

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 45 . العدد 16

1445 هـ - 2023 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير	أ. د. محمود حديد
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث
م. هلا معروف

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرفي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

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

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1. مقدمة.
 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
 3. أهداف البحث و أسئلته.
 4. فرضيات البحث و حدوده.
 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
 7. منهج البحث و إجراءاته.
 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
 9. نتائج البحث.
 10. مقترحات البحث إن وجدت.
 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
- أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام 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 . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة . وفيما يلي مثال على ذلك:

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

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

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

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

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد

بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (40000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (100000) ل.س مئة ألف 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 (6000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
40-11	م. رزان محمد د. أسعد علي د. ريم المعلم	معايير اختيار ألوان المباني السكنية حالة دراسية: سكن الادخار اللاذقية
64-41	م. محمد الميلاد د. أمين سليمان	دراسة تكرارية العواصف المطرية وتحديد الموسم المطري في محطة السلمية
94-65	م. نغم طالب د. فايز سليمان د. بسام سلطان د. باسم علي	تأثير إضافة فيتامين E في تقادم الخلانط الإسفلتية
124-95	م. وصفي دياب د. غصون دنهش	علاقة تجريبية لحساب مقاومة الضغط للبيتون بحصويات معاد تدويرها
148-125	د. فاطمة سلمان د. هناء سلمان	أمثلة تصميم شبكات الإمداد بمياه الشرب باستخدام خوارزميات البحث العشوائي

معايير اختيار ألوان المباني السكنية

حالة دراسية: سكن الادخار \ الالاقية \

الاسم رزان أحمد محمد

كلية الهندسة المعمارية - جامعة تشرين

الإشراف أ. د. أسعد علي مشرف مشارك د. ريم المعلم

-ملخص البحث-

عد اللون من أهم مقومات الجوانب الجمالية التشكيلية للواجهات المعمارية، تم استخدامه عبر العصور ليترك في الأذهان صوراً جميلة للمدن تكاد تكون تحفاً فنية في العديد منها، لترك في ذاكرة ساكنيها أو زوارها انطباعات وقصص تؤسس لمكانها الدائم في ذاكرته.

أثبتت الأبحاث والدراسات العلمية مؤخراً على ضرورة التعامل مع اللون كأداة تصميم قيمة ذات تأثير مهم ومباشر على الواجهات المعمارية تتعدى الدور التنظيمي والتصميمي وتضيف لعملية التصميم أبعاداً جديدة، حيث يمكن للاستخدام المدروس والموجه للون أن يؤدي بعض الأدوار الهامة والمتنوعة في البيئات المبنية تخدم هدف العملية التصميمية والتشكيلية في آن واحد.

يقوم البحث بدراسة نظرية وتحليلية لاستنباط المعايير التي تؤثر على اختيار ألوان الواجهات الخارجية للمباني السكنية، وصولاً إلى تصميم أداة تساعد المصمم على تحديد الألوان التي تتناسب مع خصوصية الموقع، وتتسجم فيما بينها وتتوافق مع ألوان البيئة المحيطة، وتطبيق هذه الأداة على حالة دراسية (سكن الادخار في مدينة الالاقية)، لبيان مدى فاعلية الأداة والتوصل إلى نتائج وتوصيات تفيد هدف البحث.

الكلمات المفتاحية: الألوان، المباني السكنية، الخطط اللونية.

Criteria for choosing the colors of residential buildings

Case study: saving housing \ Lattakia \

-Research Summary-

Color is one of the most important components of the plastic aesthetic aspects of the architectural façades. It was used throughout the ages to leave in the minds beautiful pictures of cities that are almost artistic masterpieces in many of them, to leave in the memory of its residents or visitors impressions and stories that establish their permanent place in his memory.

Research and scientific studies have recently proven the need to deal with color as a valuable design tool that has an important and direct impact on the architectural facades that go beyond the organizational and design role and add new dimensions to the design process, where the deliberate and directed use of color can play some important and diverse roles in the built environments that serve the goal of the design and plastic process at the same time.

The research conducts a theoretical and analytical study to derive the criteria that affect the selection of the colors of the exterior facades of residential buildings, leading to the design of a tool that helps the designer to determine the colors that are appropriate to the specificity of the site, and are in harmony with each other and compatible with the colors of the surrounding environment, and the application of this tool on a case study (saving housing in the city of Lattakia), to show the effectiveness of the tool and to reach results and recommendations that benefit the research objective.

key words: Colors, residential buildings, color schemes.

المقدمة Introduction:

أصبحت العمارة المعاصرة في الآونة الأخيرة تهتم بالجوانب الفنية التشكيلية بالإضافة إلى جودة التخطيط والتصميم والتنفيذ، وذلك من خلال التوجه إلى تشكيل وتنظيم الكتل المبنية وألوان الواجهات الخارجية ضمن لوحة فنية متكاملة الأركان، بهدف خلق فراغات تحقق انتفاعاً وظيفياً ومتعةً جماليةً في إطار العمارة والعمران [1]، منطلقة من مفهوم أن اللون يشكل جزءاً من الفضاء العمراني، حيث يأتي مؤكداً على الفكرة التصميمية ومحرزاً على الإدراك الجمالي للمنطقة، وينعكس إيجاباً على نشاط وسلوك وإنتاج الفرد.

هدف البحث Aim of the search:

يهدف البحث إلى رصد المعايير التي تؤثر على اختيار ألوان الواجهات الخارجية للمباني السكنية للوصول إلى صورة جميلة للمدينة بالإضافة إلى التصميم الجيد، بالإضافة إلى تصميم أداة للتقييم اللوني تساعد المصمم على الوصول إلى قرارات لونية تحقق تناسق وانسجام ألوان العناصر التصميمية المكونة للواجهة، وتتناسب مع معطيات وخصوصية المنطقة المدروسة.

أهمية البحث Research Importance:

تأتي أهمية البحث من استنباط معايير لاختيار ألوان الواجهات السكنية، وربطها بالجوانب التصميمية المعمارية والعمرانية، لتأخذ بعين الاعتبار عند عملية التصميم الأولوية وتقييمها بالأداة المقترحة في البحث، للتوصل إلى تصميم متكامل ومتناسق الألوان، ويتناسب مع خصوصية المشروع المدروس وخصائص الموقع العام.

مناهج البحث Research Methods:

اعتمد البحث على المنهج النظري من خلال دراسة انعكاس اللون على الأحياء السكنية، والمنهج التحليلي الاستنتاجي المستخدم في استنباط معايير اختيار ألوان السكن، والمنهج الاستقرائي من خلال التطبيق على حالة الدراسة المقترحة في البحث.

حدود البحث المكانية:

الأبنية السكنية في مدينة اللادقية وتم تحديد سكن الادخار كحالة دراسية.

1- انعكاس اللون على المباني السكنية:

تتألف المدينة من مجموعة مترابطة من القطاعات السكنية والخدمية التجارية والتعليمية والترفيهية والدينية... إلخ، تشكل الأحياء السكنية الجزء الأكبر منها، وبالتالي تنعكس الألوان المستخدمة في واجهاتها الخارجية (إيجاباً أو سلباً) بشكل رئيسي ومباشر على الصورة المرئية للمدينة [2]، حيث تختلف صفات الواجهات السكنية بحسب معطيات كل مدينة وتبعاً للطابع المعماري والعمراني السائد، فتتفرد بخصائص وألوان تختلف من حي إلى آخر، وأحياناً من شارع إلى آخر، لتعطي لكل حي هوية خاصة تميزه عن غيره.

أكدت الدراسات والأبحاث العلمية مؤخراً على أهمية الاستخدام المدروس للألوان في العمارة بشكل عام وفي السكن بشكل خاص لما له من تأثير مهم على العملية التصميمية، فيمكن للون أن يتحرك على هيئة تعبير وظيفي أو تصميمي أو تشكيلي أو رمزي لمختلف الأغراض الحياتية الفكرية والثقافية والدينية المختلفة المرتبطة بالإنسان [3].

يمكن أن يلعب اللون دوراً في منح هوية لونية خاصة تميز مدينة عن غيرها، فيصبح اللون الغالب على أحيائها السكنية صفة مميزة لها ترتبط باسمها، تنعكس على تنشيط القطاع السياحي الذي ينعكس بدوره على الاقتصاد، مثل مدينة مراكش الحمراء عاصمة المغرب.

بالإضافة إلى أن البيئة السكنية المتجانسة لونياً، تحقق قدراً من القيم الجمالية تنعكس على شعور السكان وتعزز انتماءهم لها، وتصبح مادة غنية للحوار والنقد الفني مما يغني وينمي الذوق العام والأحاسيس الجمالية [4]، ويصبح من الصعوبة أن يقوم سكان المنطقة بأعمال تشوه الصورة الجميلة لمنطقتهم وبالتالي تؤثر على السلوك والنشاط والإنتاجية.

2-المعايير المؤثرة على اختيار ألوان المباني السكنية:

هناك مجموعة من المعايير التي تؤثر على اتخاذ القرارات اللونية المتعلقة بالمباني السكنية، تشكل مؤشرات تفرز ألواناً مناسبة وتساعد المصمم على الوصول إلى الحل اللوني الأكثر توافقاً مع معطيات المنطقة، وأكثر انسجاماً مع المحيط.

سيتم تصنيف هذه المعايير انطلاقاً من الجوانب التي تعنى بدراستها الهندسة المعمارية والتخطيط العمراني باختصاصاته المختلفة، وتحديدتها في ثلاث نقاط رئيسية وهي:

1-2-معايير عمرانية (Urban Standards) اختصاراً (US):

لا يمكن التعامل مع البناء السكني على أنه عنصر مستقل بذاته، فهو جزء من كل محيط به هو الوسط العمراني، فلا يمكن اختيار ألوان واجهة خارجية دون الأخذ

بالاعتبار الألوان المستخدمة في الفضاءات المجاورة له، من الفراغات العمرانية المحيطة به (ساحات عامة أو خاصة -نصب تذكارية -مباني أثرية -كتل لرموز تاريخية أو ثقافية....)، والبيئة الطبيعية السائدة (بحر-غابة-محمية-أراضي زراعية-أراضي ترابية.... إن وجد) [5]، بحيث يجب أن تكون منسجمة معها، وتتناغم فيما بينها لتشكل مشهد عام موحد الأركان وصورة متناسقة ومكاملة للمدينة.

2-2-2-2 معايير معمارية (Architectural Standard) اختصاراً (AS):

هناك مجموعة من المعايير المعمارية المتعلقة بتصميم البناء السكني تؤثر بشكل مباشر ومهم على اختيار الألوان المناسبة لواجهاته الخارجية وهي:

1-2-2-2 توجيه المبنى السكني:

أصبحت عملية تصميم المباني السكنية في الآونة الأخيرة تتعدى فكرة الدور التقليدي لتلبية وظيفة السكن فقط، ليصبح لها دوراً أساسياً في توفير بيئة مناسبة للعيش بأقل التكاليف الممكنة عن طريق تقليل الهدر للطاقة، من خلال ظهور مفهوم المباني الصديقة للبيئة للمحافظة على الموارد الطبيعية للأجيال المستقبلية، لاسيما وأن المتغيرات المناخية التي يسببها الاحتباس الحراري (Global warming) أجبرت المهندسين والمختصين عن البحث عن أفضل السبل في تحقيق جودة البيئة الداخلية للمباني السكنية [6].

لقد أكدت الأبحاث والدراسات العلمية الحديثة على دور اللون في عملية التهوية الحرارية داخل المبنى عن طريق استخدام الألوان المناسبة للمتطلبات الحرارية للمنطقة وذلك من خلال اختيار ألوان تعدل الحرارة الداخلية، بحيث تستخدم الألوان الحارة في الأبنية ذات التوجيه البارد والعكس صحيح.

2-2-2- الخصائص التصميمية للواجهة:

تتألف هذه الخصائص من محورين رئيسيين هما: سمات الواجهة -مكونات الواجهة.

أولاً-سمات الواجهة:

تدرج هذه السمات تحت ثلاث نقاط رئيسية تؤثر على تصميم الواجهة وهي:

-سمات التكوين: يعتمد التكوين في التصميم المعماري على تحديد سمات تبرز صفات خاصة تعكس الهدف من التشكيل وتؤكد على طبيعة ووظيفة المبنى، وتعطي المتلقي الشعور بوزن الواجهة، حيث تظهر على التصميم النهائي صفة الهدوء أو النشاط، كما يمكن أن يوحي بحرارة أو برودة الألوان، بالإضافة إلى إمكانية إيصال شعوراً بثقل المبنى أو خفته، وبصلابة أو نعومة التكوين، وفي كثير من الأحيان يتم استخدام عناصر إضافية تعكس غنى أو فقر الطراز المعماري المستخدم [7].

ويعتبر اللون أحد أهم العناصر التي تساعد في إبراز الصفة المرجوة من التكوين، ليشكل عنصر تصميمي يساهم في إظهار السمة المسيطرة على تصميم الواجهة.

ثانياً-مكونات الواجهة:

تتألف الواجهات من ثلاث مكونات رئيسية وهي:

-مكونات وظيفية: بعضها يستخدم في التصميم لتحقيق الهدف الوظيفي فقط، كالمدخل والمخرج والشرفات والأبواب والنوافذ، حيث تحسب نسبة الفتحات الخارجية الموجودة في الواجهة، فتحدد مساحة الألوان المستخدمة فيها، والتي

تنعكس على مدى تأثيرها على التصميم، وبعضها الآخر يستخدم لتحقيق الغاية الإنشائية للتصميم كالأعمدة والجدران والأدراج وجدران القصر ومواد الإنشاء.

-مكونات تزيينية: تشكل عناصر مضافة إلى التصميم الرئيسي للواجهة، لتعنى بالناحية الفنية والتشكيلية، وتساعد في إبراز جمالية التصميم، كالبروزات والأعمدة التزيينية والحديد المشغول والزجاج الملون والنبات والماء [8].

يلعب اللون دوراً أساسياً في تشكيل وإبراز جمالية مكونات الواجهة، وفي تحديد علاقتها مع بعضها البعض، بحيث تتعلق قوة تأثير اللون المختار على مدى إمكانية رؤية تفاصيل الواجهة بشكل واضح والإحساس بانسجام العلاقات الناتجة عن الألوان المستخدمة فيها، وذلك من خلال تحديد علاقة تناسبية بين حجم المبنى وزاوية النظر لتحقيق حالة الاحتواء والاستيعاب البصري لها، وحددت هذه العلاقة دراسة "Spreiregen" التي أوجدت علاقة بين أبعاد الواجهة وزاوية النظر لتحديد طبيعة الاحتواء [9]، كما هو موضح بالجدول (1-2):

جدول (1-2) العلاقة بين أبعاد الواجهة وزاوية النظر (طبيعة الاحتواء)

ارتفاع عرض النسبة	زاوية النظر	طبيعة الاحتواء	طبيعة الرؤيا للواجهات ووضوح الألوان فيها
1:1	45	احتواء كامل	يمكن رؤية التفاصيل وألوان الواجهة بشكل ممتاز وواضح
2:1	30	احتواء متوسط	يمكن رؤية واجهة البناء بشكل جيد وتحديد الألوان وتفاصيله
3:1	18	احتواء ضعيف	تترك من خلال علاقتها مع مجاوراتها وألوانها ضعيفة الوضوح
4:1	14	احتواء منعدم	تترك الواجهة كشيء (متقدم إلى الأمام) وتصبح تحديد ألوانها
2\1:1	60	ضيق المجال	يمكن رؤية نصف ارتفاع الواجهة فقط الألوان غير واضحة

-مكونات تعبيرية: الهدف منها إيصال رسائل معينة للمتلقي بحسب وظيفة المبنى والتأكيد على الغاية المعنوية وأحياناً الثقافية أو التاريخية أو الدينية للتصميم. يعتبر اللون من أهم الرموز الفنية التعبيرية المستخدمة عبر التاريخ، حيث أشارت الصور والرسومات الأثرية على الاستخدام الكبير للألوان، والغنى بتفاصيل وعناصر ملونة متمثلة بالزخارف والنقوش والمنحوتات واللوحات الجدارية.

3-2-2- النمط المعماري لبناء الواجهة:

تتنوع الأنماط التي تتبع لها طريقة تصميم واجهة البناء السكني، وكل نمط يفرز ألوان تابعة له بحسب خصائصه وطبيعة مواد البناء والاكساء المستخدمة لإظهاره، تتنوع هذه الأنماط بحسب الحالة الفيزيائية للبناء وهي (أثري، قديم، حديث، قيد التنفيذ)، حيث يجب الالتزام في حالة إعادة ترميم البناء القديم والأثري بالألوان المستخدمة في زمن بنائه، للحفاظ على الطابع التاريخي الموافق له، بينما يمكن في حالة البناء الحديث استخدام ألواناً تناسب مواد البناء والاكساء الجديدة في العمارة المعاصرة، أما في حالة البناء قيد التنفيذ تكون فيه الحرية مطلقة، بحسب خصوصية المشروع.

3-2-3- معايير لونية Colors Standards اختصاراً (CS):

تحدد المعايير اللونية لاختيار ألوان الواجهات الخارجية للأبنية السكنية بحيث يجب أن تتبع خطة لونية (Schemes Color) معينة للحصول على مستوى عالي من التوافق اللوني [10].

هناك العديد من الخطط اللونية المعتمدة في العمارة، والتي تساعد المصمم على ترتيب تفكيره، وتعطي تأثير لوني متوافق ومتجانس يمكن توقعه.

وسوف يعتمد البحث على الخطط الأكثر انتشاراً واستخداماً في العمارة، وهي التصنيف الذي قدمه عالم اللون بيرين " Birren " ¹. والموضحة بالجدول (2-2):

جدول (2-2) الخطط اللونية بحسب العالم بيرين [إعداد الباحث بالاعتماد على تصنيف العالم بيرين].

الخطط اللونية الثانوية الناتجة عن كل خطة رئيسية باعتبار اللون الأصفر (فرضاً) هو اللون الرئيسي					الخطة الرئيسية
					1-علاقة التشابه (CS1)
		3-درجات الإضاءة	2-درجات مختلفة لماهية	1-الماهيات المتجاورة	
					2-علاقة التتام (CS2)
5-الماهيات الثنائية	4- مجاورتان لمتمهما	3-الماهيات المتجاورة	2-الماهيات المتشابهة	1-ماهيتان متتامتان	
					3-علاقة التوازن (CS3)
		3-رباعية الماهيات	2-ثلاثية الماهيات	1-ثنائية الماهيات	
					4-لون مسيطر (CS4)
	4-لون متعادل	3-لون متعادل مسيطر	1-لون مسيطر	1-ماهية مشتركة	

¹ (Faber, Birren) (Creative Color) كتاب (1961). New York.

على أن يتم تطبيق المعايير اللونية على مستويين: معايير لونية على المستوى المعماري (ICS)، أي بالنسبة للألوان المستخدمة في البناء نفسه، ومعايير لونية على المستوى العمراني (2CS)، أي بالنسبة للألوان المستخدمة في البناء والألوان المستخدمة في البيئة المحيطة به.

بعد القيام بالدراسة السابقة، وبناءً على النتائج والمعايير المستنتجة سيتم تصميم أداة للتقييم اللوني.

3- أداة التقييم اللوني (Color Assessment):

سيتم تحديد آلية التقييم اللوني للمباني السكنية عن طريق إعداد أداة خاصة، وذلك من خلال تحديد خطوات متسلسلة بناءً على المعلومات السابقة وفق ما يلي:

1-3- التعريف بالبناء السكني:

سيتم التعريف بالبناء من خلال تنظيم جدول يحتوي جميع المعلومات النظرية والمخططات والصور التوضيحية المتعلقة به وفق النموذج المقترح من قبل الباحث، الجدول (3-1):

الجدول (3-1) جدول التعريف بالبناء السكني. [إعداد الباحث].

الألوان المستخدمة في الواجهات		توصيف البناء		رمز البناء
	اللون الرئيسي		المساحة	
	الألوان الثانوية		عدد الطوابق	
الواجهات الملونة		الواجهة الرئيسية	المسقط الأفقي	موقع البناء في الموقع العام

2-3- تحديد معايير الاختيار:

يتم وضع المعايير بناءً على الأهمية التي يقدمها كل منها بما يتوافق مع التأثير اللوني الذي سيؤديه لخدمة القرارات اللونية التي تؤثر على اختيار ألوان المباني السكنية بحسب المرجعيات العلمية العالمية والمحلية وبحسب الدراسة النظرية والتحليلية السابقة، وبما يتوافق مع خصوصية حالة التجمع السكني لحالة الدراسة، والتي تم تحديدها مسبقاً بالمعايير الرئيسية والفرعية التالية الجدول (2-3):

الجدول (2-3) معايير الاختيار. [إعداد الباحث].

معايير الاختيار									
3-المعايير اللونية (CS)				2-المعايير المعمارية (AS)				1-المعايير العمرانية (US)	
عمرانياً (2CS)		معمارياً (1CS)							
علاقة	2CS1	علاقة	1CS1	مكونات	AS4	اتجاه	AS1	مناطق	US1
تشابه		تشابه		ترتيبية		المبنى		خضراء	
علاقة	2CS2	علاقة	1CS2	سمات	AS5	طبيعة	AS2	مسطحات	US2
تتام		تتام		تكوين		الاحتواء		مائية	
علاقة	2CS3	علاقة	1CS3	نمط	AS6	نسبة	AS3		
توازن		توازن		معماري		الفتحات			
لون	2CS4	لون	1CS4						
مسيطر		مسيطر							

3-3-التقييم اللوني باستخدام الأداة:

سيتم التقييم اللوني للبناء السكني وفق المراحل التالية:

1-3-3-قياس درجة تحقيق المعايير في البناء:

تتم عملية قياس الدرجات بهدف تحديد الألوان الرئيسية والثانوية التي لا تحقق توافق لوني، أو تحقق توافق لوني بنسب صغيرة، وبالتالي تحديد المعايير التي تحتاج لإعادة دراسة لتحقيق توافق لوني أفضل.

حيث يتم تقييم مدى تميز كل بناء بالنسبة لكل معيار حسب المواصفات المطلوبة لتحقيق الاستفادة القصوى في القرارات اللونية وانعكاسها على ألوان الواجهات، من خلال قياس درجة تحقيق المعايير في حالة الدراسة، حيث يتم تقييم كل نموذج لوني بالنسبة لكل معيار على حدة وفق درجات من 1 إلى 5، بحيث أن 1 يعني غير مهم و5 غاية في الأهمية بحسب مقياس ليكرت الخماسي². وذلك وفق الجدول (3-3):

² رينسيس ليكرت، عالم اجتماع في جامعة ميشيغان أمريكا كان هدفه تطوير وسيلة قياس بطريقة علمية لجمع البيانات خلال عملية التقييم

معايير اختيار ألوان المباني السكنية حالة دراسية: سكن الادخار | اللاذقية |

الجدول (3-3) جدول التقييم اللوني للمعايير. [إعداد الباحث].

وصف	درجة تقييم النموذج اللوني (CM)					معايير عمرانية (US)
	5	4	3	2	1	
استخدام ألوان تحقق علاقة (خطة لونية) متوافقة مع المحيط	أكثر من 45%	30-45%	15-30%	أقل من 15%	لا يوجد	US 1
	أكثر من 45%	30-45%	15-30%	أقل من 15%	لا يوجد	US 2
الوصف	درجة تقييم النموذج اللوني (CM)					معايير معمارية AS
	5	4	3	2	1	
ألوان تتناسب اتجاه مبنى	جنوب / غربي	شرق/جنوب	غرب / شمالي	شمال/شرقي	اتجاه مغاير	AS1
يتناسب طردأً مع النسبة	1:1 كامل	2:1 متوسط	3:1 ضعيف	1:2 اضعيق	4:1 منعدم	AS2
يتناسب عكساً مع نسبة	أقل من 10%	10-20%	20-30%	30-40%	أكثر من 40%	AS3
ألوان تتناسب مع الواجهة	بروزات مظلات	زجاج ملون	أعمدة منحوتات	زخارف نقوش	نبات ماء	AS4
ألوان تتناسب السمات	دفع برودة	غنى فقر	ثقل خفة	هدوء نشاط	صلابة نعومة	AS5
ألوان تتناسب مع النمط	قيد التنفيذ	بناء حديث	بناء متوسط	بناء قديم	بناء أثري	AS6
الوصف	درجة تقييم النموذج اللوني (CM)					معايير لونية (CS)
	5	4	3	2	1	
خطة لونية (التشابه)	100-80%	80-60%	60-40%	40-20%	20-0%	CS1
خطة لونية (التتام)	100-80%	80-60%	60-40%	40-20%	20-0%	CS2
خطة لونية (التوازن)	100-80%	80-60%	60-40%	40-20%	20-0%	CS3
خطة (لون مسيطر)	100-80%	80-60%	60-40%	40-20%	20-0%	CS4

2-3-3- حساب الدرجات المستحقة للمعايير في البناء:

عن طريق حساب مجموع النقاط الحاصل عليها كل بناء سكني في كافة المعايير، ومن ثم تقسيم الرقم الناتج على عدد المعايير المستخدمة للحصول على الدرجة المستحقة للبناء.

3-3-3- تحليل نتائج التقييم اللوني:

يتم تحليل نتائج التقييم اللوني عن طريق استخدام أسلوب المقارنة بين نتائج النقاط المستحقة التي حصلت عليها عينات الدراسة والنسب المئوية التي حصل عليها كل معيار، واستنتاج الأسباب التي أدت إلى الحصول على نتائج التقييم.

4- التطبيق على حالة الدراسة اسكن الادخار:

للتحقق من إمكانية تطبيق أداة التقييم اللوني المستنتجة من الدراسة السابقة، والتي خلص إليها البحث لتكون أداة مساعدة للمصمم في اتخاذ القرارات اللونية المتعلقة باختيار ألوان مناسبة للواجهات الخارجية للسكن في مدينة اللاذقية، وفي سبيل إثبات مدى فاعلية الأداة في تحقيق هدف البحث الرئيسي، تم اختيار شريحة سكنية قائمة كحالة دراسية في مدينة اللاذقية، (الغاية من اختيار عينة قائمة - قيد الإشغال - وجود المخططات المعمارية للموقع والمساقط والواجهات لتقييمها).

تم اختيار مشروع (سكن الادخار) في مدينة اللاذقية، الواقع في الجهة الشمالية الشرقية من المدينة، والموضح في الشكل (1-4) لتكون عينة للدراسة الميدانية والتطبيقية في البحث.



الشكل (1-4) موقع حالة الدراسة

الجهة الدارسة والمنفذة للمشروع هي الشركة العامة للدراسات الهندسية فرع المنطقة الساحلية، بمساحة تقريبية تساوي 15 هكتار، يضم الموقع العام أربع نماذج للأبنية السكنية بمساحات وارتفاعات مختلفة، بالإضافة إلى الفعاليات الخدمية والترفيهية والحدائق [11] الشكل (2-4):



النموذج	عدد الطوابق	عدد المساكن	مساحة المسكن
	10	40	120m ²
	10	40	130m ²
	14	52	130m ²
	14	52	130m ²

الشكل (2-4) الموقع العام لحالة الدراسة

1-4- مبررات اختيار حالة الدراسة:

يقع سكن الادخار على محور سياحي هام يصل بين مدخل مدينة اللاذقية الرئيسي والمنطقة السياحية والقرى الواقعة في شمال المدينة، ويعتبر مشروع سكني غني بالألوان المستخدمة في الواجهات الخارجية للأبنية، وبالتالي عينة مناسبة لتحقيق هدف البحث.

2-4- النماذج اللونية في حالة الدراسة:

يمكن تصنيف الألوان المستخدمة في الواجهات الخارجية لأبنية سكن الادخار ضمن ثلاث نماذج لونية مكررة على كامل الأبنية السكنية، والموضحة في الجدول (1-4): (حيث تم اعتماد الرمز (CM) للنماذج اللونية كاختصار للنماذج اللونية (Color models)).

الجدول (1-4) النماذج اللونية (CM) الموجودة في سكن الادخار. [إعداد الباحث].

الرمز	اللون الرئيسي	الألوان الثانوية	
CM1	بني غامق	أبيض	بيج
CM2	أخضر زيتي	أبيض	بيج
CM3	أصفر كموني	بني غامق	بيج أبيض

سيتم تطبيق الأداة على بناء واحد من كل نموذج لوني عن طريق حساب النقاط الحاصل عليها كل بناء من خلال ربط معطيات البناء بالجدول (3-3) السابق لمعرفة النقاط المقابلة لها، ومن ثم إجراء التقييم اللوني لكل منها.

✓ الدراسة التحليلية:

ستتم الدراسة التحليلية على النماذج اللونية الثلاثة (CM1, CM2, CM3) الموجودة في سكن الادخار، بحيث يتم اختيار بناء واحد كمثال من كل نموذج لوني وذلك لاشتراكه مع باقي الأبنية بالصفات التصميمية والعمرانية واللونية، وبالتالي تكون طريقة التحليل نفسها مكررة على باقي الأبنية في النموذج اللوني الواحد:

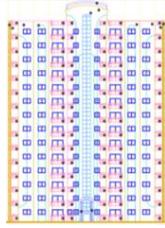
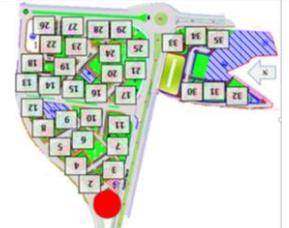
• النموذج اللوني الأول (CM1):

سوف يتم اتباع خطوات أداة التقييم اللوني على البناء السكني ذو الرمز (A):

1-التعريف بالبناء السكني:

تم تنظيم المعلومات الخاصة بالتعريف البناء (A) وفق الجدول (2-4):

الجدول (2-4) التعريف بالبناء (A). [إعداد الباحث].

الألوان المستخدمة في الواجهات		توصيف البناء		اتجاه البناء	رمز البناء
البنّي	اللون الرئيسي	130 م ²	المساحة	شمال شرقي	(A)
الغامق	الألوان الثانوية	14	عدد الطوابق		
البيج-	الأبيض	الواجهة الرئيسية		موقع البناء في الموقع العام	
الواجهات الملونة		المسقط الأفقي		موقع البناء في الموقع العام	
					

2- تحديد معايير الاختيار:

المعايير العمرانية (US) - المعايير المعمارية (AS) - المعايير اللونية (CS).

