مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الهندسية المدنية والمعمارية

مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد 8

1447 هـ - 2025 م

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 بالنســبة لكليات (الآداب – الاقتصــاد- 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

تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للأبنية وأثرها في المنتج المعماري السكني

إعداد: م. ادوار انطوان موسى إشراف: أ.د. معتز عبارة

كلية الهندسة المعمارية – جامعة حمص

ملخص البحث:

مع التطور التقني الكبير المصاحب للتيارات المعاصرة في المجال المعماري، شكلت الطباعة ثلاثية الأبعاد للأبنية قفزة نوعية في عالم الهندسة المعمارية والإنشائية، فظهرت الأبنية المطبوعة كعلامات فارقة في تاريخ البناء مما أدى إلى العديد من التساؤلات حول تقنيات التصميم والتنفيذ للأبنية الناتجة عن هذه التقنية وخاصة السكنية منها كونها تمس الإنسان في حياته اليومية أكثر من الأبنية الأخرى، لذلك تناول البحث مفهوم الطباعة ثلاثية الأبعاد ومن ثم تم الاطلاع على مفهوم الطباعة في مجال في البناء، وطرق انتاج المبنى من التصميم وحتى التنفيذ النهائي. ثم تم تناول العديد من الأبنية السكنية المطبوعة في الدراسة التحليلية من اجل استنتاج التأثيرات التي نتجت عن استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في المباني السكنية الإيجابية منها والسلبية، وصولاً إلى مقترحات يمكن الاستفادة منها في المستقبل في تفعيل دور هذه التقنية وتحسين نتائجها.

الكلمات المفتاحية:

تقنية–طباعة ثلاثية الأبعاد– المنتج المعماري –أبنية سكنية–تصميم معماري.

3D printing technology for buildings and its impact on the residential architectural product

Abstract:

With the great technical development accompanying contemporary trends in the architectural field, 3D printing of buildings constituted a qualitative leap in the world of architecture and construction. Printed buildings appeared as milestones in the history of construction, which led to many questions about the design and implementation techniques for buildings resulting from this technology, especially residential ones. Because it affects people in their daily lives more than other buildings, so the research dealt with the concept of 3D printing and then looked at the concept of printing in the field of construction, and the methods of producing the building from design to final implementation. Then, several printed residential buildings were discussed in the analytical study in order to deduce the effects that resulted from the use of 3D printing technology in residential buildings, both positive and negative, to arrive at proposals that can be used in the future to activate the role of this technology and improve its results.

key words: technology– 3D printing – architectural product– residential buildings – architectural design.

المقدمة:

لم يعد من الخيال محاكاة أي نموذج ثلاثي الأبعاد أو مجسم وتحويل كل ما يخطر في بال المصممين من أشكال متنوعة لتكوين صوره طبق الأصل منه على ارض الواقع. وخاصة المباني السكنية التي تصمم بعناية وبشكل متفرد خاص باحتياجات كل عائلة، فبظهور الطباعة ثلاثية الأبعاد للأبنية أصبح من الممكن تنفيذ أي مبنى بسهولة وبسرعة وبكافة التفاصيل الدقيقة مهما بلغ تعقيدها. مما نتج عن هذه التقنية العديد من التغيرات التي من الممكن ان تؤثر على مفهوم تصميم وتنفيذ المباني السكنية حالياً وفي المستقبل.

أهمية البحث:

إلقاء الضوء على تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في عالم الهندسة المعمارية، ودورها في التصميم المعماري للأبنية السكنية، والإحاطة بجوانبها الإيجابية والسلبية وذلك لعدم وضوح أثرها في المنتج المعماري السكني.

هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للأبنية وأثرها في المنتج المعماري للوصول إلى اعتبارات لاستخدامها في الأبنية السكنية المعاصرة.

منهجية البحث:

-المنهج النظري

-المنهج الوصفي التحليلي الاستنتاجي

1-مفهوم تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:

الطباعة ثلاثية الأبعاد هي تقنية مبتكرة تمكن من إنشاء المجسمات من خلال نموذج رقمي. حيث تعرف الطباعة ثلاثية الأبعاد باسم التصنيع التراكمي(Additive Manufacturing) وهو ينطوي على عملية أخذ النموذج الرقمي، وترجمته إلى سلسلة من شرائح أفقية في لغة الآلة، ثم طباعته عن طريق إضافة طبقات متعاقبة ودقيقة جداً (لا يتجاوز سمكها أجزاء من الميليمتر) من المواد حتى يتم إنشاء المجسم ثلاثي الأبعاد باستخدام عدد من التقنيات المختلفة .كما أن الطباعة ثلاثية الأبعاد تجلب اثنين من الابتكارات الأساسية: التلاعب في المجسمات في شكلها الرقمي وتصنيع أشكال جديدة عن طريق إضافة المواد [15].

2-استخدامات تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:

ما يجعل الطباعة ثلاثية الأبعاد فريدة من نوعها هو قدرتها على تصنيع مجسمات صلبة كاملة ومعقدة. حيث تستطيع طباعة (صناعة) المجسمات والأدوات بطرق لا محدودة، وبمختلف المواد والمعادن. دخلت الطباعة ثلاثية الأبعاد العديد من المجالات منها الفنية، والتراثية والاثرية، والألعاب والسيارات والمباني وأيضاً المجال الطبي تمكنت الطباعة ثلاثية الأبعاد من توفير أطراف صناعية مطبوعة للذين فقدوا أيديهم أو أرجلهم فى حوادث [14].

الشكل1: منتجات متنوعة باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد[14]

وقد أثرت هذه التكنولوجيا على التاريخ الإنساني الحديث ربما أكثر من أي مجال آخر. حيث جعلت الحياة أفضل من نواحي كثيرة، وفتحت آفاقا وإمكانيات جديدة. بالنسبة لمعظم الصناع، هي اختصار قوي لعمل مجسمات دقيقة ومعقدة لأغراض مختلفة.

هناك أنواع مختلفة من تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد، والتي تعالج مواد مختلفة بطرق مختلفة

لصنع المجسم النهائي. فاللدائن، والمعادن، والسيراميك، والرمال، تستخدم الآن بشكل روتيني للتطبيقات الصناعية الأولية وإنتاجها. البلاستيك هو حاليا من المواد المستخدمة على نطاق واسع، ولكن هناك عدد متزايد من البدائل، بما في ذلك النايلون. وهناك عدد متزايد من الآلات التي تم تكييفها للمواد الغذائية، مثل السكر والشوكولا. [14]

3- استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في عمليات البناء:

تحظى تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد، وهي إحدى مجالات التصنيع الرقمي، باهتمام متزايد في البناء والتشييد، وخاصة بالنسبة للمباني السكنية. تتضمن هذه الطريقة بناء طبقة تلو الأخرى، مما يسمح بعمليات بناء دقيقة وفعالة من حيث التكلفة. يعد ظهور الطباعة ثلاثية الأبعاد في البناء بإحراز تقدم كبير من حيث مرونة التصميم وكفاءة المواد والاستدامة.

للطباعة ثلاثية الأبعاد تأثير عميق على النجاح الإجمالي للمشروع (OPS) لمشاريع البناء السكنية من خلال تحسين الأبعاد المتعلقة بالمشروع مثل التكلفة والوقت والجودة والسلامة والاستدامة مما يدل على آثار إيجابية للغاية في الأبعاد البيئية والسلامة. [10]

يمكن تحقيق التنوع المعماري من خلال الطباعة ثلاثية الأبعاد جنبًا إلى جنب مع التصميم الرقمي والبناء الآلي. وذلك عن طريق منهج برمجة حدودي يستوعب الاحتياجات السكنية المتنوعة على أساس الاختلافات الثقافية والمناخية والمهنية. تهدف هذه المنهجية إلى التغلب على تجانس تصاميم المساكن التقليدية من خلال تعزيز التخصيص والقدرة على التكيف. [11]

الشكل2: عش الدبور [12]

مصدر الوحي لاختراع الطابعة ثلاثية الأبعاد في البناء هو حشرة الدبور، الذي يبني عشه عن طريق مراكمة عدد كبير من طبقات الطين فوق بعضها البعض، ليشكل عشاً يشبه وعاء الفخار، وبهذا فإن هذه الحشرة ربما تكون أصغر طابعة ثلاثية الأبعاد صديقة للبيئة في العالم. [18]

إن ظهور الطابعات ثلاثية الأبعاد الكبيرة، وطباعة المنازل والمنشآت فعلياً باستخدام هذه التقنية سبب ضجة كبيرة في علم البناء والتشييد حيث نجد أن فكرة طابعة المباني لا تختلف كثيراً عن الطابعات ثلاثية الأبعاد الصغيرة .حيث يتم بناء المنازل طبقة تلو الأخرى من أسفل إلى أعلى عن طريق نفث المادة الخام (غالبا ما يكون الاسمنت المضاف إليه مواد أخرى تعزز من سهولة استخدامه في الطابعة، من رأس الطابعة والتي يتم التحكم بها عن طريق تصميم معد مسبقاً على الحاسوب).

تم تطوير طابعات المباني الكبيرة من عدة شركات أشهرهم شركة win sun الصينية، حيث قامت هذه الشركة بطباعة العديد من المباني وأشهرهم مكتب دبي المطبوع بالكامل الذي تميز بطابعه الخاص بالإضافة إلى توفير الوقت والتكلفة والعمالة والتصميم المميز [1]

3-2-مراحل المنتج المعماري السكني المطبوع من الفكرة إلى الاستخدام:

إن استخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد في البناء يعني إعادة النظر في الطريقة التي نصنع بها المنازل والمباني الأخرى، حيث تسمح بإنشاء تصميمات معقدة ومخصصة أو مرنة وقد تكون حساسة أو غير قابلة للتحقيق باستخدام أساليب البناء التقليدية. [13]

فيما يلي الخطوات والمراحل لطباعة الأبنية السكنية:

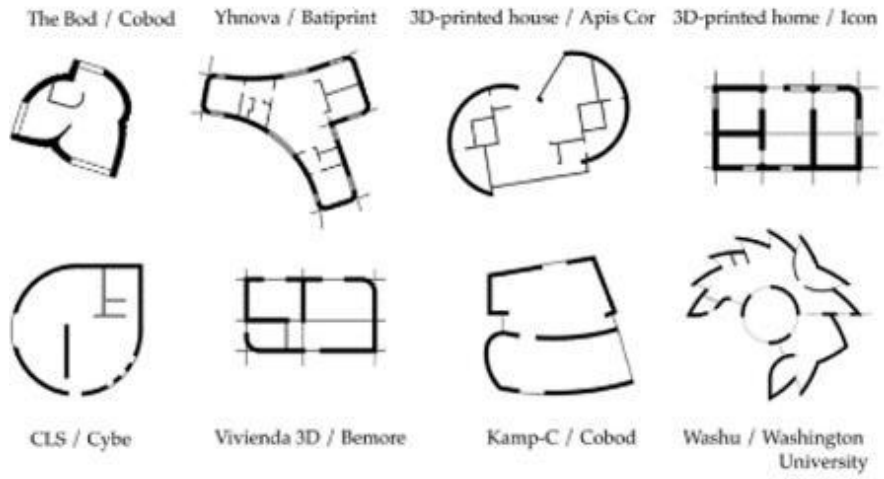
الشكل 3: المرونة والتخصيص في التشكيل[20]

3-2-1-التصميم:

تعتبر عملية التصميم أمرًا محوريًا لنجاح المشروع المطبوع، لأنها تحدد تخطيط ومظهر ووظيفة المبنى. يجب أن يراعي التصميم المعلومات حول حجم المنزل وشكله والتجهيزات التي سيتم استخدامها وأي ميزات خاصة، من أجل ضمان تلبية المنتج المعماري السكني النهائي لمتطلبات وتطلعات صاحب المنزل.

هناك العديد من الاعتبارات والتحديات التي يجب وضعها في الاعتبار عند تصميم منزل مطبوع ثلاثي الأبعاد. أحد التحديات الرئيسية هو حجم التصميم وتعقيده. نظرًا لأن المنزل يتم تشييده

طبقة تلو الأخرى، فهناك قيود على حجم وشكل الهيكل الذي يمكن تحقيقه باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد. من المهم التفكير بدقة في التصميم والتأكد من إمكانية تنفيذه بالطباعة ثلاثية الأبعاد. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤثر اختيار التجهيزات والامتدادات على تكلفة المنزل النهائي واستمراريته ومظهره. من المهم فحص هذه الخيارات والنظر فيها بعناية قبل اتخاذ القرار النهائي.[13]

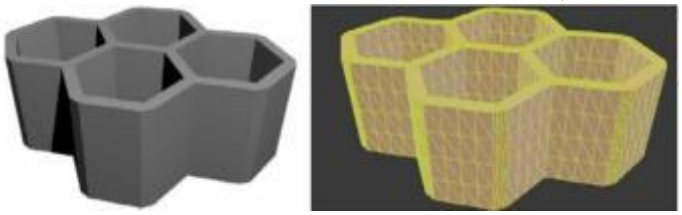


الشكل 4: عدد من المساقط الأفقية لمباني سكنية المنفذة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد[8]

بعد الإنتهاء من عملية التصميم يتم إنشاء نموذج رقمي ثلاثي الأبعاد للمبنى. ويمكن القيام بذلك باستخدام برامج النمذجة ثلاثية الأبعاد المختلفة حيث يحدد النموذج الرقمي شكل المسكن النهائي وأبعاده ومواصفاته. [21] يمكن أيضًا استخدام هذه البرامج لتحديد التحديات أو المشكلات التي قد تنشأ أثناء الطباعة.[13]

3-2-2-التقطيع:

بمجرد اكتمال النموذج ثلاثي الأبعاد، يتم تقطيعه إلى طبقات أفقية رفيعة ليشكل شبكة مسارات إفتراضية. وتتم هذه العملية باستخدام برنامج مخصص للتقطيع حيث يقوم بإنشاء مجموعة من التعليمات (G-code) التي توجه الطابعة ثلاثية الأبعاد حول كيفية إنشاء كل طبقة. [21]



الشكل 5: نموذج لعملية تقطيع الجدران [14]

3-2-3- عملية طباعة المسكن:

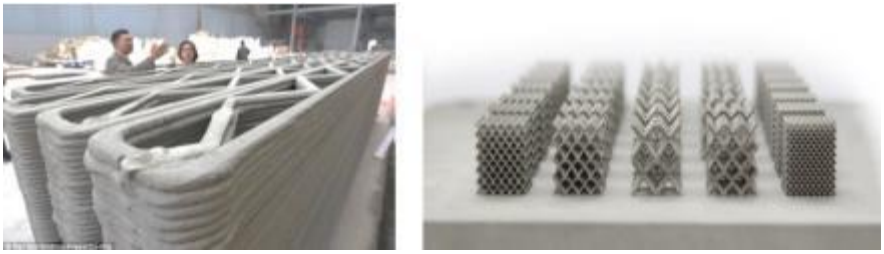
تقرأ الطابعة ثلاثية الأبعاد رمز (G-code) وتبدأ في البناء طبقة تلو الأخرى. وتقوم ببثق المواد بدقة وفقًا لمواصفات التصميم حيث تقوم باتباع هذه التعليمات لإنتاج الشكل والمميزات المطلوبة للمنزل. [21]

المبدأ العام في الطباعة ثلاثية الأبعاد واحد، حيث تتم عملية الطباعة من خلال رص طبقات خليط البناء فوق بعضها البعض حتى يكتمل بناء المنشأ.

الفكرة الأساسية في هذه الطابعات هي الطبقات Layers ، فيمكن طباعة أي منشأ ثلاثي الأبعاد من خلال وضع طبقات فوق بعضها البعض بالشكل المطلوب ليتكون في النهاية منشأ ثلاثي الأبعاد [4]

يتم اختيار شكل مقطع الجدار المطبوع من قبل المهندسين المختصين حسب مساحة المنشأ والحمولات التي سيتعرض لها حيث من الممكن أن تكون الجدران مصمتة أو شبكية أو

متكونة من طبقات بمواد متعددة كما يمكن أن تضاف لها عناصر التسليح.[6]



الشكل 6 : مقاطع الجدران المتنوعة [1]

ومن المهم استخدام مواد رابطة للخامات لتربط الحبيبات فيتم تشكيل النموذج ، ويقوم رأس الطابعة بضخ خليط البناء ومن ثم يرتفع ليقوم بضخ الثانية ويستمر في إنشاء طبقات حسب ما هو مطلوب بعدها يتم نفث كميات حسب الطلب فيقوم النافث بتوزيع كميات منفصلة أو مستمرة من المواد طبقة فوق طبقة، وبتكرار النفث للخامات والمواد الرابطة تتكون الطبقة تلو الأخرى حتى يتم الحصول على الشكل النهائي .

الشكل 7 :عملية طباعة الجدار عن طريق بثق الخرسانة من فوهة الطابعة [22]

فيما بعد تتم المعالجة النهائية حيث يتم التخلص من الزيادات غير المرغوبة وكذلك المواد الرابطة الغير مرغوب فيها، ويتم الإكساء بالمواد المطلوبة لإنهاء العمل بالشكل المناسب [4]

تعتبر عملية البناء بواسطة الطبقات طريقة ذات آفاق متعددة الجوانب بشكل كبير، كل ما يمكن تصميمه باستخدام الحاسوب يمكن في نهاية المطاف أن يتحول إلى عنصر مطبوع.

بالإضافة إلى ذلك فإن هذه العملية تعتبر كفؤ من ناحية المصادر والمواد الخام التي تحتاجها، بالمقارنة مع طرق التصنيع التي يتم فيها إزالة أجزاء كبيرة من مادة التصنيع للحصول على الشكل أو العنصر المرغوب به. وبذلك فإن الطابعة ثلاثية الأبعاد توفر % 50 إلى % 95 من

المادة الخام. حيث أن خلال عملية البناء بواسطة تجميع الطبقات يتم فعلياً استخدام المادة الضرورية فقط في البناء بدون هدر للمواد تقريباً [7] .

الشكل 8 استخدام الدعامات في أماكن الفتحات أثناء عملية الطباعة[1]

يبلغ إجمالي وقت البناء للمبنى الذي تبلغ مساحته 200 متر مربع المبني من الخليط الاسمنتي يوم واحد فقط، تتضمن عملية الطباعة هذه طباعة أجزاء متفرقة لوحدها ومن ثم تجميعها كقطع المكعبات(الليغو) أي بسرعة تفوق سرعة البناء التقليدية بنسبة50% خبراء في مجال التشييد والبناء وجدوا أن الأثر الحقيقي لهذه التكنولوجيا يكمن في قدرتها على توفير كلفة البناء بنسبة تتراوح بين 50% إلى 70 % وكلفة العمالة بنسبة تتراوح بين 50% إلى 80 % وأشاروا إلى أنه في حال استخدام النفايات الإنشائية والزجاج والاسمنت والفولاذ كمواد إنشائية، أي كحبر للطابعات ثلاثية الأبعاد يمكن تصنيع مبان سكنية يبلغ ارتفاعها 6,5 متر وطولها 152,4 متر وعرضها 9,7 متر خلال 24ساعة [3]

3-2-4-التجميع:

تتضمن هذه العملية وضع الأجزاء المطبوعة في مواقعها الصحيحة وتأمينها معًا لإنتاج المنزل النهائي. يعتمد جزء كبير من العمل اليدوي في عملية التجميع على تصميم المنزل وقدرات الطابعة ثلاثية الأبعاد. في بعض الحالات، قد تتمكن الطابعة من إنتاج هيكل المنزل بالكامل، بما في ذلك الجدران والأسقف، في قطعة واحدة. وفي حالات أخرى، قد تتم طباعة المنزل في أقسام منفصلة تحتاج إلى تجميعها في موقع البناء. تتطلب عملية التجميع النظر في العديد من التحديات والاعتبارات. أحد التحديات الرئيسية هو ضمان محاذاة الأجزاء المطبوعة وربطها ببعضها البعض بشكل آمن لضمان السلامة الهيكلية للمنزل. تتضمن العملية أيضاً إضافة التمديدات المنزلية (مثل

الصرف الصحي والكهرباء) لجعل المنزل صالحًا للسكن. وتتطلب هذه العملية مهارات فنية ومعرفة متخصصة.[13]

الشكل 9: مباني سكنية مطبوعة متنوعة في التشكيل والطابع بعد الانتهاء من التجميع [8]

الشكل 10: الفراغ الداخلي النهائي المميز للمباني السكنية المنفذة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد بعد الانتهاء من التجميع وتجهيزها للاستخدام[8]

وفيما يلي مسطرة قياس الدراسة التحليلية:

توصيف المسكن	اسم المسكن	
	تصنيف المسكن	
	عدد الطوابق	
	المساحة	
	ارتفاع المبنى	
	سنة البناء	
	نوع الطابعة المستخدمة	
	وقت التنفيذ	

		العامل المدروس	محقق	غير محقق	محقق جزئياً	ملاحظات
انعكاس استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على المنتج المعماري السكني	مرونة التصميم	المرونة في التشكيل بمواد البناء				
		مرونة التشكيل بعناصر المبنى				
		إمكانية التعديل بعد المباشرة بعملية الطباعة				

	استدامة المبنى	استدامة عناصر البناء والتقنيات المستخدمة				
		إمكانية إعادة استخدام مواد البناء بعد الهدم				
	تأدية الوظيفة					
	ملائمة الطابع المعماري					
	الراحة الحرارية					
	التكلفة الاقتصادية					
	الجودة والمتانة					

الجدول 1: مسطرة قياس الدراسة التحليلية–إعداد الباحث

4–دراسة تحليلية لأبنية سكنية مبنية بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:

معايير اختيار الأمثلة في الدراسة التحليلية:

1. جميع الأبنية السكنية المدروسة مبنية بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.
2. الأبنية السكنية من ثقافات ومدارس معمارية مختلفة.
3. الأبنية السكنية من مناطق جغرافية متنوعة.

4-1 منزل TECLA:

الشكل 9: منزل تيكلا [16]

الشكل 10: منزل TECLA اثناء الطباعة[16]

أكملت الشركة الإيطالية Mario Cucinella Architects نموذجًا أوليًا لمنزل يجمع بين بعض أحدث التقنيات وأقدم مواد الإسكان. المسكن المسمىTECLA ، هو أول منزل مطبوع ثلاثي الأبعاد مصنوع من الطين ويأمل مؤسسه ماريو كوتشينيلا أن يصبح تصميم برنامجه خيارًا قابلاً للتطبيق لإيواء الأشخاص الذين يفتقرون إلى السكن الملائم بسبب المشكلات المالية أو النزوح.

المنزل عبارة عن شكل عضوي يشبه الكهف يبدو قديمًا ومنحوتًا من الطبيعة، ويتناقض بصريًا مع التكنولوجيا المبتكرة التي تقف وراءه. إنها نموذجية لممارسة شركة Cucinella التي تركز على الهندسة المعمارية "الإنسانية" وهي تقاطع بين عوالم التكنولوجيا المنخفضة والعالية.

تم بناء منزل TECLA من التربة الموجودة في الموقع ممزوجًا بالماء وألياف من قشور الأرز (أقل من 5٪ من الحجم الإجمالي). هذا النهج يمكن تكراره في أجزاء مختلفة من العالم باستخدام أي مواد محلية متاحة ويمكن أن يكون مفيدًا بشكل خاص في المناطق الريفية المحرومة، حيث قد يكون من الصعب الحصول على مواد البناء الصناعية.

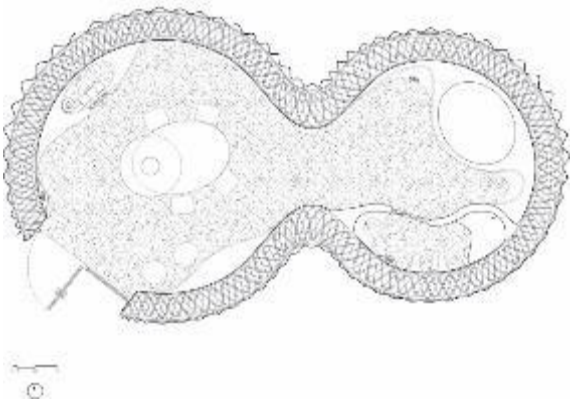
الطباعة بالطين لها عيوبها إنها عملية أبطأ بكثير من الخرسانة سريعة التجفيف يمكن طباعة التصميم في 200 ساعة ولكن يمكن أن يستغرق خليط الطين أسابيع حتى يجف حسب المناخ وأيضًا تفرض قيوداً على الارتفاع.

تم إنشاء المبنى بأحدث تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد الحالية ونتيجة لذلك تمكن الفريق من بناء 60 مترًا مربعًا في غضون 200 ساعة فقط. وقد ساعد على ذلك حقيقة أن الهيكل قد تم تصميمه ليكون مدعومًا ذاتيًا بالكامل – فهو لا يتطلب أي هيكل إطار آخر ويمكنه تحمل ثقله. يتم إنشاء المنزل بأكمله من مادة واحدة دفعة واحدة – يعني أن خطر حدوث مضاعفات في موقع البناء منخفض. [5]

الاستدامة في هذا المنزل المطبوع

ثلاثي الأبعاد:

تم بناء Tecla في الموقع باستخدام مواد من مصادر محلية وهو نموذج مثالي لمنتج خالٍ من النفايات. تم استخدام التربة المحلية للمواد الخام للطباعة ثلاثية الأبعاد علاوة على ذلك فإن الغلاف القوي الملموس قابل للتحلل البيولوجي تمامًا – مما يوضح كيف يمكن للهندسة المعمارية الذكية أن تبدو جيدة ولكن أيضًا في الطليعة التكنولوجية وتدعم نهجًا منخفض الكربون في نفس الوقت. تم إنشاء تركيبة خليط الأرض المستخدمة في البناء كاستجابة مباشرة للظروف المناخية المحلية. وهذا يعني أن الأداء الحراري قد تم تحسينه أيضًا" موازنة الكتلة الحرارية والعزل وتهوية الجدار داخل الغلاف". [5]



الشكل 11: المسقط الأفقي لمنزل تيكلا [5]

جمالية البناء:

ينعكس النهج الانسيابي مع البناء في جمالية قوية بشكل مناسب. يبدو المنزل متماسكًا بنفس النمط المرئي من الداخل والخارج. تبدو البيئة طبيعية ودافئة مع ألوان لطيفة. تتميز المساحات الداخلية – منطقة المعيشة وغرفة النوم والحمام – بأثاث مدمج مصمم خصيصًا ليتناسب مع

الجمالية العامة، مما يتيح في نفس الوقت مساحة كافية خالية من التخصيص من اجل المرونة إذا لزم الأمر.

يتم إنتاج المفروشات الجاهزة كجزء من عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد التي تتيح للساكنين الاستفادة الفورية من هذه المساكن. كان هذا اعتبارًا مهمًا لمهندسي Mario Cucinella لأن الاستوديو أراد استخدام تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد لمعالجة كل من حالات الطوارئ السكنية الحادة، والتي يكون البناء السريع لمساكن TECLA مناسبًا لها بشكل خاص وأزمة الإسكان طويلة الأجل حول العالم. [5]

توصيف المسكن	اسم المسكن	تيكلاTecla
	تصنيف المسكن	سكن مؤقت
	عدد الطوابق	طابق واحد
	المساحة	60 م^2
	ارتفاع المبنى	4.2م
	سنة البناء	2021
	نوع الطابعة المستخدمة	Crane WASP
	وقت التنفيذ	استغرقت عملية الطباعة 200 ساعة

		العامل المدروس	محقق	غير محقق	محقق جزئياً	ملاحظات
انعكاس استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على المنتج المعماري	مرونة التصميم	المرونة في التشكيل بمواد البناء	✓			تعتبر مواد البناء المستخدمة مرنة وسهلة التشكيل يتكون المبنى من وحدة متكاملة لا يمكن إعادة تشكيله
		مرونة التشكيل	✓			

		بعناصر المبنى				ساعدت تقنية الطباعة بتنفيذ المبنى انطلاقاً من فكرة عش الدبور والعمارة المحلية وبشكل مقبب و منحني لا يمكن التعديل على الجدران والاسقف لأنها تشكل وحدة متكاملة.
		إمكانية التعديل بعد المباشرة بعملية الطباعة		✓		
	استدامة المبنى	استدامة عناصر البناء والتقنيات المستخدمة	✓			يعتبر المبنى مستدام تماماً بسبب استخدام مواد طبيعية في طباعته، ويتم معالجة المياه الرمادية وتجميع مياه الأمطار لاستخدامها في الحديقة. بالإضافة لوجود ألواح شمسية تزود المنزل بالطاقة النظيفة.
		إمكانية إعادة استخدام مواد البناء بعد الهدم	✓			
	تأدية الوظيفة		✓			يتكون من منطقة معيشة مفتوحة مع غرفة نوم وحمام ويعبر مؤدي للوظيفة للغاية التي تم إنشاؤه من اجلها
	ملائمة الطابع المعماري		✓			تم استلهام Tecla من دبور الخزاف، الذي يبني عشه بطريقة مماثلة من الطين وفي شكل دائري. وبالتالي

					ينسجم المبنى مع العمارة المحلية
	الراحة الحرارية	✓			الجدران معزولة
	التكلفة الاقتصادية	✓			بحدود $1000 يعتبر سكن لذوي الدخل المحدود والنازحين والفقراء.
	الجودة والمتانة	✓			تم انشاء الجدران من الطين وقشور الأرز التي تستغرق وقت حتى تجف لكنها قادرة على تحمل الاحمال المختلفة بشكل مدروس.

جدول 2: مسطرة قياس منزل تيكلا- المصدر: إعداد الباحث بالاستناد إلى [5]

2-4 منازل مطبوعة في الصين من شركة winsun:

قامت شركة winsun الصينية بطباعة منازل تتمتع بكفاءة أكبر وبتكلفة أقل بكثير من استخدام أساليب البناء التقليدية بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام المواد المعاد تدويرها كحبر لبناء المنازل، مما يجعلها ميسورة التكلفة ومستدامة وصديقة للبيئة.

استخدمت شركة WinSun تكنولوجيا الطباعة ثلاثية الأبعاد لبناء 10 منازل، مساحة كل منزل 200 متر مربع في المنطقة، فقط في 24ساعة.

الشكل 12: احدى أنماط المنازل المطبوعة في الصين [12]

تستخدم شركة WinSun عملية طباعة ثلاثية الأبعاد تصنع فيها الأجسام الصلبة من تصميمات رقمية، لإنتاج جدران معيارية مصممة مسبقاً مشابهة للجدران المصنوعة باستخدام الطوب او الإسمنت، ولكن مع وجود اختلافات كبيرة [6]

يتم إنتاج الأجزاء المعيارية للمباني باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد يبلغ ارتفاعها 21 قدماً وعرضها 32 قدما وطولها 132 قدماً.

تعتبر هذه الطابعة أول طابعة للطباعة ثلاثية الأبعاد في العالم وأكبر طابعة منزلية، يتم إدخال رسم ثلاثي الأبعاد CAD من إعداد المهندس المعماري أو الاختصاصي في الطابعة الضخمة، التي تستخدم حبر تم إنتاجه خصيصاً، والذي يتكون من نفايات البناء والإسمنت والألياف الزجاجية والرمل وعامل تصلب. يمكن الحصول على جميع هذه المكونات من المواد المستخدمة في البناء العام والتي تم إعادة تدويرها. [12]

توصيف المسكن	اسم المسكن	**المنزل المطبوع في الصين من شركة winsun**
	تصنيف المسكن	سكن عائلة واحدة
	عدد الطوابق	طابق واحد
	المساحة	200 م^2
	ارتفاع المبنى	4 م
	سنة البناء	2014
	نوع الطابعة المستخدمة	Vulcan
	وقت التنفيذ	استغرقت عملية الطباعة 25 ساعة. استغرق اكساء المبنى بنفس الطريقة التقليدية 23 يوم.

انعكاس استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد	العامل المدروس		محقق	غير محقق	محقق جزئياً	ملاحظات
	مرونة التصميم	المرونة في التشكيل بمواد البناء	✓			مادة البناء الأساسية هي الالياف الزجاجية وتعتبر من اكثر العناصر سهلة

		مرونة التشكيل بعناصر المبنى	✓		التشكيل المبنى سهل التشكيل لأنه مكون من عدة قطع يمكن تركيبها في الموقع كما تستخدم شركة البناء الطباعة لإنشاء اجسام صلبة من تصميمات رقمية لإنتاج جدران معيارية مصممة مسبقا مشابهة لجدران المصنوعة باستخدام الطوب والإسمنت لا يمكن التعديل بسبب طباعة الهيكل بشكل متكامل
		إمكانية التعديل بعد المباشرة بعملية الطباعة		✓	
	استدامة المبنى	استدامة عناصر البناء والتقنيات المستخدمة	✓		تقلل المواد المستخدمة في المبنى من انبعاثات الكربون ويمكن إعادة تدوير مواد البناء عند هدمه يتم تفتيت عناصر البناء ماعدا الحديد وإضافة مواد كيميائية خاصة ثم تعريضه لدرجة حرارة معينة ويعاد استخدامها في البناء(الطباعة)
		إمكانية إعادة استخدام مواد البناء بعد الهدم	✓		

	تأدية الوظيفة	✓			المنزل عبارة عن استديو يتضمن ركن نوم وركن جلوس ودورة مياه وبذلك حقق المبنى المطلوب منه كمبنى سكني.
	ملائمة الطابع المعماري	✓			العمارة في المباني السكنية في الصين تعتمد على الخطوط المستقيمة في البناء وهذا ما اعتمدته الشركة المنفذة
	الراحة الحرارية			✓	لا يوجد معالجات واضحة
	التكلفة الاقتصادية	✓			4800$ بدلا من 10الف$
	الجودة والمتانة	✓			يستطيع المنزل تحمل زلزال بقوة 8 ريختر وصالح للسكن حسب تصريح الشركة لمدة 150 سنة

جدول 3: مسطرة قياس لمنزل الصين WinSun – المصدر :عمل الباحث بالاستناد إلى [1]

3-4 بناء مطبوع مكون من خمس طوابق في الصين:

اتخذت شركة WinSun الصينية خطوة كبيرة أخرى للأمام في مجال الطباعة ثلاثية الأبعاد، عندما نجحت في إنشاء أول مبنى سكني مكون من خمسة طوابق في حديقة سوتشو في مقاطعة جيانغسو حيث قام مطور صيني بذلك باستخدام نفس التقنية. يعتبر هذا المبنى أعلى مبنى مطبوع ثلاثي الأبعاد في العالم، وأحد الإنجازات الأكثر إثارة للإعجاب حتى الآن في مجال الطباعة ثلاثية الأبعاد حيث يبلغ ارتفاعه حوالي 90 قدم أي ما يعادل تقريبا 27 متر.

أقيم المبنى على أساس خرساني مسبق الصنع، قامت على أثره طابعة ثلاثية الأبعاد ببناء جدران مجوفة باستخدام مزيج سريع الجفاف من أنقاض مباني معاد تدويرها، والاسمنت والجبس ومركبات أخرى، حيث تعتبر مواد الطباعة ثلاثية الأبعاد أخف بنسبة % 50 تقريباً من الخرسانة التقليدية وأكثر متانة إلى حد كبير. بعد اكتمال الجدران، تتولى العمال استكمال عملية البناء من تركيب السقف والنوافذ وملئ الجدران بالمواد العازلة.

إن الجدران المطبوعة ثلاثية الأبعاد أخف بنسبة 50 في المائة تقريباً من الجدران الخرسانية، ولكن لديها قوة وصلابة أعلى بكثير ولديها مقاومة قوية للماء، بالإضافة إلى تحسين نفاذية الهواء والاحتفاظ بالحرارة مقارنة بالجدران المصنوعة من مواد البناء الشائعة.

حيث يبلغ ارتفاع الطابعة المستخدمة في عملية التصنيع 21 قدماً وعرضها 32 قدماً وطولها 500 قدم .وتبلغ تكلفتها 2.3 مليون دولار، حيث استغرقت الشركة المصنعة 12 سنة للانتهاء من تصنيعها وإدخالها في مجال العمل.

أما الحبر المستخدم فهو مزيج من بقايا مواد البناء والزجاج والفولاذ والإسمنت الذي يتم رشه على كل طبقة مستقلة حتى يتكون الحائط السميك.

الشكل 13: المبنى المطبوع في الصين من5طوابق [9]

إن عملية تصنيع مواد البناء عادة ينتج عنها انبعاثات كربونية هائلة، أما الطابعة ثلاثية الأبعاد فيمكنها إعادة تدوير مواد البناء والتخفيف من الانبعاثات السامة.

كما أن العمال لا يتعرضون للمواد السامة أثناء عملية التجهيز، ونجد أيضا أن تلك التقنية تقلل من الضوضاء الناتجة عن عملية البناء التقليدية، إضافة إلى أنها أنظف.

وبالرغم من أن تكلفة المبنى المكون من خمسة طوابق قد تصل إلى حوالي 100 ألف جنيه إسترليني أي حوالي 150 ألف دولار أميركي، إلا أن ثمن الوحدة السكنية سيكون أقل بكثير من الوحدة المبنية بالطريقة التقليدية. [1]

توصيف المسكن	اسم المسكن	**المبنى ذو الخمس طوابق المطبوع في الصين**
	تصنيف المسكن	سكن متعدد العائلات
	عدد الطوابق	5 طوابق
	المساحة	1500 م^2
	ارتفاع المبنى	27 م
	سنة البناء	2016
	نوع الطابعة المستخدمة	Stroybot2
	وقت التنفيذ	استغرقت عملية الطباعة مع الإكساء الداخلي والخارجي والديكور حوالي30يوم.

انعكاس استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على المنتج المعماري	العامل المدروس		محقق	غير محقق	محقق جزئياً	ملاحظات
	مرونة التصميم	المرونة في التشكيل بمواد البناء	✓			تعتبر مواد البناء المستخدمة مرنة وسهلة التشكيل بعد إضافة المواد الكيميائية المناسبة وأخف بنسبة 50% تقريباً من الخرسانة
		مرونة التشكيل		✓		

		بعناصر المبنى				التقليدية يتكون المبنى من وحدة متكاملة لا يمكن إعادة تشكيله
		إمكانية التعديل بعد المباشرة بعملية الطباعة		✓		لا يمكن التعديل على الجدران والاسقف لأنها تشكل وحدة متكاملة
	استدامة المبنى	استدامة عناصر البناء والتقنيات المستخدمة	✓			لا ينتج عن عملية البناء انبعاثات سامة ويمكن اعادة تدوير مواد البناء وتخفيف الانبعاثات السامة
		إمكانية إعادة استخدام مواد البناء بعد الهدم	✓			
	تأدية الوظيفة		✓			تتكون الشقة الواحدة من غرفتي نوم ومعيشة ومطبخ ودورة مياه وحمام وبذلك حققت المطلوب منها كوظيفة.
	ملائمة الطابع المعماري		✓			العمارة في المباني السكنية في الصين تعتمد على الخطوط المستقيمة في

					البناء وهذا ما اعتمدته الشركة المنفذة
	الراحة الحرارية	✓			الجدران معزولة
	التكلفة الاقتصادية	✓			150الف$ بدلا من 600الف$ فإذا تم استثناء سعر الطابعة يعتبر سكن لذوي الدخل المحدود.
	الجودة والمتانة	✓			تتمتع الجدران بقوة وصلابة أعلى بكثير ولديها مقاومة قوية للماء بالإضافة الى تحسين نفاذية الهواء والاحتفاظ بالحرارة مقارنة بالجدران المصنوعة من مواد البناء الشائعة. صالح للسكن حسب تصريح الشركة لمدة 165 سنة

جدول 4:مسطرة القياس لمنزل الصين ذو ال5 طوابق–المصدر: إعداد الباحث بالاستناد إلى [1]

4-4-فيلا دبي (اول فيلا منفذة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد):

الشكل 14: الفيلا المطبوعة في دبي [2]

الشكل 15: مراحل طباعة الفيلا في دبي[2]

أعمال تنفيذ مشروع تشييد أول فيلا سكنية بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في دبي بدأت في نيسان 2018م، لتكون الإمارة الأولى على مستوى الوطن العربي في الاستفادة من هذه التقنية في بناء مساكن للمواطنين، حيث تم تشييد أول فيلا سكنية بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد ضمن برنامج مسرعات دبي المستقبل.

يبلغ ارتفاع الفيلا حوالي 9.5 متر، وتبلغ المساحة الإجمالية 640 متر مربع، وبعد الانتهاء من أعمال البناء تبين أن استخدام الطابعة ثلاثية الأبعاد خفض التكاليف في البناء من 680ألف دولار إلى 275 ألف دولار .واستخدمت الشركة المنفذة كلا من طرق البناء التقليدي والطباعة ثلاثية الأبعاد، حيث كانت ألواح السقف مصنوعة من مواد البناء التقليدية [9].

