

# مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 2

1443 هـ - 2022 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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 مشرقي
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](http://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 (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مننأ دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

## المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
42-11	أ.د. محمد بشار المفتي	أثر التغذية المتقطعة على نوعية المياه في شبكات التوزيع
64- 43	رزان الزير أ.د. إيهاب خالد عبدالله	النمذجة الاحصائية لتغيرات درجات الحرارة (محطة حمص المناخية نموذجاً)
90-65	بشرى العكاري د. سليمان العامودي	دراسة سلوك الأعمدة المعرضة لضغط لامركزي ثنائي المحاور والمنفذة بركام معاد تدويره
134-91	م. فاتن السقر د. م. رامي العبد د. م. توفيق فياض	تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت (CKD) على بعض خصائص التربة الرملية الساحلية







## أثر التغذية المتقطعة على نوعية المياه

### في شبكات التوزيع

الدكتور المهندس محمد بشار المفتي

أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق

#### ملخص البحث:

يسود في سوريا نظام التغذية المتقطعة في معظم التجمعات السكانية، لكن لهذا النظام العديد من المشاكل، من أهمها مشكلة تلوث المياه. ويمكن أن يرد السبب الأساس في ذلك إلى ازدياد مدة مكث المياه ضمن الشبكة بسبب توقف الجريان خلال فترات وقف التغذية، والذي يؤدي إلى انخفاض تركيز الكلور المتبقي، وإعادة نمو البكتيريا في أنابيب الشبكة، ويمكن أن يؤدي إلى تراجع الحالة الإنشائية للأنابيب. ونتيجة لاستخدام خزانات أرضية، أو الضخ المباشر من الشبكة للحصول على المياه خلال فترة الانقطاع، يتم تفريغ أنابيب الشبكة من المياه مما يؤدي لانخفاض الضغط ضمنها، وقد يتشكل ضغط سلبي، فيزداد احتمال رشح المياه الجوفية والتي قد تكون ملوثة عبر الوصلات السيئة أو عبر ثقب الأنابيب إلى الشبكة مما يهدد بانتشار التلوث ووصوله إلى المستهلكين. تم خلال البحث محاكاة شبكة افتراضية من أجل عدد من أنظمة التغذية المتقطعة بتغيير زمن التغذية وتكرارها، وتم دراسة أثر النظام المستخدم على عمر المياه، وعلى تركيز الكلور المتبقي. كما تم محاكاة رشح المياه الجوفية عبر ثقبين على أنبوبيين ودراسة انتشار التلوث ضمنهما، والنتائج عن وجود خزانات أرضية. وقد أظهرت النتائج احتمال تشكل جيوب مائية في الأنابيب على أطراف الشبكة يرتفع فيها عمر المياه بشكل كبير، كما أظهرت ارتفاع عمر المياه في الشبكة عند التغذية لمدة ساعتين مهما كان تواتر التغذية، وتبين انخفاض تركيز الكلور المتبقي في عدد من أنابيب الشبكة إلى مادون الحد المسموح في المواصفة السورية لنوعية مياه الشرب م.ق.س. 45:2017 وذلك عند تواتر تغذية مرة كل 48h أو أقل، كما ظهر بوضوح وجود خطر كامن لانتشار التلوث في حال وجود ثقب أو أكثر في جدران الأنابيب مهما كانت مدة التغذية ومهما كان تواترها.

الكلمات المفتاحية: التغذية المتقطعة، شبكات توزيع المياه، نوعية المياه، عمر المياه، مدة

مكث المياه، EPANET2.2

# The impact of intermittent supply on water quality in distribution networks

Dr. Eng. M. Bashar Al-Mofti

Damascus University, Faculty of civil Eng.

## Abstract:

Intermittent water supply is prevalent among most of Syrian municipalities. However, this system has many consequences. One of the most important consequences is the water contamination, its' main reason can be attributed to the increase in the water residence time in the network due to the cessation of flow during the supply interruption period, which leads to a decrease in the residual chlorine concentration, and bacteria regrowth in the network pipes, and It can lead also to a deterioration in the structural status of the pipes. As a result of the use of underground tanks, or direct pumping from the network in order to obtain water during the interruption period, the network pipes are emptied of water, which leads to a decrease in pressure within them, and negative pressure may form, This leads to an increase in the probability of groundwater infiltration, which may be contaminated through bad connections or holes in pipes to the network, which threatens to reach consumers. In this paper, a virtual network was simulated and analyzed for a series of intermittent supply systems by changing the supply time and frequency, and the impact of the used intermittent supply on water age and residual chlorin concentration was studied. The infiltration of groundwater was also simulated through two holes due to the presence of underground reservoirs and the spread of pollution within them was studied. The results showed the possibility of the formation of water pockets in the pipes at the network sides, in which the water age increases significantly, and it was also shown a water age increasing under tow hours supply

conditions, regardless of the supply frequency. It was found that the residual chlorine concentration in a number of network pipes fell below the limit specified in the Syrian Standard for Drinking Water Quality SNS 45:2017 under the condition of the supply frequency once every 48 hours or less, It was also clearly shown that there is an underlying risk of contamination spreading in the presence of one or more holes in the walls of the pipes, regardless of the supply period or frequency.

**Key words:** EPNET2.2, Intermittent supply, Water age, Water quality, Water residence time, Water supply networks

## 1. مقدمة:

تعرف التغذية المستمرة بأنها تزويد السكان بالمياه لمدة 24 ساعة في اليوم وباستمرار دون انقطاع على مدار أيام الأسبوع، ويرمز لها (24/7)، أما التغذية المتقطعة فيقصد بها تزويد السكان بالمياه لعدد من الساعات أقل من 24 ساعة يومياً، وقد لا تتجاوز فترة التغذية الفعلية 4-2 ساعات، وقد تتم التغذية مرة واحدة يومياً أو كل يومين أو حتى بتواتر أقل من ذلك.

في حالة التغذية المستمرة تتطابق كمية المياه المرسلة في الشبكة مع الاحتياج الفعلي للسكان، وبالتالي تتطابق كمية المياه الواصلة لأي من عقد الشبكة مع احتياجات السكان فيها. أما في حالة التغذية المتقطعة فتزود الشبكة بكمية مياه أقل من احتياجات السكان الفعلية، وبالتالي قد تختلف كمية المياه الواصلة في العقد المختلفة عن احتياجات السكان تبعاً لعدد ساعات التغذية والضغط المسيطر عند كل عقدة [1].

وتسود في سوريا التغذية المتقطعة في معظم التجمعات السكانية، ويمكن أن يتم ذلك في فصول الجفاف فقط في بعض المدن كما هو الحال في مدينة دمشق، التي تتغذى بشكل مستمر في بقية أوقات السنة، أو تتم التغذية بشكل متقطع باستمرار، ويمكن أن تتم التغذية مرة واحدة كل يومين أو بتواتر أقل، ويتعلق كل من مدة وتكرار التغذية بالظروف المحلية وكمية المياه المتوفرة.

لكن مؤسسات المياه تقوم بتصميم شبكات التوزيع على حالة التغذية المستمرة 24/7 دون مراعاة طريقة التشغيل، حيث أن التغذية المتقطعة تدفع المستهلكين لسحب أكبر كمية ممكنة من المياه خلال فترة التغذية، كما يقوم العديد منهم بتركيب خزانات منزلية تجمع المياه فيها خلال فترة التغذية لاستهلاكها خلال فترة الانقطاع، لذا تنشأ العديد من المشاكل من أهمها [2] [3] [4]:

1. انخفاض الضغط.
2. التوزيع غير العادل للمياه [1] [5].
3. احتمال تلوث المياه وتشكل خطر على الصحة العامة.
4. هدر المياه [6].
5. تشكل كلف إضافية على المستهلكين [7].
6. تشكل كلف إضافية على مؤسسات المياه [7].
7. عدم دقة عدادات المياه [6].

تعد مشكلة تلوث المياه واحدة من أهم المشكلات التي قد تتعرض لها شبكات المياه بنتيجة التغذية المنقطعة [8] لأنها تهدد الصحة العامة، ويمكن أن يرد السبب الأساس في ذلك إلى ازدياد مدة مكث المياه ضمن الشبكة بسبب توقف الجريان خلال فترات وقف التغذية، والذي يؤدي إلى انخفاض تركيز الكلور المتبقي، وإعادة نمو البكتيريا في أنابيب الشبكة. كما يقوم المستهلكون بتركيب خزانات منزلية من أجل الحصول على المياه خلال فترة الانقطاع، وقد تكون الخزانات أرضية منسوبها أخفض من منسوب الشبكة، أو يقومون بضخ المياه من الشبكة مباشرة مما قد يسبب تفريغ أنابيب الشبكة من المياه وتشكل ضغط منخفض ضمنها وقد يتشكل ضغط سلبي [9]، فيزداد احتمال دخول المياه الجوفية والتي قد تكون ملوثة عبر الوصلات السيئة أو عبر تقوُّب الأنابيب إلى الشبكة مما يهدد بتلوث المياه ضمنها. كما يمكن أن تشكل خزانات المياه المنزلية مصدراً إضافياً لتلوث المياه. إضافة لذلك يؤدي تواتر الرطوبة والجفاف ضمن الأنابيب إلى تراجع حالتها الإنشائية مما يزيد من احتمال تعرضها للتقُّب.

#### أثر مدة مكث المياه (عمر المياه) على نوعية المياه ضمن شبكة التوزيع:

تعرف مدة مكث المياه ضمن نظام توزيع المياه Water residence time (أو عمر المياه Water age) بأنها الزمن الذي تمضيه المياه ضمن النظام بعد خروجها من محطة المعالجة وحتى وصولها إلى المستهلك. وقد أثبتت الدراسات أنه كلما زادت هذه

المدة كلما زاد احتمال تراجع نوعية المياه وتعرضها للتلوث [10]، لذا أكدت منظمة الصحة العالمية WHO على ضرورة تخفيض مدة مكث المياه ضمن الشبكة وتجنب الضغوط والغزارات المنخفضة للحفاظ على نوعية المياه ضمنها [8].

ويرد السبب الأساس في تراجع نوعية المياه الناتج عن مدة المكث الطويلة إلى أن شبكة المياه تشكل مفاعلاً Reactor تحصل ضمنه العديد من التفاعلات المعقدة التي يمكن أن تؤدي إلى تراجع نوعية المياه الواردة من محطة التنقية من أهمها [11]:

- تؤدي تفاعلات الأكسدة سواء ضمن كتلة الماء أو على سطح التماس مع مادة الأنبوب إلى خفض تركيز الكلور المتبقي في المياه.
- يمكن أن يستمر تفاعل النواتج الجانبية لمواد التطهير - Disinfection by products (DBPs) (بشكل أساس trihalomethanes and haloacetic acids) مع الكلور المتبقي، مما يؤدي إلى خفض إضافي لتركيزه.
- بالنتيجة يمكن أن يفقد الكلور المتبقي تماماً من المياه.
- انخفاض تركيز الكلور المتبقي وطول مدة مكث المياه ضمن الشبكة يؤديان لإعادة نمو البكتريا ضمن مياه الشبكة Bacterial regrowth، وتشكيلها فيلماً بيولوجياً على جدران الأنابيب.

وقد أكدت منظمة الصحة العالمية WHO على وجوب توفر كلور متبقي في شبكات المياه في المجال 0.2-0.5mg/L ضمن الشروط العادية من أجل السيطرة على إعادة نمو البكتريا فيها [12]، وقد تبين بنتيجة القياسات المجرىة على شبكة المياه في تولوز بفرنسا أن 50% من الكلور المتبقي ( $ClO_2$ ) قد زالت من المياه بعد مدة مكث أقل من خمس ساعات، أما بعد مدة مكث أكثر من خمس ساعات فقد زال الكلور المتبقي تماماً من المياه، وقد أدى ذلك إلى زيادة كبيرة في عدد البكتريا في المياه بعد مدة مكث 5-20h، كان التزايد بطيئاً في البداية، وبلغ قيمة أعظمية عند مدة مكث 10-20h، حيث



اختفى الكلور المتبقي كلياً من المياه، وكانت كمية الجزء القابل للتفكيك من الكربون العضوي المنحل BDOC في المياه الناتجة عن محطة التنقية كافياً لنمو البكتيريا (0.37mg/L) [13].

يمكن أن تؤدي إعادة نمو البكتيريا ضمن الشبكة إلى المشاكل التالية [13]:

- التأثير سلباً على المواصفات الجمالية Aesthetical quality للمياه الموزعة على المستهلكين مثل: العكارة Turbidity والطعم والرائحة واللون.
- يمكن أن يرد صدأ الأنابيب إلى نمو البكتيريا ضمن الشبكة [14].

وقد أثبتت دراسات أجريت في أتلنتا في الولايات المتحدة الأمريكية وجود علاقة مباشرة بين إصابة السكان بالأمراض المعوية Gastrointestinal illness وبين مدة مكث المياه المرتفعة في شبكة التوزيع [10]، كما أظهرت الدراسات زيادة محتوى البكتيريا ضمن مياه شبكة التوزيع مع الابتعاد عن مصدر مياه الشبكة (الخزان أو محطة التنقية) [10]. كما تبين أنه في ظروف ركود المياه ضمن شبكة المياه وضمن درجة حرارة فوق 15°C تشكلت طبقة فيلم بيولوجي على جدران أنابيب الشبكة [15]، كما أثبتت دراسات أخرى أن ذلك ممكن حتى في درجات حرارة بحدود 6°C [16]، إن هذه الدراسات تؤكد وجود خطر كبير لإعادة نمو البكتيريا ضمن أنابيب الشبكة خلال فترات انقطاع المياه. وقد تبين أن وجود بكتيريا الكوليفورم في المياه لم ينتج بالضرورة عن رشح مياه ملوثة إلى الشبكة، بل كان مصدرها الرئيس هو طبقة الفيلم البيولوجي المتشكلة على جدران الأنابيب، حيث تعد هذه الطبقة مضيئاً مفضلاً لبكتيريا الكوليفورم، خصوصاً في الأنابيب الحديدية [16].

لذا يمكن استخدام عمر المياه ضمن الشبكة كميّار لتقييم التفاعلات الهامة التي قد تتم ضمن الشبكة، والتي قد تؤدي إلى تراجع نوعية المياه ضمنها، ويمكن اعتبار عمر المياه قصيراً حتى 10 ساعات، ومتوسطاً في المجال 10-35h ومرتفعاً عندما يكون أكبر من 35h [10].

### أثر انخفاض الضغط في شبكة توزيع المياه على نوعية المياه ضمنها:

يعد انخفاض الضغط ضمن شبكة المياه من أهم الأسباب المؤدية إلى انتقال التلوث إلى المياه ضمن أنابيب الشبكة، حيث يمكن أن يؤدي إلى رشح المياه الجوفية والتي قد تكون ملوثة من التربة المحيطة إلى الأنابيب عن طريق الوصلات أو الثقوب في جدران الأنابيب، و يمكن أن ينتج انخفاض الضغط عن أسباب مختلفة منها توقف التغذية بالمياه والتغير المفاجئ في استهلاكها [10]، و اللذين يمكن عدما من النتائج الأساس لانقطاع التغذية عند استخدام نظام التغذية المتقطعة. وقد أثبتت القياسات المجراة في ست من الولايات المتحدة الأمريكية على عينات مياه وتربة مأخوذة من محيط شبكات المياه وجود بكتريا الكوليفورم Total coliforms في 58% من عينات المياه وفي 69.7% من عينات التربة، كما تم اكتشاف بكتريا الكوليفورم الغائطي Fecal coliform Bacteria في 42.8% من عينات المياه و 50% من عينات التربة، كما تم اكتشاف الفيروسات المعوية enteric viruses في 10% من عينات المياه والتربة المأخوذة من محيط أنابيب شبكات المياه [17]. كما أظهرت العديد من الملاحظات الميدانية والمخبرية أن الكائنات الحية الدقيقة يمكن أن تهجر لمسافات كبيرة عبر التربة في كلا الاتجاهين الرأسي والأفقي، وقد تم اكتشاف هجرة بكتيرية تصل إلى 0.6 متراً في الترب الناعمة وإلى 830 متراً في الترب الرملية الخشنة وهجرة فيروسية تصل إلى 408 متراً [18]، وبالتالي فعلى الرغم من أن المواصفات الهندسية تتطلب فاصلاً لا يقل عن 0.5 متر عمودياً و 3 أمتار أفقياً بين أنابيب شبكة مياه الشرب وأنابيب شبكة الصرف الصحي، فإنه يمكن للكائنات الممرضة أن تهجر عدة أمتار في فترات زمنية قصيرة عند توفر ظروف مناسبة منها ارتفاع رطوبة التربة وتصل إلى التربة المحيطة بشبكات مياه الشرب [18]، وقد تبين بنتيجة دراسات أجريت في المخبر أن بكتريا E. coli تمكنت من العيش حتى أربعة أشهر ونصف في المياه الجوفية المحفوظة في ظروف الظلام الكامل [19]، وقد أظهرت الدراسات في أربع مدن في الهند تلوث المياه ضمن شبكة التوزيع رغم أن

نوعيتها كانت جيدة عند خروجها من محطة المعالجة، حيث انخفضت نسبة عينات بكتريا الكوليفورم الغائطي fecal coliform bacteria السلبية من 100% في المياه قبل دخولها إلى الشبكة إلى 24-73% في العينات المأخوذة من الشبكة، وتم رد ذلك إلى رشح المياه الجوفية إلى شبكات توزيع المياه عن طريق الوصلات والثقوب في جدران الأنابيب والنتاج عن انخفاض الضغط ضمن الشبكة بسبب استخدام نظام التغذية المتقطعة [20].

ويزداد احتمال تشكل الثقوب والتشققات في جدران الأنابيب القديمة حيث تتراكم نواتج الصدأ مع الرواسب ضمن الأنابيب بشكل درنات تسبب انخفاض قدرتها على إمرار المياه وبالتالي ينخفض الضغط ضمنها مما يسرع في تشكل عدد من الثقوب المتجاورة، ويمكن أن ينشأ الرشح أيضاً عن سوء تنفيذ الأنابيب أو عن تداخل الحلقات المطاطية في وصلات الأنابيب مع الزمن بسبب التغيرات المتتالية للضغط ضمن أنابيب الشبكة [21]. وبما أنه من الصعب تحديد ودراسة ثقوب الشبكة، فقد تم اللجوء إلى دراسة ضياعات المياه من الشبكة عن طريق تحديد المياه غير ذات عائد None Revenue Water NRW، وقد أظهرت دراسات في أربع مدن في الهند زيادة NRW بين 19.5% إلى 77.8% عند استخدام نظام التغذية المتقطعة، مما يدل ضمن عوامل أخرى على رشح كبير من الشبكة ناتج عن تشكل ثقوب في جدران الأنابيب [20].

وأظهرت دراسات أجريت في نيقوسيا في قبرص [22] بعد سنتين من استخدامها نظام التغذية المتقطعة بين عامي (2008-2010) تسجيل حوالي 12000 شكوى تتعلق برشح المياه من الشبكة خلال السنة الأولى فقط، ازدادت بعد ذلك إلى معدل 70-80 شكوى يومياً، بزيادة قدرها 28% مقارنة بعدد الشكاوى خلال فترة التغذية المستمرة، وقد بينت الدراسة أن رشح المياه قد تركز في أنابيب الشبكة ذات الأقطار الصغيرة والوصلات المنزلية، مما يدل على تعرضها لتشكيل ثقوب، وقد ازداد عامل الخطورة في أنابيب الشبكة الحاوية على الكربون مثل أنابيب البولي إيثيلين السوداء MDPE Black مقارنة مع بقية

أنواع الأنابيب المستخدمة (مثل MDPE blue)، وأكدت هذه النتائج دراسات أجريت على شبكة التغذية في مدينة ليماسول التي تستخدم التغذية المتقطعة أيضاً، ويمكن أن يرد ذلك إلى تشكل طبقة بكتريا على الجدار الداخلي للأنابيب تستخدم مادة الانابيب كمصدر للكربون [22].

## 2. الهدف من البحث:

دراسة أثر التغذية المتقطعة على مدة مكث المياه وعلى تركيز الكلور المتبقي في شبكات توزيع المياه، كما سيتعرض البحث لدراسة التلوث الناتج عن رشح المياه الجوفية إلى الشبكة بنتيجة تشكل ثقب أو أكثر في أنابيب الشبكة.

## 3. مواد وطريقة البحث:

بسبب صعوبة القيام بقياسات فعلية، فسيتم اللجوء إلى المحاكاة باستخدام برنامج 2.2.0 EPANET [23] لمحاكاة مدة مكث المياه، وتركيز الكلور المتبقي، وانتشار التلوث ضمن شبكة توزيع افتراضية والناتج عن رشح المياه الجوفية عبر ثقب في جدران الأنابيب.

## دراسة انتشار التلوث باستخدام برنامج 2.2 EPANET [23]:

قامت وكالة حماية البيئة الأمريكية USEPA بتطوير برنامج EPANET أساساً لفهم عمليات نقل ومصير الملوثات في أنظمة توزيع مياه الشرب بشكل أفضل. يعمل محرك نوعية المياه في البرنامج على أساس مبدأ مصونية الكتلة conservation of mass مقترناً بحركية التفاعلات reaction kinetics، يتم تمثيل انتقال المواد عبر أنبوب باستخدام المعادلة:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -u_i \frac{\partial C_i}{\partial x} + r(C_i)$$

حيث:

$C_i$ : التركيز في الأنبوب  $i$  كتابع للمسافة  $x$  والزمن  $t$

$u_i$ : سرعة الجريان في الأنبوب  $i$

$r$ : سرعة التفاعل كتابع للتركيز  $C$

يميز البرنامج بين نوعين من الملوثات، ملوثات تنتقل بالانتشار Diffusion ولا تتعرض لتفاعلات كيميائية خلال عبورها للأنابيب، هذ المواد يتغير تركيزها خلال عبورها بسبب التمديد Dilution، ومواد يتغير تركيزها بسبب خضوعها لتفاعلات خلال عبورها للأنابيب، ويمكن التمييز بين نوعين من التفاعلات:

**تفاعلات ضمن كتلة الماء Bulk Flow Reactions**، يعبر عنها بالمعادلة:

$$r = K_b \cdot C^n$$

حيث:

$K_b$ : ثابت تفاعلات الكتلة

$n$ : أس التفاعل reaction order، يمكن أن يكون التفاعل بسيطاً من الأس الأول First-Order، وهو يمثل تآكل المواد المعقمة ضمن الأنابيب، أو من الأس الثاني Second Order، ويمكن أن يكون بأس صفري Zero-Order، ويستخدم لحساب عمر المياه ضمن الأنابيب.

**تفاعلات مع جدران الأنابيب Pipe Wall Reactions**، يعبر عنها بالمعادلة:

$$r = \frac{2k_w k_f C}{R(k_w + k_f)}$$

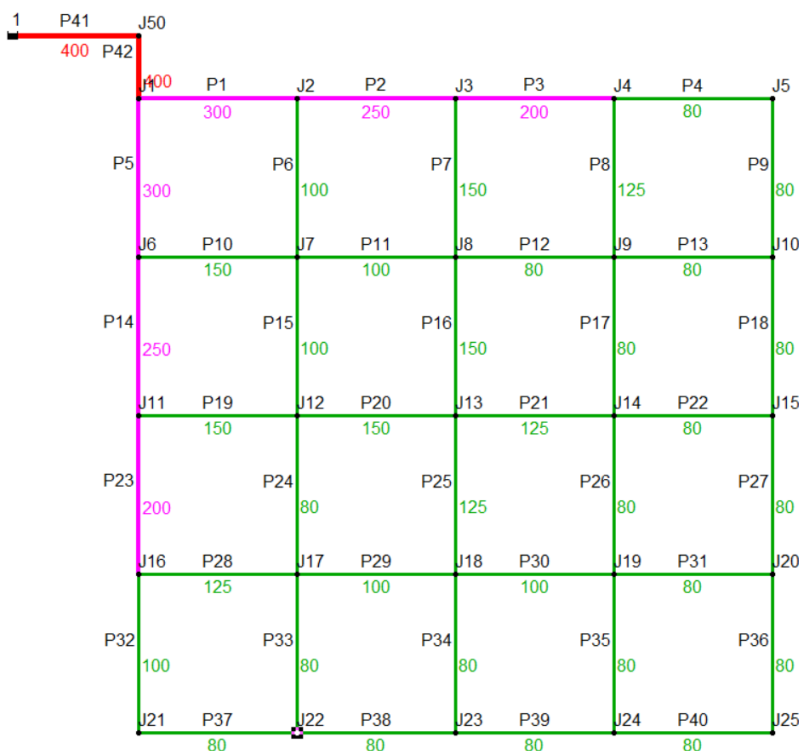
حيث:

$k_w$ : ثابت سرعة التفاعل مع الجدار wall reaction rate constant

$k_f$ : معامل انتقال الكتلة

$R$ : نصف قطر الأنبوب

سيتم في المحاكاة نمذجة شبكة توزيع مياه افتراضية مؤلفة من 16 حلقة والظاهرة في الشكل (1). طول كل من أنابيب الشبكة 125 m، تخدم ضاحية سكنية تحوي على 312 بناء، مساحة البناء  $600 \text{ m}^2$ ، مقام على أرض مساحتها  $800 \text{ m}^2$ ، كل بناء مؤلف من خمسة طوابق في كل منها 4 شقق، شقتين بمساحة  $140 \text{ m}^2$  لكل شقة، وشقتين بمساحة  $100 \text{ m}^2$  لكل شقة، بعدد سكان إجمالي  $P = 31200$  وكثافة سكانية  $1248 \text{ p/ha}$ . وقد اعتبرت الشبكة أفقية تماماً بهدف إلغاء أثر فروق المناسيب على أداء الشبكة. تم التحليل باستخدام معادلة دارسي-فايسباخ مع اعتبار الخشونة  $k=1.0 \text{ mm}$ . [24]، مع استخدام طريقة التحليل المعتمد على الضاغط (PDA) [25].



الشكل (1): مخطط الشبكة الافتراضية

تم تصميم الشبكة على حالة التغذية المستمرة 24/7 وحالة الاستقرار Steady-State مع اعتماد الفرضيات التالية: الضاغط الأدنى اللازم لإيصال المياه للطابق الخامس 34m بحيث يتشكل ضاغط أدنى على الجهاز الصحي الأسوأ هيدروليكيًا لا يقل عن 10m،

فواقد مجموعة العداد مع فواقد الوصلة المنزلية 8.5m وفقاً للكود الأوروبي BS-EN- 805:2000 [26]، الاحتياج المائي للفرد  $1/P.d$  125، عوامل الذروة المستخدمة في التصميم  $Pf_{h,max}=3.18$ ،  $Pf_{d,max}=1.72$  محسوبة على أساس الغزارة اليومية الوسطية  $Q_{d,av}$  [27]. ثم تم حساب الغزارات في العقد باستخدام الطريقة التحليلية [24]، وقد

لخصت قيم الاحتياج المائي الواجب توفره في عقد الشبكة حسب موقعها في الجدول (1).

ويبين الشكل (1) أقطار أنابيب الشبكة، وتراوحت سرعة جريان المياه بين 0.22 m/s في الأنابيب بقطر 80 mm وهو القطر الأدنى الذي تم اعتماده في التصميم و 1.14 m/s، وتراوحت الضواغط ضمن عقد الشبكة بين 34.0m عند العقدة الطرفية J25، و 45.57m عند عقدة المدخل J1، ارتفاع الخزان 46.2m.

الجدول (1): توزيع الاحتياج المائي في عقد الشبكة حسب موقعها

العقدة	$Q_{d,av}$ l/sec	$Q_{d,max}$ l/s	$Q_{h,max}$ l/sec
زاوية	0.71	1.21	2.26
طرفية	1.41	2.43	4.48
وسطية	2.82	4.85	8.97

تم في البحث محاكاة الشبكة لحالة التغذية المتقطعة من أجل عدد ساعات تغذية مختلف حسب مرحلة الدراسة، وتم إدخال المعلومات التالية للنموذج:  
**الاحتياج المائي في العقد:** وهو احتياج السكان الواجب توفره، وقد أخذت قيم الاحتياج اليومي الأعظمي  $Q_{d,max}$  من الجدول (1) مع استخدام معامل الذروة اليومي الأعظمي  $P_{f,d,max}=1.72$ ، وأخذت عوامل الذروة الساعية الأعظمية حسب عدد ساعات التغذية والتي حسبت من العلاقة (1) [9]:

$$P_f = \frac{24}{N} \quad (1)$$

**الضاغط الأدنى المطلوب  $H_{min}$ :** وهو الضاغط الأدنى اللازم لإيصال المياه إلى خزانات التغذية، وقد أعطى دليل إمداد المياه في الهند القيم الواردة في الجدول (2) للضاغط الأدنى اللازم حسب عدد طوابق المبنى [9]. وقد تم استخدام الضاغط الأدنى  $H_{min}=27$



m اللازم لإيصال المياه إلى الخزان العلوي من أجل المباني بارتفاع خمسة طوابق المستخدمة في نموذج البحث.

الجدول(2): الضاغط الأدنى اللازم لإيصال المياه لخزانات التغذية [9]

عدد الطوابق	ارتفاع الخزان (m)
طابق واحد	7
طابقين	12
ثلاثة طوابق	17
أربعة طوابق	22
خمسة طوابق	27

الضاغط الأعظمي  $H_{max}$ : هو الضاغط اللازم للوصول الاحتياج الفعلي إلى العقدة، وقد أخذ في الحساب  $H_{max}=32$  m بإضافة 5 m الضاغط الواجب توفره عند صمام الفواشة.