3- التقييم اللوني باستخدام الأداة:

سيتم التقييم للبناء السكني باستخدام الأداة باتباع الخطوات التالية.

1-3- قياس درجة تحقيق المعايير في البناء (A):

تم تحديد درجة تحقيق المعايير العمرانية والمعمارية واللونية للبناء (A)، بناءً على

المعلومات التي تم تحديدها سابقاً وتنظيمها في الجدول (3-4):

الجدول (3-4) درجات تحقيق معايير الاختيار للبناء (A). [إعداد الباحث].

درجات تحقيق معايير الاختيار للبناء السكني (A)									
3-المعايير اللونية (CS)				2-المعايير المعمارية (AS)				1-المعايير العمرانية (US)	
عمرانياً (2CS)		معمارياً (1CS)							
1	2CS1	4	1CS1	5	AS4	2	AS1	2	US1
1	2CS2	1	1CS2	3	AS5	3	AS2	1	US2
1	2CS3	1	1CS3	3	AS6	2	AS3		
1	2CS4	2	1CS4						

2-3- حساب الدرجات المستحقة للمعايير في البناء (A):

يتم جمع النقاط الحاصل عليها كل معيار كالاتي:

يصبح عدد النقاط = $(1+1+1+1+2+1+1+4+3+3+5+2+3+2+1+2) = 33$ نقطة

الدرجة المستحقة للبناء (A) = $33 \div 16 = 2.06$

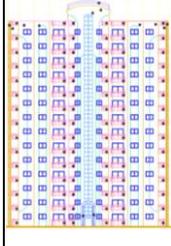
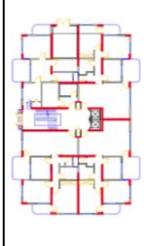
• النموذج اللوني الثاني (CM2):

سوف يتم اتباع خطوات أداة التقييم اللوني على البناء السكني ذو الرمز (B):

1-التعريف بالبناء السكني:

تم تنظيم المعلومات الخاصة بالتعريف البناء (B) وفق الجدول (4-4):

الجدول (4-4) التعريف بالبناء (B) [إعداد الباحث].

الألوان المستخدمة في الواجهات		توصيف البناء		اتجاه البناء	رمز البناء
الأخضر الزيتي	اللون الرئيسي	130 م ²	المساحة	شمال	(B)
البيج والأبيض	الألوان الثانوية	10	عدد الطوابق	غربي	
الواجهات الملونة		الواجهة الرئيسية	المسقط الأفقي	موقع البناء في الموقع العام	
					

2-تحديد معايير الاختيار: المعايير العمرانية (US) -المعايير المعمارية (AS) -

المعايير اللونية (CS).

3-التقييم اللوني باستخدام الأداة:

سيتم التقييم للبناء السكني باستخدام الأداة باتباع الخطوات التالية.

1-3- قياس درجة تحقيق المعايير في البناء (B):

تم تحديد درجة تحقيق المعايير العمرانية والمعمارية واللونية للبناء (B)، بناءً على المعلومات التي تم تحديدها سابقاً في الجدول (4-5):

الجدول (4-5) درجات تحقيق معايير الاختيار للبناء (B). [إعداد الباحث].

درجات تحقيق معايير الاختيار للبناء السكني (B)									
3-المعايير اللونية (CS)				2-المعايير المعمارية (AS)				1-المعايير العمرانية (US)	
عمرانياً (2CS)		معماريًا (1CS)							
1	2CS1	1	1CS1	5	AS4	3	AS1	2	US1
1	2CS2	1	1CS2	3	AS5	3	AS2	1	US2
1	2CS3	1	1CS3	3	AS6	2	AS3		
1	2CS4	1	1CS4						

2-3- حساب الدرجات المستحقة للمعايير في البناء (B):

يتم جمع النقاط الحاصل عليها كل معيار كالاتي:

يصبح عدد النقاط = $(1+1+1+1+1+1+1+1+3+3+5+2+3+3+1+2) = 30$ نقطة

الدرجة المستحقة للبناء (A) = $30 \div 16 = 1.87$

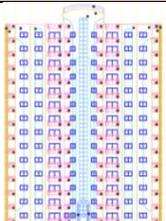
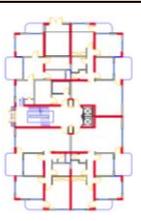
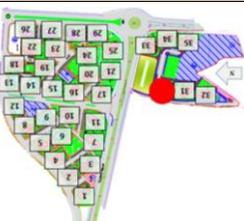
• النموذج اللوني الثالث (CM3):

سوف يتم اتباع خطوات أداة التقييم اللوني على البناء السكني ذو الرمز (C):

1-التعريف بالبناء السكني:

تم تنظيم المعلومات الخاصة بالتعريف البناء (C) وفق الجدول (4-6):

الجدول (4-6) التعريف بالبناء (C) [إعداد الباحث].

الألوان المستخدمة في الواجهات		توصيف البناء		اتجاه البناء	رمز البناء
الأصفر الكموني	اللون الرئيسي	130 م ²	المساحة	جنوب شرقي	(C)
بيج وأبيض	الألوان الثانوية	14	عدد الطوابق		
الواجهات الملونة		الواجهة الرئيسية	المسقط الأفقي	موقع البناء في الموقع العام	
					

2-تحديد معايير الاختيار:

المعايير العمرانية (US) -المعايير المعمارية (AS) -المعايير اللونية (CS).

3-التقييم اللوني باستخدام الأداة:

سيتم التقييم للبناء السكني باستخدام الأداة باتباع الخطوات التالية.

1-3- قياس درجة تحقيق المعايير في البناء (C):

تم تحديد درجة تحقيق المعايير العمرانية والمعمارية واللونية للبناء (C)، بناءً على المعلومات التي تم تحديدها سابقاً في الجدول (4-7):

الجدول (4-7) درجات تحقيق معايير الاختيار للبناء (C). [إعداد الباحث].

درجات تحقيق معايير الاختيار للبناء السكني (C)									
3-المعايير اللونية (CS)				2-المعايير المعمارية (AS)				1-المعايير العمرانية (US)	
عمرانياً (2CS)		معماريًا (1CS)							
1	2CS1	5	1CS1	5	AS4	4	AS1	2	US1
1	2CS2	3	1CS2	3	AS5	3	AS2	1	US2
1	2CS3	1	1CS3	3	AS6	2	AS3		
1	2CS4	3	1CS4						

2-3- حساب الدرجات المستحقة للمعايير في البناء (C):

يتم جمع النقاط الحاصل عليها كل معيار كالاتي:

يصبح عدد النقاط = $(1+1+1+1+3+1+3+5+3+3+5+2+3+4+1+2) = 39$ نقطة.

الدرجة المستحقة للبناء (A) = $39 \div 16 = 2.43$

ولحساب العدد الكلي الحاصل عليه كل معيار من معايير الاختيار في الأبنية السكنية (A, B, C) من النماذج اللونية الثلاث، بحسب درجة الأهمية تم تنظيم كافة المعلومات المتعلقة بالأبنية في الجدول (4-8):

الجدول (4-8) التقييم اللوني للنماذج اللونية. [إعداد الباحث].

العدد الكلي	اللونية (عمرانياً)				اللونية (معماريًا)				المعمارية						العمرانية		التقييم اللوني للنماذج
	2CS	2CS	2CS	2CS	ICS	ICS	ICS	ICS	AS6	AS5	AS4	AS3	AS2	AS1	US2	US1	
7	+	+	+	+		+	+								+		التقييم حسب الأهمية
4					+							+		+		+	
3									+	+			+				
1								+									
1											+						
9	+	+	+	+	+	+	+	+							+		التقييم حسب الأهمية
2												+				+	
4									+	+			+	+			
0																	
1											+						
6	+	+	+	+		+									+		التقييم حسب الأهمية
2												+				+	
5					+		+		+	+			+				
1														+			
2								+			+						

تمت مقارنة النسب المئوية الناتجة عن عدد النقاط الكلي الحاصل عليها كل بناء (A,B,)

(C) وفق الجدول (4-9):

الجدول (9-4) النسب المئوية لعدد النقاط. [إعداد الباحث].

النسبة المئوية لعدد النقاط الحاصل عليها كل بناء بحسب الأهمية							
النسبة المئوية	C	النسبة المئوية	B	النسبة المئوية	A	الرمز	التقييم بحسب الأهمية
37.5%	6	56.25%	9	43.75%	7	1	
12.5%	2	12.5%	2	25%	4	2	
31.25%	5	25%	4	18.75%	3	3	
6.25%	1	0%	0	6.25%	1	4	
12.5%	2	6.25%	1	6.25%	1	5	

نتائج الدراسة التحليلية:

- 1- حصلت المباني الموجودة في التماذج اللونية الثلاثة على نفس التقييم بالنسبة للمعايير العمرانية (US)، وذلك لأنها تقع في وسط عمراني واحد.
- 2- حصلت المباني الموجودة في التماذج اللونية الثلاثة على تقييم مختلف بالنسبة للمعيار المعماري (اتجاه المبني AS1)، وذلك لاختلاف اتجاه كل منها بالنسبة لسهم الشمال في الموقع العام.
- 3- حصلت المباني الموجودة في التماذج اللونية الثلاثة على نفس التقييم بالنسبة للمعايير المعمارية التالية: (طبيعة الاحتواء AS2، نسبة الفتحات AS3، المكونات التزيينية AS4، سمات التكوين AS5، النمط المعماري AS6)، وذلك لاشتراكها بنفس الصفات التصميمية المستخدمة في أبنية المشروع.

4- يوجد اختلاف واضح في تقييم المعايير اللونية (معماريًا) 1CS، وذلك بسبب اختلاف الألوان المستخدمة في الواجهات الخارجية للمباني، أما على مستوى المعايير اللونية (عمرانيًا) 2CS، حصلت المباني في النماذج اللونية الثلاث على نفس التقييم نتيجة وجودها في وسط عمراني واحد.

5- بالعودة إلى الجدول (9-4) نجد أن البناء (C) حصل على أعلى نسبة مئوية في التقييمات الثلاث (3-4-5) الأكثر أهمية من أصل خمسة، وأقل نسبة في التقييمين (1-2) الأقل أهمية في التقييمات الخمسة السابقة، وبالتالي الألوان المستخدمة في الواجهات الخارجية للبناء (C) وهي (الأصفر الكموني + البيج + الأبيض) هي الألوان الأكثر ملاءمة للمباني السكنية في سكن الادخار وذلك لأنها تتناسب مع معطيات الموقع وخصائص البناء والخطط اللونية المطبقة وذلك بحسب معايير الاختيار.

النتائج والتوصيات:

1- تشكل المباني السكنية القطاع الأكبر من المدينة، وبالتالي تؤثر تناسق وانسجام ألوان واجهاتها الخارجية بشكل رئيسي ومباشر على عكس صورة جميلة ومتكاملة للمدينة.

2- توجد معايير عمرانية ومعمارية ولونية تؤثر على اتخاذ القرارات اللونية، يجب على المصمم دراستها قبل اختيار ألوان واجهات المباني.

3- يجب التعامل مع المبنى السكني على أنه جزء من المحيط العمراني، فيجب أن تتسجم ألوان واجهاته الخارجية مع ألوان البيئة الطبيعية والعمرانية المحيطة به.

4- يجب استخدام اللون كأداة تصميم مساعدة على تأكيد الفكرة التصميمية للمبنى السكني، بالتزامن مع الجوانب البصرية التشكيلية الفنية والتعبيرية للواجهات الخارجية، وذلك من خلال تطبيق المعايير التصميمية والعمرانية واللونية للألوان المستخدمة.

5- يلعب اللون دوراً رئيسياً في إظهار سمات تصميم واجهات المباني السكنية، فيتوجب على المصمم دراسة الألوان المستخدمة كمرحلة أساسية مرتبطة بالخطط اللونية المستخدمة في العمارة وذلك لتحقيق الهدف المطلوب من التصميم.

6- يعتبر اللون عنصر مساعد على إظهار مكونات الواجهة السكنية في العمارة، ومؤكداً على إيضاح العلاقات فيما بينها، وإظهار غنى الواجهة بها ولاسيما المكونات التزيينية والتعبيرية.

7- يساعد اللون في إيضاح النمط المعماري المتبع في تصميم المبنى السكني، وذلك من خلال اختيار ألوان مواد البناء والاكساء المناسبة في التنفيذ.

التوصيات:

1- اعتبار عملية اختيار ألوان الواجهات الخارجية للأبنية السكنية مرحلة أولية لا تقل أهمية عن باقي مراحل التصميم، وتشكيل لجنة مختصة للقيام بالدراسة اللونية وفق معايير الاختيار (العمرانية- المعمارية- اللونية) المتناسبة مع خصوصية الموقع والمشروع.

2- خلص البحث إلى تصميم أداة تقييم لوني تشمل الجوانب العمرانية والمعمارية واللونية الواجب مراعاتها أثناء اختيار ألوان الواجهات الخارجية للمبنى السكني، يمكن استخدامها من قبل المصمم لتساعده في الحصول على قرارات لونية مناسبة للتصميم، (مع إمكانية التعديل والتطوير بحسب دراسات وأبحاث جديدة تصب في إطار البحث).

3- يوصي البحث بضرورة القيام بتقييم ألوان الواجهات المقترحة قبل التنفيذ، لتحديد نسبة انسجامها فيما بينها وتوافقها مع خصائص الموقع ومعطيات البيئة المحيطة، وإجراء التعديلات اللازمة إذا اقتضى الأمر ذلك.

4- ضرورة تشكيل لجان مختصة في كل مدينة بشكل عام وباللاذقية بشكل خاص، تقوم بدراسة الألوان الخارجية للأبنية السكنية بحيث تضمن جودة التصميم بالإضافة إلى تحقيق الجانب الجمالي والصورة البصرية المتناسقة للمدينة، والعمل على متابعة الألوان المقترحة أثناء عمليات الصيانة والترميم، ومنع التدخلات اللونية الفردية تحت طائلة المخالفة.

5- يوصي البحث بضرورة دراسة العناصر الفنية التشكيلية للأبنية السكنية (اللون أحد أهم العناصر التشكيلية)، بالتوازي مع العناصر التصميمية والتنفيذية، للوصول إلى تصميم متكامل يعكس صورة بصرية متناسقة للمدينة.

المراجع:

1-الصفدي، جهاد، 2008-أسس التصميم والتشكيل الفني. منشورات جامعة دمشق، كلية الفنون الجميلة، 13.

2- ABEDELMAGID, K, 2005- Methods Of Selecting Colors for Building Facades. an Expert System for Presenting Color (PCAF),UACG-Sofia-Bulgaria.

3-شاش، هبة، 2002-اللون في الفراغات الخارجية وأثره على الإنسان. رسالة أعدت لنيل درجة دبلوم الدراسات العليا في الهندسة المعمارية، جامعة تشرين اللاذقية.

4-فرحات، باهر إسماعيل، 2009-العلاقة التبادلية بين السلوك الإنساني والبيئة المادية في الفراغات العمرانية، رسالة ماجستير غير منشورة في التخطيط والتصميم العمراني، جامعة مصر الدولية، القاهرة: مصر.

5- WONG, w, 1997- Principles of Color Design. Designing with Electronic Color, John Wiley & Sons, INC.

6-عيسوي، محمد عبد الفتاح، 2003-تأثير تصميم الغلاف الخارجي للمبنى على الاكتساب الحراري والراحة الحرارية للمستعملين، رسالة ماجستير، كلية الهندسة قسم العمارة، جامعة القاهرة.

7-حقي، د. رافع إبراهيم -الألوان في البناء.. فن ووظيفة، مقال نشر في مجلة الاقتصاد السعودي، 10\6\2003.

8- WONG, w, 1993- Principles of Form and Design. John Wiley & Sons, INC.

9-KELLERT,S & HEERWAGEN,J, 2008- Biophilic Design: The Theory, Science & Practice of Bringing Building to Life. John Wiley & Sons Inc. New Jersey. Canada.

10-PORTER, T, 2009- Color for Architecture Today. Byron Mikellides, Taylor & Francis.

11- المؤسسة العامة للإسكان فرع اللاذقية. الشركة العامة للدراسات الهندسية (المنطقة الساحلية) اللاذقية. 2022.

دراسة تكرارية العواصف المطرية وتحديد الموسم المطري في محطة السلمية

أمين سليمان [1]

محمد الميلاذ [2]

ملخص

إن لمعرفة التكرار السنوي والشهري واليومي للعواصف المطرية، إضافةً لتحديد بداية ونهاية الموسم المطري أهمية خاصة في الدراسات الهيدرولوجية والزراعية. ولدراسة تكرارية العواصف المطرية تم جمع بيانات سجل الهطول الآلي في محطة السلمية للأرصاء الجوية للفترة الزمنية (2000-2010) على هيئة مخططات ورقية لارتفاع الهطول التراكمي بفواصل زمني لحظي (هيتوغرافات) لـ 376 عاصفة مطرية. وبالاستناد إلى رقمنة هذه المخططات، تم تحديد تواريخ حدوث العواصف، ووقت بدئها وانتهائها، ومدتها، وكمية الهطول خلالها، وحسبت الشدات الوسطية لأزمة هطل مختلفة، والهطول التراكمي بخطوة زمنية 1hr، فضلاً عن تعيين مراكز ثقل مخططات الهطول. ولقد اتضح أن أكبر تكرار للعواصف في شهر شباط (19.9%)، وكمية الهطول خلاله (24.2%) من كمية الهطل السنوي. ودراسة توزيع الهطول اليومي تبين أن أكبر كمية للهطول تتركز في ساعات بعد الظهر (15⁰⁰-18⁰⁰). كما حدد بالتحليل الاحصائي للسلاسل الزمنية للهطول اليومي التاريخ الوسطي لبدء وانتهاء موسم المطر بـ 29 أيلول، 6 أيار، وأن منتصف الموسم المطري يقع في 3 شباط.

كلمات مفتاحية: محطة السلمية، التوزيع الزمني للعواصف، مخطط (هطول - زمن)، بدء وانتهاء الموسم المطري.

[1] أستاذ دكتور، في كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث، حمص، سورية،
ashsuliman58@gmail.com

[2] طالب دكتوراه في كلية الهندسة المدنية، جامعة البعث، حمص، سورية،
malmilad@albaath-univ.edu.sy

Frequency of Rainstorms and Determining of the Rainy Season at Al-Salamiyeh Station

Amin Suliman^[1]

Mohammed Almilad^[2]

Abstract

Knowing the annual, seasonal, monthly and daily frequency of rainstorms, in addition to determining the beginning and end of the rainy season is of particular importance in hydrological and agricultural studies. To study the frequency of rainstorms, the data of the automatic precipitation recorder have collected at the Salamiyah meteorological station for the period (2000-2010) in the form of paper charts of the cumulative precipitation height over time (hyetographs) for 376 rainstorms. Based on the digitization of these charts, the dates of occurrence of storms, their start and end times, their duration, and the amount of precipitation during them were determined. The average intensities for different precipitation times were calculated, the cumulative precipitation with a time step of 1hr, and the center of gravity of the precipitation chart were delineated. It was clear from the analyzes that the greatest frequency of monthly storms was in February (19.9%), and the average amount of precipitation during that period was (24.2%) of the annual amount of precipitation. By studying the distribution of daily precipitation, it was found that the largest amount of precipitation was concentrated in the afternoon hours (15⁰⁰-18⁰⁰). The statistical analysis of the daily precipitation time series has determined the average date for the start and end of the rainy season are on September 29 and May 6, It was also found that the middle of the rainy season is on February 3.

Keywords: *Salamiyah Synoptic Station, Temporal Distribution of Storms, Hyetograph, Beginning and End of the Rainy Season.*

^[1] Professor, Faculty of Civil Engineering, Albaath University, Homs, Syria, ashsuliman58@gmail.com

^[2] Master Engineer, Faculty of Civil Engineering, Albaath university, Homs, Syria, malmilad@albaath-univ.edu.sy

مقدمة

تساهم المعرفة بخصائص العواصف المطرية من حيث كميات الهطول وتوزعها الزمني (السنوي والشهري واليومي) في التعرف على موسمية الهطول وما له من أثر في المجال الزراعي، وفي إدارة المياه وحماية التربة. لقد دُرُس تأثير التوزع الزمني للهطولات المطرية على كمية المياه المتاحة للعمليات الزراعية في ابيادان - نيجيريا، حيث تم تحليل بيانات 470 عاصفة مطرية من سجل هطول آلي خلال الفترة الزمنية 1960-1980، واستنتج التكرار النسبي السنوي، والشهري، واليومي بفواصل زمني 3 ساعة للعواصف المطرية، وتم تحديد الفترات الزمنية المطيرة، وكميات الهطول خلال تلك الفترات وتغيرات الشدة المطرية وعلاقتها بمدى الهطول، وتقدير تأثيراتها في رطوبة التربة [1]. بينت دراسة بريطانية أن موسمية الهطول تعد إحدى الخصائص الأساسية للتوزع الزمني للهطولات، وقدمت مقارنة بين موسمية الهطول لـ 6 مناطق مناخية مختلفة وتم التمييز بين "الموسمية النسبية" وهي التباين النسبي بين هطول الأمطار في الأشهر المختلفة من العام، و"الموسمية المطلقة" والتي يقصد بها تحديد طول موسم الأمطار، والموسم الجاف من العام الهيدرولوجي [2]. قُدِّم مؤشر بسيط للتوزع الزمني الشهري لهطول الأمطار يصف الموسمية النسبية، وسمي بمؤشر الموسمية (SI) Seasonality Index وهو مجموع الفروقات بالقيمة المطلقة بين الهطول الوسطي في الشهر n (\bar{x}_n) والهطول الشهري الوسطي في السنة ($\bar{R}/12$) مقسوماً على الهطول السنوي الوسطي للمحطة (\bar{R}) ، وتتراوح قيم هذا المؤشر نظرياً بين 0 في حال كانت كميات الهطولات متساوية في مختلف الأشهر في العام، إلى 1.83 في حال حدوث الهطول في شهر واحد فقط من العام؛ أما عند دراسة الموسمية المطلقة لهطول الأمطار، يتم التركيز بشكل تقليدي على تحديد بداية، ونهاية، وطول موسم الأمطار والذي هو الفترة من العام الذي يكون الهطول

فيها كافيًا لتلبية متطلبات الغطاء النباتي (الطبيعي أو الزراعي) والتبخر. كما يمكن أن يتم تصنيف الفترة من العام الهيدرولوجي اعتماداً على ما إذا كان الهطول الإجمالي فيها أعلى من عتبة معينة لهطول الأمطار [2,3]. دُرس التوزيع الزمني الشهري للهطولات وتغيراته المكانية في اليونان باستخدام سلسلة طويلة من الهطولات الشهرية لـ 26 محطة بين عامي 1950-2000، وتراوح مؤشر الموسمية بين 0.544 و1.005 - محسوباً بالطريقة الإحصائية الخاصة بـ Walter - والذي يشير إلى تباين واضح في طول موسم الأمطار بين شمال وجنوب اليونان [4]. حُدد في دراسة اندونيسية بدايةً، ونهايةً، وطول موسم الأمطار بطريقة مبسطة باستخدام بيانات الهطول والتبخر نتح اليومي، حيث مثلت القيم التراكمية لكل سنة لكل من هذين العنصرين بعلاقة رياضية تابعة للزمن من الدرجة السادسة، وحددت بداية ونهاية فصل الأمطار من خلال الفرق بين المشتق من الدرجة الأولى لكل من التابعين الزمنيين للهطول والتبخر نتح، فعندما تكون إشارة المشتق موجبة يشير ذلك لفترة الأمطار، وعندما تكون سالبة يشير ذلك لفترة الجفاف [5].

اقترحت طريقة لتحديد بداية ونهاية الموسم المطري بمقياس محلي أو على مستوى المحطة من خلال إيجاد أول (أو آخر) يوم تتجاوز فيه الهطولات (أو تكون أقل من) عتبة محددة، إن لطريقة العتبة الثابتة ميزة كبيرة في الزراعة حيث إنَّ زراعة وانتاج المحاصيل البعلية مرتبطت بهذه العتبة، ولذلك ينصح باستخدام العتبة المحددة احصائياً في التقويم الزراعي [6]، ومن طرائق تحديد عتبة الهطول المحددة لبدء ونهاية موسم الأمطار كما ورد في دراسة جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية هو استخدام سلسلة الهطول اليومي الوسطي التراكمي لمجموعة من المحطات تغطي منطقة الدراسة ثم يتم تحديد بداية الموسم في اليوم الذي تتجاوز فيه قيمة الهطول التراكمي عتبة 0.5 mm لثلاثة أيام بعد الأول من شهر حزيران [7]. وفي دراسة أخرى للتغيرات الزمنية للهطول شرقي حوض البحر المتوسط حددت عتبة الهطول التراكمي بـ 5 mm لتحديد بداية موسم

الأمطار [8]. لكن ما يؤخذ على طريقة عتبة الهطول التراكمي الثابتة لتحديد بداية الموسم المطري أنها غير مجدية خارج منطقة الدراسة التي حددت من أجلها تلك العتبة، ولأجل ذلك قدمت طرائق بديلة أخرى لتحديد بداية ونهاية موسم الهطول كعملية فلترة القيم الحدية للسلاسل الزمنية لإزالة الأحداث المطرية غير الفعالة من السلسلة التي تحدث قبل أو بعد البداية أو النهاية الحقيقية لموسم المطر ولعل أبرزها طريقة انشاء منحني الفروقات التراكمية في كمية الهطول اليومي الوسطي (والذي يأخذ في الغالب شكلاً جيبياً)، اعتباراً من اليوم الأول من العام حتى نهاية العام، ويكون بدء الموسم موافقاً لنقطة التقعر الأولى (الفرق التراكمي الأقل)، ونهاية الموسم موافقاً لنقطة التقعر الثانية (الفرق التراكمي الأعظمي) [9]. في سورية أجريت دراسة التوزع الفصلي للهطول في المنطقة الداخلية الوسطى بتشكيل السلاسل الفصلية للهطول حسب ثلاث تقسيمات، تقسمي الفصول العادي والتراشي، وتقسيم فصل الشتاء إلى أربعين وخمسين الشتاء والسعودات، وتم فيها بناء السلاسل الزمنية للهطولات اليومية لتحديد تواريخ بداية ونهاية موسم الهطول ومنتصفه، وتبين بأنه يبدأ وسطياً في 16 تشرين أول وينتهي في 6 أيار، حسب نسب الهطول في الفصول المختلفة بحسب التقسيمات السابقة للفصول، وقد اعتمدت الدراسة على معطيات الهطول اليومي لمحطات النبك، حمص، الرستن، السلمية، وإدلب لسلسلة زمنية تتراوح بين 20 و 40 سنة، بالاستعانة ببرنامج حاسوبي صمم خصيصاً لهذا الغرض [10].

عُرض فيما سبق دراسة الهطول من حيث توزعه الزمني السنوي والشهري واليومي، واقتُرحت طرائق مختلفة لتقدير بداية ونهاية موسم المطر، وتعتبر مفيدة في التقويم الزراعي بشكل خاص في السنوات محدودة الهطولات. سيتم في هذا البحث دراسة تكرار حدوث الهطول السنوي والشهري واليومي، وتعد الدراسة التكرارية جزءاً في دراسة التوزع

الزمني للعواصف Rain Storm Time Distribution أي أنها دراسة للتوزيع الزمني للعواصف بمقياس زمني كبير نسبياً (سنة، شهر..)، وتختلف عن موضوع توزيع الهطل خلال العاصفة المطرية بحد ذاتها Intra-Storm Rainfall Time Distribution.

تضيف هذه الدراسة على سابقتها، دراسة تكرار العواصف خلال فترات اليوم من خلال تمثيل العاصفة بمركزها الزمني، إضافة إلى طريقة التحديد الزمني لموسم الأمطار. وقد تمت الاستفادة من معطيات مخططات الهطول المطرية اليومية للفترة 2000-2010، المسجلة في محطة السلمية، محافظة حماه، سورية؛ وتقع هذه المحطة على خط طول 37.02 شرقاً، وخط عرض 35.00 شمالاً، وارتفاعها عن متوسط منسوب سطح البحر 480 m، في منطقة شبه جافة في سورية وبمعدل هطل مطري سنوي أقل من 300 mm.

أهمية وهدف البحث

تكمن أهمية البحث في توفير معلومات عن التوزيع الزمني السنوي والشهري واليومي للهطول، بالإضافة للتحديد الزمني لموسم الأمطار؛ الأمر الذي يفيد في إدارة واستثمار مياه الأمطار والأراضي، وتقديم معلومات مفيدة في إعداد الرزنامة الزراعية. ويهدف البحث إلى:

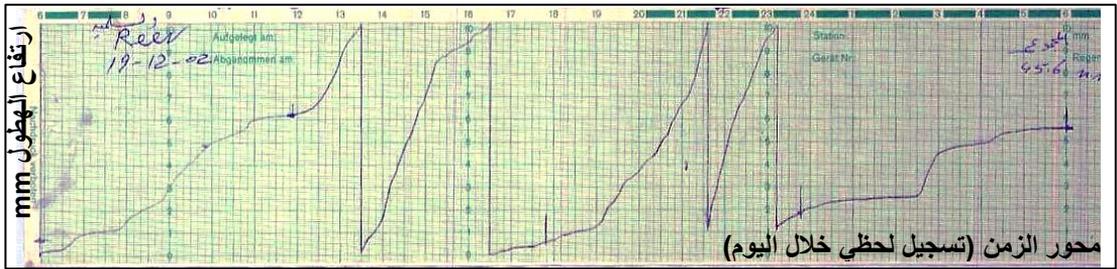
1. تحديد التكرار النسبي للعواصف المطرية السنوي والشهري واليومي، بناء على معطيات تاريخية.

2. تحديد زمن بداية ونهاية وطول ومنتصف فصل الأمطار في محطة السلمية.