توصيف المسكن	اسم المسكن	**الفيلا المطبوعة في إمارة دبي**
	تصنيف المسكن	فيلا سكنية
	عدد الطوابق	طابقين
	المساحة	640م^2
	ارتفاع المبنى	9.5 م
	سنة البناء	2018
	نوع الطابعة المستخدمة	Apis cor

	وقت التنفيذ	استغرقت عملية الطباعة ثلاثة أيام استغرق الإكساء الداخلي والخارجي والديكور 3أشهر تقريباً				
	العامل المدروس		محقق	غير محقق	محقق جزئياً	ملاحظات
انعكاس استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على المنتج المعماري السكني	مرونة التصميم	المرونة في التشكيل بمواد البناء	✓			يمكن بواسطة خليط البناء طباعة أكثر العناصر المعقدة تم طباعة الأشكال المستقيمة والمنحنية بسهولة تامة. تعتبر هذه الفيلا من أوائل المباني المطبوعة في إمارة دبي، كان لابد من إعطائها تصميم أكثر ابداع يميزها بالتفاصيل وبذلك لم تُستغل قدرة الطابعة. لا يمكن، أثناء الطباعة يترك فتحات خاصة مدروسة لتمديدات المياه والكهرباء، يتم تركيبها لاحقا بعد الطباعة.
		مرونة التشكيل بعناصر المبنى	✓			
		إمكانية التعديل بعد المباشرة بعملية الطباعة		✓		
	استدامة المبنى	استدامة عناصر البناء	✓			يتميز البناء بنظام عزل مبتكر يساعد على تخفيف استهلاك الطاقة يتم تفتيت عناصر البناء ماعدا

	والتقنيات المستخدمة				الحديد وإضافة مواد كيميائية خاصة ثم تعريضه لدرجة حرارة معينة ويعاد استخدامها في البناء(الطباعة)
	إمكانية إعادة استخدام مواد البناء بعد الهدم	✓			
	تأدية الوظيفة	✓			تتكون الفيلا من غرفة معيشة وغرفتي نوم واستقبال وبذلك حققت الغرض المطلوب منها
	ملائمة الطابع المعماري	✓			يتماشى شكل الفيلا مع المباني المتطورة في دبي
	الراحة الحرارية	✓			تساعد المواد المستخدمة في تأمين الراحة الحرارية
	التكلفة الاقتصادية	✓			275 ألف$ بدلا من 680 ألف$ وإذا تم استثناء سعر الطابعة(250ألف$ كمبيع) يعتبر سكن لذوي الدخل المحدود.
	الجودة والمتانة			✓	اساساته ضعيفة ولكن تم تدعيمه بأسياخ حديد ضمن الجدران. صالح للسكن حسب الأبحاث لمدة 125 سنة

الجدول 5: مسطرة قياس الفيلا المطبوعة في دبي _ المصدر :إعداد الباحث بالاستناد إلى [1]

4-5- منزل مطبوع في الرياض/السعودية بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:

الشكل 16: الواجهة الأمامية للمنزل المطبوع في السعودية [9]

يقع المنزل على أرض وزارة الإسكان غرب مطار الملك خالد الدولي بالرياض، وتمت طباعته عن طريق شركة (Cybe) الهولندية، التي تعد من أبرز الشركات التي تمتلك هذه التقنية في العالم.

تم البناء بواسطة روبوت بإشراف ومتابعة ستة أشخاص فقط، اقتصر دورهم تقريبا على المرحلة التأسيسية للبناء. وبعد اكتمال الهيكل تبقى مرحلة تشطيب المنزل التي تتم بنفس طريقة المنازل العادية بهذا الحجم، وتستغرق من ثلاثة أسابيع إلى شهر، وقد أنجزها فريق العمل في 17 يوم. [1]

توصيف المسكن	اسم المسكن	**المنزل المطبوع في السعودية**
	تصنيف المسكن	سكن عائلة واحدة
	عدد الطوابق	طابق واحد
	المساحة	80 م^2
	ارتفاع المبنى	4 م
	سنة البناء	2018
	نوع الطابعة المستخدمة	Cybe
	وقت التنفيذ	استغرقت عملية الطباعة 25 ساعة. استغرق اكساء المبنى بنفس الطريقة التقليدية 23 يوم.

	العامل المدروس		محقق	غير محقق	محقق جزئياً	ملاحظات
انعكاس استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد على المنتج المعماري السكني	مرونة التصميم	المرونة في التشكيل بمواد البناء	✓			فوهة الطابعة بقطر 2 سم ومزيج البناء المرن يستطيع طباعة أي شكل
		مرونة التشكيل بعناصر المبنى		✓		لا تتمتع عناصر المبنى بمرونة كبيرة في التشكيل نظراً لقصر ذراع الطابعة الروبوتية. وحسب الشركة يمكن بناء طابقين فوق الطابق الأرضي الحالي بنفس طريقة الطباعة
		إمكانية التعديل بعد المباشرة بعملية الطباعة	✓			المبنى مكون من قطع خرسانية بطول 275(طول ذراع الروبوت)، يمكن فصل القطعة المطلوبة والتعديل على المنشأ.
	استدامة المبنى	استدامة عناصر البناء والتقنيات المستخدمة	✓			يتميز البناء بنظام عزل مبتكر يساعد على تخفيف استهلاك الطاقة ويعتبر الاسمنت الهولندي المستخدم صديق للبيئة، كما تم عزل المبنى بمواد عزل خاصة للحرارة والصوت.
		إمكانية إعادة استخدام مواد البناء بعد الهدم	✓			يتم تفتيت عناصر البناء ماعدا الحديد وإضافة مواد كيميائية خاصة ثم تعريضه لدرجة حرارة

						معينة ويعاد استخدامها في البناء(الطباعة)
	تأدية الوظيفة		✓			مخطط المنزل عبارة عن غرفة نوم وغرفة معيشة ومطبخ وركن طعام بالإضافة للحمام ودورة المياه. وبذلك حقق المبنى الغرض المطلوب منه كفيلا سكنية
	ملائمة الطابع المعماري		✓			خطوط المبنى مستقيمة والواجهات الخارجية تحاكي المنازل التقليدية في السعودية.
	الراحة الحرارية		✓			تساعد المواد المستخدمة في تأمين الراحة الحرارية
	التكلفة الاقتصادية		✓			140ألف$ بدلا من 280 ألف$. إذا تم استثناء سعر الطابعة يعتبر سكن لذوي الدخل المحدود.
	الجودة والمتانة		✓			يحتاج المبنى بعد طباعته ل 6ساعات حتى يتصلب ويصبح بصلابة المبنى التقليدي. صالح للسكن حسب تصريح الشركة لمدة 50 سنة

جدول 6: مسطرة قياس لمنزل السعودية المطبوع –المصدر:عمل الباحث بالاستناد إلى [1]

5-نتائج الدراسة التحليلية:

1. استخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد أعطى مرونة في تصميم الأبنية السكنية بسبب إمكانية إنشاء أي شكل مهما كان بسيط أو معقد، بخطوط مستقيمة أو منحنية، على عكس طرق البناء التقليدية، كما في الأمثلة السابقة.
2. حدّت عملية طباعة الأبنية من الحجوم الكبيرة والمرتفعة للأبنية السكنية بسبب ارتباط حجم المبنى بحجم الطابعة وارتفاع ذراعها، لكن كون الأبنية السكنية بطبيعة الحال يجب أن تراعي المقياس الإنساني في أبعادها من أجل راحة المستخدمين، لم يشكل هذا الجانب مشكلة في حالة الأبنية السكنية متوسطة الارتفاع، كما في مسمن تيكلا والمنزل المطبوع في السعودية.
3. المساكن المطبوعة يمكن أن تراعي الطابع المحلي المعماري في المناطق التي بنيت فيها، لأن الطابعة تتمكن من تنفيذ أي تصميم ولا تشترط أشكال محددة. كما في الأمثلة السابقة.
4. تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمساكن ساعدت في إنتاج تكوينات مستمدة ومرتبطة بالطبيعة كما في مثال منزل تيكلا.
5. إمكانية التعديل على المساكن المطبوعة تختلف حسب نوع الطابعة المستخدمة في التنفيذ وبحسب تكوين المسكن، كما في الأمثلة السابقة.
6. لم تؤثر تقنية طباعة المباني على الأداء الوظيفي في الأبنية السكنية، كما في الأمثلة السابقة.
7. المواد المستخدمة في طباعة المباني تؤمن العزل الحراري للمبنى السكني وأيضا تؤمن عزل للرطوبة مما يخفف من استخدام وسائل التكييف العديدة والمكلفة، كما في منزل تيكلا، المنزل ذو الخمس طوابق في الصين، فيلا دبي والمنزل المطبوع في الرياض.
8. المباني السكنية المنتجة بواسطة الطباعة ثلاثية الأبعاد تعتبر ذات تكاليف منخفضة واقتصادية مقارنة بالأساليب التقليدية للبناء، إذا تم استثناء سعر الطابعة، كما في الأمثلة السابقة.
9. تمكن الطباعة من تنفيذ المباني بسرعة قياسية وبأعداد كبيرة جداً عند الحاجة. بالإضافة لتقليل احتمالية الخطأ اثناء التنفيذ، كما في الأمثلة السابقة.
10. ان المواد المستخدمة في الطباعة ناتجة عن عمليات إعادة التدوير ويمكن أيضا عند هدم المنازل يمكن إعادة استخدام هذه المواد بعد معالجتها بالإضافة لخصائصها العازلة للحرارة

والماء، كما أن عملية البناء لا يصدر عنها انبعاثات سامة كما في الطرق التقليدية. مما يجعل المباني المطبوعة مستدامة بيئياً، كما في الأمثلة السابقة.

6-النتائج العامة:

1. الطباعة ثلاثية الأبعاد قدمت مرونة في تصميم الأبنية السكنية من حيث التشكيل المعماري. فيمكن بواسطتها تنفيذ أي مبنى مهما بلغ تعقيده، مما سيؤدي إلى اشكال جديدة للأبنية السكنية التي كان من الصعب تنفيذها بواسطة الطرق التقليدية.
2. لا يؤثر تعقيد التصميم وصعوبته على كفاءة المنشأ وعلى تكلفته. لأن عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد ليست مقيدة بإمكانيات عمل الشكل في أساليب البناء التقليدية.
3. تتميز تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد بمدى مطابقة التصميم مع التنفيذ والقدرة على تنفيذ تصميمات على درجة عالية من التعقيد
4. إن حجم الأبنية المطبوعة محدود بحجم الطابعة، مما أدى إلى حصر استخدام الطابعة في الأبنية السكنية ذات الحجوم الصغيرة والمتوسطة.
5. تختصر عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد للأبنية وقت التنفيذ بشكل كبير جداً، مما يجعل هذه التقنية مناسبة جداً للعصر الحالي وخاصة لسكن الكوارث وللوحدات السكنية الصغيرة (مثل الشاليهات).
6. تعتبر الأبنية السكنية المطبوعة مناسبة لذوي الدخل المحدود بسبب انخفاض تكاليف إنشائها إلى النصف مقارنة بالتقنيات التقليدية بالإضافة لاختصارها عدد الأيدي العاملة في البناء.
7. تعد الأبنية السكنية المطبوعة مستدامة بيئياً، بسبب استخدام مواد غير ملوثة في إنشائها بالإضافة لخصائصها في العزل الحراري وعزل الرطوبة، وأيضا إمكانية إعادة تدويرها بعد الانتهاء من استخدام المبنى.
8. من الممكن استخدام مواد طبيعية في عملية البناء بالطباعة مثل مادة الطين ولكن بعد معالجتها لتصبح صلبة وقادرة على تحمل الأحمال كافة.
9. إن استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في البناء يؤدي إلى التقليل من الأخطاء أثناء التنفيذ بسبب سير العملية بشكل آلي ومنتظم ومستمر لا يتوقف إلا عند الحاجة.

10. من سلبيات البناء باستخدام الطباعة هي صعوبة التعديل على المبنى عندما تكون الجدران منفذه بشكل متصل.
11. يعتبر سعر الطابعة ثلاثية الأبعاد للبناء مرتفع، وهذا من اهم معوقات استخدامها في اغلب البلدان مما أدى الى قلة انتشار استخدامها.
12. يمكن استخدام تقنية الطباعة لإحياء العناصر التراثية والتقليدية في المساكن بسبب القدرة على تنفيذ كافة العناصر التراثية بتفاصيلها ومن دون جهد.

7-التوصيات:

1. تشجيع شركات البناء والاستثمار لاستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للأبنية السكنية، فكل طابعة يمكن ان تنفذ عشرات المباني اسبوعياً مما يؤدي إلى تقليل التكلفة الناتجة عن الطابعة بالمقارنة مع استخدامها بشكل فردي او على نطاق صغير.
2. تسهيل إجراءات استيراد الطابعات ثلاثية الابعاد لتشجيع قطاعات البناء على استخدامها.
3. تشجيع تصنيع الطابعات ثلاثية الأبعاد للأبنية بشكل محلي في المستقبل للتقليل من كلفتها.
4. استخدام تقنية الطباعة في إعادة الإعمار وفي حالات سكن الكوارث بسبب سرعتها في الإنشاء والتوفير في تكلفة انشائها.
5. إقتراح إدخال مفهوم الطباعة ثلاثية الأبعاد للأبنية في مناهج الجامعات السورية لإعداد كوادر مؤهلة لاستخدام هذه التقنية في المستقبل.
6. تناول ودراسة هذه التقنية بشكل معمق في الأبحاث الأكاديمية مستقبلاً.

8-المراجع:

1. AL Sammou.S. Study of Building Techniques By Using the Three Dimensional Printer in Architecture. Faculty of Architectural.AL Baath University.2021(In Arabic)

2. Eraallstar Properties, Apis Cor Is the First Company to Develop a Specialized Equipment for 3D Printing in Construction Which Is Capable of Printing Whole Buildings Completely.
3. Hambach M, Volkmer D. Properties of 3D-printed fiber-reinforced Portland cement paste. Cem Concr Compos. 2017.
4. How is 3D Printing Beneficial for the Construction Industry, https://hamiltonlabs.co/. Retrieved April 21, 2019.
5. Mario,Cucinella. "TECLA Technology and Clay 3D Printed House Architects" 27 Apr 2021. ArchDaily. Accessed 19 Jul 2024. <https://www.archdaily.com/960714/tecla-technology-and-clay-3d-printed-house-mario-cucinella-architects> ISSN 0719-8884
6. Peng Feng, Xinmiao Meng, Jian –Fei Chen, Leiping Ye, China, 2015.
7. Shakor P, Sanjayan J, Nazari A, Nejadi S. Modified 3D printed powder to cement-based material and mechanical properties of cement scaffold used in 3D printing. Constr Build Mater. 2017.
8. https://www.archdaily.com
9. The best 11 3D Printed House Companies- 3D Printing Entire Buildings, https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-house-companies-120220184/.
10. Waqar A, Othman I, Pomares JC. Impact of 3D Printing on the Overall Project Success of Residential Construction Projects Using Structural Equation Modelling. *International Journal of*

Environmental Research and Public Health. 2023; 20(5):3800. https://doi.org/10.3390/ijerph20053800

11. Rodrigo, García-Alvarado. Architectural Diversity of Residential Buildings through Digital Design and Robotic Construction. Blucher Design Proceedings, (2023). doi: 10.5151/sigradi2022-sigradi2022_66
12. http://www.winsun3d.com/
13. https://medium.com/@roccojames84/from-concept-to-reality-the-step-by-step-process-of-3d-printing-a-house-dbd117efd1d9
14. https://geeksvalley.com/tutorial/3d-printer-software/?view=all
15. https://geeksvalley.com/tutorial/introduction-3d-printing/?view=all
16. https://luxuryav.net/TECLA%27s-first-3D-printed-house
17. https://mawdoo3.com/سلبيات_الطباعة_ثلاثية_الأبعاد
18. https://www.archdaily.com/517378/iaac-invents-a-family-of-robots-to-3d-printstructures-of-any-size
19. https://www.archdaily.com/960714/tecla-technology-and-clay-3d-printed-house-mario-cucinella- architects> https://www.designboom.com/technology/tu-eindhoven-concrete/
20. https://www.designboom.com/technology/tu-eindhoven-concrete-3d-printer-06-28-2016/
21. https://www.alphasand.in/blog/3d-printed-house
22. https://www.xometry.com/resources/3d-printing/3d-printing-in-construction/

دراسة تأثير تغير الحمل الهيدروليكي و الأس الهيدروجيني $p\mathcal{H}$ على مقدرة نبات عدس الماء لاستخلاص الكادميوم من الماء

الباحثة: شروق سعد – جامعة حمص– طالبة دكتوراه –قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية.

المشرف: د.نعيمة عجيب – جامعة حمص– كلية الهندسة المدنية – قسم الهندسة البيئية– اختصاص هندسة صحية.

المشرف المشارك: أ.د.سمير شمشم – جامعة حمص– كية الهندسة الزراعية– قسم التربة و استصلاح الأراضي – اختصاص علم أراضي

الملخص:

تم إجراء البحث في مخبر الهندسة البيئية بكلية الهندسة المدنية – جامعة حمص،حيث هدف البحث إلى دراسة كفاءة نبات عدس الماء في تخفيض تراكيز الكادميوم الموجود في المياه عند ثلاثة تراكيز(0.25–1–2 mg/l) لتحقيق هدف البحث تم تصميم حوضين بارتفاعين مختلفين (H_1=65cm, H_2=25cm) وباعتماد زمنين للمكث (T_1=7day–) T_2=15day تم تطبيق أحمال هيدروليكية سطحية عند زمني المكث،تم زراعة الحوضين بنبات عدس الماءوأخذ عينات عند درجتي للpH (pH_1=7.7, pH_2=4.7).بينت نتائج القياسات المخبرية التي تم الحصول عليها أن نسبة إزالة الكادميوم كانت بحدود80.43%عند العمق 25cm و زمن مكث قدره T=15day،وعند تحميل هيدروليكي $0.016m^3/m^2.d$،كما كانت كفاءة إزالة الكادميوم من المياه عندpH=7.7 كانت أعلى من المياه ذات درجة pH=4.7النتائج التي تم التوصل إليها

تبين أن طريقة المعالجة باستخدام نبات عدس الماء،طريقة ممكن اعتمادها لاستخلاص الكادميوم من المياه الملوثة به، وخاصة عند المعاملة الأفضل ($H=25cm$– $pH_1=7.7$– $T_2=15day$).

الكلمات المفتاحية: الاستخلاص – عدس الماء – الكادميوم– التحميل الهيدروليكي السطحي.

Study the effect of changing hydraulic load and pH on the ability of duckweed to Phytoextraction cadmium from water

Researcher: Shorouk Saad – University of Homs – PhD student – Department of Architectural Engineering – Faculty of Civil Engineering.

Supervisor: Dr. Naima Ajeeb – University of Homs – Faculty of Civil Engineering – Department of Civil Engineering – Sanitary Engineering Specialization.

Supervisor: Prof. Samir Shamsham – University of Homs – Faculty of Agricultural Engineering – Department of Agriculture and Land Reclamation Specialization – Judicial Science Specialization

The research was conducted in the Environmental Engineering Laboratory at the Faculty of Civil Engineering – Al–Homs University, where the main objective of the research was to study the efficiency of duckweed in reducing cadmium concentrations in water at three concentrations (0.25–1–2 mg/l). In order to conduct the research, two basins were designed with different heights (H1=65cm, H2=25cm) and with a residence time ((T1=7–

T2=15day). Surface hydraulic loads were applied at the residence time. After planting the two basins with the plant and taking samples at values of (pH1=7.7, pH2=4.7), the results of the laboratory measurements obtained showed that the cadmium removal rate was about 80.43% at a depth of 25cm and after a residence time of T=15day and at a hydraulic load of 0.016m3/m2.d, and the efficiency of removing cadmium from water was at pH=7.7 It was higher than water with pH=4.7, so the results proved that the plant treatment method using duckweed is an economical method that can be adopted.

Keywords: Phytoextraction – duckweed – cadmium – surface hydraulic loading.

1-المقدمة:

تمركزت المدن الصناعية في مناطق قريبة من مصادر مائية هامةورئيسة في سورية، كالمدينة الصناعية في حسياء – عدرا الصناعية في دمشق- الشيخ نجار في حلب وغيرها من المدن والمنشأت الصناعية الممتدة في مختلف مناطق القطر. تفتقر الجمهورية العربية السورية إلى الموارد المائية في كثير من مناطقها، لذا كان خيارالموارد غير التقليدية أمراً واجباً . من هنا كان لابد من معالجة مياه الصرف الصحي و الصناعي وإعادة استخدامها في مجالات مناسبة للاستفادة منها لدعم المصادر المائية التقليدية [3].تعد المعادن الثقيلة من أهم الملوثات التي يجب أن تدرس و تعالج بعناية، بسبب درجة ثباتها العالية و فترات بقائها غير المحدد، إذ يمكن أن تنتقل إلى مسافات بعيدة عن مناطق نشوئها ويمكن أن تتضاعف تراكيز هذه العناصر خلال السلسلة الغذائية، لتصبح

خطراً يهدد الكائنات الحية، ومصدراً لتسمم وخطراً كبيراً على الصحة [10]. انطلاقاً مما سبق لم يعد بالأمكان اختيار نظام معالجة مياه الصرف الصناعي على أساس الأهداف الأساسية للمعالجة،بل تعدى الأمر إلى ضرورة التدقيق في كفاية المعالجة، حسب الغرض من استخدام المياه بعد المعالجة.[3]

يعد الكادميومCdملوثاً خطيراً ،فهو ينتج بكميات كبيرة من صناعات متعددة (صناعة الخلايا الشمسية – السبائك –الطلاء الكهربائي – الصناعات البلاستيكية –صناعة البطاريات القابلة للشحن – صناعات الدباغة والأصباغ لقدرته على أنتاج اللون الأصفر والبرتقالي[17]. تشيرالدراسات أن ارتفاع نسبة الكادميوم في المياه يشكل خطراً على السلسة الغذائية.حيث يسبب أمراض في الكلية والرئتين والعظام [5].

تم سنة (2023) استخدام الحمأة الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف الصناعي والصحي في مقاطعة جيانغسو (الصين)،تبين النتائج وجود مستويات عالية من المعادن الثقيلة Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > As > Hg > Cd، كانت قيم التلوث تتراوح بين 2970–154، 1150–28 ،136–10، 262–9، 79–0، 41.6–12.1، 19.5–0.67، 2.77–0,21 mg/l على التوالي. توضح النتائج وجود الزئبق والزنك والنحاس بدرجة مرتفعة جداً في الحمأة الناتجة عن مياه الصرف الصناعي، في حين كان النيكل والكادميوم والرصاص والكروم أكثر توازناً. هذا يتبع لنوع الصناعات الناتجة عنها.[4]

أظهرت دراسة سنة (2020) في جنوب أفريقيا قيماً لمياه الصرف الصناعي لكل من الكادميوم والنيكل والرصاص على التوالي (30.14–7.1–0.81) mg/l.[13]

بينت نتائج تحليل مياه الصرف الصناعي سنة(2020) في أثيوبيا تجاوز كل من الكروم والكادميوم والرصاص الحدود المسموح بها (حسب مواصفات القياسية في أثيوبيا)وتراوحت القيم (1.04-30-0.08)على التوالي.[14]

اجريت في البرازيل عام (2010) دراسة حول كفاءة استزراع نبات عدس الماء باستخدام اربعة احواض مربوطة على التسلسل عمق كل حوض 0.9 متر ومساحته 2.57 متر مربع وحجمه 2.3 متر مكعب مع غزارة 2.9 م3/يوم اي بتحميل هيدروليكي 1.1 م3/م2. يوم كان زمن المكث يوم واحد لكل حوض،حيث وصلت ازالة فوسفات و النتروجين 51.8 %، 40.5 % على التوالي.[18]

تم اجراء دراسة سنة (2016) في محطة الجنديرية في اللاذقية واستزراع نبات عدس الماء بوزن جاف 2 kg/m^2 في حوض ابعاده 2.25x5.5x6.5 علماً ان عمق المياه في الحوض كان 1.75 m. وصلت كفاءة ازالة الفوسفور 34.73% وعزي سبب هذا الانخفاض الى ازدياد عمق الماء حيث اوردت المراجع أن العمق الأمثل لأحواض عدس الماء هي من 0.4 الى 0.9 متر وتنخفض الكفاءة مع ازدياد العمق [3].

تؤكد احدى الدراسات كفاءة المعالجة النباتية بشكل عام وتتاثر بالعوامل المناخية فيما يخص عدس الماء اوردت المراجع قدرته على التأقلم مع مختلف الظروف حيث يمتاز بسرعة نمو كبيرة ويمكنه مضاعفة الكتلة الناتية خلال 48 ساعة وبينت المراجع أنه يضاعف المساحة المغطاة في الحوض خلال اربع ايام[9] .

- الحدود المسموح بها لبعض المعدن الثقيلة في المياه المعالجة المسموح بصرفها إلى البيئة المائية حسب م.ق.س 2009/3474(تختص هذه المواصفة القياسية السورية بتحديد الاشتراطات والمتطلبات والقيود المفروضة على تصريف المياه المعالجة الصناعية،الخارجة من المنشآت الصناعية أومحطات المعالجة التابعة لها إلى البيئة المائية) [1],[2]

المؤشرات	الرمز	الواحدة	أنواع المستقبلات(البيئة المائية المستقبلة)			
			بحار	مسطحات مائية	الأنهار	قنوات الصرف الزراعية
الكادميوم	Cd	mg/l	0.05	0.05	0.05	0.05

2- أهداف البحث :

- دراسة تأثير تغير التحمل الهيدروليكي السطحي والأس الهيدروجيني في كفاءة المعالجة النباتية،باستخدام نبات عدس الماء،في معالجة المياه الملوثة بالكادميوم.
- دراسة مقدرة نبات عدس الماء في مراكمة الكادميوم الموجودة في مياه مشابهة بالتلوث لمياه الصرف الصناعي لمدينة حسياء الصناعية.

3-مواد البحث وطرائقه:

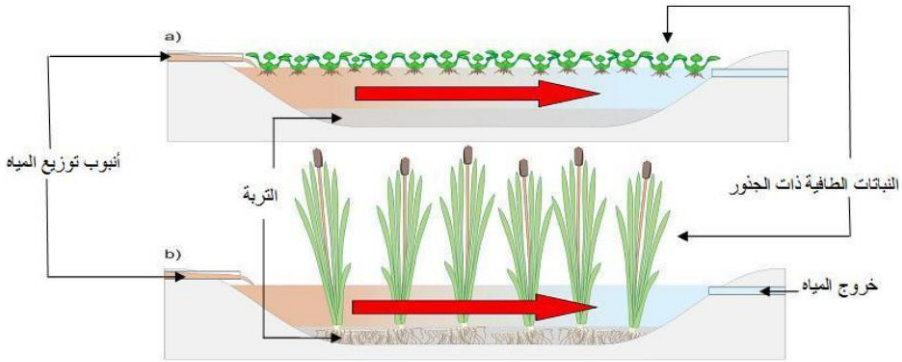
الأراضي الرطبة المصطنعة:

هي عبارة عن تصاميم هندسية تستخدم العمليات الطبيعية من النباتات والترب وتجمعانها البكترية، وتعد مناسبة جداً للمعالجة في محطات المعالجة، بسبب اقتصاديتها وكلفة تشغيلها المنخفضة وفعاليتها،إضافة إلى زيادة المساحات الخضراء في المناطق المقامة بها، وتصنف أحواض النباتات المستخدمة في معالجة مياه الصرف بناءً على مسار التدفق عبر أنظمة CW،وهناك أربعة أنظمة مستعملة في معالجة المياه:

- الأحواض ذات الجريان السطحي الحر Free Water Surface (FWS)
- الأحواض ذات الجريان السطحي الأفقي Horizontal Flow (HF).

- الأحواض ذات الجريان السطحي الشاقولي Vertical Flow (VF).
- الأحواض ذات الجريان المتنوع (المهجن) "أفقي+ شاقولي"

والأحواض المستخدمة في البحث هي الأحواض ذات الجريان السطحي الحر: وهي أحواض ضحلة أو قنوات تحتوي على طبقة من التربة (بسماكة 30–40cm) تزرع فيها نباتات عدة، أكثر النباتات شيوعاً هي: (Duck weed, Typha)، ويوجد فوق طبقة التربة طبقة مائية (عمقها 20–40cm) يتعرض للغلاف الجوي والإشعاع الشمسي، يتدفق الماء عبر جذوع النبات ويتلامس مع الطبقة العليا من التربة وأجزاء النبات، مما يسمح بإزالة الملوثات من خلال مختلف العمليات الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية[15]، ويبين الشكل (1) حوض معالجة بالنباتات ذات الجريان السطحي الحر.



الشكل(1): حوض معالجة بالنباتات ذات الجريان السطحي الحر

a) : حوض معالجة بالنباتات طافية على سطح الماء وجذور حرة.

b) :حوض معالجة بالنباتات ذات السوق فوق السطح وجذور مزروعة ضمن تربة الحوض.

تميل هذه الأحواض إلى جذب البعوض، خاصةً عندما يظل الماء شبه راكد، كما تتطلب مساحة أعلى مقارنة بأنواع أخرى بخصائص مياه الصرف الصحي نفسها. يعمل هذا النظام بشكلٍ جيد في إزالة المواد الصلبة العالقة (TSS)، والطلب الكيميائي الحيوي للأوكسجين BOD_5 وإزالة النتروجين N ومسببات الأمراض، وإزالة نسبة كبيرة من المعادن الثقيلة وإزالة الفوسفور[9].

نبات عدس الماء (Lemna minor):

ينتمي للعائلة اللمينية (Lemnaceae) من رتبة Arales ذوات الفلقة الواحدة،واسمه بالإنكليزية (Duck weed)،هونبات صغير طافٍ،يتجمع في مجموعات تتكون 2–5 نباتات، قطره من 3–6

mm شبه كروي أواهليلجي مسطح على الوجهين،يتنشر في المياه العذبة الراكدة في دمشق وحمص والقنيطرة واللاذقية[3]، ويبين الشكل (2) نبات عدس الماء.

الشكل (2): نبات عدس الماء

يعتمد نمو عدس الماء على عوامل عدة:

- درجة الحرارة المثالية للنمو(25-15) درجة مئوية ولكن ممكن أن ينمو في درجة حرارة أقل من 7 درجة مئوية.
- ينمو ضمن مجال [9-4]= pH .
- يؤدي الحصاد دوراً كبيراً في كفاءة الإزالة والنمو، حيث يزداد النمو مع الحصاد اليومي و بالتالي تزداد كفاءة المعالجة.والوقت المثالي للحصاد كل أربع أيام حتى لا يتموت النبات ويترسب.

4-الدراسة التجريبية: تم أخذ عينات من مياه الصرف الصناعي والصحي من محطة الصرف الصحي الناتج عن المدينة الصناعية بحسياء في حمص.

تحاليل عينات المياه و النبات الملوثة:

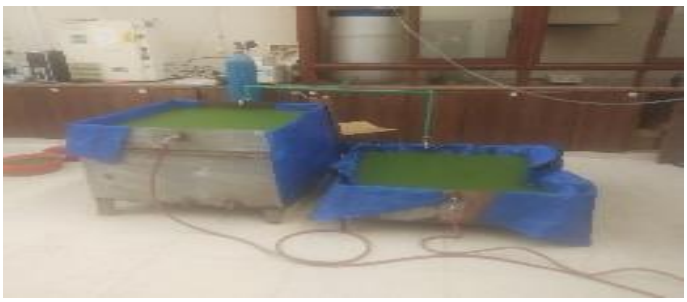
- تم تقدير الكميات الكلية للمعادن الثقيلة في مخبر الهندسة البيئية في كلية الهندسة المدنية حيث تم هضم عينات النبات باستخدام الماء الملكي، ثم استعمال المستخلص في تقدير الكادميوم Cd بواسطة جهاز الامتصاص الذري اللهبي نوع (SHimadza AA 6800)وعبر عن النتائج بوحدات جزء بالمليون.

- تقدير pH باستخدام جهاز pH METER. يبين الجدول(1) نتائج قياس عينات مياه صرف من محطة صرف المدينة الصناعية في حسياء

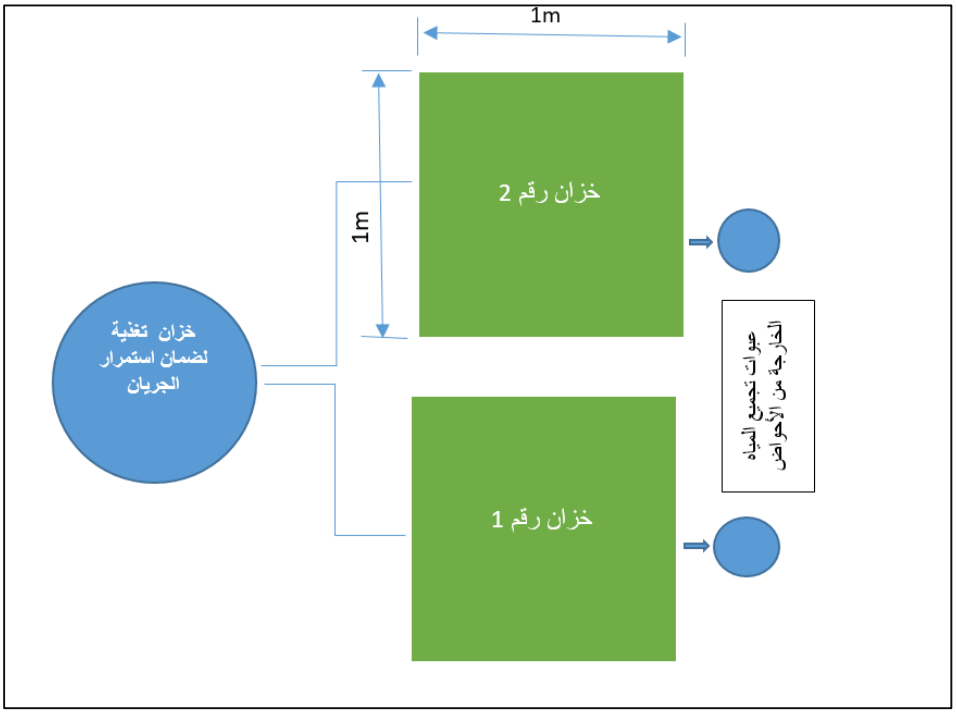
الجدول(1) نتائج قياس عينات مياه صرف من محطة صرف المدينة الصناعية في حسياء

المؤشر	الواحدة	مياه صرف صحي	مياه صرف صناعي	المواصفة القياسية السوريةرقم 2009\3474	المواصفة القياسية السوريةرقم 2008/2580
pH	–	7.6	7.8	9–6	9.5–6.5
Cd	mg\l	0. 22	0.25	0.05	0.05

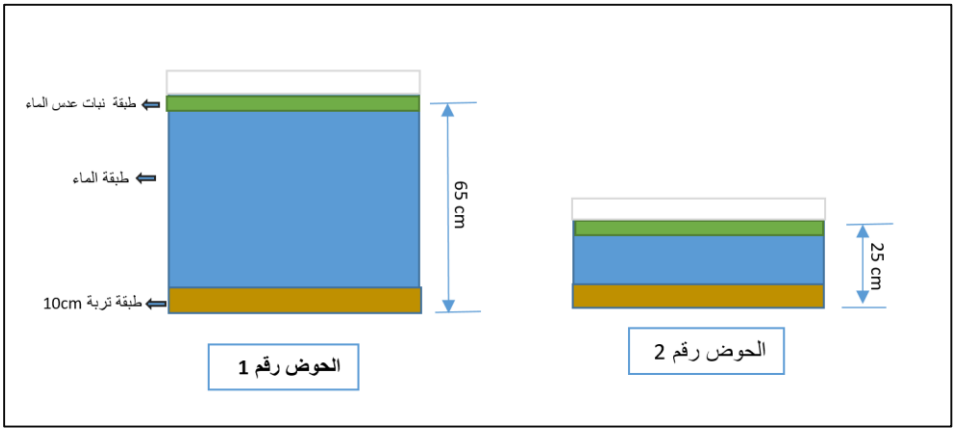
سيتم تلويث المياه مخبرياً بمقادير تلوث تحاكي التلوث الموجود في مياه الصرف الصناعي في حسياء، ثم زيادة تركيزه بقيم أكبر (0.25–1–2 mg\l)، ودراسة تأثير التلوث في نظام عمل معالجة المياه باستخدام نبات عدس الماء(Duckweeds). تمت الدراسة بواسطة محطة تجريبية عبارة عن خزانين ماء بارتفاعات مختلفة (ارتفاع الأول 65cm – ارتفاع الثاني 25cm) بمساحة سطح $1m^2$ يدخل الماء إلى الخرانات بواسطة انابيب تغذية وتتم التغذية من خزان تجميع لضمان استمرارية الجريان وعند المخرج تم وضع سكور عند ارتفاع الماء المطلوب للدراسة.كما في الشكل(3,4,5).يبين الشكل(3) النموذج التجريبي في مخبر الهندسة البيئية،يبين الشكل(4) مسقط أفقي للأحواض المستخدمة في التجربة،يبين الشكل(5) مقطع طولي في الأحواض



الشكل(3) النموذج التجريبي في مخبر الهندسة البيئية



الشكل(4) مسقط أفقي للأحواض المستخدمة في التجربة



الشكل(5) مقطع طولي في الأحواض

-تصميم الأحواض:

تم تصميم الأحواض وفق العوامل التصميمية التالية :

التحميل الهيدروليكي السطحي	**q=Q/A**
الغزارة	**Q=V/T**
أبعاد الحوض الأول	**(1*1*0,65) m**
حجم الحوض	**$0.65m^3$**
بفرض زمن المكث	**T_1=7day**
غزارة الحوض	**$Q=V/T=0.65/7=0.093m^3/d$**
التحميل الهيدروليكي السطحي	**$q=Q/A=0.093/1=0.093\ m^3/m^2.d$**
أبعاد الحوض الأول	**(1*1*0,65) m**
حجم الحوض	**$0.65m^3$**
بفرض زمن المكث	**T_2=15day**
غزارة الحوض	**$Q=V/T=0.65/15=0.043m^3/d$**
التحميل الهيدروليكي السطحي	**$q=Q/A=0.043/1=0.043\ m^3/m^2.d$**
أبعاد الحوض الثاني	**(1*1*0,25) m**
حجم الحوض	**$0.25m^3$**
بفرض زمن المكث	**T_1=7day**
غزارة الحوض	**$Q=V/T=0.25/7=0.036m^3/d$**
التحميل الهيدروليكي السطحي	**$q=Q/A=0.036/1=0.036m^3/m^2.d$**
أبعاد الحوض الثاني	**(1*1*0,25) m**

حجم الحوض	**$0.25m^3$**
بفرض زمن المكث	**T_2=15day**
غزارة الحوض	**$Q=V/T=0.25/15=0.016m^3/d$**
التحميل الهيدروليكي السطحي	**$q=Q/A=0.016/1=0.016\ m^3/m^2.d$**
كفاءة إزالة الكادميوم E%	**[(قيمة الكادميوم عند المدخل – قيمة الكادميوم عند المخرج)/قيمة الكادميوم عند المدخل]*100**

عامل التراكم الحيوي BF(Bioaccumulation Factor) لنباتات المزروعة عامل التراكم الحيوي = تركيز العنصر في أنسجة النباتية (الأوراق)/تركيز العنصر في المياه المزروعة فيها

يبين الجدول(2) العوامل التصميمية للأحواض عند زمن مكث T_1=7day

الجدول(2) العوامل التصميمية للأحواض عند زمن مكث T_1=7day

رقم الحوض	حجم الماء m^3	الغزارة الداخلة للحوض m^3/d	زمن المكث day	التحميل الهيدروليكي السطحي $m^3/m^2.d$	جرعة البدار من نبات عدس الماء gr
1	0.65	0.093	7	0.093	500
2	0.25	0.036	7	0.036	500

يبين الجدول(3) العوامل التصميمية للأحواض عند زمن مكث T_1=15day

الجدول(3) العوامل التصميمية للأحواض عند زمن مكث T_2=15day

رقم الحوض	حجم الماء m^3	الغزارة الداخلة للحوض m^3/d	زمن المكث day	التحميل الهيدروليكي السطحي $m^3/m^2.d$	جرعة البدار من نبات عدس الماء gr
1	0.65	0.043	15	0.043	500
2	0.25	0.016	15	0.016	500

5- نتائج التجارب:

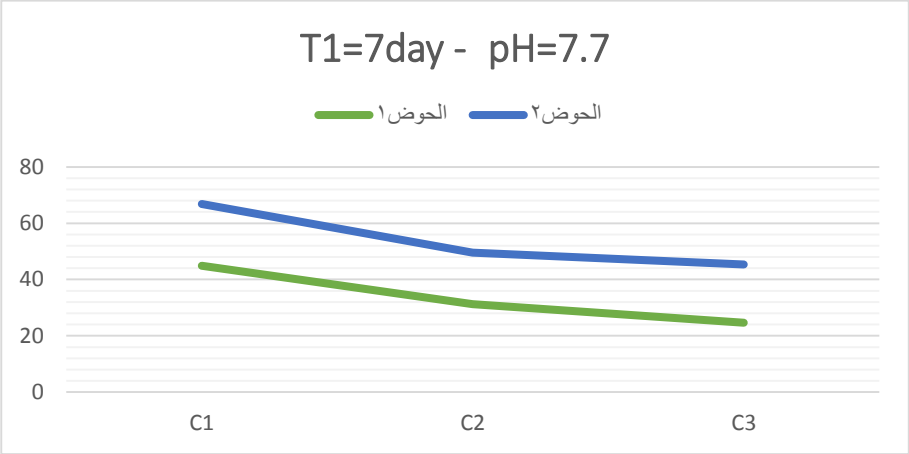
(التجربة الأولى): تمت زراعة عدس الماء في مياه ملوثة بالكادميوم بثلاث تراكيز (0.25-1.02- 2.05)mg\L وكان زمن المكث T_1=7day و pH=7.7 وتم تسميد المياه باستخدام سماد عضوي،يبين الجدول(4) نتائج تحليل المياه لعنصر الكادميوم مع زمن مكث T_1=7day و pH=7.7وكفاءة الإزالة E%.

