المطاط%		التماسك kg/cm^2	
		تربة مصياف	تربة جامعة حمص
حبيبات	0	0.50	0.25
	5	0.52	0.27
	10	0.55	0.24
	15	0.48	0.20
قطع	5	0.59	0.36
	10	0.67	0.50
	15	0.70	0.55

ويبين الشكلين رقم (10) ورقم (11) العلاقة بين كل من زاوية الاحتكاك والتماسك للتربة المدروسة مع نسب المطاط المضافة (قطع ،حبيبات)على التوالي.



الشكل رقم (10) : تغير زاوية الاحتكاك للتربة المدروسة مع نسب المطاط



الشكل رقم (11) : تغير التماسك للترب المدروسة مع نسب المطاط

وتكون نسب تغير خواص القص للترب المدروسة المخلوطة مع المطاط كمافي الجدول رقم (7)

الجدول رقم(7) : نسب تغير خواص القص للترب المدروسة المخلوطة مع المطاط

نسبة تغير التماسك%		نسبة تغير زاويةالاحتكاك %		نسبة المطاط%	
جامعة حمص	مصياف	جامعة حمص	مصياف		
44	18	15	12	5	قطع
100	34	4	3	10	
120	40	-4	-6	15	
8	4	4	6	5	حبيبات
-4	10	-4	-15	10	
-20	-4	-12	-24	15	

من النتائج السابقة نجد زيادة زاوية الاحتكاك من أجل إضافة نسبة المطاط 5% سواء قطع أو حبيبات من أجل نوعي الترب الناعمة المدروسة وسجلت أكبر زيادة بمقدار 15% من أجل إضافة 5% قطع مطاطية لتربة جامعة حمص ، وبشكل عام مع زيادة نسب المطاط عن 5% تناقصت زاوية الاحتكاك ، والسبب في ذلك السطوح الناعمة للمطاط سواء القطع أو الحبيبات والتي بعد نسبة معينة 5% شغلت حيزاً في العينة بدل التربة من دون إضافة خواص تداخل أو تعشيق مع حبات التربة .

عند إضافة القطع المطاطية ازداد التماسك للترب المدروسة بشكل فعال فمن أجل إضافة 15% قطع مطاطية وصلت الزيادة في التماسك إلى 120% لتربة جامعة حمص و40% لتربة مصياف ، وعند إضافة الحبيبات حصلنا على أكبر زيادة في التماسك بمقدار8% عند إضافة نسبة 5% لتربة جامعة حمص ، و زيادة بمقدار10% عند إضافة نسبة 10% لتربة مصياف.

-إن إضافة قطع المطاط إلى التربة الناعمة أظهرت فعالية أكبر من الحبيبات المطاطية في زيادة مقاومة التربة على القص ويفسر ذلك بأن التصاق حبيبات التربة الناعمة على سطح القطع أكبر منه على الحبيبات وبالتالي زيادة التماسك وزيادة مقاومة القص بشكل فعال .

-تتوافق النتائج السابقة مع نتائج الباحث Solanki, D. and Dave, M. (2017) التي تفيد بوجود نسبة معينة من المطاط تزيد الاحتكاك وتختلف هذه النسبة حسب نوع التربة وحجم المطاط ، كذلك تتوافق مع نتائج الباحث Srivastava,A. (2014) بزيادة التماسك بشكل فعال بمقدار وصل 63% عند إضافة مطاط خشن mm(2-4.75)بنسبة 5% .

5-الإستنتاجات والتوصيات :

تم التوصل إلى عدة استنتاجات فيما يخص تأثير إضافة المطاط على خصائص الانتفاخ والقص للترب الناعمة ، ويجب التنويه إلى أن هذه الاستنتاجات تتوافق مع الترب الناعمة والمطاط المستخدم في هذا البحث ، ونذكر فيما يلي أهم الاستنتاجات التي تم التوصل إليها :

1- عند إضافة المطاط بنوعيه للترب الناعمة المدروسة تناقصت خواص الانتفاخ وفق علاقات خطية تختلف حسب نوع التربة ونسبة المطاط المستخدم ونوعه قطع أو حبيبات.

2-النسبة الأفضل للمطاط التي خفضت خواص الانتفاخ هي15% في هذا البحث مع فعالية للقطع المطاطية أكبر من الحبيبات في تخفيض خواص الانتفاخ .

3- النسبة الأفضل للمطاط التي زادت زاوية الاحتكاك هي 5% مع فعالية للقطع المطاطية أكبر من الحبيبات في زيادة زاوية الاحتكاك

4-عند إضافة القطع المطاطية النسبة 15% أعطت أكبر قيمة للتماسك من أجل نوعي التربة المستخدم

5-عند إضافة الحبيبات المطاطية النسبة 5% أعطت أكبر قيمة للتماسك لتربة جامعة حمص بزيادة حوالي 8% ، وأعطت النسبة 10% أكبر قيمة للتماسك لتربة مصياف بزيادة حوالي 10%

6-بشكل عام إن إضافة القطع المطاطية أدى إلى تحسين في خصائص القص والانتفاخ للترب الناعمة المدروسة بشكل أكبر من الحبيبات المطاطية

7-نوصي بدراسة سلوك الترب الناعمة المخلوطة مع المطاط على المدى الطويل بإدخال تأثير تشوهات الزحف مع الزمن وتأثير دورات التجفيف والترطيب وتأثير عوامل الحت والانجراف على التربة المعالجة وإمكانية التنبؤ بمدى استدامتها، وإجراء دراسة الجدوى الاقتصادية لإجراء تحسين خواص التربة الناعمة بالمطاط ومقارنته مع حل استبدال الترب الناعمة في موقع المشروع قبل تطبيقها

6-المراجع :

[1] - Srivastava,A. (2014)."Use of shredded tyre waste in improving the geotechnical properties of expansive black cotton soil ".Geomechanics and Geoengineering An International Journal.

[2] - Solanki, D. and Dave, M. (2017) "Stabilization of Clay Soil Mixed With Rubber Tyre Chips ForDesign in Road Construction" International Journal of Engineering Science Invention

[3] - Soltani,A.(2018)." Mechanical Behavior of TireRubber–Reinforced Expansive Soils". The University of Adelaide

[4] - L. N. Snodi and I. S. Hussein.(2019). "Tire Rubber Waste for mproving Gypseous Soil"International Conference on Civil and Environmental Engineering Technologies. Tikrit University.