مواد وطرائق البحث

تم الحصول على شرائح الهطول اليومي (مخططات ارتفاع الهطول التراكمي - الزمن) من الجهات الرسمية لتسجيلات مقياس الهطول الآلي في محطة سلمية السيونيتيكية، على شكل مخططات ورقية، ثم تم مسحها ضوئياً كصورة نقطية بتنسيق TIFF. ولقد بلغ عدد العواصف التي تمثلها هذه المخططات خلال الفترة الممتدة بين (2000 - 2010) 376 عاصفة مطرية مختلفة. وقد تم تدوين تاريخ، ومدة، وارتفاع، وتوالي أحداث الهطول. ويبين الشكل (1) مثلاً عن مخطط الهطول لعاصفة حدثت بتاريخ 19 كانون الأول 2002، ولقد تم اختيار هذه العاصفة من بين بقية التسجيلات لأنها قدمت أكبر كمية هطول 45.6 mm خلال 24 ساعة في فترة الدراسة المذكورة.

مع الإشارة إلى أن مخططات تسجيل الهطول المطري هي مخططات تراكمية، إلا أن مقياس الهطول الآلي يقوم بالتفريغ كلما تم تجميع 10 mm مطر خلال العاصفة، وبعيد التسجيل من الصفر بشكل آلي وهكذا؛ مع الإشارة إلى أن زمن بدء التسجيل اليومي



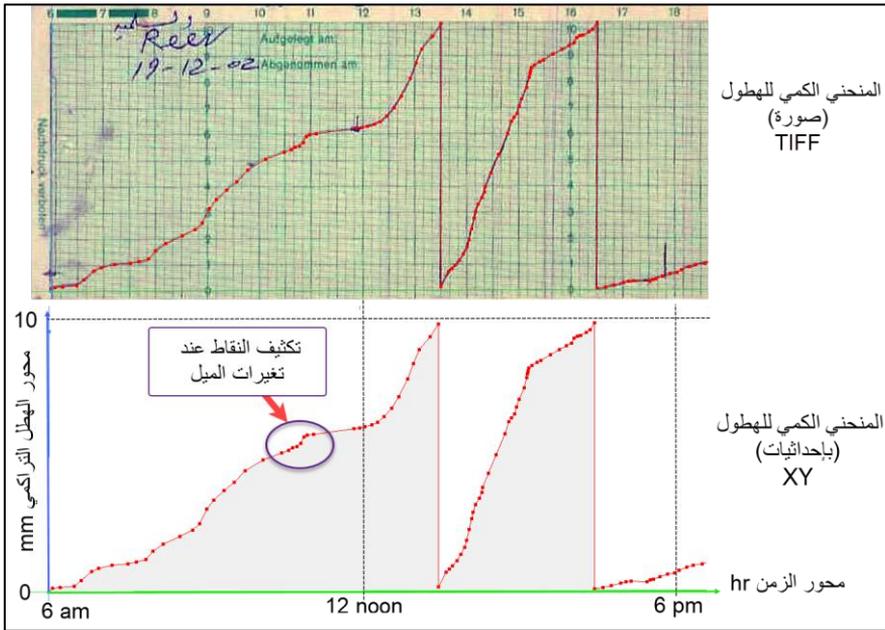
هو الساعة السادسة صباحاً، وينتهي في الساعة السادسة صباحة اليوم التالي.

الشكل (1): مخطط ورقي ل(الهطول - الزمن) مسجل بواسطة مسجل الهطول الآلي لعاصفة

مطرية في محطة السلمية بتاريخ 2002/12/19 [المديرية العامة للأرصاد الجوية]

يتم معالجة الشرائح وفق المراحل الآتية:

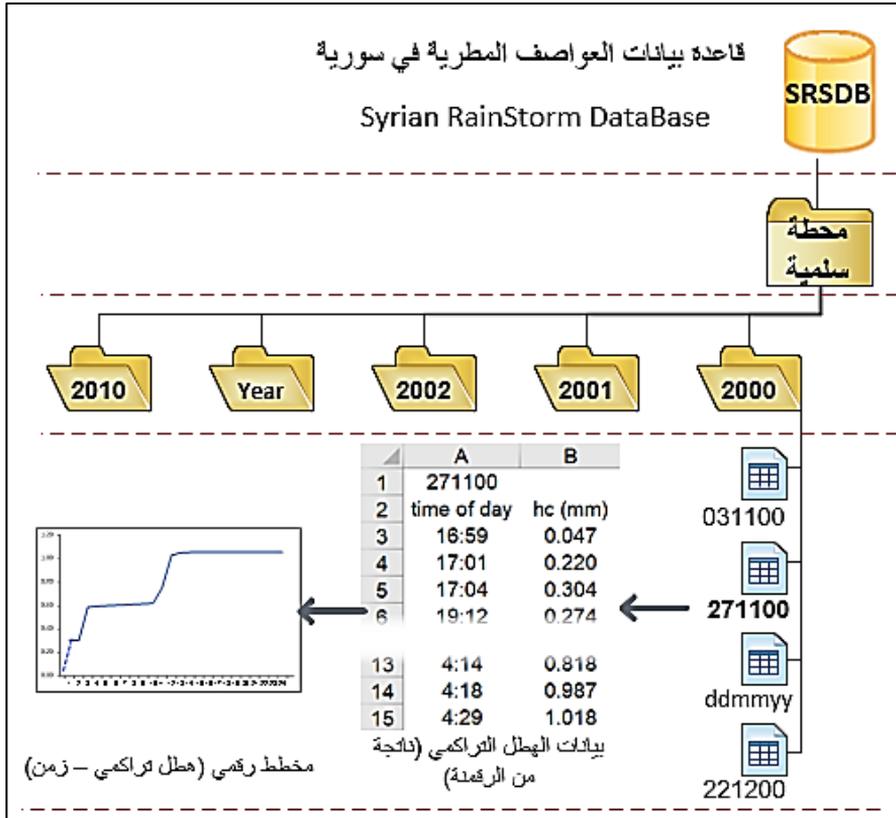
آ- **مرحلة الرقمنة Digitizing Process**: تم فيها بمعونة برنامج Plot Digitizer، تحويل صورة المنحني الكمي للهطول من صيغة نقطية Matrix إلى صيغة شعاعية Vector بإحداثيات نقاط (x , y) حيث قمنا بتعريف مبدأ الاحداثيات لكل مخطط، وتعريف محور الزمن (المحور الأفقي)، ومحور الهطول التراكمي (المحور الشاقولي)، والمقاييس والوحدات للمحورين، ثم تم النقاط النقاط من منحني الهطول بحيث لا يتم إهمال أي تغير في ميل المنحني، شكل (2)، ولقد تطلبت هذه العملية جهداً ووقتاً كبيرين.



الشكل (2): توضيح المخرج البياني لعملية رقمنة مخطط (هطول - زمن)

ب- **مرحلة بناء قاعدة بيانات الهطول**: بعد رقمنة كل مخطط نحصل على ملف Excel بإحداثيات (x , y) للمنحني الكمي للهطول لكل عاصفة ذات تاريخ محدد، ومنعاً لأي

تعارض في أسماء الملفات فقد اعتمد اسم كل ملف بالشكل التالي ddmmyy حيث dd تشير إلى اليوم، و mm إلى الشهر، و yy إلى السنة، فمثلاً عاصفة بتاريخ 19 كانون أول 2002 تأخذ الاسم 191202 مما يضمن عدم التكرار وسهولة الوصول إلى ملف كل عاصفة، وسهولة التجميع والفرز والاستعلام حسب السنة والشهر واليوم والشكل (3).



الشكل (3): بنية قاعدة البيانات الخاصة بالعواصف المطرية المسجلة في محطة سلمية

ج- مرحلة تصحيح البيانات: لا بد من ظهور بعض الأخطاء في أية عملية لتجميع البيانات ورقمنتها وهي بشكل أساسي نوعين الأول متعلق بالبيانات الخام، والثانية متعلقة بعملية الرقمنة. لعل أبرز هذه الأخطاء وجود انقطاعات بسيطة في حبر قلم التسجيل على المخططات الورقية، أو ميل سالب (للأسفل) للمنحني الكمي (أثناء التسجيل أو

الرقمنة)، أو خطأ عدم التفريغ الكلي حيث لا يعود التسجيل ليبدأ من الصفر؛ وقد تمت معالجة الخطأ الأول بصرياً خلال عملية الرقمنة، وبقيت الأخطاء كتبت من أجلها أكواد تصحيح ضمن برنامج EXCEL.

د- مرحلة معالجة بيانات العواصف: بعد بناء قاعدة البيانات تم استخراج خصائص مميزة للعواصف من خلال كتابة عدة أكواد Macro-VBA في EXCEL بالاستناد إلى تحليل احداثيات منحني الهطول الكمي لتحديد مدة العاصفة، وارتفاعها الكلي، وشدها الوسطية، ومن ثم استخراج كميات الهطول التراكمي في فواصل زمنية متساوية 1 hr وموقع الشدة الأعظمية، وزمن الوصول إليها، وموقع مركز مخطط الهطول (الزمن الوسطي للعاصفة).

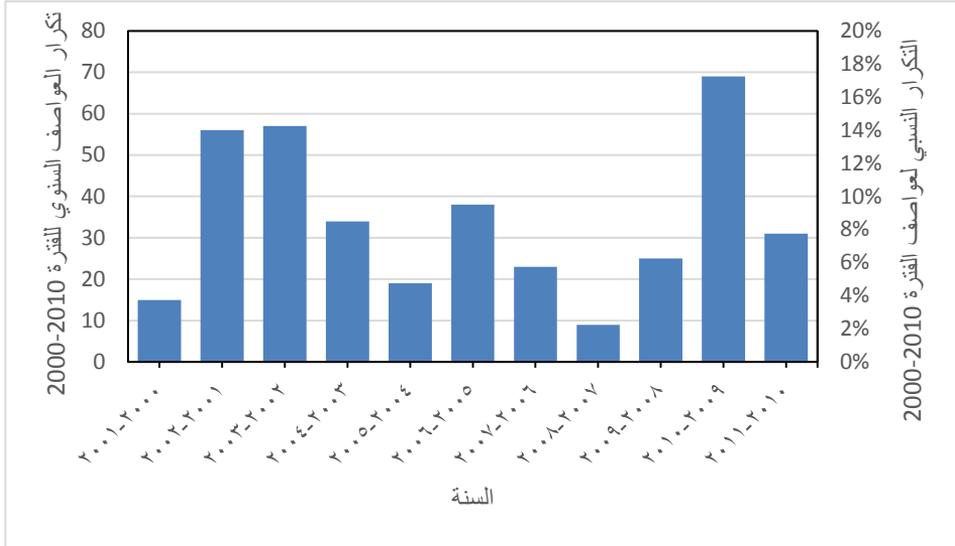
النتائج والمناقشة:

التكرار السنوي لعدد العواصف:

أظهرت دراسة التوزيع التكراري لعدد العواصف المطرية الحاصلة في محطة السلمية إلى توافر تسجيلات 376 عاصفة في الفترة من 2000 إلى 2010. وبين الجدول (1) التكرار السنوي لعدد العواصف، ويتبين أن أكبر القيم لتكرار للعواصف في الأعوام 2009، و2002، و2001 على التوالي، وأقلها تكراراً في عام 2007، الشكل (4).

الجدول (1): تكرار عدد العواصف السنوي للفترة 2000-2010

العام	عدد العواصف	التكرار
2000	15	4.0%
2001	56	14.9%
2002	57	15.2%
2003	34	9.0%
2004	19	5.1%
2005	38	10.1%
2006	23	6.1%
2007	9	2.4%
2008	25	6.6%
2009	69	18.4%
2010	31	8.2%
الإجمالي الكلي	376	100.0%



الشكل (4): التكرار والتكرار النسبي لعدد العواصف السنوي المسجلة في محطة سلمية

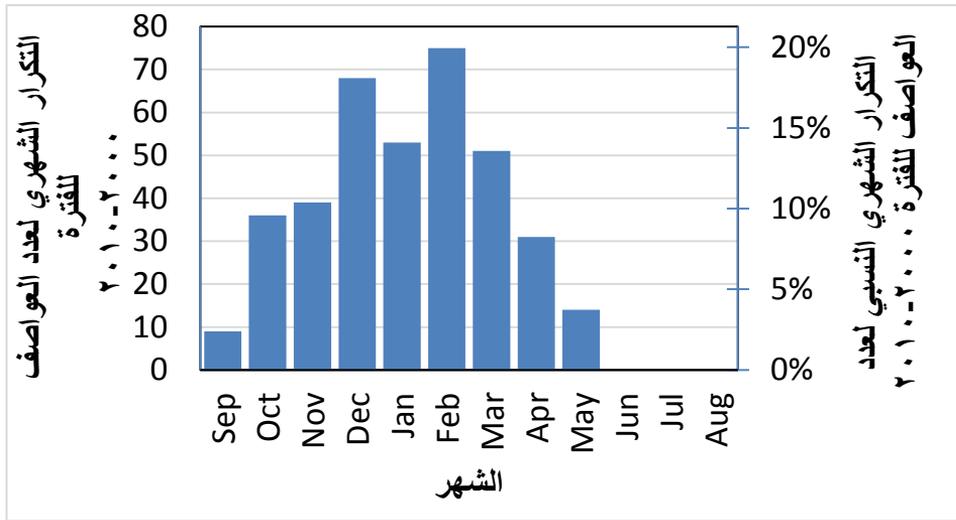
التكرار الشهري لعدد العواصف ولكميات الهطل الشهرية:

يفيد التكرار الشهري لعدد العواصف في تحديد شهر بداية ونهاية موسم المطر من السنة، كما يبين الجدول (2).

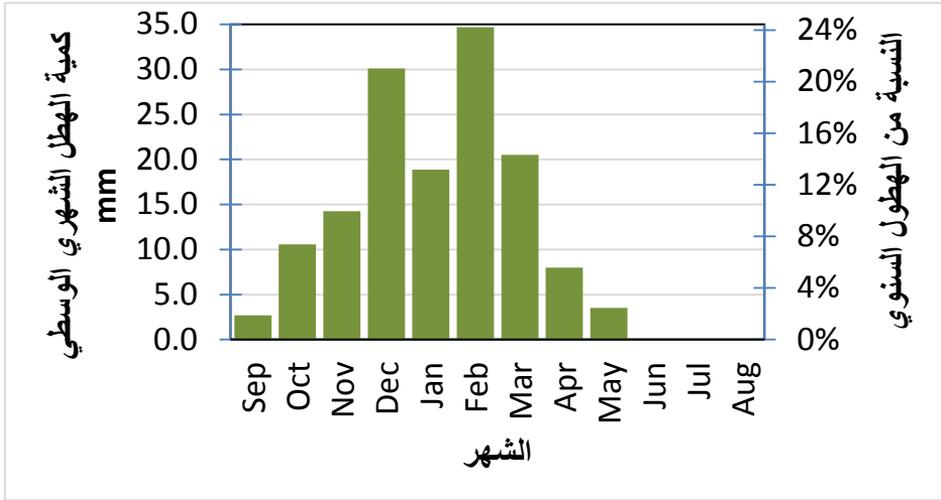
الجدول (2): عدد العواصف الشهري وتكرارها النسبي للفترة 2010-2000 مقارنة مع الهطل الشهري الوسطي

الشهر	عدد العواصف	التكرار النسبي	الهطل الشهري الوسطي mm	النسبة من الهطل السنوي
Sep	9	2.4%	2.7	1.89
Oct	36	9.6%	10.6	7.40
Nov	39	10.4%	14.2	9.92
Dec	68	18.1%	30.1	21.02
Jan	53	14.1%	18.9	13.20
Feb	75	19.9%	34.7	24.23
Mar	51	13.6%	20.5	14.32
Apr	31	8.2%	8.0	5.59
May	14	3.7%	3.5	2.44
Jun	0	0.0%	0.0	0.00
Jul	0	0.0%	0.0	0.00
Aug	0	0.0%	0.0	0.00

ويبين الشكل (5) التكرار الشهري للعواصف المطرية، ويوضح الشكل (6) الهطل الشهري الوسطي خلال فترة الدراسة، ويتبين أن العام الهيدرولوجي يبدأ في أيلول وينتهي في أيار، وإن لنظام الهطول المطري خلال العام الهيدرولوجي ذروتان أحدهما في شهر كانون الأول والأخرى في شباط، وتتناقص الهطولات حتى شهر أيار وتتلاشى في أشهر حزيران وتموز وآب.



الشكل (5): التكرار الشهري لعدد العواصف في محطة سلمية خلال فترة الدراسة



الشكل (6): التوزيع التكراري لكمية الهطول الشهري الوسطي خلال فترة الدراسة

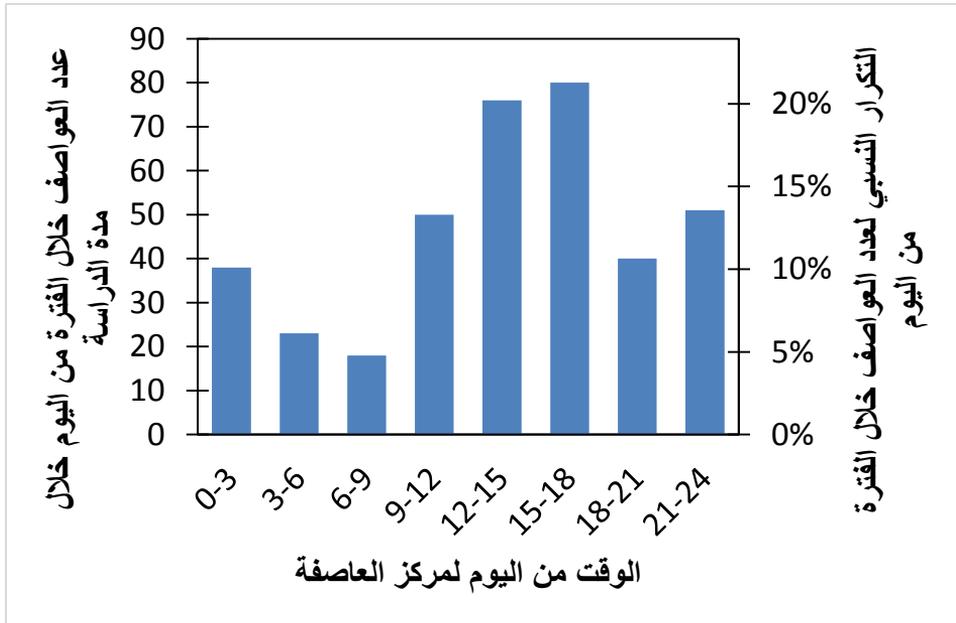
تكرار العواصف المطرية خلال اليوم:

تم تقسيم اليوم إلى ثماني فترات كل منها 3 ساعة، واستخرج التوزيع التكراري للعواصف التي هطلت خلال الفترة الزمنية (2000-2010) على فاصل زمني خلال اليوم قدره 3 ساعة. وقد تم تمثيل العاصفة بمركزها الزمني (الزمن الوسطي للعاصفة)، فالعاصفة المطرية التي يقع مركزها الزمني ضمن أحد الفترات الثمانية نقول بأنها تتركز خلال هذه الفترة. ولقد تبين أن فترة بعد الظهر من الساعة 15 إلى الساعة 18 هي الفترة التي تتركز فيها العواصف المطرية في محطة سلمية (80 عاصفة من إجمالي 376 عاصفة)، كما الجدول (3)، وكما هو موضح في الشكل (7).

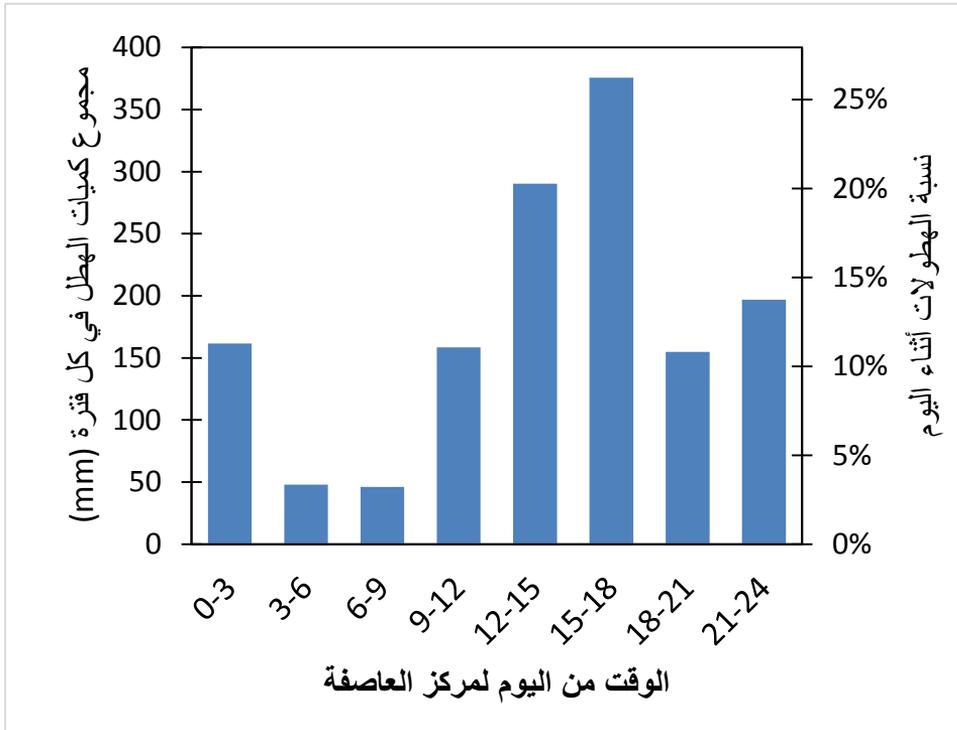
الجدول (3) تكرار عدد العواصف * أثناء اليوم خلال مدة الدراسة 2010-2000

الوقت من اليوم الذي يقع فيه مركز مخطط الهطل	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	الإجمالي
JAN	6	4	2	12	6	6	10	7	53
FEB	2	3	2	7	19	16	10	16	75
MAR	10	2	3	12	7	10	3	4	51
APR	0	5	2	0	7	10	2	5	31
MAY	2	2	0	4	2	4	0	0	14
JUN									
JUL									
AUG									
SEP	0	0	2	0	5	0	0	2	9
OCT	3	2	2	3	6	11	8	1	36
NOV	6	3	0	6	9	6	0	9	39
DEC	9	2	5	6	15	17	7	7	68
تكرار العواصف أثناء اليوم	38	23	18	50	76	80	40	51	376
التكرار النسبي للعواصف أثناء اليوم	10.1%	6.1%	4.8%	13.3%	20.2%	21.3%	10.6%	13.6%	100%
واستخرجت التكرارات (\bar{t}) * تم تمثيل كل عاصفة بمركزها الزمني (مركز ثقل مخطط الهطول) على هذا الأساس									

وباستخراج التوزيع التكراري لكميات الهطول الحاصلة خلال مختلف العواصف بفاصل زمني 3 ساعة، تبين أن الفترة من الساعة 15⁰⁰ إلى 18⁰⁰ تتركز فيها أيضاً أكبر كمية من الهطول (ما يقارب 25% من الهطول الإجمالي للفترة 2000-2010)، كما يبين الشكل (8).



الشكل (7): عدد العواصف خلال الفترة من اليوم في محطة سلمية خلال مدة الدراسة



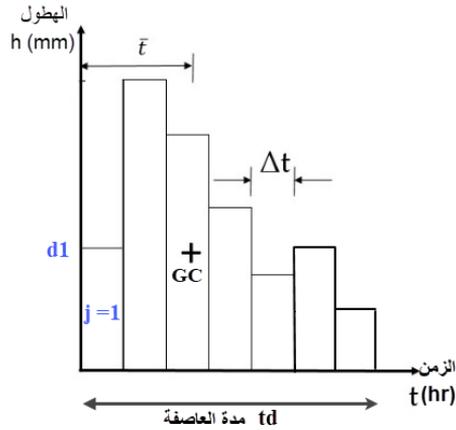
الشكل (8): إجمالي كميات الهطل من أجل أثناء اليوم خلال مدة الدراسة 2010-2000

لا بد من الإشارة إلى أن دراسة تكرار العواصف خلال فترات اليوم تطلب منا تمثيل كل عاصفة بمركزها الزمني (\bar{t}) والذي يعرف هيدرولوجيا بمركز ثقل مخطط الهطول Gravity Center of Hyetograph (GC) وقد حدد المركز الزمني لكل عاصفة بتقسيم المساحة تحت منحنى (هطول - زمن) إلى شرائح بفاصل زمني ($\Delta t = 1hr$)، كما يبين الشكل (9)، ثم حساب كمية الهطل خلال هذا الفاصل، ومن ثم إيجاد العزم من الدرجة الأولى (M_1) لمخطط (الهطول - زمن) - يقصد بالعزم جداء مساحة الشريحة ببعد مركزها عن المحور الشاقولي - ويقسمه مجموع عزوم الشرائح على ارتفاع الهطول الكلي خلال العاصفة (h_c) نتوصل تحليلاً إلى تعيين المركز الزمني لمخطط الهطل، كما في المعادلة (1)، [11,12].

$$\bar{t} = \frac{M_t}{\square_C} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} j(j-0.5)\Delta t}{\square_C} \quad \text{(المعادلة 1)}$$

حيث:

- j ترتيب الشريحة
- n عدد الفواصل الزمنية التي قسمت لها العاصفة (عدد الشرائح)
- h_j ارتفاع الهطل لكل شريحة



- $(j - 0.5)\Delta t$ المركز الزمني للشريحة

الشكل (9): هيتوغراف هطول حدد مركزه الزمني بطريقة عزم المساحة (العزم الستاتيكي الأول)

أنجزت مختلف الحسابات الهندسية السابقة بكتابة أكواد برمجية EXCEL-VBA لتوفير الوقت وتلافياً للأخطاء نتيجة تكرار عدد كبير من العمليات على العواصف مختلفة المدة.

تحديد بداية ونهاية موسم الأمطار:

باستخراج السلاسل الزمنية لأيام حدوث أول وآخر هطول مطري من كل عام خلال فترة الدراسة 2000-2010 في محطة السلمية، ويوضح الجدول (4) أن تاريخ بدء الموسم المطري في 29 أيلول، وانتهاه في 6 أيار.

الجدول (4) السلاسل الزمنية لأيام بدء وانتهاء موسم الأمطار في محطة السلمية

العالم	تاريخ بدء الموسم المطري	تاريخ انتهاء الموسم المطري
2000	25-Sep	1-May
2001	11-Sep	4-May
2002	15-Sep	21-Apr
2003	12-Oct	6-May
2004	22-Oct	27-May
2005	30-Sep	29-Apr
2006	27-Sep	24-May
2007	29-Sep	3-May
2008	3-Oct	7-May
2009	9-Oct	17-Apr
2010	26-Sep	8-May
التاريخ الوسيط	29 أيلول	6 أيار

ويمكن استنتاج طول موسم الأمطار في محطة السلمية بالمدة الفاصلة بين تاريخي بدئه وانتهائه (من 29 أيلول حتى 6 أيار) بـ 220 يوم.

تحديد منتصف موسم الهطول:

تم تحديد منتصف موسم الهطل من كل عام عند التاريخ الذي يصل فيه الهطول التراكمي إلى نسبة 50% من الهطل الإجمالي خلال العام نفسه، ويكون تاريخ منتصف الموسم وفق بيانات الهطل للفترة (2000-2010) هو الوسيط لسلسلة تواريخ منتصف الموسم، عند تاريخ 3 شباط، كما يبين الجدول (5).

الجدول (5): تاريخ منتصف الموسم من كل عام للسلسلة من 2000-2010

العام	منتصف الموسم
2000	2000-12-06
2001	2001-01-01
2002	2002-12-20
2003	2003-02-28
2004	2004-02-12
2005	2005-02-03
2006	2006-02-04
2007	2007-01-21
2008	2008-02-20
2009	2009-02-19
2010	2010-01-15

الاستنتاج والتوصيات:

1. إن رقمنة مخططات شرائح الهطول من مسجلات الهطول الآلية أتاحت استخراج الخصائص المميزة للعواصف من خلال كتابة عدة أكواد Macro-VBA في EXCEL تحديد مدة العاصفة، وارتفاعها الكلي، وشدتها الوسطية، ومن ثم استخراج كميات الهطول التراكمي في فواصل زمنية متساوية 1 hr وموقع الشدة الأعظمية، وزمن الوصول إليها، وموقع مركز مخطط الهطول.
2. بناءً على بيانات العواصف المطرية للفترة الزمنية (2000-2010)، تبين أن أكبر كمية هطول نسبية %24.2، وأكبر تكرار نسبي للعواصف %19.9 يكون في شهر شباط، ثم يليه شهر كانون أول من حيث كميات الهطل وتكرار العواصف في محطة السلمية.
3. وأن أكبر تكرار نسبي وسطي للعواصف %21.3 وأكبر كمية هطول لها أثناء اليوم %25 من الهطول السنوي، تكون في محطة سلمية بين الساعة 15⁰⁰ والساعة 18⁰⁰.
4. إن تحديد تواريخ بداية ونهاية موسم المطر ومنتصفه بناءً على معطيات العواصف للفترة المدروسة في محطة السلمية، بين أن بداية الموسم في 29 أيلول، ومنتصفه في 3 شباط، ونهايته في 6 أيار؛ ومدة فصل الأمطار 220 يوم.

5. إن رقمنة بيانات العواصف المطرية في المحطات المختلفة يضع بين أيدي الدارسين بيانات دقيقة عن العواصف المطرية.
6. تعد دراسة التوزيع الكمي للمطر أثناء العاصفة لتحديد نمط الهطول - الخاص بمحطة أو منطقة- من جهة وتحديد الضياعات من جهة أخرى، من المواضيع المطلوبة عند دراسة التدفق على المجاري المائية، ودراسات مقترحة لأغراض التصميم الهيدروليكي للمنشآت المائية.