الجدول(4) نتائج تحليل المياه لعنصر الكادميوم مع زمن مكث T_1=7day و pH=7.7 وكفاءة الإزالة E%

تاريخ زراعةالعينة	تاريخ أخذ العينة	مدخل الأحواض التجريبية	مخرج الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.093\ m^3.m^2\backslash d$)		مخرج الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.036\ m^3.m^2\backslash d$)	
		(Cd)mg\l	(Cd)mg\l	E%	(Cd)mg\l	E%
29-10-2023	5-11-2023	0.24	0.1322	44.91	0.080	66.67
			0.1321	44.91	0.078	67.5

66.25	0.081	44.91	0.1321			
66.80	–	44.91	–	–	Efficiency%	
49.60	0.514	31.26	0.7011	1.02	20-12-2023	13-12-2023
49.59	0.515	31.26	0.7012			
49.6	0.514	31.26	0.7011			
49.60	–	31.26	–	–	Efficiency%	
45.32	1.110	24.63	1.5311	2.03	6-2-2024	30-1-2024
45.27	1.111	24.63	1.5310			
45.32	1.110	24.63	1.5309			
45.29	–	24.63	–	–	Efficiency%	

يبين الشكل(6) كفاءة إزالة الكادميوم من مياه الصرف عند ثلاث تراكيز للتلوث.



الشكل(6) كفاءة إزالة الكادميوم من مياه الصرف عند ثلاث تراكيز للتلوث

يبين المخطط أن كفاءة إزالة الكادميوم من المياه تنخفض كلما زادت نسبة الكادميوم حيث بلغت أعلى قيمة لكفاءة الإزالة 44.91% عند التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.093\ m^3.m^2\backslash d$)

وبلغت كفاءة الإزالة 66.80% عند التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.036\ m^3.m^2\backslash d$) عند التركيز الأدنى.

يبين الجدول(5) نتائج تحليل النبات لعنصر الكادميوم Cd مع زمن مكث T_1=7day و pH=7.7ومعامل التراكم الحيوي BF.

الجدول(5) نتائج تحليل النبات لعنصر الكادميوم Cd مع زمن مكث T_1=7day و pH=7.7ومعامل التراكم الحيوي BF

تاريخ زراعةالعينة	تاريخ أخذ العينة	مخرج الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.093\ m^3.m^2\backslash d$)		مخرج الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.036\ m^3.m^2\backslash d$)	
		(Cd)mg\Kg	BF	(Cd)mg\Kg	BF
29-10-2023	5-11-2023	0.107	0.4	0. 149	0.62
		0.105	0.4	0.150	0.6
		0.107	0.4	0.151	0.6
Average BF		–	0.4	–	0.6
13-12-2023	20-12-2023	0.305	0.3	0.492	0.5
		0.305	0.3	0.495	0.55
		0.301	0.28	0.491	0.49
Average BF		–	0.29	–	0.53
30-1-2024	6-2-2024	0.495	0.24	0.901	0.4
		0.492	0.22	0.900	0.4
		0.491	0.22	0.898	0.4
Average BF		–	0.22	–	0.4

يبين الجدول (5) أن قيم معامل التراكم الحيوي BF لعينات النبات كانت مرتفعة، عند التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.036\ m^3.m^2\backslash d$)، وبالتالي كلما قل ارتفاع الماء في الحوض كلما زادت مقدرة النبات على مراكمة الكادميوم بشكل أفضل.

التجربة الثانية:

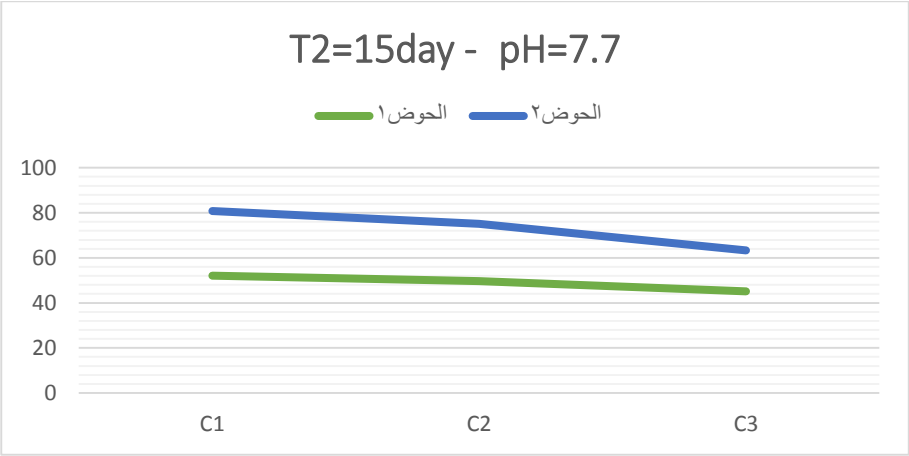
تمت زراعة عدس الماء في مياه ملوثة بالكادميوم بثلاث تراكيز (0.25−1.02−2.05) وكان زمن المكث T_2=15day و pH=7.7. يبين الجدول(6)نتائج تحليل المياه لعنصر الكادميومCd مع زمن مكث T_2=15day و pH=7.7 وكفاءة الإزالة E%.

الجدول(6)نتائج تحليل المياه لعنصر الكادميومCd مع زمن مكث T_2=15day و pH=7.7 وكفاءة الإزالة E%

تاريخ زراعة العينة	تاريخ أخذ العينة	مدخل الأحواض التجريبية	مخرج الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.043\ m^3.m^2\backslash d$)		مخرج الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.016\ m^3.m^2\backslash d$)	
		(Cd)mg\l	(Cd)mg\l	E%	(Cd)mg\l	E%
6-11-2023	20-11-2023	0.25	0.115	52.08	0.046	80.83
			0.113	52.09	0.046	80.83
			0.115	52.08	0.047	80.84
Efficiency%		–	–	52.08	–	80.83
21-12-2023	4-1-2024	1.02	0.511	49.90	0.254	75.09
			0.511	49.90	0.255	75.10
			0.516	49.44	0.252	75.29

75.16	–	49.74	–	–	Efficiency%	
63.25	0.746	45.22	1.112	2.03	21-2-2024	7-2-2024
63.34	0.744	45.12	1.114			
63.34	0.744	45.12	1.114			
63.31	–	45.15	–	–	Efficiency%	

يبين الشكل(7) كفاءة إزالة الكادميوم من مياه الصرف عند ثلاث تراكيز للتلوث عند زمن مكث T_2=15day و pH=7.7.



الشكل(7) كفاءة إزالة الكادميوم من مياه الصرف عند ثلاث تراكيز للتلوث عند زمن مكث T_2=15day و pH=7.7

نستنتج من التجربة أنه كلما قل عمق المياه كلما زادت كفاءة الإزالة، وكلما زاد زمن المكث زادت كفاءة الإزالة ،وفي جميع المعاملات المدروسة انخفضت كفاءة الإزالة مع ارتفاع قيمة التلوث في المياه.وبالتالي مع زيادة التلوث نحتاج إلى زمن مكث أكبر للوصول إلى الكفاءة المطلوبة.باستثناء الحالة الأولى عند التلوث (0.25ppm(cd)) كان الزمن مثالي للوصول إلى الحدود المسموحة حسب المواصفة القياسية السورية. يبين الجدول(7) نتائج تحليل النبات لعنصر الكادميوم Cd مع زمن مكث T_2=15day و pH=7.7 ومعامل التراكم الحيوي BF.

الجدول(7) نتائج تحليل النبات لعنصر الكادميومCd مع زمن مكث T_2=15day و pH=7.7 ومعامل التراكم الحيوي BF

تاريخ زراعة العينة	تاريخ أخذ العينة	الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.043\ m^3.m^2\backslash d$)		الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.016\ m^3.m^2\backslash d$)	
		(Cd)mg\Kg	BF	(Cd)mg\Kg	BF
6-11-2023	20-11-2023	0.134	0.5	0.202	0.8
		0.132	0.5	0.199	0.79
		0.130	0.5	0.197	0.78
Average BF		-	0.5	-	0.9
21-12-2023	4-1-2024	0.506	0.5	0.763	0.75
		0.508	0.52	0.761	0.73
		0.505	0.5	0.766	0.76
Average BF		-	0.5	-	0.74
7-2-2024	21-2-2024	0.915	0.45	1.283	0.6
		0.910	0.44	1.281	0.6
		0.912	0.44	1.284	0.6
Average BF		-	0.44	-	0.6

بين الجدول(7) أن قيم معامل التراكم الحيوي للنبات في التجربة 2 عند التلوث 0.25ppm وارتفاع المياه بمقدار 25cm كانت قريبة من الواحد بالتالي فإن النبات كان مراكماً جيداً للكادميوم.

التجربة الثالثة:

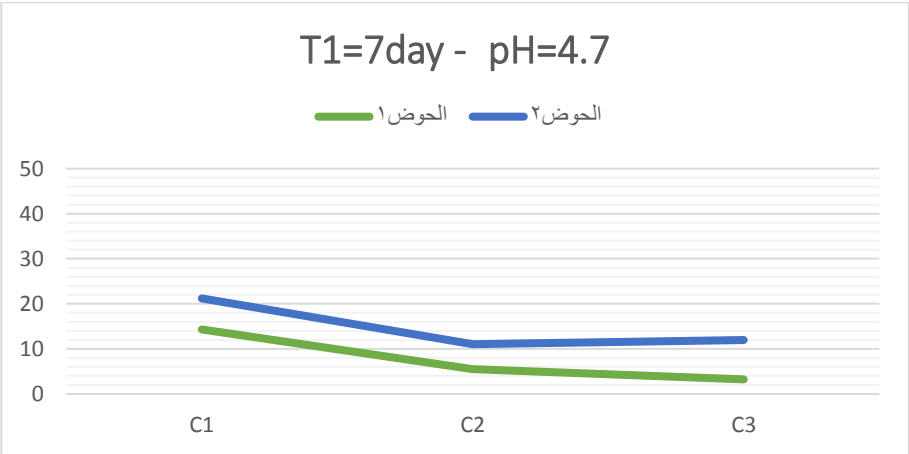
تمت زراعة عدس الماء في مياه ملوثة بالكادميوم بثلاث تراكيز (2.04-1.01-0.22) وكان زمن المكث زمن مكث T_1=7day و pH=4.7.

يبين الجدول(8) نتائج تحليل المياه لعنصر الكادميوم Cd مع زمن مكث T_1=7day و pH=4.7 وكفاءة الإزالة E%.

الجدول(8) نتائج تحليل المياه لعنصر الكادميوم Cd مع زمن مكث T_1=7day و pH=4.7 وكفاءة الإزالة E%

تاريخ زراعة العينة	تاريخ أخذ العينة	مدخل الأحواض التجريبية	مخرج الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.093\ m^3.m^2\backslash d$)		مخرج الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.036\ m^3.m^2\backslash d$)	
		(Cd)mg\l	(Cd)mg\l	E%	(Cd)mg\l	E%
21-11-2023	28-11-2023	0.22	0.189	14.09	0.175	20.45
			0.188	14.54	0.173	21.36
			0.189	14.09	0.172	21.81
Efficiency%		-	-	14.31	-	21.21
7-1-2024	14-1-2024	1.01	0.956	5.30	0.900	10.89
			0.953	5.64	0.894	11.48
			0.955	5.44	0.901	10.79
Efficiency%		-	-	5.46	-	11.05
21-2-2024	29-2-2024	2.04	1.977	3.08	1.799	11.81
			1.973	3.28	1.797	11.91

12.05	1.794	3.18	1.975			
11.92	–	3.18	–	–	Efficiency%	



الشكل(8) كفاءة إزالة الكادميوم من مياه الصرف عند ثلاث تراكيز للتلوث زمن مكث T_1=7day و pH=4.7

تبين النتائج انخفاض كفاءة إزالة الكادميوم من المياه،حيث بدأت النبات بتماوت في الوسط الحمضي بعد 6 أيام، وكان ذلك أكثر قوة في الحوض الثاني ذو الارتفاع 25cm حيث ماتت النباتات بشكل كامل،على الرغم من أن الدراسات المرجعية تشير إمكانية نبات عدس الماء قادر على النمو في الوسط الحمضي.

يبين الجدول(9) نتائج تحليل النبات لعنصر الكادميوم Cd مع زمن مكث T_1=7day و pH=4.7 و معامل التراكم الحيوي BF.

الجدول(9)نتائج تحليل النبات لعنصر الكادميوم Cd مع زمن مكث T_1=7day و pH=4.7 و معامل التراكم الحيوي BF

تاريخ زراعة العينة	تاريخ أخذ العينة	الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.093\ m^3.m^2\backslash d$)		الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.036\ m^3.m^2\backslash d$)	
		(Cd)mg\Kg	BF	(Cd)mg\Kg	BF
21-11-2023	28-11-2023	0.030	0.13	0.043	0.2
		0.031	0.13	0.040	0.18
		0.033	0.15	0.041	0.18
Average BF		-	0.14	-	0.19
7-1-2024	14-1-2024	0.054	0.05	0.106	0.1
		0.051	0.05	0.103	0.1
		0.050	0.05	0.104	0.1
Average BF		-	0.05	-	0.1
21-2-2024	29-2-2024	0.063	0.03	0.242	0.1
		0.061	0.03	0.241	0.1
		0.060	0.03	0.241	0.1
Average BF		-	0.03	-	0.1

قيم معامل التراكم الحيوي كانت في التجربة 3 قليلة جدا وبالتالي،النبات غير قادر على مراكمة المعدن و النمو في الوسط الحمضي.

التجربة الرابعة:

تمت زراعة عدس الماء في مياه ملوثة بالكادميوم بثلاث تراكيز (0.22−1.02−2.01) وكان زمن المكث زمن مكث T_2=15day و pH=4.7.

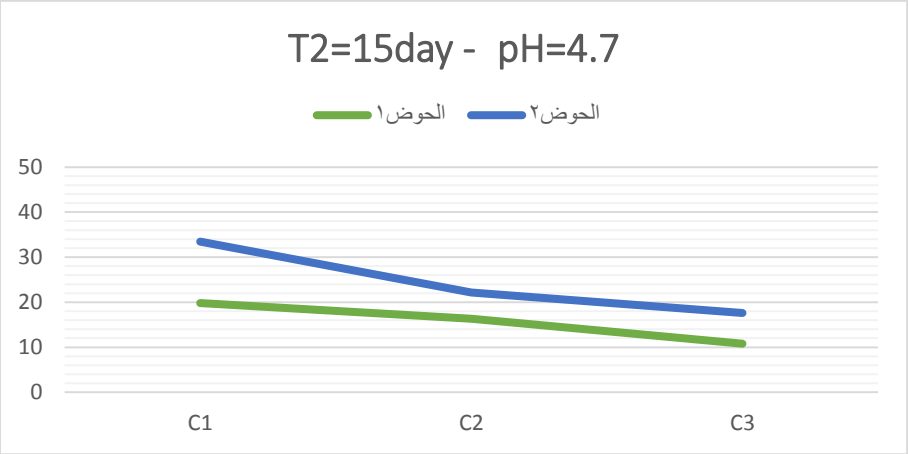
يبين الجدول(10) نتائج تحليل المياه لعنصر الكادميوم Cd مع زمن مكث T_2=15day و pH=4.7 وكفاءة الإزالة E%.

الجدول(10) نتائج تحليل المياه لعنصر الكادميوم Cd مع زمن مكث T_2=15day و pH=4.7 وكفاءة الإزالة E%

تاريخ زراعة العينة	تاريخ أخذ العينة	مدخل الأحواض التجريبية	مخرج الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.043\ m^3.m^2\backslash d$)		مخرج الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.016\ m^3.m^2\backslash d$)	
		(Cd)mg\l	(Cd)mg\l	E%	(Cd)mg\l	E%
29-11-2023	12-12-2023	0. 22	0. 174	20.90	0. 148	32.72
			0.177	19.54	0.144	34.54
			0.178	19.90	0.147	33.18
Efficiency%		−	−	19.84	−	33.48
15-1-2024	29-1-2024	1.02	0.855	16.17	0.794	22.15
			0.854	16.27	0.793	22.25
			0.852	16.47	0.795	22.05
Efficiency%		−	−	16.30	−	22.15
3-3-2024	17-3-2024	2.01	1.794	10.95	1.654	17.71
			1.799	10.49	1.655	17.66
			1.791	10.89	1.658	17.51

Efficiency%	–	–	10.77	–	17.62

يبين المخطط(4) كفاءة إزالة الكادميوم من مياه الصرف عند ثلاث تراكيز للتلوث زمن مكث T_2=15day و pH=4.7.



الشكل(9) كفاءة إزالة الكادميوم من مياه الصرف عند ثلاث تراكيز للتلوث زمن مكث T_2=15day و pH=4.7

تبين النتائج أن قيمة كفاءة الإزالة في التجربة الرابعة كانت أعلى من التجربة الثالثة بسبب زيادة مدة المكث مع استمرار الحصاد كل يومين،لكنها في أفضل الحالات لم تتجاوز33.5%. يبين الجدول(11) نتائج تحليل النبات من الكادميوم Cd مع زمن مكث T_2=15day و pH=4.7 وكفاءة الإزالة E%.

الجدول(11) نتائج تحليل النبات من الكادميوم Cd مع زمن مكث T_2=15day و pH=4.7 وكفاءة الإزالة E%

تاريخ زراعة العينة	تاريخ أخذ العينة	الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.043\ m^3.m^2\backslash d$)	الحوض ذو التحميل الهيدروليكي السطحي ($0.016\ m^3.m^2\backslash d$)

BF	(Cd)mg\Kg	BF	(Cd)mg\Kg		
0.3	0.07	0.2	0.042	12-12-2023	29-11-2023
0.3	0.08	0.2	0.42		
0.3	0.07	0.2	0.43		
0.3	-	0.2	-	Average BF	
0.22	0.224	0.16	0.166	29-1-2024	15-1-2024
0.22	0.224	0.16	0.164		
0.22	0.227	0.16	0.168		
0.22	-	0.16	-	Average BF	
0.1	0.220	0.09	0.200	17-3-2024	3-3-2024
0.1	0.222	0.1	0.205		
0.1	0.225	0.1	0.201		
0.1	-	0.1	-	Average BF	

قيم معامل التراكم الحيوي قليلة جدا وبعيدة عن الواحد،بالتالي كان نبات عدس الماء،ليس مراكماً جيداً في الوسط الحمضي.

6-النتائج و مناقشتها:

بينت نتائج قياس كفاءة إزالة الكادميوم من المياه مايلي :

1- حقق النبات نسبة إزالة للكادميوم 80.84% عند العمق 25cm ، مع زمن مكث T=15day عند تحميل هيدروليكي $0.016m^3/m^2.d$.

2- كان نبات عدس الماء مراكم جيد للكادميوم،مع زمن مكث مناسب حيث وصلت قيمة معامل التراكم الحيوي إلى قيم قريبة من الواحد عند العمق 25cm ، مع زمن مكث T=15day عند تحميل هيدروليكي $0.016m^3/m^2.d$.

3- كفاءة إزالة الكادميوم من المياه عند pH =7.7 كانت أعلى من المياه ذات pH =4.7.

7-الاستنتاجات والمقترحات:

- يمكن استخدام نبات عدس الماء في معالجة مياه صرف الصحية والصناعية في محطة المنطقة الصناعية في حسياء-حمص،حيث كانت النباتات قادرة على استخلاص الكادميوم وايصال تركيزه إلى الحدود المسموحة حسب المواصفات القياسية السورية.

- في حال زيادة تركيز الكادميوم ضمن مياه صرف الصناعي في حسياء يجب المشاركة مع طرق آخرى للوصول للحدود المطلوبة حسب المواصفة.

-عدم كفاية نبات عدس الماء لإزالة الكادميوم من الماء عند تلوث أعلى من 0.25mg\L، لزيادة مردود الاستخلاص لابد من زيادة زمن مكث الماء لمدة أكثر من 15 يوم.

- ممكن تحقيق مردود إزالة مثالي و موافق للمواصفة السورية لمياه الصرف الصحي لأحواض ذات زمن مكث 15 يوم و عمق 25cm.

المراجع:

[1] الجمهورية العربية السورية، وزارة الصناعة، هيئة المواصفات والمقاييس العربية السورية، مياه الصرف الصحي المعالجة للبيئة المائية (2580) 2008.

[2] الجمهورية العربية السورية، وزارة الصناعة، هيئةالمواصفات والمقاييس العربية السورية، للمخلفات السائلة الصناعية، المسموح بطرحها إلى البيئة المائية (3474)2009.

[3] ديمة العقدة ، المعالجة الثالثية لمياه الصرف الصحي باستخدام نبت عدس الماء في محطة الجنديرية نموذجا– مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم البيولوجية المجلد 38، العدد(3)2016.

[4] Qin G, Niu Z, Yu J, Li Z, Ma J, Xiang P. Soil heavy metal pollution and food safety in China: Effects, sources and removing technology. Chemosphere. 2021; 267: 129205.

[5] Taleb R, Qasim B. Potassium Hydroxide Activated Peanut Shell as an Effective Adsorbent for the Removal of Zinc, Lead and Cadmium from Wastewater. J Ecol Eng. 2023; 24(1): 66–78.

[6] Khoshgoftarmanesh AH, Afyuni M, Norouzi M, Ghiasi S, Schulin R. Fractionation and bioavailability of zinc (Zn) in the rhizosphere of two wheat cultivars with different Zn deficiency tolerance. Geoderma. 2018; 309: 1–6.

[7] Khan AM, Nawaz I, Yousaf S, Ammar Sabir Cheema, Iqbal M. Soil amendments enhanced the growth of Nicotiana alata L. and Petunia hydrida L. by stabilizing heavy metals from wastewater. J Environ Manage. 2019; 242: 46–55.

[8] Taleb R, Qasim B. Adsorptive Removal of Potentially Toxic Elements from Wastewater Using Peanut Shells Biochar. IOP Conf Ser.: Earth Environ Sci. 2023; 1158(3): 032012.

[9] Ehsan Bnayyan Rasha. Abood Abood.Janet Mosaddak: Effect of Hydraulic Loading Rates Changes on Phosphorous Removal Efficiency

from Water by Using Duck Weed. Damascus University Journal of Engineering Sciences. 2021 ; 37(2) (97-103).

[10] Ibrahim, M. Samaher, Study of the forms and kinetics of some heavy metals in the (soil-plant) system when added at different levels. PhD thesis 2014. Faculty of Agriculture, Al-Baath University.

[11] Giuseppe Genchi, Maria Stefania Sinicropi, Graziantonio Lauria, Alessia Carocci, and Alessia Catalano. The Effects of Cadmium Toxicity.2020 17(11): 3782.

[12] Xiao, D. Li, H. Wang, Y. Wen, G.Wang, C. Distribution Characteristics of Typical Heavy Metals in Sludge from Wastewater Plants in Jiangsu Province (China) and Their Potential Risks. Water. 2023, (15) 313.

[13] A.Mojeed , O.Abiodun , O.Omobola : Heavy Metals in Wastewater and Sewage Sludge from Selected Municipal Treatment Plants in Eastern Cape Province, South Africa: Water .October 2020. 12(2746):2746.

[14] B. Dagne Bekele : Determination of Heavy Metals in Wastewater and Their Toxicological Implications around Eastern Industrial Zone, Central Ethiopia: Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology 12(2):72-79- November (2020).

[15] F. A. Tavares, F. Rubens L. R. Roubach, M. K. Jungles, D. M. Fracalossi, A .M Moraes .Use of Domestic effluent through duckweeds and red tilapia farming in integrated system. Pan-American Journal of Aquatic Sciences (2010): 5(1): 1-10.

[16] D. Al-Aqdah, Third Record of Sewerage Water Using Water Ltan Tabat at Al-Jundiriya Station as a model- Tishreen University Journal for

Research and Scientific Studies _ The Biological Science Series(2016) Volume, 38 Issue (3)

[17] Bashar Qasim . Simultaneous Determination of Lead and cadmium in Environmental Samples Using Zinc-diethyldithiocarbamates. Baghdad Science Journal(2024): 21(01): 3150 -3157 .

[18] Ahmed. Hashem, Taha. Nidal. Qasim. Thaer: Study of the nutritional value and heavy metals of Duck weed and its productivity in natural conditions throughout the seasons on different water bodies in the city of Baghdad. Al-Rafidain Agriculture Journal. (2010) Volume (38) Issue (2).

دراسة تجريبية وتحليلية لتأثير الركام المعاد تدويره على سلوك العقد البيتونية المسلحة

د.م.سليمان العامودي[1] د.م.تراث غريب[2] م.حنان علي المحسن[3]

ملخص:

يقدم هذا البحث دراسة تجريبية وتحليلية لسلوك العقد البيتونية المسلحة الطرفية والمنفذة بركام معاد تدويره بحيث تم اعتماد نسب الاستبدال التالية (75%-25%-0%) . تم اختبار 6 عقد من كل نسبة استبدال عقدتين وتمت متابعة توزع الشقوق وآلية الانهيار للعقد البيتونية المدروسة ومقارنة النتائج التحليلية مع مثيلاتها تجريبياً للوصول الى نموذج مقارب للعقدة المدروسة. أظهرت النتائج انخفاضاً في قيمة الحمولة العظمى التي تتحملها العقد المنفذة بالركام RAC مقارنة بالمرجعية المنفذة من حصويات طبيعية NAC, حيث لم تتجاوز نسبة انخفاض الحمولة الأعظمية المطبقة (12.16%) من أجل نسبة استبدال 75%. ولوحظ عدم حدوث تشقق في منطقة العقدة مقابل تشكل عدة شقوق على السطح العلوي للجائز وذلك في جميع العينات ثم حدوث الانهيار نتيجة توسع الشق الرئيسي عند بداية اتصال الجائز مع العمود. كما أظهرت النتائج التحليلية تقاربا" مع مثيلتها التجريبية. تراوحت نسبة الفرق في الحمولة الاعظمية التجريبية والتحليلية بين(2.5%-5 %) للعقد ذات نسب الاستبدال(75%-25%)على التتالي مقارنة بالعقدة المرجعية. أظهرت النتائج إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في العناصر الإنشائية وفي العقد البيتونية المسلحة على وجه الخصوص وكانت النسبة 25% هي الأقرب للعقدة المرجعية من ناحية الحمولة القصوى والسهوم وآلية التشقق.

كلمات مفتاحية: ركام معاد تدويره، عقد بيتونية مسلحة، نسب الاستبدال.

1أستاذ مساعد في قسم الهندسة الانشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة حمص-حمص-سوريا.

2 مدرّس في قسم الهندسة الانشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة حمص-حمص-سوريا.

3 طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الانشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة حمص-حمص-سوريا.

An Experimental and Analytical Study on the Effect of Recycled Aggregate on the Behavior of Reinforced Concrete Joints

Abstract:

This research presents an experimental and analytical study on the behavior of reinforced concrete (RC) edg joints constructed using recycled aggregate concrete (RAC), with the following replacement ratios: 0% - 25% - 75%.. Six joints were tested in total,two joints for each replacement ratio. The crack distribution and failure mechanism of the studied concrete joints were monitored, and the analytical results were compared with their experimental counterparts to develop a model that closely represents the studied joint. The results showed a decrease in the ultimate load capacity of joints constructed with recycled aggregate concrete (RAC) compared to the reference joints made with natural aggregate concrete (NAC). The decrease in the applied ultimate load did not exceed 12.16% for the 75% replacement ratio. It was observed that no cracking occurred in the joint region, while multiple cracks formed on the upper surface of the beam in all specimens then, failure occurred due to the expansion of the main crack at the interface between the beam and the column. The analytical results showed a close agreement with the experimental results. The difference between the experimental and analytical ultimate load capacity was ranging from 5 % to 2.5% for joints with 25% and 75% replacement ratios, respectively, compared to the reference joint. The results demonstrated the feasibility of using recycled aggregate in structural elements, particularly in reinforced concrete joints. A ratio of 25% was found to be the closest to the reference joint in terms of maximum load capacity, deflections, and crack propagation mechanism.

Key words: Recycled aggregate, RC Joint, replacement ratio.

1-مقدمة:

يعتبر تراكم مخلفات البناء من أكبر التحديات التي تواجه البيئة حيث أدت الظروف والحروب التي توالت على أرض سوريا إلى هدم العديد من المباني وتصدع بعضها الذي جعلها خارج الخدمة ومن هنا جاءت أهمية البحث في محاولة لإعادة تدوير هذه الأنقاض والاستفادة منها بما يخدم البيئة والمجتمع وعلى الرغم من أن الأبحاث في هذا المجال قد بدأت منذ 50 عام تقريباً إلا أن استخدامه انشائياً اقتصر على الطرقات فقط ولذلك كان لابد من تكثيف الأبحاث بهذا الخصوص والاستفادة من الركام الموجود ولاحظنا قلة الأبحاث التي تخص العقد البيتونية المسلحة وإمكانية استخدام الركام فيها .

قام الباحثون [Jia-Li,Bing-Kang,Jun-Wei,2017] بدراسة ثلاث عينات لعقد داخلية من البيتون ذي الركام المعاد تدويره بما فيهم عينتان من الركام المعاد تدويره المعدل (مع استبدال الرماد المتطاير بنسبة 15%). أشارت نتائج الاختبار إلى أن القضيب الفولاذي الطولي في عقدة الركام قادر على تأمين إجهاد ربط كافي في مرحلة التشقق الكامل وفي المرحلة النهائية وأنه يمكن للركام مع الرماد المتطاير تحسين اكتناز السطح الخارجي وقوة الترابط للركام المعاد تدويره في مرحلة التشقق الكامل. لذلك تلبية لمتطلبات التصميم يقترح الباحثون أن يكون قطر التسليح للعمود المار بالعقدة الداخلية من الإطار صغيرًا[1] .

قام الباحثان [قاسم الزحيلي، تماضر مقبل،2014] بدراسة تأثير الركام المعاد تدويره على الخلطة البيتونية بعدة نسب وتبين أن استخدام خلطة بنسبة 50% أعطت مقاومات اخفض على الضغط بنسبة 8% من مقاومة الخلطة المرجعية وأن النسبة 75% غير مجدية كثيراً فقد كانت نتائجها مقاربة للنسبة 100% وأوضحوا إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في العناصر البيتونية غير الحاملة [5].

قدم الباحثان [Muneer E K, Raveendran K,2020] مراجعة حول اتصال العمود مع الجائز مع تنفيذ العقدة بركام معاد تدويره وأوضحا أن جودة بيتون RAC تعتمد على ميزات الركام المستخدم وحالة المنشأة المهدمة و أنه يمكن استخدام دخان السيليكا لتحسين مقاومة RCA وجعله بموازاة البيتون الطبيعي وأنه يمكن تحسين جودة البيتون RCA وتشكيل المزيج المعدل من خلال (زيادة كمية الاسمنت – استخدام الملدن لتخفيض النسبة W/c) وأن إضافة التسليح في منطقة العقدة يزيد المطاوعة والقدرة على امتصاص الطاقة [2].

بعد الاطلاع على آخر الأبحاث المدروسة تبين انه يجب توجيه الاهتمام نحو دراسة الركام المعاد تدويره في العقد البيتونية المسلحة كمادة وليس من خلال تثبيت النسبة ودراسة تأثير التسليح بالإضافة الى أن العقد المدروسة في أغلب الأبحاث المنشورة غير محققة للاشتراطات المطلوبة في العقد من ناحية التسليح الرئيسي أو التطويق.

2-هدف البحث:

يهدف البحث لإجراء دراسة تجريبية وتحليلية للتحقق من إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في العقد البيتونية المسلحة تحت تأثير حمل استاتيكي من خلال استبدال الركام الطبيعي بركام معاد تدويره وفق النسب التالية %(75-25-0) ومقارنة النتائج مع العقد المرجعية المحضرة من ركام طبيعي.

3-مواد وطرائق البحث:

3-1-خصائص المواد المستخدمة:

3-1-1-الاسمنت:

تم استخدام اسمنت بورتلاندي عادي (ماركة الإسمنت32.5Mpa) وعياره 400 kg/m³.

3-1-2-الملدن:

تم في هذا البحث استخدام ملدن عالي الأداء، خافض للماء وتم تجريب عدة نسب لتحديد الكمية المناسبة مع مراعاة حدود المجال الذي تفترضه الشركة المصنعة (0.5-2.2)% وتم تجريب عدة خلطات لتحديد قابلية التشغيل من خلال تجربة الهبوط بمخروط أبرامز مع المحافظة على نسبة w/c ثابتة بقيمة 0.5، وبناءً عليه تم اعتماد النسب المبينة في الجدول(1-1).

الجدول(1-1) نسبة الملدن المعتمدة لكل نسبة استبدال

نسبة الاستبدال	0%	25%	75%
نسبة الملدن الى وزن الاسمنت%	0.5	0.5	1

3-1-3-فولاذ التسليح:

يوضح الجدول (1-2) خصائص فولاذ التسليح حد المرونة وحد الانقطاع الوسطي لثلاث عينات من فولاذ التسليح تم اختبارها بمخبر مواد البناء -كلية الهندسة المدنية -جامعة حمص الشكل (1-1).

الشكل(1-1)فولاذ التسليح المستخدم في العقد

الجدول(2-1) خصائص فولاذ التسليح

القطر (mm)	حد المرونة (MPa)	حد الانقطاع (MPa)
6	567.35	707.71
10	479.40	575.37
12	465.32	580.62
14	466.65	566.53

3-1-4-الركام الطبيعي :

تم إجراء تجربة التحليل الحبي في مخبر مواد البناء -كلية الهندسة المدنية-جامعة حمص، وقمنا بتصميم الخلطة الخرسانية وفق الطريقة التخطيطية منحني (فولبير- تومسون) لتحديد نسب الخلط وكانت النتائج كما يلي: بحص خشن 37%، بحص ناعم 23%، رمل مكسر 27%، ورمل قرواني 13% .

3-1-5-الركام المعاد تدويره:

تم انتقاء عينات بيتونية فقط (أعمدة – جوائز-بلاطات) من انقاض بعض المباني في مدينة حمص-سوريا ومن ثم نقلها إلى كسارة خاصة في منطقة الصناعة- حمص – سوريا وهناك تمت عملية التكسير ومن ثم الفرز بمخبر مواد البناء- كلية الهندسة المدنية- جامعة حمص كما موضح في الشكل (2-1).

الشكل(2-1) عملية تكسير وفرز الركام المعاد تدويره

وبعدها تمت عملية الفرز بالمناخل في المخبر دون الغسيل بالماء ومن ثم الحصول على ثلاثة أنواع من البحص وتم تسميتها حسب مقاس المنخل كما يلي:

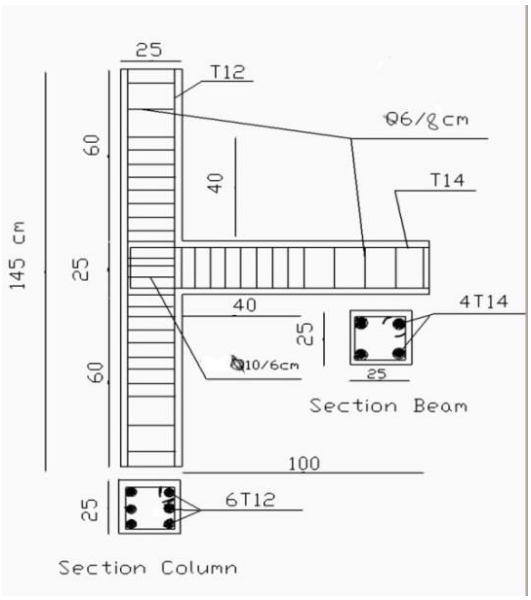
بحص خشن mm(16–25) وبحص ناعم mm(4.75–16) ورمل مكسر (زرداة) (4.75– 1.18)mm وبعد إجراء التحليل الحبي للركام المعاد تدويره تم اعتماد النسب الآتية لتصميم الخلطة :28% بحص خشن ،34% بحص ناعم، 21% رمل مكسر (زرادة)،17% رمل ناعم ويبين الجدول (1–3) الأوزان المستخدمة لكافة الخلطات.

الجدول (3–1) الأوزان المستخدمة بالكيلو غرام في المتر المكعب الواحد من البيتون

الركام	نسبة الاستبدال %		
	0%	25%	75%
بحص طبيعي خشن	722.09	541.57	180.52
بحص طبيعي ناعم	453.22	339.92	113.31
زرادة طبيعية	521.63	391.22	130.41
بحض خشن معاد تدويره	–	132.49	397.47
بحص ناعم معاد تدويره	–	160.88	482.64
زرادة معاد تدويرها	–	97.64	292.91
رمل طبيعي	234.02	252.02	288.03
اسمنت	400		
ماء	200		
نسبة الماء للإسمنت	0.5		

3-1-6-العينات المختبرة :

تم تحضير وصب 6 عقد بيتونية مسلحة طرفية متشابهة بنفس نسبة التسليح والابعاد كما هو موضح في الشكل(3-1) ،الشكل(4-1) مع تغيير نسب الاستبدال حيث تم استخدام النسب التالية (0,25,75) % وكذلك 3 عينات بيتونية اسطوانية من كل نسبة، كما تم تحقيق العقد وفق الكود العربي السوري والتأكد من تحقيقها لكافة الاشتراطات وتم الكسر بعمر 272 يوماً.



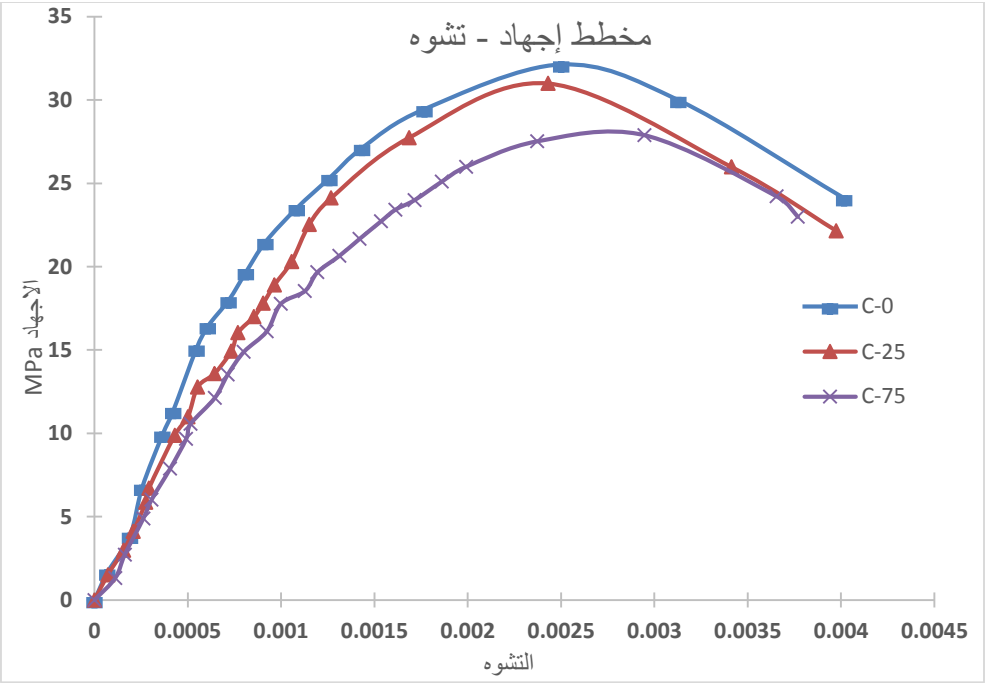
الشكل(3-1) أبعاد وتسليح العينات المختبرة

الشكل(4-1) صب العينات المدروسة

3-2-اختبار العينات البيتونية الاسطوانية:

تم كسر ثلاث عينات بعمر 272 يوم من كل نسبة لتحديد المقاومة على الضغط باستخدام جهاز الكسر الهيدروليكي الموجود في مخبر البيتون المسلح في كلية الهندسة المدنية بجامعة حمص والذي تبلغ حمولته القصوى 3000KNالشكل (5-1) وتم في النهاية رسم مخطط الاجهاد التشوه الموضح في الشكل (6-1).

الشكل (5-1) العينات الاسطوانية المختبرة



الشكل (6–1) مخطط الاجهاد – التشوه للعينات الاسطوانية بتغير نسبة الاستبدال

تم ايجاد القيم الوسطية للمقاومة الاسطوانية على الضغط بعمر 272 يوم وتم حساب معامل المرونة كما هو موضح في الجدول(4–1).