لدراسة انتشار الملوثات ضمن الشبكة والنتاج عن رشح مياه ملوثة عبر ثقب أو أكثر في أنابيب الشبكة، تم تمثيل الثقب بقاذف Emitter تتعلق الغزارة المارة عبره بالضاغط المسيطر [28].

يمكن حساب الرشح من ثقب في أنبوب باستخدام معادلة غريللي Greeley's Equation [29]:

$$Q = \frac{43767}{1440} \times A \times \sqrt{P} \times 2.23 \quad (2)$$

حيث:

Q: غزارة المياه الراشحة من الثقب l/min

A: مساحة مقطع الثقب  $cm^2$

P: ضغط المياه المطبق على الثقب bar

ويعرف القاذف في البرنامج عن طريق معامل القاذف K Emitter coefficient والذي يمكن حسابه من العلاقة (3) [28]:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{P}} \quad (3)$$

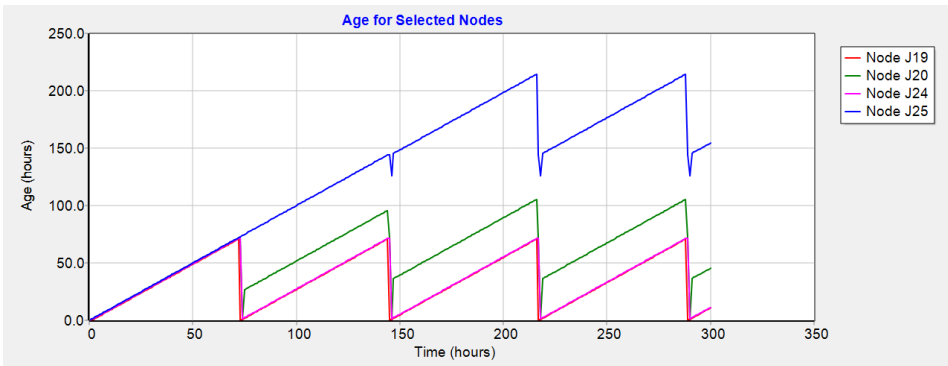
تحسب الغزارة الخارجة من الثقب ولضغوط مختلفة من العلاقة (2)، ثم يحسب K للقاذف الممثل للثقب في نموذج الشبكة من العلاقة (3).

يمكن تمثيل وجود طبقة مياه جوفية محيطة بالشبكة بمصدر مائي Reservoir منسوب المياه فيه Total head هو منسوب المياه الجوفية في التربة المحيطة بالأنابيب. يتم وصل المصدر المائي مع الثقب عن طريق أنبوب بقطر وطول مناسبين [28].

#### 4. النتائج ومناقشتها:

تم نمذجة الشبكة لمدد تغذية مختلفة بالمياه وبحيث تتم التغذية مرة واحدة كل 24 ساعة ثم كل 48 ساعة ثم كل 72 ساعة لكل مدة تغذية، وبحيث يقوم النموذج بمحاكاة عمل الشبكة خلال فترة زمنية قدرها 300 ساعة أي ما يعادل 12.5 يوم، وتم العمل على ثلاثة مراحل.

**المرحلة الأولى:** تم في هذه المرحلة دراسة أثر التغذية المتقطعة على عمر المياه (مدة مكث المياه) في الشبكة، وقد تبين أن عمر المياه عند تغذية 72/2 (ساعتين كل ثلاثة أيام) هو الأطول في العقدتين الطرفيتين J20 و J25، حيث تجاوز عمر المياه 200h في العقدة J25 كما يظهر في الشكل (2)، وهو عمر طويل. وقد تم تلخيص القيم العظمى والدنيا لعمر المياه في عقد مختارة في الجدول (3)، علماً بأن التغذية 72/2 شائعة في بلدات كل من ريفي دمشق ودرعا.

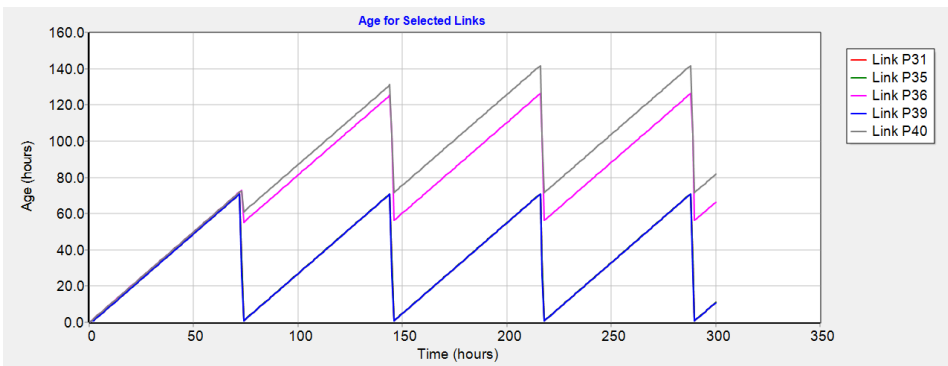


الشكل (2): عمر المياه في عقد مختارة عند تغذية 2/72

الجدول (3): القيم العظمى والدنيا لعمر المياه في عقد مختارة من الشبكة عند تغذية

72/2

العقدة	الساعة	عمر المياه الأعظمي (ساعة)	عمر المياه الأدنى (ساعة)
J25	216	214	125
	146		
J20	145	144	1.44
	72		
بقية العقد	72	70-71.34	



الشكل (3): عمر المياه في أنابيب مختارة عند تغذية 2/72

وبدراسة عمر المياه في الأنابيب لوحظ أن قيمته قد حققت قيمها الأعظمية في الأنبوبين الطرفيين P36 و P40، حيث تجاوزت قيمته 100h في الأنبوبين كما يظهر في الشكل

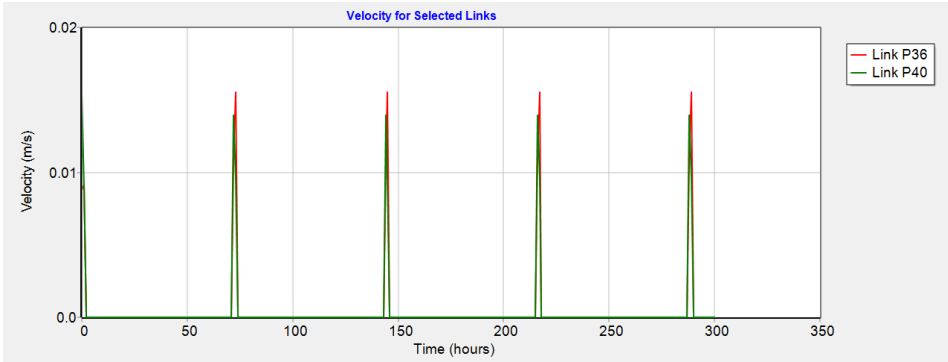
(3) وهو عمر طويل، وقد تم تلخيص القيم العظمى والدنيا لعمر المياه في أنابيب مختارة في الجدول (4).

يتبين مما سبق تشكل جيب على طرف الشبكة تركد المياه ضمنه (عمر المياه طويل أكبر من 35 h) مما يهدد بتشكل طبقة فيلم بيولوجي على جدران الأنابيب وتراجع نوعية المياه ضمن هذا الجيب، وقد تبين أن سرعة جريان المياه في الأنابيب P36 و P40 لم تتجاوز  $0.02 \text{ m/s}$  خلال كامل فترة المحاكاة كما يظهر في الشكل (4)، وبالتالي لا تتوفر السرعة الكافية لكشط طبقة الفيلم البيولوجي، مما يهدد بزيادة سماكتها.

الجدول (4): القيم العظمى والدنيا لعمر المياه في أنابيب مختارة من الشبكة عند تغذية

2/72

الأنبوب	الساعة	عمر المياه الأعظمي (ساعة)	عمر المياه الأدنى (ساعة)
P40	216	141.69	
	72		71.96
P36	145	103.48	
	72		71.96
بقية العقد	72	70-70.96	

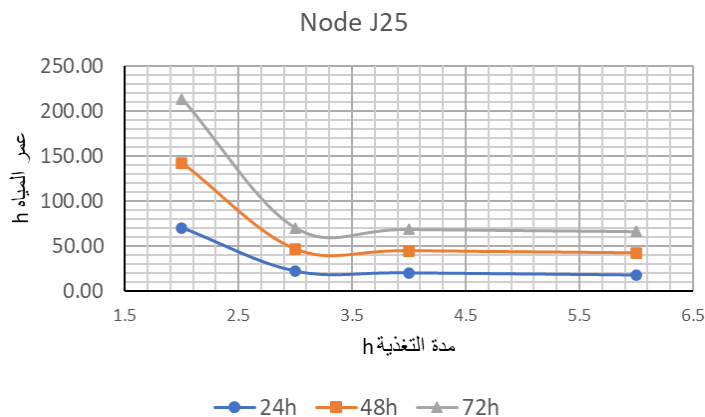


الشكل (4): تغير سرعة جريان المياه في الأنابيب P36 و P40 عند تغذية 2/72

وقد أظهرت دراسات أجريت على شبكات مياه في نيوجرسي في الولايات المتحدة الأمريكية عودة تشكل طبقة الفيلم مجدداً خلال فترة أسبوع بعد كشطها وتنظيف الأنابيب

ولنفس وضعها قبل الغسيل، كما تبين أن المحافظة على تركيز كلور حر متبقي بمقدار 1.0 mg/L لم يكن كافياً لإزالة طبقة الفيلم [16].

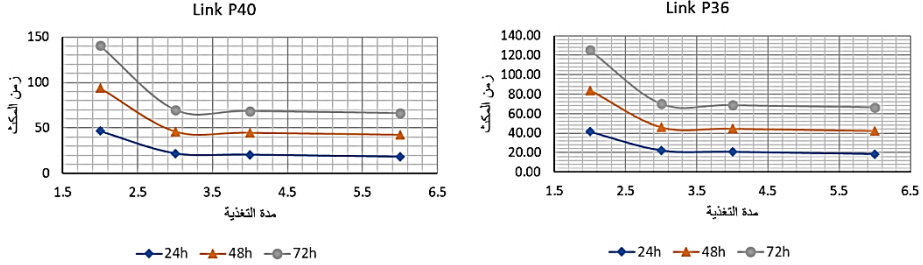
ويظهر الشكل (5) عمر المياه الأعظمي في العقدة J25 من أجل مدد تغذية 2 و3 و4 و6 ساعات ومن أجل تكرار مرة واحدة كل 24 و48 و72 ساعة، حيث يلاحظ أن مدة ساعتی تغذية قد أدت لعمر مياه طويل زاد على 50h مهما كان تكرار التغذية، أما عند التغذية مرة كل 24 ساعة فقد أدت مدة تغذية 3 ساعات أو أكثر إلى عمر مياه أقل من 23 ساعة، وعند التغذية مرة كل 48 ساعة فقد كان عمر المياه أكبر من 40 ساعة مهما كان عدد ساعات التغذية.



الشكل (5): عمر المياه الأعظمي في العقدة J25 من أجل قيم مختلفة لمدد وتكرار التغذية

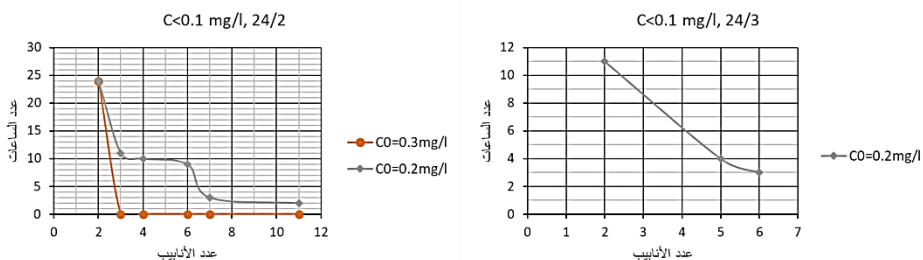
كذلك الوضع بالنسبة للشكل-6 الذي يظهر عمر المياه الأعظمي في الأنبوبين P-36 و P-40، حيث يتبين أن مدة تغذية ساعتين تتسبب في عمر مياه أكثر من 40 ساعة، مهما كان تكرار التغذية، أما عند تكرار التغذية مرة كل 24 ساعة ولمدة ثلاث ساعات أو أكثر فيبقى عمر المياه قريباً من 20 ساعة في الأنبوبين، وعند تكرار التغذية كل 48h

و72h فيبقى عمر المياه أكبر من 40h و60h على الترتيب مهما كان عدد ساعات التغذية.



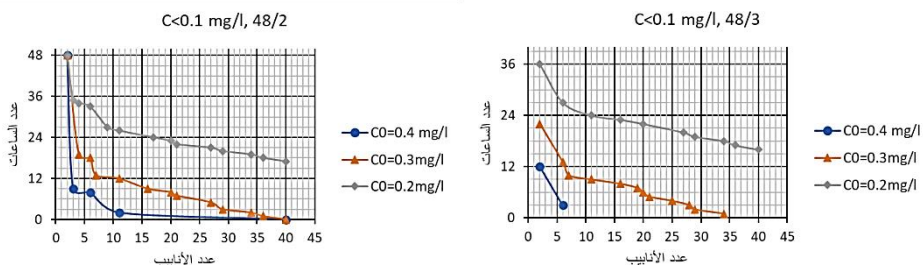
الشكل (6): عمر المياه الأعظمي في الأنابيب P40 و P36 من أجل قيم مختلفة لمدد وتكرار التغذية

**المرحلة الثانية:** تم في هذه المرحلة إجراء المحاكاة لدراسة تآكل الكلور ضمن أنابيب الشبكة، تمت دراسة الشبكة من أجل تغذية لمدة 2h و 3h بتواتر كل 24 و 48 و 72 ساعة لكل من مدتي التغذية، واستخدام تركيز كلور أولي 0.2mg/L و 0.3mg/L و 0.4mg/L و 0.5mg/L، وتم تحديد الزمن الذي ينخفض فيه تركيز الكلور المتبقي إلى مادون 0.1mg/L، وهو الحد الأدنى المسموح لتركيز الكلور المتبقي في شبكات المياه في المواصفة السورية لنوعية مياه الشرب م.ق.س. 45:2017 [30]. تم تمثيل تآكل الكلور بتابع من الدرجة الأولى [31]، وبسبب عدم توفر قيم مقاسة مخبرياً فقد اختير عند النمذجة قيم مرجعية لمعاملي تآكل الكلور، حيث تم استخدام معامل تآكل الكلور ضمن كتلة الماء  $K_b=0.55d^{-1}$  bulk decay constant، و قيمة معامل تآكل الكلور على جدار الأنابيب  $K_w=0.3d^{-1}$  wall decay constant [32]. وتظهر الأشكال: 7 و 8 و 9 عدد الأنابيب التي ينخفض فيه تركيز الكلور المتبقي إلى مادون 0.1mg/L والزمن الذي ينخفض خلاله التركيز ضمن أنابيب الشبكة لكل من مدد المكث وتواتر التغذية والتراكيز المستخدمة.



الشكل (7): الزمن الذي ينخفض فيه تركيز الكلور المتبقي إلى  $Cl < 0.1 \text{ mg/L}$  ضمن عدد محدد من الأتاييب

يلاحظ من الشكل (7) أنه مع استخدام كلور بتركيز أولي  $0.3 \text{ mg/L}$  عند بداية الشبكة يبقى هناك أنبوبين ينخفض فيهما تركيز الكلور المتبقي إلى مادون  $0.1 \text{ mg/L}$  لمدة 24 ساعة وذلك من أجل تغذية  $24/2$ ، وبالتالي يلزم استخدام كلور بتركيز أولي أكثر من  $0.4 \text{ mg/L}$  للمحافظة على تركيز الكلور المتبقي ضمن الحد المقبول حتى فترة التغذية التالية. أما من أجل تغذية  $24/3$  فيكفي تركيز كلور أولي أكبر من  $0.3 \text{ mg/L}$  للمحافظة على الكلور المتبقي، حيث لا يوجد أي أنبوب ينخفض فيه تركيز الكلور المتبقي عن  $0.1 \text{ mg/L}$ .

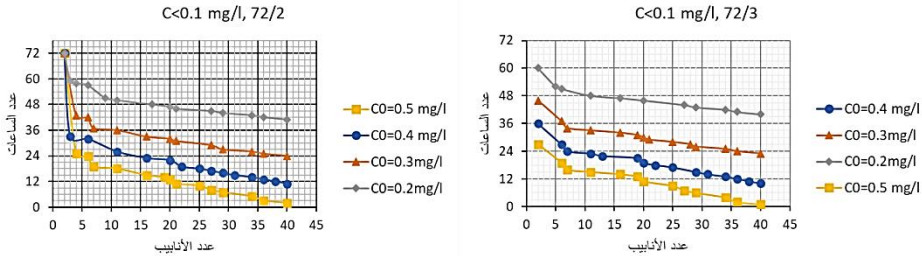


الشكل (8): الزمن الذي ينخفض فيه تركيز الكلور المتبقي إلى  $Cl < 0.1 \text{ mg/L}$  ضمن عدد محدد من الأتاييب من أجل تكرار تغذية كل 48h ولمدة تغذية ساعتين وثلاث ساعات من أجل تراكيز أولية مختلفة

## أثر التغذية المتقطعة على نوعية المياه في شبكات التوزيع

ويلاحظ من الشكل (8) أنه يلزم استخدام كلور بتركيز أولي  $0.5\text{mg/L}$  عند بداية الشبكة للمحافظة على تركيز الكلور المتبقي أكبر من  $0.1\text{mg/L}$  طبقاً للمواصفة السورية م.ق.س. 45:2017 [30] لحالتي التغذية  $48/2$  و  $48/3$ ، حيث تبين أنه عند استخدام نظام تغذية  $48/2$  واستخدام تركيز أولي  $0.4\text{mg/L}$  وجود 11 أنبوب انخفاض فيها تركيز الكلور المتبقي دون الحد المسموح لمدة 3 ساعات، وعند استخدام نظام التغذية  $48/3$  واستخدام تركيز أولي  $0.4\text{mg/L}$  يوجد 6 أنابيب انخفاض فيها تركيز الكلور المتبقي لمدة 3 ساعات، ولم يلاحظ وجود أي أنبوب ينخفض فيه تركيز الكلور المتبقي عن القيمة الدنيا المسموحة عند استخدام تركيز أولي عند بداية الشبكة  $0.5\text{mg/L}$ .

ويلاحظ من الشكل (9) أنه من الصعب المحافظة على كلور متبقي بتركيز فعال أكبر من  $0.1\text{ mg/L}$  عند تكرار التغذية كل 72h حتى مع استخدام تركيز أولي  $0.5\text{ mg/L}$ ، مما يؤكد على ضرورة عدم استخدام تكرار تغذية أكبر من مرة كل يومين.



الشكل (9): الزمن الذي ينخفض فيه تركيز الكلور المتبقي إلى  $C < 0.1\text{mg/L}$  ضمن عدد محدد من الأنابيب من أجل تكرار تغذية كل 72h ولمدة تغذية ساعتين وثلاث ساعات من أجل تراكيز أولية مختلفة

**المرحلة الثالثة:** تم في هذه المرحلة إجراء المحاكاة لدراسة انتشار الملوثات ضمن شبكة المياه والناجمة عن رشح مياه ملوثة عبر ثقب أو أكثر في أنابيبها، وقد اعتبر خلال المحاكاة أن تغذية الأبنية في ثلاث من العقد الطرفية يتم عبر خزانات أرضية بمقطع



دائري بسبب انخفاض الضغط، منسوب قاع الخزانات ينخفض عن منسوب أنابيب الشبكة بمقدار 2.0m، وتم حساب حجم الخزانات لاستيعاب احتياجات السكان في عقدة التغذية ليوم كامل ( $Q_{d,max}$ )، ثم تم حساب الطول المكافئ هيدروليكيًا لأنبوب وصل كل من الخزانات الثلاث إلى الشبكة، من أجل ذلك حسبت الغزارة اللازمة للبناء الواحد مع اعتبار تجهيز صحي بالحد الأدنى للشقة الواحدة واعتبار قطر أنبوب التغذية لكل بناء 40mm،  $K=1.0mm$ ، وذلك باستخدام طريقة الحساب المبسطة للكود الأوروبي BS-EN-806-3 [33]، فكانت الغزارة 2.25l/s، ويلخص الجدول (5) مواصفات الخزانات وأنابيب الوصل المكافئة المستخدمة.

تم إضافة تقبين على الشبكة في الأنبوبين الطرفين P-4 و P-7، قطر الثقب 2.0mm، وتم تمثيل طبقة المياه الجوفية بخزان Reservoir منسوب المياه فيه أعلى من منسوب الشبكة بـ 2.0mm واحد، تم وصل الخزانتين إلى كل من تقبي الشبكة عبر أنبوب قطره 2.0mm (مساوٍ لقطر الثقب)، وطوله 4.4mm مساوٍ لسماكة أنبوب الشبكة من الفونت المرن بقطر 80mm وفقاً للمواصفة BS ISO 2531:2009 [34]، و  $K=1.0mm$ .

الجدول (5): مواصفات الخزانات وأنابيب الوصل

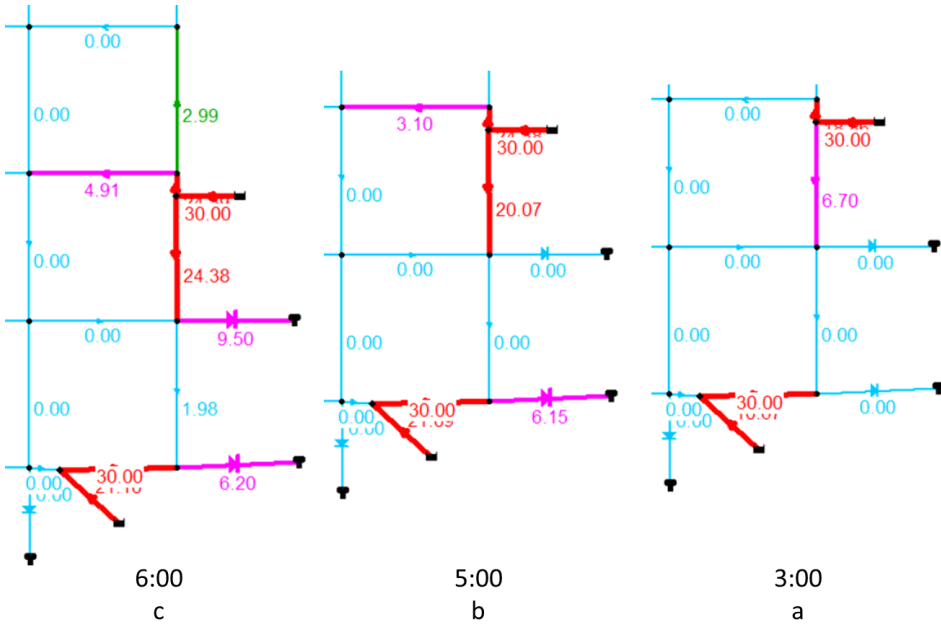
العقدة	الخزان Tank						
	الرقم	الحجم m <sup>3</sup>	القطر m	الارتفاع	الغزارة l/s	الأنبوب المكافئ القطر mm	الطول m
J20	T2	209.63	11.55	2	4.49	50	5.05
J24	T3	209.63	11.55	2	4.49	50	5.05
J25	T1	104.81	8.71	2	2.24	40	6.08

وقد تم اختيار مكان التقبين محققاً لشرتين، صغر قطر أنبوب الشبكة (80mm)، ووقوعهما في منطقة عمر المياه الطويل كما تم استعراضه سابقاً، ويمكن أن يكون كل من التقبين واقعاً على جدار الأنبوب مباشرة أو في منطقة اتصال وصلة منزلية.

تم حساب غزارة الرشح للتقبين لضغوط مختلفة باستخدام العلاقة (2)، ثم تم حساب معامل القاذف K من العلاقة (3)، فكانت  $K=0.0112$  وتم تعويضها في البرنامج.

واعتبرت طبقة المياه الجوفية ملوثة بمياه الصرف الصحي بتركيز  $COD=30 \text{ mg/L}$ . وتم خلال المحاكاة دراسة انتشار الملوث diffusion ضمن أنابيب الشبكة مع إهمال تأثير التفاعلات التي قد تجري ضمنها.

تم في البداية محاكاة التغذية بنظام 24/2، بعد 3 ساعات من بداية المحاكاة، ونتيجة لتشكيل ضغوط سلبية ضمن الشبكة بدأ دخول المياه الملوثة عبر التقنين باتجاه الخزائين إلى يمين الشبكة كما يظهر في الشكل (a-10)، حيث يعطي الشكل الضغوط في العقد وتركيز COD في أنابيب الشبكة. أما الشكلين b-10 و c-10 فيظهران تطور انتشار التلوث في أنابيب وعقد الشبكة بعد 5 و6 ساعات من بداية المحاكاة على الترتيب.

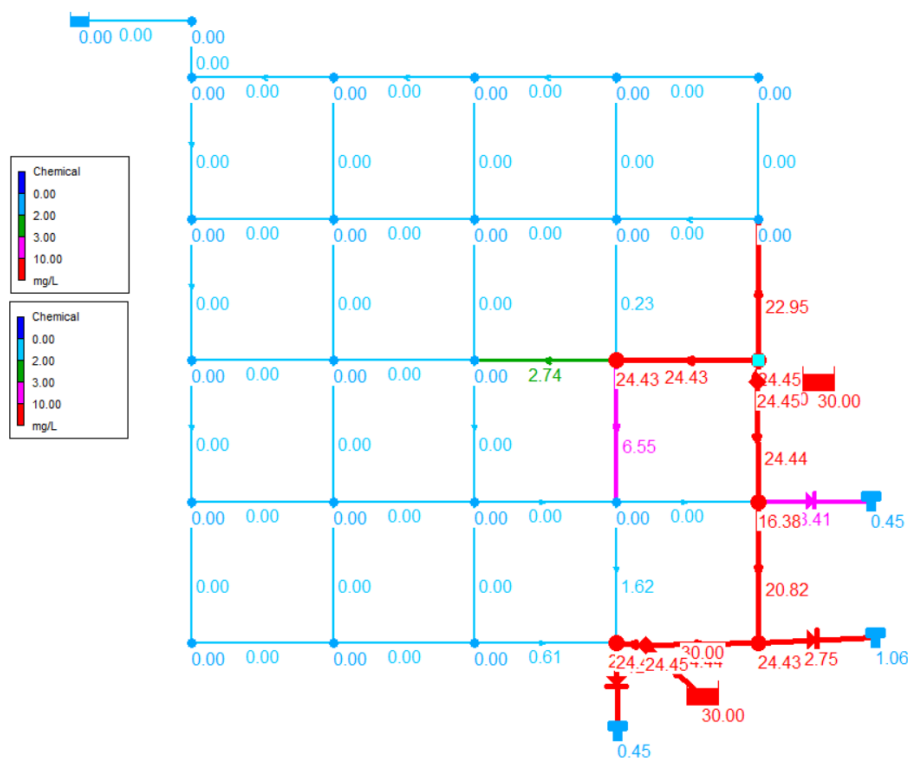


الشكل (10): تركيز COD أنابيب الشبكة لمدة تغذية 24/2

a: بعد 3 ساعات، b: بعد 5 ساعات c: بعد 6 ساعات من بداية المحاكاة

ويظهر الشكل (1) تركيز COD في نهاية فترة المحاكاة في عقد وأنابيب الشبكة لنظام تغذية 24/2. يلاحظ من الشكلين السابقين تجاوز قيمة COD القيمة المسموحة وفقاً

للمواصفة السورية لنوعية مياه الشرب م.ق.س. 45:2017 [30] وقدرها  $2\text{mg/L}$  في عدد من أنابيب الشبكة، كما يمكن ملاحظة وصول التلوث إلى خزانات مياه الأبنية، لكنه بقي ضمن الحدود المسموحة ضمنها. تم إعادة المحاكاة من أجل مدد مكث:  $48/2$  و  $24/3$  و  $48/3$  و  $24/4$  و  $48/4$  وتم تلخيص النسبة المئوية للأنابيب حيث قيمة  $\text{COD} > 2\text{mg/L}$  في الشكل (12).



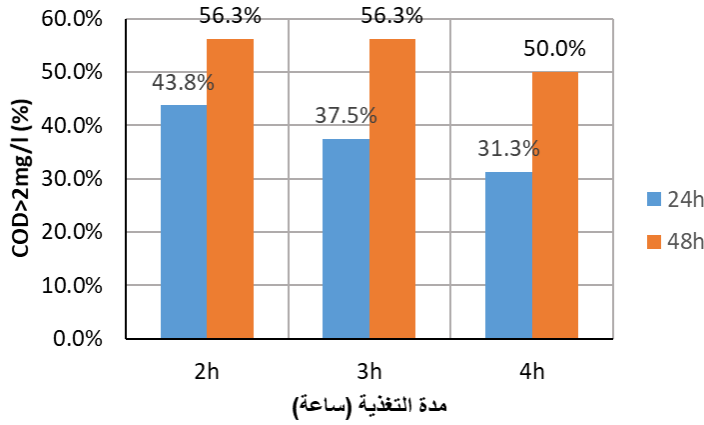
الشكل (11): تركيز COD في نهاية فترة المحاكاة في عقد وأنابيب الشبكة لمدة تغذية

24/2

وبلاحظ من الشكل (12) أن قيمة COD قد تجاوزت القيمة الحدية المسموحة في أكثر من 50% من الأنابيب عند تكرار التغذية كل 48h من أجل كل مدد التغذية المدروسة،

وتجاوزت القيمة المسموحة في أكثر من 30% من الأنابيب ووصلت إلى ما يقارب 40% من الأنابيب عند تكرار التغذية كل 24h حسب مدة التغذية.