References

- [1] Smith LP. Hydrology of humid tropical regions. *Agric For Meteorol* 1984;32:80. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(84\)90032-7](https://doi.org/10.1016/0168-1923(84)90032-7).
- [2] Walsh RPD, Lawler DM. Rainfall Seasonality: Description, Spatial Patterns and Change Through Time. *Weather* 1981;36:201–8. <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1981.tb05400.x>.
- [3] Walter MW. Length of the rainy season in Nigeria. *Niger Geogr J* 1967;10:123–8.
- [4] Livada I, Asimakopoulos DN. Individual seasonality index of rainfall regimes in Greece. *Clim Res* 2005;28:155–61. <https://doi.org/10.3354/cr028155>.
- [5] Setiawan BI. A simple method to determine patterns of wet and dry seasons. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 2020;542. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/542/1/012055>.
- [6] Bombardi RJ, Moron V, Goodnight JS. Detection, variability, and predictability of monsoon onset and withdrawal dates: A review. *Int J Climatol* 2020;40:641–67. <https://doi.org/10.1002/joc.6264>.
- [7] Higgins RW, Yao Y, Wang XL. Influence of the North American monsoon system on the U.S. summer precipitation regime. *J Clim* 1997;10:2600–22. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1997\)010<2600:IOTNAM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1997)010<2600:IOTNAM>2.0.CO;2).
- [8] Goldreich Y. Temporal variations of rainfall . *Clim Res* 1995;5:167–79. <https://doi.org/10.3354/cr005167>.
- [9] Liebmann B, Marengo JA. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. *J Clim* 2001;14:4308–18. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<4308:IVOTRS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<4308:IVOTRS>2.0.CO;2).

- [10] Suliman AS. Seasonal Precipitation Distribution in the Central Region of Syria. Tishreen Univ J Res Sci Stud - Eng Sci 2017;39:29–44.
- [11] Ellouze M, Abida H, Safi R. A triangular model for the generation of synthetic hyetographs. Hydrol Sci J 2009;54:287–99. <https://doi.org/10.1623/hysj.54.2.287>.
- [12] Balbastre-Soldevila R, García-Bartual R, Andrés-Doménech I. A comparison of design storms for urban drainage system applications. Water (Switzerland) 2019;11. <https://doi.org/10.3390/w11040757>.
- [13] Maidment DR. Handbook of hydrology. McGraw-Hill; n.d.
- [14] Chow V Te, Maidment DR, Mays, Larry W. Applied Hydrology. Internatio. New York: McGraw-Hill; 1988.
- [15] Singh VP. Entropy-based parameter estimation in hydrology. 1998. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-1431-0>.

تأثير إضافة فيتامين E في تقادم الخلائط الإسفلتية

طالب الدراسات العليا: نغم طالب

الدكتور المشرف: فايز سليمان + د. بسام سلطان + د. باسم علي

قسم المواصلات والنقل - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

الملخص

يعتبر الرصف المرن الأكثر انتشاراً في سوريا، وعلى الرغم من الاعتماد على المبول الإسفلتي كطبقة تغطية في جميع الطرق من مختلف الدرجات إلا أنه يسبب استهلاك في الطاقة والانبعاثات عند انتاجه وتنفيذه، بالإضافة إلى مشاكل عند الاستثمار تتجلى في تقادم طبقة المبول الأسفلتي، مما ينجم عنه مجموعة من المشاكل مثل الشقوق بأنواعها، بالإضافة للتخدد والتطاير. تعتبر ديمومة الخلائط الإسفلتية هي العامل الرئيسي الذي يؤثر في جودة وعمر طبقة الرصف اللين التي تتعرض لتأثيرات درجة الحرارة الخارجية والحمل المروري والإشعاع الشمسي . تبحث هذه الدراسة في إمكانية استخدام فيتامين E كمادة مضافة معدلة للمبول الاسفلتي بهدف زيادة مقاومته لتأثير عمليتي التقادم قصير وطويل الاجل. وتركز هذه الورقة البحثية على البحث في خواص الخلائط الإسفلتية المعرضة للتقادم على المدى القصير، الذي يحدث خلال فترة الإنتاج والتنفيذ، والطويل، الذي يحصل خلال دورة عمره .

أنجزت الدراسة العملية والمخبرية على مرحلتين ، تم في الأولى انتاج روابط اسفلتية معدلة بمادة من فيتامين E بنسب (1-2-3-4 %) وزناً من الرابط، وتعرض عينات منها إلى عملية تقادم قصير الأمد، ومن ثم طويل الأمد. وحساب، بعد ذلك، دلائل التقادم للرباط الاسفلتي، وتحديد النسبة المثالية من الإضافة . و في المرحلة الثانية انتاج خلائط اسفلتية مرجعية (بدون تعديل)، وأخرى معدلة بالفيتامين وفق النسبة المثالية التي حصلنا عليها في المرحلة الأولى، وتحديد خواصهما قبل وبعد التقادم مثل (ثبات مارشال - الشد غير المباشر - تأثيرات الرطوبة)، ومقارنة النتائج. ولقد بينت النتائج أن إضافة فيتامين E تؤدي إلى زيادة مقاومة الخلائط الإسفلتية لعملية التقادم، وخاصة طويل الأمد، وتحسين أدائها من خلال زيادة ثباتها ومقاومتها للتشوهات والشقوق، وبالتالي زيادة ديمومتها.

الكلمات المفتاحية: الإسفلت - التقادم قصير الأمد - التقادم طويل الأمد - فيتامين E -

ثبات مارشال

The effect of adding vitamin E on the aging of asphalt mixtures

Abstract

The hot asphalt aggregate is the most widespread pavement in Syria, and despite its reliance on it as a covering layer in all roads of various degrees, it causes energy consumption and emissions when producing and implementing it, in addition to problems when investing, which is manifested in the aging of the asphalt aggregate layer, which results in a group of problems such as cracks of all kinds, in addition to rutting and volatilization. The durability of the asphalt mixture is the main factor that affects the quality and age of the soft pavement layer, which is exposed to the effects of external temperature, traffic load, and solar radiation.

This study investigates the possibility of using vitamin E as an additive modifying asphalt mixes in order to increase its resistance to the effects of short and long-term aging processes. The paper focuses on researching the properties of asphalt mixtures subject to aging in the short term, which occurs during the production and implementation period, and the long term, which occurs during its life cycle.

The practical and laboratory study was carried out in two stages. In the first, asphalt binders modified with vitamin E were produced in ratios (1-2-3-4%) by weight, and samples were subjected to a short-term aging process, and then a long-term aging process. And calculate, after that, signs of aging of the asphalt binder, and determine the ideal percentage of the addition. In the second stage, the production of reference asphalt mixtures (without modification) and others modified with vitamin was completed according to the ideal ratio that we obtained in the first stage, and their properties were determined before and after aging such as (Marshall stability - indirect tensile - moisture effects), and the results were compared.

The results showed that the addition of vitamin E increases the resistance of asphalt mixtures to the aging process, especially long-term, and improves their performance by increasing their stability and resistance to deformations and cracks, thus increasing their durability.

Keywords: asphalt - short-term aging - long-term aging - vitamin E - Marshall's stability

1- مقدمة :

تعاني العديد من الدول من الزيادة المطردة في حجم حركة المرور والحمولات المرورية، والتي غالباً ما تكون سبباً في ارتفاع نسبة عيوب التحدد والشقوق في الطرق، علاوة عن الأسباب الأخرى المؤثرة في دورة حياة طبقات الرصف، وبالأخص طبقة التغطية العلوية، والتي تكون من المجهول الأسفلتي في حالة الرصف اللين، كالتغيرات المناخية، والأخرى المرتبطة بجودة مواد الإنشاء والتنفيذ [1-2].

يعتمد أداء طبقات الرصف الأسفلتي، في مقاومة تأثير درجات الحرارة العالية والمنخفضة والحمولات المرورية الثقيلة خلال عمر طبقات الرصف إلى حد كبير، على نوع الرابط وخصائصه [3].

وتحتاج الروابط الإسفلتية غالباً للتعديل كي تتوافق مع المتطلبات والمواصفات الفنية المعتمدة. وانتشرت في السنوات الماضية دراسات تعديل الروابط الإسفلتية بشكل كبير، وذلك بفعل الزيادة في الطلب على المجهول الأسفلتي المطابق للمواصفات الفنية المعتمدة من قبل هيئات الطرق، والملائمة لظروف العمل البيئية والاقتصادية [3-4].

2- إشكالية البحث :

تفقد المواد الرابطة الإسفلتية، عند تعرضها إلى التغيرات المناخية، الكثير من خواصها، وذلك بفعل تأكسد وتطاير المواد الراتنجية والعطرية الداخلة في تركيبها. وبتزايد هذا الفعل مع الزمن في مرحلة الاستثمار لدرجة يتحول خلالها الرابط إلى مادة هشة وقاسية قابلة للتشقق، الأمر الذي يؤدي بالنتيجة إلى انخفاض ديمومة الرابط وبالتالي عمر الرصف [5].

تسمى عملية فقدان المواد الرابطة لبنيتها الأساسية بفعل الحرارة بشكل أساسي بظاهرة التقادم. ويشكل تناول هذه الظاهرة في الدراسة، للحد من تسارع حصولها وزيادة عمر الرصف، بحثاً جديراً في الاهتمام.

3- هدف و أهمية البحث :

يقع البحث في مجال هندسة المواصلات والنقل، ويشكل أحد المحاور البحثية المعتمدة، ويهدف الى دراسة تأثير استخدام فيتامين E، كمادة معدلة للرابط الأسفلتي، للحد من تأثير ظاهرة التقادم في الخلاط الاسفلتية في مرحلتها قصيرة وطويلة الأمد. وتكمن أهميته من خلال توسيع مجال تشغيل الاسفلت لجهة إطالة العمر الزمني لخدمة طبقة الرصف الإسفلتي، وتأخير ظهور العيوب والتشققات، وبالتالي تقليل كلف الصيانة.

4- دراسات مرجعية :

تتم محاكاة التقادم قصير الأجل الحقلي في المختبر باستخدام إجراء تقادم الفرن قصير المدى (STOA) Short Time Oven Aging ، والذي يتضمن تسخين خليط إسفلتي مفكك في فرن لمدة 4 ساعات عند درجة حرارة 135 مئوية، تم التحقق من صحتها في دراسات سابقة مختلفة مثل Bell، CA، Weider، AJ، Fellin، M.J. ذكرت في SHRP-A-390 (1994) [6-7-8].

بينت نتائج الأبحاث والدراسات المرجعية [7] أن التقادم قصير المدى لمدة 4 ساعات يمثل بشكل كافٍ تأثير الشيخوخة خلال مراحل إنتاج المبول الإسفلتي وعمليات نقله وفرشه ورصه (عندما يكون المزيج في حالة سائبة (HRP-A-417، 1994)). كما تتم محاكاة التقادم طويل الأمد على عينات مرصوفة، تم إخضاعها إلى ظروف تقادم قصير الأمد، وتعرضها إلى الحرارة في الفرن لفترات محددة تحاكي العمر المطلوب تمثيله.

وفي دراسة أعدّها Petersen عام (1984) [9] أشار إلى أن أهم مقومات الإسفلت ذو الديمومة العالية هو مقاومته للتغيير في التركيب الكيميائي أثناء الخدمة. وأوجز ثلاثة عوامل أساسية تتعلق بالتركيب وتحكم التغييرات التي يمكن أن تسبب تصلب الإسفلت في طبقات الرصف وهي:

- فقدان المكونات الزيتية من الإسفلت بسبب التقلبات المناخية، أو امتصاصها من قبل الحصويات المسامية.

- التغير في التركيب الكيميائي لجزيئات الإسفلت نتيجة التفاعل مع الأكسجين الجوي.

- الهيكلة الجزيئية التي تنتج تأثيرات متغيرة الانسيابية (تصلب جسيمي steric hardening).

ويمكن تصنيف معظم الدراسات التي درست التقادم بالأكسدة وفقاً لنوع التغيرات الحاصلة بشكل عام في مجموعتين [5] [9] [10] [11]:

- دراسات التغيرات الجزيئية fractional change.

- دراسات التغيرات الجزيئية النموذجية typical molecular change.

ودرس الباحث Rossi. عام 2018 [12] تأثير مضادات الأكسدة الطبيعية في عملية تقادم الإسفلت، هدف منها دراسة تأثير الإضافات الطبيعية التي تشمل (light yellow LCS powder) VC، (Vitamin C) RH، (rice husk) في تحسين مقاومة الإسفلت للتقادم قصير الأمد باعتماد اختبار (RTFOT).

وتوصل بنتيجة الدراسة إلى الاستنتاجات التالية:

• كان تأثير ممانعة التقادم أكثر وضوحاً بوجود الفسفوليبيدات وبدرجة صغيرة بالنسبة لفيتامين C وأقل بالنسبة لقشر الأرز.

• تأكيد جدوى دراسة استخدام المركبات الخضراء من الموارد المتجددة ذات البصمة الكربونية المنخفضة، كإضافات مضادة للشيخوخة للمواد البيتومينية.

5- منهجية البحث ومواده:

5-1- مواد البحث:

تمّ إنجاز البحث اعتماداً على دراسة مخبرية تجريبية على عينات من الخلائط الإسفلتية (مرجعية ومعدلة)، استخدم فيها المواد التالية :

1- الإسفلت: استخدم في تصميم عينات البحث، إسفلت صنف (60-70)، الناتج من تكرير النفط في مصفاة بانياس، واختباره وفق المواصفات السورية والعالمية.

2- الحصىات : الحصىات المستخدمة في تصميم الخلطة الإسفلتية هي حصىات قاسية مكسرة مصدرها مقالع حسياء، لا يزيد قطر الحبة فيها عن 19 mm . وأجريت، من أجل تشكيل عينات الدراسة، الاختبارات الخاصة بتوصيف الحصىات وفقاً للمواصفات السورية للطرق والجسور الصادرة في العام 2002 .

3- فيتامين E: يعتبر فيتامين E من أشهر المركبات الكيميائية المضادة للأكسدة، ويعد من المركبات الثمانية التي تذوب في الدهون ومنها توكوفرولات وتوكوترينيونولات. تبلغ درجة غليانه 210°C .

تمّت اضافة فيتامين E بالنسبة المطلوبة الى الرابط البيتوميني بعد تسخينه إلى درجة حرارة 150°C ، والمزج باستخدام الخلاط الكهربائي لمدة 10 دقائق.

ويمثل الشكل (1) نموذج عينات فيتامين E المستخدمة في الدراسة.



الشكل (1) نموذج عينات فيتامين المستخدمة في الدراسة

5-2- منهجية العمل المخبري:

تمت الدراسة المخبرية وفق المراحل الأساسية التالية:

- 1- التحقق من الخواص الفنية للمواد المستخدمة في البحث، ومطابقتها للمواصفات المتبعة في تصميم الخلطات الإسفلتية الساخنة في سوريا .
- 2- تصميم خلطة إسفلتية مرجعية بدون إضافات، وتحديد نسبة الاسفلت المثالية والتركيب الحبي الحصى المعتمد .
- 3- تحضير عينات لإسفلت معدل بنسب مختلفة من فيتامين E (1 ، 2 ، 3 ، 4 %) وزناً من الرابط الإسفلتي، و إجراء اختبارات الغرز ونقطة التميع ، وحساب دلائل التقادم للرابط الإسفلتي المعدل لتحديد النسبة المثالية .
- 4- عملية تعديل الخلطة الإسفلتية باستخدام رابط إسفلتي معدل بفيتامين E بالنسبة المثالية.
- 5- إجراء عملية تقادم قصير وطويل الأمد على عينات الخلطة المرجعية، والأخرى المعدلة بفيتامين E، بالإضافة الى اختبار الثبات و الشد غير المباشر وحساسية الرطوبة، وحساب دلائل تقادمها لبيان مدى تأثير الإضافة في خواص التقادم .

5-3- محاكاة تقادم الخلطات الإسفلتية مخبرياً:

أنجز الاختبار القياسي لتقادم الخلطات الإسفلتية الساخنة مخبرياً وفق المواصفة AASHTO R30 [14]. ويهدف هذا الإجراء إلى تمثيل الشخوخة التي تحدث في خليط الإسفلت بسبب عملية إنتاج وتنفيذ المبول الإسفلتي ومرحلة الخدمة. ويتم، في حالة التقادم قصير الأمد، تطبيق عملية المحاكاة فقط على الخليط المفكك السائب (Lose Mixes). حيث يتم فرش الخليط في صينية نظيفة، بسماكة متساوية تتراوح بين 1 إلى 2 بوصة (25 - 50 مم)، يلي ذلك وضع الخليط والوعاء في فرن لمدة 4 ساعات \pm 5

دقائق عند درجة حرارة 275 ± 5 درجة فهرنهايت (135 ± 3 درجة مئوية)، وخلال هذه المدة يتم تقليب الخليط على فترات 60 ± 5 دقائق، وذلك للحفاظ على درجة حرارة منتظمة في جميع أنحاء العينة، وعند اكتمال عملية التقادم، توضع الخلطة في فرن عند درجة حرارة 185 درجة فهرنهايت لمدة 15 دقيقة في وعاء التقادم، يتم بعدها تشكيل عينات وفق طريقة مارشال.

يتم إجراء التقادم طويل الأمد عن طريق إخضاع العينات المرصودة، المشكلة من المجبول الإسفلتي المعرض لتقادم قصير الأمد، لدرجة حرارة 85 درجة مئوية في الفرن لمدة 120 ساعة (5 أيام). هذا وتعادل طريقة التقادم على المدى الطويل تقريباً (5-15 سنة) كعمر خدمة اعتماداً على المناخ.

ويبين الشكل (2) نماذج العينات من الخلاط الإسفلتية المعرضة لتقادم طويل الأمد مخبرياً.



الشكل (2) نماذج عينات الخلاط الإسفلتية المدروسة.

6- الدراسة التجريبية :

6-1- تحديد خواص الإسفلت المستخدم في الدراسة:

أجريت على الرابط الأسفلتي، لتحديد خواصه، الاختبارات التالية:

أ- اختبارات قبل التقادم: درجة الغرز، نقطة التميع، الاستطالة، نقطة الوميض، نقطة الاشتعال، الوزن النوعي والنقص في الوزن.

ب- اختبارات بعد التقادم قصير وطويل الأمد: ولتحديد تأثير التقادم في خواص الرابط الإسفلتي تستخدم منهجية تقييم درجة تقادم المواد الرابطة الإسفلتية من خلال قياس خصائص (فيزيائية أو كيميائية أو ريولوجية) مثل الغرز ودرجة حرارة الكرة والحلقة (نقطة التميع) قبل وبعد التقادم وتحسب من خلال العلاقات التالية:

$$PAI = \frac{Aged Pen}{Un Aged Pen} * 100$$

$$SAI = SP_{after} - SP_{befor}$$

حيث أن:

PAI : دليل التقادم للغرز (Penetration Aging Index).

Aged Pen : الغرز بعد التقادم.

Un Aged Pen : الغرز قبل التقادم.

SAI : دليل نقطة التميع (Softening Point Aging Index).

SP_{after} : نقطة التميع بعد التقادم.

SP_{befor} : نقطة التميع بعد التقادم.

وبين الجدول (1) نتائج اختبارات تجارب تحديد خواص الإسفلت المستخدم في الدراسة، ودلائل التقادم التي تم الحصول عليها.

تأثير إضافة فيتامين E في تقادم الخلانط الإسفلتية

الجدول (1) نتائج تحديد خواص الإسفلت المدروس.

المواصفة *	حدود المواصفة	النتائج	نوع الاختبار
ASTM D5	60-70	66.5	الغرز (Penetration Test) 100g (25 °C) ، 5sec ، (0.1mm)
ASTM D36	56-48	49.2	نقطة التميع (Softening Point Test) (°c)
ASTM D113	min 100.0	137	الاستطالة (Ductility) cm (25 °C) 5cm/min
ASTM D92	min (230 C°)	252	نقطة الوميض C°
		276	نقطة الاشتعال C°
ASTM D70	1.01-1.03	1.03	الوزن النوعي
-	-	-0.725	دليل الغرز (PI)
ASTM D1754	Max 0.8 %	0.47	النقص في الوزن (LOSS On) (%) (Heating)
اختبارات بعد التقادم قصير الأمد STA			
ASTM D5	-	46	الغرز
ASTM D36	-	55	نقطة التميع
دلائل التقادم قصير الأمد للإسفلت Index of Aging			
-	-	69.2	PAI
-	-	5.8	SAI
اختبارات بعد التقادم طويل الأمد LTA			
ASTM D5	-	25.0	الغرز
ASTM D36	-	62.0	نقطة التميع
دلائل التقادم طويل الأمد للإسفلت Index of Aging			
-	-	37.6	PAI
-	-	12.8	SAI

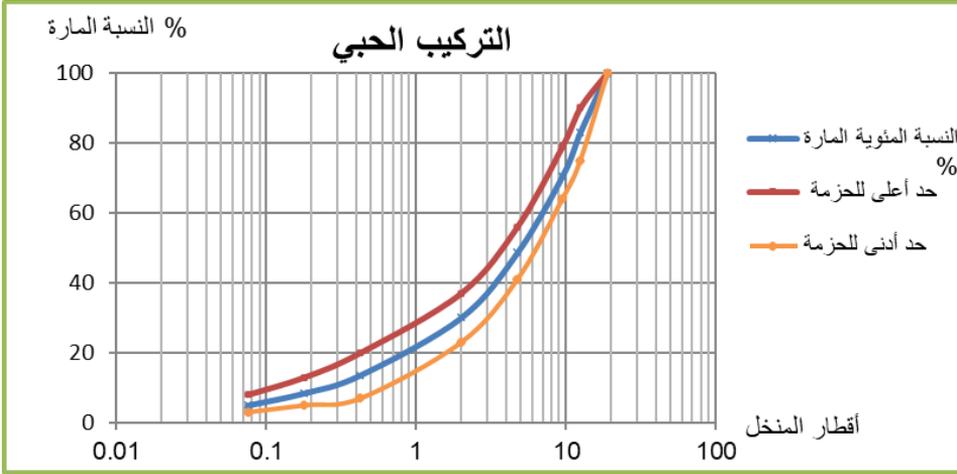
*بالإضافة إلى المواصفات العامة للطرق والجسور - سوريا (2002).

ونستخلص من معطيات الجدول (1) التالي:

- ينتمي نوع الإسفلت المستخدم في الدراسة للصنف (60/70) وفقاً لمواصفات ASTM D-946.
- تتوافق خواص الإسفلت المدروس مع معطيات المواصفات العالمية (ASTM)، والأخرى المعتمدة في الجمهورية العربية السورية.
- يحقق دليل الغرز ($PI = -0.725$) الاشتراطات المطلوبة $[+1, -1]$.
- بلغت قيمة الفاقد بالحرارة وفق اختبار الفرن الرقائقي الدوار (RTFOT) (0.47 %)، وهي محققة للمواصفات التي تشترط ألا تتجاوز قيمة الفاقد بالحرارة للإسفلت صنف (60-70) قيمة (0.8 %).
- بلغت نسبة الغرز المتبقي بعد التقادم قصير الأمد (69.2%)، حيث انخفضت قيمة الغرز في درجة الحرارة (25) من (66.5) إلى (46)، وارتفعت درجة التميع وفق الكرة والحلقة بمقدار (5.8) بعد التقادم قصير الأمد.
- انخفاض قيمة الغرز من (66.5) إلى (25)، وارتفاع درجة التميع، وفق الكرة والحلقة، بمقدار (12.8)، بعد التقادم طويل الأمد.

6-2- تصميم خلطة إسفلتية مرجعية :

- أ- توصيف الحصويات المستخدمة في تصميم الخلطة الإسفلتية المرجعية :
أجري، على الحصويات المستخدمة، وفق المواصفات السورية لأعمال الطرق والجسور - 2002 العالمية ASTM، اختبارات تحديد خواصها، اللازمة لتصميم الخلطات الساخنة لزوم طبقة الاهتراء. ويبين الشكل (3) والجدول (2) النتائج التي تم التوصل إليها.



الشكل (3) منحنى التركيب الحبي للحصويات المكسرة المستخدمة في الدراسة.

الجدول (2) نتائج اختبارات خواص الحصويات المكسرة المستخدمة في الدراسة

المواصفة *	النتيجة	الاختبار	
ASTM C 131	23	فاقد الاهتراء وفق لوس انجلوس (%) Los Angeles abrasion	
ASTM D 2419	76	المكافئ الرملي (%) Sand Equivalent	
ASTM C127	0.84	الامتصاص (%)	
	2.596	الوزن النوعي الحجمي G_{sb} g/cm ³	
	2.618	الوزن النوعي المشبع جاف السطح G_{ssd} g/cm ³	
	2.654	الوزن النوعي الظاهري G_{sa} g/cm ³	
ASTM C128	1.25	الامتصاص (%)	
	2.581	الوزن النوعي الحجمي G_{sb} g/cm ³	
	2.613	الوزن النوعي المشبع جاف السطح G_{ssd} g/cm ³	
	2.667	الوزن النوعي الظاهري G_{sa} g/cm ³	

نلاحظ من معطيات الجدول (2) والشكل (3) أنّ الحصويات المستخدمة في تصميم الخلطة الإسفلتية محققة للمواصفات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادرة عن وزارة النقل عام 2002، والعالمية ASTM .

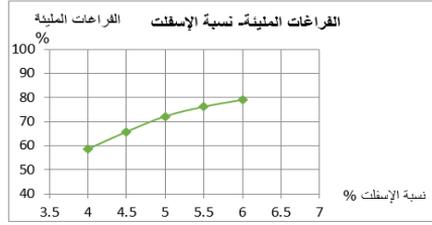
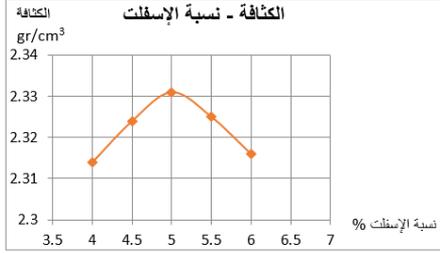
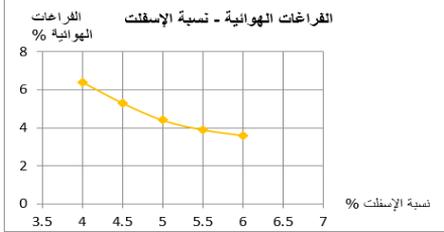
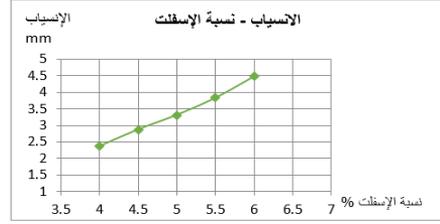
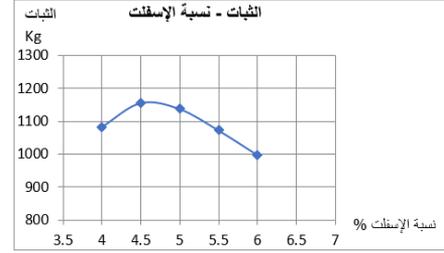
ب- تحديد خواص مارشال للخلطة المرجعية المطلوبة:

بعد القيام بتوصيف المواد والتحقق من مواصفاتها الفنية، جهزت الخلطة الإسفلتية الساخنة، وذلك بإضافة الأسفلت الى الحصويات بنسب وزنية مختلفة منها، والمزج اصولاً في درجة الحرارة المطلوبة، وتشكيل ثلاث عينات من كل نسبة طبقاً لمعطيات مارشال، واجراء الاختبارات عليها، وتحديد خواصها بناء على النتائج. ونبين في الجدول (3) و الشكل (4)، خواص الخلطة الإسفلتية المرجعية المطلوبة.

الجدول (3) خواص الخلطة الإسفلتية المرجعية المدروسة.

الانسياب mm	الثبات Kg	الفراغات المليئة %	الفراغات الحصوية %	الفراغات الهوائية %	كثافة أعظمية gr/cm ³	كثافة مارشال gr/cm ³	نسبة الإسفلت
2.36	1082	58.45	15.37	6.4	2.472	2.314	4.0
2.87	1156	65.71	15.45	5.3	2.454	2.324	4.5
3.31	1138	72.15	15.68	4.4	2.436	2.33	5.0
3.83	1072	76.17	16.30	3.9	2.419	2.325	5.5
4.48	996	79.06	17.07	3.6	2.402	2.316	6.0

تأثير إضافة فيتامين E في تقادم الخلائط الإسفلتية



الشكل (4) تغير خواص مارشال للخلاطة الإسفلتية المرجعية بدلالة نسبة الاسفلت.

من النتائج السابقة، وبالاعتماد على منحنيات مارشال، تم تحديد نسبة الاسفلت المثالية (5.0%)، كمتوسط لنسبة الاسفلت التي تحقق أكبر قيمة للثبات وأعظم كثافة، بالإضافة الى نسبة فراغات هوائية قدرها (4%) .

3-6- تأثير إضافة فيتامين E في الرابط الإسفلتي :

لقد تمت دراسة تأثير فيتامين E في خواص الإسفلت الأساسية من جهة، وفي دلائل التقادم من جهة ثانية وفق الآتي :

أ- تأثير إضافة فيتامين E في خواص الإسفلت:

بعد التحقق من صنف الإسفلت المستخدم (60-70) وتحديد خواصه، تمّ تعديله بأربع نسب مختلفة من فيتامين E، وتشكيل عينات منه، و إجراء اختبارات الغرز ونقطة التميع عليه، و إيجاد دليل الغرز له.

و نبين في الجدول (4) نتائج الاختبارات التوصيفية للإسفلت المعدل بنسب مختلفة من فيتامين E.

الجدول (4) خواص الإسفلت المعدل بفيتامين E.

نسب الإضافة من الفيتامين %				
4	3	2	1	الاختبار
60.5	61.4	64.7	66.1	الغرز (25°C)
52.8	51.9	50.4	49.5	نقطة التميع (°C)
107	122	126	135	الاستطالة (cm)
-0.061	-0.241	-0.483	-0.661	دليل الغرز PI

تظهر نتائج الجدول (4)، ما يلي:

✓ انخفاض طفيف في قيمة الغرز مع زيادة نسبة الفيتامين المضافة، مقابل الازدياد الواضح في نقطة التميع، مقارنة مع مثيلتها للإسفلت غير المعدل، وذلك اعتباراً من النسبة 2%.