الجدول(4–1) المقاومة الاسطوانية ومعامل المرونة للعينات البيتونية المدروسة

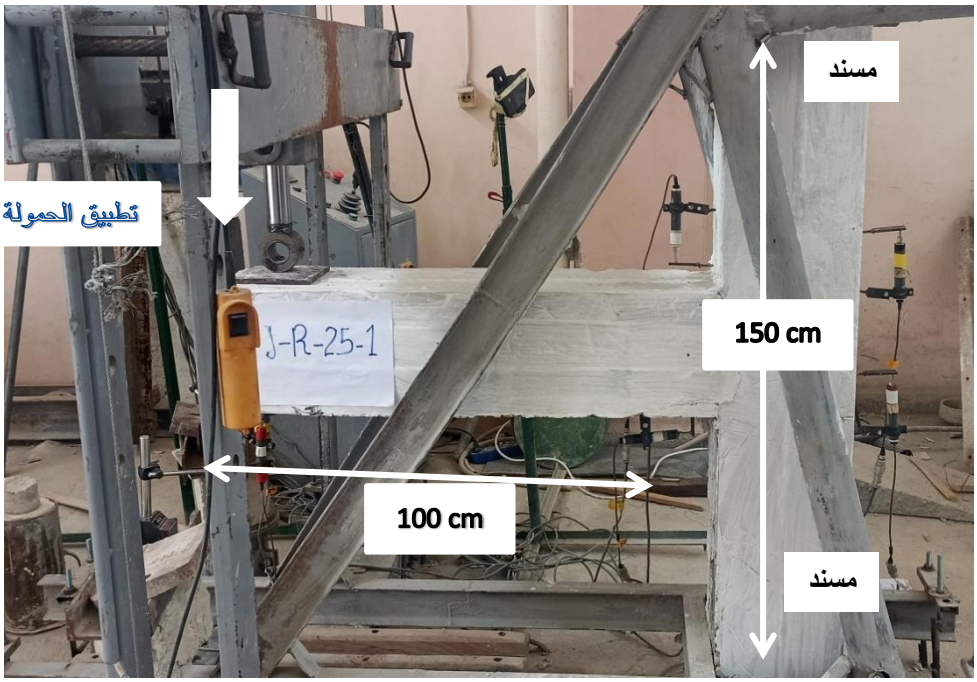
نسبة الاستبدال	f'_c MPa	معامل المرونة E (MPa)
0%	32.13	25680
25%	30.99	23086
75%	27.89	20860

نلاحظ مما سبق أن المقاومة المميزة الاسطوانية بعمر 272 يوم تنخفض مع زيادة نسبة الركام المعاد تدويره وكانت نسبة الانخفاض على التتالي (3.54%–13.19%) وفقا لنسب الاستبدال

مقارنة بالمقاومة الاسطوانية لعينات الركام الطبيعي كما نلاحظ انخفاض معامل المرونة وفق النسب التالية (10.10%-18.78%)على التتالي.

3-3-الدراسة التجريبية على العقد البيتونية المسلحة:

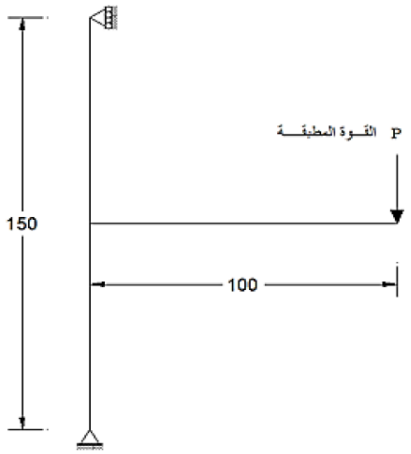
تم اجراء اختبارات التحميل لنماذج العقدة البيتونية المسلحة المدروسة من خلال هيكل معدني يتم تثبيته على جهاز كسر القساطل البيتونية الموجود في مخبر البيتون المسلح في كلية الهندسة المدنية – جامعة حمص الشكل (7-1).



الشكل(7-1)جهاز كسر القساطل مع الهيكل المعدني المثبت

3-3-1-طريقة استناد النماذج التجريبية وردود الأفعال عند المساند:

يعيق تصميم الهيكل المعدني المثبت على جهاز كسر القساطل الحركة في الاتجاه الشاقولي والاتجاه الأفقي في المستوي الشاقولي الذي تحدده الحمولة الشاقولية المطبقة عند نهاية الجائز مع ضمان استقرار النموذج التجريبي عند اجراء تجارب التحميل الشكل(8-1)[6].



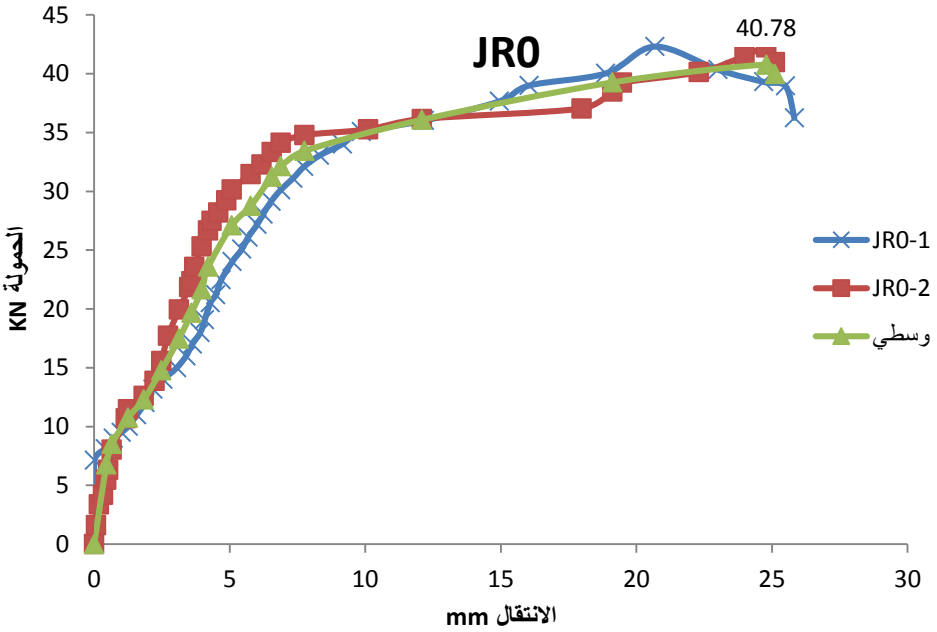
الشكل(8-1)استناد العقدة ضمن الهيكل المعدني

4-النتائج ومناقشتها:

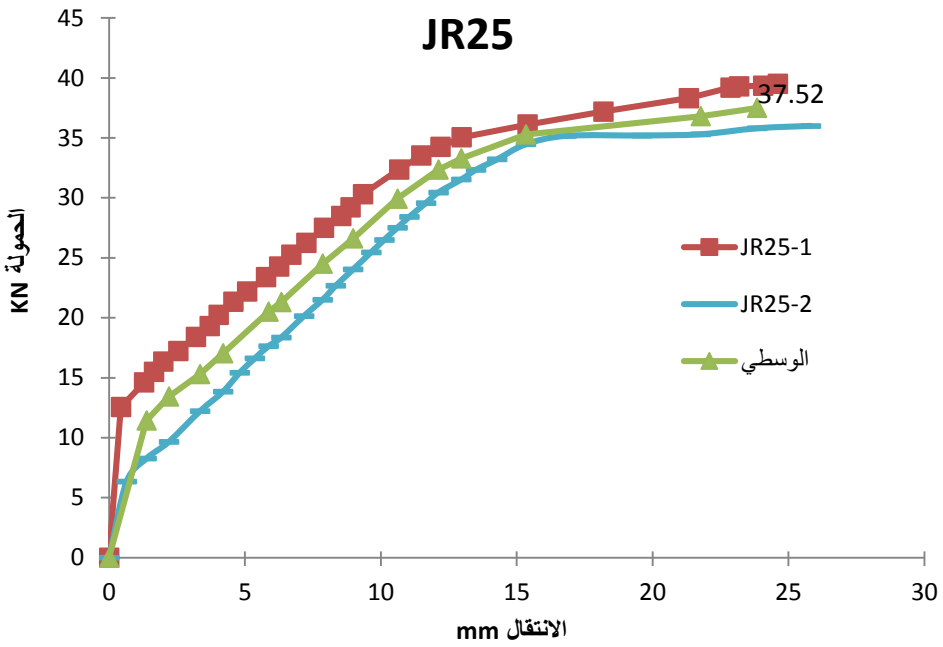
4-1-الدراسة التجريبية:

تم اختبار العقد المنفذة بالركام RAC باستخدام جهاز كسر القساطل البيتونية الموجود في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية بجامعة حمص، وقمنا بتسجيل الانتقال الشاقولي في نهاية الجائز وذلك باستخدام أجهزة LVDT الموصولة إلى جهاز تسجيل البيانات، بالإضافة إلى ملاحظة انتشار الشقوق والحمولات الموافقة لها والحمولة الموافقة لحدوث الشق الأول لجميع النماذج.

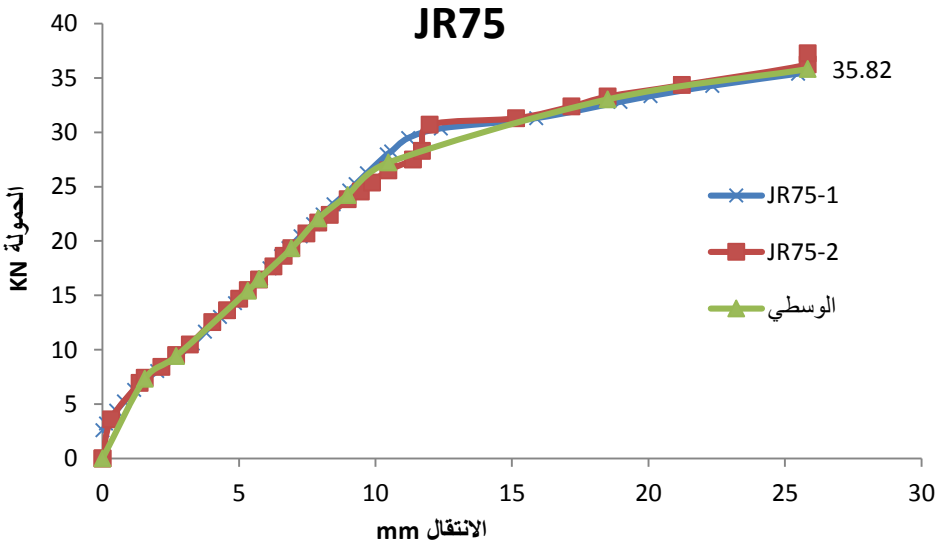
تم رسم مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال الشاقولي في طرف الجائز (تحت الحمولة)للنماذج التجريبية للعقد باختلاف نسبة الاستبدال ، والمتوسط لكل عينتين من نفس النموذج كما في الاشكال (1-9)،(1-10)، (1-11).



الشكل(9-1) مخطط الحمولة – الانتقال للعينة JR0

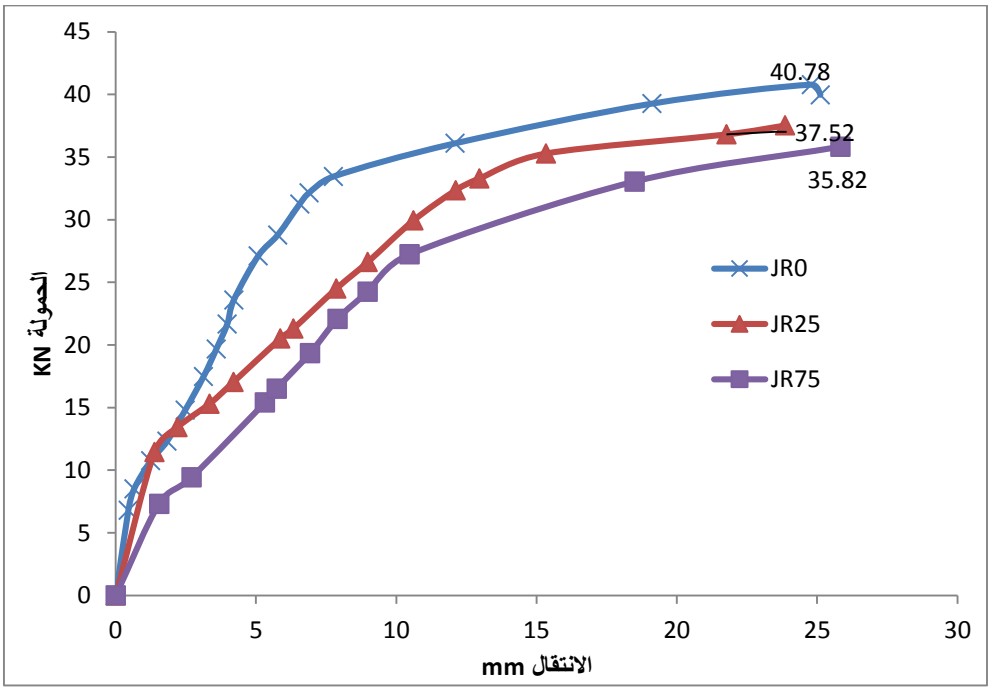


الشكل(10-1) مخطط الحمولة – الانتقال للعينة JR25



الشكل(11-1) مخطط الحمولة – الانتقال للعينة JR75

قمنا بتجميع النتائج الوسطية للعقد باختلاف نسبة الاستبدال كما في الشكل (12-1)، وتم المقارنة بينها من حيث قيمة الحمولة الأعظميةPmax والحمولة الاستثمارية Pser والسهم الموافق لهاΔser.



الشكل(12-1) مخطط الحمولة – الانتقال للعقد JR0-JR25-JR75

يبين الجدول(5-1) انخفاض قيمة الحمولة العظمىPmax بنسبة %(7.99-12.16) لنسبتي الاستبدال %(25-75) على التتالي مقارنة بالحمولة العظمى التي تتحملها العقدة المرجعية.

الجدول(5-1) النتائج التجريبية للعقد باختلاف نسبة الاستبدال

العينة	Pser(KN)	Pmax(KN)	Δser (mm)
JR0	26.51	40.78	4.43
JR25		37.52	8.97
JR75		35.82	9.58

بمقارنة السهم عند الحمولة الاستثمارية مع السهم المسموح في الكود العربي السوري [6] والمقدر ب $\frac{L}{180} = 5.55mm$ نجد أن السهم للعينة المرجعية محقق بينما في العينتين JR25,JR75 زادت قيمة السهم تقريباً بنسبة 102%,116% على التتالي مقارنة بسهم العقدة المرجعية.

4-1-1-عزم التشقق:

قمنا بحساب العزم عند بداية تشكل الشقوق في منطقة الانعطاف وفق الكود العربي السوري [6] من العلاقة التالية:

$$M_{cr} = \frac{\sigma bt_{Mcr} * I_g}{y_t}$$

$$\sigma bt_{Mcr} = f_{cb} = 0.74\sqrt{f_c'}$$

كذلك وفق الكود ACI [4] وذلك من العلاقة:

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_g}{y_t}$$

$f_r = 0.75\sqrt{f_c'}$ وفق الكود الهندي لمسبق الاجهاد[3] :

تجريبي Mcr KN.m	Mcr						نسبة الاستبدال %
	%			KN.m			
	IS		ACI		السوري		
11.5	10.1%	**10.33**	3.7%	**11.07**	5%	10.92	**0%**
10	1.4%	**10.15**	8.7%	**10.87**	7.2%	10.72	**25%**
9.5	1.3%	**9.63**	8.5%	**10.31**	7.1%	10.17	**75%**

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

$$f_{cr} = 0.7\sqrt{f_c'}$$

الجدول(6-1) مقارنة عزم التشقق التجريبي مع عدة كودات

وفي النهاية تم مقارنة النتائج مع عزم التشقق التجريبي و نلاحظ من خلال الجدول (6-1) أن علاقات الكود الهندي لمسبق الاجهاد كانت الأقرب لعزم التشقق في العقد المنفذة بركام معاد تدويره حيث كان الفرق بين العزم التجريبي والعزم الناتج من علاقات الكود الهندي (1.4- 1.33)% للعقد المنفذة بنسبة استبدال (25-75)% على التتالي.

4-1-2-قدرة تحمل العقد البيتونية المسلحة:

قمنا بحساب أعظم عزم يمكن أن تتحمله العقدة وهو يساوي القوة الأعظمية حيث أن ذراع القوة 1m .تم حساب العزم MR لكافة نسب الاستبدال وذلك وفق العلاقات[6]:

$$M_R = R_b * b * d^2 * K_{MR}$$

$$K_{MR} = \frac{R_s}{R_b} = \frac{\varsigma_b * \varsigma * f_y}{\varsigma_b * \varsigma * 0.85 * f_c'}$$

الجدول (7-1) العزم الاعظمي النظري والتجريبي

نسب الاستبدال %	MR (KN.m)	MR تجريبي	نسبة الفرق %
0%	35	40.78	14%
25%	34	37.52	6.7%
75%	33	35.82	2.3%

يوضح الجدول (7-1) قيم العزوم الناتجة والفرق بين القيم النظرية والتجريبية حيث لم يتجاوز أكبر فرق قيمة 14% وأعطت العلاقة النظرية قيمة أقل من قيم التجارب .

4-2-الدارسة التحليلية:

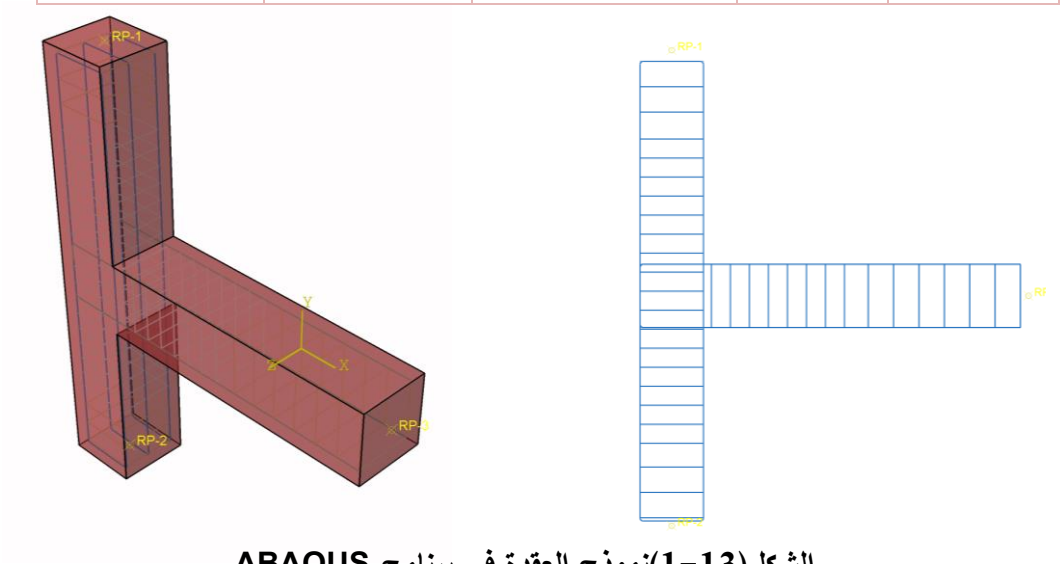
تم اجراء النمذجة العددية باستخدام برنامج ABAQUS الذي يعتمد على طريقة العناصر المحدودة في التحليل، من أجل محاكاة العقدة المدروسة تم استخدام العنصر المكعبي C3D8R لتمثيل العقدة البيتونية المسلحة حيث يتألف هذا العنصر من ثمان عقد وثلاث درجات حرية لكل عقدة بينما تم

تمثيل القضبان الفولاذية من خلال العنصر T3D2وهو مؤلف من عقدتين بثلاث درجات حرية لكل عقدة ويوضح الشكل (13-1) نموذج العقدة المدروس.

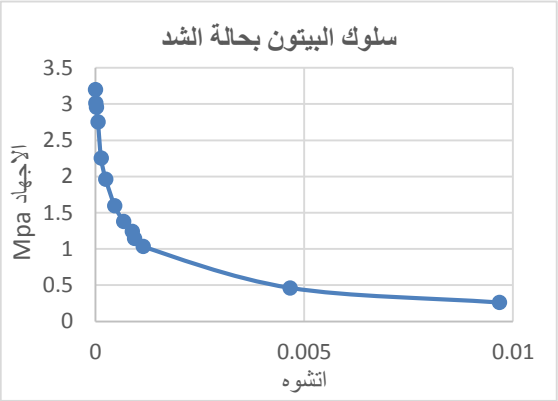
تم تمثيل مادة البيتون المسلح من خلال معاملات Concrete Damage Plasticity حيث تم اعتماد المعاملات المبينة في الجدول(8-1) ويوضح الشكل(14-1)سلوك مادة البيتون تحت تأثير الضغط والشد المحوري.

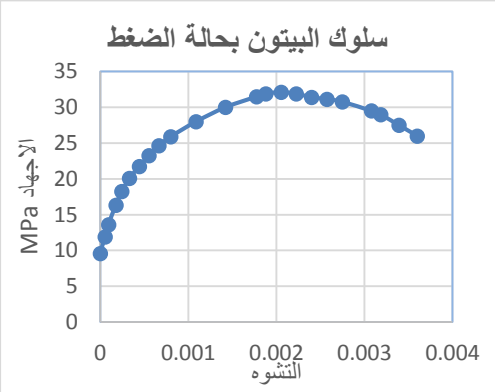
الجدول(8-1) معاملات CDP المدخلة لبرنامج ABAQUS

زاوية الاحتكاك Dilation Angel	اللامركزية Eccentricity	نسبة الضغط الثنائي إلى الاحادي Fb0/fc0	سطح التلدن K	اللزوجة Viscosity
30	0.1	1.16	0.667	**0.006**



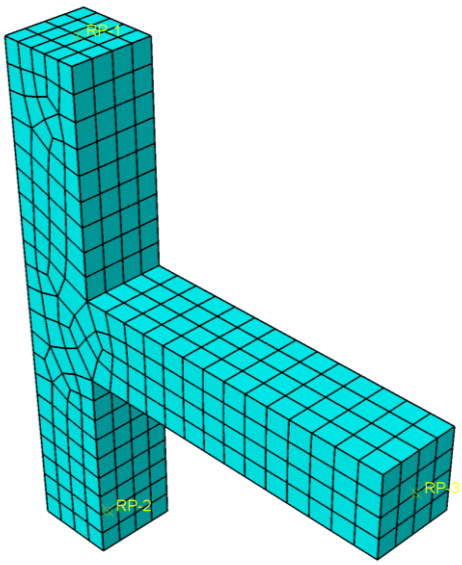
الشكل(13-1)نموذج العقدة في برنامج ABAQUS





الشكل(14-1) سلوك مادة البيتون تحت تأثير الضغط والشد المحوري

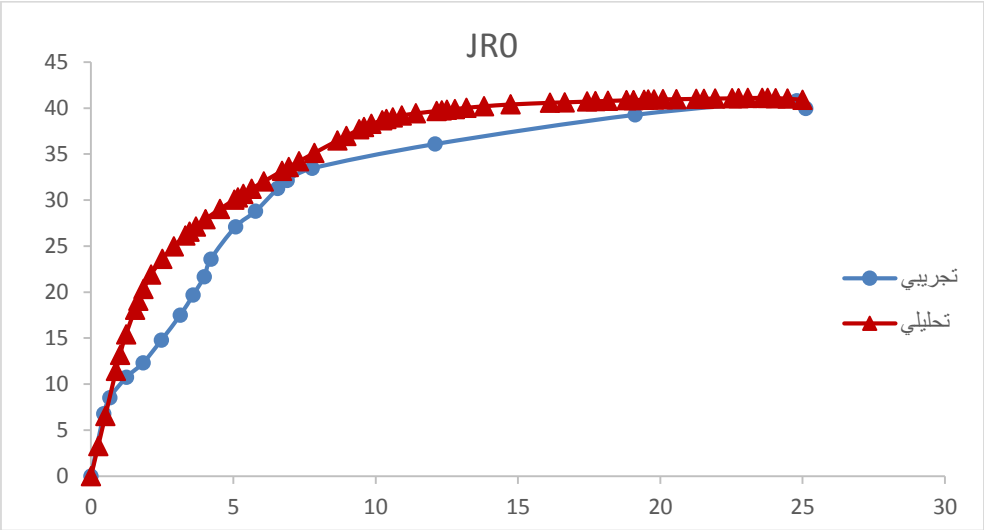
تم تقسيم العقدة الى عدد من العناصر المحدودة وتجريب عدة أبعاد للعنصر المحدود ومن خلال تقارب النتائج تبين أن التقسيم المناسب هو mesh=70mm كما هو موضح في الشكل (15-1).



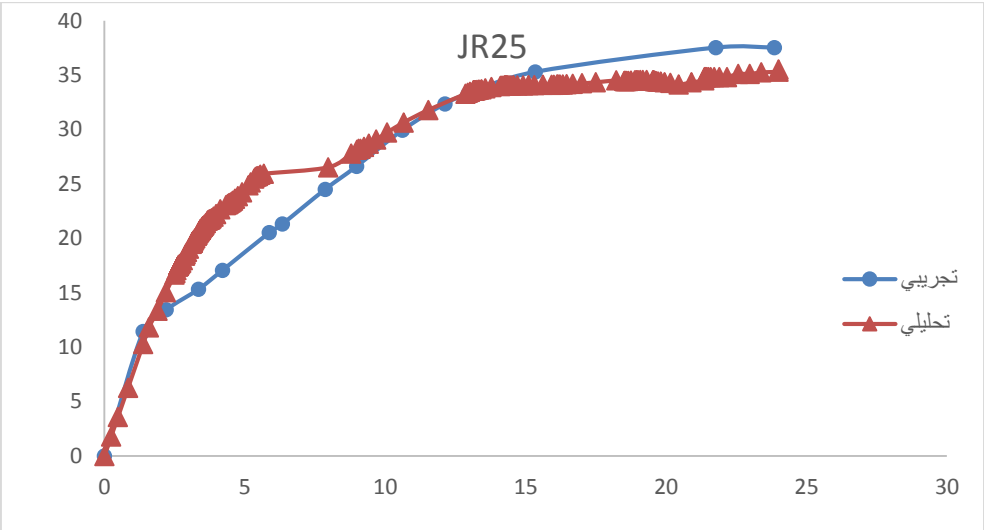
الشكل(15-1)تقسيم العنصر لمجموعة من العناصر المحدودة

4-3-مقارنة مخطط الحمولة -الانتقال بين التحليلي والتجريبي:

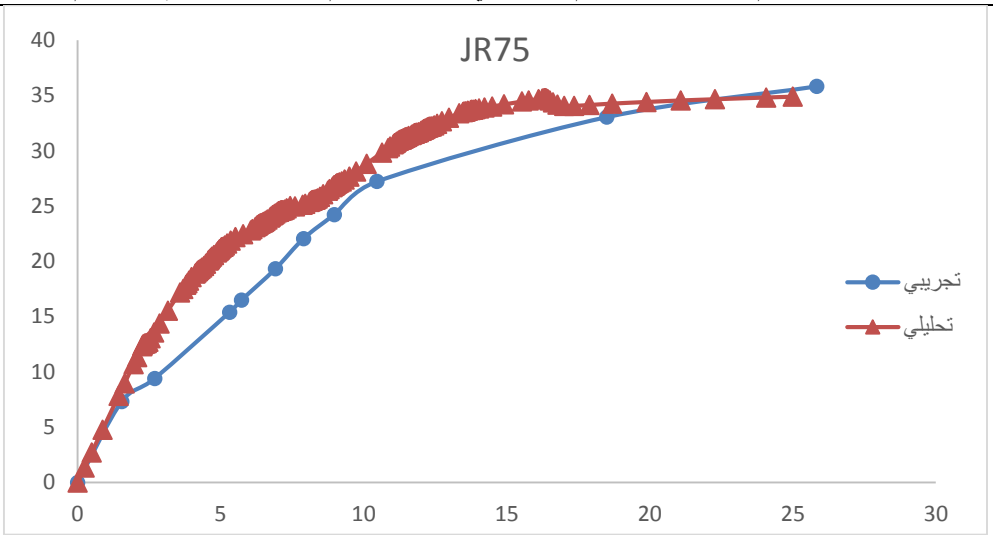
تم رسم مخططات الحمولة – الانتقال لجميع العقد بنسب الاستبدال %(75-25-0) على التتالي الاشكال (16-1)،(17-1) و(18-1) ، ثم تم اجراء مقارنة القوة الأعظمية التي تتحملها العقدة بين النتائج التجريبية والتحليلية وتوضح النتائج في الجدول(8-1).



الشكل(16-1)مخطط حمولة-انتقال التجريبي والتحليلي للعقدة JR0



الشكل(17-1)مخطط حمولة-انتقال التجريبي والتحليلي للعقدة JR25



الشكل(18-1)مخطط حمولة-انتقال التجريبي والتحليلي للعقدة JR75

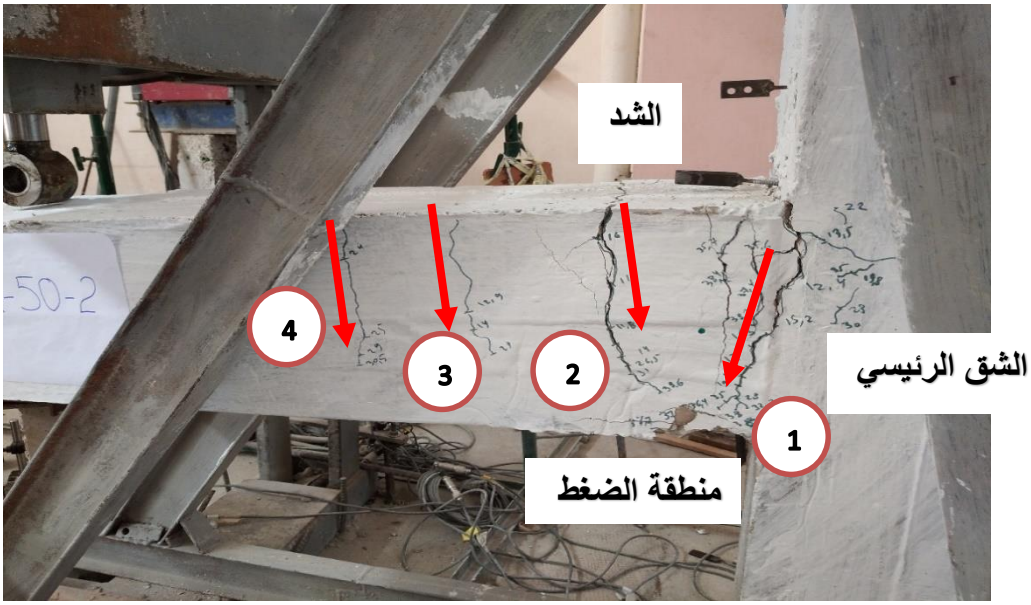
الجدول(9-1) مقارنة النتائج التجريبية والتحليلية

العقدة	Pmax التجريبية KN	Pmax التحليلية KN	الفرق%	Δser (mm) تجريبي	Δser (mm) تحليلي	الفرق%
JR0	**40.78**	**41.12**	**0.8**	**4.43**	**4.3**	**2.2**
JR25	**37.52**	**35.51**	**5**	**8.9**	**8.5**	**4.5**
JR75	**35.82**	**34.89**	**2.5**	**9**	**8.8**	**2.1**

نلاحظ من خلال الجدول(9-1) تقارب النتائج التحليلية مع التجريبية بشكل مقبول مما يجعل النموذج التحليلي مقارب للعقدة المختبرة.

4-4-توزع الشقوق :

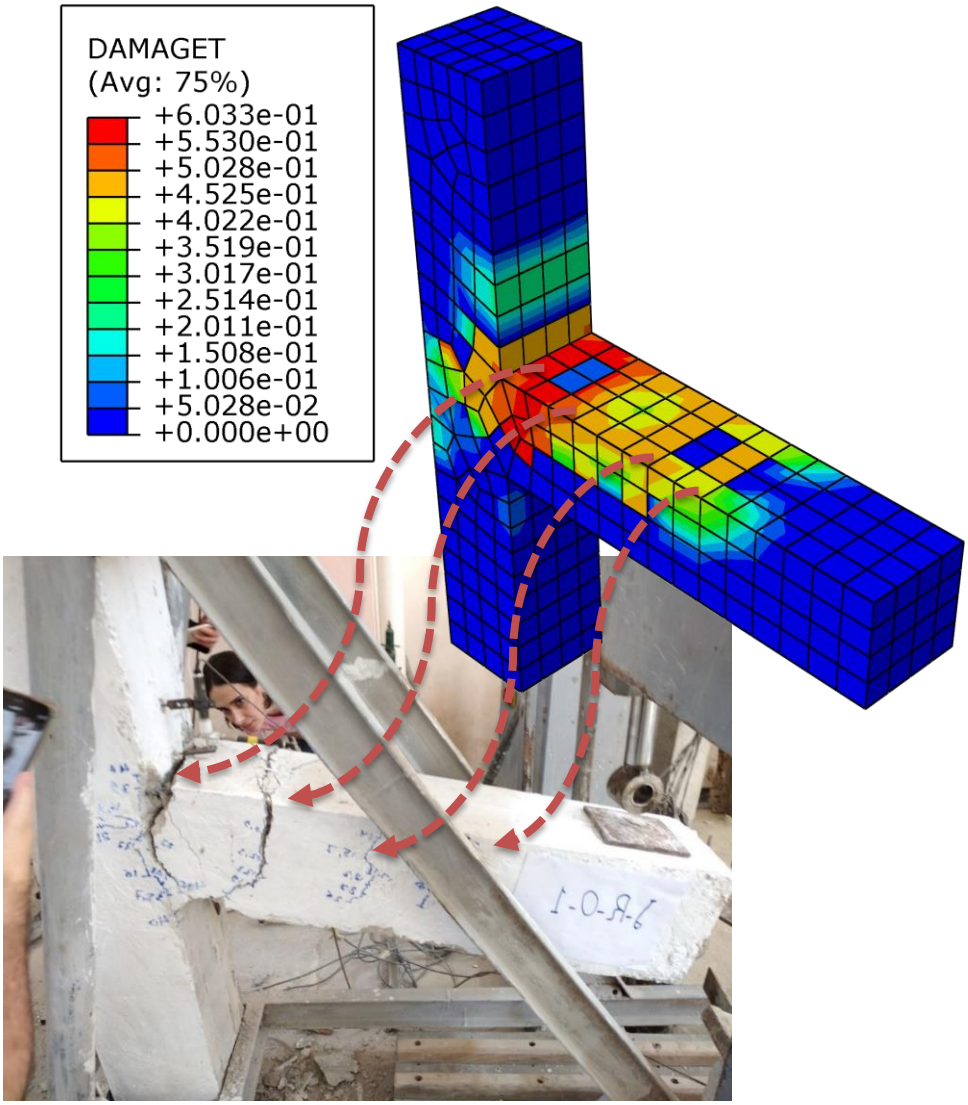
لوحظ تشكل عدة شقوق شعرية في الوجه العلوي وكان عددها 4في غالبية العقد وتباعدها متقارب نوعا ما كما هو موضح في الشكل(19-1).



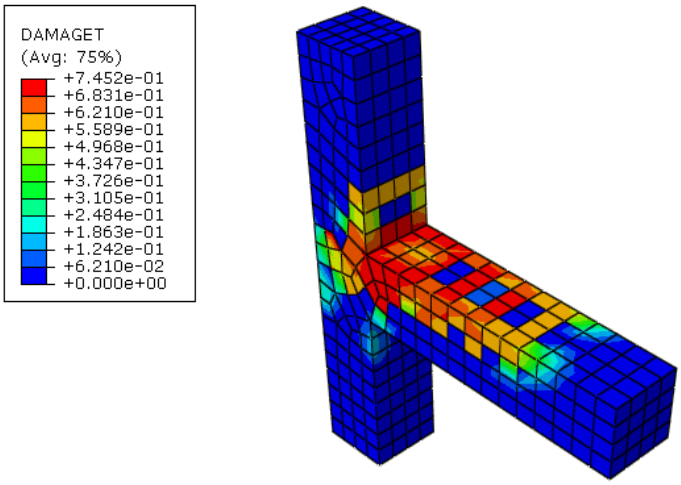
الشكل(18-1) توزع الشقوق وامتدادها في العقدة

بعد التحميل يبدأ الشق (1) بالظهور يتبعه الشق(2) و بعد ازدياد عمقهما ليصلا تقريبا لنصف ارتفاع الجائز يظهر الشق(3) ويليه الشق (4) ،مع استمرار توسع وامتداد الشقوق وتوسع عرض الشق الرئيسي إلى أن يصل امتداده لمنطقة الضغط حيث يحدث الانهيار دون الوصول لمنطقة العقدة .

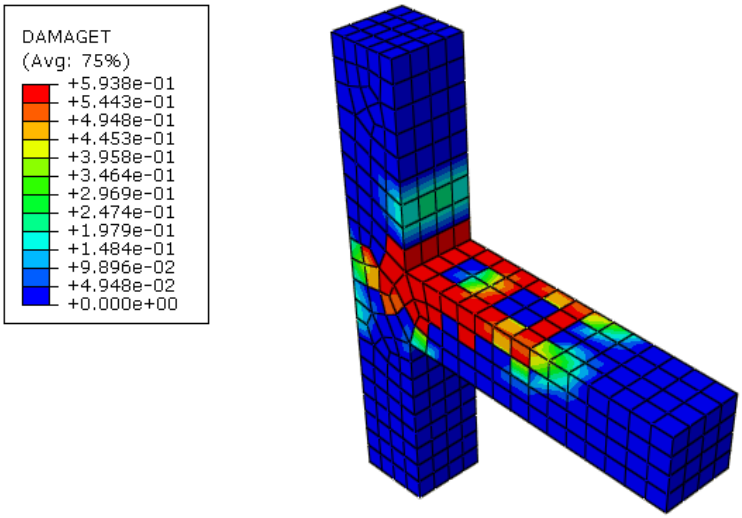
تظهر الاشكال (20-1)،(21-1) و(22-1) توزع الشقوق في العقد تجريبياً وتحليلياً للنسب (0-25-75)% على التتالي.



الشكل(20-1) توزع الشقوق وامتدادها في العقدة JR0



الشكل(1-21) توزع الشقوق وامتدادها في العقدة JR25



الشكل(1-22) توزع الشقوق وامتدادها في العقدة JR75

5-الاستنتاجات والتوصيات:

5-1-الاستنتاجات:

1- لم يتغير نمط التشقق بتغير نسبة الاستبدال لكافة العينات وكان يبدأ بظهور عدة شقوق على الوجه العلوي للجائز مع استمرار توسعها والوصول للانهيار دون وصول الانهيار لداخل العقدة.

2- انخفاض قيمة الحمولة العظمىPmax بنسبة %(7.99-12.16) لنسبتي الاستبدال %(25-75) على التتالي مقارنة بالحمولة العظمى التي تتحملها العقدة المرجعية.
مع زيادة قيمة السهم تقريباً بنسبة 102%,116% على التتالي مقارنة بسهم العقدة المرجعية.

3- بعد حساب عزم التشقق من عدة كودات تبين أن الكود الهندي هو الأقرب وكان الفرق بين العزم التجريبي والعزم الناتج من علاقات الكود الهندي %(1.33-1.4) للعقد المنفذة بنسبة استبدال %(25-75) على التتالي.

4- تقارب النتائج التحليلية مع التجريبية بشكل مقبول مما يجعل النموذج التحليلي مقارب للعقدة المختبرة حيث كان الفرق بينهما بنسبة(2.5-5-0.8) لنسب الاستبدال (0-25-75)% على التتالي.

5- أوضحت التجارب والنتائج إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في العناصر الانشائية وتحديدا" العقد البيتونية المسلحة حيث أبدت نسبة الاستبدال 25% تقارباً واضحاً مع العقدة المرجعية سواء من ناحية قدرة التحمل أو آلية التشقق وكذلك الحمولة عند بداية ظهور الشقوق وكان سلوكها أفضل من العقدة ذات نسبة الاستبدال 75%.

5-2- التوصيات:

1-دراسة أنواع أخرى من العقد البيتونية المسلحة.

2-دراسة أشكال تحميل أخرى(حمل دوري مثلاً) لنفس العقدة المدروسة.

3-دراسة تأثير تغير التسليح (أقطار-عدد القضبان-تباعدات)على النتائج.

6-المراجع:

1-LI FU J,KANG LIU B and WEI MA J,2017**- Experimental Research on Longitudinal Steel Bar Bond Properties in Modified Recycled Aggregate Concrete Beam-Column Interior Joint under Cyclic Loading**. eMarefa Database,Egypt,14P.

2- Muhammed Muneer E K and Gokul Raveendran K ,2020-**Beam-Column Connection with Core Reinforcement and Recycled Concrete Aggregate: An Overview**.International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 11, Issue 10, India,5P.

3- Indian Standard IS 456:2000 "**Plain And Reinforced Concrete –Code Of Practice**"-Fourth Revision-New Delhi.

4-ACI 318-19,-"**Building Code Requirements for structural concrete and Commentary**"-ACI Manual of Concrete Practice ,Part3.