وبالنتيجة فهناك خطر كامن لانتشار التلوث في أنابيب شبكة توزيع المياه ووصوله إلى خزانات الأبنية عند استخدام نظام التغذية المتقطعة، إذا استخدم السكان خزانات أرضية أو قاموا بالضخ مباشرة من الشبكة بسبب تشكل ضغوط سلبية، مما يشكل تهديداً واضحاً للصحة العامة.



الشكل (12): النسبة المئوية للأنابيب التي فيها  $COD > 2mg/L$ ، من أجل مدد تغذية مختلفة وتكرار تغذية مرة كل 24h وكل 48h

## 5. الاستنتاجات:

يمكن تلخيص نتائج البحث كالتالي:

1. قد يؤدي استخدام نظام التغذية المتقطعة إلى تشكل جيوب على أطراف الشبكة لاتتجدد المياه ضمنها، مما يتسبب بتراجع نوعية المياه، وتراجع الحالة الإنشائية للأنابيب مهما كان نوعها بسبب الصدأ والنشاط البكتيري.

2. يجب في حالة التغذية المتقطعة الانتباه لتراكيز الكلور المضاف عند بداية الشبكة والتأكد باستمرار من عدم انخفاض تركيز الكلور المتبقي على أطراف الشبكة عن القيمة الدنيا المسموحة، خصوصاً عند أي تغيير في تواتر التغذية أو عدد ساعاتها.

3. إن تشكل ثقب أو تشققات على جدران الأنابيب ولو كانت صغيرة يؤدي عند استخدام نظام التغذية المتقطعة إلى وجود خطر كامن لانتشار سريع للتلوث ضمن أنابيب الشبكة مهما كان تواتر التغذية، خصوصاً عند استخدام عدد ساعات تغذية منخفض (أقل من أربع ساعات)، مما يهدد الصحة العامة.

4. من وجهة نظر نوعية المياه، يفضل تجنب استخدام نظام التغذية المتقطعة كلما أمكن ذلك، لما له من آثار سلبية، تم إظهارها بشكل واضح من خلال البحث.

#### 6. التوصيات:

1. ينصح بعدم استخدام مدة تغذية ساعتين لأنها تؤدي إلى ارتفاع عمر المياه على أطراف الشبكة.

2. عند استخدام مدة تغذية ساعتين ينصح بإضافة تراكيز عالية من الكلور عند بداية الشبكة من أجل المحافظة على تركيز الكلور المتبقي أعلى من القيمة الدنيا المسموحة.

3. لا ينصح باستخدام تواتر تغذية مرة كل 48h أو أكثر لأنه يؤدي بشكل عام إلى زيادة عمر المياه في الشبكة، ويهدد بتراجع نوعية المياه وتراجع الحالة الإنشائية للأنابيب وزيادة احتمال تعرضها للتقرب.

4. عند استخدام تواتر تغذية مرة كل 48h أو أكثر ينصح بإضافة تراكيز عالية من الكلور عند بداية الشبكة للمحافظة على تركيز كلور متبقي أعلى من القيمة المسموحة.

.7 .المراجع:

- .1 Mohammed, A.B. and A.A. Sahabo, *Water Supply and distribution problems in developing countries: A case study of Jimeta–Yola, Nigeria*. Int. J. Sci. Eng. Appl. Sci, 2015. **1**: p. 473–483.
- .2 Vairavamoorthy, K., et al. *Design of sustainable water distribution systems in developing countries*. in *Bridging the Gap: Meeting the World's Water and Environmental Resources Challenges*. 2001.
- .3 Fontanazza, C., G. Freni, and G. La Loggia, *Analysis of intermittent supply systems in water scarcity conditions and evaluation of the resource distribution equity indices*. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 2007. **103**.
- .4 Vairavamoorthy, K., S.D. Gorantiwar, and S. Mohan, *Intermittent water supply under water scarcity situations*. Water International, 2007. **32** : (1)p. 121–132.
- .5 Mohapatra, S., A. Sargaonkar, and P.K. Labhasetwar, *Distribution network assessment using EPANET for intermittent and continuous water supply*. Water resources management, 2014. **28**(11): p. 3745–3759.
- .6 Totsuka, N., N. Trifunovic, and K. Vairavamoorthy, *Intermittent urban water supply under water starving situations*. 2004.

- .7 McIntosh, A., *Asian water supplies: reaching the urban poor*. 2003: Asian Development Bank.
- .8 Ainsworth, R.G., *Safe piped water*. 2004: Iwa Publishing.
- .9 Batish, R. *A new approach to the design of intermittent water supply networks*. in *World Water & Environmental Resources Congress 2003*. 2003.
- .10 Tinker, S.C., et al., *Drinking water residence time in distribution networks and emergency department visits for gastrointestinal illness in Metro Atlanta, Georgia*. *Journal of water and health*, 2009. 7(2): p. 332–343.
- .11 DiGiano, F.A., W. Zhang, and A. Travaglia, *Calculation of the mean residence time in distribution systems from tracer studies and models*. *Journal of Water Supply: Research and Technology—Aqua*, 2005. 54(1): p. 1–14.
- .12 Lee, E.J. and K.J. Schwab, *Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries*. *Journal of water and health*, 2005. 3(2): p. 109–127.
- .13 Servais, P., P. Laurent, and G. Randon, *Comparison of the bacterial dynamics in various French distribution systems*. *AQUA—LONDON THEN OXFORD—JOURNAL OF THE INTERNATIONAL WATER SUPPLY ASSOCIATION—*, 1995. 44: p. 10–10.
- .14 LeChevallier, M.W., et al., *Examining the relationship between iron corrosion and the disinfection of biofilm*

- bacteria*. Journal- American Water Works Association, 1993. **85**(7): p. 111–123.
- .15 Schmidt, W., et al., *Biofilmbildung an modifizierten SiO<sub>2</sub>-Schutzschichte*. Vom Wasser, 2002. **98**: p. 177–192.
- .16 LeChevallier, M.W., T.M. Babcock, and R.G. Lee, *Examination and characterization of distribution system biofilms*. Applied and environmental microbiology, 1987. **53**(12): p. 2714–2724.
- .17 Karim, M.R., M. Abbaszadegan, and M. LeChevallier, *Potential for pathogen intrusion during pressure transients*. Journal- American Water Works Association, 2003. **95**(5): p. 134–146.
- .18 Abu–Ashour, J., et al., *Transport of microorganisms through soil*. Water, Air, and Soil Pollution, 1994. **75**(1): p. 141–158.
- .19 Gerba, C.P., J.L. Melnick, and C. Wallis, *Fate of wastewater bacteria and viruses in soil*. Journal of the irrigation and drainage division, 1975. **101**(3): p. 157–174.
- .20 Andey, S.P. and P.S. Kelkar, *Performance of water distribution systems during intermittent versus continuous water supply*. Journal- American Water Works Association, 2007. **99**(8): p. 99–106.
- .21 Morgan, K.C., *Managing Water Main Breaks: Field Guide*. 2012: American Water Works Association.



- .22 Christodoulou, S. and A. Agathokleous, *A study on the effects of intermittent water supply on the vulnerability of urban water distribution networks*. Water Science and Technology: Water Supply, 2012. **12**(4): p. 523–530.
- .23 Rossman, L.A., et al., *EPANET 2.2 users manual*. 2020: U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-20/133, 2020.
- .24 Trifunovic, N., *Introduction to urban water distribution*. Second Edition ed. Unesco–IHE lecture note series. Vol. 1. 2020: CRC Press.
- .25 Al–Mofti, M.B., *Using of pressure–driven analysis (PDA) for the evaluation of the water distribution networks performance during intermittent supply*. Journal of Al–Baath University, Syria, Homs, 2021. **43**.
- .26 Standard, E., *BS EN 805:2000, Water supply Requirements for systems and components outside buildings, English version*. 2000, BSI. p. 70.
- .27 Baur, A., et al., *Mutschmann/Stimmelmayer Taschenbuch der Wasserversorgung*. 2019: Springer–Verlag.
- .28 Walski, T.M., et al., *Advanced water distribution modeling and management*. First Edition ed. 2007: Bentley Institute Press.
- .29 Association, A.W.W., *AWWA Water Operator Field Guide*. Denver: American Water Works Association.[Google Scholar], 2004.

- .30 SASMO, T.S.A.O.F.S.M., *Drinking water quality SNS 45:2017*. 2017: Damascus, Syria.
- .31 Simard, A., G. Pelletier, and M. Rodriguez, *Water residence time in a distribution system and its impact on disinfectant residuals and trihalomethanes*. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 2011. **60**(6): p. 375–390.
- .32 Rossman, L.A., R.M. Clark, and W.M. Grayman, *Modeling chlorine residuals in drinking–water distribution systems*. *Journal of environmental engineering*, 1994. **120**(4): p. 803–820.
- .33 Standards, B., *BS-EN-806-3:2006*, in *Part 3: Pipe sizing — Simplified method*. 2006, BSi. p. 18.
- .34 (ISO), I.O.f.S., *BS ISO 2531:2009*, in *Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water applications*. 2011, BRITISH STANDARD. p. 82.

## النموذج الاحصائية لتغيرات درجات الحرارة (محطة حمص المناخية نموذجاً)

م. رزان محمود الزير طالبة دراسات عليا (دكتوراة) في قسم الموارد المائية كلية

الهندسة المدنية جامعة البعث

أ.د. إيهاب خالد عبدالله أستاذ في قسم الموارد المائية

كلية الهندسة المدنية جامعة البعث

### ملخص

يعد التغير المناخي وخاصة الارتفاع بدرجات الحرارة واحد من أهم المشاكل التي تواجه العالم حالياً، وتأتي أهمية هذه الدراسة من الحاجة إلى وضع نماذج قادرة على التنبؤ بقيم درجات الحرارة، حيث أن أبرز التغيرات المناخية هي التغيرات الناجمة عن ارتفاع درجة حرارة الهواء والتي تؤثر بدورها على العناصر المناخية الأخرى، وتعدّ درجة حرارة الهواء من أهم العناصر المناخية.

تم في هذه الدراسة إيجاد النموذج المناسب للتنبؤ بدرجات الحرارة الشهرية باستخدام النماذج الاحصائية ، (حيث تبين وجود اتجاه عام متزايد والسلسلة غير مستقرة في المتوسط) ، تم استخدام أسلوب بوكس - جنكنز ( Box - Jenkines ) في تحليل السلاسل الزمنية، وتحديد نماذج الانحدار الذاتي و المتوسطات المتحركة التكاملية الموسمية SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)<sub>s</sub> المناسبة للبيانات المتوفرة، وقد تبين أن النموذج SARIMA(4,1,1)(1,1,1)<sub>12</sub> هو النموذج المناسب لسلسلة القياسات الشهرية لدرجات الحرارة من 2005/10 وحتى 2009/11، والتي تم الحصول عليها من محطة حمص المناخية .

**الكلمات المفتاحية:** سلاسل زمنية، درجات الحرارة، نموذج الانحدار الذاتي، الارتباط الذاتي، نموذج احصائي.

# Statistical Modeling Of Temperature Changes (case study of Homs climate station)

Eng. Razan Al Zir Graduate Student (PHD) in Water Resources Management and Engineering, Faculty of Civil Engineering, AlBaath University

Prof. Eng. Ehab Abdullah Professor in Water Resources Management and Engineering, Faculty of Civil Engineering, AlBaath University

## ABSTRACT

Climate change, particularly rising temperature, is one of the important problem facing the world today. The importance of this study comes from the need of finding prediction models of temperature because the most distinguish climate change is the temperature change which impacts the other climate elements.

This study finds appropriate predictive model for temperature using statistical models and we noticed that there is an increasing trend so the sere is not stable of the Median .In this study , We used (box-jenkins) method in time series analysis and definition Seasonal Autoregressive integrated Moving Average Models (SARIMA) (p,d,q) (P,D,Q) for available data, and we find out that the model SARIMA(4,1,1)(1,1,1)<sub>12</sub> is the appropriate model for monthly Data from 10/2005 to 11/2009 were obtained from Homs climate station.

**Keywords:** time series, temperature, auto regression model, autocorrelation, statistical model .

## 1 - مقدمة :

تعد عملية التنبؤ من المسائل الشائعة في العديد من مجالات العلوم ، وبالنظر لأهمية السلاسل الزمنية فان العديد من الأعمال يمكن ملاحظتها في الأدبيات حول هذه المواضيع، وبصورة خاصة تلك التي تعتمد على النماذج الإحصائية Statistical Models، ويوجد العديد من الأساليب الممكنة لوصف السلوك الزمني، ويعد أسلوب بوكس - جنكنز أسلوبًا جذابًا في تحليل السلاسل الزمنية، إذ يزودنا بمنهجية نمذجة إحصائية شاملة ويغطي تنوعًا واسعًا من الأنماط، تمتد من الاستقرار إلى عدم الاستقرار والموسمية للسلاسل الزمنية [1].

يُعزى الاهتمام الكبير بموضوع المتسلسلات الزمنية إلى الحاجة الماسة لنظام تنبؤ موثوق به، بحيث يمكن الاعتماد عليه في تفسير كثير من الظواهر في مختلف مجالات الحياة، وهذا النظام يتطلب بناء نماذج دقيقة تسمى بنماذج المتسلسلات الزمنية التي يمكن تصنيفها بناءً على عدد متغيرات النموذج، فنموذج المتسلسلة الزمنية الذي يحتوي على متغير واحد فقط يسمى بنموذج متسلسلة زمنية ذي متغير واحد Univariate Time Series Model، وهذا النوع من النماذج تستخدم فيه البيانات الحالية والسابقة عن متغير واحد فقط، فمثلاً للتنبؤ بمعدل الجريان الشهري في الشهر القادم أو بعد شهرين من الآن باستخدام نموذج ذي متغير واحد تستخدم فقط البيانات الحالية والسابقة عن الجريان، وعند صياغة هذا النموذج يفترض ضمناً عدم تغير العوامل الأخرى التي تؤثر في الجريان أو توقع تغيرها. أما نموذج المتسلسلة الزمنية الذي يستخدم متغيرات أخرى لوصف سلوك المتسلسلة الزمنية محل الدراسة فيسمى بنموذج متسلسلة زمنية متعدد المتغيرات Multivariate Time Series Model ويسمى النموذج الذي يصف العلاقة الحركية Dynamic Relation بين المتغيرات بنموذج دالة التحويل Transfer Function Model [2]، وتوجد عدة طرائق لتحليل السلاسل الزمنية Time Series Analyses Method و صياغة نماذج التنبؤ منها:

- أسلوب التحليل التجريبي The empirical mode decomposition.

- تحليل السلاسل الزمنية باستخدام النماذج الهيدرولوجية الإحصائية Time

.Series Analyses by Stochastic Hydrology Models

وسناقش في هذا البحث أسلوب بوكس - جنكنز ( Box - Jenkines ) في تحليل السلاسل الزمنية [11].

## 2- أهمية البحث و أهدافه :

تأتي أهمية هذه الدراسة من الحاجة إلى وضع نماذج قادرة على التنبؤ بقيم درجات الحرارة، حيث أن أبرز التغيرات المناخية هي التغيرات الناجمة عن ارتفاع درجة حرارة الهواء والتي تؤثر بدورها على العناصر المناخية الأخرى، وتعدّ درجة حرارة الهواء من أهم العناصر المناخية، وتأخذ القدرة على التنبؤ لهذا العنصر أهمية خاصة كونها تشكّل مدخل أساسي في تقدير النتج تبخر بشكل مباشر وكافة العمليات الزراعية وعمليات الري بشكل غير مباشر وعليه فإن هذا البحث يهدف إلى :

- تحديد نموذج مناسب من نماذج ARIMA لسلسلة القياسات الشهرية لدرجات الحرارة .
- تقدير معالم النماذج من البيانات المشاهدة باستخدام طرائق التقدير الإحصائي الخاصة بالمتسلسلات الزمنية.
- تشخيص واختبار النماذج بإجراء اختبارات تفحصيه على أخطاء التطبيق Fitting Errors لمعرفة مدى تطابق المشاهدات مع القيم المحسوبة من النموذج المرشح، للوصول إلى نماذج تحقق كل الخصائص الإحصائية المطلوبة.
- توليد سلسلة مستقبلية لدرجات الحرارة .

## 3- مواد وطرائق البحث :

### 3-1 مفهوم تحليل السلاسل الزمنية Time Series Analyses :

السلسلة الزمنية هي متوالية من القيم المشاهدة مرتبة تبعاً للزمن، وإن المشاهدات المتتالية تكون عادة غير مستقلة أي تعتمد على بعضها البعض، وتكون المتسلسلة الزمنية على نوعين، متقطعة Discrete ومستمرة Continuous، فإذا كانت

الظاهرة مقاسه بفترات زمنية متقطعة عندئذ تسمى بالمتسلسلة الزمنية المتقطعة، وإذا كانت قيم الظاهرة مقاسه بفترات زمنية مستمرة فتسمى بالمتسلسلة الزمنية المستمرة [1].

يعتبر تحليل السلاسل الزمنية من الأساليب الإحصائية الهامة التي تُستخدم في التنبؤ بقيم الظواهر العشوائية في المستقبل، من خلال إيجاد نظام تنبؤ موثوق به يمكن الاعتماد عليه، وتتمثل العملية في نمذجة المشاهدات الزمنية المترابطة، وكيفية التنبؤ عن المشاهدات المستقبلية باستخدام البيانات السابقة، ويهدف تحليل السلاسل إلى [3]:

1- الحصول على وصف دقيق للملامح الخاصة للطور العشوائي الذي سيولد المتسلسلة الزمنية.

2- إنشاء نموذج لتفسير وشرح سلوك المتسلسلة الزمنية، وذلك بدلالة متغيرات أخرى تربط القيم المشاهدة ببعض قواعد هذا السلوك.

3- استخدام النتائج التي نحصل عليها من البندين السابقين للتنبؤ بسلوك المتسلسلة الزمنية في المستقبل وذلك اعتماداً على معلومات الماضي، فالبند الأول يفترض وجود قوة دافعة كافية من النظام تؤكد أن سلوك المتسلسلة الزمنية في الماضي هو نفس سلوكها الذي سيكون في المستقبل، وأما البند الثاني فيعطينا تبصراً أكبر بالقوة المؤثرة في الطور المولد للمتسلسلة الزمنية واستغلال ما سيبدو لنا للحصول على تنبؤات أكثر دقة .

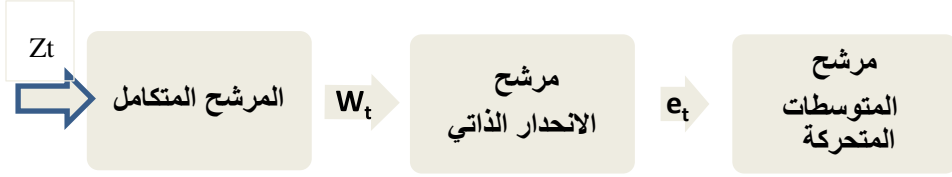
4- التحكم في الطور العشوائي الذي سيولد المتسلسلة الزمنية، وذلك من خلال فحص ما يمكن حدوثه عند تغير وسيط أو أكثر من وسطاء النموذج المفترض، ومن ثم البحث في التوصل إلى أساسيات واستراتيجيات تستخدم للتدخل عندما ينحرف الطور العشوائي المولد للمتسلسلة الزمنية عن الهدف المحدد بأكثر من مقدار معين مسموح به .

### 3-2- أسلوب بوكس - جنكنز ( Box - Jenkines ) في تحليل السلاسل الزمنية:

يعتمد هذا الأسلوب على استنتاج التغيرات المتوقعة للبيانات المشاهدة، وتتجزأ السلسلة الزمنية إلى ثلاثة مرشحات خطية هي: مرشح السكون ( المتكامل )، مرشح الانحدار الذاتي، مرشح المتوسطات المتحركة. ويمكن اعتبار أسلوب بوكس - جنكنز

## النمذجة الاحصائية لتغيرات درجات الحرارة (محطة حمص المناخية نموذجاً)

سلسلة من المناخل تمر عبرها بيانات السلسلة الزمنية، وعند مرور البيانات خلالها فإنه يتبقى بعض العناصر المميزة للسلسلة [1].



### 3-2-1 - المرشح المتكامل :

يهدف المرشح المتكامل إلى تحويل سلسلة غير ساكنة No stationary data إلى سلسلة ساكنة إذا تحقق في السلسلة الآتي.

$$E(Z_t) = \mu$$

ثبات قيمة الوسط الحسابي للسلسلة

$$\text{Var}(z_t) = E[(z_t - \mu)^2] = \sigma^2$$

ثبات التباين لجميع قيم t

$$E[(z_t - \mu)(z_s - \mu)] / \sigma^2 = \rho_{t-s}$$

استقلال معاملات الارتباط الذاتي بين  $Z_s$  و  $Z_t$  عن كل من s و t وأنها تعتمد فقط على الفجوة الزمنية بين s و t .

حيث  $Z_t$ : قيمة السلسلة عند الخطوة t

$Z_s$  قيمة السلسلة عند الخطوة التي تبعد فجوة s عن t

$\mu$  متوسط البيانات

$\sigma$  الانحراف المعياري لبيانات السلسلة

$\rho_{t-s}$  عامل الارتباط الذاتي للبيانات بين  $Z_s$  و  $Z_t$

إن أغلب السلاسل الزمنية هي سلاسل غير ساكنة، ويمكن من الرسم البياني للسلسلة معرفة فيما إذا كانت السلسلة ساكنة أم لا، ويمكن تحويل السلسلة الزمنية غير الساكنة إلى سلسلة ساكنة باستخدام الخطوات الآتية:

### 3-2-1-1 - إزالة الاتجاه العام:

تتميز العديد من السلاسل الزمنية بوجود تغيرات ذات اتجاه عام أي تغير منتظم في مستوى السلسلة الزمنية، وقد اقترح الكثير من الباحثين طرقاً عدة لإزالة الاتجاه العام منها:



الاتجاه العام خطي: يمكن كتابة نموذج الانحدار وفق الصيغة الآتية:

$$Z_t = \beta_0 + \beta_1 t + a_t \quad (1)$$

الاتجاه العام كثير حدود: ويأخذ النموذج الصيغة الآتية :

$$Z_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + a_t \quad (2)$$

ويفترض في هذه النماذج أن الاتجاه العام ثابت ومحدد أي غير عشوائي.

طريقة الفروق: استخدم Box and Jenkins طريقة تسمى الفروق المتتالية (Consecutive Differencing)، وثبتت بالتجربة أنها من أفضل الطرق لإزالة الاتجاه العام من السلاسل الزمنية [6].

### 3-2-1-2 - تثبيت التباين:

يمكن تثبيت التباين باستخدام طريقة (Cox-Box)، من خلال إيجاد التحويل  $T(z_t)$ ، الذي يحول السلسلة إلى سلسلة مستقرة ويستخدم معامل الالتواء (Skewness coefficient) لانحراف السلسلة عن التوزيع الطبيعي [2].

يعطي التحويل  $y_t = T(z_t) = \frac{z_t^\lambda - 1}{\lambda}$  سلسلة مستقرة في التباين، حيث

$\lambda \in (-\infty, \infty)$  هو معلم التحويل ويمكن إيجاد قيمة  $\lambda$  باستخدام طريقة المحاولة والخطأ، بإيجاد قيمة  $\lambda$  التي تجعل السلسلة ذات توزيع طبيعي.

### 3-3-1-2 - التغيرات الموسمية :

تُظهر العديد من السلاسل الزمنية تأثيرات متشابهة سنوية أو شهرية بدرجة عالية من الانتظام، تُعرف هذه التأثيرات بالتغيرات الموسمية، وينصح بشكل عام بإزالة الاتجاه العام من السلسلة قبل دراسة أثر التغيرات الموسمية، وتوجد طرائق عديدة للتعامل مع التغيرات الموسمية، منها طريقة التعديل الذاتي أو طريقة الفروق الموسمية (seasonal differencing) لإزالة العنصر الموسمي.

### 3-4-1-2 - المركبة الدورية:

التغيرات الدورية هي قوى تنشأ عندما تكون السلسلة الزمنية إما سنوية أو فصلية، وتنشأ في فترات زمنية متساوية، وتتطلب فترة محددة لتعيد نفسها مرة أخرى .

### 3-2-2 - مرشح الانحدار الذاتي :

تتولد سلسلة زمنية ما  $\{ z_1, z_2, \dots, z_{n-1}, z_n \}$  بناءً على عملية انحدار ذاتي من الدرجة (p) ويرمز له  $AR(p)$ ، إذا أمكن التعبير عن المشاهدة الحالية للسلسلة  $Z_t$  كدالة خطية في المشاهدات السابقة لها، بالإضافة إلى متغير عشوائي [5]:

$$Z_t = \delta + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t \quad (12)$$

حيث  $\phi_p = \phi_1, \phi_2 \dots \phi_p$  هي معالم الانحدار الذاتي و  $a_t$  متغير عشوائي. أو الشكل

$$\phi_p(B)z_t = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)z_t \quad (13)$$

حيث  $B$  عامل الإزاحة الخلفي وله الشكل الآتي :  $1 - Bz_t = z_{t-1}$

### 3-2-3 - نموذج المتوسط المتحرك :

تتولد سلسلة زمنية ما بناءً على عملية متوسط متحرك من الدرجة (q) ويرمز له  $MA(q)$  إذا أمكن التعبير عن المشاهدة الحالية للسلسلة  $Z_t$  كدالة خطية في التغير الحالي  $a_t$  و التغيرات العشوائية السابقة  $a_{t-q}$  ويمكننا التعبير عن هذه العملية رياضياً كالتالي:

$$Z_t = \delta + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (14)$$

حيث:  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  هي معالم المتوسط المتحرك .

$$\theta_q(B)a_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)a_t \quad (15) \text{ أو}$$

### 3-2-4 - مرشح الانحدار الذاتي - نموذج المتوسط المتحرك :

تولد سلسلة زمنية بناءً على عملية انحدار ذاتي \_ متوسط متحرك من الدرجة (p , q) ويرمز له  $ARMA(p, q)$ ، إذا أمكن التعبير عن المشاهدة الحالية للسلسلة  $Z_t$ ، كدالة خطية في المشاهدات السابقة و التغير الحالي  $a_t$  والتغيرات العشوائية السابقة  $a_{t-q}$  ويمكننا التعبير عن هذه العملية رياضياً على الشكل [ 4 ] :

$$Z_t = \delta + \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (16)$$

$$\phi_p(B)Z_t = \delta + \theta_q(B)a_t \quad (17) \text{ أو}$$

### 3-2-5 - نماذج السلاسل الزمنية غير المستقرة Nonstationary Time Series Models

يمكن دراسة السلسلة الزمنية غير الساكنة باستخدام نماذج الانحدار الذاتي والمتوسطات المتحركة التكاملية الموسمية  $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$  والتي لها الشكل [ 10 ]:

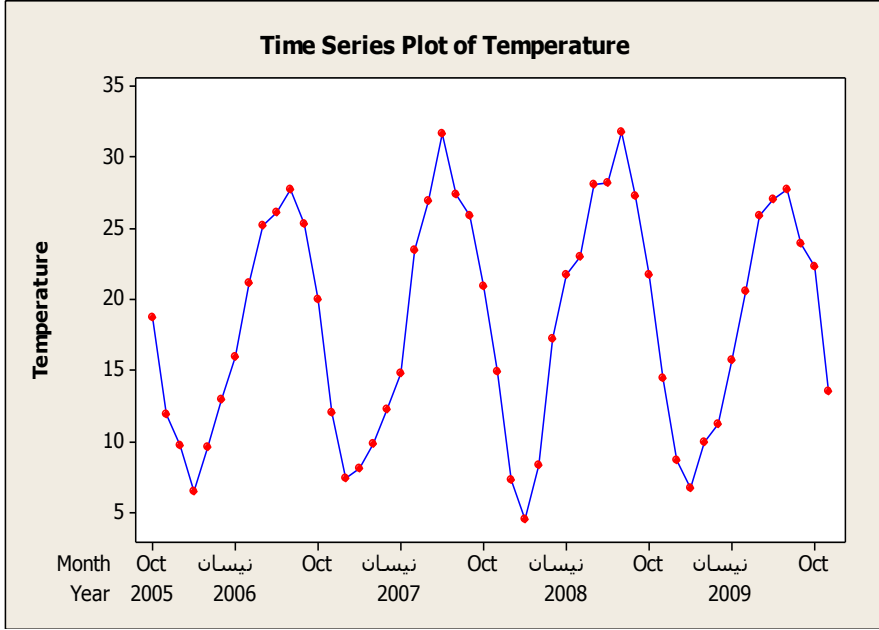
$$\phi_t(B)\Phi(B^s)(1-B)^d(1-B)^D z_t = \delta + \theta_q(B)\Theta(B^s)a_t \quad (18)$$

- p : رتبة عملية الانحدار الذاتي.
- d : عدد الفروق اللازمة لتحقيق السكون.
- q : رتبة عملية المتوسطات المتحركة.
- P : رتبة عملية الانحدار الذاتي الموسمية.
- D : عدد الفروق الموسمية اللازمة لتحقيق السكون.
- Q : رتبة عملية المتوسطات المتحركة الموسمية.
- $\Theta$  : معالم المتوسط المتحرك الموسمي.
- $\Phi$  : معالم الانحدار الذاتي الموسمي.