✓ ارتفاع قيمة دليل الغرز مع زيادة نسبة الاضافة، وبقائها سالبة، لكنها اقتربت من الصفر عند الإضافة 4%، مما يشير إلى تحسّن طفيف في الحساسية الحرارية. و بقيت جميع قيم دليل الغرز ضمن القيم السالبة وضمن المجال [-1، +1] .

✓ انخفاض قيم الاستطالة بشكل خفيف مع زيادة نسبة الإضافة لكنها تبقى ضمن حدود المواصفة.

ب- تأثير إضافة فيتامين E في تقادم الرابط الإسفلتي:

ولتحديد تأثير التقادم في خواص الرابط الأسفلتي، تستخدم منهجية تقييم درجة تقادم المواد الرابطة الإسفلتية من خلال قياس خصائص (فيزيائية أو كيميائية أو ريولوجية) مثل الغرز ودرجة حرارة الكرة والحلقة (نقطة التميع) قبل وبعد التقادم.

1 - تأثير التقادم في درجة الغرز:

لقد أجري اختبار الغرز على الإسفلت المعدل بفيتامين E، بعد التقادم قصير الأمد (STA) والتقادم طويل الأمد (LTA)، ومقارنة النتائج مع الإسفلت غير المعدل.

وبيّن الجدول (5) قيم الغرز التي تمّ التوصل إليها.

الجدول (5): قيم الغرز لكل من الاسفلت غير المعدل والاسفلت المعدل بفيتامين E

الغرز بعد التقادم طويل الأمد (LTA)	الغرز بعد التقادم القصير الأمد (STA)	الغرز قبل التقادم (N)	نسبة الإضافة من فيتامين E%
25	46	66.5	0
40	48	66.1	1
44	49	64.7	2
41	49	61.4	3
38	47	60.5	4

نستنتج من معطيات الجدول (5) الخلاصات التالية:

- انخفاض قيم الغرز، بعد التقادم، مما يشير إلى تغير مركبات الإسفلت، وبالتالي زيادة قساوته ليصبح أكثر صلابة.
- زيادة قساوة الأسفلت مع زيادة محتوى فيتامين E، ليصبح أكثر صلابة..

- تتناقص نسبة انخفاض الغرز قبل وبعد التقادم مع زيادة نسبة التعديل، حيث كانت نسبة الانخفاض بالغرز قبل التقادم قصير الأمد وطويل الأمد وبعده في أدنى قيمة عند نسبة إضافة 2% من فيتامين E، مما يدل أن نسبة 2% من الإضافة حسنت من مقاومة الرابط الإسفلتي للتقادم.

2 - تأثير التقادم في نقطة تميّع الرابط الإسفلتي المعدل بفيتامين E:

لقد أجري اختبار نقطة التميّع على عينات الإسفلت المعدل بفيتامين E، بعد تقادمها قصير وطويل الأمد، والوصول إلى النتائج المبينة في الجدول (6).

الجدول (6): قيم نقطة التميّع لكل من الإسفلت غير المعدل والمعدل بفيتامين E

نقطة التميّع بعد التقادم طويل الأمد (LTA)	نقطة التميّع بعد التقادم القصير الأمد (STA)	نقطة التميّع قبل التقادم (N)	نسبة الإضافة من فيتامين E%
62	55	49.2	0
54.3	52.4	49.5	1
54.6	53.1	50.4	2
56.8	54.3	51.9	3
58.4	55.9	52.8	4

ومن خلال نتائج الدراسة الواردة في الجدول (6) وتحليلها، نستنتج الخلاصة التالية:

- ✓ ازدياد نقطة التميّع بعد التقادمين قصير وطويل الأمد مع زيادة نسبة الإضافة من فيتامين E. ويشير انخفاض الفرق في قيمة نقطة التميّع قبل وبعد التقادم قصير وطويل الأمد، الذي وصل إلى أدنى قيمة له عند نسبة الإضافة 2%، إلى تحسن مقاومة الإسفلت للتغيرات الحرارية.

3 - دراسة تأثير إضافة فيتامين E في دلائل التقادم:

لقد درس تأثير إضافة فيتامين E في دلائل تقادم الرابط الإسفلتي من خلال:

- دليل تقادم الغرز.

- دليل تقادم نقطة التميع.

حددت دلائل التقادم للإسفلت المعدل بفيتامين E وغير المعدل، لكل من الغرز ونقطة التميع، بناء على معطيات الجدول (6)، وباعتماد علاقات حسابها المذكورة انفا، بدلالة نسبة التعديل، وادرجت النتائج في الجدولين (7) و (8).

الجدول (7): قيم دليل تقادم الغرز للإسفلت غير المعدل والمعدل بفيتامين E

نسبة إضافة فيتامين E%	دليل الغرز للتقادم القصير الأمد (STA)	دليل الغرز للتقادم طويل الأمد (LTA)
0	69.2	37.6
1	72.6	60.5
2	75.7	68
3	79.8	66.8
4	77.7	62.8

الجدول (8): قيم دليل تقادم نقطة التميع للإسفلت غير المعدل والمعدل بفيتامين E

نسبة إضافة فيتامين E%	دليل نقطة التميع للتقادم القصير الأمد (STA)	دليل نقطة التميع للتقادم طويل الأمد (LTA)
0	5.8	12.8
1	2.9	4.8
2	2.7	4.2
3	2.4	4.9
4	3.1	5.6

وبقود تحليل النتائج التي تم الحصول عليها والواردة في الجدول (7) ، إلى الخلاصات التالية:

✓ ازدياد دليل تقادم الغرز PAI مع زيادة نسبة التعديل حتى نسبة (2%)، حيث وصل في حالة التقادم طويل الأمد وصل إلى (68 %)، مقارنة مع (37.6 %) للإسفلت غير المعدل، ومن ثم انخفض مع زيادة نسبة الإضافة من فيتامين E .

✓ تشير نتائج PAI أن التعديل بفيتامين E أدى إلى تحسن مقاومة الرابط الإسفلتي للأوكسدة، عند تعريضه للتقادم، وخاصة في مرحلة التقادم طويل الأمد

ومن خلال معطيات الجدول (8) نستنتج الخلاصات التالية:

✓ ازدياد قيمة نقطة التميع بعد التقادمين قصير وطويل الأمد مع زيادة نسبة الإضافة من فيتامين E .

✓ يشير انخفاض الفرق بين نقطة التميع قبل وبعد التقادم قصير الأمد والتقادم طويل الأمد، إلى تحسن مقاومة الإسفلت للتغيرات الحرارية، حيث بلغ أدنى قيمة له عند نسبة (2%) من إضافة فيتامين E ، وبفارق مقداره (4.2 درجة مئوية) .

✚ من نتائج دراسة تأثير إضافة فيتامين E في الرابط الإسفلتي، يمكن التوصل إلى أنّ النسبة المثالية للإضافة هي (2 %) والتي عندها تتحسن مقاومته لظروف التقادم قصير وطويل الأمد.

4-6 - تأثير إضافة فيتامين E في تقادم الخلطة الإسفلتية:

جرت الدراسة بإضافة نسبة فيتامين E المثالية على الخلطة الإسفلتية وإجراء الاختبارات التالية (ثبات مارشال-الشد غير المباشر-حساسية الرطوبة) عليها، وذلك قبل وبعد التقادم قصير وطويل الأمد.

أ- تأثير إضافة فيتامين E في خصائص ثبات مارشال:

أجري اختبار مارشال على عينات من الخلائط المعدلة بفيتامين E بنسبة (2%) قبل وبعد التقادم قصير وطويل الأمد، وحساب دليل التقادم قصير وطويل الأمد للثبات ومقارنتها مع مثيلتها في الخلطة المرجعية، وحصلنا على النتائج المبينة في الجدول (9) والمتمثلة بالشكلين (5) و(6).

الجدول (9): ثبات مارشال للخلطة غير المعدلة، والمعدلة بفيتامين E، ودلائل تقادمها

الخلطة المعدلة بفيتامين E بنسبة (2%)	الخلطة المرجعية	حالة عينات الدراسة	
1145	1138	ثبات مارشال، Kg	غير متقادمة UnAged
1545.75	1433		معرضة للتقادم قصير الأمد STA
1270.95	1718		معرضة للتقادم طويل الأمد LTA
1.35	1.26	دليل التقادم قصير الأمد	
1.11	1.51	دليل التقادم طويل الأمد	



الشكل (5): ثبات مارشال للخلطة الإسفلتية غير المعدلة والمعدلة فيتامين E.



الشكل (6): دليل التقادم للخلطتين الإسفلتيتين المدروستين (الثبات).

من النتائج الواردة في الجدول (9) والممثلة بالشكلين (5) و (6) نستنتج ما يلي:

✓ يزداد الثبات بنسبة (35%) عند التقادم قصير الأمد، وبنسبة (11%) عند التقادم طويل الأمد، في حين كانت زيادة الثبات للخلطة المرجعية (26%) للتقادم قصير الأمد و(51%) للتقادم طويل الأمد مما يدل على التأثير الإيجابي لإضافة فيتامين E في تحسن الثبات بعد التقادم طويل الأمد.

✓ فاعلية إضافة فيتامين E في التخفيف من أثر التقادم طويل الأمد، حيث يمكن تبرير ذلك إلى أن سلسلة تفاعلات فيتامين E، وعمله كمضاد لعمليات الأكسدة، تبدأ بعد فترة زمنية نتيجة تفاعلات حرارية معينة.

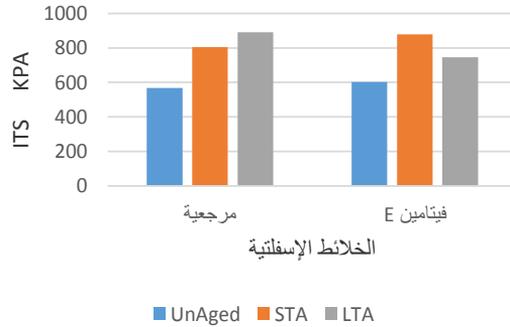
✓ انخفاض دليل التقادم طويل الأمد بشكل واضح للخلائط المعدلة بفيتامين E مقارنة مع الخلطة المرجعية، حيث وصل إلى (1.11) في حالة التقادم طويل الأمد. ويشير اقتراب دليل التقادم من الواحد إلى فعالية فيتامين E في الحد من تأثير التقادم طويل الأمد على خواص الخلطة الإسفلتية.

ب- تأثير إضافة فيتامين E في الشد غير المباشر:

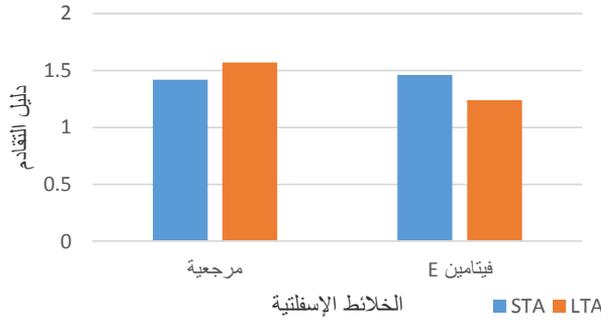
تم تنفيذ اختبار الشد غير المباشر ITS في ظروف درجة حرارة 25 درجة مئوية على عينات من الخلائط الإسفلتية المرجعية والأخرى المعدلة بفيتامين E ، وفي ظروف طبيعية وظروف تقادم قصير وطويل الأمد، ودونت النتائج في الجدول (10) ومثلت بالشكلين (7) و(8).

الجدول (10): قيم الشد غير المباشر ودلائل التقادم للخلطتين المدروستين.

حالة عينات الدراسة	الخلطة المرجعية	الخلطة المعدلة بفيتامين E نسبة (%2)
الشد غير المباشر، KPA	567	602
	805	878.92
	890	746.48
دليل التقادم قصير الأمد	1.42	1.46
دليل التقادم طويل الأمد	1.57	1.24



الشكل (7): قيم الشد غير المباشر للخلطتين الإسفلتيتين المدروستين



الشكل (8): دليل تقادم للخلطتين الإسفلتيتين المدروستين (الشد غير المباشر)

من النتائج الواردة في الجدول (10) والممثلة بالشكلين (7) و (8) نستخلص ما يلي:

- ✓ فعالية إضافة فيتامين E في تحسين خواص الخلطة لمقاومة التقادم طويل الأمد، وهذا ما يتفق مع النتائج التي تم التوصل إليها عند حساب دليل الثبات، كما ينسجم مع نتائج دليل التقادم طويل الأمد.

ت- تأثير إضافة فيتامين E في حساسية الخلطة الإسفلتية للرطوبة:

يتم تقسيم العينات المرصوفة إلى مجموعتين: المجموعة الأولى يتم حفظها ضمن ظروف جافة، وذلك لحساب قيمة الشد غير المباشر في الحالة الجافة (*ITS dry*). ويتم

تعريض المجموعة الثانية لظروف الرطوبة، من خلال غمرها في حمام مائي بدرجة (60 °C) لمدة (24 ساعة)، ثم تركها مدة ساعتين بدرجة حرارة الغرفة وإيجاد قيمة الشد غير المباشر في الحالة الرطبة (*ITS wet*).

يتم تحديد حساسية الرطوبة (*TSR*) كنسبة لإجهاد الشد غير المباشر في الحالة الرطبة على إجهاد الشد غير المباشر في الحالة الجافة وفق العلاقة:

$$TSR = \frac{ITS_{wet}}{ITS_{dry}}$$

حيث أن:

TSR: حساسية الرطوبة للعينة.

ITSwet: مقاومة الشد غير المباشر للعينة في الحالة الرطبة.

ITSdry: مقاومة الشد غير المباشر للعينة في الحالة الجافة.

ويبين الجدول (11): نتائج اختبار قيم الشد غير المباشر في الحالة الجافة والحالة الرطبة للخلطة الإسفلتية غير المعدلة والمعدلة فيتامين E.

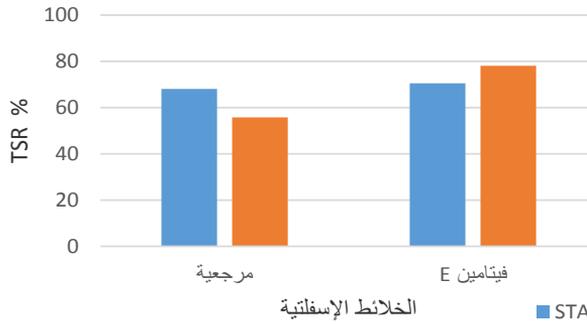
الجدول (11) قيم الشد غير المباشر في الحالتين الجافة والرطبة للخلطتين المدروستين

الخلطة المعدلة ب فيتامين E بنسبة (2%)		خلطة مرجعية		حالة عينات الدراسة
<i>ITS_{wet}</i> , (Kpa)	<i>ITS_{dry}</i> , (Kpa)	<i>ITS_{wet}</i> , (Kpa)	<i>ITS_{dry}</i> , (Kpa)	
618.76	878.92	547.4	805	عينات معرضة للتقادم قصير الأمد STA
582.254	746.48	495.73	890	عينات معرضة للتقادم طويل الأمد LTA

وبناء على معطيات الجدول (11) وتطبيق علاقة حساب TSR نحصل على قيم حساسية الرطوبة الواردة في الجدول (12) والممثلة في الشكل (9)، للخلطتين المدروستين.

الجدول (12): حساسية الرطوبة للخلطة الإسفلتية غير المعدلة والمعدلة فيتامين E .

حساسية الرطوبة % TSR		حالة عينات الدراسة
الخلطة المعدلة ب فيتامين E بنسبة (2%)	خلطة مرجعية	
70.4	68	عينات معرضة للتقادم قصير الأمد STA
78	55.7	عينات معرضة للتقادم طويل الأمد LTA



الشكل (9): حساسية الخلطتين الإسفلتيتين المدروستين لمقاومة ضرر الرطوبة

من النتائج المبينة في الجدول (12) والشكل (9) نستنتج ما يلي:

تأثير إضافة فيتامين E إيجابي جداً في مقاومة ضرر المياه للخلائط الإسفلتية بعد التقادم طويل الأمد، حيث ارتفعت مقاومة ضرر الرطوبة بنسبة (40 %) مقارنة مع حالة الخلطة المرجعية بدون التعديل، وبالتالي الحد من ظهور الشقوق في سطح الرصف الأسفلتي.

7- الاستنتاجات والتوصيات :

أ- الاستنتاجات:

- تشير دلائل التقادم على أن النسبة المثالية لتعديل الرابط الأسفلتي بفيتامين E هي (2%)، التي تكسبه فاعلية أكبر في مقاومته لعملية التقادم، وخاصة طول الأمد، وتحافظ على خواصه ضمن حدود المواصفات المعتمدة في الجمهورية العربية السورية.
- حسن تعديل الرابط الإسفلتي بفيتامين E بنسبة 2% من تقادم الخلطة الإسفلتية، وخاصة التقادم طويل الأمد . ويمكن تبرير ذلك إلى أن سلسلة تفاعلات فيتامين E، وعمله كمضاد لعمليات الأكسدة ، تبدأ لاحقاً نتيجة التفاعلات الحرارية التي تحصل أثناء الخدمة. ولقد بلغت نسبة تحسن دليل التقادم طويل الأمد للنبات (26.5%) ، وللشد غير المباشر (21%)، ولمقاومة ضرر الرطوبة (40%).

ب-التوصيات:

- متابعة البحث بإجراء المزيد من الاختبارات على الرابط الاسفلتي المعدل مثل ، اختبار مقياس القص الديناميكي (Dynamic Shear Rheometer DSR)، وتحديد تأثير التقادم على كل من المعامل المركب (Complex modulus G^*) وزاوية الطور (δ Phase angle).
- البحث في نسب الإضافة لتحسين خواص الرابط الاسفلتي بشكل أوسع، عبر إجراء سلسلة من الاختبارات منها: - اللزوجة الدورانية (Rotational Viscometer) - الشد المباشر (DTT Direct Tension Tester) - مقياس الجائز المنعطف (Bending Beam Rheometer).

8- المراجع :

- 1- Solaiman Fayeze. **Enhancing stability of Asphalt-coating Against Deformatins waring High and Low temperature conditions.** Essay ، Institute for construction industry ، Kassel University ، Germany . 2019.
- 2- Solaiman Fayeze. **Studying the influence of-excess axle loads on elastic pavement.** Essay، Journal of ALBaath university-Syria-Homs. Vol40،2018.
- 3- Soutan،Bassam 2018 ." **Use fly ash as a filler material in asphalt mixtures"** Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies -Engineering Sciences Series Vol. (04) No. (0) 8402
- 4- Ali، B.، Sadek، M. **Experimental analysis of the influence of crumb rubber addition on the short-term aging of Syrian asphalt.** Arab J Geosci 6، 85–90 (2013).
<https://doi.org/10.1007/s12517-011-0342-3>
- 5- Sirin، Okan & Paul، Dalim & Kassem، Emad. (2018). **State of the Art Study on Aging of Asphalt Mixtures and Use of Antioxidant Additives.** Advances in Civil Engineering. 2018. 10.1155/2018/3428961.
- 6- Bell, C.A., Weider, A.J. and Fellin, M.J.(1994) "**Laboratory Aging of Asphalt-Aggregate Mixtures: Field Validation**", Oregon State University Corvallis, OR 97331, Strategic

- Highway Research Program, SHRP-A-390, National Research Council, Washington, DC 1994.
- 7- Baek, C., Underwood, S. and Kim, Y.R.(2014) "**Effects of Oxidative Aging on Asphalt Mixture Properties**", TRB Annual Meeting, 2012.
- 8- AASHTO Designation R30. **STANDARD PRACTICE FOR MIXTURE CONDITIONING OF HOT MIX ASPHALT.**
- 9- Petersen, J.C. (1984) "**Chemical Composition of Asphalt as Related to Asphalt Durability: State of Art**", TRR999, Transportation Research Board, Washington D.C., pp 13-30.
- 10- Airey, G.D. (1997) "**Rheological Characteristics of Polymer Modified and Aged Bitumens**", PhD Thesis, University of Nottingham
- 11- Durmaz, C., Sengoz, B., Ozdemir, D. K., Topal, A. "**Investigation of Different Laboratory Aging Methods of Bituminous Mixtures**", Periodica Polytechnica Civil Engineering, 65(2), pp. 537–545, 2021. <https://doi.org/10.3311/PPci.15480>
- 12- Cesare Oliviero Rossi , Paolino Caputo, Saltanat Ashimova, Antonio Fabozzi, Gerardino D'Errico and Ruggero Angelico " **Effects of Natural Antioxidant Agents on the Bitumen Aging Process: An EPR and Rheological**

Investigation "Appl. Sci. 2018، 8، 1405;
doi:10.3390/app8081405

- 13- Petersen, J. C. A (1989) "**Thin Film Accelerated Ageing Test for evaluating asphalt oxidative ageing**". Proc. Assn. Asphalt Paving Technology, 58, 1989, pp. 220–244.
- 14- Tauste, R., Moreno-Navarro, F., Sol-Sánchez, M., Rubio-Gámez, M. C. (2018)"**Understanding the bitumen ageing phenomenon: A review**". Construction and Building Materials, 192, 2018, pp. 593–609
- 15- Besamusca, J., Sörensen, A., Southwell, C. (2012)"**Addressing ageing characteristics of bituminous binders in Europe**". In 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress Istanbul, Turkey, 2012.
- 16- Gamarra, A. and Ossa, E. A. (2018)"**Thermo-oxidative aging of bitumen**". International Journal of Pavement Engineering, 19(7), 2018, pp. 641–650.
- 17- Lin, J., Hong, J., Liu, J. and Wu, S. (2016) "**Investigation on physical and chemical parameters to predict long-term aging of asphalt binder**". Construction and Building Materials, 122, 2016, pp. 753–759.
- 18- Anderson, D. A. and Bonaquist, R. (2012) "**Investigation of short-term laboratory ageing of neat and modified asphalt binders**", NCHRP Report 709, 2012

- 19- Yan, C., Huang, W. and Tang, N. (2017)"**Evaluation of the temperature effect on Rolling Thin Film Oven aging for polymer modified asphalt**". Construction and Building Materials, 137, 2017, pp. 485–493.
- 20- Du, Y.; Wang, S. (2015)"**Oriented heat release in asphalt pavement induced by high-thermal-conductivity rods**", Applied Thermal Engineering 90: 424–431.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.07.026>
- 21- Liu, X.; Liu, W.; Wu, S.; Wang, C. (2014). "**Effect of carbon fillers on electrical and road properties of conductive asphalt materials**", Construction and Building Materials 68: 301–306.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.059>

علاقة تجريبية لحساب مقاومة الضغط للبيتون

بحصويات معاد تدويرها

طالب الدراسات العليا: م. وصفي دياب - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث
إشراف د. غصون دنهش مدرّسة في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث.

ملخص البحث:

تعاني العديد من المنشآت من انتهاء العمر التصميمي الخاص بها أو إنها لم تُصمّم وفقاً للمواصفات المطلوبة أو لم تتلقّى الصيانة اللازمة أثناء الخدمة مما يستدعي الحاجة إلى إجراء إصلاحات كبيرة أو حتى استبدالها بالكامل. وهذه الأنشطة تؤدي إلى إنتاج كميات كبيرة من نفايات البناء والهدم التي عادة ما يتم تفرغها في مكبات النفايات. ولا تشكل هذه النفايات مشكلة بيئية فحسب، بل توضع أيضاً ضغطاً على الموارد الطبيعية المتاحة. لذلك فإن إعادة تدوير واستخدام نفايات البناء والهدم سيؤدي إلى تقليل المساحة في مكبات النفايات والمحافظة على الموارد الطبيعية. تعد مقاومة الضغط للبيتون خاصية ميكانيكية أساسية، حيث تُستخدم لتحديد الخصائص الميكانيكية الأخرى للبيتون مثل مقاومة الشد ومعامل المرونة وإجهاد التماسك وطول التماسك. وعليه، فإن التنبؤ بمقاومة الضغط عند 28 يوماً يُعدُّ أمراً هاماً. لذلك في هذا البحث تم إجراء تحليل للعوامل التي تؤثر على مقاومة الضغط للبيتون الحصويات المعاد تدويرها (RAC). بناءً على عدد كبير من النتائج التجريبية المنشورة في الأبحاث، وفي سبيل ذلك، تم إنشاء قاعدة بيانات تجريبية تحتوي على عدد كبير من العينات المختلفة التي تم اختبارها. يهدف البحث إلى إيجاد علاقة رياضية يمكن استخدامها للتنبؤ بمقاومة الضغط للبيتون الحصويات المعاد تدويرها عند 28 يوماً بناءً على عدة عوامل مثل نسبة الاستبدال $R\%$ ونسبة الماء/الإسمنت w/c ومقاومة الضغط للبيتون بحصويات طبيعية. وكذلك تم تصميم خمس خلطات بيتونية باستخدام الحصويات المعاد تدويرها بنسب استبدال مختلفة للحصويات الخشنة الطبيعية، وتم إجراء اختبار الضغط للمقارنة بين النتائج التجريبية والعلاقات الرياضية المستنتجة. وقد أعطت العلاقات المستنتجة قيماً مقبولة عند مقارنتها مع التجارب التي تم إجراؤها وكذلك عند مقارنتها مع الأبحاث الأخرى.

الكلمات المفتاحية: مقاومة الضغط - بيتون الحصويات المعاد تدويرها - نسبة الاستبدال - نسبة الماء/الإسمنت - نفايات البناء والهدم.

Empirical Relationship for Predicting the Compressive Strength of Recycled Aggregate Concrete

Abstract: Many buildings suffer from the end of their design life, or they are not designed to meet the standards, or they did not receive the necessary maintenance during the service life, which requires major repairs or even complete replacement. These activities lead to the production of large quantities of construction and demolition waste (CDW), which are usually dumped in landfills. This waste poses an environmental problem and puts pressure on the available natural resources. Therefore, the recycling and the use of construction and demolition waste will lead to the reduction of space in landfills and the conservation of natural resources. The compressive strength of concrete is a crucial property for determining the other mechanical properties of concrete like tensile strength, elastic modulus, bond strength, and bond length. Therefore, predicting the compressive strength at 28 days is considered important. Therefore, in this research, an analysis of the factors that affect the compressive strength of recycled aggregate concrete (RAC) was conducted. Based on a large number of experimental results from the literature, an experimental database containing various mechanical properties for different mixes was created. The main purpose of the present research is to suggest an empirical relationship to predict the compressive strength of recycled aggregate concrete at 28 days based on several factors such as the replacement ratio $R\%$, the water/cement ratio w/c , and the compressive strength of natural aggregate concrete. Five concrete mixes were also designed using recycled aggregates with different replacement ratios of recycled coarse aggregates, and a compression test was performed to compare the experimental results and the proposed empirical relationships. The proposed relationships have given acceptable results comparing to experimental results of the present study and other research.

Keywords: Compressive strength; Recycled aggregate concrete; replacement ratio; water/cement ratio; Construction and demolition waste.

1. المقدمة:

يعود تدوير نفايات البناء والهدم إلى عصر الرومان، حيث كان يتم إعادة استخدام الأحجار من الطرق السابقة في إعادة البناء. وتم اللجوء إلى استخدام الحصىات المعاد تدويرها في أوروبا منذ نهاية الحرب العالمية الثانية بسبب نفاذ الحصىات الطبيعية عالي الجودة [1]. ويتوقع أن يكون إجمالي إنتاج نفايات البناء والهدم في الدول الأوروبية أكثر من 175 مليون طن سنوياً. وتتجه الدول الآسيوية بنفس الاتجاه، حيث تنتج آسيا أكثر من 760 مليون طن من الأنقاض الناتجة عن البناء والهدم كل عام [2].

مع التطور السريع لصناعة البناء، تزداد كميات نفايات البناء والهدم (CDW) التي يتم إنتاجها سنوياً في جميع أنحاء العالم ومع زيادة كمية هذه النفايات يوماً بعد يوم، فإن مكبات النفايات التي يمكن أن تستقبل هذه المواد تصبح محدودة. وبالتالي فإن استخدام الحصىات المعاد تدويرها يعد حلاً واعداً يساهم في التقليل من الاستهلاك الزائد للموارد الطبيعية، وتوفير الطاقة، وتحسين الظروف البيئية، وتقديم حل لمشكلة النفايات المتولدة [3][4].-

تعتبر نفايات البناء والهدم مصدراً رئيسياً للحصىات المعاد تدويرها. يتم الحصول على الحصىات الخشنة من هذه النفايات من خلال سحق الببتون المستخدم في المباني القديمة عند نهاية فترة خدمتها، والمنشآت التي تعاني من تدهور لا يمكن إصلاحه، والمنشآت التي تتعرض للتلوث جراء الكوارث الطبيعية مثل الفيضانات والزلازل والتسونامي. بعد ذلك، يتم فرز الحصىات وتنظيفها من الأوساخ والغبار والورق والخشب والبلاستيك والجبس وأي مواد ضارة أخرى قد تؤثر سلباً [5].

يقتصر استخدام الحصىات المعاد تدويرها حالياً على التطبيقات غير الإنشائية مثل الأرصفة والطرق، ولكن عدداً من الدول قد اتخذت تدابير لتحفيز استخدام الحصىات

المعاد تدويرها كبديل جزئي أو كامل للحصويات الطبيعية في إنتاج البيتون المعاد تدويره، وذلك بشرط أن يكون ذلك مقبولاً من الناحية التقنية والاقتصادية والبيئية [6]. وتشير العديد من الدراسات إلى جدوى استخدام الحصويات الخشنة المعاد تدويرها، وقد تم اعتماد استخدامها بالفعل في كودات العديد من الدول. ففي إيطاليا، تم السماح رسمياً باستخدام 30% من الحصويات المعاد تدويرها بدلاً من الحصويات الطبيعية لإنتاج البيتون منذ عام 2009 [7] كما أوصت اللجنة الفنية RILEM 121-DRG (1994) بأن يتم استبدال فقط 20% من الحصويات الخشنة الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها في إعداد البيتون الجديد لجميع فئات المقاومة [8].