5-تماضر مقبل، د. قاسم الزحيلي ،2014. "**دراسة تجريبية على الخرسانة المنتجة من ركام معاد تدويره**". مجلة جامعة تشرين-المجلد36-العدد4.

6-"**الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة**"(2018)-الطبعة الخامسة -دمشق.

7-رسالة دكتوراه في الهندسة الانشائية "**دراسة فعالية الفيروسمنت في تدعيم عقدة جائز -عمود بيتونية طرفية** "(2023) .م.حيدر خضور، د.سليمان العامودي ،د.إحسان الطرشة-جامعة حمص-كلية الهندسة المدنية-قسم الهندسة الانشائية-حمص-2023.

تأثير تغير التخامد مع تسارع الإستجابة على تحليل الإطارات البيتونية المسلحة متعددة الطوابق باستخدام طريقة طيف الإستجابة

الطالبة : مريم الإبراهيم [1]

المشرف العلمي : د.سليمان العامودي [2]

1 طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الإنشائية جامعة حمص
2 أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية في جامعة حمص

ملخص :

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير التخامد المتغير المرتبط بتسارع الاستجابة على تحليل الإطارات البيتونية المسلحة متعددة الطوابق باستخدام طريقة طيف الإستجابة .

تم تحليل نماذج إطارات بيتونية مسلحة مؤلفة من فتحة واحدة ، مع تغيير عدد الطوابق من طابق واحد وحتى خمسة عشر طابقاً ، وقد أجري التحليل مرتين :

الاولى: باستخدام أطياف إستجابة مستنتجة من شدات زلزالية مختلفة لزلزال El Centro بافتراض نسبة تخامد ثابتة وقدرها 5% .

والثانية : باستخدام أطياف إستجابة مستنتجة من نفس الشدات الزلزالية ، ولكن مع اعتماد نسبة تخامد متغيرة مرتبطة بتسارع الاستجابة في كل لحظة زمنية .

أظهرت نتائج التحليل زيادة ملحوظة في قيم الانتقالات وقوى القص القاعدية عند استخدام التخامد المتغير مقارنة باستخدام التخامد الثابت . وقد كانت هذه الزيادة متقاربة نسبياً مع اختلاف عدد الطوابق ، وتراوحت بشكل وسطي بين 31% عند الشدة الزلزالية 10% وحتى 17% عند الشدة الزلزالية 120% .

كلمات مفتاحية : تخامد متغير– طيف الاستجابة– الإطارات البيتونية المسلحة متعددة الطوابق

Abstract:

The Study aims to investigate the effect of variable damping , which is dependent on response acceleration , on the analysis of multi-story reinforced concrete frames using the response spectrum method .

Reinforced concrete frame models with a single bay and varying numbers of stories (from one to fifteen) were analyzed twice :

First , using response spectra derived from different intensity levels of El Centro earthquake , assuming a constant damping ratio of 5%.

Second, using response Spectra derived from the same seismic intensities incorporating the effect of variable damping that changes with the response acceleration of each material point at every moment in time .

The analysis results demonstrated an increase in displacements , and base shear forces when using variable damping compared to constant damping .

This increase was relatively consistent across different story heights , ranging on average from 31% at 10% intensity to 17% at 120% intensity .

Key words : Variable Damping –Response Spectrum– Multi–story Reinforced Concrete Frames

[1] مقدمة:

تعد الخصائص الديناميكية مثل نسبة التخامد ، من العوامل المؤثرة بشكل كبير على السلوك الديناميكي للمنشآت البيتونية المسلحة . وقد أثبتت الدراسات التجريبية والمشاهدات الحقلية أن هذه الخصائص ترتبط ارتباطاً وثيقاً بسعة استجابة المنشآت تحت تأثير الأحمال الزلزالية **Chopra,A.K.(1995)[3]** .

تشير الدراسات إلى أن الخصائص الديناميكية للمنشآت الفعلية تختلف حتماً عن القيم التصميمية المفترضة مما يستوجب أخذها بعين الاعتبار بدقة عند إجراء التحليل الديناميكي للحصول على نتائج واقعية تعكس أداء المنشآت تحت تأثير الأحمال الزلزالية .أظهرت العديد من الأبحاث تغير قيم التخامد مع تغير السعة حيث أظهرت دراسة **Al Sehnawi et al.(2014)[1]** أن التخامد في المرحلة المرنة كان بحدود 2–3% بينما ارتفع تدريجياً مع زيادة السعة واللاخطية . وجد ايضاً **Kowalsky(1994)[5]** أن نسبة التخامد للمنشآت البيتونية في بداية التحميل لا تتجاوز 3% وقد تزداد حتى 7–8% مع التشققات الكبيرة والدخول في اللاخطية . بينما أشار **Priestley et al.(2007)[6]** إلى أن استخدام نسبة ثابتة للتخامد وهي 5% في التحليل الزلزالي يبالغ في التخميد الفعلي ويؤدي إلى تقليل غير واقعي في الاستجابة الديناميكية .

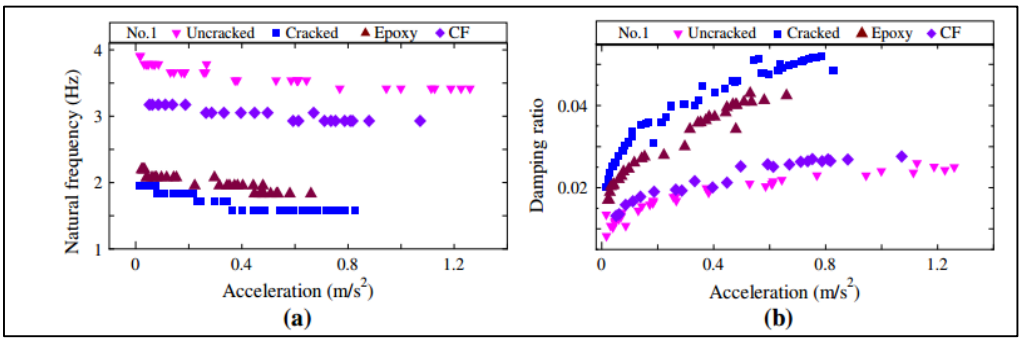
أجرى الباحثون **Chen,G.–W.,Beskhyroun,S.,& Omenzetter,P.(2016)[2]** اختبارات ديناميكية على جسر بيتوني مسبق الاجهاد ومكون من أحد عشر مجازاً ، باستخدام هزازات كتلية لتطبيق مستويات مختلفة من الإثارة . أظهرت النتائج أن الترددات الطبيعية انخفضت بشكل ملحوظ مع زيادة سعة الاستجابة ، بينما زادت نسب التخامد ، مما يؤثر على أهمية مراعاة تأثير سعة الاهتزاز عند تقييم الخصائص الديناميكية للمنشآت .

هدفت دراسة **Al Sehnawi,R.,Nakajima,A.,Takeshima,R.,&Al Sadeq,H.(2014)[1]** إلى التحقق من اعتماد الخصائص الديناميكية على سعة الاهتزاز في المراحل المرنة وغير المرنة من خلال تطبيق اختبارات الاهتزاز الحر على نماذج ركائز بيتونية مسلحة .

تم إجراء سلسلة من قياسات الاهتزاز الحر على نطاق واسع من السعات باستخدام إثارة ذات سعة صغيرة نسبياً على نماذج سليمة ، ثم تكرار هذه القياسات بعد أن تم اختبار النموذج تدريجياً حتى الانهيار على طاولة اهتزاز ، ومرة أخرى بعد إصلاحها باستخدام الايبوكسي وشرائح ألياف الكربون

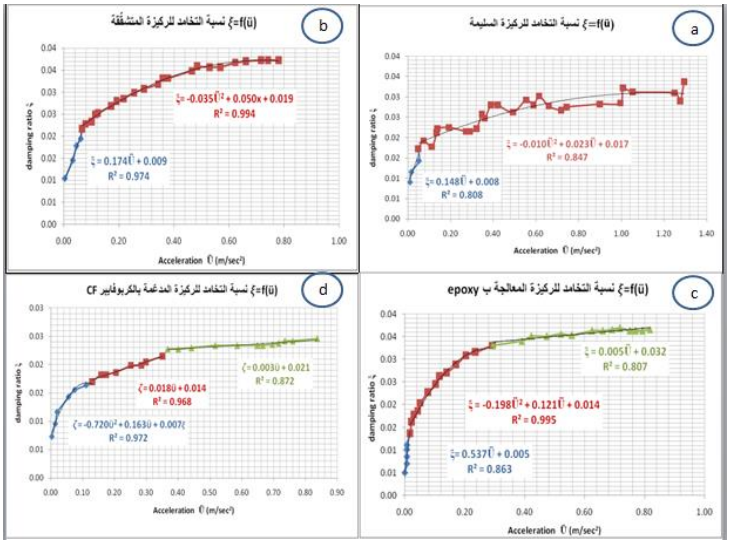
أشارت نتائج الدراسة أن التردد الطبيعي ونسبة التخامد حساسين جداً لمستوى سعة الاهتزاز .فكلما زادت سعة التسارع ، زادت نسبة التخامد بشكل ملحوظ بينما انخفض التررد الطبيعي قليلاً

يبين الشكل [1] التغيرات في نسب التخامد والتردد الطبيعي مع زيادة تسارع الاستجابة الأعظمي الناتج عن الاهتزاز الحر للعينات المختبرة حيث بينت النتائج زيادة ملحوظة في نسبة التخامد مع زيادة التسارع بينما تنخفض قليلا قيم التردد الطبيعي .



الشكل 1 : تغيرات قيم التردد الطبيعي (a) ونسبة التخامد (b) مع تسارع الاستجابة الأعظمي الناتج عن الاهتزاز الحر للنموذج المختبر في الدراسة المرجعية [1] .

ركزت الدراسة **غصون ، ميس . (2020)** [8] على معالجة النتائج التجريبية للبحث [1] بهدف الحصول على علاقات تربط بين الخصائص الديناميكية (التردد الطبيعي ونسبة التخامد) مع تسارع الاستجابة الأعظمي الناتج عن تجربة الاهتزاز الحر وذلك خلال مراحل عمل النموذج (العينة سليمة ، العينة متشققة ، عينة تم إصلاحها عن طريق الحقن بالإيبوكسي ، عينة تم إصلاحها باستخدام شرائح ألياف الكربون) وتوضح الأشكال التالية العلاقات المقترحة لكل حالة من الحالات المدروسة :



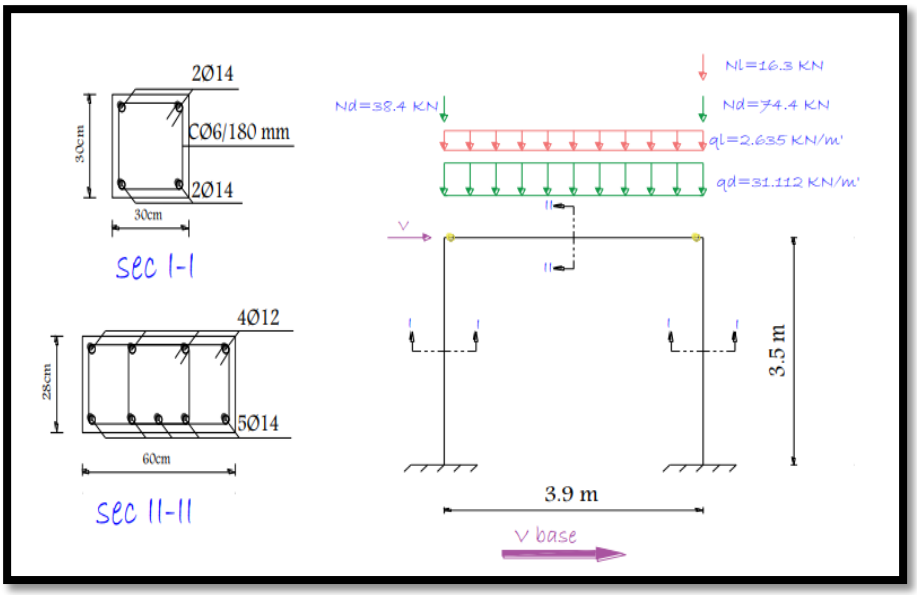
الشكل 2: العلاقات المقترحة لربط نسبة التخامد مع تسارع الاستجابة للعينات السليمة (a) ، العينات المتشققة (b) ، العينات بعد إصلاحها بالايبوكسي (c) ، العينات بعد إصلاحها بألياف الكربون (d) في الدراسة المرجعية [8] .

العلاقة المقترحة في حالة العينات السليمة (غير المتشققة) هي بالشكل التالي :

$$0.01 \leq |u''(t)| \leq 0.05 \implies \xi(t) = 0.148 \times |u''(t)| + 0.008$$
$$0.05 < |u''(t)| \leq 1.27 \implies \xi(t) = -0.01 \times |u''(t)|^2 + 0.023 \times |u''(t)| + 0.017$$
$$|u''(t)| > 1.27 \implies \xi(t) = 0.0338$$

<u>[2] نموذج الإطارات المدروسة :</u>

تم في هذا البحث تحليل إطارات بيتونية مسلحة مؤلفة من فتحة واحدة بعرض 3.9m وبارتفاع 3.5m لكل طابق . تم دراسة تأثير عدد الطوابق على سلوك هذه الإطارات من خلال نماذج متعددة بعدد طوابق مختلف ، وهي كما يلي : 1 –2 –3 –4 –6 –9 –12–15 طابقاً .تم تصميم المقاطع الأولية للأعمدة والجوائز بناءً على الحمولات الشاقولية ، ويوضح الشكل [3] التفاصيل الإنشائية للإطار المدروس بطابق واحد .



الشكل 3: التفاصيل الإنشائية للإطار المدروس من طابق واحد

[3]– استنتاج أطياف الإستجابة من السجل الزمني لزلزال ELCentro

تم استنتاج أطياف الاستجابة باستخدام سجل زلزالي لزلزال El Centro بلغت شدته الأعظمية PGA=0.31g عند عدة مستويات من الشدة الزلزالية وهي 10% –20% –30% –50% – 100% –120% (أي مايعادل 0.031g – 0.062g –0.093g –0.155g – 0.31g –0.372g على التوالي).

وذلك بهدف دراسة تأثير التخامد المتغير على الاستجابة الديناميكية للإطارات المدروسة بطريقة طيف الاستجابة .تم توليد طيف الاستجابة لكل شدة زلزالية بطريقتين :

الطريقة الأولى : بافتراض نسبة تخامد ثابتة وهي 5% وهو الاجراء التقليدي المعتمد في معظم طرق التحليل الزلزالي .

الطريقة الثانية : تضمنت إدخال نموذج للتخامد المتغير بحيث تحسب نسبة التخامد بشكل لحظي خلال التحليل وبالاعتماد على طريقة الاستهداف وتكون مرتبطة بقيمة تسارع الاستجابة للنقطة المادية عبر العلاقة التحليلية المقترحة في الدراسة [7] للعينات السليمة .

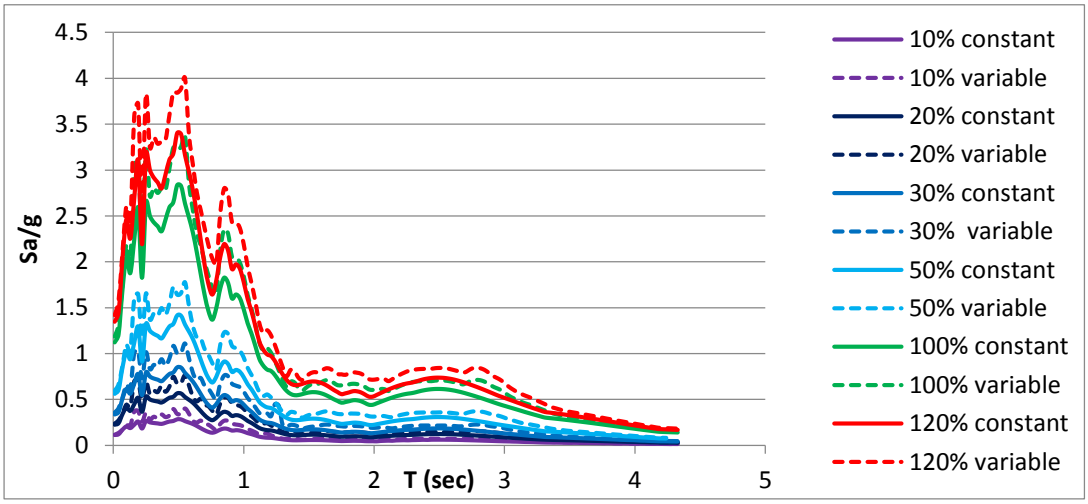
تم توليد الاطياف لكل حالة عن طريق تحليل استجابة مجموعة من الأنظمة وحيدة درجة الحرية SDOF ذات أدوار اهتزاز مختلفة وباستخدام تكامل عددي دقيق لحساب الانتقالات الأعظمية S_d الناتجة عند كل دور اهتزاز ،ثم الحصول على كل من السرعة الزائفة والتسارع الزائف حيث :

$$S_v = W_n . S_d$$

$$S_a = {W_n}^2 . S_d$$

يتم تمثيل العلاقة بين أدوار الاهتزاز المدروسة وقيم التسارع الزائف للحصول على طيف الاستجابة المطلوب ، وذلك بالاعتماد على برامج خاصة تم تصميمها في بيئة VBA Excel لهذا الهدف .

يوضح الشكل التالي أطياف الإستجابة المستنتجة عن الشدات المختلفة :



الشكل 4: أطياف الاستجابة المستنتجة عند شدات مختلفة من زلزال ELCentro

[4] – نتائج تحليل الإطارات المدروسة :

❖ الإطار المؤلف من طابق واحد :

تم إجراء تحليل للإطار المدروس المؤلف من طابق واحد باستخدام برنامج ETABS ، وذلك بالاعتماد على طريقة طيف الاستجابة (Response Spectrum) ، وقد نفذ التحليل بطريقتين الأولى باعتماد أطياف الاستجابة الناتجة عن افتراض نسبة تخامد ثابتة ، والثانية باعتماد أطياف الاستجابة المستنتجة عند نفس الشدات الزلزالية ، ولكن مع افتراض نسبة تخامد متغيرة مع الزمن ومرتبطة بتسارع الاستجابة . أجري التحليل لكلتا الحالتين عند ست شدات مختلفة لزلزال El Centro وقد تم تسجيل الانتقالات القصوى الناتجة لكل حالة ، كما تم حساب نسبة الزيادة في الانتقالات عند اعتماد التخامد المتغير مع استخدام الحالة التقليدية ذات التخامد الثابت . يبين الجدول التالي قيم الانتقالات عند كل شدة زلزالية :

الجدول (1) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار بطابق واحد عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	0.008466	0.011713	1.384
20%	0.016931	0.022408	1.323
30%	0.025395	0.032784	1.291
50%	0.042328	0.052659	1.244
100%	0.084654	0.099879	1.18
120%	0.101585	0.11844	1.166

بشكل مشابه تم في الجدول (2) مقارنة قيم قوى القص القاعدي الناتجة عن التحليل عند كل شدة من الشدات الزلزالية .

الجدول(2) : قيم قوة القص القاعدي للإطار بطابق واحد عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	60.978	84.365	1.384
20%	121.948	161.403	1.324
30%	182.919	236.137	1.291
50%	304.879	379.294	1.244
100%	609.749	719.413	1.18
120%	731.7	853.107	1.166

من خلال الجداول السابقة نلاحظ أن اعتماد نسبة تخامد متغيرة مع الزمن $\xi(u'')$ أدى لزيادة في قوى القص ، والانتقالات الطابقية مقارنة مع الحالة التقليدية . وقد تراوحت هذه الزيادة بين 38.4% عند الشدة 10% و16.6% عند الشدة 120% ، وهذا يعكس التأثير المهم للتخامد المتغير في التحليل الديناميكي ، وخاصة عند الشدات المنخفضة مما يستدعي النظر بجدية في قيم التخامد المعتمدة عند تحليل و تصميم المنشآت المقاومة للزلازل .

❖ **الإطار المؤلف من طابقين :**

تم تحليل الاطار المؤلف من طابقين باستخدام طريقة طيف الاستجابة وبنفس الآلية المعتمدة في تحليل الإطار من طابق واحد . تبين أن الاعتماد على طيف استجابة مستنتج من نسبة تخامد متغيرة مرتبطة بتسارع الاستجابة أدى إلى زيادة في قيم الانتقالات الطابقية وقوى القص القاعدية . وقد تراوحت هذه الزيادة بين 39.9% عند الشدة الزلزالية 10% و19% عند الشدة 120% مقارنة بالتحليل الذي اعتمد تخامد ثابت . وسوف نستعرض نتائج التحليل بشكل مفصل في الجداول التالية:

الجدول (3) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار بطابقين عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m):

الشدة الزلزالية	Story	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	2nd	0.024111	0.033742	1.399
	1st	0.012437	0.017404	1.399
	Base	0	0	
20%	2nd	0.048204	0.065229	1.353
	1st	0.024864	0.033645	1.353
	Base	0	0	
30%	2nd	0.072268	0.095699	1.324
	1st	0.037277	0.049361	1.324
	Base	0	0	
50%	2nd	0.120489	0.153893	1.277
	1st	0.062151	0.079379	1.277
	Base	0	0	
100%	2nd	0.240982	0.29311	1.216
	1st	0.124303	0.151197	1.216
	Base	0	0	
120%	2nd	0.289172	0.346739	1.199
	1st	0.149161	0.17886	1.199
	Base	0	0	

الجدول (4) : قيم قوة القص القاعدي للإطار بطابقين عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN):

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	79.0276	110.5831	1.399
20%	157.995	213.778	1.353
30%	236.8722	313.6302	1.324
50%	394.9239	504.3839	1.277
100%	789.8572	960.7833	1.216
120%	947.8104	1136.576	1.199

❖ **الإطار المؤلف من ثلاث طوابق :**

تم دراسة الإطار المؤلف من ثلاث طوابق حيث يوضح الجدول (5) أن قيم الانتقالات الطابقية العظمى تزداد بوضوح عند استخدام نسبة تخامد متغيرة مقارنة بنسبة تخامد ثابتة . تتركز هذه الزيادة عند الشدات الزلزالية المنخفضة حيث وصلت نسبة الزيادة الى حوالي 34% عند الشدة 10% . ومع تزايد الشدة الزلزالية تنخفض نسبة الزيادة تدريجياً لتصل إلى حوالي 22% عند الشدة 120% . وهذا يعكس سلوكاً مماثلاً لما لوحظ في الإطارات ذات الطابق الواحد والطابقين ، حيث أن تأثير نسبة التخامد المتغيرة يكون أوضح في الزلازل الضعيفة ، بينما يتقلص تأثيرها تدريجياً مع زيادة الشدة الزلزالية .

الجدول (5) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار بثلاث طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m) :

الشدة الزلزالية	story	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	3rd	0.043786	0.058981	1.347
	2nd	0.032791	0.044169	1.347
	1st	0.015203	0.020444	1.345
	Base	0	0	
20%	3rd	0.087683	0.115026	1.312
	2nd	0.065665	0.086139	1.312

	1st	0.030444	0.039868	1.310
	Base	0	0	
30%	3rd	0.131499	0.170062	1.293
	2nd	0.098478	0.127353	1.293
	1st	0.045657	0.058941	1.291
	Base	0	0	
50%	3rd	0.219004	0.277586	1.267
	2nd	0.164009	0.207872	1.267
	1st	0.07604	0.096214	1.265
	Base	0	0	
100%	3rd	0.438228	0.539099	1.230
	2nd	0.328184	0.403709	1.230
	1st	0.152155	0.186875	1.228
	Base	0	0	
120%	3rd	0.525851	0.642281	1.221
	2nd	0.393804	0.480979	1.221
	1st	0.182579	0.222657	1.220
	Base	0	0	

كما يبين الجدول (6) أن استخدام نسبة تخامد متغيرة يؤدي على زيادة واضحة في قيم قوة القص القاعدي مقارنة بنسبة تخامد ثابتة 5% ، وذلك في جميع مستويات الشدة الزلزالية . حيث تظهر أعلى نسبة زيادة عند الشدة 10% بمقدار حوالي 34.3% بينما تقل تدريجيا مع ارتفاع الشدة لتصل إلى 21.8% عند الشدة القصوى 120% .

الجدول (6) : قيم قوة القص القاعدي للإطار بثلاث طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	92.6736	124.4699	1.343
20%	185.5746	242.6978	1.308
30%	278.3061	358.7939	1.289
50%	463.5209	585.7012	1.264

100%	927.4867	1137.645	1.227
120%	1112.938	1355.548	1.218

❖ **الإطار المؤلف من أربع طوابق :**

تظهر النتائج في الجدولين (7) و(8) أن استخدام نسبة تخامد متغيرة في تحليل الإطارات المؤلفة من أربع طوابق بدلاً من استخدام نسبة ثابتة 5% يؤثر بشكل واضح على قيم الانتقالات الطابقية وقوى القص القاعدي ، ولكن بشكل أقل مقارنة بالاطارات ذات عدد الطوابق الأقل .

يبين الجدول (7) أن نسبة الزيادة في الانتقالات الطابقية تقل تدريجياً مع ازدياد الشدة الزلزالية ، حيث بلغت قيم الزيادة حوالي 22% عند الشدة 10% وتنخفض الى 9% عند الشدة 120% .

أما الجدول (8) فيظهر أن قوة القص القاعدي تتأثر بشكل مشابه ، حيث نلاحظ ارتفاعاً في القوة عند استخدام نسبة تخامد متغيرة ، إلا أن نسبة الزيادة تنخفض مع زيادة الشدة الزلزالية .

بالمقارنة مع الإطارات السابقة ، يمكن القول أن الاطار من أربع طوابق يظهر تأثراً أقل بنسبة التخامد المتغيرة .

الجدول (7) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار بأربع طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m) :

الشدة الزلزالية	story	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	4th	0.03372	0.040718	1.208
	3rd	0.027984	0.033772	1.207
	2nd	0.019341	0.023411	1.210
	1st	0.008052	0.00982	1.220
	Base	0	0	
20%	4th	0.067248	0.079453	1.181
	3rd	0.055805	0.065899	1.181
	2nd	0.038579	0.045681	1.184

	1st	0.016068	0.019158	1.192
	Base	0	0	
30%	4th	0.100937	0.115969	1.149
	3rd	0.083762	0.096162	1.148
	2nd	0.057903	0.06673	1.152
	1st	0.024114	0.028035	1.163
	Base	0	0	
50%	4th	0.168186	0.187991	1.118
	3rd	0.139567	0.155859	1.117
	2nd	0.096482	0.108231	1.122
	1st	0.040183	0.045521	1.133
	Base	0	0	
100%	4th	0.33622	0.362393	1.078
	3rd	0.279008	0.300392	1.077
	2nd	0.192883	0.20878	1.082
	1st	0.080336	0.087935	1.095
	Base	0	0	
120%	4th	0.403435	0.430026	1.066
	3rd	0.334784	0.356416	1.065
	2nd	0.231444	0.247833	1.071
	1st	0.096398	0.104458	1.084
	Base	0	0	

الجدول (8) : قيم قوة القص القاعدي للإطار بأربع طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	62.064	76.1945	1.228
20%	123.8768	148.6064	1.200
30%	185.9002	217.6726	1.171
50%	309.7828	353.6391	1.142
100%	619.3673	683.646	1.104
120%	743.2026	812.4279	1.093

❖ **الإطارالمؤلف من ستة طوابق :**

يبين الجدول (9) تأثير استخدام نسبة تخامد متغيرة على قيم الانتقالات الطابقية لإطارمؤلف من ستة طوابق . نلاحظ من خلال النسبة بين قيم الانتقالات الناتجة عن التخامد المتغير إلى التخامد الثابت أن تأثير التخامد المتغير على الانتقالات يكون اكبر عند الزلازل الضعيفة ، ويقل تدريجياً مع زيادة الشدة الزلزالية . عند شدة زلزالية 10% ، تكون نسبة الزيادة في معظم الطوابق أكبر من 40% ، مما يشير إلى أن التخامد المتغير يؤدي إلى زيادة كبيرة في الانتقالات .أما عند الشدة العالية 120% ، فإن النسبة تنخفض لتصل الى 29% ، مما يعني تأثيراً أقل للتخامد المتغير .

الجدول (9) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار من ستة طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m) :

الشدة الزلزالية	story	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	6th	0.052464	0.077837	1.484
	5th	0.04644	0.069199	1.490
	4th	0.038171	0.056702	1.485
	3rd	0.028187	0.041207	1.462
	2nd	0.01674	0.024009	1.434
	1st	0.005847	0.008278	1.416
	Base	0	0	
20%	6th	0.104919	0.15497	1.477
	5th	0.092872	0.137867	1.484
	4th	0.076336	0.112914	1.479
	3rd	0.056371	0.081839	1.452
	2nd	0.033478	0.047536	1.420
	1st	0.011694	0.016355	1.399
	Base	0	0	
30%	6th	0.157348	0.228236	1.451
	5th	0.139282	0.203062	1.458
	4th	0.114482	0.166302	1.453
	3rd	0.084538	0.120497	1.425
	2nd	0.050205	0.069973	1.394

	1st	0.017537	0.024072	1.373
	Base	0	0	
50%	6th	0.262161	0.372112	1.419
	5th	0.23206	0.331109	1.427
	4th	0.190742	0.271149	1.422
	3rd	0.140851	0.196367	1.394
	2nd	0.083649	0.113977	1.363
	1st	0.029219	0.039199	1.342
	Base	0	0	
100%	6th	0.524123	0.717616	1.369
	5th	0.463937	0.638574	1.376
	4th	0.381337	0.522923	1.371
	3rd	0.281607	0.378617	1.344
	2nd	0.167251	0.219736	1.314
	1st	0.058425	0.075575	1.294
	Base	0	0	
120%	6th	0.628939	0.85308	1.356
	5th	0.556717	0.759088	1.364
	4th	0.457598	0.621631	1.358
	3rd	0.337923	0.450146	1.332
	2nd	0.200698	0.261304	1.302
	1st	0.070108	0.089887	1.282
	Base	0	0	

يبين الجدول (10) تأثير التخامد المتغير على قوة القص القاعدي ، حيث نلاحظ أن استخدام التخامد المتغير يؤدي الى زيادة ملحوظة في القص القاعدي مقارنة باستخدام نسبة تخامد ثابتة .

الجدول (10): قيم قوة القص القاعدي للإطار من ستة طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	79.9503	111.5093	1.395
20%	159.9044	219.7488	1.374

30%	239.7801	323.3776	1.349
50%	399.5384	526.48	1.318
100%	798.9166	1015.258	1.271
120%	958.6821	1207.77	1.260

مما سبق نستطيع القول أن الاطار من ستة طوابق يظهر نفس الاتجاه الذي تم ملاحظته في الإطارات الأخرى : يزداد تأثير التخامد المتغير في الزلازل الضعيفة ويقل تدريجياً مع زيادة الشدة الزلزالية ، ومع ذلك تبقى القيم أعلى مقارنة بالاطارات ذات عدد الطوابق الأقل .

الإطار المؤلف من تسعة طوابق :

يوضح الجدول (11) قيم الانتقالات الطابقية للاطار من تسعة طوابق تحت تأثير الشدات الزلزالية المختلفة ، ومقدار الزيادة الناتجة عن استخدام التخامد المتغير . يظهر من خلال الجدول زيادة في قيم الانتقالات الطابقية مع زيادة الشدة الزلزالية سواء باستخدام تخامد ثابت او متغير ، حيث تراوحت نسبة الزيادة في الانتقالات بين التخامد المتغير والثابت بين 24.9% في الطابق الأول عند الشدة المنخفضة 10%، وتناقصت تدريجياً لتصل إلى 17% في نفس الطابق عند الشدة 120% .

الجدول (11) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار من تسعة طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m) :

الشدة الزلزالية	story	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	9th	0.133324	0.159551	1.197
	8th	0.124035	0.147999	1.193
	7th	0.110301	0.131357	1.191
	6th	0.094564	0.112916	1.194
	5th	0.076214	0.0918	1.205
	4th	0.058325	0.071032	1.218
	3rd	0.040488	0.049824	1.231
	2nd	0.022651	0.028113	1.241
	1st	0.00737	0.009206	1.249
	Base	0	0	
20%	9th	0.267682	0.317659	1.187

	8th	0.249041	0.294803	1.184
	7th	0.22147	0.26173	1.182
	6th	0.189866	0.22489	1.184
	5th	0.153006	0.182584	1.193
	4th	0.117074	0.141032	1.205
	3rd	0.081258	0.098754	1.215
	2nd	0.045451	0.055636	1.224
	1st	0.014787	0.018195	1.230
	Base	0	0	
30%	9th	0.401699	0.474729	1.182
	8th	0.373728	0.440722	1.179
	7th	0.332354	0.391363	1.178
	6th	0.284925	0.336173	1.180
	5th	0.229607	0.272666	1.188
	4th	0.175682	0.210351	1.197
	3rd	0.121932	0.147115	1.207
	2nd	0.068201	0.082796	1.214
	1st	0.022188	0.027056	1.219
	Base	0	0	
50%	9th	0.670424	0.784922	1.171
	8th	0.623751	0.728962	1.169
	7th	0.554703	0.647464	1.167
	6th	0.475536	0.555976	1.169
	5th	0.383193	0.450482	1.176
	4th	0.29318	0.347063	1.184
	3rd	0.203468	0.24241	1.191
	2nd	0.113799	0.136272	1.197
	1st	0.037021	0.044492	1.202
	Base	0	0	
100%	9th	1.341392	1.546832	1.153
	8th	1.248015	1.437212	1.152
	7th	1.109865	1.276898	1.150
	6th	0.951461	1.096017	1.152
	5th	0.76669	0.886879	1.157

	4th	0.586582	0.682108	1.163
	3rd	0.407082	0.475639	1.168
	2nd	0.227675	0.267011	1.173
	1st	0.074066	0.087086	1.176
	Base	0	0	
120%	9th	1.609665	1.848849	1.149
	8th	1.497613	1.717944	1.147
	7th	1.331832	1.526381	1.146
	6th	1.141749	1.310077	1.147
	5th	0.920025	1.059885	1.152
	4th	0.703896	0.814957	1.158
	3rd	0.488496	0.568132	1.163
	2nd	0.273209	0.318865	1.167
	1st	0.088879	0.103981	1.170
	Base	0	0	

يظهر الجدول (12) قيم قوة القص القاعدي للاطار عند الشدات الزلزالية المختلفة . ونلاحظ من الجدول أن استخدام التخامد المتغير يؤدي إلى زيادة في قوة القص القاعدي بنسبة تراوحت بين 26% عند الشدة 120% ، وتنخفض تدريجياً إلى 17.5% عند الشدة 120%.

الجدول (12) : قيم قوة القص القاعدي للإطار من تسعة طوابق عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	131.513	166.1573	1.263
20%	263.7735	327.6129	1.242
30%	395.7749	486.3919	1.229
50%	660.2661	798.5052	1.209
100%	1320.917	1559.882	1.181
120%	1585.094	1861.927	1.175

❖ **<u>الإطار المؤلف من إثنا عشر طابقاً :</u>**

تم دراسة الإطار المؤلف من إثنا عشر طابقاً و يوضح الجدول (13) قيم الانتقالات الطابقية الاعظمية عند الشدات الزلزالية المختلفة . نلاحظ من خلال الجدول السابق أن التحليل باستخدام طيف استجابة ناتج عن تخامد متغير يعطي زيادة في الانتقالات عن التحليل باستخدام نسبة تخامد ثابتة 5% ، حيث تراوحت نسبة الزيادة في الطابق الأخير بين 30% عند الشدة 10% ، وانخفضت لتصل إلى 18.9% عند الشدة 120% .

الجدول (13) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار من اثنا عشر طابقاً عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m) :

الشدة الزلزالية	story	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	12th	0.116763	0.151742	1.300
	11th	0.110585	0.143591	1.298
	10th	0.102166	0.132476	1.297
	9th	0.091865	0.119023	1.296
	8th	0.080867	0.104915	1.297
	7th	0.07002	0.091138	1.302
	6th	0.059149	0.077295	1.307
	5th	0.047957	0.062892	1.311
	4th	0.036559	0.048045	1.314
	3rd	0.025039	0.03292	1.315
	2nd	0.013872	0.018229	1.314
	1st	0.004387	0.005762	1.313
	Base	0	0	
20%	12th	0.234316	0.297531	1.270
	11th	0.221924	0.281671	1.269
	10th	0.205031	0.259991	1.268
	9th	0.184357	0.233614	1.267
	8th	0.162283	0.205817	1.268
	7th	0.140511	0.178611	1.271
	6th	0.118691	0.151277	1.275
	5th	0.096224	0.122892	1.277

	4th	0.073345	0.093733	1.278
	3rd	0.050226	0.064139	1.277
	2nd	0.02782	0.035477	1.275
	1st	0.008797	0.011204	1.274
	Base	0	0	
30%	12th	0.351792	0.439082	1.248
	11th	0.333191	0.415757	1.248
	10th	0.307829	0.383855	1.247
	9th	0.276788	0.34495	1.246
	8th	0.243646	0.303826	1.247
	7th	0.210957	0.263511	1.249
	6th	0.178196	0.223019	1.252
	5th	0.144462	0.181037	1.253
	4th	0.110109	0.138	1.253
	3rd	0.075397	0.094395	1.252
	2nd	0.041759	0.052201	1.250
	1st	0.013204	0.016483	1.248
	Base	0	0	
50%	12th	0.584008	0.719183	1.231
	11th	0.553102	0.68115	1.232
	10th	0.510982	0.629078	1.231
	9th	0.459456	0.565386	1.231
	8th	0.40446	0.497822	1.231
	7th	0.350225	0.43146	1.232
	6th	0.295871	0.36483	1.233
	5th	0.239899	0.295869	1.233
	4th	0.182889	0.225344	1.232
	3rd	0.125262	0.154045	1.230
	2nd	0.069394	0.085151	1.227
	1st	0.021946	0.026879	1.225
	Base	0	0	
100%	12th	1.16759	1.400316	1.199
	11th	1.105795	1.326397	1.199
	10th	1.021584	1.225171	1.199
	9th	0.918571	1.101204	1.199
	8th	0.808622	0.96947	1.199

	7th	0.700195	0.839954	1.200
	6th	0.59153	0.709943	1.200
	5th	0.479632	0.575517	1.200
	4th	0.365656	0.438199	1.198
	3rd	0.250445	0.299502	1.196
	2nd	0.138747	0.165539	1.193
	1st	0.04388	0.05225	1.191
	Base	0	0	
120%	12th	1.401357	1.666017	1.189
	11th	1.327193	1.578079	1.189
	10th	1.226123	1.457681	1.189
	9th	1.102484	1.310221	1.188
	8th	0.97052	1.15346	1.188
	7th	0.840382	0.999301	1.189
	6th	0.709959	0.844569	1.190
	5th	0.575656	0.684626	1.189
	4th	0.438858	0.521287	1.188
	3rd	0.300579	0.356321	1.185
	2nd	0.166519	0.196967	1.183
	1st	0.052663	0.062177	1.181
	Base	0	0	

بينما يوضح الجدول (14) مقارنة لقيم قوة القص القاعدي ، حيث انخفضت نسبة الزيادة الناتجة عن استخدام التخامد المتغير من 31% عند الشدة 10% حتى 17.5% عند الشدة 120% .

الجدول (14) : قيم قوة القص القاعدي للإطار من اثنا عشرطابقاً عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	95.7791	125.5636	1.311
20%	191.9695	243.724	1.270
30%	288.1104	358.4539	1.244
50%	479.1129	584.1143	1.219

100%	958.0082	1135.25	1.185
120%	1149.733	1351.305	1.175

❖ **الإطار المؤلف من خمسة عشر طابقاً :**

بشكل مشابه لما سبق تم دراسة الإطار المؤلف من خمسة عشر طابقاً ، حيث يعرض الجدول (15) قيم الانتقالات الطابقية للاطار عند الشدات المختلفة مع مقارنة بين التخامد الثابت والمتغير .

نلاحظ من خلال الجدول السابق أن نسبة الزيادة في قيم الانتقالات تتناقص تدريجياً عند الشدة الزلزالية 10% من 13% عند الطابق الأول حتى 4.7% عند الطابق الخامس عشر ، مما يؤكد تناقص أثر التخامد المتغير على ارتفاع الطوابق . أيضاً نلاحظ تناقص في نسبة الزيادة مع انخفاض الشدة الزلزالية حيث وصلت نسبة الزيادة إلى 10% في الطابق الأول عند الشدة 120% .