#### 4- النتائج ومناقشتها:

#### - تحليل سلسلة درجات الحرارة :

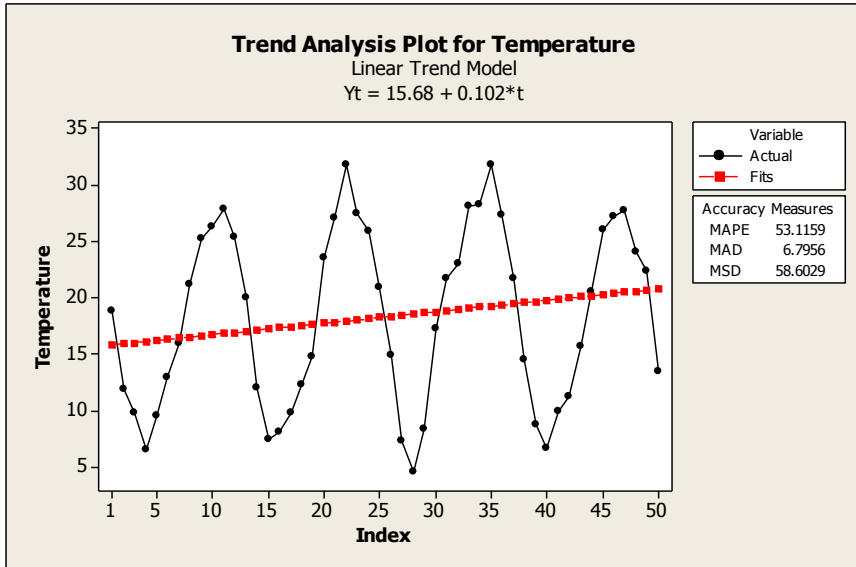
تتكون السلسلة الزمنية من قيم درجات الحرارة الشهرية من 2005/10 وحتى 2009/11، ويبين الشكل ( 1 ) الرسم البياني للسلسلة المدروسة .



الشكل ( 1 ) : سلسلة درجات الحرارة الشهرية

#### 4 - 1 - إزالة الاتجاه العام:

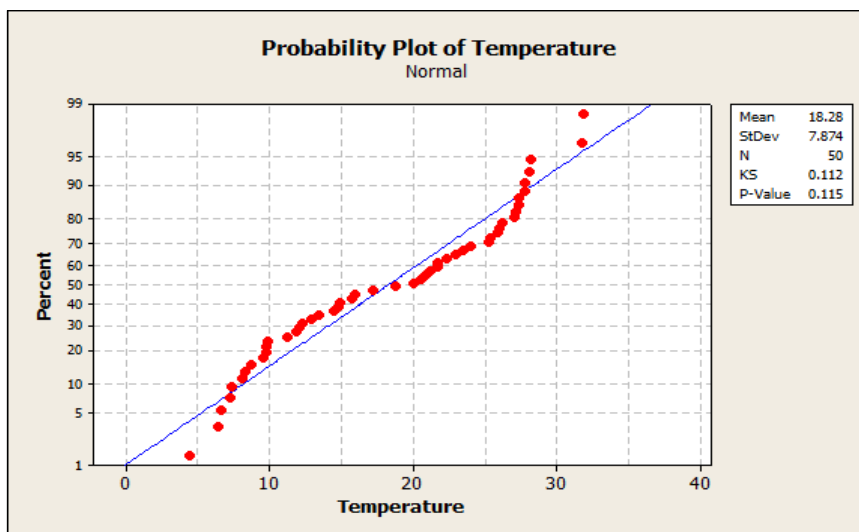
نوضح الاتجاه العام للسلسلة ومعادلته في الشكل رقم (2)



الشكل ( 2 ) : الاتجاه العام ومعادلته للسلسلة الزمنية لقيم درجة الحرارة

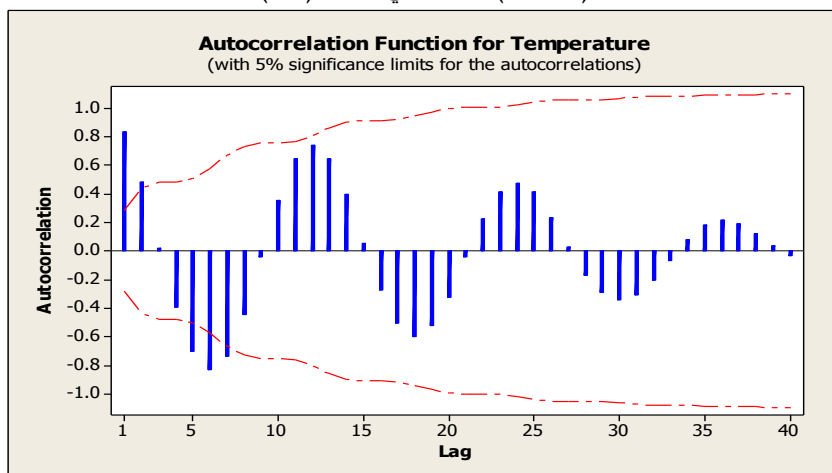
نلاحظ من الشكل ( 2 ) وجود اتجاه عام متزايد فالسلسلة غير مستقرة في المتوسط .

نقوم باختبار التوزيع الطبيعي للسلسلة من خلال طريقة (Kolmogorov – Smirnov) كما هو موضح في الشكل ( 3 )



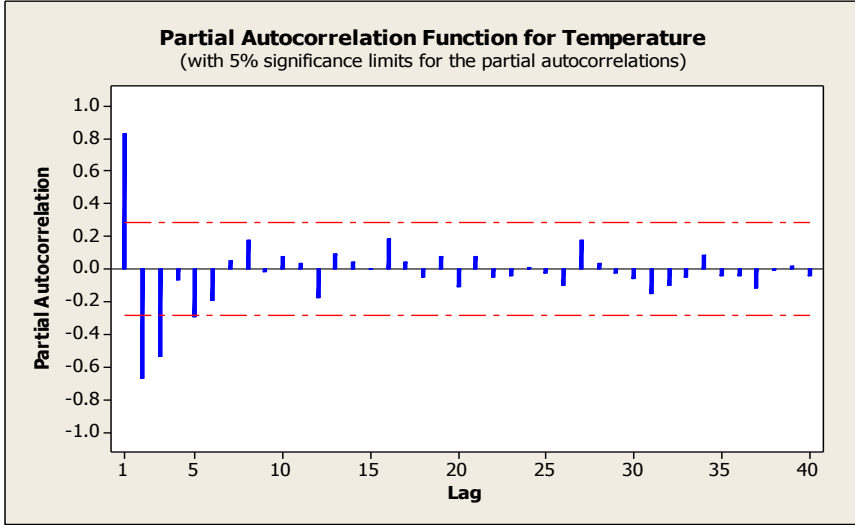
الشكل ( 3 ) : اختبار التوزيع الطبيعي لسلسلة درجات الحرارة

ونلاحظ أن السلسلة تخضع للتوزيع الطبيعي ( $p\text{-value} > 0.05$ ) فالسلسلة مستقرة في التباين. ثم نوجد دالة الارتباط الذاتي (ACF) المبينة في الشكل ( 4 ) ودالة الارتباط الذاتي الجزئي (PACF) المبينة في الشكل ( 5 )



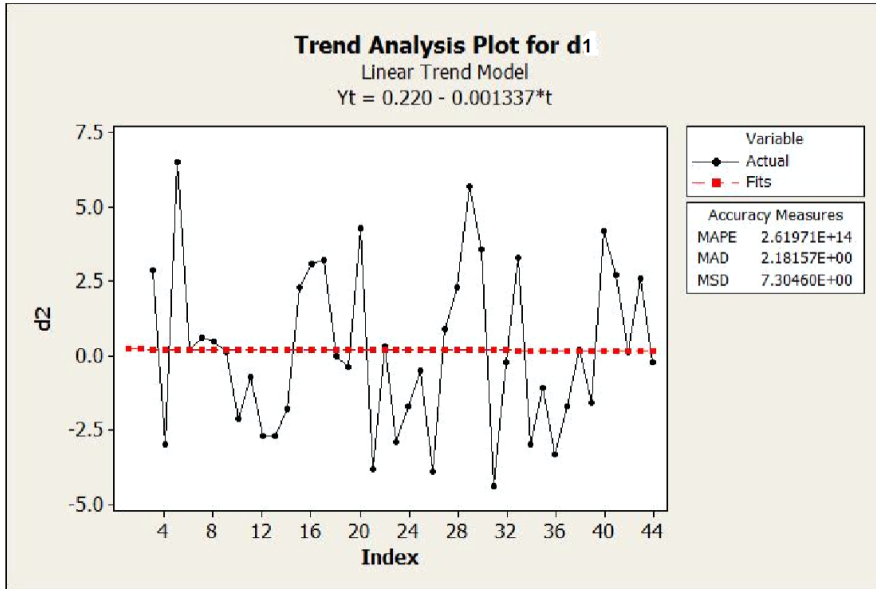
الشكل (4) دالة الارتباط الذاتي لسلسلة درجات الحرارة

النمذجة الاحصائية لتغيرات درجات الحرارة (محطة حمص المناخية نموذجاً)



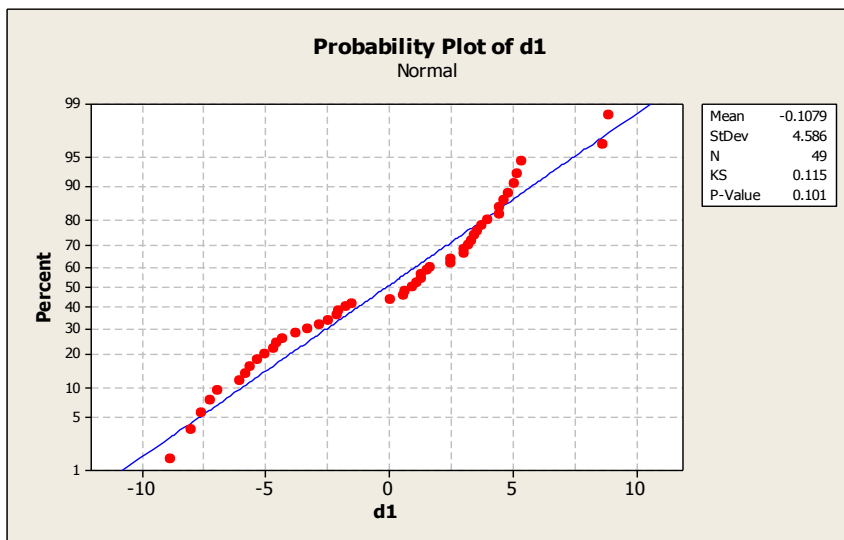
الشكل ( 5 ) دالة الارتباط الذاتي الجزئي لسلسلة درجات الحرارة

نلاحظ أن هذه السلسلة غير مستقرة ، نقوم بالتفريق الأول ونوضح السلسلة الجديدة والاتجاه العام لها في الشكل (6)



الشكل ( 6 ) الاتجاه العام للسلسلة الجديدة بعد التفريق الأول

نلاحظ ثبات المتوسط بعد التفريق الاول ، وبقاء السلسلة بتوزيع طبيعي كما هو مبين في الشكل (7).

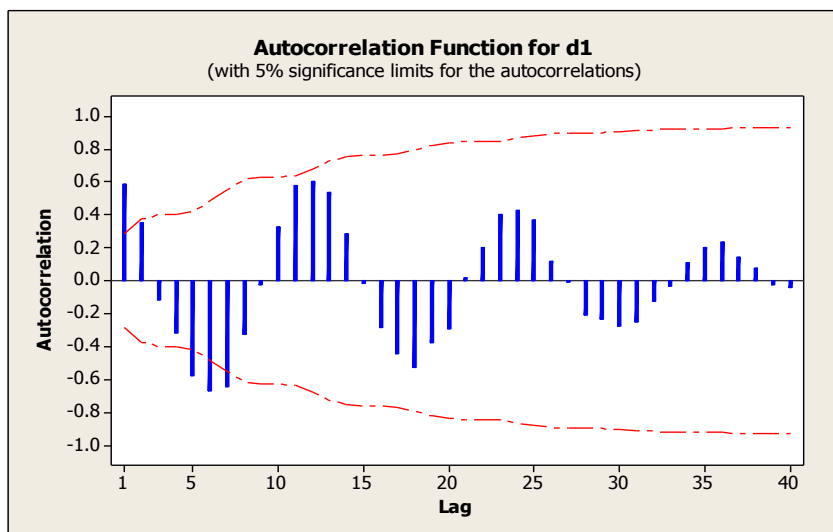


الشكل (7) : اختبار التوزيع الطبيعي للسلسلة الجديدة

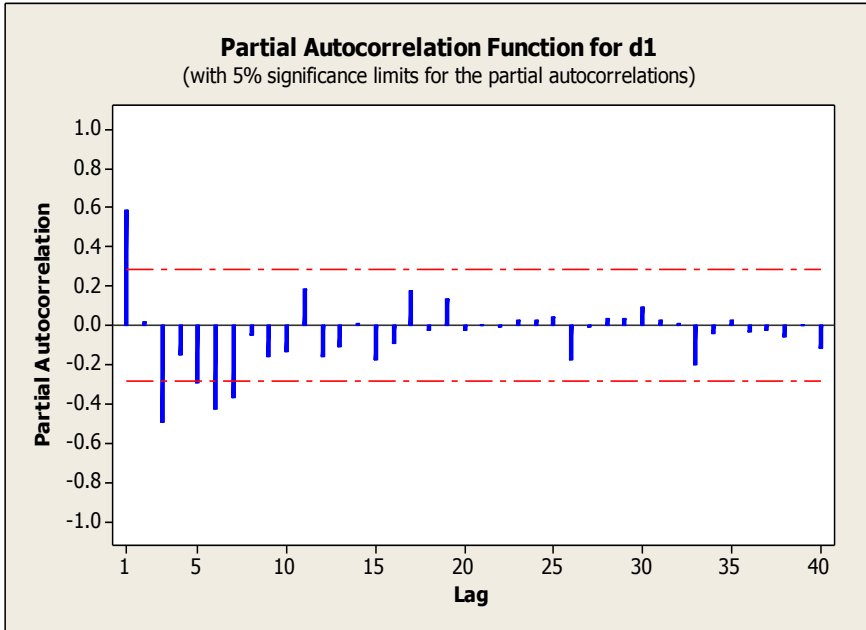
نلاحظ أن التفريق الاول أدى إلى تثبيت المتوسط مع بقاء التوزيع الطبيعي للسلسلة حيث أن  $(P\text{-value} > 0.05)$ .

نوجد دالة الارتباط الذاتي للسلسلة الجديدة الشكل (8) والذاتي الجزئي الشكل

(9)

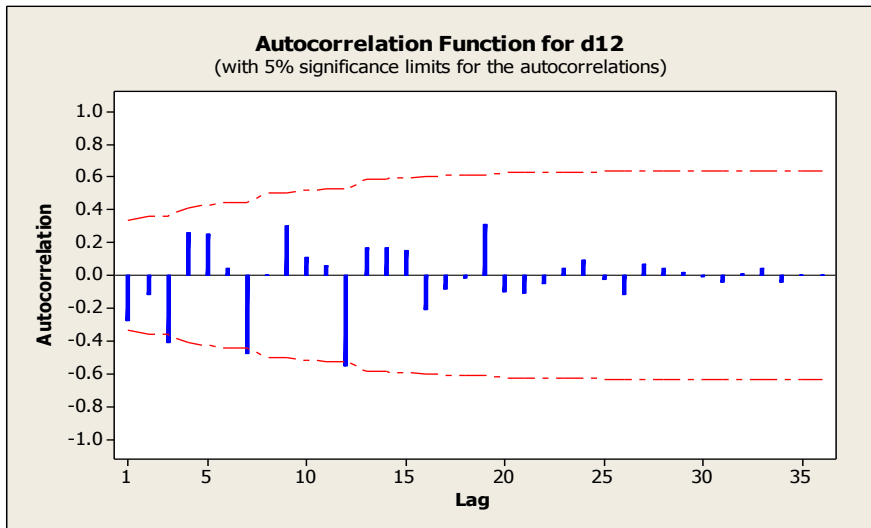


الشكل (8) دالة الارتباط الذاتي للسلسلة الجديدة بعد اجراء التفريق الاول



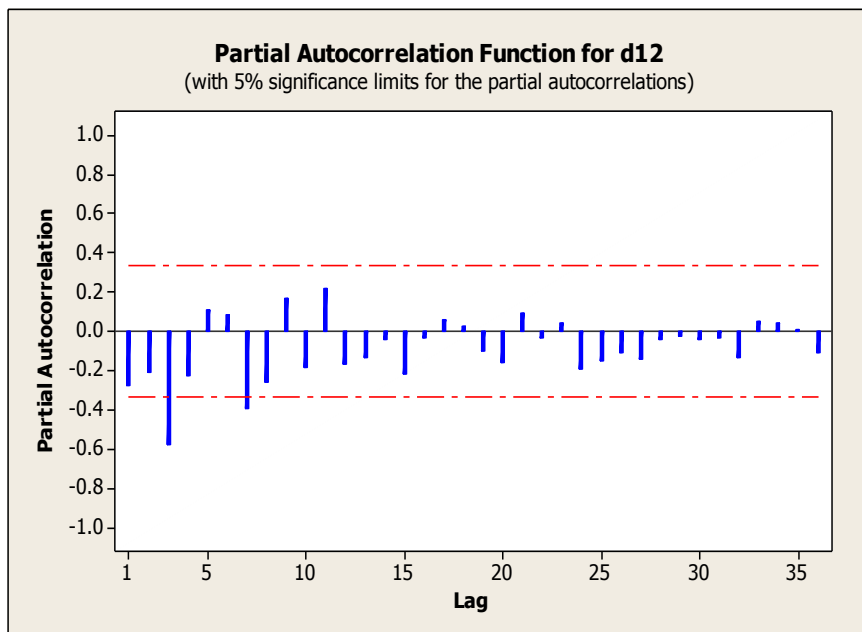
الشكل (9) دالة الارتباط الذاتي الجزئي للسلسلة الجديدة بعد اجراء التفريق الاول

نلاحظ من دالة الارتباط الذاتي والذاتي الجزئي أن السلسلة غير مستقرة موسمياً حيث يوجد تخامد بطيء بالإضافة إلى الدورية، مما يدل على وجود مركبة موسمية ضمن سلسلة البيانات، نجري التفريق 12 ونرسم الارتباط الذاتي الشكل (10)، والارتباط الذاتي الجزئي من جديد الشكل (11)



الشكل (10) دالة الارتباط الذاتي للسلسلة الجديدة بعد اجراء التفريق 12





الشكل (11) دالة الارتباط الذاتي الجزئي للسلسلة الجديدة بعد إجراء التفريق 12

نلاحظ استقرار السلسلة موسمياً وبالتالي أصبحت السلسلة مستقرة وجاهزة لبناء النموذج.

#### 4 - 2 - بناء النموذج :

لقد تم اختيار عدة نماذج من نماذج ARIMA واختبارها بإجراء الاختبارات

التشخيصية وبين الجدول ( 1 ) نتائج الاختبار.

الجدول ( 1 ) نتائج اختبار نماذج ARIMA

Model	$\sigma^2$	m	AIC
(2,1,2)(0,1,0) <sub>12</sub>	2.39	6	52.37371
(2,1,3)(0,1,0) <sub>12</sub>	2.63	7	58.54562
(4,1,1)(0,1,0) <sub>12</sub>	2.41	7	54.75102
(4,1,1)(1,1,0) <sub>12</sub>	1.29	8	29.23494
(4,1,1)(1,1,1) <sub>12</sub>	0.92	9	16.4363

وباستخدام معيار إعلام أكاي Akaiki Information Criteria [7]،

يتبين أن النموذج المناسب SARIMA(4,1,1)(1,1,1)<sub>12</sub> وهو من الشكل:

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \phi_3 B^3 - \phi_4 B^4) (1 - \Phi B^{12})(1 - B) z_t = \delta + (1 - \theta B)(1 - \Theta B^{12}) a_t$$

حيث:

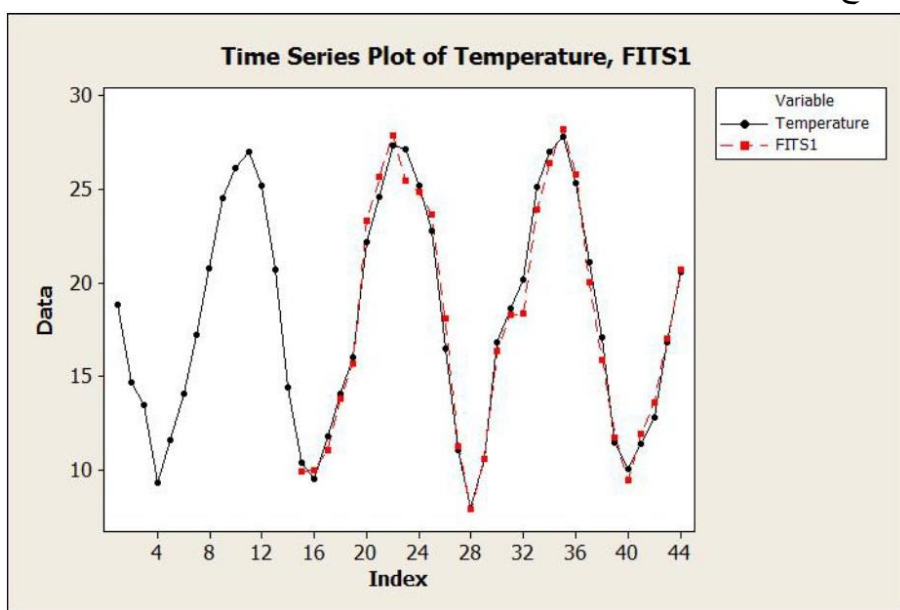
النمذجة الاحصائية لتغيرات درجات الحرارة (محطة حمص المناخية نموذجاً)

$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$\phi_4$	$\Phi$	$\delta$	$\theta$	$\Theta$
-0.8072	-1.0483	-0.8681	-0.8621	-0.9583	-0.17593	0.7254	0.7555

وبالتالي يكون النموذج:

$$(1 + 0.8072B + 1.0483B^2 + 0.8681B^3 + 0.8621B^4)(1 + 0.9583B^{12})(1 - B)z_t = -0.17593 + (1 - 0.7254B)(1 - 0.7555B^{12})a_t \quad a_t \approx (0, 0.92)$$

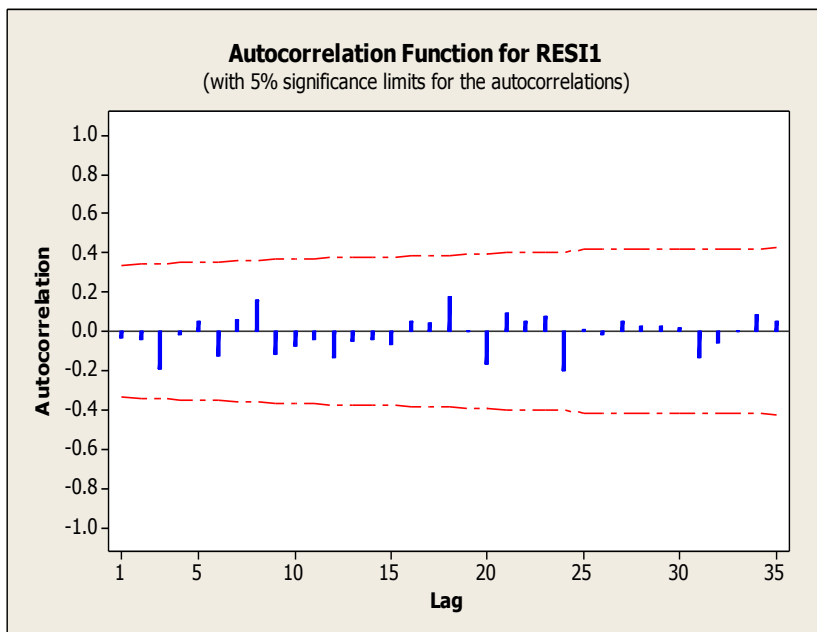
والشكل (12) يقارن بين القيم الحقيقية لدرجة الحرارة والقيم المتنبأ بها باستخدام النموذج المقترح



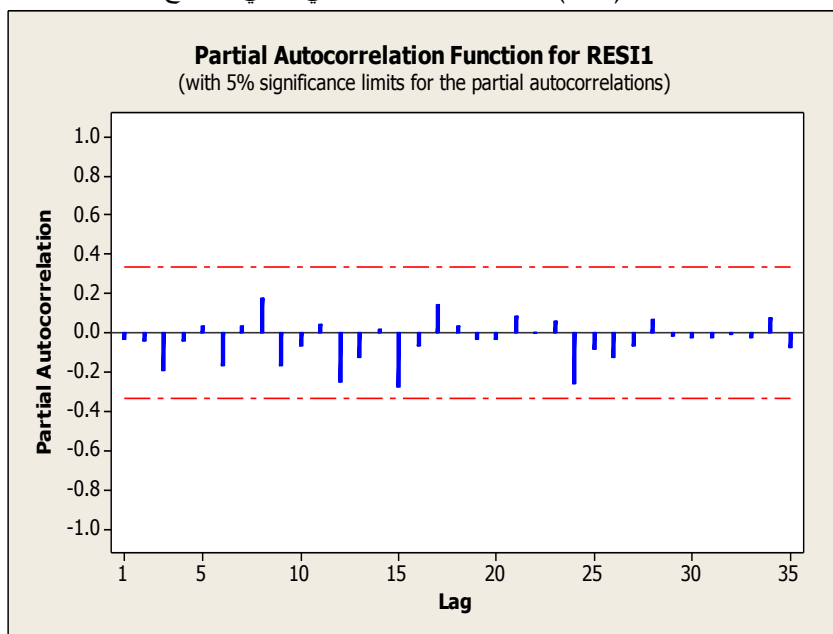
الشكل (12) يقارن السلسلة الحقيقية والسلسلة المتنبأ بها باستخدام النموذج المقترح

#### 4 - 3 - تشخيص النموذج :

A. استقلال البواقي: بتفحص شكل دالتي الترابط الذاتي والترابط الذاتي الجزئي للبواقي (الشكلين 13 , 14)، نلاحظ أن معاملات الارتباط الذاتي لسلسلة البواقي تقع أغلبها ضمن حدود الثقة، ولها شكل سلسلة الضجة البيضاء والتي هي عبارة عن متتابعة من المشاهدات العشوائية المستقلة بمتوسط صفري وتباين ثابت [2]، وإن قيم معاملات الارتباط الذاتي لمعظم الفجوات الزمنية قريبة من الصفر وهذا يعني أن السلسلة مستقرة وأنه لا يوجد ترابط بين عناصر السلسلة.



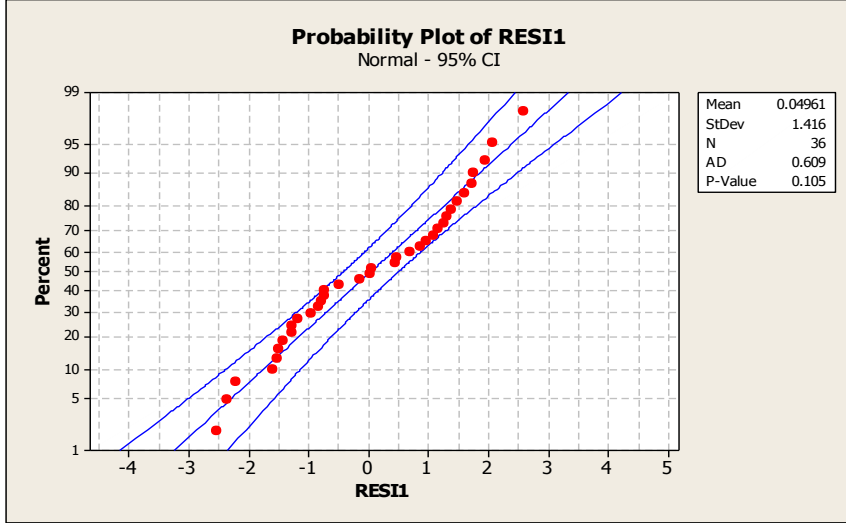
الشكل ( 13 ) : دالة الترابط الذاتي لبواقي النموذج



الشكل ( 14 ) : دالة الترابط الذاتي الجزئي لبواقي النموذج

B. بواقي ذات توزيع طبيعي :

لقد تم التأكد من ذلك باستخدام اختبار كولمغروف - سميرونوف [7] كما يوضح الشكل ( 15 ).



الشكل ( 15 ) : مخطط الاحتمال الطبيعي لبواقي نموذج SARIMA(4,1,1)(1,1,1)<sub>12</sub>

C. للبواقي متوسط صفري:

ليبان أن متوسط بواقي النموذج مساوٍ للصفر، تم إجراء اختبار فرضية العدم  $H_0 : \mu = 0$  ضد الفرضية البديلة  $H_1 : \mu \neq 0$ ، وبين الجدول ( 2 ) نتائج الاختبار والذي يبين أنه يمكن اعتبار أن متوسط البواقي مساوٍ للصفر.