تم إجراء العديد من الدراسات على استخدام الحصويات المعاد تدويرها في السنوات الأخيرة، حيث يلعب هذا النوع من الحصويات دوراً هاماً في خصائص مقاومة البيتون. ومع ذلك، فإن المعلومات المتاحة حالياً حول خصائص البيتون بحصويات المعاد تدويرها لا تزال غير كافية، ومن الضروري الحصول على مزيد من المعلومات التفصيلية حول هذه الخصائص. ومن أهم هذه الخصائص مقاومة الضغط حيث تتأثر مقاومة الضغط لبيتون الحصويات المعاد تدويرها بعدة عوامل منها نسبة استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات الخشنة المعاد تدويرها، ونسبة الماء/الإسمنت المستخدمة في تصميم الخلطة، وكذلك مقاومة البيتون الطبيعية (دون استبدال).

إن أغلب الخصائص الميكانيكية للبيتون تعتمد على مقاومة الضغط، على سبيل المثال إن مقاومة الشد ومعامل المرونة وإجهاد التماسك وطول التماسك تعتمد في حسابها على مقاومة الضغط، لذلك تعد مقاومة الضغط للبيتون خاصية ميكانيكية أساسية. إن العلاقات المعتمدة لحساب هذه الخصائص وفق الكودات على الشكل التالي:

مقاومة الشد:

وفق الكود العربي السوري:

$$f_{ct} = 0.44 \times \sqrt{f_c} \quad (1)$$

• معامل المرونة:

وفق الكود العربي السوري:

$$E_c = 5700 \times \sqrt{f_c} \quad (2)$$

وفق الكود CEB-FIP:

$$E_c = 2.15 \times 10^4 \times (0.8 + 0.1 \times f_c)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

• إجهاد التماسك:

وفق الكود CEB-FIP:

$$\tau_u = 2.5 \times \sqrt{f_c} \quad (4)$$

طول التماسك:

وفق الكود العربي السوري:

$$L_b = 0.016 \times \frac{f_y}{\sqrt{f_c}} \times \phi^2 \quad (5)$$

حيث إن الإجهادات مقدرة بـ MPa والأطوال بـ mm.

اهتمت العديد من الأبحاث بدراسة تأثير نسبة استبدال الحصى بالمعاد تدويرها على مقاومة البيتون على الضغط، حيث تم دراسة مقاومة البيتون على الضغط من قبل

[9] Sunhere and Joshi، تم استخدام خلطتين الأولى ذات مقاومة تصميمية 30 MPa والثانية 40 MPa. تحتوي هذه الخلطات على نسب متغيرة من الحصويات المعاد تدويرها تتراوح بين 10% و 100% بزيادات تساوي 10%، بالإضافة إلى الخلطة المعيارية بالحصويات الطبيعية والتي تمت المقارنة بها. وكانت العينات المستخدمة في اختبار الضغط مكعبية الشكل 150 mm . أظهرت نتائج اختبار الضغط ارتفاعاً تدريجياً في مقاومة الضغط مع زيادة عمر العينات البيتونية. ومع ذلك، توضح النتائج أن مقاومة عينات الحصويات البيتونية المعاد تدويرها أقل من تلك العينات التي تم تصميمها باستخدام الحصويات الطبيعية. ومع زيادة استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها بنسبة تصل إلى 60%، تقل المقاومة، ولكنها تبقى محققة للمقاومة التصميمية المستهدفة.

أما الباحث [10] Adnan et al. فقد درس تأثير الاستبدال المتنوع للحصويات المعاد تدويرها على مقاومة الضغط لنسب الماء/الإسمنت المختلفة. حيث تم إنتاج مجموعتين من الخلطات البيتونية، خلطة بيتونية بالحصويات الطبيعية (NAC) وخلطة بيتونية بالحصويات المعاد تدويرها (RAC) وتم استخدام الرمل الطبيعي في كلا الخلطتين. من أجل خلطات RAC كانت نسب الاستبدال 25%، 50%، 75% و 100%. تم تحضير الخلطات البيتونية بنسب ماء/إسمنت (w/c) 0.4، 0.5 و 0.6، وكذلك تم استخدام ملدن (Skim Quick Set (SQS)، وتم اختبار مكعبات 100 mm من أجل تحدد مقاومة الضغط. وجد أن مقاومة الضغط لـ RAC تنخفض مقارنة بـ NAC. وعند استخدام نسبة الماء/الإسمنت (0.4) و (0.5)، انخفضت مقاومة الضغط بنسبة (21.9 و 23.7 و 43.3 و 32.7%) و (13.2 و 7.7 و 19.1 و 13.2%) على التوالي في الخلطات الخرسانية المحضرة باستبدال 25%، 50%، 75% و 100% من RAC في

28 يوماً مقارنة بـ NAC. ووجد أيضاً أن الخلطات البيتونية التي تم تحضيرها باستخدام نسبة $w/c = 0.6$ واستبدال 25%، 50%، 75% و 100% من RAC، انخفضت مقاومة الضغط بنسبة 11.85 و 17.1 و 31.3 و 22.3% على التوالي عند مقارنتها بـ NAC. ويلاحظ أن الخلطات البيتونية بنسبة 0.4 تظهر انخفاضاً أقل في المقاومة مقارنةً بالخلطات بنسب 0.5 و 0.6 حيث هناك علاقة عكسية بين نسبة الماء إلى الإسمنت ومقاومة الضغط للبيتون المعاد تدويره.

يهدف البحث [11] Rahal إلى مقارنة بعض الخصائص الميكانيكية لـ RAC مع تلك الخاصة بـ NAC باختلاف فئة المقاومة المستهدفة ونسبة الماء/الإسمنت، وكانت نسبة الاستبدال 100%. تم تصميم عشر خلطات بيتونية ذات مقاومة ضغط مستهدفة تبلغ $(20 - 25 - 30 - 40 - 50) \text{ MPa}$ وكانت نسبة ماء/إسمنت المستخدمة (w/c)

(0.4 - 0.43 - 0.48 - 0.5 - 0.65) على التوالي. تم إجراء اختبار الضغط على مكعبات 100 mm وتوصلت الدراسة إلى أن مقاومة الضغط المستهدفة تم تحقيقها بشكل عام عند 28 يوماً في جميع الخلطات، باستثناء خلطات ذات مقاومة الضغط 40 MPa و 50 MPa ، حيث كان متوسط المقاومة أقل بنسبة 1.4% و 7% من المقاومة المستهدفة على التوالي. في المتوسط، كانت مقاومة الضغط لـ RAC 88.4% من مقاومة البيتون الطبيعية. وبشكل عام، تم ملاحظة انخفاض بنسبة 10% في المقاومة عند استخدام الحصىيات الخشنة المعاد تدويرها، وهذه الملاحظة تشابه ما توصل إليه [12] Ravindraraaj ولكنها تختلف عن نتائج [13] Yamato et al. الذي لاحظ أن الانخفاض في المقاومة كان 20% و 30% و 45% لاستبدال الحصىيات الخشنة بنسبة 30% و 50% و 100% على التوالي. أظهرت الدراسة أيضاً أن RAC

وNAC تتبعان اتجاهات مماثلة في تطور مقاومة الضغط. وكذلك يمكن تحقيق مقاومة ضغط أعلى في RAC عن طريق تقليل نسبة الماء إلى الإسمنت.

وكذلك قام الباحث [14] Jadhav et al. بدراسة تأثير نسب الاستبدال على قابلية التشغيل والخصائص الميكانيكية. حيث كانت المتغيرات الرئيسية هي استبدال الحصىات الخشنة الطبيعية بنسب متفاوتة من RCA. تم استخدام خلطتين الأولى ذات مقاومة مستهدفة تبلغ 20 MPa وسيرمز لها بالرمز M20 والثانية ذات مقاومة مستهدفة تبلغ 30 MPa وسيرمز لها بالرمز M30. كل خلطة تحتوي على 0، 10، 20، 30، 40، 50، 60، 70، 80، 90 و100% من الحصىات الخشنة المعاد تدويرها كبديل لـ NCA. كانت نسبة w/c المستخدمة في الخلطة 0.53 و0.45 لكل من M20 وM30 على التوالي وكانت هذه النسبة ثابتة لجميع نسب الاستبدال ونتيجة ذلك انخفضت قيم الهبوط ومن أجل تحسين قابلية التشغيل تم استخدام الإضافات الكيميائية بنسبة 0.9 و1.1% من وزن الإسمنت لكل من M20 وM30 على التوالي. العينات المستخدمة في البحث عبارة عن مكعبات ذات الأبعاد $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}$ من أجل تحديد مقاومة الضغط للبيتون عند 28 يوماً للخلطتين، وأظهرت النتائج حتى 30% من استبدال NCA بواسطة RCA تأثيراً ضئيلاً على مقاومة الضغط يتراوح من 3.8% إلى 8.2%، وعند استبدال 40% من NCA، لوحظ أن مقاومة الضغط تتخفض بشكل كبير. ومع زيادة استبدال NCA (40% - 100%) هناك انخفاض هائل في مقاومة الضغط، لوحظ أن متوسط الانخفاض في مقاومة الضغط يبلغ 18.48% و18.30% لخلطات M20 وM30، على التوالي.

2. هدف البحث:

1- صياغة علاقات بسيطة قدر الإمكان للتنبؤ بمقاومة الضغط الأسطوانية لبيتون الحصىات المعاد تدويرها باستخدام عدة متغيرات وهي:

- علاقة تربط بين مقاومة الضغط $f_c(RAC)$ ونسبة الاستبدال $R\%$.
- علاقة تربط بين مقاومة الضغط $f_c(RAC)$ ونسبة الماء/الإسمنت W/C .

2- إجراء اختبار الضغط للمقارنة بين النتائج التجريبية والعلاقات الرياضية المستنتجة حيث تم تصميم خمس خلطات بيتونية باستخدام الحصىات المعاد تدويرها وكانت نسبة استبدال الحصىات الطبيعية الخشنة بالحصىات المعاد تدويرها 25% و50% و75% و100% وتم استخدام الاستبدال بنسبة 0% كخلطة مرجعية للمقارنة.

3. مواد وطرق البحث:

تتألف هذه الدراسة من جمع النتائج التجريبية السابقة، وتحليلها لتطوير قاعدة بيانات ولإيجاد معادلات للتنبؤ بمقاومة الضغط الأسطوانية لبيتون الحصىات المعاد تدويرها عند 28 يوماً. استناداً إلى عدد كبير من الأبحاث التجريبية التي نشرت في الأبحاث، تم جمع حوالي 435 نتيجة اختبار للحصول على قاعدة بيانات. حيث كان الهدف من الدراسة الحالية أخذ أكبر عدد ممكن من أنواع الحصىات المعاد تدويرها بعين الاعتبار، وفي الوقت نفسه صياغة علاقات بسيطة قدر الإمكان للتنبؤ بمقاومة الضغط مع أخذ العوامل التي تؤثر عليها مثل نسبة الاستبدال ونسبة الماء/الإسمنت.

1.3 المواد المستخدمة:

الإسمنت الأكثر استخداماً هو الإسمنت البورتلاندي العادي. تم استخدام الإسمنت البورتلاندي من معمل طرطوس صنف 32.5 N عيار 400 Kg/m^3 .

تم استخدام الحصويات الطبيعية من مقلع حسياء بأحجام من 20 mm إلى 4.75 mm كحصويات خشنة. أما الحصويات الناعمة الطبيعية كانت بأحجام من 4.75 mm إلى 1.18 mm . وتم استخدام رمل قيرواني طبيعي.

تم استبدال 25% و 50% و 75% و 100% من الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها والتي تم تحضيرها في المخبر من ركام البناء. وتم استخدام الاستبدال بنسبة 0% كخلطة مرجعية للمقارنة.

تم استخدام ملدن بنسبة 1% من وزن الإسمنت لجميع نسب الاستبدال.

تم صب ثلاث عينات أسطوانية في قالب بحجم $(\text{Ø}150 \times 300)\text{ mm}$ مع نسبة ماء/إسمنت تساوي 0.5 . بعد حوالي 24 ساعة، تم فك القوالب عن العينات واستمرار العلاج ضمن خزان مائي حتى تم اختبار العينات بعد 28 يوماً للاختبارات التي تتعلق بالمقاومة الضغط.

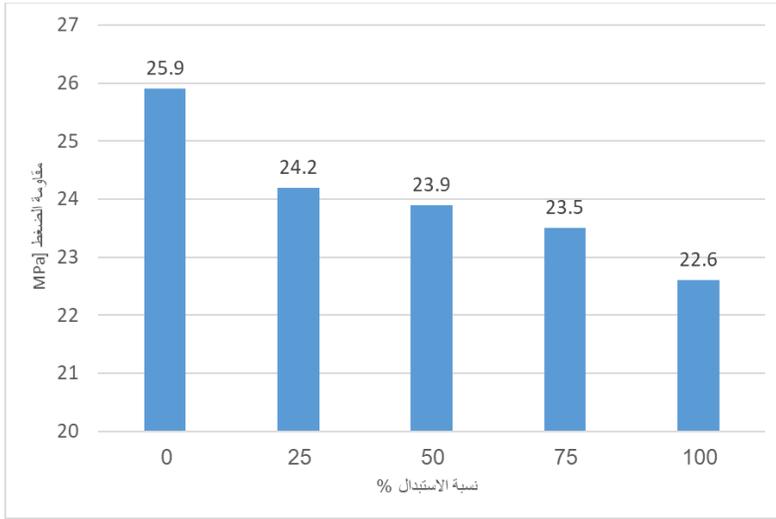
4. النتائج:

1.4 نتائج مقاومة الضغط التجريبية:

يبين الجدول (1) التالي نتائج مقاومة الضغط بعمر 28 يوم.

الجدول 1. قيم مقاومة الضغط التجريبية عند 28 يوم.

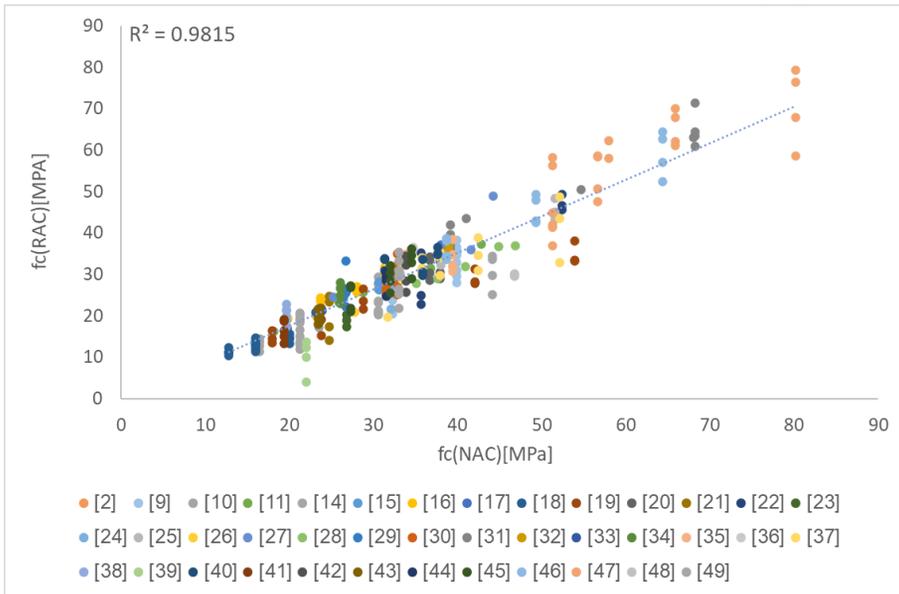
نسبة الاستبدال $R\%$	f_c [MPa]
0%	25.9
25%	24.2
50%	23.9
75%	23.5
100%	22.6



الشكل 1. قيم مقاومة الضغط التجريبية لبيتون الحصىات الطبيعية والمعاد تدويرها.

2.4 العلاقة بين مقاومة الضغط $f_c(RAC)$ ونسبة الاستبدال $R\%$:

يظهر الشكل (2) قيم مقاومة الضغط الأسطوانية عند 28 يوماً لبيتون الحصىات المعاد تدويرها والتي تم جمعها من عدة أبحاث بدلالة مقاومة الضغط الطبيعية عند 28 يوماً.



الشكل 2. العلاقة بين مقاومة الضغط للبيتون الحصىات المعاد تدويرها والطبيعية.

نلاحظ وجود علاقة خطية تقريباً بين مقاومة الضغط للبيتون الحصويات المعاد تدويرها والطبيعية. يتم إجراء تحليل عكسي لإيجاد العلاقة التجريبية بين مقاومة الضغط للبيتون الحصويات المعاد تدويرها ومقاومة الضغط للبيتون الطبيعي عند 28 يوماً، حيث يتم استخدام EXCEL SOLVER. يتم إعطاء الشكل العام للعلاقة بالصيغة التالية:

$$f_{c(RAC)} = f_{c(NAC)} \times (1 - X_R \times R\%) \quad (6)$$

حيث:

$f_{c(RAC)}$: مقاومة الضغط الأسطوانية للبيتون الحصويات المعاد تدويرها عند 28 يوماً بـ .MPa

$f_{c(NAC)}$: مقاومة الضغط الأسطوانية للبيتون الحصويات الطبيعية عند 28 يوماً بـ .MPa

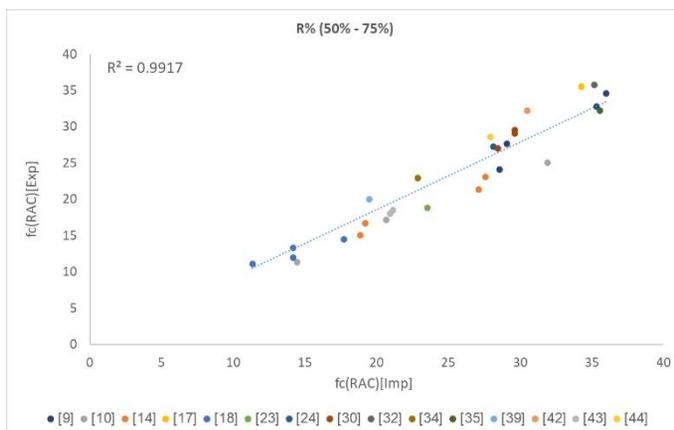
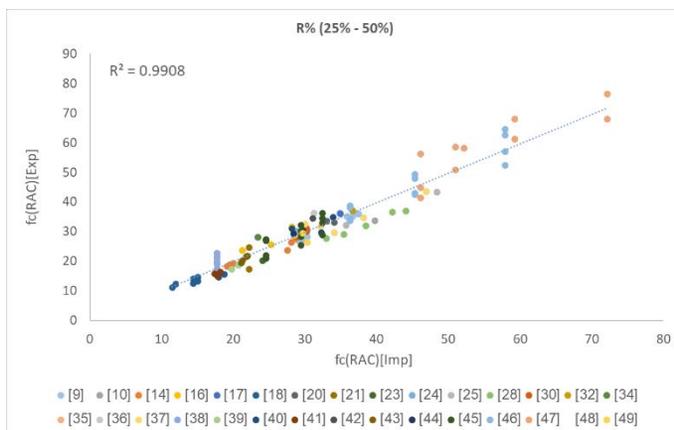
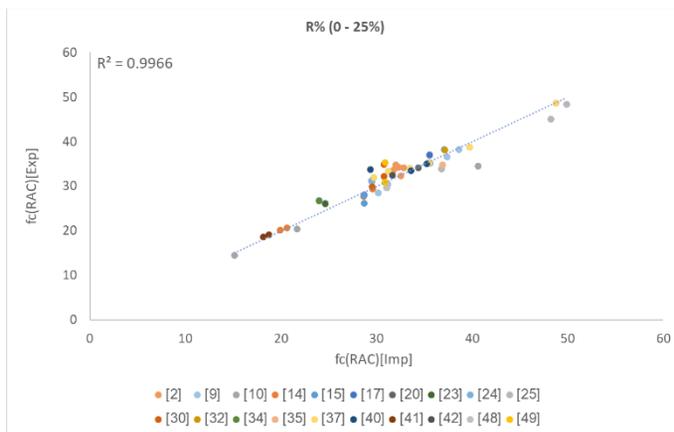
X_R : معامل لحساب مقاومة الضغط عند 28 يوماً والذي تم حسابه باستخدام EXCEL SOLVER

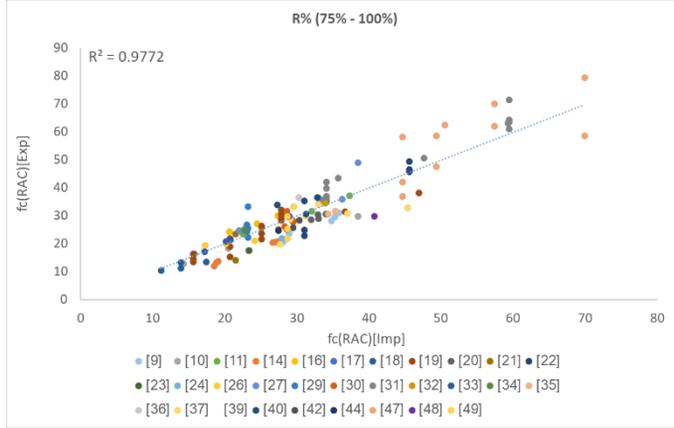
$R\%$: نسبة استبدال الحصويات الطبيعية بالحصويات المعاد تدويرها.

من أجل الحصول على نتائج دقيقة تم حساب المعامل X_R عند عدة مجالات لنسبة الاستبدال، يوضح الجدول (2) قيمة المعامل X_R عند كل مجال.

الجدول 2. قيم المعامل X_R

المجال	X_R
0 – 25%	0.321
25% – 50%	0.2
50% – 75%	0.163
75% – 100%	0.129





الشكل 3. العلاقة بين مقاومة الضغط التجريبية ومقاومة الضغط المستنتجة باستخدام المعادلة (6).

3.4 العلاقة بين مقاومة الضغط $f_c(RAC)$ ونسبة الماء/الإسمنت w/c :
 باستخدام الأسلوب السابق يتم إعطاء الشكل العام للعلاقة بالصيغة التالية:

$$f_c(RAC) = \left[\frac{f_c(NAC)}{w/c} \right]^{X_{w/c}} \quad (7)$$

حيث:

$f_c(RAC)$: مقاومة الضغط الأسطوانية لبيتون الحصويات المعاد تدويرها عند 28 يوماً بـ .MPa

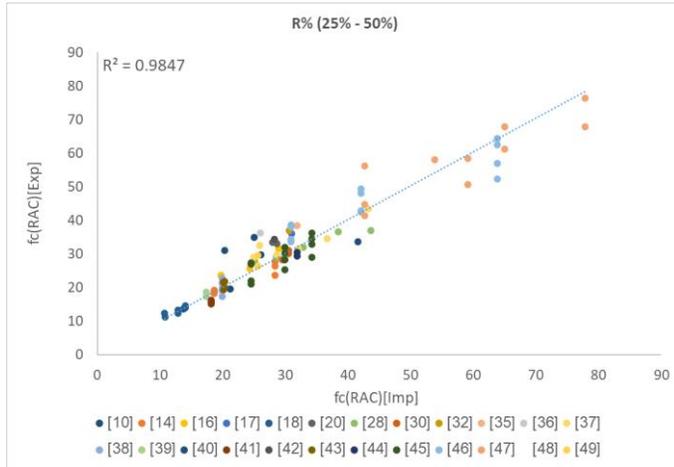
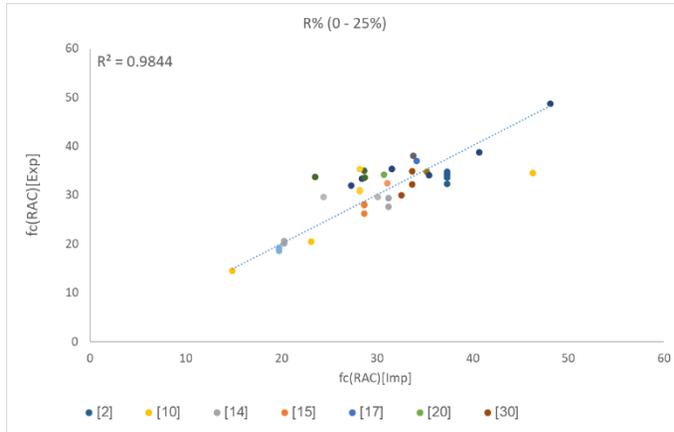
$f_c(NAC)$: مقاومة الضغط الأسطوانية لبيتون الحصويات الطبيعية عند 28 يوماً بـ .MPa

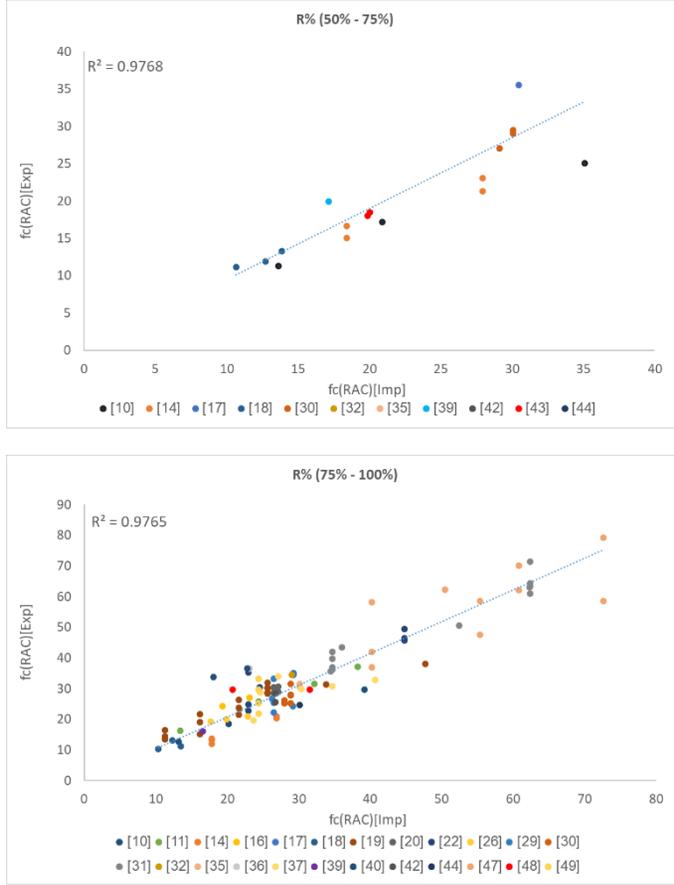
$X_{w/c}$: معامل لحساب مقاومة الضغط عند 28 يوماً والذي تم حسابه باستخدام .EXCEL SOLVER

من أجل الحصول على نتائج دقيقة تم حساب المعامل $X_{w/c}$ عند عدة مجالات لنسبة الاستبدال، يوضح الجدول (3) قيمة المعامل $X_{w/c}$ عند كل مجال.

الجدول 3. قيم المعامل $X_{w/c}$

المجال	$X_{w/c}$
0 – 25%	0.815
25% – 50%	0.793
50% – 75%	0.787
75% – 100%	0.78





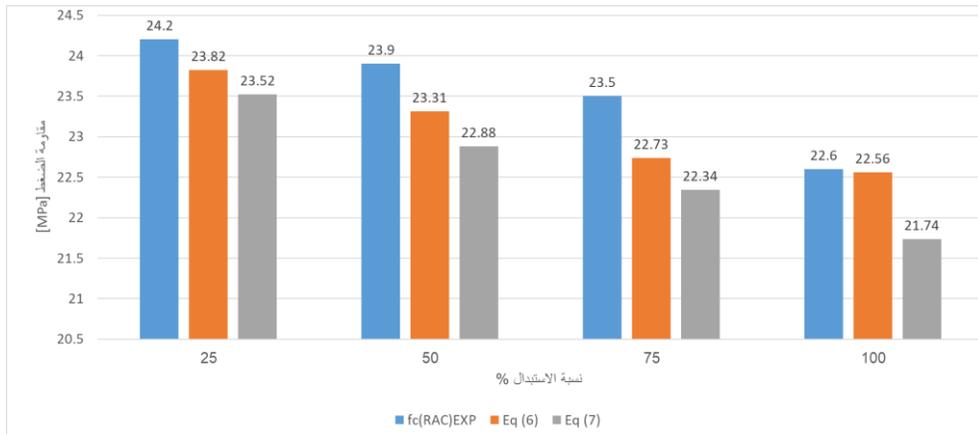
الشكل 4. العلاقة بين مقاومة الضغط التجريبية ومقاومة الضغط المستتجة باستخدام المعادلة (7).

يوضح الجدول (4) مقارنة بين النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها من اختبار الضغط والنتائج التي تم الحصول عليها من العلاقات السابقة حيث يشير الرمز Δ إلى الفرق في مقاومة الضغط لكل من $f_c(RAC)_{IMP}$ و $f_c(RAC)_{EXP}$.

الجدول 4. مقارنة بين النتائج التجريبية والعلاقات المستنتجة

البيانات التجريبية			مقاومة الضغط المستنتجة $f_c(RAC)_{IMP}$					
R%	w/ c	$f_{c(RAC)EX}$ P	Eq (6)	Δ	%	Eq (7)	Δ	%
25	0.5	24.2	23.82	0.38	1.6%	23.52	0.68	2.8%
50	0.5	23.9	23.31	0.59	2.5%	22.88	1.02	4.3%
75	0.5	23.5	22.73	0.77	3.3%	22.34	1.16	4.9%
100	0.5	22.6	22.56	0.04	0.2%	21.74	0.86	3.8%

نلاحظ أن نسبة الخطأ بين القيم التجريبية لمقاومة الضغط للدراسة الحالية، ومقاومة الضغط المحسوبة من العلاقات التجريبية المقترحة لا تتجاوز 4.9%.



الشكل 5. مقارنة بين النتائج التجريبية والعلاقات التجريبية المستنتجة للدراسة الحالية.