الجدول (15) : قيم الانتقالات الأعظمية للإطار من خمسة عشر طابقاً عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (m) :

الشدة الزلزالية	story	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	15th	0.100166	0.104834	1.047
	14th	0.095468	0.09968	1.044
	13th	0.08962	0.093451	1.043
	12th	0.082842	0.086342	1.042
	11th	0.075704	0.078887	1.042
	10th	0.068692	0.071684	1.044
	9th	0.061677	0.064579	1.047
	8th	0.05442	0.057235	1.052
	7th	0.046967	0.049622	1.057
	6th	0.039399	0.041842	1.062
	5th	0.031822	0.034067	1.071
	4th	0.024102	0.026119	1.084
	3rd	0.016307	0.017934	1.100

	2nd	0.008802	0.009828	1.117
	1st	0.002698	0.003052	1.131
	Base	0	0	
20%	15th	0.189798	0.207972	1.096
	14th	0.180742	0.197766	1.094
	13th	0.169558	0.185397	1.093
	12th	0.156709	0.171295	1.093
	11th	0.143234	0.15652	1.093
	10th	0.130044	0.142226	1.094
	9th	0.116878	0.128109	1.096
	8th	0.10327	0.113518	1.099
	7th	0.089293	0.098411	1.102
	6th	0.075093	0.082986	1.105
	5th	0.060862	0.067562	1.110
	4th	0.046295	0.051767	1.118
	3rd	0.03146	0.035498	1.128
	2nd	0.01705	0.01942	1.139
	1st	0.005242	0.006021	1.149
	Base	0	0	
30%	15th	0.283212	0.312552	1.104
	14th	0.269673	0.29729	1.102
	13th	0.252968	0.278735	1.102
	12th	0.233792	0.257547	1.102
	11th	0.213694	0.235339	1.101
	10th	0.194028	0.213813	1.102
	9th	0.174404	0.19252	1.104
	8th	0.154123	0.170512	1.106
	7th	0.133292	0.14775	1.108
	6th	0.112125	0.124525	1.111
	5th	0.090908	0.101296	1.114
	4th	0.069181	0.077519	1.121
	3rd	0.047033	0.053079	1.129
	2nd	0.0255	0.028996	1.137
	1st	0.007842	0.008978	1.145

	Base	0	0	
50%	15th	0.472527	0.515952	1.092
	14th	0.449948	0.490847	1.091
	13th	0.422084	0.460275	1.090
	12th	0.390091	0.425336	1.090
	11th	0.356556	0.388682	1.090
	10th	0.323737	0.353077	1.091
	9th	0.290984	0.317795	1.092
	8th	0.257137	0.281324	1.094
	7th	0.22237	0.243657	1.096
	6th	0.187046	0.205277	1.097
	5th	0.151639	0.166906	1.101
	4th	0.115387	0.127643	1.106
	3rd	0.07844	0.08733	1.113
	2nd	0.042524	0.047666	1.121
	1st	0.013077	0.014747	1.128
	Base	0	0	
100%	15th	0.941663	1.018647	1.082
	14th	0.896611	0.969329	1.081
	13th	0.841044	0.90915	1.081
	12th	0.777282	0.840293	1.081
	11th	0.710471	0.767938	1.081
	10th	0.645105	0.697427	1.081
	9th	0.579884	0.627389	1.082
	8th	0.512487	0.554983	1.083
	7th	0.443256	0.480337	1.084
	6th	0.372912	0.404431	1.085
	5th	0.302397	0.328615	1.087
	4th	0.230172	0.251092	1.091
	3rd	0.156517	0.171614	1.096
	2nd	0.084874	0.093568	1.102
	1st	0.026106	0.02892	1.108
	Base	0	0	
120%	15th	1.128759	1.217709	1.079
	14th	1.074737	1.158831	1.078
	13th	1.008117	1.086961	1.078

	12th	0.931685	1.004692	1.078
	11th	0.851606	0.918194	1.078
	10th	0.773265	0.83383	1.078
	9th	0.695101	0.749983	1.079
	8th	0.614331	0.663296	1.080
	7th	0.531363	0.573965	1.080
	6th	0.447059	0.483173	1.081
	5th	0.362549	0.392522	1.083
	4th	0.275981	0.299864	1.087
	3rd	0.187685	0.20491	1.092
	2nd	0.101783	0.1117	1.097
	1st	0.031309	0.034519	1.103
	Base	0	0	

يعرض الجدول (16) قيم قوة القص القاعدي للاطار من خمسة عشر طابقاً مع اختلاف الشدة الزلزالية . ونلاحظ من خلال الجدول السابق أن نسبة الزيادة تنخفض من 17.6% حتى 11.8% مع زيادة الشدة الزلزالية من 10% حتى 120% .

الجدول (16) : قيم قوة القص القاعدي للإطار من خمسة عشر طابقاً عند الشدات الزلزالية المختلفة بواحدة (KN) :

الشدة الزلزالية	$\xi = 5\%$	$\xi(u'')$	$\xi(u'')/5\%$
10%	80.3117	94.4229	1.176
20%	157.446	185.3745	1.177
30%	235.7438	275.4018	1.168
50%	393.0469	451.3087	1.148
100%	785.1062	882.3935	1.124
120%	941.7489	1052.679	1.118

من خلال ماسبق يمكن تلخيص النتائج كما يلي :

1- يعطي استخدام أطياف إستجابة مستنتجة مع افتراض نموذج التخامد المتغير $\xi(u'')$ زيادة في قيم الانتقالات وقوى القص القاعدي ، مقارنة مع القيم المحسوبة بالاعتماد على أطياف الاستجابة المستنتجة مع افتراض نسبة تخامد ثابتة $\xi = 5\%$.

يتناقص هذا الفرق تدريجياً مع زيادة الشدة الزلزالية ، مما يعني أن تأثير التخامد المتغير يكون اكثر وضوحاً في الزلازل الضعيفة حيث تكون الاستجابات غير الخطية محدودة ، أما في الزلازل القوية يصبح السلوك اللاخطي هو المسيطر مما يقلل من تأثير التخامد المتغير .

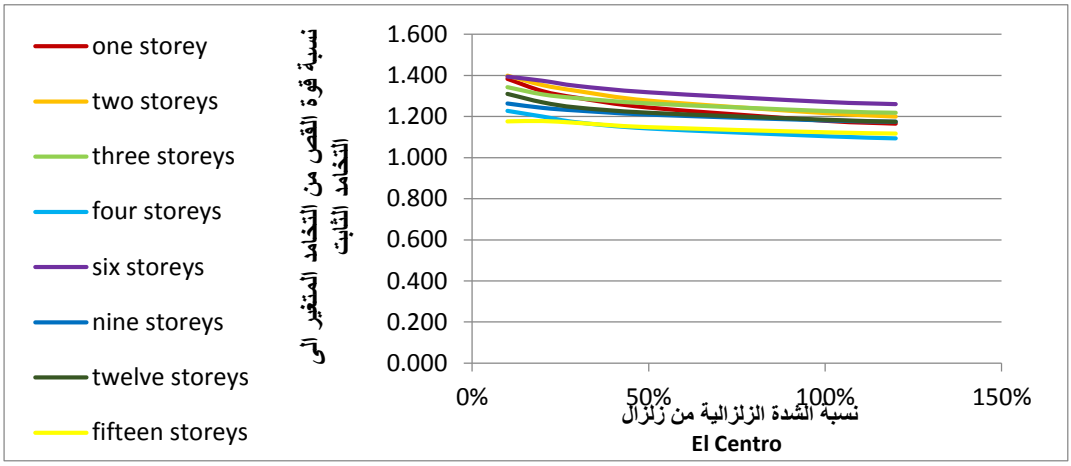
2- نلاحظ أن الأبنية القليلة الارتفاع (عدد الطوابق من 1 الى 4) تتأثر بشكل أكبر بتغيير نسبة التخامد حيث وصلت نسبة الزيادة في قوة القص الى 38.4% عند الشدة 10% .

مع زيادة عدد الطوابق ، ينخفض هذا الأثر تدريجياً ، حيث وصلت نسبة الزيادة الى 17.6% عند نفس الشدة للإطار من خمسة عشر طابقاً .ومع ذلك نلاحظ أن تأثير زيادة عدد الطوابق كان متقارب نسبياً ، بينما الاختلاف الأكبر يكون مع تغير الشدة الزلزالية .

يلخص الجدول التالي الفرق بقيمة قوة القص القاعدي بين التخامد المتغير والثابت مع تغير كل من عدد الطوابق والشدة الزلزالية :

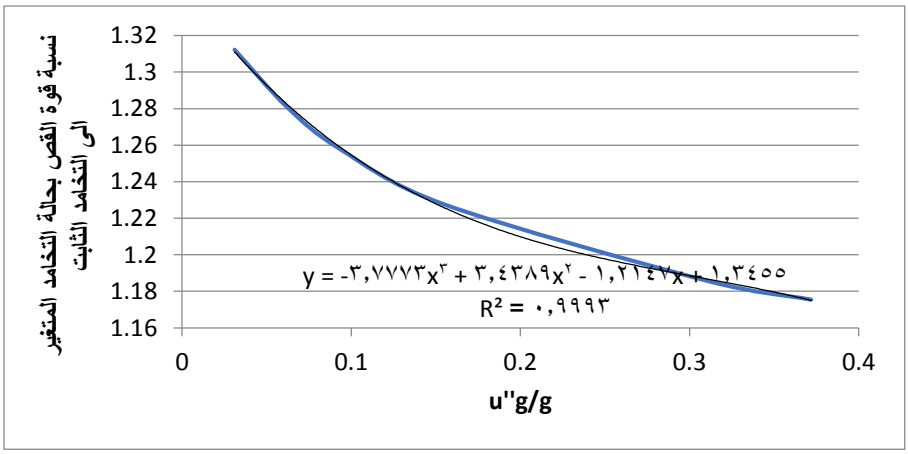
الجدول (17): الفرق بين قوى القص القاعدي بحالتي التخامد المتغير والثابت :

الشدة الزلزالية	عدد الطوابق							
	1	2	3	4	6	9	12	15
10%	1.384	1.399	1.343	1.228	1.395	1.263	1.311	1.176
20%	1.324	1.353	1.308	1.200	1.374	1.242	1.270	1.177
30%	1.291	1.324	1.289	1.171	1.349	1.229	1.244	1.168
50%	1.244	1.277	1.264	1.142	1.318	1.209	1.219	1.148
100%	1.180	1.216	1.227	1.104	1.271	1.181	1.185	1.124
120%	1.166	1.199	1.218	1.093	1.260	1.175	1.175	1.118



الشكل5: نسبة قوة القص القاعدي بحالة التخامد المتغير الى القوة بحالة التخامد الثابت مع اختلاف عدد الطوابق واختلاف الشدة الزلزالية

من خلال الشكل 5 نلاحظ أن الفروقات متقاربة بغض النظر عن عدد الطوابق وبالتالي يمكن التعبير عن هذه الفروقات بحزمة وسطية وفق الشكل التالي :



الشكل 6: متوسط الفرق بين قوة القص القاعدي بحالة التخامد المتغير الى القوة بحالة التخامد الثابت مع تغير الشدة الزلزالية

تم اقتراح علاقة رياضية تربط بين الشدة الأعظمية للسجل الزلزالي المطبق منسوبة الى تسارع الجاذبية الأرضية والمعامل m والذي يمثل مقدار الزيادة في القيم التصميمية بين التخامد المتغير والثابت وتوصف هذه العلاقة بالمعادلة التالية :

$$m = -3.7773(U_g''/g)^3 + 3.4389(U_g''/g)^2 - 1.2147(U_g''/g) + 0.3455 \ldots [1]$$

وبالتالي من خلال العلاقة السابقة يمكن الحصول على نسبة تخامد مكافئة بحيث أن اعتمادها في التحليل سوف يعطي نتائج متقاربة مع النتائج في حال تم التحليل باعتماد نسبة تخامد متغيرة ومتعلقة بتسارع الاستجابة :

$$\xi_{eq} = 0.05 \times (1 - m) \ldots [2]$$

بهدف التحقق من إمكانية استخدام العلاقة السابقة تم تحليل الإطار التجريبي الوارد في الدراسة المرجعية رقم [4] عند الشدات الزلزالية 0.07g و 0.014g و 0.19g .

الإطار المدروس هو عبارة عن اطار مستوي من البيتون المسلح مؤلف من فتحتين وثلاثة طوابق ((ارتفاع الطوابق 3.5m والمجازات 5m) ، تم تصغير الإطار السابق بمقياس 1/3.33 للحصول على نموذج مخبري يتناسب مع قدرة طاولة الاهتزاز المتوفرة ويظهر الشكل [7] الأبعاد الهندسية للنموذج المخبري.

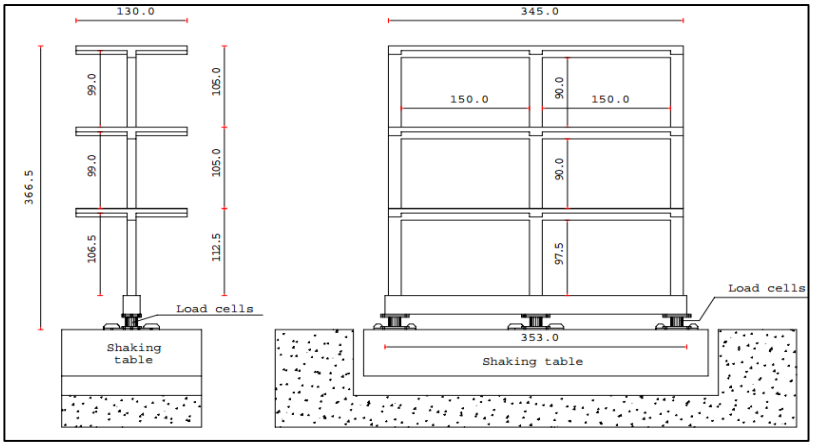
مقاطع الأعمدة كانت (الارتفاع 150 mm والعرض 105 mm) ومسلحة بتسليح طولي (3+3) قطر 4mm وتسليح عرضي قطر 4mm بتباعدات 50mm .

مقاطع كافة الجوائز كانت بشكل Tee أبعادها (60+90) ارتفاع، و (50+105+50) عرض.

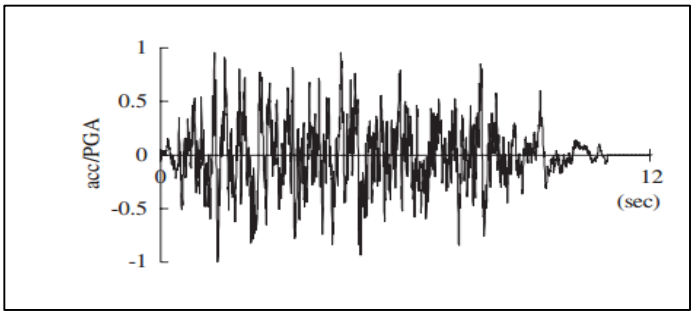
تسليح الجوائز بمنطقة العقد كان (7Top+5Bottom) بقطر 4mm كتسليح طولي ، بينما التسليح العرضي فكان بقطر 4mm وبتباعدات 50mm .

صمم الإطار وفق الكود الأوربي Ec8 مع الأخذ بعين الاعتبار تصنيف الاطارات منخفضة المطاوعة والتي تبدي آلية انهيار عمود ضعيف–جائز قوي .

تم تعريض النموذج الى سجل زلزالي متوافق مع طيف الاستجابة الخاص بالكود الأوربي مع تغيير نسبة الشدة الزلزالية بشكل تدريجي حتى الانهيار (0.07g ، 0.14g ، 0.19g ، 0.28g) حيث انهار النموذج عند شدة 0.28g .



الشكل 7 : الأبعاد الهندسية للإطار المختبر في الدراسة المرجعية [4] .



الشكل 8 : سجل الحركة لطاولة الاهتزاز في الدراسة المرجعية [4] .

يوضح الجدول (18) قيم نسبة التخامد المكافئة المعتمدة في التحليل باستخدام برنامج ETABS والمحسوبة من العلاقة المقترحة اعتماداً على قيمة الشدة الزلزالية المطبقة على النموذج .

الجدول (18) : قيم نسبة التخامد المكافئة المستنتجة من العلاقة المقترحة

الشدة الأعظمية للسجل المطبق منسوبة الى تسارع الجاذبية	قيمة معامل التصحيح	*نسبة التخامد المكافئة المقترحة*
U_g''/g	m	ξ_{eq}
0.07	0.276	3.62%
0.14	0.232	3.84%
0.19g	0.213	3.9%

تم اجراء التحليل المرن للاطار التجريبي عند الشدة الزلزالية 0.07g باعتماد طريقة Modal Time History ،حيث تبين من النتائج التجريبية أن سلوك الاطار عند هذه الشدة يبقى مرناً .

تم تحليل الاطار باستخدام برنامج ETABS مرة بإدخال نسبة تخامد ثابتة 5% ومرة بإدخال نسبة التخامد المكافئة ، وتم في الجدولين (19) و (20) مقارنة الانتقالات الأعظمية الناتجة مع القيم التجريبية ومع قيم الانتقالات الناتجة عن تحليل الاطار بنفس طريقة التحليل ولكن بإدخال نموذج التخامد المتغير والمتعلق بتسارع الاستجابة عبر برامج خاصة تم تصميمها لهذا الهدف [7] .

الجدول (19): قيم الانتقالات الطابقية الناتجة عن التحليل عند الشدة الزلزالية 0.07g بواحدة (mm)

رقم الطابق	القيم التجريبية	النتائج التحليلية		
		تخامد ثابت	تخامد متغير متعلق بتسارع الاستجابة	*نسبة التخامد المكافئة*
	Exp	5%	$\xi(u'')$	ξ_{eq}
1	2.30032	1.476	1.717	1.645
2	3.70607	3.044	3.539	3.4
3	4.7284	3.988	4.646	4.455

الجدول (20) :نسبة الانتقالات التحليلية إلى التجريبية عند الشدة الزلزالية 0.07g

رقم الطابق	تخامد ثابت	تخامد متغير متعلق بتسارع الاستجابة	*نسبة التخامد المكافئة*	*نسبة التخامد المكافئة / التخامد المتغير*
	5%	$\xi(u'')$	ξ_{eq}	$\xi_f/\xi(u'')$
1	64.16%	74.64%	71.51%	95.8%
2	82.14%	95.5%	91.74%	96.06%
3	84.34%	98.26%	94.22%	95.89%

يتضح من الجدول (20) أن استخدام نسبة التخامد المكافئة المقترحة في هذا البحث أعطت نتائج متقاربة مع استخدام نموذج التخامد المتغير مع الزمن ، وهذا يؤكد أنه من الممكن استخدام هذا الأسلوب لإدخال تأثير التخامد المتغير على التحليل في برنامج ETABS .

من خلال النتائج التجريبية لاختبار الاطار السابق ، تبين انه يسلوك سلوكاً لاخطياً عند الشدات 0.14g و 0.19g وبالتالي لتحليل الاطار عند هذه الشدات تم إستخدام طريقة Nonlinear Direct Integration Time History باعتماد نموذج تخامد رايلي مرة باستخدام نسبة التخامد الثابتة 5% ومرة باستخدام نسبة التخامد الفعالة المناسبة لكل شدة بهدف حساب معاملات الكتلة والصلابة اللازمة . تم مقارنة قيم الانتقالات الاعظمية في الطابق العلوي الناتجة عن التحليل مع النتائج التجريبية ، كما هو موضح في الجداول (21) و (22) :

الجدول(21) : قيم الانتقالات الاعظمية في الطابق الثالث عند الشدة الزلزالية 0.14g و 0.19g بواحدة (mm)

الشدة الزلزالية المطبقة على النموذج	القيم التجريبية	تخامد ثابت	*نسبة التخامد المكافئة*
	Exp	$\xi = 5\%$	ξ_{eq}
0.14g	12.57	10.31	11.123
0.19g	18.515	14.612	15.585

الجدول(22) : نسبة الانتقالات التحليلية إلى التجريبية في الطابق الثالث عند الشدة الزلزالية 0.14g و 0.19g

الشدة الزلزالية	$5\%/EXP$	ξ_{eq}/EXP
0.14g	82.02%	88.45%
0.19g	78.9%	84.175%

نلاحظ من خلال الجداول السابقة أن الاعتماد على نسبة التخامد المكافئة المستنتجة من الطريقة المقترحة في حساب معاملات نموذج تخامد رايلي المستخدم في التحليل اللاخطي الزلزالي بطريقة التكامل المباشر أعطى نتائج أقرب للنتائج التجريبية من استخدام النسبة 5% .وهذا يتوافق مع التوصيات والدراسات الحديثة التي تنصح باستخدام نسب تخامد صغيرة (بين 2% و3%) عند تعريف معاملات رايللي في النماذج اللاخطية لتفادي التضخيم غير الواقعي للطاقة الممتصة (**Chopra, A. K. (2017**) . كما تؤكد توصيات NEHRP و ASCE 7-16 على ضرورة مراعاة هذا الجانب عند إجراء تحليلات استجابة ديناميكية لاخطية لتقدير دقيق لمستوى الأداء الزلزالي .

[5] النتائج :

1- تحليل سلوك المنشآت باعتماد نسبة تخامد متغيرة يعطي زيادة في قيم الانتقالات وقوة القص القاعدي وبالتالي الجهود الداخلية عن حلة استخدام التخامد الثابت .
2- تتناقص نسبة الزيادة في القوى والانتقالات بإدخال تأثير التخامد المتغير مع زيادة الشدة الزلزالية .
3- لايؤثر عدد الطوابق بشكل كبير على نسبة الفرق بين التخامد المتغير والثابت .
4- تم اقتراح قيمة لمعامل تصحيح لنسبة التخامد الثابتة m يمكن استخدامه للحصول على نسبة تخامد مكافئة ، حيث تتعلق قيمة هذا المعامل بالشدة الزلزالية المطبقة على المنشأ.

5- تحليل الإطار التجريبي باستخدام طرق التحليل الزلزالي المعتمدة في برنامج ETABS مع إدخال نسبة التخامد المكافئة المقترحة في هذا البحث أعطت نتائج أقرب إلى النتائج التجريبية من استخدام نسبة التخامد الثابتة التقليدية (وهي عادة 5%) .

[6] المراجع :

[1] Al Sehnawi, R., Nakajima, A., Takeshima, R., & Al Sadeq, H. (2014). Experimental investigation of amplitude dependency of dynamic characteristics in elastic and inelastic stages of reinforced concrete pier model. Journal of Civil Structural Health Monitoring, 4(4), 289–301.

[2] Chen, G.-W., Beskhyroun, S., & Omenzetter, P. (2016). Experimental investigation into amplitude-dependent modal properties of an eleven-span motorway bridge. Engineering Structures, 107, 80–100.

[3] Chopra, A. K. (1995). Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering. Prentice Hall.

[4] Dolce, M., Ponzo, F. C., Di Cesare, A., & Marino, L. (2005). Shaking table tests on reinforced concrete frames without and with passive control systems. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 34(14), 1687–1717.

[5] Kowalsky, M. J., Priestley, M. J. N., & MacRae, G. A. (1994). Displacement-based design: A methodology for seismic design applied to single degree of freedom reinforced concrete structures (Report No. SSRP-94/16). University of California, San Diego.

[6] Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., & Kowalsky, M. J. (2007). Displacement-based seismic design of structures. IUSS Press.

[7] إبراهيم،مريم.(2024) . تأثير تغير التخامد مع تسارع الإستجابة على التحليل الزلزالي لإطار من البيتون المسلح . مجلة جامعة البعث ،سلسلة العلوم الهندسية،جامعة حمص ، سورية .

[8] غصون، ميس. (2020). *دراسة تحليلية لتأثير تغير سعات الاهتزاز في الخصائص الديناميكية للجسور البيتونية المسلحة (رسالة دكتوراه غير منشورة). جامعة البعث، سوريا.*

تحليل هيدروغرافات آبار المياه الجوفية في منطقة الغوطة الشرقية وتحديد قيم التغذية الجوفية المتوقعة

اعداد الباحثة: هيا علي مندو[1]

المشرف الرئيسي: د.م محمود السباعي[2] المشرف المشارك:أ.د.م معن سلامة[3]

ملخص البحث:

تُعبر مناسيب المياه الجوفية المقيسة في آبار الرصد على المدى الطويل عن سلوك الطبقة الجوفية تحت الاجهادات المختلفة الممثلة بالتغذية والتصريف والجريان الجانبي. وللوصول الى إدارة مستدامة لهذا المصدر المهم لابد من تحقيق توازن بين تغذية المياه الجوفية، وتصريفها. تشكل المياه الجوفية للحامل المائي الحر في منطقة الغوطة الشرقية بريف دمشق مصدراً رئيسياً لمياه الري والشرب، وهي تتغذى بشكل رئيسي من الهطول المطري والمياه العائدة من الري ونتيجة لمحدودية البيانات المتاحة كان لا بد من التوصل الى منهجية مناسبة لتقدير التغذية للمياه الجوفية.

تم اجراء دراسة تحليلية للبيانات المتوفرة في الغوطة الشرقية حيث قسمت منطقة الدراسة الى أربع قطاعات رئيسية وتم تحديد العوامل الرئيسية المؤثرة في التغذية الجوفية لكل قطاع، وقد بينت النتائج تأثير هذه العوامل الممثلة بالراشح من الهطول المطري والري و الراشح من سرير نهر بردى وشبكة أقنية الري من محطة المعالجة بعدرا، في تغير مناسيب المياه الجوفية. أوضح تحليل هيدروغراف الآبار أن الوضع الجوفي شهد مرحلة تعافي واستقرار استمرت لمدة تقارب الثلاث إلى الأربع سنوات بعد عام 2017، لتشهد بعدها معظم الآبار انخفاض تدريجي في المناسيب المائية، وبعضها انخفاض حاد قد يؤدي إلى استنزاف الطبقة الجوفية مالم يتم اتخاذ الاجراءات اللازمة من قبل الجهات المعنية لتنظيم عملية حفر الآبار بشكل عشوائي ومنع السحب الجوفي الجائر.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، التغذية الجوفية، الغوطة الشرقية، نهر بردى

1. طالبة دكتوراه، قسم هندسة وإدارة الموارد المائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حمص
2. أستاذ مساعد، قسم هندسة وإدارة الموارد المائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حمص

3. أستاذ، قسم هندسة وإدارة الموارد المائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حمص

Analyzing the Hydrographs of Groundwater Wells in The Eastern Ghouta Region and Determining the Expected Groundwater Recharge Values

the researcher: Haya Ali Mando[1]

Main supervisor: Dr. Mahmoud Al-Sebai[2]

Co-supervisor: Prof. Dr. Maan Salama[3]

Abstract

Groundwater levels measured from long-term monitoring wells reflect the behavior of the aquifer under different stresses resulted from recharge, discharge, and lateral flow. In order to achieve sustainable management of this important source, a balance must be achieved between groundwater recharge, and discharge. Groundwater in the eastern Ghouta area of rural Damascus is a major source of irrigation and drinking water, and it is mainly fed by rainfall, and returned water from irrigation. Due to the limited data available, it was necessary to find a suitable methodology for estimating groundwater recharge.

An analytical study was carried out on the available data in Eastern Ghouta. The study area was divided into four main sectors and the main factors affecting groundwater recharge in each sector were identified. The results showed the impact of these factors (represented by infiltration from rainfall and irrigation, leakage from the Barada River bed and the irrigation canals network from Adra treatment plant) on the flocculation of groundwater levels

The hydrograph analysis of the wells showed that the groundwater situation witnessed a recovery and stability phase that lasted for a period of approximately three to four years after 2017, after which most wells witnessed a gradual decrease in water levels, and some of them a sharp decrease that may lead to the depletion of the groundwater aquifer unless the necessary measures are taken by the concerned authorities to regulate

the process of random well drilling and prevent groundwater overexploitation.

Keywords: Groundwater, groundwater recharge, Eastern Ghouta, Barada River.

---

[1]phD student, Faculty of Civil Engineering, Homs university, Syria
[2] Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Homs University, Syria
[3] Professor, Faculty of Civil Engineering, Homs University, Syria

1- مقدمة:

تُعد المياه الجوفية في منطقة الدراسة مصدراً رئيسياً للري ولتوفير مياه الشرب لعدد كبير من التجمعات السكانية المنتشرة في دمشق وريفها. تواجه هذه الموارد تحديات كبيرة نتيجة الحفر العشوائي للآبار والضخ الجائر مما يؤدي إلى استنزاف الطبقات الجوفية بمعدلات لا يمكن تعويضها فتكون كمية المياه التي تُضخ وتُستهلك أكبر من كمية المياه التي تُغذي الخزان الجوفي. يُضاف إلى ذلك، الضغوط الناجمة عن التغير المناخي الذي يزيد من تكرار حدوث حالات الجفاف، كما أن التغيرات في الأنشطة البشرية والزراعية والتوزع السكاني بعد عام 2011 أثر بشكل ملحوظ على الموارد الجوفية. لذلك تكتسب دراسة تحليل مستويات المياه الجوفية أهمية كبيرة، حيث تعكس التأثيرات الطبيعية كالراشح من الهطول المطري والقرب والبعد من الشبكة النهرية والعوامل الاصطناعية كالري والضخ من الطبقة المائية [2]. ولتقييم الوضع المائي الجوفي في حوض دمشق تم رصد شبكة من الآبار البيزومترية منذ عام 1986 بهدف المراقبة الدورية لأعماق المياه الجوفية ودراسة تغيراتها مع الزمن[13]. ونتيجة للتغيرات الحادة في توزع النشاطات البشرية والزراعية التي شهدتها منطقة الدراسة أصبح لا بد من اجراء تحليل للبيانات المتوافرة بهدف فهم الواقع الجوفي حالياً والمساعدة على التنبؤ بما سيؤول اليه الوضع الجوفي مستقبلاً.

2- هدف البحث:

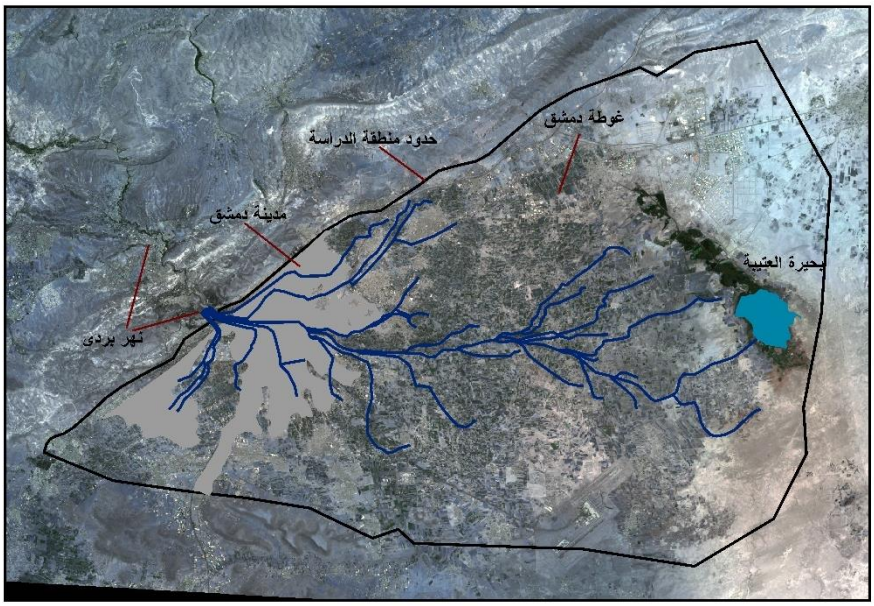
تقييم واقع المياه الجوفية الحالي للحامل المائي الحر(حامل الرباعي الأعلى والحديث) في منطقة الغوطة الشرقية (مساحياً وقطاعياً) في ظل محدودية البيانات ما بعد عام 2011.

3- مواد وطرائق البحث:

3-1 الخصائص الطبيعية والمناخية لمنطقة الدراسة:

أ- الموقع الجغرافي

تقع الغوطة الشرقية في الجزء السهلي الشرقي من حوض بردى والاعوج التي تمتد من السفوح الشرقية لسلسة جبل قاسيون غرباً وحتى موقع بحيرة العتيبة شرقاً وبمساحة تقدر بحوالي $980km^2$ ، وتعتبر من أكثر المناطق فعالية من الناحيتين الاجتماعية والاقتصادية كونها تحتضن مدينة دمشق وجزءاً من التجمعات السكانية الكبيرة في ريف دمشق وتتركز فيها زراعة الأشجار المثمرة والخضراوات والمحاصيل الاستهلاكية[6]، كما تتضمن جميع المناطق التي تروى بمياه نهر بردى وقنواتها الرئيسة والفرعية بعد خروجها من مدينة دمشق وتقع ضمنها أيضاً محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة دمشق في عدرا التي تغذي شبكة أقنية الري بالمياه المعالجة (الشكل: 1).



الشكل(1): حدود منطقة الدراسة في سهل الغوطة مع نهر بردى وفروعه.

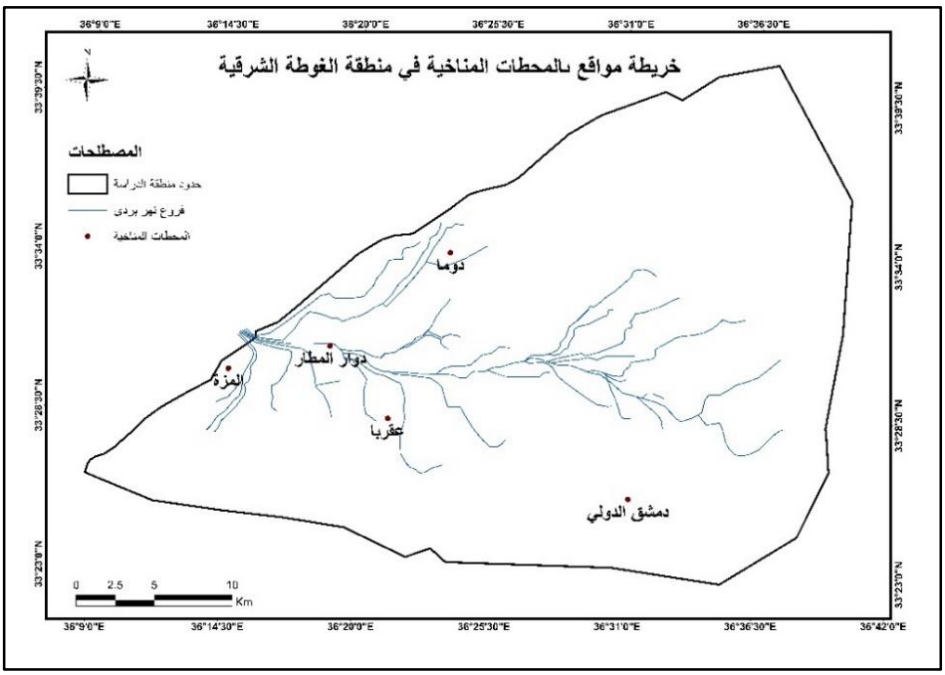
ب- الخصائص المناخية:

1. الهطول المطري **Precipitation** :

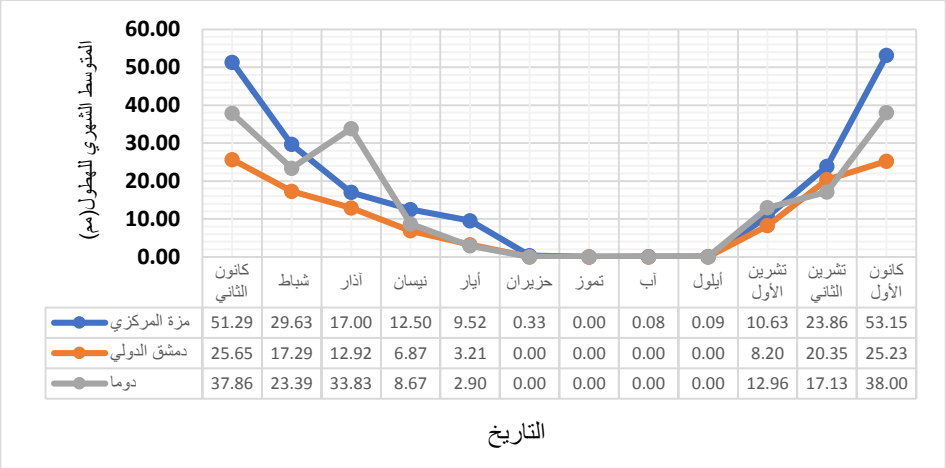
تتميز منطقة الدراسة بهطول مطري محدود مع تدرج بالقيم يتوافق مع الارتفاع الطبوغرافي للمنطقة أي تتناقص القيم كلما اتجهنا نحو الشرق[3]، يبين الشكل (2) محطات الرصد المناخية الموزعة ضمن منطقة الدراسة وهي (دوما، المزة، عقربا، دمشق الدولي، دوار المطار) [7]، ويبين الجدول (1) الارتفاع الطبوغرافي للمحطات المناخية ضمن منطقة الدراسة، أما الشكل (3) يبين المعدلات الشهرية الوسطية للهطولات المطرية من عام 2010 حتى عام 2023 في هذه المحطات.

الجدول(1): احداثيات المحطات المناخية والارتفاع الطبوغرافي لها

الرقم التسلسلي	اسم المحطة المناخية	X UTM	Y UTM	Z(متر)
1	دوما	258263	3717410	666
2	مزة المركزي	244034	3710020	786
3	دوار المطار	250553	3711440	685
4	دمشق الدولي	269522	3701492	607
5	عقربا	254245	3706790	658



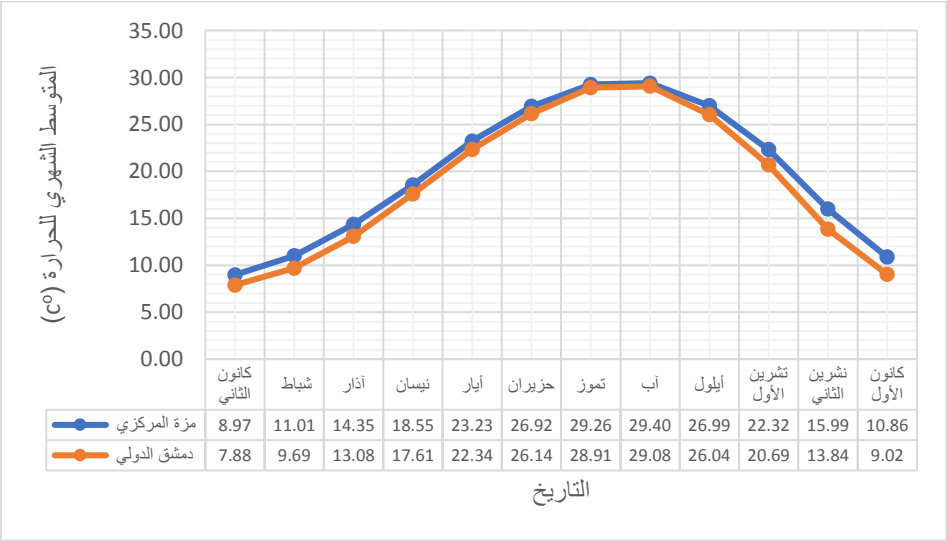
الشكل(2): مواقع المحطات المناخية في منطقة الدراسة



الشكل (3) المعدلات الشهرية الوسطية للهطولات المطرية في المحطات المناخية من عام 2010 حتى عام 2023

2. درجات الحرارة Temperature:

تتفاوت درجات الحرارة من منطقة الى أخرى حسب الارتفاع عن سطح البحر، وتتراوح عموماً ما بين c^o (19.8–40.8) في فصل الصيف و c^o (7–12) في فصل الشتاء[3] ، ويبين الشكل (4) درجات الحرارة المأخوذة من محطة مزة المركزي ودمشق الدولي [7].