الجدول ( 2 )

N	Mean	SE Mean	95% CI	Z	P
36	0.04961	0.684	(-1.456, 1.227)	-0.17	0.867

D. بواقي النموذج SARIMA(4,1,1)(1,1,1)<sub>12</sub> عشوائية :

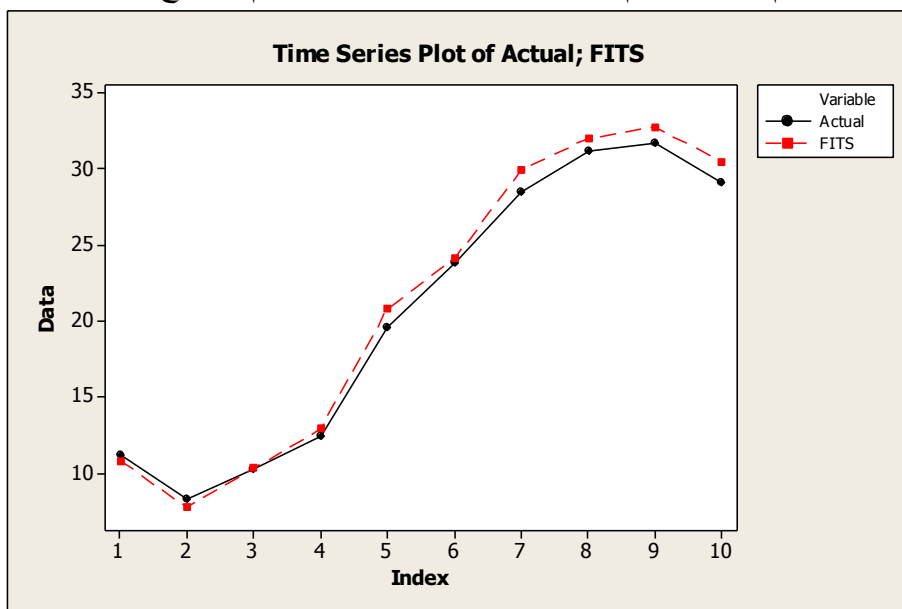
يبين الجدول (3) نتائج اختبار التعاقب على بواقي النموذج والذي يبين أن بواقي النموذج عشوائية.

الجدول (3) نتائج اختبار التعاقب على بواقي النموذج

21	العدد الملاحظ للتعاقبات
18.9444	عدد التعاقبات المتوقع
19	عدد المشاهدات الأكبر من المتوسط
17	عدد المشاهدات الأصغر من المتوسط
$0.486 > 0.05$	قيمة P

#### 4 - 4 التنبؤ بالسلسلة المستقبلية :

بعد نجاح الاختبارات على البواقي، أصبح النموذج المقترح ملائماً للتنبؤ بدرجة الحرارة في المحطة المدروسة وتوليد سلسلة مستقبلية، تم توليد التنبؤات لقيم درجات الحرارة لعشرة أشهر باستخدام النموذج المقترح ومقارنتها مع القيم المقاسة ويبين الشكل ( 16 ) مقارنة بين القيم المقاسة والقيم المتنبأ بها لدرجات الحرارة باستخدام النموذج.



الشكل ( 16 ) مقارنة بين تنبؤات النموذج والقيم الحقيقية لدرجة الحرارة

## النمذجة الاحصائية لتغيرات درجات الحرارة (محطة حمص المناخية نموذجاً)

كما تم حساب النسب المئوية لأخطاء النموذج الجدول (4) ووجد أن أعلى قيمة للخطأ النسبي المئوي هي % 7 وهي أقل من القيمة المسموحة .

الجدول (4) النسبة المئوية لأخطاء النموذج

Temperature	Fit	Residuals	Persent Error
11.20	10.776	0.42	4%
8.30	7.686	0.61	7%
10.20	10.347	-0.15	-1%
12.40	12.884	-0.48	-4%
19.50	20.779	-1.28	-7%
23.80	24.101	-0.30	-1%
28.50	29.882	-1.38	-5%
31.10	31.997	-0.90	-3%
31.70	32.727	-1.03	-3%
29.10	30.438	-1.34	-5%

### 5 - الاستنتاجات والتوصيات:

- إن السلسلة الزمنية التي تمثل درجات الحرارة اليومية في مدينة حمص للفترة (2005-2009) غير مستقرة في الوسط الحسابي بسبب وجود إتجاه عام فيها (تزايد) .
- تتحقق حالة الإستقرارية للسلسلة الزمنية بعد أخذ الفرق الأول لها .
- إن النموذج SARIMA(4,1,1)(1,1,1)<sub>12</sub> هو النموذج المناسب للبيانات والذي يمكن الإعتماد عليه في إجراء تنبؤات لدرجات الحرارة في مدينة حمص .

6-المراجع :

- [ 1 ] Berri, A,2002-Statistical prediction methods. Saud king university, Saudi Arabia,342.
- [ 2 ] MASO A,2008-Satistics using Minitab. Aleppo university, second audition,Syria,446.
- [ 3 ] KAUFMANN R, KAUPPI M. and Stock J, 2011-Reconciling anthropogenic climate change with observed temperature 1998–2008. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108 (29),11,790.
- [ 4 ] CHERDCHAI, M and NITTAYA, M 2016 Graphical display and statistical modeling of temperature changes in tropical and subtropical zones, Songklanakar J. Sci. Technol,38 (6), 715-721.
- [ 5 ] SALISBURY J. I., WIMBUSH M,2002- Using modern time series analysis techniques to predict ENSO events from the SOI times series. *Nonlinear Proc. Geophys.*
- [ 6 ] ALI J, MAJEED A,2017-temperature analysis in Baghdad city using time series for the period (2015-2016),Alqadesiah university, Iraq,198p.
- [ 7 ] BROCKWELL P. J. & DAVIS R ,1991- Time series: theory and methods. New York: Springer .
- [ 8 ] Marshall E. Moss & Gary D. Tasker, 1987-The role of stochastic hydrology in dealing with climatic variability .U.S. Geological Survey. Reston, Virginia, U.S.A.
- [ 9 ] GOLMAN D,1985- Stochastic Analysis of Drought Phenom- ena. US Army Crop of engineers HEC,U.S.A.
- [ 10 ] ABRAHAM B and BOX G.E.P, 1975- Linear Models, Time Series and Outliers 3: Stochastic Difference Equation Models. Department of Statistics, University of isc cons, Madison, 438.
- [ 11 ] BOX, G.E.P. and Jenkins G.M,1970- Time Series Analysis, Forecasting and Control . Holden-Day, San Francisco, CA.





## دراسة سلوك الأعمدة المعرضة لضغط لامركزي ثنائي المحاور والمنفذة بركام معاد تدويره

طالبة دراسات عليا (دكتوراه) المهندسة: بشرى درويش العكاري- قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية-جامعة البعث

بإشراف الدكتور المهندس: سليمان العامودي أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة البعث

### ملخص البحث:

يقدم هذا البحث دراسة سلوك الأعمدة المعرضة لضغط لامركزي ثنائي المحاور، حيث أجريت الاختبارات على خلطات بيتونية بنسب استبدال 0% و 25% و 50% و 75% و 100% للركام المعاد تدويره وبهذا تم دراسة خمسة نماذج للأعمدة C0, C25, C50, C75, C100 وتم اعتماد ثلاث قيم للامركزية E1, E2, E3 وبمقارنة النتائج تبين أنه يمكن استخدام الركام المعاد تدويره والمفروز بشكل صحيح وفق تدرج حبي جيد يؤمن قابلية تشغيل جيدة وبضبط نسبة W/C مع إضافة ملدن، يمكن استخدامه في الأعمدة المعرضة لضغط لامركزي، حيث أثبتت التجارب تقارب الحمولة العظمى التي يتحملها العمود المرجعي مع الأعمدة التي استخدم فيها الركام المعاد تدويره بنسبة تتراوح 6-16% عند اللامركزية E2, E3

### كلمات مفتاحية:

الركام المعاد تدويره، الركام الطبيعي، اللامركزية ثنائية المحاور، الاستبدال

# Studying the Behavior of recycled Aggregate Concrete columns subjected to Bi- eccentric Pressure

## Abstract

The behavior of recycled aggregate concrete columns subjected to Bi-eccentric pressure is studied during this research.

Concrete mixes with 0%- 25%- 50%- 75%- 100% recycled aggregate replacement ratio are tested to evaluate the results.

Thus, we had five pattern of columns which named C0,C25,C25,C50,C75,C100 according to replacement ratio.

The five modules are subjected to three different available value of bi-eccentric pressure, that called E1, E2, E3.

According to the obtained results, it can be concluded that recycled aggregate concrete with concrete sorting, good grading, calibrated w/c ratio and plasticizer in addition, could be used to construct columns subjected to eccentric pressure.

Practical experiments showed a strong approximation between the maximum load value can be subjected to the referential column with the corresponding value of the recycled aggregate concrete columns with rate about 6-16% in E2,E3.

### Key words:

Recycled aggregate, natural aggregate, Bi- eccentric Pressure, Replacement

## دراسة سلوك الأعمدة المعرضة لضغط لامركزي ثنائي

### المحاور والمنفذ بركام معاد تدويره

#### 1- مقدمة البحث:

يعتبر البيتون المسلح مادة الانشاء الأكثر أهمية في منطقتنا، الأمر الذي يستوجب تطوير هذه المادة سواءً بما يتعلق بأساليب الحصول عليها وتحسين خواصها أو طرق تنفيذ المنشآت المصنعة منها أو طرق تطوير الحساب. وهذه المحاور تشكل أساساً للبحث العلمي الخاص بالبيتون المسلح خاصة وأن المنشآت البيتونية المسلحة أثبتت كفاءة عملية في مختلف ظروف التشغيل وخاصة عند تعرضها للزلازل.

تشكل الأعمدة عنصراً إنشائياً مهماً في الجملة الإنشائية فانهارها قد يؤدي إلى انهيار المنشأ، وتخضع الأعمدة بشكل رئيسي لقوى محورية مع أو بدون عزوم، وتتضمن المراجع بشكل رئيسي تحليل الأعمدة [1] وتستخدم كودات التصميم الإنشائي عوامل أمان تكون كبيرة في حالة الضغط اللامركزي ثنائي المحاور وهذه الحالة تحدث في العديد من المنشآت حيث تنتقل عزوم نهايات الجوائز والأعصاب إلى الأعمدة الركنية في إطار المبنى في مستويين متعامدين، وفي بعض الحالات تخضع الأعمدة الداخلية لعزوم حول محورين إذا لم يكن العمود متوضعاً بشكل يجعله خاضعاً فقط لضغط مركزي.

نظراً للأوضاع التي عاشتها بلادنا وتراكم ركام الأبنية المهدامة أصبح التفكير جيداً بكيفية الاستفادة من الركام المعاد تدويره لتطبيق مبدأ التنمية المستدامة الذي يراود منه الحفاظ على الموارد الطبيعية والعمل في حدود الطاقة الاستيعابية للبيئة، وهنا تعددت الأبحاث التي تؤكد إمكانية استخدام الركام المدور في الأرضيات والطرق وبعض العناصر الإنشائية.

## 2- المشكلة العلمية ومبررات البحث:

يتطلب الواقع الحالي الاستفادة من ركام الأبنية في سوريا لإعادة الإعمار وتأمين مصدر لمواد البناء، وهذا يقتضي إجراء أبحاث لمعرفة مجال وإمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في العناصر الإنشائية وخاصة الأعمدة والجوائز والبلاطات. لذا تمت الدراسة بإجراء تجارب على الأعمدة المعرضة لضغط لامركزي ثنائي المحاور والتي نفذت من خلطات بيتونية يدخل فيها الركام المعاد تدويره بنسب مختلفة 25%، 50%، 75%، 100%

## 3- دراسة مرجعية:

سوف نستعرض بعض ما توصلت إليه الدراسات المرجعية المتعلقة بالركام المعاد تدويره وبعضها متعلق بالأعمدة المعرضة لضغط لامركزي ثنائي المحاور:

- درس الباحث [2] تأثير التطويق على الأعمدة المعرضة إلى لامركزية ثنائية حيث درس الباحث أعمدة بأبعاد 20\*20\*80cm مع تاج علوي عبارة عن بلاطة ظرفية 50\*50cm لنقل الحمولة بشكل لامركزي إلى العمود. وكانت المتغيرات نسبة التطويق وقيم اللامركزية، وتوصل الباحث إلى أنه بازدياد نسبة التطويق زادت الحمولة الأعظمية بنسبة 2-7% وتكون أوضح في اللامركزيات الصغيرة، وكذلك ازدادت المطاوعة بنسبة 5-14%
- درس الباحث [3] أثر الاستبدال بنسب 25%-50%-75%-100% للركام المعاد تدويره على مقاومة البيتون على الضغط والشد بالفلق والانعطاف وتوصل إلى أن المقاومة على الضغط تتخفف بمقدار 11%-18%-23%-28% على التوالي، أما على الشد بالانفلاق فقد انخفضت بمقدار 13%-20%-28%-30% على التوالي، وعلى الشد بالانعطاف انخفضت حوالي 12%-18%-24%-28% على الترتيب.
- درس الباحث [4] أعمدة مربعة تحت تأثير ضغط لامركزي أحادي المحور، وتوصل إلى أنه مع التوزيع الجيد للتسليح الطولي والمسند بتسليح عرضي

مقارب بنسبة حجمية 2.7% أعطت استجابات مطاوعة مع عدم نقصان في المقاومة، بينما من أجل نسبة حجمية للتسليح العرضي 1.3-1.5% كان هناك تغير في الانحناء الجانبي، وعند 2-2.5% نقصت المقاومة بمقدار 20% وهذا يؤكد الدور الهام لنسبة التسليح العرضي الحجمية.

- درس الباحث [5] أعمدة مربعة بأبعاد 300\*300mm وطول 150mm ونسب استبدال (0-10-20-30-40-50-60-70-80) % وتوصل الباحث إلى تتناقص الحمولة الأعظمية التي يتحملها العمود بزيادة نسبة الاستبدال للركام المعاد تدويره، بينما تحسنت عندما كانت نسبة الاستبدال 50% وقد يعود هذا بسبب نسبة الخلط المتساوية بين الحصى والطبيعية والمدورة والتي أدت لخلق تدرج حبي جيد في الخلطة وأوصى بإجراء المزيد من الأبحاث للحصول على تفسير أكثر وضوحاً لذلك.

وتوصل إلى أن العينات من الركام المعاد تدويره أكثر ليونة من الركام الطبيعي، وأنه يمكن استخدام البيتون المعاد تدويره في المشاريع العملية.

- درس الباحث [6] أعمدة بأبعاد 400\*400mm وطول 1800mm وينسب ركام معاد تدويره 0%-30%-60%-100% معرضة لضغط لامركزي وتوصل الباحث إلى أن المقاومة على الضغط تنخفض حوالي 6-8% بزيادة نسبة الاستبدال للحصى الخشنة المعاد تدويرها أما عند الاستبدال بحصى ناعمة فلم تتأثر المقاومة على الضغط، وأن نماذج التشققات نفسها لجميع العينات الطبيعي والمعاد تدويره بالنسب المختلفة، وأن السلوك الحاصل نفسه لذلك يمكن استخدام الركام المعاد تدويره في العناصر الخاضعة لضغط لامركزي.

نظراً لعشوائية الركام المعاد تدويره وعدم معرفة خصائص حصواته يجب إجراء أبحاث أكثر لتفسير آلية الانهيار وتغير المقاومة على الضغط والحمولة الأعظمية.

#### 4- هدف البحث:

دراسة سلوك الأعمدة الخاضعة إلى لامركزية ثنائية والمنفذة من الركام المعاد تدويره حيث تم استخدام خمس خلطات بيتونية يتم استبدال الركام المعاد تدويره بالركام الطبيعي وفق النسب 0% و 25% و 50% و 75% و 100%، واعتماد ثلاث قيم للامركزية بالاتجاهين E1, E2, E3 ورسم مخطط (حمولة - انفعال) للأعمدة ومقارنتها مع الأعمدة المرجعية المنفذة من الركام الطبيعي.

#### 5- مواد البحث وطرقه:

##### 5-1- خصائص المواد المستخدمة:

استخدم الاسمنت البورتلاندي معمل طرطوس صنف 32.5 N، عيار 400kg/m<sup>3</sup> في جميع الخلطات البيتونية، واستخدم الركام الطبيعي مع الركام المعاد تدويره بنسب استبدال 0%، 25%، 50%، 75%، 100% حيث قمنا بفرز الركام يدوياً على المناخل الموجودة في مخبر البيتون المسلح في كلية الهندسة المدنية كما في الشكل (1).



الشكل (1) الركام المعاد تدويره وطريقة فرزها على المناخل يدوياً

استخدمنا المناخل بأقطار (25 و 16 و 9.5 و 4.75 و 1.18) mm

اعتمدنا المكافئة التالية للأقطار من أجل الاستبدال:

25-16 mm يكافئ بحص فولي

16-9.5 mm يكافئ بحص عدسي

9.5-4.75 mm يكافئ زرادة خشنة

4.75-1.18 mm يكافئ زرادة ناعمة

ولم نستخدم النواع المارة من 1.18 بسبب امتصاصها العالي للماء كما أوصت الدراسات المرجعية [3]

تم تصميم الخلطة البيتونية ل 1m<sup>3</sup> ذات عيار اسمنت 400kg/m<sup>3</sup> ونسبة w/c=0.5 والتي تحقق شروط المواصفة ASTM C33 كما في الجدول (1)

الجدول (1) الخلطة البيتونية المعتمدة ل 1m<sup>3</sup>

	ماء	اسمنت	رمل	زراة	بحص عدسي	بحص فولي
الأوزان kg	200	400	183	653	564	470

تم صب عينات أسطوانية قطرها 15سم وارتفاعها 30سم مرجعية C0، ثم قمنا بالاستبدال وفق النسب 25%، 50%، 75%، 100% وتم صب 3 عينات أسطوانية لكل نسبة استبدال C25، C50، C75، C100، وبإضافة ملدن مناسب ( Daracem SP6® concrete superplasticiser) لتحسين قابلية التشغيل وفق النسب 0.5%، 1%، 1.5% و1% على الترتيب، ووضعت في حوض مائي مدة 27 يوم، وتم كسر العينات على عمر 28 يوم وكانت المقاومة الوسطية كما في الجدول (2):

الجدول (2) قيم وسطي المقاومة الأسطوانية المميزة  $f_{c\bar{o}}$

الخلطة	$f_{c\bar{o}}$ (Mpa)
C0	25.04
C25	25.91
C50	18.68
C75	18.61
C100	18.29

من الجدول نلاحظ أن الاستبدال بنسبة 25% لم يؤثر على المقاومة المميزة، أما عند الاستبدال بنسبة 50%، 75%، 100% فقد انخفضت المقاومة بالنسب 25.39%، 25.7%، 26.95% على الترتيب.

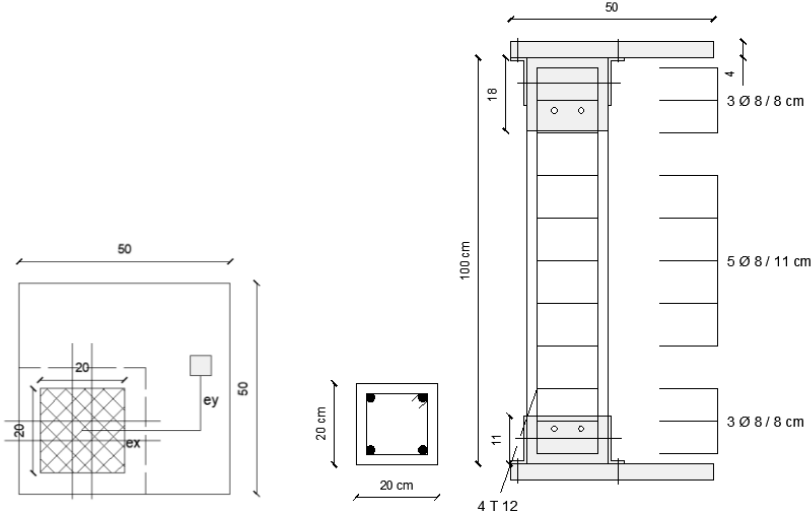
وأجريت تجارب الشد على الفولاذ المستخدم في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية على جهاز الشد ومن التجارب تم إيجاد إجهاد الخضوع الوسطي للفولاذ الطولي والأساور العرضية والنتائج لوسطي ثلاث عينات كما في الجدول (3)

الجدول (3) نتائج شد عينات فولاذ التسليح

إجهاد الانقطاع Mpa	إجهاد الخضوع Mpa	القوة الوسطية المطبقة kn		مقطع العينة mm <sup>2</sup>	قطر العينة mm
		عند حد الانقطاع	عند حد المرونة		
633	518	7.2	5.9	113	12
976	678	4.95	3.45	50.27	8

### 5-2- الشكل الهندسي لعينات الاختبار:

نموذج الاختبار هو عمود طوله 1 m ومقطعه مربع بأبعاد 20\*20cm مسلح بتسليح طولي 4T12 وأساور عرضية عددها 11 وقطرها 8cm مكثفة من الأعلى والأسفل كما في الشكل (2)



الشكل (2) تفصيل تسليح العمود والصفحة

ولتأمين انتقال الحمل بشكل لامركزي تم وضع صفحة معدنية بأبعاد 50\*50\*4cm من الأعلى والأسفل وتتصل معها زوايا معدنية بأبعاد 20\*11\*0.8cm و 20\*18\*0.8cm فيها ثقب محدثة بقطر 14mm وتباع 8cm توضع فيها براغي



عالية المقاومة عند التجربة وتحقق بمادة الايبوكسي لضمان التماسك التام، كما في الشكل(3)



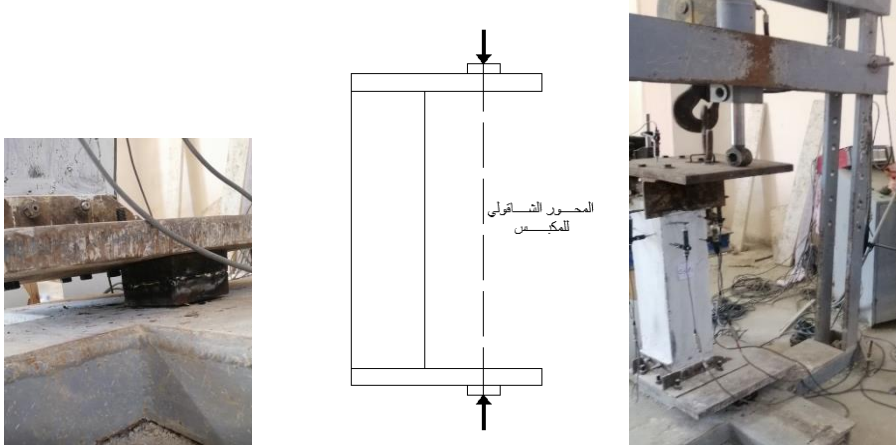
الشكل (3) تثبيت الصفيحة المعدنية العلوية والسفلية بالعمود عند التجربة

### 5-3- صب العينات:

تم استخدام قوالب خشبية من خشب MDF بسماكة 1.8 cm وفق الأبعاد المطلوبة للعمود، وتم تنقيتها بشكل مناسب ودقيق لإدخال براغي الزوايا المعدنية التي ستثبت لاحقاً على العمود وتضمن تثبيته مع الصفيحة، تم الصب على طبقات والدك باستخدام قضيب معدني في منطقة الثقوب لضمان عدم حدوث تعشيش.

### 5-3- جهاز الكسر:

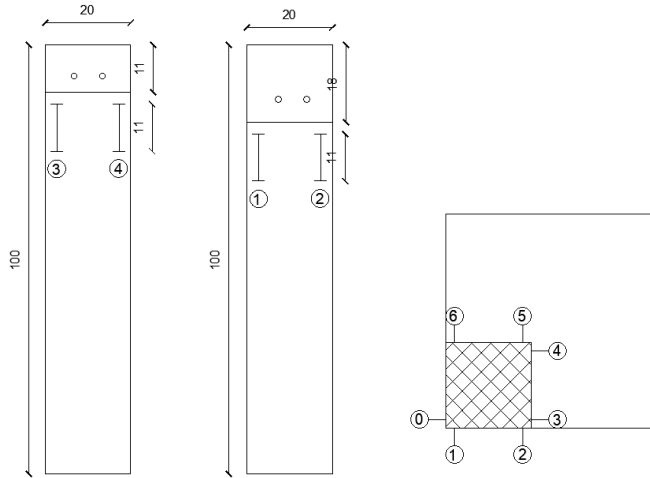
استخدمنا جهاز الكسر الهيدروليكي الموجود في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية والذي تبلغ طاقته القصوى 130kN وتم وضع صفيحة معدنية بأبعاد 12\*12cm (وسماكة 4cm بحيث لا يستند العمود على القاعدة حتى انتهاء التجربة) عند إجراء التجربة في مركز الجهاز من الأسفل بحيث يكون مسار تطبيق الحمولة ينطبق على المحور الشاقولي للجهاز (للمكبس)، كما في الشكل (4)



الشكل (4) الجهاز المستخدم للكسر وطريقة التثبيت

#### 5-4- آلية التجربة:

تم وضع 7 حساسات على العمود على مقطع أعلى العمود لقياس الانتقالات في منطقتي الشد والضغط، وتم وضع حساسين لقياس الانتقال الأفقي بالاتجاهين، وحساس لقياس الانتقال الشاقولي، ويظهر الشكل (5) مسقط لتوزيع الحساسات.



الشكل (5) توزيع الحساسات على العمود

يتم تطبيق القوة عن طريق المكبس الهيدروليكي بشكل تدريجي وتتخذ الانتقالات المقاسة عن طريق الحساسات على شاشة الجهاز.

مرحلة اختبار العينات:

تم إجراء التجارب باستخدام متغيرين أساسيين هما:

- نسبة الركام المعاد تدويره ضمن الخلطة البيتونية

- واللامركزية بالاتجاهين E1, E2 E3

وبيين الجدول (4) توصيف الأعمدة:

الجدول (4) توصيف الأعمدة في التجارب

اسم العمود	نسبة الركام المعاد تدويره	E	
		ex (mm)	ey (mm)
C0-E1	%0	280	100
C25-E1	%25	280	100
C50-E1	%50	280	100
C75-E1	%75	280	100
C100-E1	%100	280	100
C0-E2	%0	230	100
C25-E2	%25	230	100
C50-E2	%50	230	100
C75-E2	%75	230	100
C100-E2	%100	230	100
C0-E3	%0	280	150
C25-E3	%25	280	150
C50-E3	%50	280	150
C75-E3	%75	280	150
C100-E3	%100	280	150

تم تطبيق الحمولة بسرعة 1.3kN/sec وأخذت القراءات كل 5kN ومع ازدياد الحمولة قمنا بمراقبة تطور الشقوق في منطقة الشد ومنطقة الضغط حتى الانهيار الذي يحدد من وصول القوة إلى الذروة ومن ثم تعود لتتناقص.

وقمنا بنمذجة العمود مع الصفائح والزوايا على برنامج ANSYS وتمت المقارنة بين آلية الانهيار على البرنامج وبالتجربة وكان تشكل الشقوق بمنطقة الشد هو ذاته كما يظهر في الشكل (6)



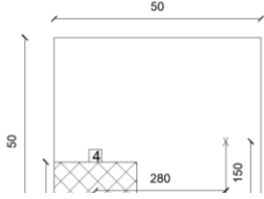
الشكل (6) الشقوق في منطقة الشد بالتجربة وبالنموذج الحاسوبي

سنقوم بعرض تفصيل لثلاث أعمدة، على لا مركزيات مختلفة.

### 6-1 شكل انهيار للعمود المرجعي C0-E3:

العمود من الركام الطبيعي C0 ومعرض إلى لامركزية E3، بدأ ظهور أول شق في منطقة الشد عند الحمولة 24kN ثم تشكلت الشقوق في منطقة الشد على الوجه الجانبي (2) وعددها 7 شقوق بتباعد تقريبا 15cm وامتد تشكل الشقوق إلى الوجه الجانبي (1) مع زيادة القوة، وبدأ انهيار منطقة الضغط أعلى العمود من الأمام عند القوة 59kN وأخذ عرض الشق بالاتساع وازداد تقشر منطقة الضغط ثم بدأ تشكل اسفين الضغط عند الحمولة 63kN حتى وصلت الحمولة إلى الذروة 68kN ومن ثم بدأت تنخفض مع استمرار زيادة التشوهات، ثم ازداد توسع الشقوق وانهارت منطقة الضغط على مسافة 37cm من طول العمود وانبعج الفولاذ الطولي في منطقة الضغط على بعد 22cm من رأس العمود، وبعد التفريغ تنغلق بعض شقوق الشد وتظهر منطقة الضغط بوضوح كما في الشكل (7)





الشكل (7) مراحل انهيار العمود C0-E3

### 2-6 انهيار العمود C25-E2:

العمود C25 من الركام الطبيعي مع نسبة الركام المدور 25% ومعرض إلى لامركزية E2، بدأ ظهور أول شق في منطقة الشد عند الحمولة 25 kN ثم تشكلت الشقوق في منطقة الشد وعددها 7 شقوق بتباعد تقريبا 14cm، وبدأ انهيار منطقة الضغط أعلى العمود عند القوة 65kN وأخذ عرض الشق في منطقة الشد بالاتساع وازداد تقشر منطقة الضغط ثم بدأ تشكل اسفين الضغط عند الحمولة 79kN حتى وصلت الحمولة إلى الذروة 85kN ومن ثم بدأت تنخفض مع استمرار زيادة التشوهات، ثم ازداد توسع الشقوق وانهارت منطقة الضغط بمسافة 31cm من طول العمود، والشكل (8) يوضح

مراحل انهيار العمود C25-E2





الشكل (8) مراحل انهيار العمود C25-E2

### 2-6 انهيار العمود C100-E3:

العمود C100 من الركام المدور بنسبة 100% ومعرض إلى لامركزية E2، بدأ ظهور أول شق في منطقة الشد عند الحمولة 22 kN ثم تشكلت الشقوق في منطقة الشد وعددها 7 شقوق ببتباع تقريبا 15cm، وبدأ انهيار منطقة الضغط أعلى العمود عند القوة 80 kN وأخذ عرض الشق بالاتساع وازداد تقشر منطقة الضغط ثم بدأ تشكل اسفين الضغط عند الحمولة 85 kN حتى وصلت الحمولة إلى الذروة 90.5 kN ومن ثم بدأت تتخفص مع استمرار زيادة التشوهات، ثم ازداد توسع الشقوق وانهارت منطقة الضغط على مسافة 34cm وانبعج الفولاذ الطولي في منطقة الضغط على بعد 28cm من رأس العمود، في الشكل(9)



الشكل (9) مراحل انهيار العمود C100-E3

وكذلك تكررت التجارب على كافة الأعمدة، والجدول (5) يلخص نتائج التجارب:

الجدول (5) نتائج التجارب على الأعمدة



اسم العينة	تاريخ الصب	تاريخ الكسر	القوة عند ظهور أول شق KN	القوة الأعظمية KN	عدد الشقوق في منطقة الشد	ارتفاع اسفين الضغط cm	مكان الشق الرئيسي
C0-E1	2020-8-25	2020-9-24	19	52	6	18	أسفل الزاوية المعدنية العلوية ب1cm
C25-E1	2020-9-2	2021-3-11	18	45	6	19	أسفل الزاوية المعدنية العلوية ب1cm
C50-E1	2020-11-16	2021-3-17	19	65.5	6	23	أعلى الزاوية المعدنية السفلية ب1cm
C75-E1	2020-11-30	2021-4-5	16	75	7	24	أعلى الزاوية المعدنية السفلية ب2cm
C100-E1	2020-12-8	2021-4-13	18	62.5	7	26	أعلى الزاوية المعدنية السفلية ب1cm
C0-E2	2020-8-25	2021-10-20	25	98	7	22	أسفل الزاوية المعدنية العلوية ب1cm
C25-E2	2020-9-2	2021-10-21	24	97	7	31	وسط العمود
C50-E2	2020-11-16	2021-3-16	22	80	6	26	أعلى الزاوية المعدنية السفلية ب1cm
C75-E2	2020-11-30	2021-4-7	22	106	7	38	وسط العمود
C100-E2	2020-12-8	2021-4-8	21	114	7	37	وسط العمود
C0-E3	2020-8-25	2021-3-7	24	80	7	37	أسفل الزاوية المعدنية العلوية ب15cm
C25-E3	2020-9-2	2020-11-26	22	75	6	24	أسفل الزاوية المعدنية العلوية ب1cm
C50-E3	2020-11-16	2021-3-15	21	79	6	15	أعلى الزاوية المعدنية السفلية ب1.5cm
C75-E3	2020-11-30	2021-4-5	25	92	6	18	أعلى الزاوية المعدنية السفلية ب2cm
C100-E3	2020-12-8	2021-4-14	22	80.5	7	34	وسط العمود

في بعض التجارب تم كسر عمودين متشابهين وحساب القيمة الوسطية لكافة المعاملات المدروسة.