يوضح الجدول (5) مقارنة بين النتائج التجريبية لأبحاث أخرى، والنتائج التي تم الحصول عليها من العلاقات السابقة حيث يشير الرمز Δ إلى الفرق بين مقاومة الضغط لكل من $f_{c(RAC)EXP}$ و $f_{c(RAC)IM}$

الجدول 5. مقارنة بين النتائج التجريبية من الأبحاث والعلاقات

المرج ع	البيانات التجريبية			مقاومة الضغط المستنتجة $f_{c(RAC)IMP}$					
	R%	w/ c	$f_{c(EXP)}$	Eq (6)	Δ	%	Eq (7)	Δ	%
II50	0	0.5	31.9 3						
	25	0.5	28.3 9	29.37	- 0.98	3.4%	27.81	0.58	- 2.05%
	50	0.5	29.5 5	28.74	0.81	- 2.8%	27.01	2.54	- 8.59%
	75	0.5	26.8 8	28.03	- 1.15	4.3%	26.35	0.53	- 1.99%
	10	0.5	25.9 1	27.81	- 1.90	7.3%	25.59	0.32	- 1.23%
	0	0.5	27.4						
II51	25	0.5	23.8	25.20	- 1.40	5.9%	24.61	- 0.81	3.38%
	50	0.5	24.7	24.66	0.04	- 0.2%	23.93	0.77	- 3.14%
	75	0.5	23.1	24.05	- 0.95	4.1%	23.36	- 0.26	1.11%
	10	0.5	21.3	23.87	- 2.57	12.0 %	22.71	- 1.41	6.63%
	0	0.5	21.3						

نلاحظ من الجدول أن الفرق بين القيم التجريبية للأبحاث [50] و [51] والقيم المستنتجة من العلاقات مقاربة مع نسبة خطأ لا تزيد عن 12%.

5. مناقشة النتائج:

تُظهر مقاومة الضغط المقاسة (متوسط نتائج ثلاث عينات لكل نسبة استبدال) المعروضة في الجدول (1) انخفاضاً في مقاومة الضغط مع زيادة في نسبة الاستبدال للحصويات المعاد تدويرها. هذا الاستنتاج يتفق بشكل عام مع النتائج المذكورة في الأبحاث، على سبيل المثال، الدراستان [52] Bairagi et al. و [53] Olorunsogo.

من النتائج التجريبية التي تم إجراؤها نلاحظ انخفاض المقاومة بنسبة 6.6% - 7.7% - 9.3% - 12.7% لنسب الاستبدال 25% - 50% - 75% - 100% على الترتيب. وأيضاً هذه النتيجة تتفق مع عدة أبحاث على سبيل المثال [54] Nixon و [55] Buck و [56] Malhotra و [57] Schulz .

كانت نسبة الاختلاف التي تم الحصول عليها من العلاقات التي تم اقتراحها مع النتائج التجريبية للدراسة الحالية كالتالي:

- العلاقة بين مقاومة الضغط $f_c(RAC)$ ونسبة الاستبدال $R\%$: المعادلة (1):
نسبة الاختلاف 1.6% -، 2.5% -، 3.3% -، 0.2% - لنسب الاستبدال 25% - 50% - 75% - 100% على الترتيب.

- العلاقة بين مقاومة الضغط $f_c(RAC)$ ونسبة الماء/الإسمنت w/c : المعادلة (2):
نسبة الاختلاف 2.8% -، 4.3% -، 4.9% -، 3.8% - لنسب الاستبدال 25% - 50% - 75% - 100% على الترتيب.

على الرغم من أن هذه الدراسة قدمت نتائج مهمة، إلا أنها لم تشمل جميع النتائج المتاحة في هذا المجال. وقد يكون هناك بعض النتائج القديمة أو الحديثة المهمة التي لم

تتم مناقشتها في هذه الدراسة، وهذا يعني أن هناك حاجة إلى المزيد من الأبحاث والدراسات لتوسيع نطاق النتائج وجعلها أكثر شمولية ودقة.

6. الاستنتاجات:

1- توصلت الدراسة إلى استنتاج علاقة تجريبية لحساب مقاومة البيتون بحصويات معاد تدويرها على الضغط وفق عدة مجالات بدلالة نسبة استبدال الحصويات ومقاومة الخلطة المرجعية (خلطة بحصويات طبيعية). أبدت العلاقة تقارباً كبيراً مع القيم التجريبية للدراسة الحالية بخطأ قدره -1.6% ، -2.5% ، -3.3% ، -0.2% لنسب الاستبدال 25% - 50% - 75% - 100% على الترتيب، وكذلك أعطت نتائج مقبولة عند مقارنتها مع الأبحاث الأخرى.

2- اقترحت الدراسة الحالية علاقة تجريبية لحساب مقاومة البيتون بحصويات معاد تدويرها على الضغط وفق عدة مجالات بدلالة نسبة الماء/الإسمنت ومقاومة الخلطة المرجعية (خلطة بحصويات طبيعية). أبدت العلاقة تقارباً كبيراً مع القيم التجريبية للدراسة الحالية بخطأ قدره -2.8% ، -4.3% ، -4.9% ، -3.8% لنسب الاستبدال 25% - 50% - 75% - 100% على الترتيب، وكذلك أعطت نتائج مقبولة عند مقارنتها مع الأبحاث الأخرى.

7. التوصيات:

- اقتراح علاقات تجريبية خاصة للحصويات المعاد تدويرها بإدخال تأثير الملدنات على مقاومة الضغط.
- اقتراح علاقات تجريبية خاصة للحصويات المعاد تدويرها لحساب مقاومة الشد ومعامل المرونة وإجهاد التماسك وطول التماسك.

8. المراجع:

- [1] Buck AD. Recycled concrete as a source of aggregate. ACI J 1997;74(5):212–9.
- [2] Kumari, M. S., & Raju, K. L. (2022). Laboratory evolution of concrete with recycled coarse aggregate and carbon black addition. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science, 04(03).
- [3] Xiao, J., Li, W., Fan, Y., & Huang, X. (2012). An overview of study on recycled aggregate concrete in China. Construction and Building Materials, 31, 364–383
- [4] Hoffmann, C., Schubert, S., Leemann, A., & Motavalli, M. (2012). Recycled concrete and mixed rubble as aggregates: Influence of variations in composition on the concrete properties and their use as structural material. Construction and Building Materials, 35, 701–709
- [5] Patel, B. G., & Kannauzia, A. (2017). Experimental Studies on Concrete by Using Recycled Aggregates. International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering, 2(5).
- [6] Nik. D. Oikonomou, (2005) Cement & Concrete Composites.
- [7] NTC (2008), Norme Tecniche per le costruzioni, D.M.
- [8] RILEM (1994) Specifications for concrete with recycled aggregates, materials and structures, 27, pp. 557– 559.

- [9] Sunhere, V., & Joshi, P. R. (2015). Evolution of concrete using recycled concrete aggregate made up by crushed concrete structures. International journal for scientific research & development, 3(4), 3010–3014.
- [10] Adnan, S. H., Loon, L. Y., Abdul Rahman, I., Saman, H. M., & Soejoso, M. W. (2007). Compressive strength of recycled aggregate concrete with various percentage of recycled aggregate. University Tun Hussein Onn Malaysia.
- [11] Rahal, K. (2007). Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate. Building and Environment, 42(1), 407–415.
- [12] Ravindraraj RS, Steward M, Greco D. Variability of recycled concrete aggregate and its effect on concrete properties a case study in Australia. International workshop on recycled concrete, 2000.
- [13] Yamato T, Emoto Y, Soeda M. Mechanical properties, drying shrinkage and resistance to freezing and thawing of concrete using recycled aggregate. ACI Special Publication SP 179–7. Farmington Hills, MI, USA: American Concrete Institute; 1998. p. 105–121.
- [14] Jadhav, T. V., Chaudhari, V. B., & Shingade, V. S. (2021). Mechanical Properties of Recycled Concrete Aggregate with

Varying Percentage of Recycled Aggregates. International Research Journal of Engineering and Technology, 8(3), 1561–1567.

[15] Salgado, F. D., & Silva, F. D. (2021). Properties of recycled aggregates from different composition and its influence on concrete strength. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 14(6).

[16] Deng, Z. H., Chen, L., Qian, J., & Meng, C. L. (2013). Experimental study on stress–strain curve of recycled coarse aggregate concrete under uniaxial compression. Applied Mechanics and Materials, 357–360, 1415–1419.

[17] Suryawanshi, S., Singh, B., & Bhargava, P. (2018). Equation for stress–strain relationship of recycled aggregate concrete in axial compression. Magazine of Concrete Research, 70(4), 163–171.

[18] Topçu, İ. B., & Şengel, S. (2004). Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. Cement and Concrete Research, 34(8), 1307–1312.

[19] Chen, H., Yen, T., & Chen, K. (2003). Use of building rubbles as recycled aggregates. Cement and Concrete Research, 33(1), 125–132.

- [20] Poon, C. S., Kou, S. C., & Lam, L. (2006). Influence of recycled aggregate on slump and bleeding of fresh concrete. *Materials and Structures*, 40(9), 981–988.
- [21] Mohammed, D., Tobeia, S., Mohammed, F., & Hasan, S. (2018). Compressive strength improvement for recycled concrete aggregate. *MATEC Web of Conferences*, 162, 02018.
- [22] Tabsh, S. W., & Abdelfatah, A. S. (2009). Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 23(2), 1163–1167.
- [23] Kumawat¹, M., & Thanvi, S. D. (2020). A study on use of recycled concrete aggregate (rca) in m-25 grade concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 07(09).
- [24] UCHE, O. A. (2008). Influence of Recycled Concrete Aggregate (RCA) on compressive strength of plain concrete. *Continental J. Engineering Sciences*, 3:30(36).
- [25] Sonawane, T. R., & Pimplikar, S. S. (2013). Use Of Recycled Aggregate in Concrete. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2(1).
- [26] Abdul Rahman, I., Hamdam, H., & Ahmad Zaidi, A. (2009). Assessment of Recycled Aggregate Concrete. *Modern Applied Science*, 3(10).

- [27] Abdelfatah, A., Tabsh, S., & Yehia, S. (2012). Utilization of recycled coarse aggregate in concrete mixes. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 5(6).
- [28] Corinaldesi, V. (2010). Mechanical and elastic behavior of concretes made of recycled-concrete coarse aggregates. *Construction and Building Materials*, 24(9), 1616–1620.
- [29] Corinaldesi, V., & Moriconi, G. (2009). Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(8), 2869–2876.
- [30] Wu, K., Chen, F., Chen, C., Lin, S., & Nan, Y. (2023). Study of basic mechanical properties of recycled concrete with various recycled coarse aggregate mixes. *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers*, 75(01), 1–12.
- [31] Ajdukiewicz, A., & Kliszczewicz, A. (2002). Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. *Cement and Concrete Composites*, 24(2), 269–279.
- [32] Gómez-Soberón, J. M. (2002). Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate. *Cement and Concrete Research*, 32(8), 1301–1311.
- [33] Sri, V. D., Kumar, G. S., & Chandar, S. P. (2017). Experimental study on the shear strength of recycled aggregate

concrete. International Journal of Civil Engineering and Technology, 8(4), 185–192.

[34] TIWARI, A. (2015). Recycled Concrete Aggregates. International Research Journal of Engineering and Technology, 2(6).

[35] Vyas, C. M., & Bhatt, D. R. (2013). Concept of green concrete using construction demolished waste as recycled coarse aggregate. International Journal of Engineering Trends and Technology, 4(7), 3160–3165.

[36] Malešev, M., Radonjanin, V., & Marinković, S. (2010). Recycled concrete as aggregate for structural concrete production. Sustainability, 2(5), 1204–1225.

[37] Kou, S. C., Poon, C. S., & Chan, D. (2007). Influence of Fly Ash as Cement Replacement on the Properties of Recycled Aggregate Concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, 19(9), 709–717

[38] Prasath, T. A., Aravinth, N., Naveen, I. J., Kanniah, B. H., & Basith, A. A. (2020). Experimental investigation on concrete with reused aggregate and silica fume. International Research Journal of Engineering and Technology, 7(4), 174–180.

- [39] Topçu, I. (1997). Physical and mechanical properties of concretes produced with waste concrete. *Cement and Concrete Research*, 27(12), 1817–1823.
- [40] Poon, C., Shui, Z., Lam, L., Fok, H., & Kou, S. (2004). Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(1), 31–36.
- [41] Padmavathamma, K., Jyothirmayee, S., Priyanka, M., Vasavi, C., & Dasthagiri, J. (2018). An experimental study on replacement of natural coarse aggregate with recycled coarse aggregate in concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(5), 3310–3314.
- [42] Patel, R., Vyas, C., & Bhatt, D. (2013). Experimental investigation for recycled coarse aggregate replaced for natural coarse aggregate in concrete. *International Journal of Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering Research and Development*, 3(2), 35–42
- [43] Salehlamein, F. R., Solikin, M., & Sunarjono, I. (2015). Effect of Recycled Coarse Aggregate on Concrete Properties. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(1), 19060–19068.

- [44] Li, Y., Tao, J. L., Lei, T., & Xie, J. J. (2011). Experimental study on compressive strength of recycled concrete. *Advanced Materials Research*, 261–263, 75–78.
- [45] Zhang, S., & Zong, L. (2013). Properties of concrete made with recycled coarse aggregate from waste brick. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 33(4).
- [46] Duan, Z. H., & Poon, C. S. (2014). Properties of recycled aggregate concrete made with recycled aggregates with different amounts of old adhered mortars. *Materials & Design*, 58, 19–29.
- [47] Brandes, M. R., & Kurama, Y. C. (2018). Effect of recycled concrete aggregates on strength and stiffness gain of concrete and bond strength of steel Prestressing Strand. *PCI Journal*, 63(2).
- [48] Belén, G., Fernando, M., Diego, C. L., & Sindy, S. (2011). Stress–strain relationship in axial compression for concrete using recycled saturated coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, 25(5), 2335–2342.
- [49] Kou, S., Poon, C., & Wan, H. (2012). Properties of concrete prepared with low–grade recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 36, 881–889.
- [50] Al–Akari, B. Study of properties of Recycled Aggregate Concrete. *Journal of Al Baath University*.

- [51] Deeb, W (2023). An experimental study on the impact of the use of concrete produced from utilizing recycled aggregates within one-way concrete slab (solid) and its effect on a load – deflection diagram. Journal of Al Baath University.
- [52] Bairagi, N.K., Ravande, K., Pareek, V.K. (1993). Behavior of concrete with different proportions of natural and recycled aggregates, Resource Conservation and Recycling, 9 1–2, pp. 109–126.
- [53] Olorunsogo, F.T. (1999). Early age properties of recycled aggregate concrete, Proceeding of the international seminar on exploiting waste in concrete, University of Dundee, Scotland, pp. 163–170.
- [54] Nixon PJ (1978). Recycled concrete as an aggregate for concrete: a review. Materials and Structures 11(5): 371–378.
- [55] Buck AD (1977). Recycled concrete as source of aggregate. ACI Journal 74(5): 212–219.
- [56] Malhotra VM (1978). Use of recycled concrete as a new aggregate. Proceedings of Symposium on Energy and Resource Conservation in the Cement and Concrete Industry. Cement, Ottawa, Canada, Report 76–8.

[57] Schulz RR (1979). Reuse of old concrete as aggregate for new concrete. Proceedings of International Building Material and Silicate Meeting, Weimar, Germany.

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

[59] CEB-FIP (2010) Mode Code for Concrete Structures Design, France.

أمثلة تصميم شبكات الإمداد بمياه الشرب باستخدام خوارزميات البحث العشوائي

د. فاطمة سلمان¹ د. هناء سلمان²

ملخص

تعد شبكات الإمداد بالمياه من أكثر عناصر البنية التحتية أهمية وكلفة، وتظهر دائماً الحاجة إلى إنشاء شبكات جديدة أو توسيع أو تأهيل الشبكات القائمة لتلبية الطلب المتزايد على المياه من حيث الكمية والنوعية. وتساعد تقنيات الأمثلة وبرامج المحاكاة الهيدروليكية في الحصول على أفضل الحلول بالنسبة للشبكات المدروسة. يهدف هذا البحث إلى المقارنة بين ثلاث طرائق من طرق البحث العشوائي من خلال التطبيق على شبكة حلقيّة مؤلفة من حلقتين. حيث تم تصميم الشبكة باستخدام برنامج المحاكاة الهيدروليكي EPANET بشكل منفرد ثم مع الخوارزمية الجينية وخوارزمية التلدين المحاكى وخوارزمية أمثلة سرب الجسيمات. حيث أعطت خوارزمية سرب الجسيمات التكلفة الأقل، تليها خوارزمية التلدين المحاكى، ثم الخوارزمية الجينية، وبينت النتائج أن التحسين لا يتوقف على انخفاض التكلفة، وإنما ينعكس أيضاً على تحسين أداء الشبكة، ببقاء السرعة في الأنابيب عند الحدود الأكثر ملائمة، وكذلك يكون الضغط في العقد عند الحدود المناسبة.

الكلمات المفتاحية: شبكات مياه الشرب، EPANET، الخوارزمية الجينية، خوارزمية التلدين المحاكى، أمثلة سرب الجسيمات

¹ دكتور - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.
² أستاذ مساعد قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

Optimization of drinking water distribution systems using random search techniques

* Dr. Fatma Slman

**Dr. Hana Salman

Abstract

Water supply networks one of the most important and costly infrastructure elements, and there is always a need to construct new networks or expand and rehabilitate existing networks to meet growing demand for water in terms of quantity and quality. Optimization techniques and hydraulic simulation software help to obtain the best solutions for the studied networks. This research aims to compare three random search methods by applying to a two-loop network. The network was designed using EPANET hydraulic simulation network individually and then with the genetic algorithm, simulated annealing, particle swarm optimization. The results showed that the improvement does not only on the decrease in cost, as the particle swarm optimization gave the lowest cost, followed by the simulated annealing, and then genetic algorithm, but also reflected in the improvement of network performance, by keeping the velocity in the pipes at the most appropriate limits, as well as the pressure in the nodes at the appropriate limits too.

Key words: water distribution systems, EPANET, simulated annealing, genetic algorithm, particle swarm optimization.

* Ph.D in the department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

** Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1. مقدمة

تتألف أنظمة الإمداد بمياه الشرب من مجموعة من العناصر تبدأ بالمصدر المائي ومحطة التنقية وخطوط النقل ثم شبكة التوزيع الرئيسية والشبكات الفرعية، بالإضافة إلى الخزانات ومحطات الضخ وصمامات التحكم وغيرها. وتهدف هذه الأنظمة إلى تزويد المستهلكين بالمياه بالكمية والنوعية المطلوبة. ويترافق النمو السكاني مع زيادة الطلب على المياه، والحاجة إلى تطوير وتوسيع أنظمة الإمداد بالمياه. ويتطلب استخدام طرائق الأمثلة من أجل الحصول على أفضل الحلول الهندسية لهذه الأنظمة. وقد استخدمت سابقاً طرق الأمثلة الحتمية Deterministic ومنها طرق البرمجة الخطية والبرمجة اللاخطية والبرمجة الديناميكية وغيرها، إلا أن هذه الطرق لا تضمن الحصول على الحل الأمثل ولا تملك المرونة الكافية وتنتج حل نهائي وحيد [1].

استخدم الباحثون في السنوات الأخيرة طرق البحث العشوائي على نطاق واسع في حل مسائل شبكات الإمداد بمياه الشرب من أجل إنشاء شبكات جديدة، إعادة تأهيل وتوسيع الشبكات القائمة، دراسة عناصر الشبكة مثل أقطار الأنابيب والصمامات وخزانات المياه، تتضمن أمثلة أنظمة الإمداد بالمياه دائماً اختيار أقطار الأنابيب حسب الأبعاد المتوفرة تجارياً بحيث تحقق التكلفة الدنيا مع تحقيق شروط الضاغط والسرعة. كما تتضمن الأمثلة تكلفة المضخات والتشغيل الأمثل لنظام الضخ من أجل تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية، وكذلك موثوقية الشبكة وجودة المياه. ومن أكثر الطرق استخداماً الخوارزميات الجينية Genetic algorithms (GA) وخوارزمية سرب الجزيئات Particle swarm optimization (PSO) ومحاكاة التلدين Simulated annealing (SA) ومستعمرة النمل Ant colony algorithm (ACO) و خوارزمية البحث المتناغم Harmony search (HS) وغيرها... [2]. وقد استخدمت هذه الطرق مع برنامج محاكاة هيدروليكي

من أجل إيجاد الحل الأمثل ومن أكثر البرامج استخداماً برنامج EPANET المطور من قبل وكالة حماية البيئة الأمريكية والذي يمكنه التعامل مع الشبكات الصغيرة والمتوسطة والكبيرة سواء الحلقية أو المتفرعة، ويقوم الضغوط في العقد والسرعات في الأنابيب، ويستخدم من أجل حل مختلف المسائل المتعلقة بأنظمة الإمداد بمياه الشرب سواء المتعلقة بتصميمها أو باستثمارها [3]. وتعتبر تكلفة الشبكة من أكثر المسائل أهمية وتم تطبيق طرق الأمثلة على شبكات مرجعية مثل نيويورك وهانوي أو على شبكات محلية من إيجاد الحل الإقتصادي الأمثل الذي يحقق التكلفة الدنيا، واهتم الباحثون بالمقارنة بين الحلول باستخدام طريقة واحدة مثل الخوارزميات الجينية مع تطويرها أو تحسينها. وكذلك بالمقارنة بين عدة طرق واختيار الطريقة التي تحقق الحل الأمثل. سيتم في هذه البحث دراسة التكلفة الدنيا لشبكة محلية صغيرة مؤلفة من حلقتين باستخدام ثلاث طرق من طرق البحث العشوائي وهي الخوارزمية الجينية، وخوارزمية التلدين المحاكى، وخوارزمية سرب الجزئيات، وذلك بالاعتماد على الكودات التي تم اختبارها في الدراسات العالمية.

2. أهمية البحث وأهدافه

تعد شبكات الإمداد بالمياه من أكثر مرافق البنية التحتية كلفة، وباستمرار يتم إنشاء شبكات جديدة بالإضافة إلى توسيع وتحسين وصيانة للشبكات القائمة، من أجل تغطية الحاجة المتزايدة إلى المياه. يهدف هذا البحث إلى إيجاد التكلفة الدنيا لشبكة حلقية محلية صغيرة باستخدام طرق الخوارزمية الجينية وخوارزمية التلدين المحاكى وخوارزمية سرب الجزئيات والمقارنة بينها.

3. مواد وطرق البحث

3.1. منطقة الدراسة

تشكل المنطقة المدروسة المرحلة الثالثة لسكن الشباب في مدينة اللاذقية وتقع في شمال اوتوستراد الثورة ويبين الشكل (1) شبكة الإمداد بالمياه والخزان العالي للمشروع المدروس، الذي يتألف من مجموعة من الأبنية بارتفاع حتى عشرة طوابق بالإضافة إلى المباني الخدمية والتجارية والمدارس، وتتألف شبكة الإمداد بالمياه من حلقتين تضم ثمانية أنابيب وست عقد وتقدر الغزارة التصميمية لهذا المشروع بـ 30 L/s من أجل عمر تصميمي 30 years.

3.2. التصميم الهيدروليكي للشبكة

تهدف أمثلة شبكة الإمداد بمياه الشرب إلى إيجاد القطر الأمثل للأنابيب من الأنابيب التجارية المتوفرة في الأسواق مع تحقيق شروط الإمداد المطلوبة من الغزارة والضغوط والسرعة. إن تصميم شبكة الإمداد بالمياه الأقل تكلفة مسألة صعبة لأنها تتضمن حل مجموعة كبيرة من المعادلات المعقدة اللاخطية. تعطى معادلة الاستمرارية بالعلاقة (1):

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0 \quad (1)$$

تطبق معادلة الاستمرارية من أجل كل عقدة حيث Q_i معدل التدفق الداخل والخارج من العقدة، و n عدد العقد.

وتعطى معادلة الطاقة بالعلاقة (2):

$$\sum_{i=1}^m h_i = 0 \quad (2)$$

تطبق معادلة الطاقة من أجل كل حلقة من شبكة الإمداد حيث h_i الضياع الرأسي في كل أنبوب، و m عدد الأنابيب في كل حلقة.

فتكون الكلفة الكلية للشبكة هي تابع الهدف ويعطى بالعلاقة (3):

$$C_T = \sum_{i=1}^{N_p} C_i (D_i) L_i \quad (3)$$

حيث: N_p عدد الأنابيب الكلي، $C_i(D_i)$ كلفة واحدة الطول لكل أنبوب i بقطر D_i وطول L_i ، ويجب أن يكون تابع الهدف أصغرياً من أجل القيود الكامنة والقيود الصريحة.

ويؤخذ الضياع الرأسي بمجموع الضياعات في الأنابيب والضياعات الثانوية في الوصلات والصمامات و...، وقد استخدمت في الدراسة علاقة Hazen-William حسب المعادلة (4):

$$h_f = \frac{10.6744 \times L_i \times Q_i^{1.852}}{C_i^{1.852} \times D_i^{4.8704}} \quad (4)$$

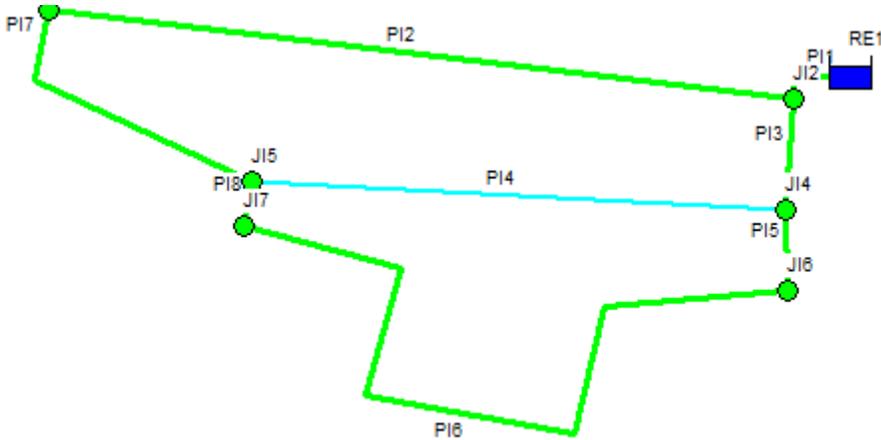
حيث: h_f الضياع الرأسي، Q_i هو تدفق المياه في الأنابيب (m^3/s)، C_i هو معامل Williams-Hazen، و D_i أقطار الأنابيب (m)، و L_i هو طول الأنبوب (m).

يتم استخدام العلاقات من (1) إلى (4) في الحل الهيدروليكي لشبكات الإمداد بالمياه [4]. وحسب الشروط المحلية للمشروع المدروس يجب ألا يقل الضغط الأصغري في العقد عن 3bar ولا يزيد الضغط الأعظمي عن 6 bar، وتتراوح السرعة في الأنابيب بين القيمة الأصغرية 0.5 m/s والأعظمية 2 m/s.

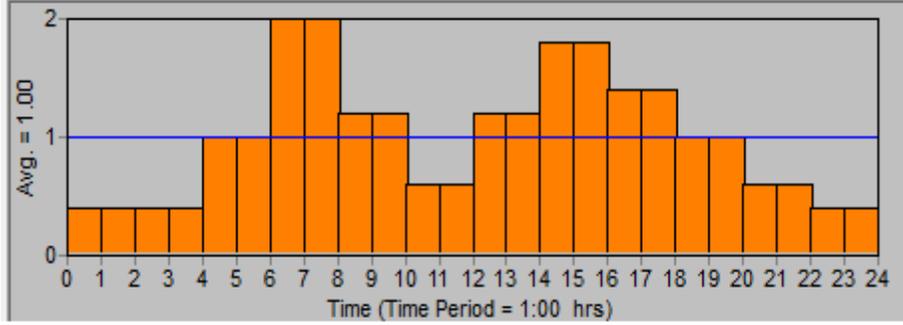
3.3 برنامج EPANET

يستخدم برنامج الـ EPANET المطور من قبل وكالة حماية البيئة الأمريكية في محاكاة سلوك المياه الهيدروليكي وجودتها في أنابيب شبكة التوزيع المضغوطة لفترة محددة أو

لفترة طويلة. ويعمل في بيئة Windows مما يتيح بيئة متكاملة لإدخال المعطيات وإجراء المحاكاة الهيدروليكية وجودة المياه وإظهار النتائج بأشكال بيانية وخرائط ورسومات واضحة. ويتميز بإمكانية تحليل شبكات التوزيع مهما كان حجمها ويعطي إمكانية اختيار حساب الضياع الرأسي باستخدام معادلة Hazen-Williams أو Darcy-Weisbach أو Chezy-Manning. وكذلك تضمين الضياعات الثانوية عند الوصلات المختلفة وحساب برنامج وكلفة الضخ ومحاكاة مختلف عمليات التحكم من فتح وإغلاق الصمامات، وتضمين الخزانات بأشكال مختلفة [5]. ويتم رسم الشبكة في EPANET واستيرادها إلى MATLAB من أجل الحل وفق الخوارزمية المطلوبة. تم في البداية رسم الشبكة باستخدام برنامج AutoCAD ثم تم استيرادها إلى برنامج EPANET، ويوضح الشكل (1) مخطط الشبكة المدروسة لمنطقة سكن الشباب في مدينة اللاذقية، ويوضح الشكل (2) نظام توزيع المياه خلال ساعات اليوم في المدينة.