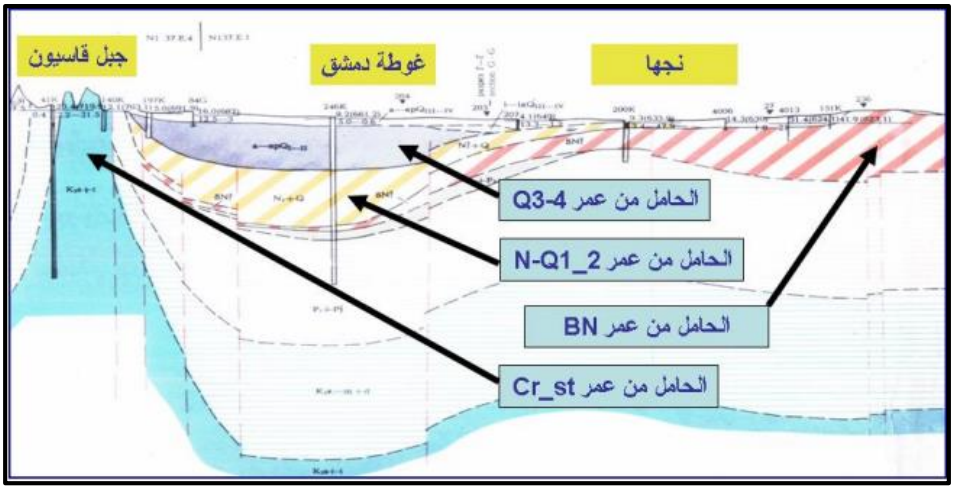
الشكل (4):المتوسط الشهري لتغير درجات الحرارة من عام 2010 حتى عام2023

ت- الخصائص الهيدروجيولوجية:

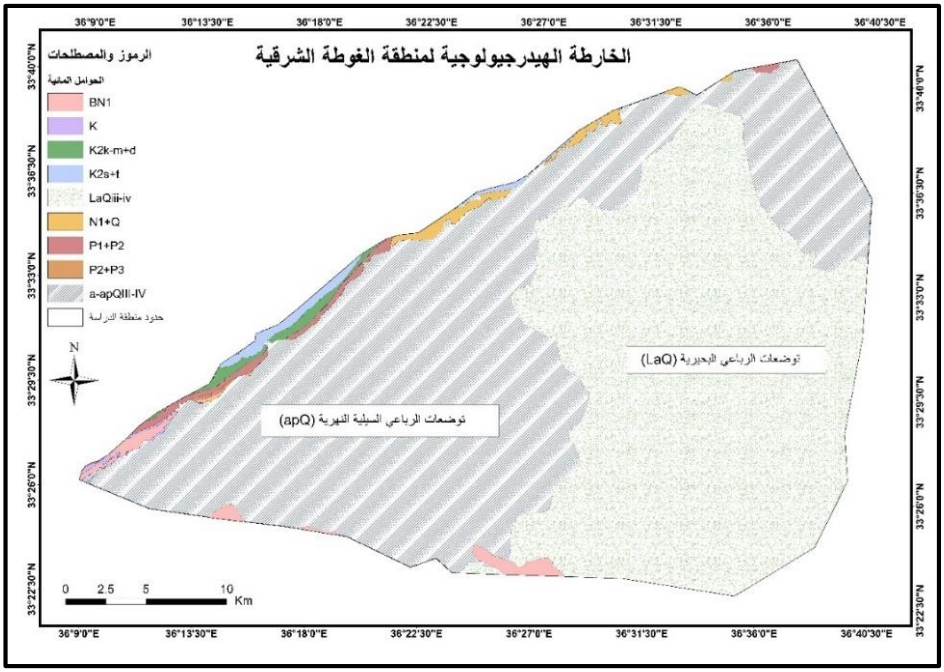
يتضمن حوض دمشق طبقتين مائتين رئيسيتين: الأولى تتكشف في المناطق الجبلية من عمر الكريتاسي الأعلى، والثانية تقع في منخفض دمشق وتعود لعمر النيوجين والرباعي ويعتبر حامل الرباعي بسماكة وسطية 400 م من أهم الحوامل المائية في الغوطة والتي تتميز بخصائص هيدروليكية عالية [4] ، يمكن تقسيم حامل الرباعي من الناحية الجيولوجية الى نوعين من التوضعات: التوضعات النهرية السيلية من عمر (apQ3_4) التي تمتد من سفح جبل قاسيون باتجاه منخفض دمشق محتلاً محيط مدينة دمشق ، تتميز هذه الصخور بخواص رشحية عالية حيث قيم معامل الناقلية المائية الوسطية تقدر بحوالي 900 م^2/يوم.

بينما تتكشف التوضعات البحيرية الرباعية من عمر (laQ3_4) على الجزء الشرقي من غوطة دمشق الشرقية، تتراوح سماكتها ما بين 50 إلى 100م ، وتصل قيم الناقلية المائية الى حوالي 450 م^2/يوم وتقوم على هذا الحامل معظم الانشطة الزراعية في منطقة الغوطة.

ويمكن من الناحية الهيدروجيولوجية التمييز بين أربع تشكيلات متمايزة عن بعضها، وكل تشكيلة تشكل بحد ذاتها طبقة مائية لها امتداداً مكانياً معيناً وتمتلك خصائص هيدروليكية متشابهة، وتتكون بالمجمل من تكتلات رسوبية من الحصى والرمال تتناقص أبعادها كلما اتجهنا شرقاً لتصبح على شكل رسوبيات غضارية رملية بالقرب من بحيرة العتيبة والتي تمثل رسوبات الرباعي الحديث. يوضح الشكل (5) مقطع هيدروجيولوجي مار ضمن منطقة الغوطة بدءاً من جبل قاسيون- منطقة الربوة مروراً بمنطقة جرمانا وينتهي في منطقة نجها، ويوضح الشكل (6) الخريطة الهيدروجيولوجية في منطقة الدراسة.



الشكل (5): مقطع هيدروجيولوجي في غوطة دمشق يمر من جبل قاسيون– الغوطة(منطقة جرمانا)– منطقة نجها



الشكل (6): الخارطة الهيدروجيولوجية في منطقة الدراسة [13]

3-2 الدراسات المرجعية:

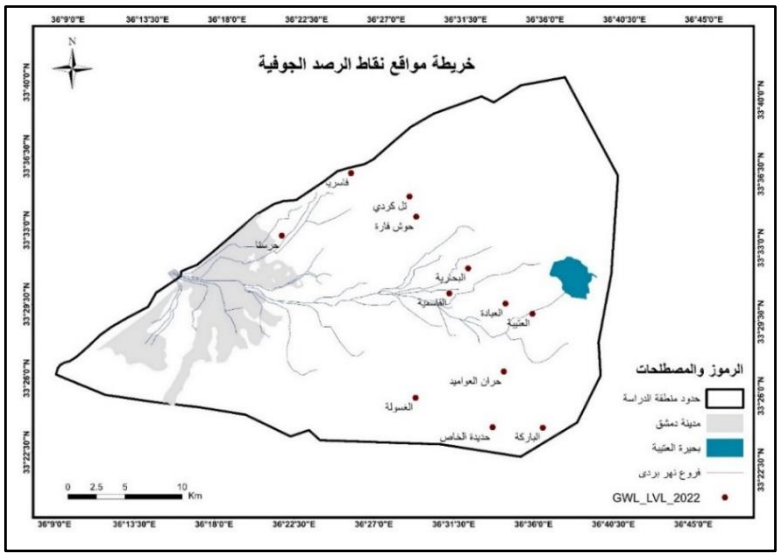
نُفذت العديد من الدراسات المائية في حوض دمشق من قبل جهات مختلفة بهدف دراسة الموارد المائية في الحوض[10,15,4]. ومن أهمها الدراسة الهيدروجيولوجية التي قام بها الجانب السوفييتي عام 1974 في حوض دمشق بهدف تقدير الاحتياطي الاستثماري للمياه الجوفية في المنطقة من خلال القيام بمجموعة من الأعمال الجيولوجية والهيدروجيولوجية المتضمنة أعمال الحفر وتجارب الضخ لدراسة واقع المياه الجوفية العميقة في غوطة دمشق وتم دراسة المصادر الرئيسية لتغذية المياه الجوفية عام 1986 وتحديد الموازنة المائية للحوض [13]. فيما قام المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (ACSAD) عام 2008 ببناء نموذج رياضي لحركة المياه الجوفية في حوض دمشق بهدف دراسة الادارة المثلى لموارد المياه الجوفية في سهل دمشق وحمايتها من الاستنزاف، حيث تم دراسة نظام حركة المياه الجوفية في المنطقة واعداد خرائط تساوي مناسيب المياه الجوفية خلال الفترة الزمنية(2000-2004) وقد بينت النتائج التدهور الكمي الذي بدأت تشهده بعض المناطق من حيث انخفاض مناسيب المياه الجوفية والذي يتم استعاضته خلال السنوات المطيرة[3]. ومن ثم درس الباحث قاسم نتوف "تطور الميزان المائي في الغوطة باستخدام مجموعة من الطرق لرصد التبدلات والتغيرات الزمانية والمكانية التي طرأت عليها خلال فترة ثلاثين عاماً (1990-2011)، وقد بينت هذه الدراسة مراحل الاستقرار والهبوط المختلفة التي مر بها الخزان المائي الجوفي في غوطة دمشق الشرقية[6].

3-3 طرائق البحث:

تم الحصول على البيانات المتعلقة بشبكة الرصد الهيدروجيولوجية التي تشمل قياسات لأعماق المياه الجوفية أجريت باشراف وزارة الموارد المائية، حيث يتوزع في منطقة الدراسة حوالي 35 بئر بيزومتري تخترق توضعات حامل الرباعي الأعلى والحديث وكونغلوميرا النيوجين المبينة في الشكل (7). تغطي قياسات بعض هذه الآبار فترة زمنية تبلغ عشر سنوات (2000-2011) وبعضها يغطي فترة زمنية تشمل الفترة السابقة يضاف اليها الأعوام من (2018-2023) وهنا نلاحظ غياب فترة المراقبة خلال الأعوام (2012-2017) في جميع آبار الرصد. وقد اقتصرت المراقبة الدورية لاعماق

المياه الجوفية من عام 2018 الى وقتنا الحالي على مجموعة محدودة جداً من آبار الرصد المبينة في الشكل (8) مواقع نقاط آبار الرصد الجوفي للآبار المتاحة حالياً[9].

الشكل (7): مواقع نقاط الرصد الجوفي



الشكل (8): مواقع نقاط الرصد الجوفي للآبار الموجودة (من عام 2018)

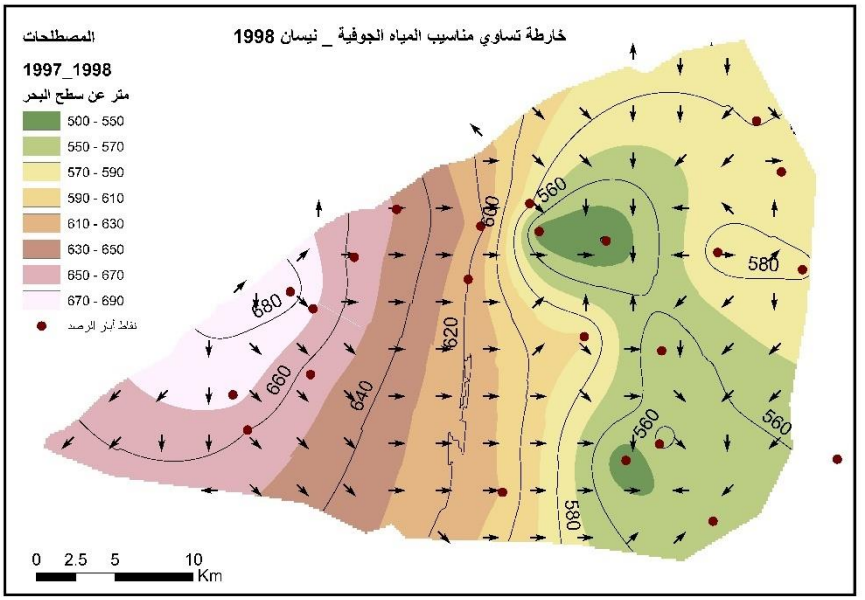
نتيجة لتحليل البيانات المتوفرة تبين وجود عدة فجوات تتعلق بكمية ونوعية البيانات الجوفية الخاصة بآبار الرصد في منطقة الدراسة، يعود أحد الأسباب الرئيسية لذلك إلى عدم امكانية اجراء قياسات حقلية لابار الرصد في منطقة الغوطة الشرقية خلال الفترة الزمنية (2011–2018). وبالتالي تم اعتماد المنهجية التالية في تحليل الواقع الجوفي في منطقة الغوطة الشرقية :

- مساحياً، لتحديد حركة المياه الجوفية من خلال رسم خرائط تساوي مناسيب المياه الجوفية باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS خلال الفترات الزمنية التي تتوفر فيها بيانات كافية وقراءات شهرية لمنسوب المياه الجوفية في آبار الرصد وتم اختيار الأعوام الهيدرولوجية (1997–1998)، (2001–2002)، (2003–2004)، (2010–2011).
- قطاعياً، تقسيم منطقة الدراسة الى أربع قطاعات جوفية بحيث يحتوي كل قطاع على مجموعة من الآبار البيزومترية التي تمتلك خصائص متشابهة من حيث نوع الطبقة الجوفية والمعطائية المائية والبعد والقرب عن الشبكة النهرية، ومن حيث تغير مناسيب المياه الجوفية مع الزمن (هيدروغراف البئر) وتحليل هيدروغرافات الآبار.

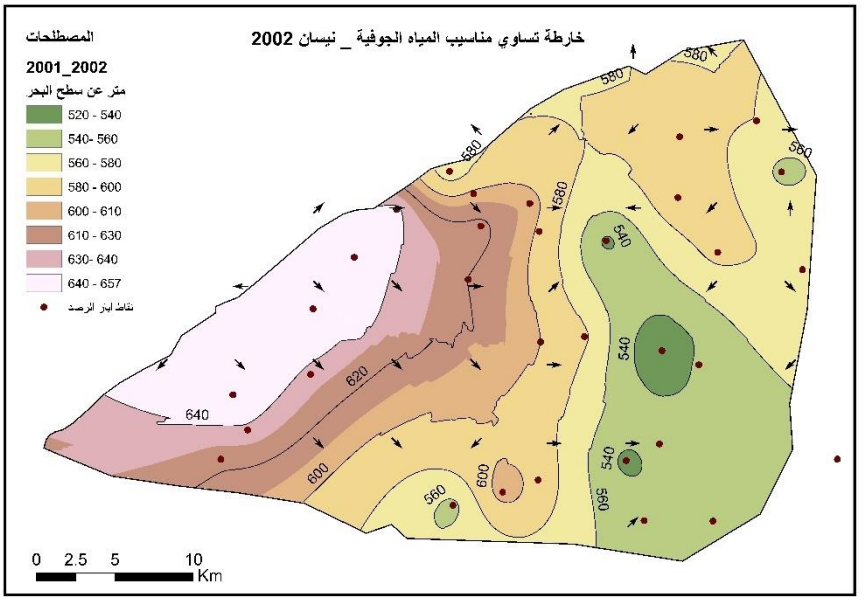
4– النتائج والمناقشة:

4–1 دراسة تغير مناسيب المياه الجوفية مساحياً (1998–2011):

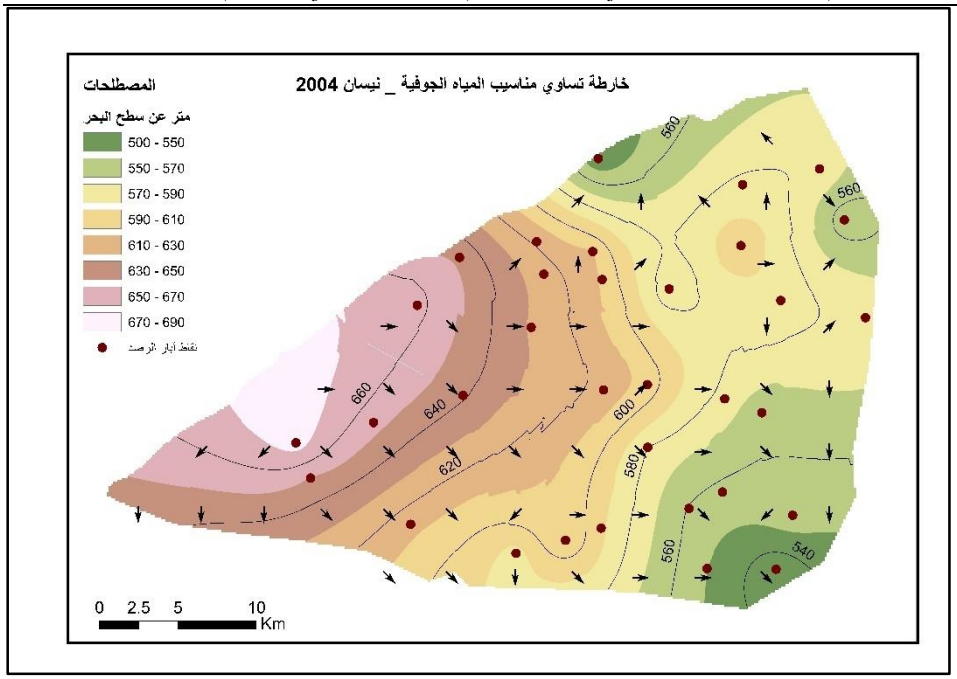
تم تحليل تغيرات مناسيب المياه الجوفية في منطقة الدراسة باستخدام أداة التحليل المكاني Spatial Analysis Tools ضمن برنامج ArcGIS وتم اختيار أحد أدوات الاستيفاء المكاني (kriging) لرسم خرائط تساوي مناسيب المياه الجوفية على مدى فترات زمنية مختلفة اعتماداً على البيانات المتاحة، يبين الأشكال (9–10–11–12) مناسيب المياه الجوفية لشهر نيسان الذي يعتبر الشهر الاعظمي والمناسب في رصد تغيرات المناسيب الجوفية إضافة الى توافر بيانات شهر نيسان في جميع آبار الرصد للاعوام (1998–2011).



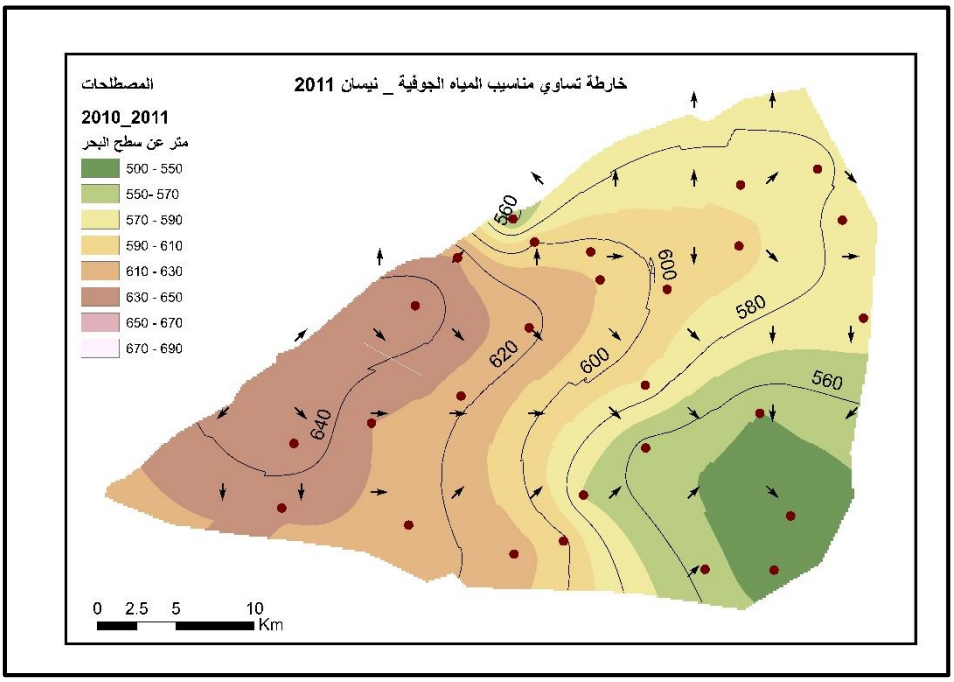
الشكل(9): مناسيب المياه الجوفية لشهر نيسان لعام 1998



الشكل(10): مناسيب المياه الجوفية لشهر نيسان لعام 2002



الشكل(11): مناسيب المياه الجوفية لشهر نيسان لعام 2004



الشكل(12): مناسيب المياه الجوفية لشهر نيسان لعام2011

نلاحظ من الاشكال السابقة أن قيم المنسوب المائي الأعظمي تكون مسايرة لسفح جبل قاسيون ومن منطقة دخول نهر بردى الى سهل دمشق، وتتدرج هبوطاً نحو الشرق والجنوب الشرقي وهذا دليل على وجود حركة مياه جوفية من الغرب باتجاه الشرق والجنوب الشرقي.

2-4 تحليل العوامل المؤثرة في التغذية الجوفية:

أ- الهطولات المطرية:

يعد الهطول المطري عامل مهم في تقدير التغذية، وقد حُدد بوصفه أحد العوامل الرئيسية الذي يؤثر على مستوى المياه الجوفية في هذه الدراسة. يعد ارتفاع منسوب المياه الجوفية الناتج عن الهطول المطري ظاهرة معقدة بسبب تأثرها بالعديد من العوامل مثل الناقلية الهيدروليكية (k) للمنطقة غير المشبعة، المعطائية المائية (Sy) للطبقة الجوفية، عمق المياه الجوفية (GWD)، الجريانات الجوفية الجانبية، الغطاء الأرضي، التبخر نتح (ET) وشدة العاصفة المطرية وحجمها[5,12,11]. ويوجد العديد من الطرق لتقدير التغذية الراشحة الى الحامل الجوفي، وقد تم في هذا البحث اختيار طريقة تذبذب مستوى المياه الجوفية Water Table Fluctuation (WTF) التي تعتبر من أكثر الطرق شيوعاً لسهولة استخدامها واحتياجها الى عدد محدود من البيانات [1,14]. يتم تقدير الراشح للمياه الجوفية في هذه الطريقة من العلاقة:

$$R = S_Y * \Delta H / \Delta T \quad \dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

حيث:

S_Y : المعطائية النوعية. T : الزمن(عام). H : منسوب المياه الجوفية(متر)

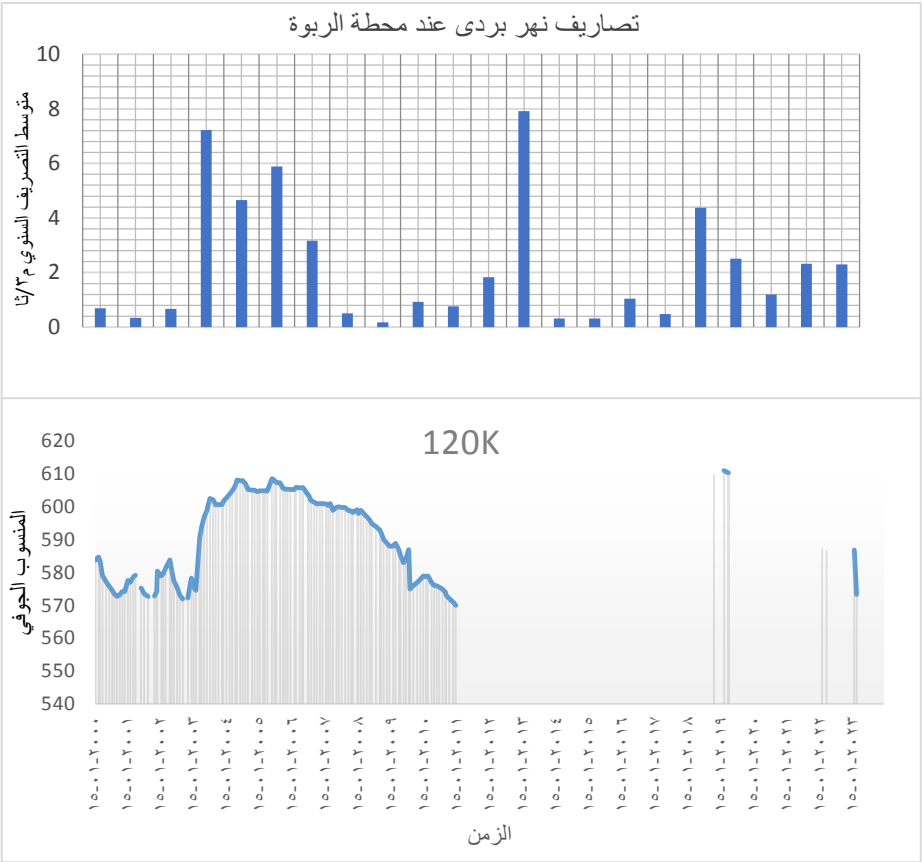
ΔH: ارتفاع منسوب المياه الجوفية المقاس من آبار المراقبة الناتج عن التغذية من الهطول المطري.

R: التغذية الراشحة(مم/عام)

ب-نهر بردى:

يعتبر نهر بردى من أهم المجاري المائية الموجودة في الشبكة الهيدروغرافية لغوطة دمشق، ويستخدم كأحد المصادر الرئيسية للري في الغوطة الشرقية[3]. ووفقا لدراسة اكساد بينت وجود علاقة ارتباط قوية بين معدل تصريف نهر بردى والشبكة النهرية وتغيرات مناسيب المياه الجوفية في الآبار المجاورة لمسار نهر بردى وفروعه ويبين الشكل (13) بئر القاسمية 120K الذي شهد المنسوب الجوفي ارتفاعاً قدره حوالي 30 متر في العام الرطب جدا (2002-2003) خلال عدة

أشهر تزامنت مع فترة الجريانات السطحية للنهر وقد استمر المنسوب محافظاً على نهوضه خلال الأعوام الثلاثة التي تلت قبل أن يبدأ بالانخفاض التدريجي، وأيضاً نلاحظ ارتفاع المنسوب الجوفي عام (2018–2019) تزامناً مع الجريان السطحي لنهر بردى بعد توالي أربع سنوات جفاف.

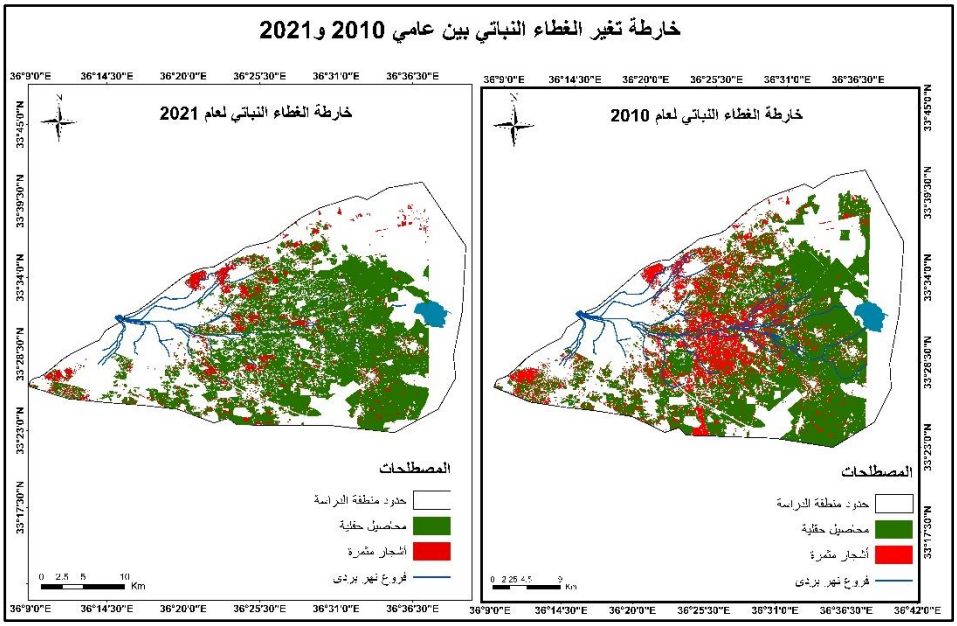


الشكل (13): تبدل جريان نهر بردى مع مناسيب المياه الجوفية في بئر القاسمية

ت– استخدامات الأراضي:

تعتبر الزراعة النشاط الرئيسي المستهلك للمياه في الغوطة الشرقية على رغم انخفاض المساحات المزروعة بفعل الزحف العمراني للمنشآت الصناعية وللأبنية السكنية [3]، ومن ثمّ التحدّيات التي فرضتها الحرب على هذا القطاع، وهذا ما توضحه خريطة تغير الغطاء النباتي في منطقة الغوطة

الشرقية ما بين عامي 2010 و 2021 (الشكل:14). حيث نلاحظ انخفاض مساحة الأشجار المثمرة بنسبة تقدر حوالي 47% [8]، بينما ازدادت المساحات التي تزرع بالمحاصيل الحقلية بنسبة 1% فقط. أما طريقة الري المطبقة فهي في معظمها طرائق تقليدية تعتمد على الغمر وذات كفاءة متدنية[3]. وبحسب الدراسة الروسية قدر أن حوالي 40% من مياه الري في منطقة الدراسة تتسرب لتغذية المياه الجوفية [13]، بينما وفقا لدراسة اكساد أظهرت أن الراشح الى المياه الجوفية يختلف مكانياً حسب عدة عوامل ويمكن أن يصل إلى حوالي 60% من مياه الري وذلك في المناطق القريبة من شبكة ري عدرا كون كفاءة الري تكون فيها منخفضة نظراً لوفرة المياه [3].

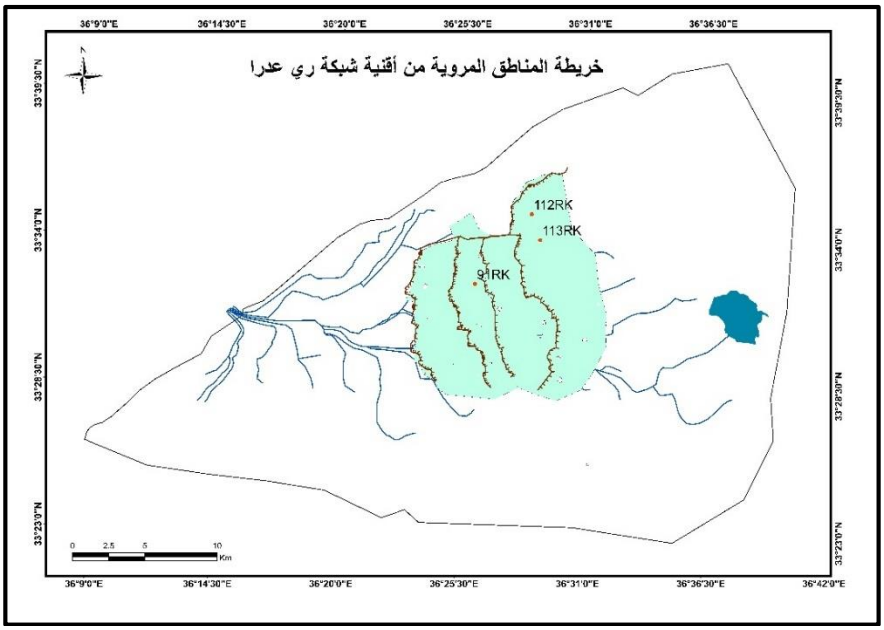


الشكل (14) خريطة تغير الغطاء النباتي في منطقة الغوطة الشرقية[8]

ت- شبكة ري محطة معالجة عدرا:

تمثل المناطق المروية بالمياه الواردة من أقنية شبكة الري في عدرا حوالي 30% من إجمالي مساحة الغوطة الشرقية[6]. يُظهر الشكل(15) المناطق المروية من أقنية الري بالمياه المعالجة مع نقاط آبار الرصد الواقعة ضمنها. وقد لوحظ من تبدلات مناسيب المياه الجوفية مع الزمن للابار الواقعة ضمن المناطق المروية بالمياه المعالجة ارتفاع المناسيب الجوفية فيها كالبئر 112RK نتيجة تأثره

بالراشح من مياه الري المعالجة الواردة من اقنية شبكة عدرا وذلك بعد البدء بتشغيل المحطة اعتبارا من عام 1998.

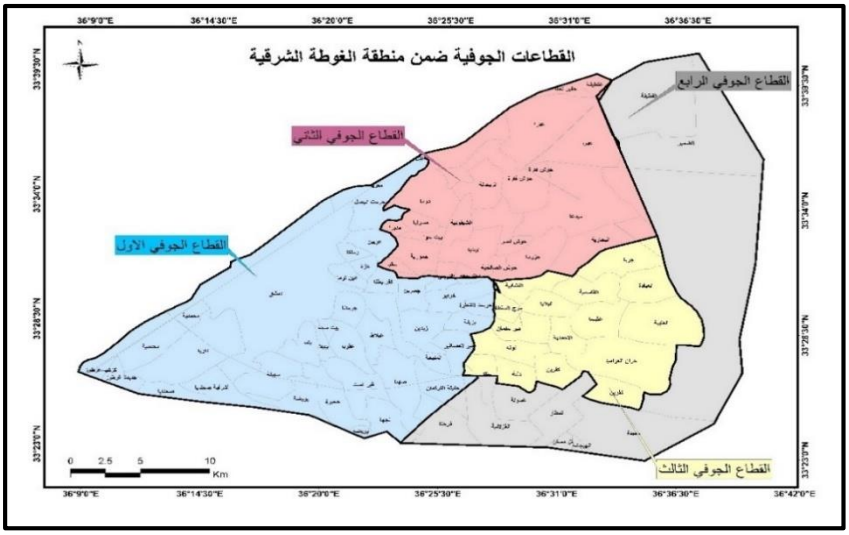


الشكل(15): المناطق المروية من أقنية ري مياه عدرا [3]

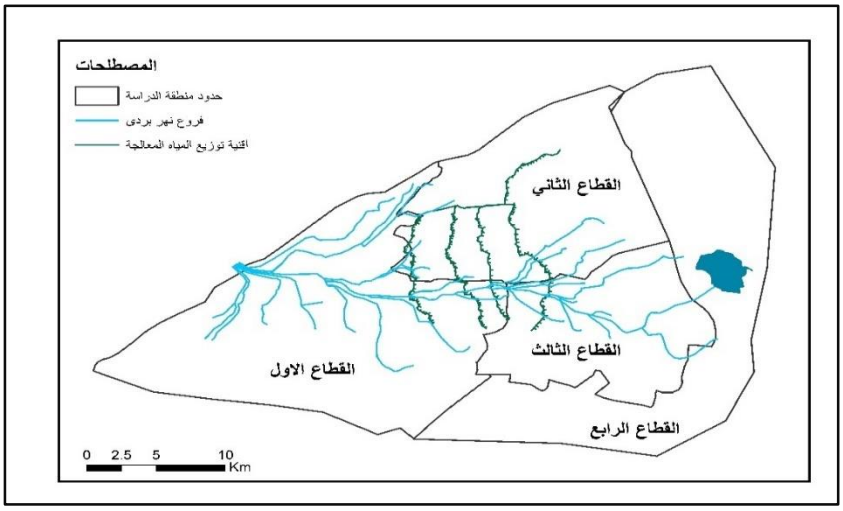
4-3 دراسة تغيرات مناسيب المياه الجوفية قطاعياً:

بسبب محدودية البيانات المتاحة عن آبار الرصد بعد عام 2011 لم يكن من الممكن رسم خريطة دقيقة لتساوي مناسيب المياه الجوفية على كامل منطقة الدراسة. لذا قسمنا منطقة الدراسة الى أربع قطاعات جوفية (الشكل:16). وبحيث يحتوي كل قطاع على مجموعة من الآبار البيزومترية التي تمتلك نفس الخصائص من حيث مواصفات الطبقة التي تخترقها(كالمعطائية المائية "ساهمت قيم المعطائية التي تم اعتمادها من المرجع[6] في تقسيم منطقة الدراسة الى قطاعات جوفية) وتأثير بعد وقرب الشبكة النهرية وشبكة ري محطة المعالجة بعدرا عنها(الشكل:17) وتتشابه فيها ردود فعل الطبقة المائية (من حيث سرعة ومدى استجابة الطبقة المائية للراشح من مياه الامطار والري وبالتالي مساهمتها في ارتفاع المناسيب الجوفية) والتي تم شرحها بشكل مفصل في الفقرة التالية، وبناء عليه

تم رسم هيدروغراف تغير مناسيب المياه الجوفية مع الزمن للآبار الواقعة ضمن هذه القطاعات والتي ستعكس إلى حد ما الوضع المائي الجوفي الحالي في منطقة الغوطة الشرقية.



الشكل(16): القطاعات الجوفية ضمن منطقة الغوطة الشرقية



الشكل (17): تأثير قرب وبعد الشبكة النهرية عن القطاعات الجوفية

أ- القطاع الجوفي الأول:

تقع آبار القطاع الأول في الجزء الغربي والجنوب الغربي من منطقة الدراسة ضمن التوضعات النهرية السيلية من عمر الرباعي الأعلى والحديث (apQ3_4). ويبين الجدول (2) موقع الابار وعمق الماء فيها ضمن هذا القطاع.

الجدول(2): احداثيات الابار وارتفاعها وعمق الماء فيها ضمن القطاع الأول

اسم البئر	رقم البئر	X UTM	Y UTM	Z m	عمق المياه m
داريا	261K	3706741	246874	685.03	30-5
السبينة	193K	3704505	247813	675.35	30-5
الكابلات	101RK	3702641	246104	672.07	60-30
جرمانا	246AK	3708035	251817	669.89	30-10
جوبر	60	3712221	251973	688	30-15
حرستا 1	42RK	3715502	254597	707.12	60-30
حرستا 2	92	3718558	257285	674.68	38-20

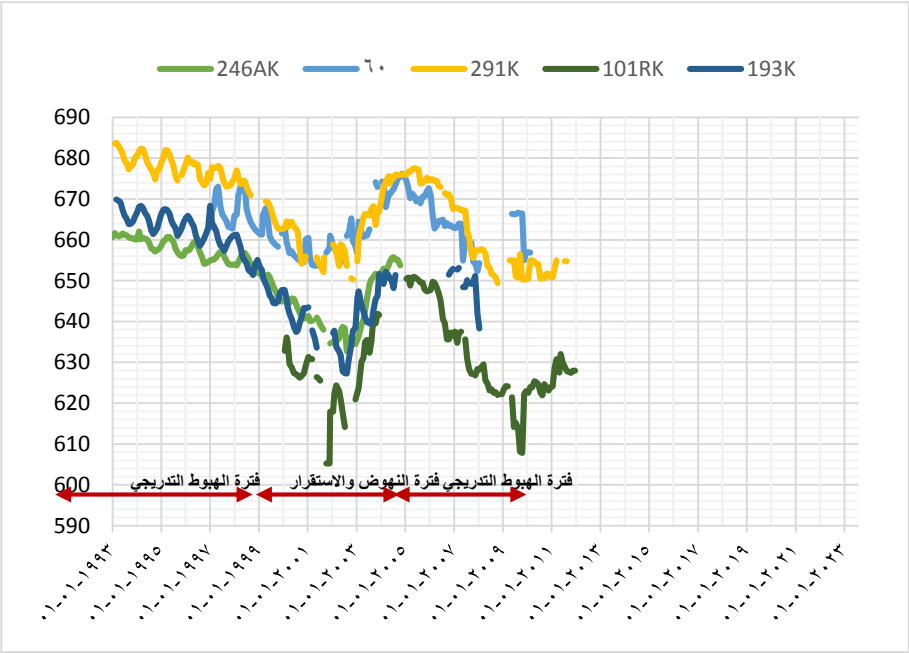
نلاحظ من الشكل (18) الذي يعبر عن هيدروغراف تغير مناسيب المياه الجوفية مع الزمن أن جميع آبار القطاع الأول قد مرت بثلاث مراحل وهي:

1- مرحلة الهبوط التدريجي (1993-2002): شهدت جميع الابار خلال هذه الفترة انخفاضاً تدريجياً في المناسيب المائية حيث وصلت سعة الهبوط الى 25 متر في آبار داريا وجرمانا وجوبر، والى 28 متر في آبار حرستا وذلك خلال دورة مدتها عشر سنوات.

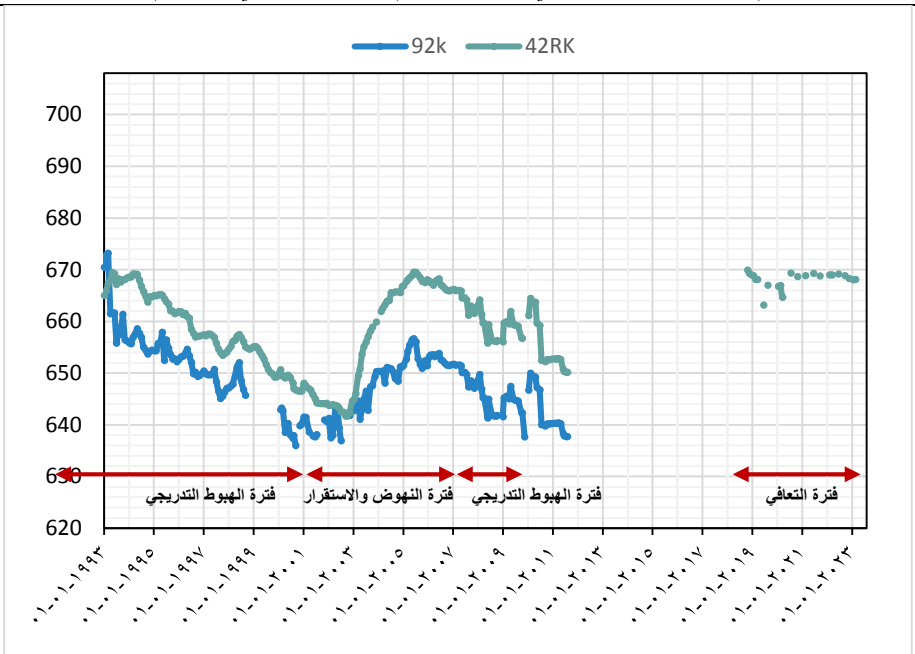
2- مرحلة النهوض والاستقرار(2003-2006): لوحظ في هذه الفترة ارتفاع في مستويات المياه الجوفية من عمق 35 الى 17 متر في آبار 291K و246AK ومن عمق 48 الى 27 متر في بئر193K وذلك نتيجة العام المطري الاستثنائي (2002-2003).