نلاحظ من الجدول السابق:

- آلية الانهيار قياسية بظهور شقوق منطقة الشد بتباعدات متساوية ثم يتطور الشق الرئيسي ويؤدي إلى الانهيار في أطراف العمود (من الأعلى أو الأسفل)، أو في وسط العمود.

- هناك تغيرات طفيفة بقيم القوة عند ظهور أول شق والسبب يعود إلى أن الاجهادات في المرحلة الأولى تكون صغيرة فلم تؤثر على ظهور أول شق.

- نلاحظ أن الاستبدال في بعض الأحيان لم يؤثر على القيمة العظمى للقوة بالمقارنة مع العمود المرجعي، وفي بعض التجارب زادت القوة عن العمود المرجعي والسبب الرئيسي هو اختلاف موقع الشق الرئيسي فكلما اقترب موقعه من أطراف العمود كانت القوة أقل،

وكلما اقترب من وسط العمود كانت القوة التي تسبب الانهيار أكبر بسبب وجود إجهادات إضافية بالفولاذ ناتجة عن التركيز بقرب الوثاقات.

ونظراً لاختلاف مواعيد الكسر تم أخذ قرارات عند الكسر بواسطة مطرقة شميدت على الأعمدة المختبرة كما يظهر في الشكل (10) وكان وسطي المقاومة كما في الجدول (6)

الجدول (6) المقاومة باستخدام مطرقة شميدت

	$\bar{F}_c$ (Mpa)
C0	31.9
C25	29.6
C50	26.86
C75	31.1
C100	30.8



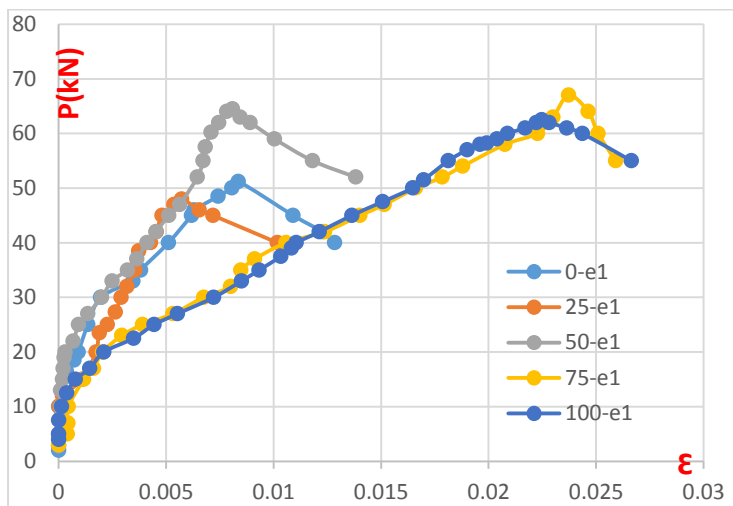
الشكل (10) اختبار مطرقة شميدت

نلاحظ من الجدول ارتفاع المقاومة المميزة للبيتون وهذا بسبب تأخر تفاعلات الاماهة للاسمنت المستخدم (اسمنت طرطوس) كما أثبتت العديد من الدراسات ذلك، وهذا يفسر أيضاً تقارب الحمولة للأعمدة المنفذة بركام معاد تدويره من العمود المرجعي.

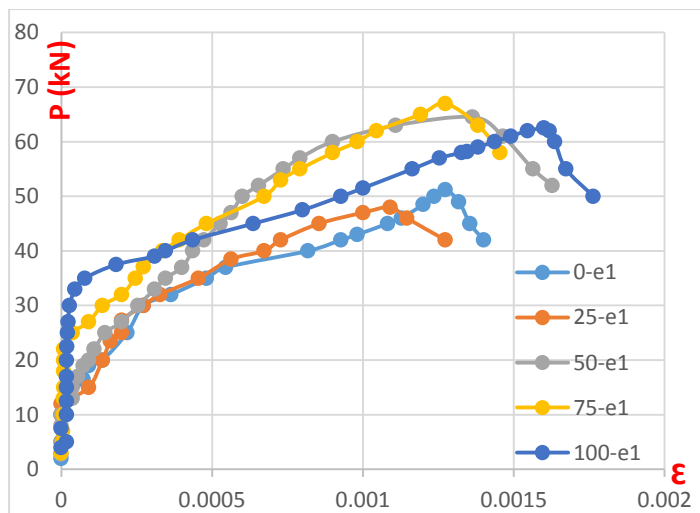
## 2-6 النتائج التجريبية للعينات المختبرة:

تم رسم مخطط (تشوه - قوة) للعينات في الحالات المختبرة حيث أخذنا القراءات من حساس في منطقة الشد وآخر في منطقة الضغط وكانت النتائج كما في الأشكال (11-12-13-14-15-16):

لللامركزية E1:280\*150



الشكل (11) مخطط (حمولة-انفعال) في منطقة الشد تحت اللامركزية E1

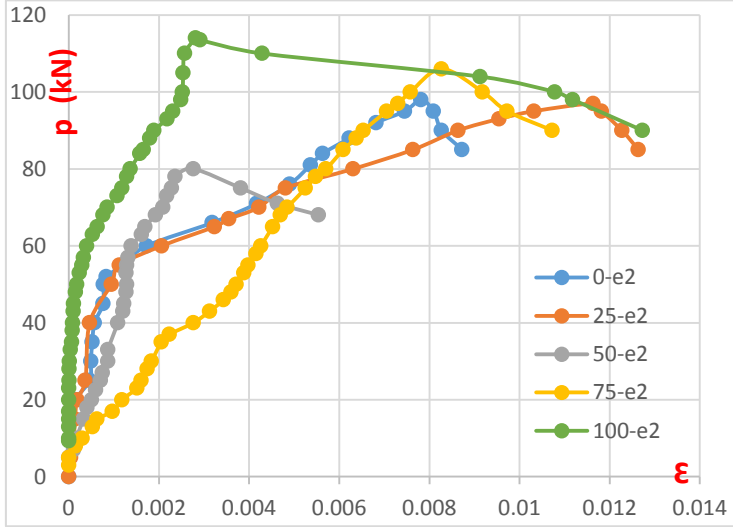


الشكل (12) مخطط (حمولة-انفعال) في منطقة الضغط تحت اللامركزية E1

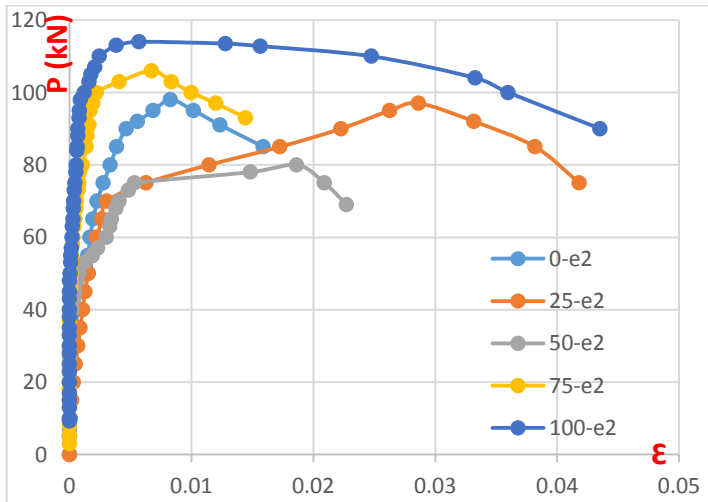
نلاحظ أنه في مخطط منطقة الشد: تقارب التشوه حتى الحمولة 20KN ثم تزداد التشوهات لنسبتي الاستبدال 75%، 50%، 100% بشكل واضح حيث تصبح أكبر بحوالي الضعف في نهاية التجربة.

أما في مخططات منطقة الضغط: هناك تقارب بين المخططات حتى الحمولة 30KN وأيضاً تزداد التشوهات كلما زادت نسبة الاستبدال حيث كانت نسبة المطاوعة(الليونة) أكبر بحوالي 14%، 7%، 20.6% عند الاستبدال 50%، 75%، 100% على الترتيب.

*اللامركزية 100\*230 E2:*



الشكل (13) مخطط (حمولة-انفعال) في منطقة الشد تحت اللامركزية E2

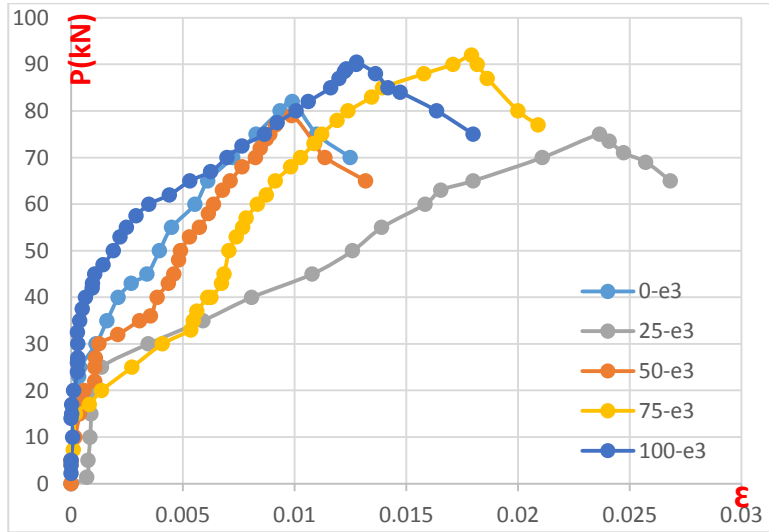


الشكل (14) مخطط (حمولة-انفعال) في منطقة الضغط تحت اللامركزية E2

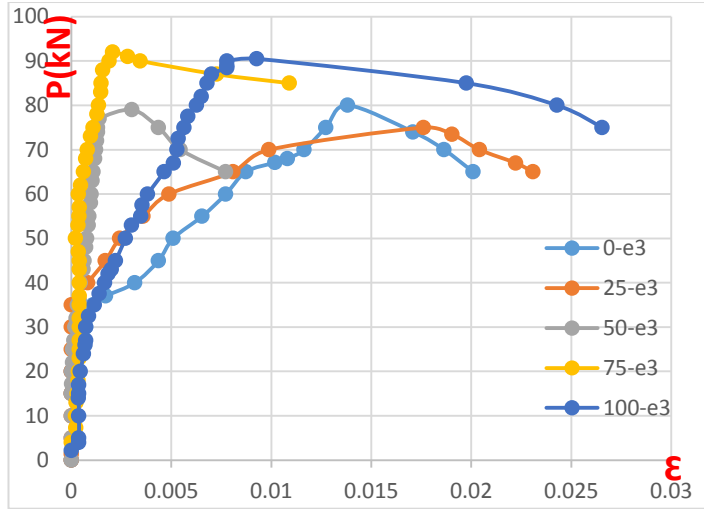
نلاحظ من المخططات: - في منطقة الشد تكون التشوهات متقاربة حتى الحمولة 20kN ثم تصبح أكبر في نسبة الاستبدال 75 و100% بحوالي 23%، 45.8% على الترتيب.

- في منطقة الضغط تكون المخططات متقاربة حتى الحمولة 60kN عد ذلك تزداد التشوهات بشكل واضح عند نسبة الاستبدال 25 و100% بنسبة 44.8%، 45.8% على الترتيب.

### اللامركزية E3: 280\*100



الشكل (15) مخطط (حمولة-انفعال) في منطقة الشد تحت اللامركزية E3



الشكل (16) مخطط (حمولة-انفعال) في منطقة الضغط تحت اللامركزية E3

نلاحظ من المخططات في منطقة الشد ازدياد التشوهات عند الاستبدال بنسبة 25% بحوالي الضعف عن المرجعي، بينما متقاربة في النسبتين 75-100% وتشوهات أكبر من الركام الطبيعي بدون استبدال 0% بالنسبة 150%، 136% وفي مخطط الضغط تقارب المخططات حتى الحمولة 35kN وتزداد التشوهات عند الاستبدال ب 25% و 100% بالنسب 114%، 132% على الترتيب بينما كانت التشوهات بنسبتي الاستبدال 50-75% أصغر ب 35%، 54% على الترتيب من الركام الطبيعي، ويعود ذلك إلى عشوائية الركام ومدى تماسكه مع باقي مكونات البيتون.

## 6- الحساب وفق الكود السوري [7]

في الكود العربي السوري نحسب قدرة تحمل مقطع مستطيل خاضع لضغط لامركزي ثنائي المحاور  $N_R$  باستخدام العلاقة التالية:

$$\frac{1}{N_R} = \frac{1}{N_{RX}} + \frac{1}{N_{RY}} - \frac{1}{N_{RO}}$$

$N_{RX}$  قدرة تحمل العمود بافتراض اللامركزية أحادية بالاتجاه x.

$N_{RY}$  قدرة تحمل العمود بافتراض اللامركزية أحادية بالاتجاه y.

$N_{R0}$  قدرة تحمل العمود على الضغط المركزي.

ويتم تنظيم النتائج في الجدول (7):

الجدول (7) نتائج الحمولة بال kN حسب الكود العربي السوري

	E1	E2	E3
C0	59.2	78.38	70.82
C25	59.9	88.3	71.5
C50	53.8	78.39	64.59
C75	53.7	78.19	64.49
C100	53.39	77.72	64.003

ويبين الجدول (8) المقارنة بين الحمولة التجريبية المحسوبة بالكود العربي السوري

الجدول (8) المقارنة بين الحمولة التجريبية وحمولة الكود العربي السوري

	الحمولة حسب الكود kN	الحمولة التجريبية kN	النسبة بينهما %
<b>E1</b>			
C0	59.2	52	-
C25	59.9	45	-
C50	53.8	65.5	21.7
C75	53.7	75	39.7
C100	53.39	62.5	17
<b>E2</b>			
C0	78.38	98	25.03
C25	88.3	97	9.8
C50	78.39	80	2.05
C75	78.19	106	35.6
C100	77.72	114	46.7
<b>E3</b>			
C0	70.82	80	12.96
C25	71.5	75	4.9
C50	64.59	79	22.3
C75	64.49	92	42.6
C100	64.003	80.5	25.8

بالمقارنة بين الحمولة التجريبية وحمولة الكود نلاحظ أن الحمولة التجريبية أعلى من الحمولة

الحسابية بمقدار يتراوح تقريباً بين 5-46% كما بين الجدول (8).

وجب التنويه أن العمود C0,C25 تم إجراء التجربة على اللامركزية E1 ببداية العمل المخبري وحدث خلع مكان الثقوب لذا قمنا بتعديل موقع الثقوب ثم إجراء بقية التجارب لذلك لم نقارن نتائجهما.

#### 7- الخلاصة والنتائج:

- 1- إن الفرز الجيد للركام المعاد تدويره وضبط نسبة W/C وإضافة الملدن المناسب لزيادة قابلية التشغيل تعتبر شروط أساسية لقبول استخدام الركام المعاد تدويره.
- 2- استخدام الركام المعاد تدويره أدى إلى انخفاض المقاومة المميزة على الضغط بنسبة 25.39%-25.7%-26.95% عند الاستبدال 50%، 75%، 100% للركام المعاد تدويره.
- 3- لم يؤثر استخدام الركام المعاد تدويره على الأعمدة المعرضة إلى لامركزية بالاتجاهين وذلك لأن معظم حالات الانهيار كانت على الشد أي أن فعالية البيتون محدودة، وفولاذ التسليح يعمل لمرحلة fy أو أكثر لذلك من الممكن استخدام الركام المعاد تدويره في مثل هذه العناصر الانشائية.
- 4- كان شكل الانهيار مطابق للتجربة القياسية للضغط اللامركزي ثنائي المحاور حيث تتشكل شقوق الشد بتباعدات متساوية تقريباً ثم يتطور شق رئيسي وتنهار منطقة الضغط أي أن الحمولة انتقلت بشكل لامركزي إلى العمود وطريقة نقل الحمولة صحيحة.
- 5- يوصى بتجريب لامركزيات أخرى صغيرة خاصة وتغيير طول العمود للتجريب على عمود أطول، وتجريب أنواع أخرى من الملدنات على الخلطات ومدى تأثير ذلك على المقاومة المميزة لكل خلطة بيتونية.



## المراجع المستخدمة

[1]- David M. Milner, Jr, Enric Spacone, Dan M Frangopol, 2000, New lights on performance of short and slender reinforced concrete columns under random loads. USA.

[2]- جامعة البعث كلية الهندسة المدنية د منى رشود (دراسة تأثير التطويق في الأعمدة -البيتونية المسلحة القصيرة المعرضة لضغط لامركزي ثنائي المحاور) 2016

[3]- Yossef Kiekhia Mechanical Properties of Concrete Made with Recycled Aggregates, Tshreen Unv, 2014.

[4]- Murt Saatcioglu, ASCE, Amir H, Confined Columns under Eccentric Loading 2010.

[5]- J.H.Zhou, X.H.Mengs, Experimental study of recycled concrete columns under large eccentric compression 2010.

[6]- Won-Chang Choi, Hyun-Do Yun, Compressive behavior of reinforced concrete columns with recycled aggregate under uniaxial loading 2012.

[7]- الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة 2014

\*\*\*\*\*



## تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت (CKD) على بعض خصائص التربة الرملية الساحلية

م. فاتن السقر<sup>(1)</sup>، د. م. رامي العبدہ<sup>(2)</sup>، د. م. توفيق فياض<sup>(3)</sup>

### ملخص

تُشكّل النفايات الصناعية مشكلة بيئية عالمية في وقتنا الحاضر، فتراكمها خطير على البيئة والصحة العامة، والتخلص الآمن بطورها مكلف ويحتاج لمساحات شاسعة، لذلك ركزت الكثير من الأبحاث مؤخراً على الاستفادة من هذه النفايات في مختلف المجالات الهندسية. إنّ غبار أفران الإسمنت (Cement Kiln Dust) أحد هذه النفايات، وهو منتج جانبي لصناعة الإسمنت البورتلاندي، ويُعدّ استخدامه لتحسين ترب التأسيس حلاً أمثلاً لاستهلاك كمياته المتزايدة سنوياً.

نقدم في هذا البحث دراسة عن تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت (CKD) على بعض الخصائص الهندسية للتربة الرملية في المنطقة الساحلية في سوريا، تم تصميم وتصنيع نموذج حقن مخبري يحاكي عملية الحقن في الموقع، ومن ثمّ تم حقن التربة بمعلق مكوّن من نسب مئوية من (CKD) وهي % (2, 4, 6, 8, 10, 12) من الوزن الجاف للتربة، ونسب خلط (ماء: غبار إسمنت) (W:CKD) وهي (2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1)، ولدراسة تأثير الحقن تم إجراء دراسة مخبرية موسّعة على التربة الرملية قبل وبعد المعالجة بالحقن، من أجل مدتي معالجة (7) و(28) يوم.

أظهرت النتائج تحسناً كبيراً بالخصائص الجيوتكنيكية للتربة المعالجة بالحقن بمعلق غبار الإسمنت، فقد أدّى ازدياد نسبة % (CKD) وازدياد مدة المعالجة وانخفاض النسبة (W:CKD) لازدياد قيم كلّ من: مقاومة الضغط الحر ( $q_u$ )، ومعامل المرونة المماسي الابتدائي ( $E_t$ )، ومقاومة القص والتماسك (C) كما أدى إلى انخفاض معامل النفاذية (K). أما زاوية الاحتكاك الداخلي ( $\phi$ ) للتربة المعالجة فقد ازدادت بازدياد كلّ من مدة المعالجة ونسبة % (CKD) ونسبة (W:CKD).

**الكلمات المفتاحية:** الحقن التغلغلي، الترب الرملية، غبار أفران الإسمنت، مقاومة الضغط الحر، معامل المرونة، بارامترات القص، النفاذية.

- (1) - طالبة دكتوراه - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
- (2) - مدرس - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
- (3) - أستاذ مساعد - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## **A study of the Effect of Grouting with Cement Kiln Dust (CKD) on Some Properties of Coastal Sandy Soils**

Eng. Faten Alsakr<sup>(1)</sup>, Dr. Rami Alabdeh<sup>(2)</sup>, Dr. Toufik Fayad<sup>(3)</sup>

### **Abstract**

Nowadays; Industrial wastes are global environmental problem, where their accumulation is dangerous to the environment and public health, while safe disposal by landfilling expensive and needs vast areas. Thus many researches have recently focused on the utilization of these wastes in various engineering fields. Cement kiln dust (CKD) is one of these wastes, a side product of the Portland cement manufacture, and its use to improve the foundation soil is an ideal solution for the consumption of its increasing quantities annually. In this research, we present a study on the effect of (CKD) grouts on some of the engineering properties of sandy soil in the coastal area of Syria. we designed and fabricated a laboratory grouting model that simulates grouting site process. The soil samples were grouted with a suspension consisting of percentages of cement kiln dust (2,4,6,8,10,12)% as a ratio of dry weight of the treated soil, and mixing ratios (Water:CKD) (W:C=2:1, 4:1,6:1,8:1,10:1), to study the effect of grouting, an extensive laboratory study was conducted on sandy soil before and after grouting treatment for (7&28) days curing. The results showed a very noticeable improvement in the investigated geotechnical properties of grouted sand. Where the increasing of (CKD) percentage and curing period as well as the decreasing in (W:CKD) ratio of grouting suspension; led to increase the values of unconfined compressive strength ( $q_u$ ), initial tangent young's modulus ( $E_t$ ), shear strength and cohesion ( $C$ ), also led to decrease

the permeability of grouted sand. While the values of internal friction angle ( $\phi$ ) increase when the percentage of (CKD), curing period, and (W:CKD) ratio increase.

**Key words:** Permeation Grouting, Sandy Soils, Cement Kiln Dust (CKD), Unconfined Compressive Strength, young's modulus, Shear Parameters, permeability.

(1)-Postgraduate Student (PhD), Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

(2)-Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

(3)-Associate Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## 1- مقدمة

تتركز الدراسات الحديثة على إيجاد الطرق الأفضل لمعالجة وتحسين الترب ضعيفة التحمل، وتعدّ تقنية الحقن من أهم طرق تحسين التربة، كونها تتميز بجودة النتائج والاقتصادية وسرعة وسهولة الإنجاز، وقد أصبحت واسعة الاستخدام في مختلف فروع الهندسة المدنية ولأغراض مختلفة مثل: تقوية وتكثيم ترب التأسيس الضعيفة قبل إنشاء المنشآت، تقوية أساسات الأبنية القديمة المتداعية وذلك لتفادي هبوط وانهار المنشآت القائمة، تحسين استقرار المنحدرات، الحدّ من قابلية التسيل، معالجة التربة قبل وأثناء تنفيذ المنشآت المظمورة، ملء التكهفات تحت أرضية، بناء ستائر كتيمية تحت السدود، تأمين كتامة الآبار والأنفاق وجوانب أحواض التأسيس، كما أنها مفيدة جداً عندما يكون من الصعب الوصول للتربة المراد تحسينها [12,14]، كونها يمكن أن تُنفذ من خلال حفر تقرب إلى العمق المطلوب (في التربة قبل إنشاء المنشآت أو في البلاطات الأرضية تحت المنشآت القائمة في المناطق السكنية) ومن ثم تُمد أنابيب الحقن إلى العمق المحفور وتُضخ مادة الحقن إلى التربة المراد معالجتها [24].

يُعرّف الحقن بشكل عام بأنه عملية ضخ مواد الحقن بشكل سائل مختلفة للزوجة تحت تأثير الضغط بواسطة أنابيب صغيرة القطر إلى شقوق الصخور، أو إلى داخل فراغات التربة عن طريق إجراء فتحات في تلك التربة، فتتحسن خصائص الوسط المحقون [2,6]. يُصنّف الحقن في عدة أنماط، حيث يُعتبر نوع التربة هو العامل الأهم في اختيار نمط الحقن. فمثلاً يُستعمل **الحقن التغلغلي (Permeation Grouting)** عموماً لتحسين الخصائص الهندسية للتربة الحبيبية، ويتم ضخ مادة الحقن بشكل سائل إلى تربة التأسيس تحت تأثير الضغط، فتندقق وتملأ فراغاتها ثم تتصلب مشكلةً مادة تربط بين حبيبات التربة، فتتحسن خصائص التربة المعالجة بالحقن بدون تغيير بنيتها الطبيعية [2,10] وهو النمط المتبع في هذا البحث.

تتأثر جودة وفعالية الحقن بعدة عوامل أهمها: نوع التربة، نمط الحقن ومادة الحقن ومدى مناسبتها لنوع الوسط المحقون، نسبة المادة المحقونة، نسبة الخلط، مدة المعالجة، الاختيار الصحيح لتجهيزات الحقن، عدد فتحات الحقن، تباعد فتحات الحقن، عمق الحقن، ضغط الحقن [2,9]. تناولت العديد من الدراسات السابقة فعالية تقنية الحقن في تحسين قدرة تحمل وسلوك أنواع مختلفة من التربة باستخدام المثبتات التقليدية (الكلس، الإسمنت، الإسمنت مع بعض الإضافات الكيميائية، المحاليل الكيماوية، وغيرها)، وركز بعض تلك الأبحاث [9,10,15,22,23,25,27] على دراسة تأثير الحقن بالإسمنت على خصائص وقدرة تحمل التربة الحبيبية، وخلصت تلك الأبحاث إلى أنه تزداد قدرة التحمل وتتنخفض النفاذية للتربة المحقونة بالإسمنت بازدياد نسبة الإسمنت وفترة المعالجة. إنّ معظم الدراسات السابقة درست تأثير الحقن باستخدام مواد تقليدية، وتحديداً كان الإسمنت مادة الحقن الأكثر استخداماً سواءً في الدراسات السابقة أو على أرض الواقع في الحقن.

لكن استخدام الإسمنت أو المواد التقليدية عموماً مكلف اقتصادياً من جهة، كما أنّ بعض مواد الحقن الكيميائية سامة وخطيرة على الطبيعة من جهة أخرى، وقد استوجب ذلك إيجاد مواد حقن بديلة اقتصادية وصديقة للبيئة. كالفنايات الصناعية التي تلقى اهتمام كبير وعالمي للاستفادة منها في الاستخدامات الهندسية، ومن هذه الفنايات غبار أفران

الإسمنت وهو عبارة عن مُنتج ثانوي يرافق إنتاج الإسمنت البورتلاندي ويُشكل تراكمه خطراً بيئياً وصحياً [1,21]، لذلك يتم التركيز مؤخراً على الاستفادة من كمياته الكبيرة والمتزايدة في مختلف اختصاصات الهندسة المدنية ومنها الهندسة الجيوتكنيكية. تختلف خصائص غبار أفران الإسمنت الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية تبعاً لعدة عوامل: المواد الخام المستخدمة في تصنيع الإسمنت، نمط عمل الفرن، أنظمة تجميع الغبار، نوع الوقود المستخدم. وهو مشابه تقريباً للإسمنت البورتلاندي العادي بالتركيب الكيميائي وبالوظائف الميكانيكية مما يجعل (CKD) صالحاً للاستعمال لعدة تطبيقات منها استخدامه في تحسين التربة [1,13,21]، وقد أُجريت العديد من الأبحاث [3,16,20] التي اهتمت بدراسة استخدام غبار أفران الإسمنت في معالجة التربة الرملية، وخلصت تلك الأبحاث إلى أنّ إضافة (CKD) للتربة المدروسة، يُحسن الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لتلك التربة بشكل كبير ويحقق فوائد بيئية واقتصادية، وأن قدرة تحمل التربة المدروسة تزداد بازياد نسبة (CKD) ويازياد مدة المعالجة، ولكن جميع الأبحاث المذكورة استخدمت تقنية الخلط لدراسة تأثير (CKD) كمادة مثبتة.