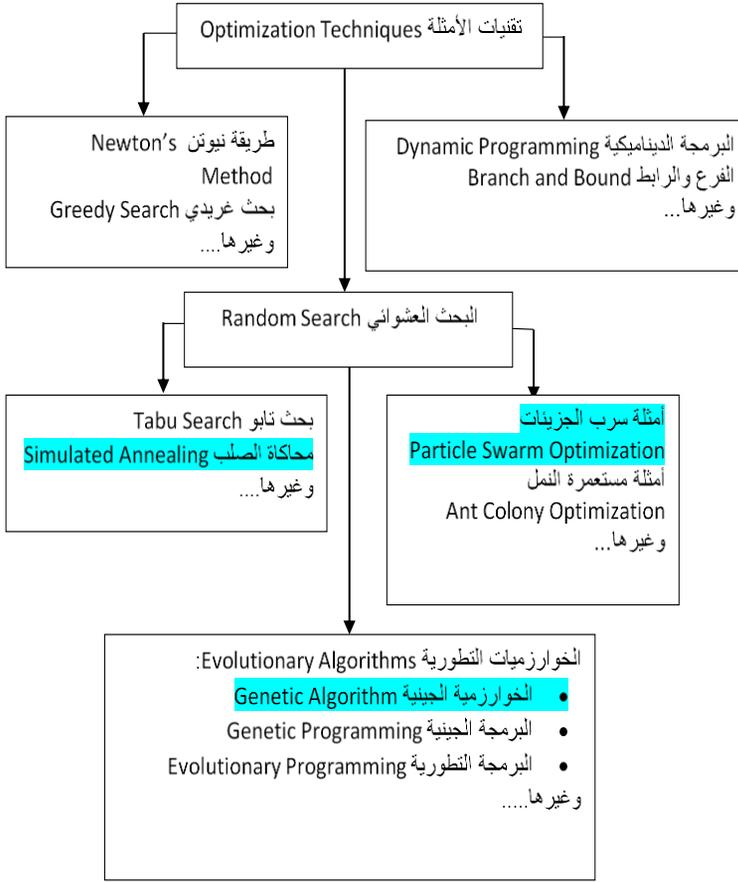
الشكل (1) مخطط شبكة الإمداد بالمياه لمنطقة سكن الشباب



الشكل (2) نظام استهلاك المياه خلال ساعات اليوم في مدينة اللاذقية

3.4. تقنيات الأمثلة

تستخدم تقنيات الأمثلة المستوحاة من الطبيعة على نطاق واسع في حل المسائل الهندسية ويوضح الشكل (3) بعض هذه الطرق، وتم تطبيق طرق البحث العشوائي في أمثلة تصميم شبكات مياه الشرب، وسيتم في هذا البحث تطبيق ثلاث طرق منها من أجل إيجاد الكلفة الدنيا لشبكة الإمداد بمياه الشرب لمشروع سكن الشباب في مدينة اللاذقية وهذه الطرق هي: الخوارزمية الجينية، وخوارزمية التلدين المحاكى، وخوارزمية سرب الجزيئات.



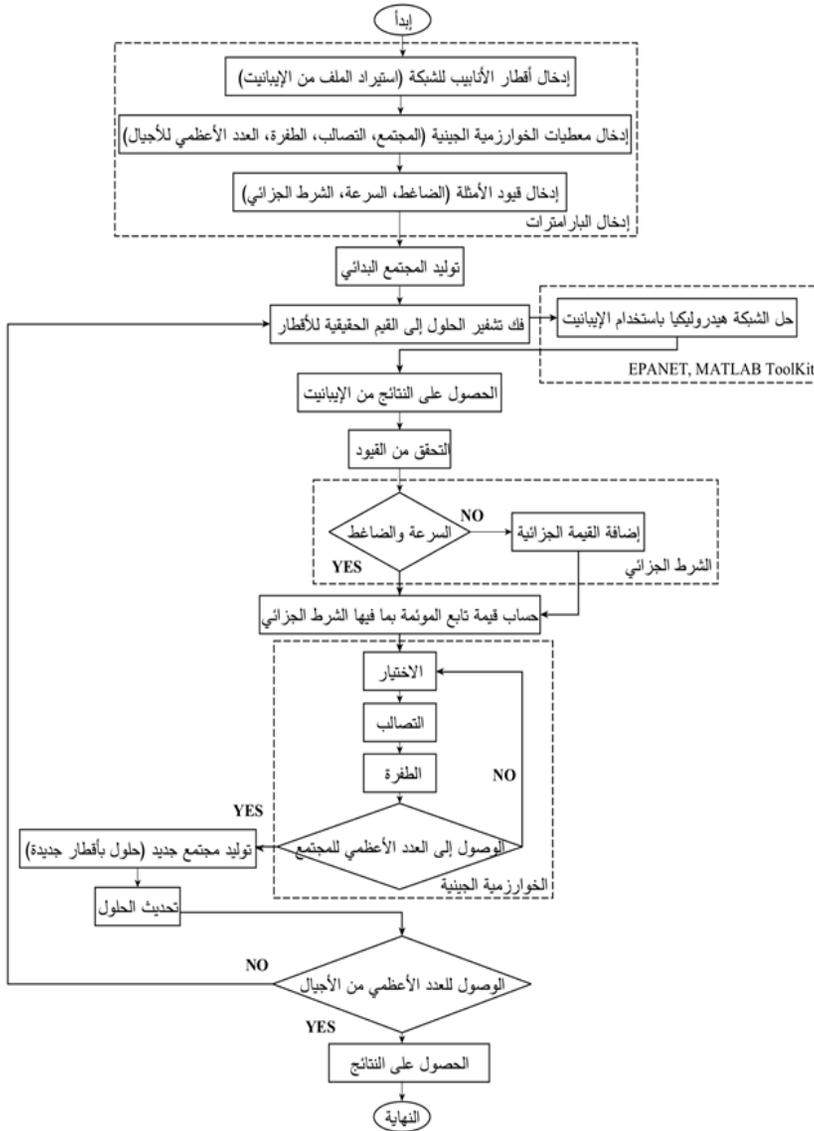
الشكل (3) تقنيات الأمثلة المستوحاة من الطبيعة [6].

3-4-1- الخوارزمية الجينية Genetic Algorithm

الخوارزمية الجينية (GA) إحدى أقدم طرق الأمثلة المستخدمة في حل مسائل شبكات الإمداد بالمياه، وتم تطوير نماذج كثيرة معدلة من الطريقة الأساسية. وتعتمد على آلية الاصطفاء الطبيعي وعلم الوراثة بمفهوم البقاء للأصلح. وفيها يتم تمثيل الحلول بواسطة الكروموزومات (مثلاً: سلاسل ثنائية) وبمجموعها تعرف باسم المجتمع (السكان). وتدخل الكروموزومات في كل جيل تبعاً لملائمتها، ويتم تقييم كفاءة كل حل بمدى مقارنته

لتحقيق متطلبات تابع الهدف وهو هنا التكلفة الدنيا لشبكة الإمداد بالمياه. والكروموزومات الأكثر كفاءة تحل محل الكرموزومات الأقل كفاءة حتى الوصول إلى الحل القريب من الحل الأمثل [7].

يتم في البداية عند استخدام الخوارزميات الجينية توليد المجتمع الأولي بسلاسل مشفرة تمثل حلول شبكة الأنابيب لمجتمع بحجم N . وكل سلسلة من N تمثل تشكيل محتمل لحجم الأنابيب. وتحسب كلفة الشبكة بفك التشفير لكل سلسلة ثانوية إلى حجم الأنابيب الموافق ومن ثم حساب الكلفة الكلية. وبعد ذلك يتم التحليل الهيدروليكي لكل شبكة في الحالة المستقرة، بحساب الضياع الرأسي والتدفق من مخطط الاحتياج المعطى من أجل كل شبكة. وفيها يتم لحظ الضغط الذي يقل عن المسموح في العقد، وكذلك يتم لحظ أي انحراف للسرعة عن الحدود المسموحة. ويتم وضع كلفة جزائية لكل شبكة لا تحقق شروط الضغط أو السرعة. ثم يتم حساب الكلفة الكلية للشبكة. ويتم بعد ذلك حساب كفاءة الشبكة كقيمة مقلووية أو سالبة من الكلفة الكلية للشبكة، ويتم توليد أعضاء جدد من أجل الجيل القادم بالمخطط المنتقى المعتمد على كفاءة الأعضاء الابتدائيين. ويستخدم عادة عامل العبور ليرافق حجم سلاسل كبيرة نسبياً من أجل أمثلة شبكة الأنابيب. ويستخدم عامل الطفرة من أجل الحفاظ على التنوع الوراثي من جيل إلى آخر. وتستمر الخوارزمية في إعادة العملية حتى الحصول على أجيال ناجحة ويكون الحل النهائي هو الأقل كلفة مع التقيد بالحدود المسموحة للضغط في العقد والسرعة في الأنابيب [4]. يوضح الشكل (4) المخطط النهجي لاستخدام الخوارزميات الجينية مع الـ MATLAB في أمثلة شبكات الإمداد بالمياه.



الشكل (4) منهجية استخدام الخوارزمية الجينية [4].

3-4-2- خوارزمية التلدين المحاكى Simulated Annealing

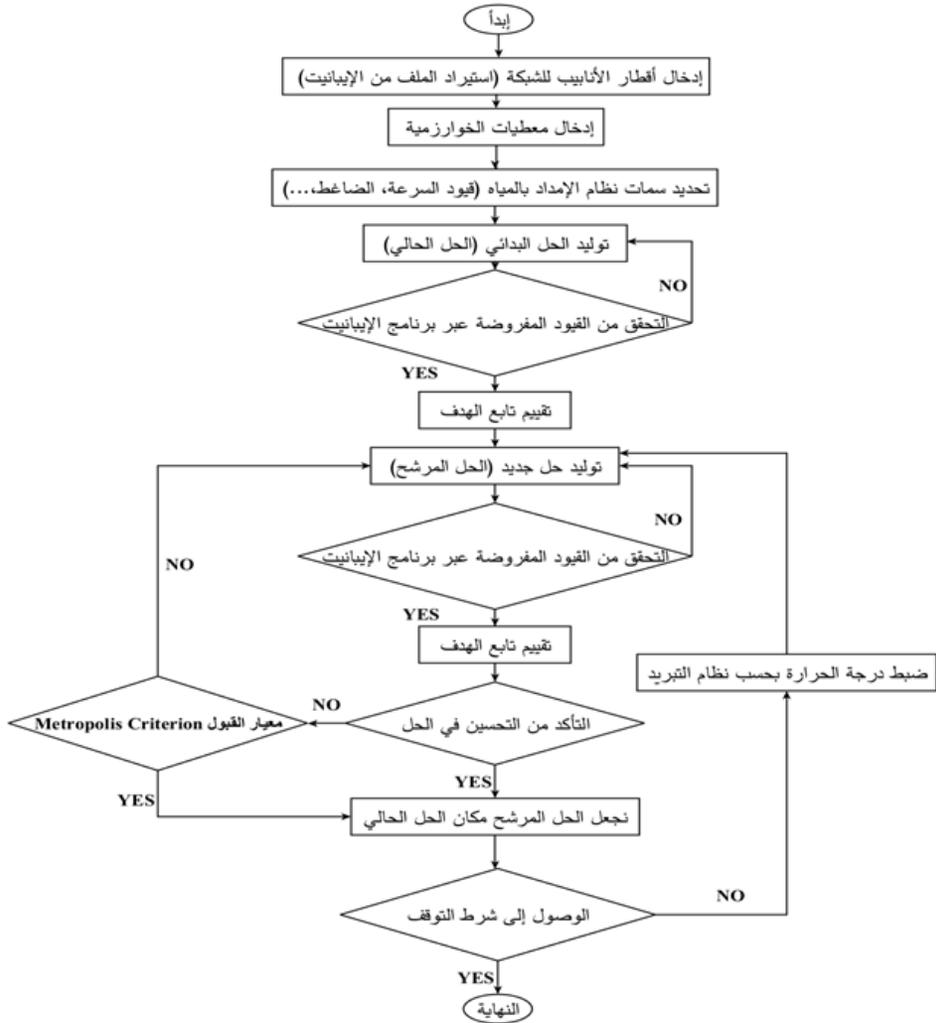
خوارزمية التلدين المحاكى (SA) إحدى طرق البحث التي تسمح نظرياً بتعيين أمثلة شاملة للتابع. واشتقت من مماثلة تسخين وتبريد المعدن من أجل زيادة متانته وإكسابه

البنية البلورية. يتم في البداية تعيين أقطار الأنابيب التجارية التي يحتمل استخدامها، ثم تعيين معادلات الكلفة وتوليد الحل الابتدائي مع تقدير الكلفة له. يتم بعدها الحل الهيدروليكي لتحديد توزيع الغزارة والتحقق من الضغط في العقد والسرعات في الأنابيب، ومن ثم توليد حل جديد ومقارنته مع الحل السابق. ثم تطبيق متطلبات التلدين المحاكى والتحقق من ملاقات المعايير المطلوبة [8]. ويبين الشكل (5) المخطط النهجي لاستخدام خوارزمية التلدين المحاكى مع الـ MATLAB في أمثلة شبكات الإمداد بالمياه

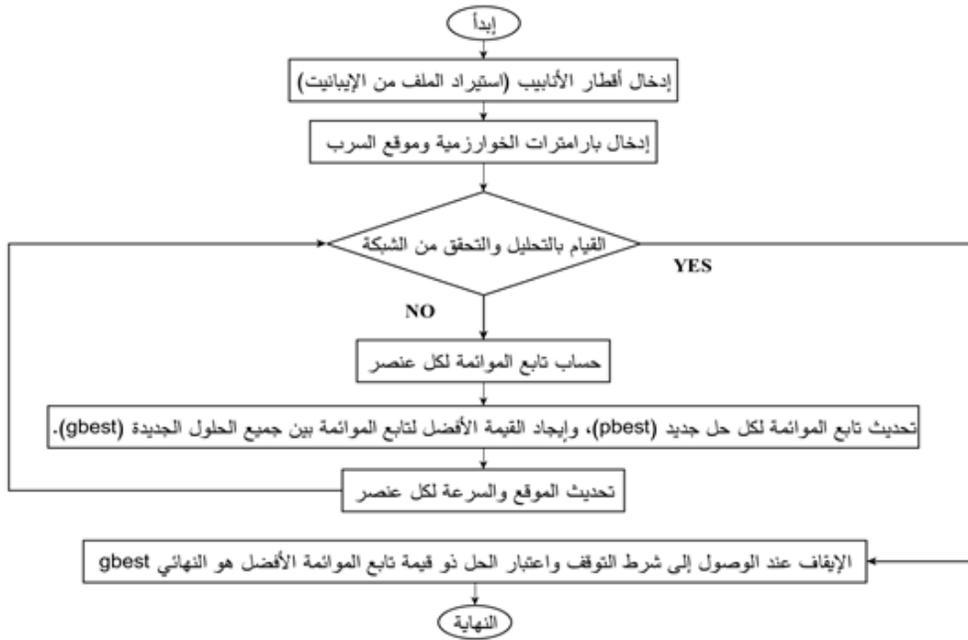
3-4-3- خوارزمية سرب الجسيمات Particle Swarm Optimization

تم اقتراح خوارزمية أمثلة سرب الجسيمات (PSO) من قبل Kennedy و Eberhart في العام 1995 وهي مستوحاة من سلوك سرب الطيور مثل تجمعها وضبطها في الطبيعة من أجل الوصول إلى مكان محدد. وفي هذه الخوارزمية يحدد مكان كل جسيم بواسطة مصطلح سرعة يتطور بشكل تدريجي. في هذه الطريقة كل جسيم particle من السرب هو حل محتمل. ويكون هناك اتصال وتبادل في المعلومات بين هذه الجسيمات المستقلة في مجتمع الاختبار. وفي هذا الإطار تقوم الجسيمات بتطوير سلوك اجتماعي وتتسق حركتها باتجاه مكان الوصول. وقد استخدمت هذه الطريقة في حل مسائل شبكات الإمداد بالمياه [9,10].

يتم في البداية إدخال معطيات الشبكة مثل أطوال الأنابيب والاحتياج في العقد وارتفاعها وأقطار الأنابيب التجارية وكلفة المتر الطولي لكل منها وغيرها. ثم يتم اختيار حجم السرب ورقم التولد العشوائي لأقطار الأنابيب من بين مجموعة أقطار الأنابيب التجارية المتاحة. ثم تحليل الشبكة وحساب تابع وكلفة الكفاءة، وحساب المكان الجديد والسرعة لكل عنصر وتكرار الحل حتى الوصول إلى الحل المطلوب. يبين الشكل (6) المخطط النهجي لخوارزمية سرب الجسيمات.



الشكل (5) منهجية استخدام خوارزمية التلدين المحاكى [11].



الشكل (6) منهجية استخدام خوارزمية سرب الجسيمات

4. النتائج والمناقشة

تم إجراء المحاكاة الهيدروليكية للشبكة المدروسة حسب نظام الاستهلاك في الشكل (2) باستخدام برنامج EPANET بشكل مستقل، ثم باستخدام برنامج EPANET مع كل من الخوارزمية الجينية وخوارزمية التلدين المحاكى ثم خوارزمية سرب الجسيمات. أخذت الأنابيب بحسب الأقطار المتوفرة تجارياً من البولي اتيلين عالي الكثافة (HDPE 100) وسعر المتر الطولي لكل أنبوب حسب أسعار العام 2022 وهي موضحة في الجدول (1).

الجدول (1) أقطار الأنابيب وسعر المتر الطولي لكل أنبوب حسب أسعار العام 2022

400	350	300	250	200	150	125	100	قطر الأنبوب، mm
262.5	206	188.5	150	122	88	68	49	كلفة المتر الطولي، ألف ليرة سورية

4-1 - الكلفة باستخدام برنامج EPANET

تم إجراء المحاكاة الهيدروليكية للشبكة المدروسة باستخدام برنامج EPANET حسب نظام الاستهلاك في الشكل (2)، وحسبت السرعات في الأنابيب والضغط في العقد عند ساعات الأستهلاك الأعظمي، فتبين أن الكلفة الكلية للشبكة تبلغ 299.395 مليون ليرة سورية، كما أن السرعة انخفضت عن الحدود المثالية في انبوبين فكانت في Pi5 0.4m/s وفي Pi8 كانت 0.3m/s ، ويبين الجدول (2) الحساب التفصيلي للشبكة.

الجدول (2) التكلفة الدنيا لشبكة الإمداد بالمياه باستخدام برنامج EPANET

رقم الانبوب	طول الانبوب m	قطر الانبوب mm	السرعة في الأنبوب m/s	كلفة المتر الطولي بالليرة السورية	الكلفة الكلية للأنبوب مليون ليرة سورية	المجموع مليون ليرة سورية
Pi1	100	400	0.83	262500	26.250	299.395
Pi2	666	300	0.93	188500	125.541	
Pi3	94	125	1.15	68000	6.392	
Pi4	466	100	0.93	49000	22.834	
Pi5	72	125	0.4	68000	4.896	
Pi6	696	150	1.63	88000	61.248	
Pi7	310	250	2.34	150000	46.5	
Pi8	47	200	0.3	122000	5.734	

4-2 - الكلفة باستخدام بالخوارزميات الجينية

تم تطبيق برنامج EPANET مع الخوارزمية الجينية وأخذت البارامترات الموضحة في الجدول (3) فتبين أن الكلفة الكلية للشبكة بلغت 271.145 مليون ليرة سورية، وتراوحت أقطار الأنابيب بين 100mm و 350mm وكانت السرعة في الأنابيب متقاربة عند

ساعات الاستهلاك الأعظمي، وبلغت أخفض سرعة 0.56 m/s في الأنبوب Pi5 وأعلى سرعة 1.35 m/s في الأنبوب Pi3. ونتائج المحاكاة موضحة في الجدول (4).

الجدول (3) بارامترات الخوارزمية الجينية

1.7%	احتمالية القطع Cut probability	150	حجم المجتمع Population size
1000000	عامل الجزاء Penalty factor	50	عدد الأجيال Number of generations
60%	احتمالية التصالب Splice probability	15%	معدل الطفرة Mutation rate
6	عدد الجيل الأعظمي Maximum Era Number	0.6	الذرية العشوائية Random seed

الجدول (4) التكلفة الدنيا لشبكة الإمداد بالمياه باستخدام الخوارزمية الجينية

رقم الانبوب	طول الانبوب m	قطر الانبوب mm	السرعة في الأنبوب m/s	كلفة المتر الطولي بالليرة السورية	الكلفة الكلية للأنبوب مليون ليرة سورية	المجموع مليون ليرة سورية
Pi1	100	350	0.9	206000	20.6	271.145
Pi2	666	300	0.71	188500	125.541	
Pi3	94	125	1.35	68000	6.392	
Pi4	466	100	0.67	49000	22.834	
Pi5	72	125	0.56	68000	4.896	
Pi6	696	125	0.91	68000	47.328	
Pi7	310	200	0.72	122000	37.82	
Pi8	47	200	0.68	122000	5.734	

3-4 - الكلفة باستخدام خوارزمية التلدين المحاكى

تم إجراء التحليل الهيدروليكي لتصميم الشبكة المدروسة بالاعتماد على خوارزمية التلدين المحاكى مع استخدام البارامترات الموضحة في الجدول (5) فأعطت الكلفة 252.816 مليون ليرة سورية بتوفير حوالي 15% عن الكلفة باستخدام المحاكاة ببرنامج EPANET وكانت السرعة في الأنابيب متقاربة وتراوحت بين 0.68m/s في الأنبوب Pi8 و 1.59 في الأنبوب Pi6 النتائج موضحة في الجدول (6).

الجدول (5) بارامترات التلدين المحاكى

500, 250, 150, 100, 75, 50, 25, 10, 5, 2	T_{ini}	الحرارة الإبتدائية Initial temperature
$f(ne, T_{ini}, T_{stop})$	T_{cr}	معدل التبريد Cooling rate
0.01	T_{stop}	حرارة التوقف Stop condition temperature

الجدول (6) التكلفة الدنيا لشبكة الإمداد بالمياه باستخدام خوارزمية التلدين المحاكى

رقم الانبوب	طول الانبوب m	قطر الانبوب mm	السرعة في الأنبوب m/s	كلفة المتر الطولي بالليرة السورية	الكلفة الكلية للأنبوب مليون ليرة سورية	المجموع مليون ليرة سورية
Pi1	100	350	1.08	206000	20.6	252.816
Pi2	666	250	1.25	150000	99.9	
Pi3	94	125	1.07	68000	6.392	
Pi4	466	100	0.91	49000	22.834	
Pi5	72	100	0.83	49000	3.528	
Pi6	696	125	1.59	68000	47.328	
Pi7	310	250	1.68	150000	46.5	
Pi8	47	200	0.68	122000	5.734	

4-4- الكلفة باستخدام خوارزمية سرب الجزيئات

أيضاً تم إيجاد الحل الأمثل والأقل تكلفة للشبكة المدروسة اعتماداً على خوارزمية سرب الجسيمات باستخدام البارامترات الموضحة في الجدول (7)، وهنا كانت الكلفة 226.624 مليون ليرة سورية مع توفير وصل إلى حوالي 25% بالنسبة للكلفة باستخدام برنامج EPANET، وتراوحت أقطار الأنابيب بين 100mm و 300mm، والسرعة في الأنابيب عند الاستهلاك الأعظمي تراوحت بين 0.66m/s و 1.69 m/s كما يبين الجدول (8).

الجدول (7) بارامترات سرب الجسيمات

معامل التعلم الفردي Personal learning coefficient (C1)	معامل التعلم الشامل Global learning coefficient (C2)	تنقيط العطالة Inertia weight (w)	حجم التخزين Size of repository
1	2	0.6	50

وبينت نتائج المحاكاة الهيدروليكية للشبكة المدروسة قيم الضغط في العقد عند الاستهلاك الأعظمي باستخدام برنامج EPANET والخوارزمية الجينية وخوارزمية التلدين المحاكى بالإضافة إلى خوارزمية أمثلة سرب الجسيمات، وقد أعطت خوارزميات الأمثلة الثلاث قيمةً متقاربة الضغط في العقد وتراوحت بين 34.1m و 55.62m كما يبين الجدول (9) وهي جيدة للحالة المدروسة وتؤمن الإمداد بالمياه بالشكل المطلوب، نجد أن المحاكاة باستخدام EPANET أعطت أكثر من قيمة أعلى من الحد المطلوب.

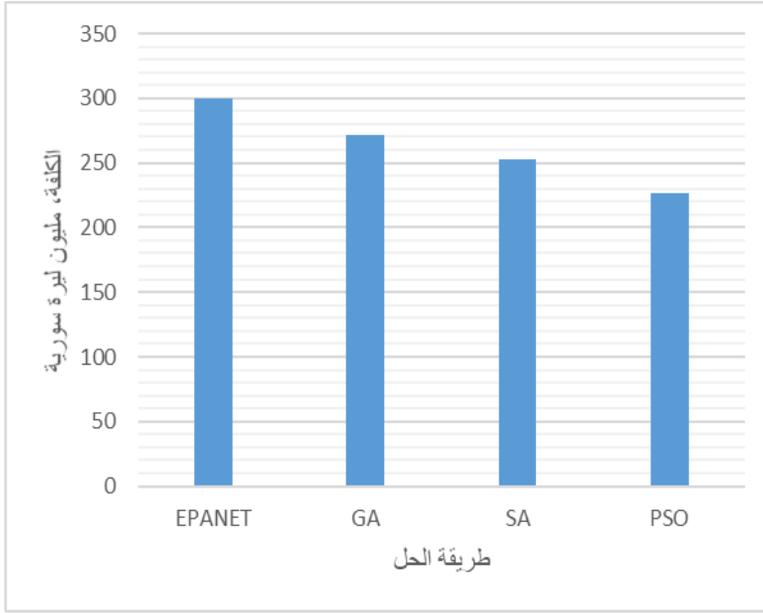
الجدول (8) التكلفة الدنيا لشبكة الإمداد بالمياه باستخدام خوارزمية التلدين المحاكى

رقم الانبوب	طول الانبوب m	قطر الانبوب mm	السرعة في الأنبوب m/s	كلفة المتر الطولي بالليرة السورية	الكلفة الكلية للأنبوب مليون ليرة سورية	المجموع مليون ليرة سورية
Pi1	100	300	1.22	188500	18.85	226.624
Pi2	666	250	1.03	150000	99.9	
Pi3	94	125	0.87	68000	6.392	
Pi4	466	100	1.69	49000	22.834	
Pi5	72	100	0.67	49000	3.528	
Pi6	696	100	1.57	49000	34.104	
Pi7	310	200	1.3	122000	37.82	
Pi8	47	125	0.66	68000	3.196	

وكما يبين الشكل (7) فإن خوارزمية سرب الجسيمات قد أعطت الحل الأقل تكلفة للشبكة المدروسة تليها خوارزمية التلدين المحاكى ثم الخوارزمية الجينية مع حدود جيدة للسرعة في الأنابيب وللضغط في العقد لجميع طرق الأمثلة المدروسة.

الجدول (9) قيمة الضغط في العقد باستخدام EPANET والخوارزمية الجينية والتلدين المحاكى وسرب الجزينات

رقم العقدة	الضغط في العقد، m			
	EPANET	GA	SA	PSO
J12	69.83	49.77	49.68	49.51
J13	57.86	48.57	45.44	46.58
J14	60.57	50.58	49.21	50.39
J15	66.18	55.62	53.98	55.57
J16	48.91	38.94	34.1	35.35
J17	55.96	45.5	43.76	44.41



الشكل (7) مقارنة الكلفة حسب طريقة الأمثلة المتبعة

5. الاستنتاجات والتوصيات

1. يساعد استخدام طرق الأمثلة مع برنامج المحاكاة الهيدروليكية EPANET في الحصول على الحل الأكثر اقتصادية بالنسبة لشبكات الإمداد في المياه عوضاً عن استخدام برنامج EPANET بشكل منفرد.
2. بينت المقارنة بين طرق الأمثلة الثلاث المستخدمة أن جميعها تحقق الأداء الهيدروليكي الجيد للشبكة من خلال قيم السرعات المناسبة في الأنابيب، وكذلك الضغط المطلوب في العقد.

3. أعطت خوارزمية سرب الجسيمات التكلفة الأقل للشبكة المدروسة بتوفير وصل إلى حوالي 25%، تليها خوارزمية التلدين المحاكى بتوفير حوالي 15%، ثم الخوارزمية الجينية بتوفير حوالي 9 % فقط.
4. يوصي البحث بدراسة البارامترات المستخدمة في كل طريقة على حدي وايجاد الحل الأمثل ضمن الخوارزمية الواحدة للشبكات الصغيرة والكبيرة.
5. يمكن استخدام طرق أخرى في الأمثلة والمقارنة فيما بينها مثل البرمجة الخطية او خوارزمية فورد فولكرسون. وأيضاً يمكن استخدام الأمثلة من أجل أكثر من هدف مثل جودة المياه ونظام الضخ وموثوقية الشبكة وغيرها.

المراجع References

1. SIEW, C., & TANYIMBOH, T. T. 2012. Penalty-free feasibility boundary convergent multi-objective evolutionary algorithm for the optimization of water distribution systems, Water Resources Management, Vol. 26. 4485-4507.
2. MALA-JETMAROVA, H., SULTANOVA, N., & SAVIC, D. 2018. Lost in optimization of water distribution systems? A literature review of system design, Water, 10(3), 307.
3. RAMANA, G. V., SUDHEER, C. V., & RAJASEKHAR, B. 2015. Network analysis of water distribution system in rural areas using EPANET, Procedia Engineering, Vol. 119. 496-505.
4. SANGROULA, U., HAN, K. H., Koo, K. M., GNAWALI, K., & YUM, K. T. 2022. Optimization of water distribution networks using genetic algorithm-based SOP-WDN program. Water. 14(6). 851.
5. ROSSMAN, L.A., 2000. EPANET 2: user's manual. 200.
6. SLOWIK, A., & KWASNICKA, H. 2020. Evolutionary algorithms and their applications to engineering problems. Neural Computing and Applications. Vol. 32. 12363-12379.
7. PARVAZE, S., KUMAR, R., KHAN, J. N., AL-ANSARI, N., PARVAZE, S., VISHWAKARMA, D. K., ... & KURIQI, A. 2023. Optimization of Water Distribution Systems Using Genetic Algorithms: A Review. Archives of Computational Methods in Engineering, 1-36.

8. CUNHA, M., & MARQUES, J. 2020. A new multiobjective simulated annealing algorithm—MOSA- GR: Application to the optimal design of water distribution networks. **Water Resources Research**, 56(3). e2019WR025852.
9. IZQUIERDO, J., MONTALVO, I., PÉREZ-GARCÍA, R., & HERRERA, M. 2012. Particle swarm optimization. **WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering**, 56.
10. TORKOMANY, M. R., HASSAN, H. S., SHOUKRY, A., ABDELRAZEK, A. M., & ELKHOLY, M. (2021). An enhanced multi-objective particle swarm optimization in water distribution systems design. **Water**, 13(10).1334.
11. CUNHA, M. C., & ANTUNES, A. 2012 Simulated annealing algorithms for water systems optimization. **WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering**, 56.
12. SHRIVATAVA, M., PRASAD, V., & KHARE, R. 2015. Multi-objective optimization of water distribution system using particle swarm optimization. **IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering**, 12(6), 21-28.