3- مرحلة الهبوط التدريجي (2007-2011): تميزت هذه المرحلة بانخفاض تدريجي في المناسيب الجوفية بسعة هبوط حوالي 16 متر في آبار داريا وجرمانا، 9 أمتار في آبار حرستا و 10 أمتار في آبار منطقة السبينة. ويُظهر الشكل (19) بداية مرحلة جديدة في بئر حرستا (42RK) بعد مرحلة انقطاع دامت ست سنوات وهي **مرحلة التعافي (2018-2023)** حيث ارتفع المنسوب الجوفي من عمق حوالي 56 متر عام 2011 الى عمق37 متر عام 2018 ويرجح السبب في ذلك

الى توقف السحب الجائر للمياه من هذه الآبار خلال فترة نزوح السكان من مناطقهم مما أدى إلى انخفاض استهلاك المياه المستخدمة في الري والشرب وسمح للمياه الجوفية بالبدء في النهوض والتعافي مع بقاءه محافظاً على استقرار مناسيبه خلال الفترة الزمنية (2018–2023). نستنتج من تحليل هيدروغراف آبار القطاع الأول أن الطبقة المائية كانت تستنزف نتيجة السحب الجائر وتوالي سنوات من الجفاف منذ التسعينيات الا أنه تم تعويض جزء كبير مما فقده المخزون الجوفي عند ارتفاع معدل الهطول المطري (2002–2003) حوالي (المعدل الوسطي 260.55mm/year) مما يدل على مدى ارتباط المياه الجوفية في هذا القطاع بالأمطار وشبكة المياه السطحية بشكل مباشر(الراشح من سرير نهر بردى)، حيث بلغ معامل الارتباط(Correlation Factor,R) بين الهطول المطري والتغذية الراشحة في آبار جرمانا والسبينة حوالي 0.9 وفي بئر داريا 0.89 وقد وصل الى 0.7 في بئر جوبر.



الشكل(18): تغير منسوب المياه الجوفية مع الزمن في آبار الجزء الجنوب الغربي



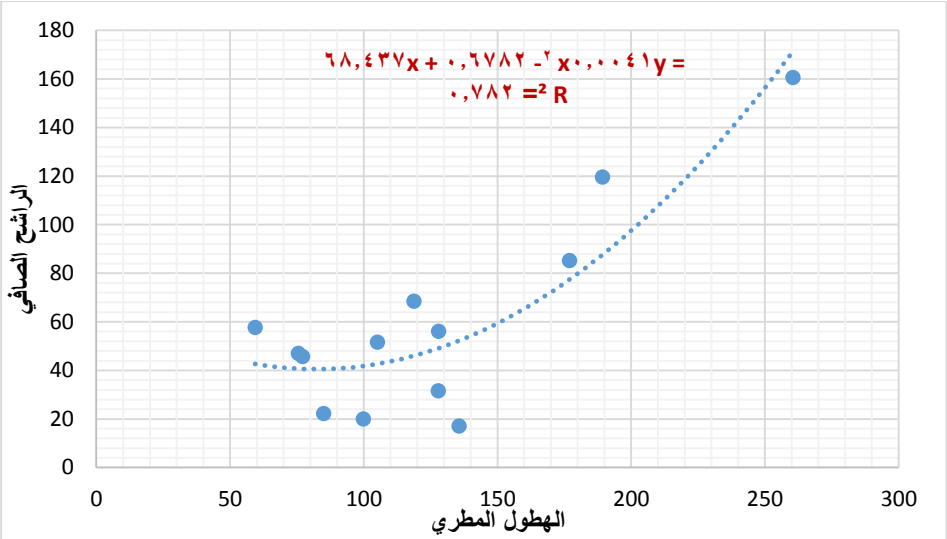
الشكل(19): تغير منسوب المياه الجوفية مع الزمن في آبار حرستا

وبما أن حساب الراشح من مياه الري الى المياه الجوفية يعتبر من أكثر العوامل صعوبة كونه يحتاج الى معلومات تفصيلية متعلقة بأنواع المحاصيل المزروعة والنسبة المئوية لكل محصول في كل قطاع والمقننات المائية للتراكيب المحصولية المروية من المصادر المائية المختلفة، إضافة الى كفاءة الري والراشح من الشبكة النهرية ونظام توزع الهطول وغيره، لذلك تم تطبيق طريقة تذبذب منسوب المياه الجوفيةWTF التي تعتمد على هيدروغراف الآبار في حساب Δh والتي تم حساب التغذية من العلاقة التالية:

$$R = S_Y * \Delta h/\Delta t$$

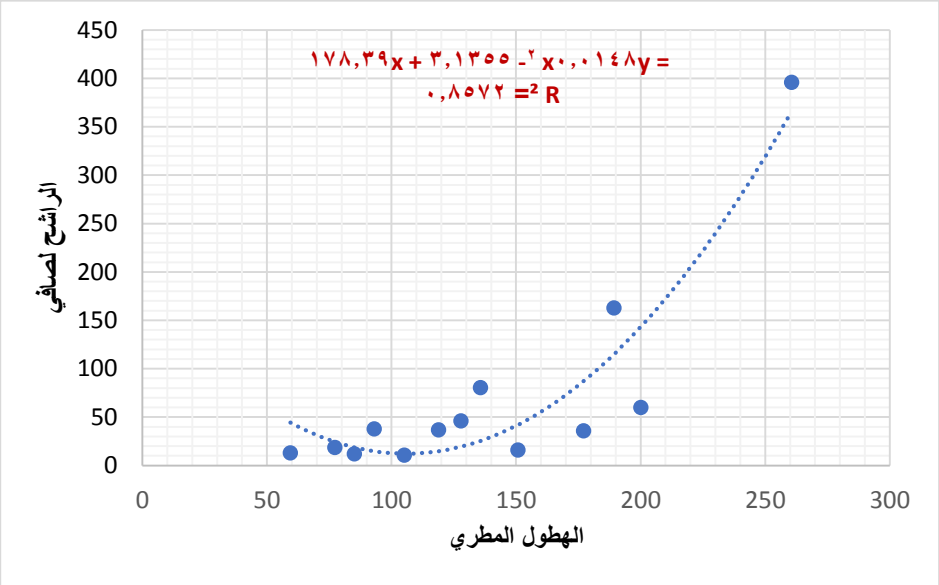
من أجل تحديد مجال قيم S_Y (المعطائية المائية) في كل قطاع جوفي تم الاستفادة من نتائج معايرة النموذج الرياضي لقيم المعطائية المائية التي اعتمدها المرجع[6] في منطقة الغوطة الشرقية لعام (2005–2006). تم تنظيم الحسابات في جدول، حيث يبين الجدول (3) حساب قيم الراشح الصافي الى المياه الجوفية لبئر داريا وحرستا خلال الفترة الزمنية (1993–2010) وقد تراوحت قيم التغذية الراشحة بين (20–160mm/year) في بئر داريا. ويبين الشكل (20) وجود علاقة بين التغذية

الراشحة الصافية المقاسة بطريقة WTF والهطول المطري في بئر داريا حيث بلغت قيمة معامل التحديد R^2=0.782 .



الشكل (20): قيم التغذية الراشحة و قيم الهطول المطري في بئر داريا.

كما يلاحظ أيضا وجود علاقة بين التغذية الراشحة الصافية المقاسة بطريقة WTF والهطول المطري في بئر حرستا حيث بلغت قيمة معامل التحديد R^2=0.86 (الشكل :21) وفي هذا البئر لاحظنا وجود اختلاف كبير بقيم الراشح الصافي الى المياه الجوفية المقابل لمعدل هطول مطري سنوي مشابه للفترة الزمنية قبل وبعد الازمة، على سبيل المثال قدرت التغذية الراشحة الصافية بحوالي 60 مم للعام الهيدرولوجي(2019–2020) مقابل قيمة راشح صافي حوالي 396 مم لعام (2002–2003) ويرجح سبب انخفاض معدل التغذية الراشحة بعد الازمة الى تناقص مساهمة العوائد من مياه الري في التغذية الجوفية وهذا يدل على انخفاض المساحات المزروعة في هذه المناطق.



الشكل (21): قيم التغذية الراشحة وقيم الهطول المطري في بئر حرستا.

الجدول (3) حساب قيم التغذية الراشحة في بئر داريا وحرستا.

العام الهيدرولوجي	معدل الهطول المطري mm	Sy	داريا			حرستا		
			Δh m	الراشح الصافي الى المياه الجوفية mm/year	Sy	Δh m	الراشح الصافي الى المياه الجوفية mm/year
1993-1994	118.80	0.01	6.84	68.4	0.02	1.848	36.96
1994-1995	177.00	0.01	8.52	85.2	0.02	1.8	36
1995-1996	105.10	0.01	5.16	51.6	0.02	0.54	10.8
1996-1997	59.40	0.01	5.76	57.6	0.02	0.66	13.2
1998-1999	77.20	0.01	4.56	45.6	0.02	0.936	18.72
1999-2000	85.00	0.01	2.22	22.2	0.02	0.6	12
2001-2002	170.3	0.01	3.15	31.5	0.02	1.9	38
2002-2003	334.6	0.01	16.05	160.5	0.02	19.8	46
2003-2004	209.2	0.01	11.95	119.5	0.02	8.136	396
2004-2005	185.7	0.01	1.7	17	0.02	4.032	80.64
2005-2006	177.1	0.01	2	20	0.02	–	–
2008-2009	161.3	0.01	5.6	56	0.02	–	–
2009-2010	196.7	0.01	4.7	47	0.02	–	–
2019-2020	258	0.01	–	–	0.02	0.3	60
2020-2021	150.7	0.01	–	–	0.02	0.8	16

ب – القطاع الجوفي الثاني :

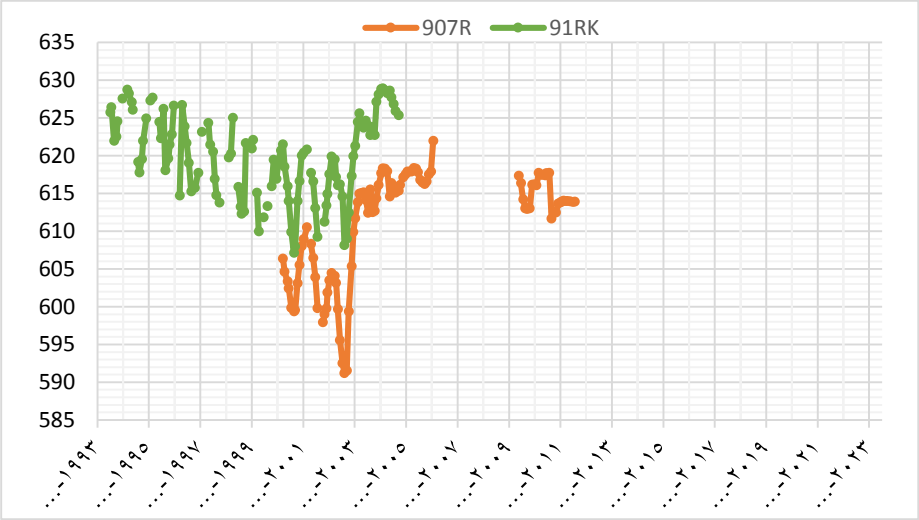
تقع آبار القطاع الثاني في الجزء المركزي من الغوطة الشرقية ضمن المساحات المروية من محطة معالجة شبكة ري عدرا. تقع هذه الآبار جيولوجياً ضمن توضعات الطبقة البحيرية الرباعية من عمر (LaQ3_4). ويبين الجدول(4) موقع الآبار ضمن القطاع الثاني.

تشير علامة(–) في الجدول (4) الى نقص البيانات

الجدول(4): إحداثيات الآبار وارتفاعها وعمق الماء فيها للقطاع الثاني

اسم البئر	رقم البئر	X UTM	Y UTM	Z m	عمق المياه m
تل كردي	112RK	3718928	265772	685.03	70-5
حوش فارة	113RK	3717147	266363	614.91	30-5
الشيفونية	91RK	3714101	261845	672.07	20-5
عدرا	907R	3719550	262196	631.35	30-15
ميدعا	96RK	3716548	270631	608.13	70-20

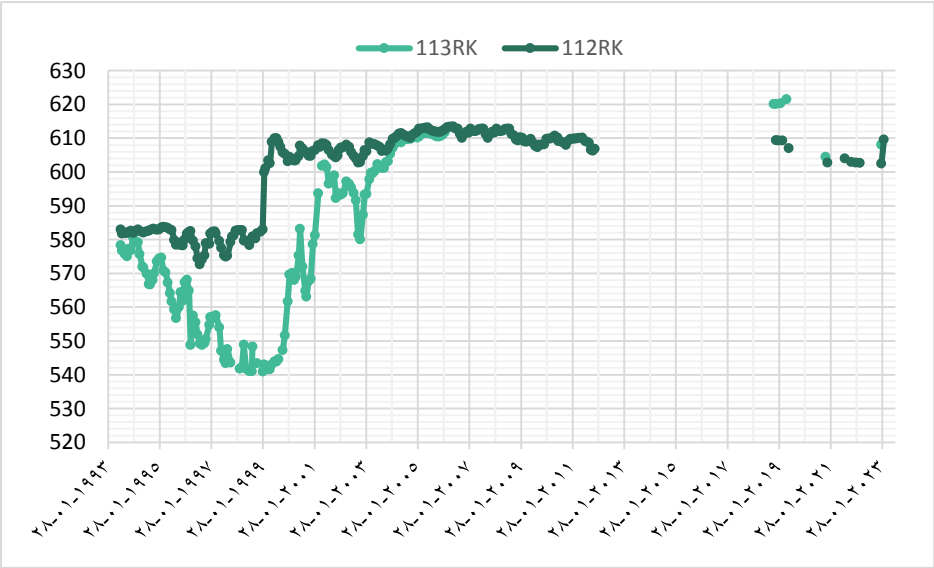
يلاحظ عموماً في المناطق التي تتوضّع فيها المياه الجوفية على عمق قريب من سطح الأرض استجابة مناسيبها بسرعة كبيرة نسبياً للراشح من مياه الامطار ومياه الري كبئر الشيفونية 91RK حيث نلاحظ النهوض الحاد والسريع في هذه الابار خلال عدة أشهر من العام 2003 ثم استمرار المنسوب على حالة النهوض وهذا دليل على تأثره بالراشح من مياه شبكة ري عدرا كما مبين في الشكل (22) .



الشكل(22): هيدروغراف بئر عدرا والشيفونية

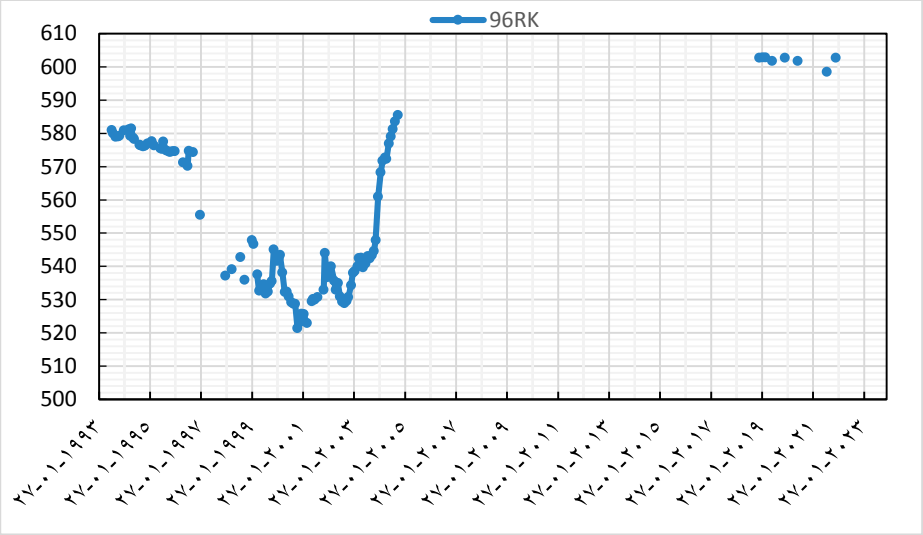
بينما يبين الشكل(23) هيدروغراف بئر تل كردي وحوش فأرة حيث نلاحظ تأثرهما بالراشح من مياه الري بعد تطبيق نظام الري في منطقة عدرا عام 1998 وهذا واضح في ارتفاع

منسوب المياه الجوفية بمقدار 25m في بئر 112RK (من عمق 30 الى عمق 5 متر خلال عدة أشهر) ثم استقر المنسوب بعد 1998 على عمق حوالي 5m، أما خلال مرحلة التعافي فقد كان العمق في بئر 112RK حوالي 3m عام2016 وانخفض الى عمق 5m بداية عام 2018 ثم استمر المنسوب في الانخفاض التدريجي حتى وصل الى عمق 12m عام 2023. وبالمثل شهد بئر 113RK فترتي نهوض حاد بعد تطبيق نظام الري في منطقة عدرا من عمق (32–73m) خلال الفترة (1998–2000) واستمر نهوض المنسوب الى أن وصل الى عمق 5 أمتار عام 2004، وبالنظر الى أعماق مياه الابار عام 2018 نلاحظ انخفاض المنسوب بشكل تدريجي من عمق 6mالى عمق10m خلال الفترة الزمنية (2018–2020) ويرجع السبب في ذلك الى بدء عمليات السحب الجوفي من جديد لأغراض الري والشرب بعد عودة الأهالي الى المنطقة حيث يعتبر القطاع الثاني من أكثر المناطق حيوية في النشاطات الزراعية.



الشكل(23): هيدروغراف بئر تل كردي وحوش فأرة

وبالنسبة الى تغير مناسيب المياه الجوفية في بئر ميدعا 96RK المبين في الشكل (24) نلاحظ انخفاض المنسوب الى عمق حوالي (30–85m) خلال الفترة الزمنية (1993–2001) ثم بدأ المنسوب بالنهوض التدريجي الى أن وصل الى عمق 20m عام2004 نتيجة تأثره بالراشح من مياه الري المعالجة، وبالنظر الى عمق البئر عام 2018 نلاحظ ان المنسوب الجوفي قد مر بمرحلة تعافي حيث وصل الى عمق 5m وبقي محافظاً على استقراره حتى عام 2023 نتيجة تأثره بالراشح من سرير قناة الميدعاني ومن القناة الرئيسية لمحطة عدرا التي تعوض ما يفقده المخزون المائي.



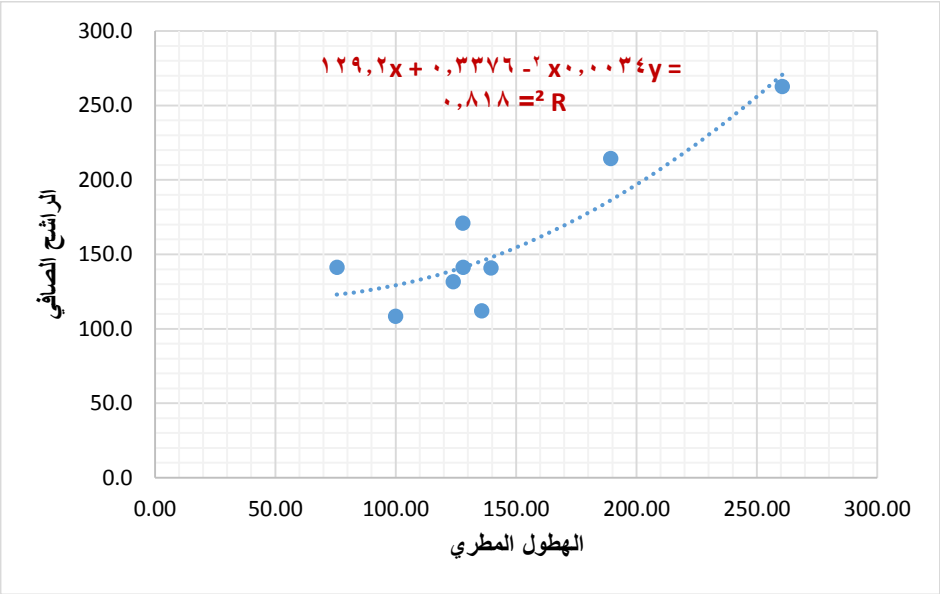
الشكل(24): هيدروغراف تغير المنسوب الجوفي مع الزمن لبئر ميدعا

وبعد تحليل هيدروغراف آبار القطاع الثاني وربطها بالعوامل المؤثرة على التغذية الجوفية نجد أن التغذية الجوفية تأتي أولاً من مساهمة الراشح من مياه الري التي تروى من أقنية شبكة ري محطة المعالجة بعدرا بالإضافة الى المساهمة الثانوية للراشح من مياه الامطار ومن سرير فروع نهر بردى خلال أشهر الفيضان (نهر الحزرماني في منطقة ميدعا–تورا يزيد– الداعياني). يبين الجدول (5) حساب قيم التغذية الراشحة في بئر تل كردي خلال الفترة الزمنية (2001–2010).

الجدول(5) حساب قيم التغذية الراشحة في بئر تل كردي

العام الهيدرولوجي	معدل الهطول المطري mm	Δh m	Sy	الراشح الصافي الى المياه الجوفية mm/year
2001-2002	127.85	5.7	0.02	114
2002-2003	260.55	8.76	0.02	175.2
2003-2004	189.3	7.15	0.02	143
2004-2005	135.7	3.74	0.02	74.8
2005-2006	99.9	3.62	0.02	72.4
2006-2007	128	4.71	0.02	94.2
2007-2008	75.55	4.71	0.02	94.2
2008-2009	123.85	4.39	0.02	87.8
2009-2010	139.55	4.7	0.02	94

ويبين الشكل (25) العلاقة بين التغذية الراشحة المقاسة بطريقة WTF والهطول المطري في بئر تل كردي (القطاع الجوفي الثاني) حيث بلغت قيمة معامل التحديد R^2=0.818 ونلاحظ أن التغذية الراشحة تتراوح بين (60-180mm/year).



الشكل (25): العلاقة بين قيم التغذية الراشحة و قيم الهطول المطري للقطاع الثاني.

ت – القطاع الجوفي الثالث:

تقع هذه الآبار في الجزء الشرقي من منطقة الدراسة ضمن التوضعات البحيرية الرباعية في نهاية الشبكة النهرية ويبين الجدول (6) موقع الابار في القطاع الجوفي الثالث.

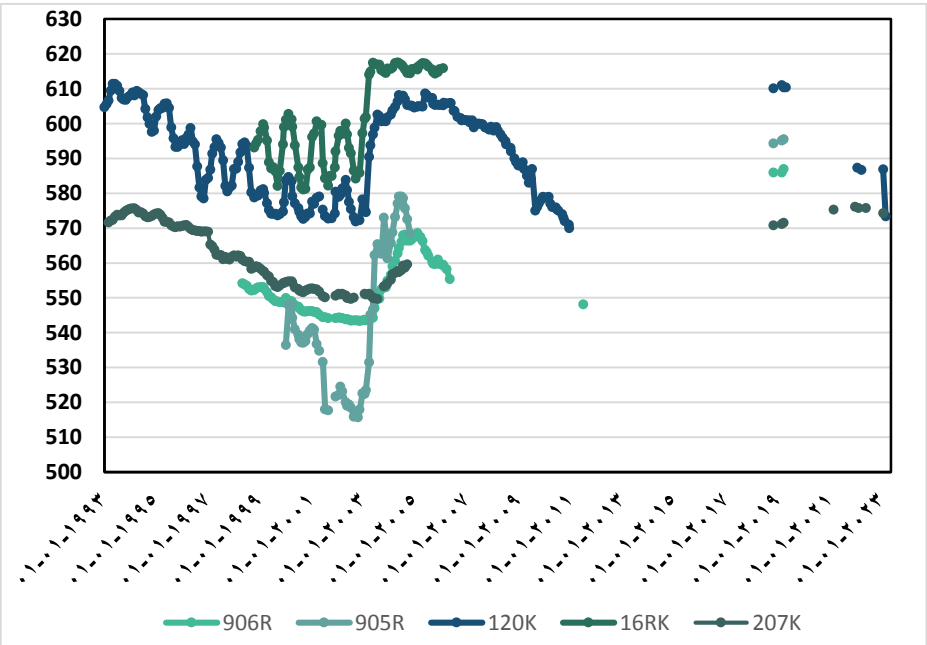
الجدول(6): احداثيات الابار وارتفاعها وعمق الماء فيها للقطاع الثالث

اسم البئر	رقم البئر	X UTM	Y UTM	Z m	عمق المياه m
العبادة	905R	3709551	274171	608.6	80-30
العتيبة	906R	3708658	276528	604.31	50-30
القاسمية	120K	3710453	269246	614.03	40-5
النشابية	16RK	3710109	266458	618.64	30-2
حران العواميد	207K	3703609	274019	601.79	50-30

بدراسة تطور منسوب المياه الجوفية مع الزمن لبئر 120K نلاحظ أنه شهد خلال الفترة الزمنية (1993-2023) تبدلات كثيرة حيث مر بمرحلة انخفاض تدريجي بين الاعوام 1993و 1997 بلغت قيمة الهبوط الاعظمية حوالي 26متر في عام 1997 بعد ذلك بدأ المنسوب بالنهوض والتعافي عام (2002-2003) بسعة نهوض 30متر وظل مستقراً على هذا النهوض لمدة أربع سنوات حتى عام 2007 ثم عاد ليشهد هبوط تدريجي بين الاعوام 2008 و 2011 بمعدل أسرع من قبل وبسعة هبوط تقدر حوالي 25 متر. أما عام 2018 لوحظ تعافي كبير للمنسوب استمر لثلاث سنوات على عمق 3م ثم انخفض عام 2022 الى عمق 27 متر ووصل في عام 2023 الى عمق 40 متر. ويبرر هذا الانخفاض في العمق الجوفي نتيجة توجه المزارعين في المناطق التي لاتعتمد على الري من شبكة عدرا الى الاعتماد بشكل أساسي على المياه الجوفية كمصدر بديل للري.

وقد مر بئر 16RK في منطقة النشابية بنفس تبدلات بئر القاسمية حيث كان الاتجاه العام للبئر نحو الانخفاض منذ التسعينات حتى عام 2002 ثم حصل نهوض وتعافي بالمنسوب استمرت مدة ثلاث سنوات حتى عام 2007. بينما يلاحظ بئر 905R الواقع في منطقة

العبادة انخفاض المنسوب من عمق 70 الى عمق 85 م بين عامي 2000 و بداية عام 2003 ثم حصل نهوض حاد وسريع للمنسوب خلال عدة أشهر من عام 2003 ووصل في نهاية عام 2004 الى عمق 30م الشكل (26). وبشكل مشابه فان البئر 906R قد مر بفترة انخفاض تدريجي منذ التسعينات حتى نهاية عام 2003 ليحصل نهوض حتى نهاية عام 2004 ثم تلا ذلك انخفاض بالمنسوب حتى عام 2011 الذي استقر على عمق 56م أما عام 2018 لوحظ تعافي كبير في المنسوب حيث وصل الى عمق 18 م ثم انخفض متر واحد في عام 2019. أما بئر حران العواميد فقد مر بمرحلتين الأولى نحو الهبوط التدريجي من عمق 27 عام 1993 الى عمق 53متر عام 2003 والمرحلة الثانية بدأ بالنهوض التدريجي نهاية عام 2003 حتى وصل الى عمق 42 م عام 2004، أما خلال مرحلة التعافي نجد ان المنسوب كان على عمق 30م عام 2018 و2019 ثم ارتفع الى عمق 26م عام 2021 واستمر محافظ على منسوبه حتى عام 2023.



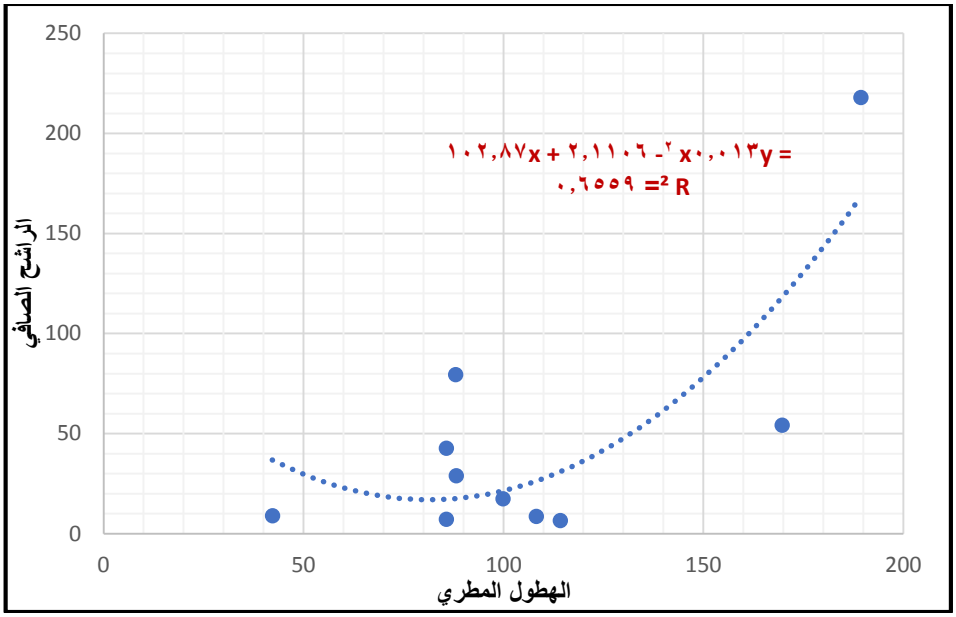
الشكل (26): هيدروغراف الابار في التوضعات البحيرية الرباعية في القطاع الثالث

وبعد تحليل هيدروغراف تغير المنسوب المائي مع الزمن في آبار القطاع الثالث وربطها بالعوامل المؤثرة في التغذية الجوفية تبين وجود علاقة ارتباط قوية بين التغذية الراشحة والهطول المطري في آبار حران العواميد والعبادة حيث بلغ معامل الارتباط فيهما 0.95 كما بلغ 0.82 في بئر القاسمية ووصل الى 0.7 في بئر العتيبة. كما يساهم الراشح من سرير نهر بردى خلال أشهر الفيضان فقط في ارتفاع المناسيب الجوفية لآبار النشابية والقاسمية والعبادة حيث تقع هذه الابار ضمن نطاق نهر بردى وفروعه إضافة الى المساهمة الرئيسية للعوائد من مياه الري أيضاً في التغذية الجوفية.

الجدول(7) تقدير قيمة الراشح الصافي الى المياه الجوفية في بئر القاسمية

العام الهيدرولوجي	معدل الهطول المطري mm	Δh m	Sy	الراشح الصافي الى المياه الجوفية mm/year
2000-2001	85.7	7.116	0.006	42.69
2001-2002	88	13.24	0.006	79.41
2002-2003	189.4	36.32	0.006	217.94
2003-2004	169.7	9.024	0.006	54.14
2004-2005	88.2	4.812	0.006	28.87
2005-2006	99.9	0.852	0.006	5.11
2006-2007	42.2	0.108	0.006	0.64
2007-2008	108.2	1.44	0.006	8.64
2008-2009	114.2	1.08	0.006	6.48
2009-2010	85.7	1.2	0.006	7.2

ويبين الشكل (27) العلاقة بين الهطول المطري والتغذية الراشحة المقاسة بطريقة WTF في بئر القاسمية ونلاحظ أن التغذية الراشحة تتراوح بين (7-200mm/year) .



الشكل (27): العلاقة بين الهطول المطري والراشح الصافي في بئر القاسمية

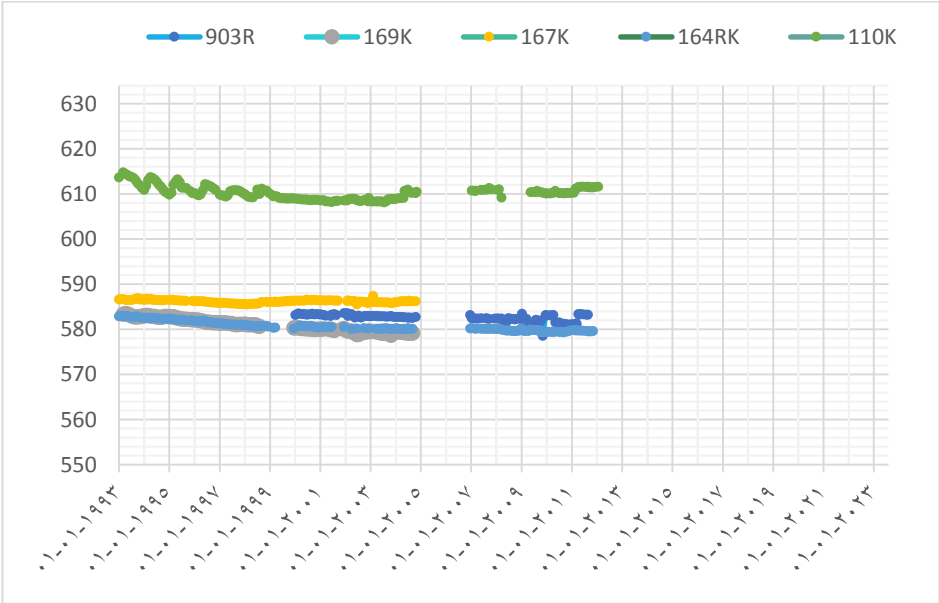
ج – القطاع الجوفي الرابع

تقع هذه الآبار في الجزء الشرقي والجنوبي من منطقة الدراسة ضمن التوضعات البحيرية الرباعية. ويبين الجدول (8) موقع الآبار الواقعة ضمن هذا القطاع.

الجدول(8): احداثيات الابار وارتفاعها وعمق الماء فيها للقطاع الرابع

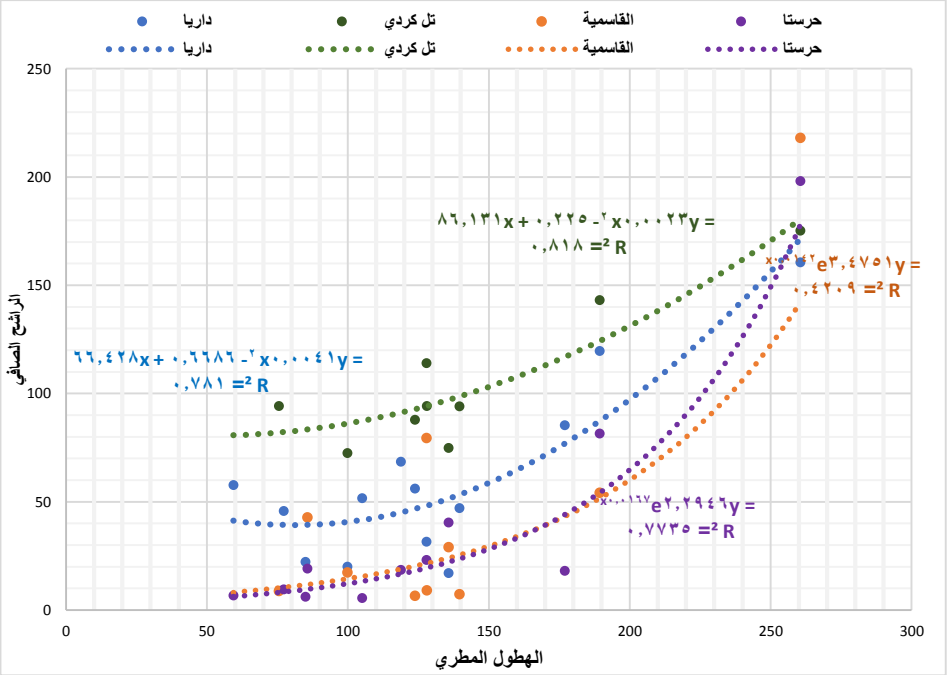
اسم البئر	رقم البئر	X UTM	Y UTM	Z m	عمق المياه m
الرمدان	164RK	3714720	283127	608.25	28–25
العتيبة	167K	3715812	277732	601.34	15
الضمير	903R	3723178	275308	608.53	27–25
الضمير	169K	3724199	280200	634.55	55–50
جديدة الخاص	126K	3698736	273042	605.22	60–30
الغسولة	110K	3700539	264036	619.03	10–8

نلاحظ من هيدروغراف الآبار المبين في الشكل (28) الاستقرار في أوضاع مناسيب المياه الجوفية على المدى الطويل وهذا يدل على عدم تأثر الطبقة الجوفية في الجزء الشرقي والجنوبي من منطقة الدراسة بالتغيرات والعوامل الخارجية المؤثرة كونها بعيدة عن تأثير الجريانات السطحية وأقنية شبكة ري عدرا وبسبب محدودية الهطولات المطرية في أقصى الجزء الشرقي من الحوض حيث لا يوجد ارتباط بين الهطول المطري والتغذية للمياه الجوفية باستثناء بئر جديدة الخاص الذي نلاحظ ارتفاع منسوبه عام 2002–2003 نتيجة تأثره بالنهوض العام للمياه الجوفية في منطقة الغوطة الشرقية.



الشكل (28): تغير مناسيب المياه الجوفية مع الزمن في آبار القطاع الرابع.

يبين الشكل (29) العلاقة بين الهطول المطري والراشح الصافي في القطاعات الجوفية الأول والثاني والثالث لآبار داريا وحرستا وتل كردي والقاسمية على التوالي. نلاحظ أنه عندما يكون معدل الهطول المطري محدود بين القيم (60–100mm) يضعف تأثيره على التغذية الراشحة كما هو متوقع ويمكن تجاهله وتكون قيم الراشح الصافي ناتجة في هذه الحالة بشكل رئيسي عن الراشح من مياه الري بحيث تتراوح قيمة الراشح الصافي كما مبين في الشكل (29) بين القيم (10–100mm).



الشكل (29): العلاقة بين الهطول المطري والراشح الصافي في القطاعات الجوفية

الاستنتاجات والتوصيات

نتيجة تحليل تغيرات المناسيب الجوفية مع الزمن للقطاعات الجوفية ودراسة مجمل العوامل المؤثرة على التغذية الجوفية تبين مايلي:

1. تأثر أعماق المياه الجوفية في القطاع الجوفي الأول والثاني والثالث بالراشح من الهطول المطري بنسب متفاوتة ومن سرير نهر بردى وفروعه خلال أشهر الفيضان وتزداد قيمة هذه المركبات كلما كانت السنة رطبة ومن الراشح من ري المساحات الزراعية الواقعة في زمام الغوطة الشرقية بنسب متفاوتة أيضاً حسب نوع المحصول المزروع ومصدر الري.
2. عدم تأثر أعماق المياه الجوفية في القطاع الجوفي الرابع بالراشح من الهطول المطري والعوامل الخارجية المؤثرة الأخرى.

3. حصول تعافي بمناسيب المياه الجوفية في جميع القطاعات الجوفية نتيجة توقف النشاطات الزراعية والبشرية خلال الفترة الزمنية (2011–2017) استعادت خلالها الطبقة المائية مخزونها الذي كان مهدداً بالاستنزاف نتيجة الضخ المفرط والحفر العشوائي.
4. عودة الانخفاض التدريجي في معظم الابار مؤخراً يعكس استئناف النشاطات الزراعية التي تعتمد على الضخ من الابار.
5. تُظهر المستويات الجوفية في آبار القطاع الأول استقراراً دون مؤشرات على الاستنزاف، بينما يُتوقع أن تواجه آبار القطاعين الثاني والثالث حالة من عدم الاستقرار، حيث تشير البيانات إلى انخفاض تدريجي وحاد في بعض الآبار.
6. سوف تشكل النتائج من هذه الدراسة أساسا لبناء نموذج لدعم اتخاذ القرار لمنطقة الدراسة يساعد في فحص تأثير السيناريوهات المختلفة على الوضع المائي الجوفي.

التوصيات:

1. ضرورة اعتماد القياسات الآلية المؤتمتة ضمن شبكات الرصد الجوفي في المنطقة
2. دراسة العلاقة بين المياه الجوفية مع المياه السطحية في منطقة الدراسة.

المراجع:

1- السباعي محمود. التغير المناخي وتأثيره على الموارد المائية في المنطقة العربية، القاهرة: المؤتمر الدولي للمياه، 2023.

2- الابراهيم تماضر، سلامة معن. عوامل التغذية المؤثرة في تحديد مناطق الأمل المائي الجوفي (دراسة حالة في محافظة حمص) مجلة جامعة حمص، 2021.

3- أكساد، وزارة الري السورية (2008) ، تقرير مشروع النموذج الرياضي لحوض غوطة دمشق، دمشق، 2008.

4- "برجيه دارين. دراسة هيدروكيميائية للمياه الجوفية الحرة في جزء من الغوطة الشرقية،" مجلة جامعة حمص، 2015.

5- سلامة معن، الجودي حسان. الهيدروجيولوجيا(1)، جامعة حمص،2007.

6- نتوف قاسم، دراسة تطور الميزان المائي في الغوطة الشرقية، أطروحة دكتوراه، جامعة دمشق، 2014.

7- معطيات الهيئة العامة للأرصاد الجوية.

8- معطيات الهيئة العامة للاستشعار عن بعد.

9- معطيات وزارة الموارد المائية.

10- "BGR, ACSAD, Development and Application of a Decision Support System (DSS) for Water Resources Management in Zabadani Basin, SYRIA," 2008.

11- "Delottier H, Pryet A, Lemieux JM, Dupuy A.Estimating groundwater recharge uncertainty from joint application of an aquifer test and the water-table fluctuation method. .," *Hydrogeology Journal*, 2018 Nov 1;26(7):2495-505..

12- "Hussain, Fiaz ; Ray-Shyan, Wu; Dong-Sin , Shih, Water table response to rainfall and groundwater simulation using physics-based numerical model: WASH123D," 2022.

13- Lengiprovodkhoz, 1986, **Water resources use in Barada and Auvage basin for irrigation of crops**.

14- "MB., Addisie, Groundwater recharge estimation using water table fluctuation and empirical methods.," *l.H2Open Journa*, 2022 Sep 1;5(3):457-68..

15- "Z., Kattan, Characterization of surface water and groundwater in the Damascus Ghotta basin: hydrochemical and environmental

isotopes approaches," *Environmental Geology.*, . 2006 Nov;51:173-201..