مما تقدم وبسبب الانتشار الواسع للتربة الرملية في المنطقة الساحلية، قمنا في هذا البحث بدراسة تأثير الحقن التغلطي (Permeation Grouting) بمعلق غبار أفران الإسمنت على بعض الخواص الهندسية للتربة الرملية في المنطقة الساحلية.

## 2- أهمية البحث

- استخدام تقنية الحقن التغلطي (Permeation Grouting) لتحسين خصائص تربة التأسيس الرملية، بدلاً من استخدام الطرق التقليدية ذات الكلفة العالية كأساسات العميقة المستخدمة عادةً عند التأسيس على التربة الرملية المخضلة في المناطق الساحلية.
- الاستغناء عن استخدام مواد تحسين التربة التقليدية المكلفة، والاستفادة من مادة غبار أفران الإسمنت (CKD)، وبذلك يتم التخلص من الكميات الكبيرة لمخلفات معامل الإسمنت في سوريا، والتي تشكل عبء على البيئة والصحة العامة وعلى صناعة الإسمنت المحلية.

### 3- أهداف البحث

دراسة تأثير تغيير كل من نسبة % (CKD) ونسبة (W/CKD) في معلق الحقن، وتأثير مدة المعالجة:

- 1- على مقاومة الضغط الحر ومعامل المرونة للتربة الرملية المدروسة.
- 1- على مقاومة القص وبارامترات القص ( $C, \phi$ ) للتربة الرملية المدروسة.
- 2- على نفاذية التربة الرملية المدروسة.

### 4- مواد وطرق البحث

اعتمد البحث المنهج التجريبي في الدراسة وذلك وفق المراحل التالية:

- 1- تحديد خواص التربة الرملية المستخدمة من خلال التجارب المخبرية التي طبقت على عينات التربة الرملية الطبيعية قبل المعالجة بالحقن.
- 2- تحديد خواص غبار أفران الإسمنت المستخدم من خلال التجارب المخبرية التي طبقت عليه قبل استخدامه في الحقن.
- 3- إجراء عملية الحقن من أجل نسب غبار الإسمنت المدروسة وجميع نسب (W:CKD).
- 4- تحضير العينات لاختبارات (الضغط الحر، القص المباشر، النفاذية) بعد انتهاء كل عملية حقن.
- 5- إجراء تجارب (الضغط الحر، القص المباشر، النفاذية) على عينات التربة الرملية المعالجة بالحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت بعد انقضاء مدتي المعالجة (7 و 28) يوم.

### 4-1. مواد البحث

➤ **التربة الرملية:** تم إحضار كميات الرمل اللازمة لهذا البحث، من شاطئ بلدة صنوبر جبلة التي تقع في الجنوب الشرقي من مدينة اللاذقية وتبعد مسافة 13 كم عن مركز المدينة. وتم إجراء التجارب المخبرية لتحديد مواصفات التربة الطبيعية حيث أجريت جميع التجارب وفق مواصفات ASTM [4]. يبين



الجدول (1) الخواص الفيزيائية والميكانيكية للتربة الرملية الطبيعية، ويبين الشكل (1) منحنى التدرج الحبي لهذه التربة.

➤ غبار أفران الإسمنت: تم استخدام غبار أفران الإسمنت (CKD) المنتج في معمل إسمنت طرطوس، وأجريت التجارب المخبرية اللازمة لتحديد خصائصه الفيزيائية والميكانيكية بالإضافة إلى تحليل كيميائي وتحليل حبي لعينات منه في المخبر الموجود بمعمل إسمنت طرطوس. يبين الجدول (2) بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لغبار الإسمنت، ويبين الجدول (3) نتائج التحليل الكيميائي، كما يبين الشكل (1) منحنى التدرج الحبي لغبار الإسمنت المستخدم في الدراسة. أما الشكل (2) فيبين المناخل المستخدمة لإجراء تجربة التحليل الحبي لغبار الإسمنت والموجودة في معمل إسمنت طرطوس.

الجدول (1): الخواص الفيزيائية والميكانيكية للتربة الرملية الطبيعية المدروسة

القيمة	المواصفات
2.6	الرطوبة (%)
2.73	الوزن النوعي ( $G_s$ )
15.73	الوزن الحجمي الكلي ( $\gamma_t$ ( $kN/m^3$ ))
15.33	الوزن الحجمي الجاف ( $\gamma_d$ ( $kN/m^3$ ))
16.7	الوزن الحجمي الجاف الأعظمي ( $\gamma_{d\max}$ ( $kN/m^3$ ))
14.5	الوزن الحجمي الجاف الأصغري ( $\gamma_{d\min}$ ( $kN/m^3$ ))
41.67	عامل الكثافة النسبية $I_D$
38.69	زاوية الاحتكاك الداخلي $\phi^\circ$
$1.33 \cdot 10^{-3}$	معامل النفاذية K (cm/sec)
97.9	المكافئ الرملي (%)
0.44	المسامية (n)
1.72	معامل التجانس $C_U$
0.82	معامل الاتحنا $C_z$
0	نسبة المار من المنخل 200 (%)

تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت (CKD) على بعض خصائص التربة الرملية الساحلية

تربة رملية سيئة التدرج الحبي (sp)	تصنيف التربة بحسب (USCS)
-----------------------------------	--------------------------

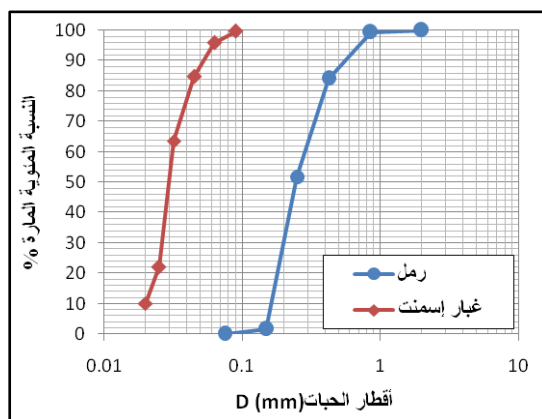
الجدول (2): بعض الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لغبار الإسمنت المستخدم

القيمة	المواصفات
3.1	الوزن النوعي ( $G_s$ )
3330	معامل النعومة "معامل بلين" ( $cm^2 / gr$ )
196	زمن بداية التجمد (دقيقة)
287	زمن نهاية التجمد (دقيقة)
34	مقاومة الضغط عند 7 يوم ( $N / mm^2$ )
41	مقاومة الضغط عند 28 يوم ( $N / mm^2$ )
10.142	نسبة المار من المنخل 20 ميكرون (%)

الجدول (3): التحليل الكيميائي لغبار أفران الإسمنت المستخدم

المركب	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	L.O.I
الوزن (%)	61.88	21.25	4.6	4.1	2.71	3.05	0.61	0.18	1.03

حيث: L.O.I (Loss On Ignition) الفاقد بالحرق.



ال م ال م	
الق (mm)	ن ا نة ال ا ر %
2	100
0.85	99.44
0.425	84.19
0.25	51.83
0.15	1.66
0.075	0

ا ر الإ س د ال م	
الق (mm)	ن ا نة ال ا ر %
0.09	99.81
0.063	95.85
0.045	84.80
0.032	63.60
0.025	22.11
0.02	10.14

الشكل (1): منحنى التدرج الحبي للمواد المستخدمة في البحث

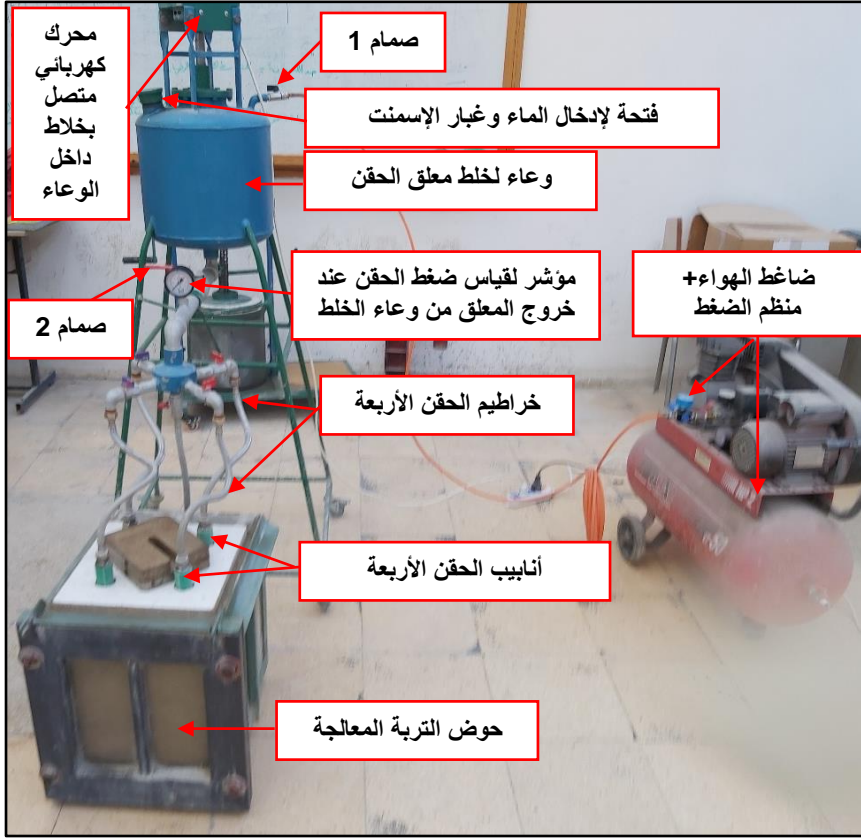


الشكل (2): المناخل المستخدمة للتحليل الحبي لغبار الإسمنت

#### 2-4. الأجهزة والأدوات المستخدمة

بعد الاطلاع على الدراسات المرجعية [10,27] قمنا بتصميم وتصنيع نموذج حقن مخبري مع إجراء التعديلات التي تؤمن جودة وسهولة عملية الحقن والتي تجعل عملية الحقن في المخبر أقرب ما تكون لعملية الحقن في الموقع، ويتألف من المعدات والتجهيزات التالية والمبينة بالشكل (3):

- 1- حوض قابل لللفك والتركيب لوضع التربة الرملية فيه، تم تصنيعه من مادة الفيبر الشفاف القاسي والحديد، أبعاده الداخلية (30cm x 30cm x 38cm).
- 2- وعاء خلط أسطواني الشكل مصنوع من الحديد وله فتحة لإدخال الماء وغبار أفران الإسمنت، وله صمام (1) لإدخال الهواء المضغوط، وصمام (2) لخروج معلق الحقن، ومزود بمؤشر لقياس ضغط الحقن عند خروج المعلق منه، ويتصل بخراطيم الحقن الأربعة، ويدخله خلاط يتصل بمحرك كهربائي خارجي، يتم في هذا الوعاء خلط معلق الحقن آلياً قبل عملية الحقن وطيلة فترة الحقن.
- 3- خراطيم الحقن الواصلة بين وعاء الخلط وأنايبب الحقن.
- 4- أنايبب الحقن وهي مسدودة من الأسفل ومصنوعة من مادة بولي بروبيلين الخضراء (PPR)، قطر كل أنبوب (20mm)، يوجد على سطح كل أنبوب (64) ثقب؛ كل ثقب بقطر (3mm) مبينة في الشكل (4).
- 5- ضاغط هواء مزود بمنظم للضغط.



الشكل (3): نموذج الحقن المخبري المستخدم في الدراسة



الشكل (4): أنابيب الحقن المثقبة والمسدودة من الأسفل

#### 3-4. تنفيذ عملية الحقن في المخبر

لتحضير العينات المحقونة، تم حقن التربة بمعلق غبار أفران الإسمنت وفق الخطوات التالية: بعد التأكد من جفاف الحوض تماماً تم دهنه بالزيت المعدني، من ثم تم وضع أنابيب الحقن على ارتفاع (5cm) من قاع الحوض على مسامير مثبتة بقاعدة الحوض المعدنية مهمتها تحديد مكان كل أنبوب، وتمت المحافظة على شاقولية وتباعد الأنابيب بواسطة مُحدد معدني علوي يُوضع عند أعلى الحوض.

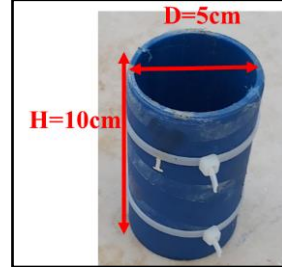
تم ملء الحوض بالتربة المجففة في فرن درجة حرارته (105) درجة مئوية لمدة (24) ساعة، وذلك بسكبها من خلال قمع وُضع على ارتفاع ثابت عند أعلى الحوض، وبذلك تمت تعبئة الحوض بالتربة بدون أي إزاحة للأنايب الأربعة. بعد ذلك تم تحضير معلق الحقن في وعاء الخلط بأخذ كمية محددة مسبقاً من غبار أفران الإسمنت (2, 4, 6, 8, 10, 12)% من الوزن الجاف للتربة المعالجة مع ما يناسبها من الماء بحسب نسبة الخلط المدروسة {W:CKD= (2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1)} وتم إدخالهم عبر الفتحة الخاصة بإدخال مواد معلق الحقن وبعد إغلاق الفتحة بإحكام، تم تشغيل المحرك المتصل بخلاط داخل وعاء الخلط واستمر المزج خلال عملية الحقن لتفادي انفصال ذرات الغبار عن الماء في المعلق، بعد ذلك بدأت عملية الحقن بفتح الصمام (1) وضخ الهواء المضغوط إلى وعاء الخلط تحت ضغط ثابت (1.5-2) bar، ومن ثم فُتح الصمام (2)، فضُحَّ المعلق إلى داخل خرطوم الحقن الأربعة ومنها لأنايب الحقن، ومن خلال ثقب هذه الأنايب إلى التربة، لينتشر ضمن فراغات التربة.

#### 4-4. التجارب المخبرية المدروسة

##### 4-4-1. تجارب الضغط الحر

تُعتبر تجربة الضغط الحر من أهم التجارب المخبرية لتقييم جودة تحسين الترب المعالجة ولتقييم كمية المادة المستعملة لتثبيت التربة، وذلك كونها تجربة بسيطة وموثوقة إضافةً لسهولة وسرعة إجرائها [5,9,17]. في هذا البحث تمت دراسة تأثير نسب (CKD) ونسب (W:CKD) وتأثير مدة المعالجة على مقاومة الضغط الحر للتربة المعالجة بالحقن، إذ تم تحضير العينات لاختبار الضغط الحر بعد انتهاء كل عملية حقن مباشرةً من أجل جميع النسب المدروسة، وذلك باستخدام قوالب بلاستيكية أسطوانية الشكل، قابلة لل فك والتركيب، نسبة ارتفاعها إلى قطرها (H/D=2) وقطرها الداخلي (D=5cm) وارتفاعها (H=10cm) مبنية في الشكل (5)، حيث تم ربط كل قالب بمربطين بلاستيكيين ومن ثم دُهنَت القوالب البلاستيكية من الداخل بالزيت المعدني من أجل سهولة إخراج العينة من القالب، ومن ثم غُرزت في التربة المحقونة وأُخرجت مباشرةً، وأُقيت العينات للمعالجة (28,7) يوم، وبعد انقضاء فترة المعالجة المحددة، تم فك القالب

البلاستيكي بقص المرابط البلاستيكية؛ وتم بسهولة إخراج العينة سليمة كما هو مبين في الشكل (6).



الشكل (5): القالب البلاستيكي المستخدم  
الشكل (6): إخراج العينات من القالب البلاستيكي القابل لللفك

تم إجراء تجارب الضغط الحر على العينات المحضرة، وفق المواصفة (ASTM D4219) وباستخدام الجهاز المبين بالشكل (7) الموجود في مخبر ميكانيك التربة بجامعة تشرين، حيث تم تكرار تجربة الضغط الحر من أجل مدتي معالجة لكل نسبة من النسب المدروسة، وذلك بتطبيق قوة شاقولية محورية بسرعة ثابتة مقدارها (1mm/min) حتى انهيار العينة وتم تسجيل الحمولة الشاقولية والتشوه الشاقولي، وبواسطة هذه التجارب تم الحصول على مقاومة الضغط الحر، ومعاملات المرونة من أجل كل نسبة، كما تم رسم ودراسة مخططات (الإجهاد - التشوه النسبي) لكل نسبة.



الشكل (7): الجهاز المستخدم لإجراء تجربة الضغط الحر

#### 4-4-2. تجارب القص المباشر

تُعد مقاومة التربة للقص من أهم الخصائص الميكانيكية الواجب دراستها عند تصميم أساسات المنشآت [26]. كما تُعدّ تجربة القص المباشر المستوي من أهم الطرق المخبرية لدراسة مقاومة التربة للقص، لذلك قمنا بعد انتهاء كل عملية حقن مباشرةً بتحضير عينات القص، وذلك باستخدام حلقات بلاستيكية دائرية المقطع لها نفس قطر وارتفاع حلقة القص المعدنية النظامية (D=6.25cm) (H=2cm)؛ الشكل (8). وقد تم دهن الحلقات البلاستيكية من الداخل بالزيت المعدني ومن ثمّ تمّ غرزها في عينة التربة المحقونة وأُخرجت كما يبين الشكل (9)، حيث تم أخذ (6) عينات من أجل كل نسبة مدروسة وأُقيت للمعالجة لمدة (28,7) يوم.





الشكل(9): بعض العينات

الشكل(8): الحلقة البلاستيكية المستخدمة

المحضرة فور عملية الغرز في التربة المحقونة

لدراسة تأثير نسب % (CKD) و (W:CKD) ومدة المعالجة، على مقاومة وبارامترات القص للتربة، قمنا بإجراء تجارب القص المباشر على عينات التربة الرملية قبل وبعد المعالجة بالحقن، إذ قمنا بإنزال العينات المحضرة في علبة القص بعد انقضاء فترة المعالجة المحددة من أجل إجراء التجربة كما هو مبين في الشكل (10). تم تنفيذ تجارب القص وفق المواصفة (ASTM D3080) وباستخدام جهاز القص المباشر المستوي الموجود في مخبر ميكانيك التربة بجامعة تشرين المبين في الشكل (11).



الشكل (10): تحضير عينة التربة المعالجة لتجربة القص المستخدم  
الشكل (11): جهاز القص المباشر

بعد انقضاء فترة المعالجة، قمنا بتكرار تجربة القص على ثلاث عينات من أجل كل نسبة، وذلك بتطبيق إجهادات ناظرية مختلفة  $(100-200-300) \text{ kN/m}^2$  على التوالي وتطبيق إجهاد أفقي متزايد حتى الانهيار بسرعة ثابتة مقدارها  $(5 \text{ mm/min})$  من أجل كل إجهاد ناظمي.

#### 4-3-4. تجارب النفاذية

اختُبرت بدايةً نفاذية التربة الطبيعية كما هو مبين في الشكلين (12) و(13)؛ باختبار معامل النفاذية لثلاث عينات واعتمدت القيمة الوسطية للتجارب الثلاث، فوجدنا أن معامل نفاذية التربة الطبيعية  $(1.33 \times 10^{-3} \text{ cm/sec})$  وبالتالي نفاذيتها عالية جداً، لذلك أُجريت تجارب النفاذية لدراسة تأثير الحقن بنسب  $(\text{CKD})\%$  ونسب  $(\text{W:CKD})$  وتأثير مدة المعالجة على نفاذية عينات التربة الرملية المحقونة. وقد اختُبرت نفاذية التربة الطبيعية ونفاذية العينات المحقونة باستخدام جهاز النفاذية بضغط ثابت الذي يتم فيه توليد الهواء المضغوط بواسطة ضاغط هواء موصول بخزان مملوء بالماء حيث يحول ضغط الهواء

إلى ضغط ماء مع إمكانية ضبط الضغط أثناء الاختبار. في هذا البحث تم استخدام ضغط ثابت 0.5 bar)، وتم استخدام قوالب لاختبار النفاذية ذات ارتفاع (12.3cm) وقطر داخلي (11cm) وهو مبين في الشكل(14)، وارتفاع العينة المحقونة (10.5 cm) وقطرها (11cm) مبينة في الشكل(15)، تم تحضير العينات لاختبار النفاذية بعد انتهاء كل عملية حقن مباشرةً من أجل كل نسبة من النسب المدروسة، بغرز قوالب النفاذية المذكورة في التربة المحقونة وإخراجها مباشرةً كما هو مبين في الشكل (14)، وأُقيمت العينات للمعالجة (28,7) يوم، وبعد انقضاء فترة المعالجة المحددة، وُضعت القوالب وبداخلها العينات على جهاز قياس النفاذية من أجل إجراء تجربة النفاذية.



الشكل (13): اختبار نفاذية التربة

الشكل (12): تحضير عينة التربة الطبيعية لاختبار النفاذية الطبيعية



(15): عينات النفاذية بعد عملية الغرز

الشكل (14): أبعاد القالب المستخدم

مباشرة

## 5- النتائج ومناقشتها

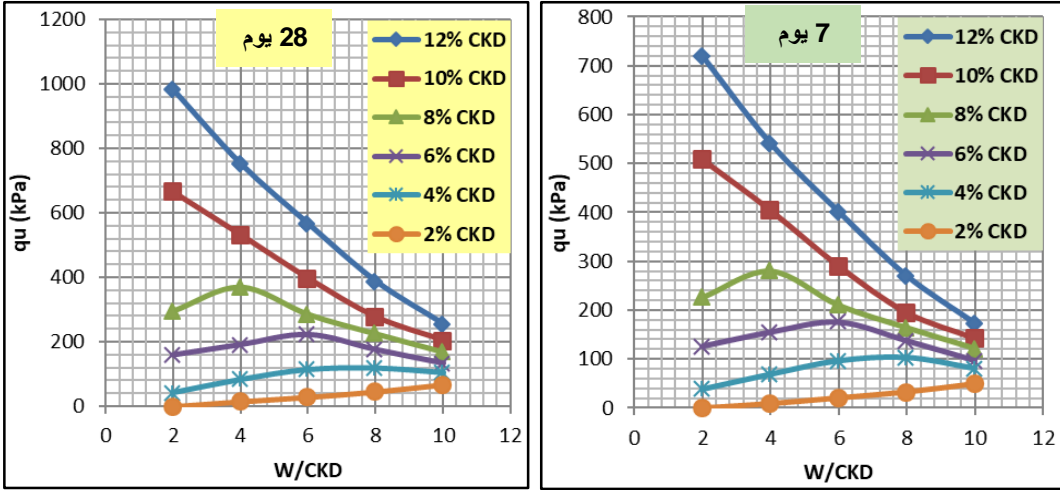
### 5-1. نتائج تجارب الضغط الحر

نعرض فيما يلي نتائج تجارب الضغط الحر عند الانهيار والمنجزة على عينات التربة المحقونة بنسب غبار الإسمنت % (2, 4, 6, 8, 10, 12) من الوزن الجاف للتربة المعالجة ونسب الخلط المدروسة {W:CKD= (2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1)}، وذلك من أجل مدتي معالجة (7 و 28) يوم.

5-1-1. تأثير تغيير نسبة (W:CKD) في معلق الحقن على مقاومة الضغط

الحر (qu) من أجل نسب % (CKD) المدروسة ومدتي المعالجة

يبين الشكل (16) تغيير مقاومة الضغط الحر المكتسبة، بتغيير نسب (W/CKD) وذلك من أجل جميع نسب % (CKD) المدروسة ومن أجل مدتي المعالجة (7، 28) يوم.



الشكل (16). تغير مقاومة الضغط الحر بازياد نسبة (W/CKD) من أجل نسب (CKD) المدروسة ومدتي معالجة

حيث (qu) مقاومة الضغط الحر وهي الإجهاد المحوري الأعظمي الذي تم عنده انهيار العينة.

نلاحظ من الشكل (16) أنه:

- تزداد مقاومة الضغط الحر (qu) للعينات المعالجة بازياد مدة المعالجة من أجل جميع نسب غبار الإسمنت المدروسة، وسبب ذلك أن غبار أفران الإسمنت يشبه الإسمنت في تفاعله مع الماء، أي أنه يحتاج إلى فترة زمنية لإتمام عملية التفاعل وبالتالي اكتساب المقاومة [18,19].

- لكل نسبة من نسب غبار الإسمنت المدروسة؛ هناك نسبة (W:CKD) معينة هي النسبة الأفضل التي تؤدي لمعلّق حقن بقوامه الأفضل، فعند هذه النسبة تكون كمية الماء في المعلق كافية لعملية التفاعل، وكافية لإخراج الهواء من فراغات التربة، وينتج عنها (qu) أعظمية.

- أما عندما تقل نسبة (W:CKD) عن النسبة الأفضل فإن المعلق يكون لزجاً وكميته غير كافية لإخراج الهواء من فراغات التربة، كما أنّ اللزوجة العالية للمعلّق تمنعه من التخلخل جيداً بين حبيبات التربة الرملية، وبالتالي انخفاض مقاومة الضغط الحر (qu)، وهذا يتفق مع دراسات سابقة [2,17,22,25].

- وعند ازدياد نسبة (W:CKD) عن النسبة الأفضل، فإن قيمة مقاومة الضغط الحر (qu) تتخفض ويُعزى ذلك إلى أنه:

1. يصبح المعلق مائعاً ورخوياً ويخف تركيز المادة الفعالة الرابطة بسبب ازدياد كمية الماء في المعلق، وهذا أيضاً ما لاحظته دراسات سابقة [9,22]؛ مما يؤدي لروابط ضعيفة بين جزيئات الرمل فيقل الالتصاق وبالتالي تقل مقاومة الضغط الحر (qu)، لأن شدة الروابط اللاصقة تنقص بين جزيئات الرمل بازدياد النسبة (W:CKD) وتزداد بنقصان النسبة (W:CKD) وتبدو هذه النتيجة متوافقة مع أبحاث سابقة [7,8,17].

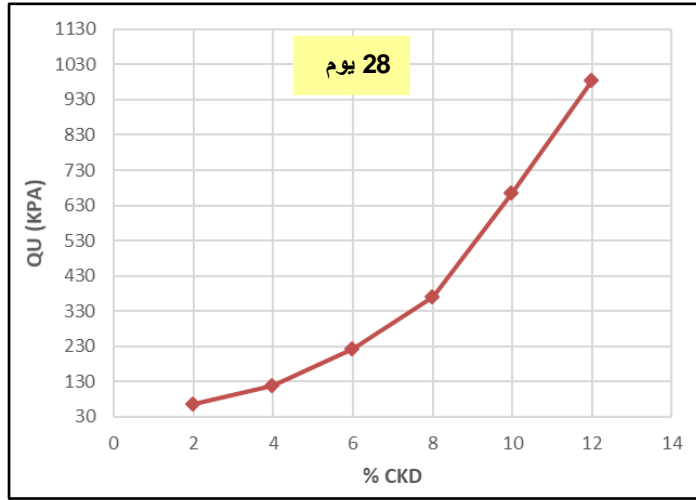
2. تتخفض قيمة (qu) بازدياد النسبة (W:CKD) نتيجةً لازدياد النزف (Bleeding) وهو خروج ذرات الغبار مع كمية الماء الزائدة، وتزداد حدة النزف (Bleeding) بازدياد النسبة (W:CKD)، وذلك يتوافق مع دراسة سابقة درست الحقن بالإسمنت [23].

يبين الجدول (4) والشكل (17) قيم مقاومة الضغط الحر من أجل كل نسبة من نسب غبار الإسمنت المدروسة ونسبة (W:CKD) الأفضل المقابلة لها وذلك من أجل مدة معالجة (28) يوم.

الجدول (4) قيمة مقاومة الضغط الحر (qu) من أجل كل نسبة من نسب (CKD)% ونسبة (W:CKD)

الأفضل المقابلة لها عند مدة المعالجة (28) يوم

CKD%	%2	%4	%6	%8	%10	%12
W:CKD	10:1	8:1	6:1	4:1	2:1	2:1
qu (kPa)	67.75	119.21	222.62	369.84	666.84	984.72
qu <sub>(i%)</sub> /qu <sub>(2%)</sub>		1.76	3.29	5.46	9.84	14.53



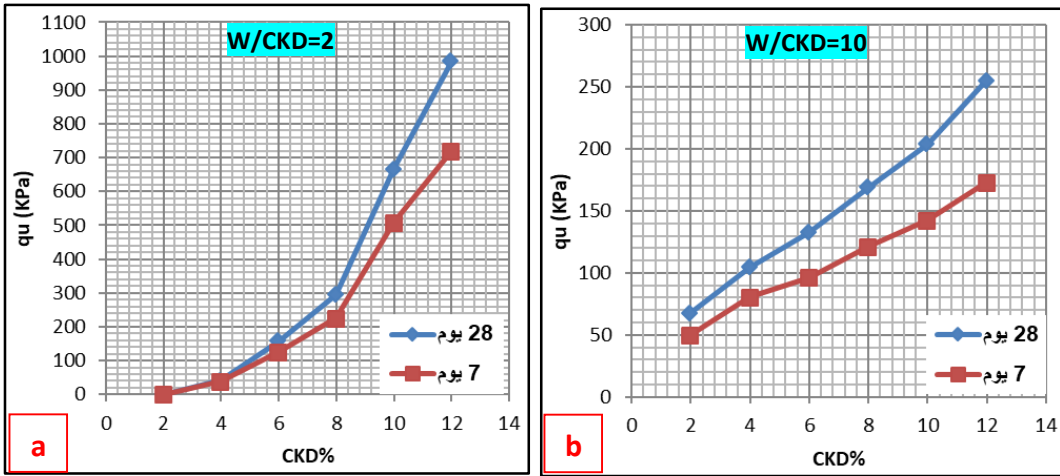
الشكل (17). ازدياد مقاومة الضغط الحر (qu) مع ازدياد نسب % (CKD) من أجل نسبة (W:CKD) الأفضل المقابلة لكل نسبة غبار إسمنت ومدة معالجة (28) يوم

نلاحظ من الجدول (4) والشكل (17) ازدياد كبير جداً في مقاومة الضغط الحر خصوصاً عند النسب العالية لغبار أفران الإسمنت، وذلك بسبب ازدياد المادة الفعالة الرابطة التي تربط جزيئات التربة مع بعضها.

#### 5-1-2. تأثير تغيير نسبة % (CKD) في معلق الحقن على مقاومة الضغط الحر (qu) من أجل نسب (W:CKD) المدروسة ومدتي المعالجة

وجدنا بنتيجة التجارب أنه تزداد مقاومة الضغط الحر بازدياد مدة المعالجة وبازدياد نسبة % (CKD) في معلق الحقن من أجل جميع نسب الخلط المدروسة، {W:CKD= (2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1)}

ويبين الشكل التالي ازدياد مقاومة الضغط الحر (qu) بازدياد نسبة % (CKD) من أجل نسبتي الخلط الأدنى (W/CKD=2) والأعلى (W/CKD=10)، ومن أجل مدتي المعالجة.



الشكل (18). ازدياد مقاومة الضغط الحر (qu) بازدياد نسبة (CKD) %

من الشكل (18) نلاحظ أنه:

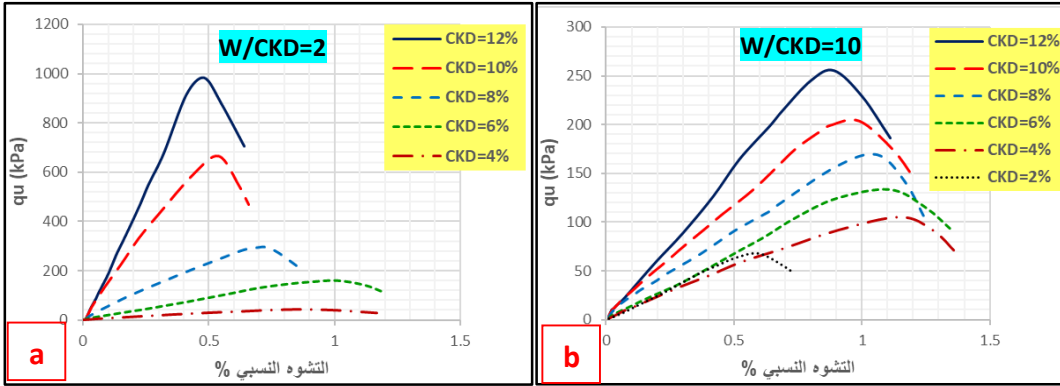
- تزداد مقاومة الضغط الحر بشكل واضح خلال الأيام السبعة الأولى، كما نلاحظ أنّ تأثير مدة المعالجة أكثر أهمية عند نسب (CKD) % العالية مقارنةً بنسب (CKD) % المنخفضة، وهذا منطقي فبازدياد المادة الرابطة يكون تأثير مدة المعالجة مفيداً بشكل أكبر [18,19].

- اكتسبت التربة الرملية المعالجة مقاومة على الضغط الحر (qu)، وازدادت المقاومة المكتسبة (qu) بشكل كبير بازدياد نسبة (CKD) % في معلق الحقن، ويُعزى ذلك إلى الخصائص التلاصقية لغبار الإسمنت، الناتجة عن مكوناته الكيميائية، وتحديدًا النسبة العالية من (CaO) و (SiO<sub>2</sub>) كما رأينا في الجدول (3)، فنتيجةً للتفاعل بين (CaO) و (SiO<sub>2</sub>) والماء تتكون مادة رابطة وهي هيدرات سيليكات الكالسيوم والتي يُرمز لها اختصاراً (C- S- H) وهي تقوم بملء الفراغات وربط حبيبات الرمل ببعضها البعض. فبازدياد نسبة (CKD) % في معلق الحقن، تزداد كمية المادة الرابطة (C- S- H)، فتصبح العينة ذات صلابة ومقاومة عالية للضغط الحر. وهذا يدل على تشابه الخصائص التلاصقية للغبار والإسمنت، حيث أن هذه المادة هي المسؤولة عن القوة والصلابة في خلطات الإسمنت [19,20].

### 3-1-5 منحنيات (الإجهاد- تشوه) للتربة الرملية المعالجة



يتم خلال تجربة الضغط الحر تسجيل الحملات الشاقولية والتشوّهات الشاقولية بشكل متزامن. يبين الشكل (19) العلاقة بين الإجهادات الشاقولية والتشوّهات النسبية (%  $\epsilon$ )، والتي توضح سلوك العينات المحقونة تحت الحمولة المحورية الضاغطة وذلك من أجل نسبتي الخلط الأدنى ( $W/CKD=2$ ) والأعلى ( $W/CKD=10$ ) ومن أجل مدة معالجة (28) يوم.



الشكل (19) منحنيات (الإجهاد - تشوه) للتربة الرملية المعالجة بجميع نسب (% CKD) من أجل نسبتي خلط للمعلق ومدة معالجة (28) يوم

من الشكل (19) نلاحظ أنه:

- قبل الذروة؛ تزداد الإجهادات بشكل خطي تقريباً مع التشوهات حتى بلوغ الذروة التي تمثل بداية الانهيار، والتي تكون عندها المقاومة قصوى وهي مقاومة الضغط الحر ( $q_u$ )، وبعد الذروة تتناقص الإجهادات وتستمر التشوهات بالتزايد.
- تتميز المنحنيات التي تمثل العينات المحقونة بنسب مرتفعة من غبار الإسمنت، بزيادة سريعة للإجهادات وبوجود ذروة واضحة، ويبلغ المنحني الذروة عند قيمة منخفضة للتشوّهات، كما يُلاحظ أنه كلما ازدادت نسبة الغبار تتناقص قيمة التشوه الذي يحدث عنده الانهيار وذلك من أجل جميع نسب ( $W/CKD$ ) المدروسة، ويرجع السبب في ذلك لازدياد صلابة العينة بازدياد نسبة غبار الإسمنت.
- وتتميز المنحنيات التي تمثل العينات المحقونة بنسب منخفضة من غبار الإسمنت بذروة صغيرة نسبياً.

- أما العينات المحقونة بالنسبة (CKD=2%) فنلاحظ أنها انهارت عند قيمة صغيرة للتشوهات مع زيادة بطيئة للاجهادات وذلك بسبب ضعف صلابة العينات المحقونة بهذه النسبة الضعيفة.

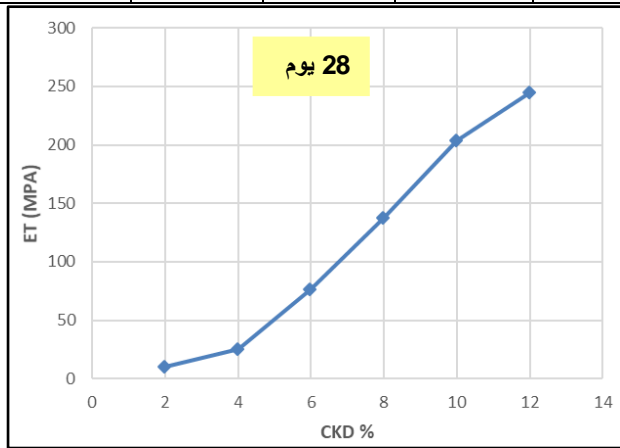
#### 5-1-4. تأثير المعالجة بالحقن على معامل المرونة المماسي الابتدائي ( $E_t$ )

تم تعيين معامل المرونة المماسي الابتدائي من ميل المماس الابتدائي لمنحني (الإجهاد-التشوه) الناتج من تجارب الضغط الحر من أجل كل نسبة من النسب المدروسة، وقد لاحظنا أن ( $E_t$ ) للعينات المعالجة بالحقن يزداد بازدياد مدة المعالجة من أجل جميع نسب غبار الإسمنت المدروسة، وأنه لكل نسبة من نسب غبار الإسمنت المدروسة؛ هناك نسبة ( $W:CKD$ ) معينة تعطي أفضل قيمة للمعامل ( $E_t$ ) ومن المنطقي أن ( $W:CKD$ ) التي نتج عندها أفضل قيمة لمقاومة الضغط الحر من أجل كل نسبة غبار، هي نفسها التي أعطت أفضل قيمة للمعامل ( $E_t$ )، لأن المعامل ( $E_t$ ) تم تعيينه من منحنيات (الإجهاد-تشوه) لكل نسبة. ويبين الجدول (5) والشكل (20) قيم المعامل ( $E_t$ ) من أجل كل نسبة من نسب غبار الإسمنت المدروسة ونسبة ( $W:CKD$ ) الأفضل المقابلة لها وذلك من أجل مدة معالجة (28) يوم.

الجدول (5) قيمة معامل المرونة المماسي الابتدائي ( $E_t$ ) من أجل كل نسبة من نسب (%) CKD ونسبة

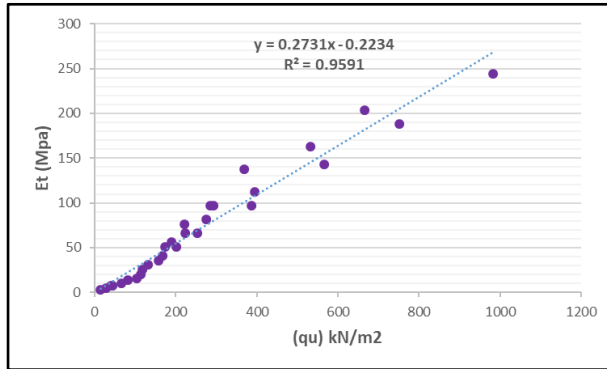
( $W:CKD$ ) الأفضل المقابلة لها عند مدة المعالجة (28) يوم

CKD%	%2	%4	%6	%8	%10	%12
W:CKD	10:1	8:1	6:1	4:1	2:1	2:1
Et (Mpa)	10.19	25.47	76.41	137.54	203.77	244.54
Et(10%)/Et(2%)		2.5	7.5	13.5	20	24



الشكل (20). ازدياد قيمة معامل المرونة المماسي ( $E_t$ ) مع ازدياد نسب (CKD) من أجل نسبة (W:CKD) الأفضل ومدة معالجة (28) يوم

نلاحظ من الجدول (5) والشكل (20) زيادة كبيرة جداً في المعامل ( $E_t$ ) بازدياد نسبة غبار الإسمنت، ويتضح أن العلاقة بين المعامل ( $E_t$ ) ونسبة غبار أفران الإسمنت خطية، وخاصةً عندما ازدادت نسبة غبار الإسمنت عن 2%. كما وجدنا أن ( $E_t$ ) يزداد بازدياد نسبة (CKD) في معلق الحقن من أجل جميع نسب الخلط المدروسة {W:CKD= (2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1)} ومن أجل مدتي المعالجة، وذلك لنفس السبب الذي أدى إلى ازدياد مقاومة الضغط الحر ( $q_u$ ) وهو ازدياد كمية هيدرات سيليكات الكالسيوم، فقد وجدنا أن العلاقة بين مقاومة الضغط الحر ( $q_u$ ) ومعامل المرونة المماسي ( $E_t$ ) علاقة خطية بمعامل ارتباط (0.959) كما يبين الشكل (21).



الشكل (21). العلاقة بين مقاومة الضغط الحر ( $q_u$ ) ومعامل المرونة المماسي الابتدائي ( $E_t$ ) من أجل جميع نسب (CKD) وجميع نسب (W/CKD) المدروسة ومن أجل مدة معالجة 28 يوم

### 5-1-5. نمط انهيار العينات المدروسة

سلكت العينات سلوكاً قسيفاً عند الانهيار، وبازدياد نسبة غبار الإسمنت أصبح نمط الانهيار أكثر قسافةً، وهذا مشابه لسلوك الترب الحبيبية المعالجة بالإسمنت، ولقد لاحظنا ثلاثة أنماط للانهيار:

1. النمط الأول: نمط انهيار العينات ذات الصلابة العالية، وهي العينات المحقونة بمعلق ذو القوام الأفضل، ويكون سطح الانهيار على شكل شق واضح يمتد على كامل طول العينة المنهارة، كما هو مبين بالشكل (22,a).

2. النمط الثاني: نمط انهيار العينات ذات الصلابة المنخفضة، وهي العينات المحقونة بمعلق لزج أو رخو، فإن الكسر لا يكون على كامل طول العينة، وإنما يكون فقط من أعلى أو أسفل العينة، كما هو مبين بالشكلين (22,b) و (22,c).

3. النمط الثالث: العينات ذات صلابة متوسطة بين الحالتين السابقتين، أي عندما تكون نسبة (W:CKD) أقل من النسبة الأفضل وأعلى من النسبة الأضعف، ففي هذه الحالات لاحظنا وجود كتلة كالإسفين في أعلى العينة كما يبين الشكل (22,d)، مع الإشارة إلى أن هذا النمط تمت ملاحظته فقط عند الحقن بنسب الغبار العالية (6%, 8%, 10%, 12%).



الشكل (22) الأنماط الرئيسية لشكل الكسر عند الانهيار

## 5-2. نتائج تجارب القص

أجرينا تجارب القص على عينات التربة الطبيعية، وعلى (180) عينة من التربة المعالجة بالحقن بنسب غبار الإسمنت (2, 4, 6, 8, 10, 12)% ونسب الخلط {W:CKD= (2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1)} (90) عينة من أجل مدة معالجة (7) يوم و(90) عينة من أجل مدة معالجة (28) يوم، وتمّ رسم المخططات التي تمثل العلاقة بين الإجهادات النازمة المطبقة والإجهادات القاصة الأعظمية المقابلة لها، وحصلنا على قيمة بارمترتي القص ( $C, \phi$ ) من أجل جميع النسب المدروسة [11].

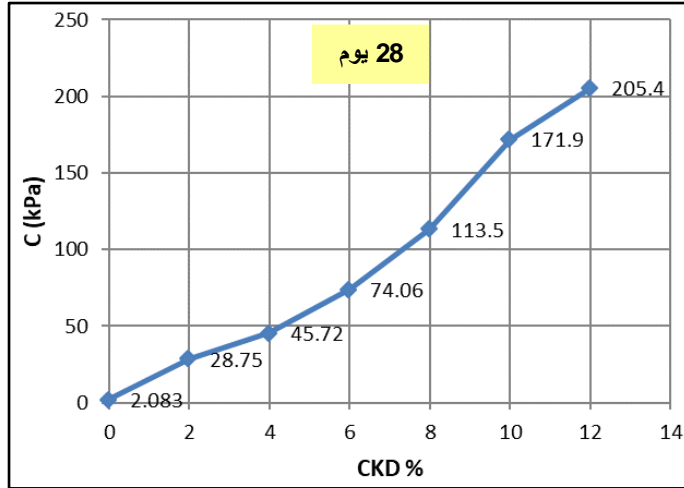
5-2-1. تأثير تغيير نسبة (W:CKD) في معلق الحقن على التماسك من أجل نسب (CKD)% المدروسة ومدتي المعالجة

وجدنا بنتيجة تجربة القص على التربة الطبيعية أن ( $\phi = 38.69^\circ$ )، وأن  $C=2.083$  (kPa) وهو تماسك ظاهري مهمل كون التماسك الحقيقي للرمل المفكك يساوي الصفر، ودرسنا تأثير تغيير نسبة الخلط (W:CKD) ومدتي المعالجة من أجل كل نسبة من نسب غبار الإسمنت المدروسة، على مقاومة وبارامترات القص [11]. حيث وجدنا أن تماسك التربة المعالجة بالحقن يزداد بزيادة مدة المعالجة من أجل جميع نسب غبار الإسمنت [11]، وأنه من أجل كل نسبة % (CKD) هناك نسبة خلط (W:CKD) تعطي أفضل قيمة للتماسك كما يبين الجدول (6) والشكل (23) فقد وجدنا أن معلق الحقن يكون بقوامه الأفضل عند نسبة (W:CKD) الأفضل المقابلة لكل نسبة غبار إسمنت، وقبل نسبة (W:CKD) الأفضل يكون لزجاً وبعدها يكون مائعاً.

الجدول (6) قيمة التماسك من أجل نسب % (CKD) ونسبة (W:CKD) الأفضل المقابلة وعند مدة معالجة (28) يوم

CKD%	%0	%2	%4	%6	%8	%10	%12
W:CKD	----	10:1	8:1	6:1	4:1	2:1	2:1
C (kPa)	2.083	28.75	45.72	74.06	113.5	171.9	205.4
$C_T/C_N$	----	13.80	21.95	35.55	54.49	82.53	98.60

يرمز  $C_N$  لتماسك التربة الطبيعية ويرمز  $C_T$  لتماسك التربة المعالجة.



الشكل (23). ازدياد قيمة التماسك مع ازدياد نسبة % (CKD) من أجل نسبة (W:CKD) الأفضل ومدة معالجة 28 يوم

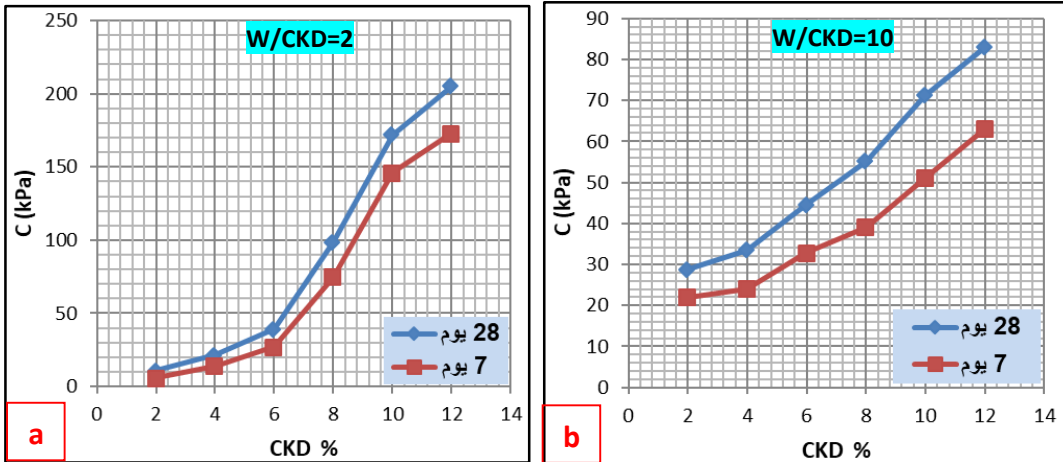
## تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت (CKD) على بعض خصائص التربة الرملية الساحلية

نُلاحظ من الجدول (6) والشكل (23) ازدياد كبير في التماسك خصوصاً عند النسب العالية لغبار الإسمنت، ويُعزى ذلك إلى أن معلق الحقن يتغلغل في فراغات التربة ويملاؤها ثم يتصلب فيقوم بربط حبيبات التربة مع بعضها البعض فتكتسب التربة تماسك تزداد قيمته بازدياد نسبة غبار الإسمنت ومدة المعالجة.

### 5-2-2. تأثير تغير نسبة % (CKD) في معلق الحقن على التماسك من أجل نسب (W:CKD) المدروسة ومدتي المعالجة

وجدنا أن التماسك (C) يزداد بازدياد نسبة غبار الإسمنت في معلق الحقن من أجل مدتي المعالجة وجميع نسب (W/CKD) [11].

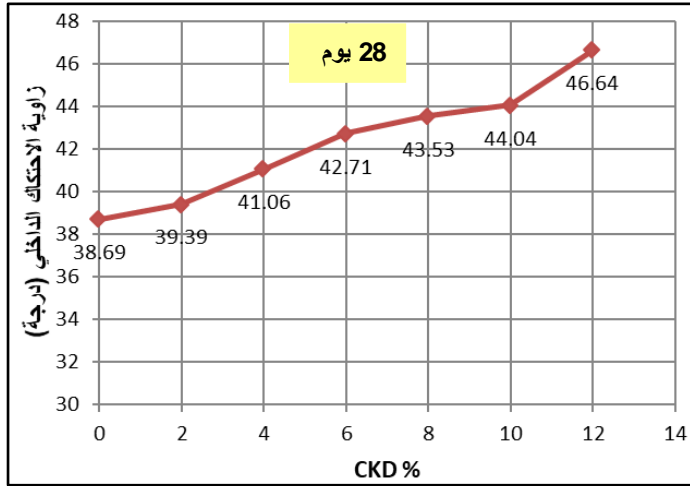
يبين الشكل التالي ازدياد التماسك (C) بازدياد نسبة % (CKD) من أجل نسبي الخلط الأدنى (W/CKD=2) والأعلى (W/CKD=10)، ومن أجل مدتي المعالجة.



الشكل (24). ازدياد التماسك مع ازدياد نسبة % (CKD) من أجل مدتي المعالجة ومن أجل نسبي خلط للمعلق

### 5-2-3. تأثير تغير نسبة % (CKD) ونسبة (W:CKD) في معلق الحقن على زاوية الاحتكاك الداخلي ( $\phi$ ) من أجل مدتي المعالجة

وجدنا أن ( $\phi$ ) تزداد بازدياد نسبة % (CKD) وبازدياد نسبة (W:CKD) وبازدياد مدة المعالجة [11]، ويبين الشكل (25) تغير قيم ( $\phi$ ) مع تغير % (CKD) من أجل نسب (W:CKD) الأفضل الواردة في الجدول (6)، إذ نلاحظ أن تأثير الحقن على زاوية الاحتكاك طفيف مقارنةً بتأثيره على التماسك.



الشكل (25). ازدياد قيمة زاوية الاحتكاك مع ازدياد نسب (CKD) من أجل نسبة (W:CKD) الأفضل ومدة معالجة (28) يوم

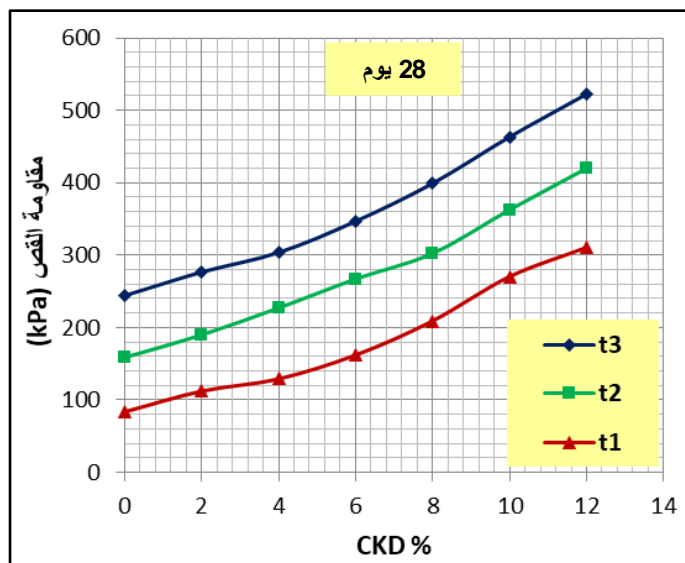
#### 5-2-4. تأثير تغيير نسبة (W:CKD) في معلق الحقل على مقاومة القص من أجل

الإجهادات الناعمة الثلاثة ومن أجل نسب (CKD) المدروسة ومدتي المعالجة وجدنا أنه تزداد قيم مقاومة القص للتربة المعالجة بازدياد مدة المعالجة وذلك من أجل الإجهادات الناعمة الثلاثة ومن أجل جميع نسب (W:CKD) المدروسة [11]. كما وجدنا أنه من أجل كل نسبة (CKD) هناك نسبة (W:CKD) تعطي أفضل قيمة لمقاومة القص كما يبين الجدول (7) والشكل (26).

الجدول (7). قيمة مقاومة القص من أجل نسب (CKD) ونسبة (W:CKD) الأفضل المقابلة لها عند معالجة (28) يوم

CKD%	%0	%2	%4	%6	%8	%10	%12
W:CKD	----	10:1	8:1	6:1	4:1	2:1	2:1
t <sub>1</sub> (kPa)	84.06	112.5	129.38	162.19	209.06	270	310
t <sub>2</sub> (kPa)	158.75	190	227.19	267.19	302.5	362.81	420
t <sub>3</sub> (kPa)	244.38	276.88	303.75	346.88	399.06	463.44	521.88

حيث (t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>, t<sub>3</sub>) إجهادات القص المقابلة للإجهادات الناعمة (100, 200, 300 kN/m<sup>2</sup>) على التوالي.

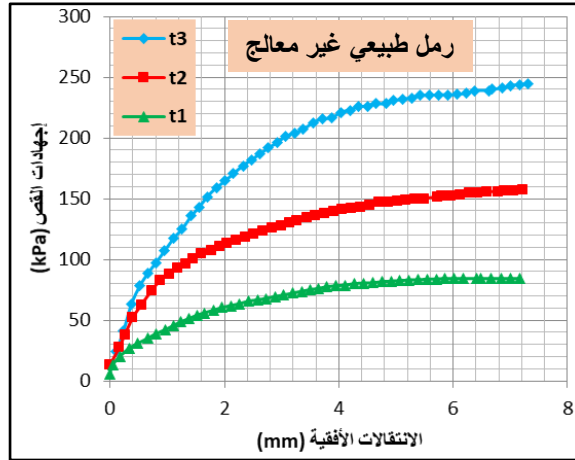


الشكل (26). ازدياد مقاومة القص بازدياد نسب % (CKD) من أجل نسب (W:CKD) الأفضل ومدة معالجة (28) يوم

نلاحظ من الجدول (7) والشكل (26) ازدياد مقاومة القص بازدياد نسبة غبار الإسمنت، وتُعزى الزيادة الحاصلة في مقاومة القص لتغلغل معلق الحقن الذي يملأ الفراغات ويحسن الترابط والتلاصق بين جزيئات التربة مما يؤدي لزيادة قيم مقاومة القص بحسب قيمة غبار الإسمنت. كما وجدنا أن قيم مقاومة القص تزداد بازدياد نسبة % (CKD) وذلك من أجل الإجهادات النازمية الثلاثة ومن أجل جميع نسب (W:CKD) ومن أجل مدتي المعالجة [11].

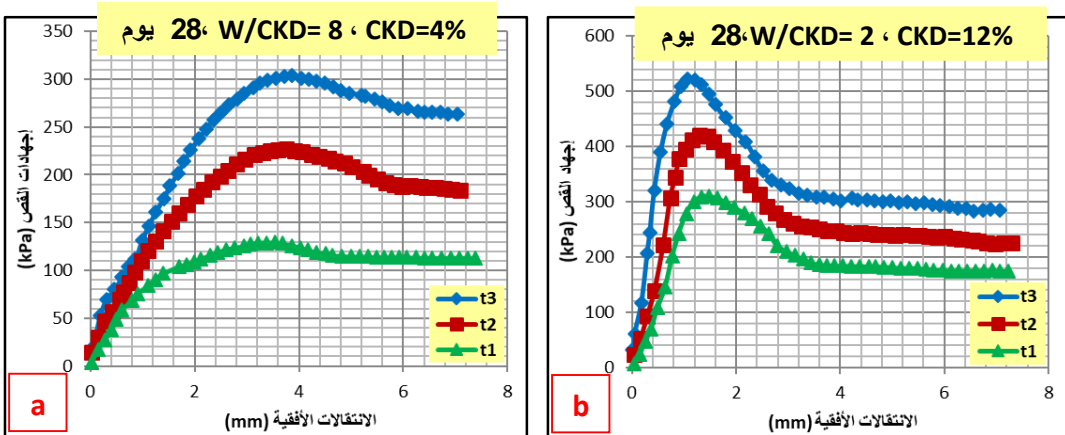
5-2-5. منحنيات (الإجهاد- تشوه) للتربة الرملية الطبيعية والتربة الرملية المحقونة يتم خلال تجربة القص المباشر تسجيل التشوهات الأفقية والتشوهات الشاقولية والقوى القاصة بشكل متزامن.





الشكل (27) منحنيات (الإجهاد- تشوه) للتربة الرملية الطبيعية قبل المعالجة

يبين الشكل (27) أنه في حالة التربة الطبيعية المفككة تتراد الإجهادات القاصة ( $T_1, T_2, T_3$ ) مع تزايد التشوهات الأفقية حتى حصول الانهيار؛ إذ تصل العينة للمقاومة القصوى عند قيمة مرتفعة للتشوهات. ويبين الشكل (28) منحنيات (الإجهاد-تشوه) لعينات التربة الرملية المحقونة من أجل نسبتي غبار الإسمنت ( $CKD=4\%$ ) و ( $CKD=12\%$ ) عند نسبة مزج المعلق ( $W:CKD$ ) الأمثل المقابلة لكل نسبة غبار، ومن أجل مدة معالجة (28) يوم.



الشكل (28) منحنيات (الإجهاد - تشوه) للتربة الرملية المعالجة ببعض نسب  $(CKD)\%$  ونسبة  $(W/CKD)$  الأمثل المقابلة لكل نسبة غبار إسمنت

## تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت (CKD) على بعض خصائص التربة الرملية الساحلية

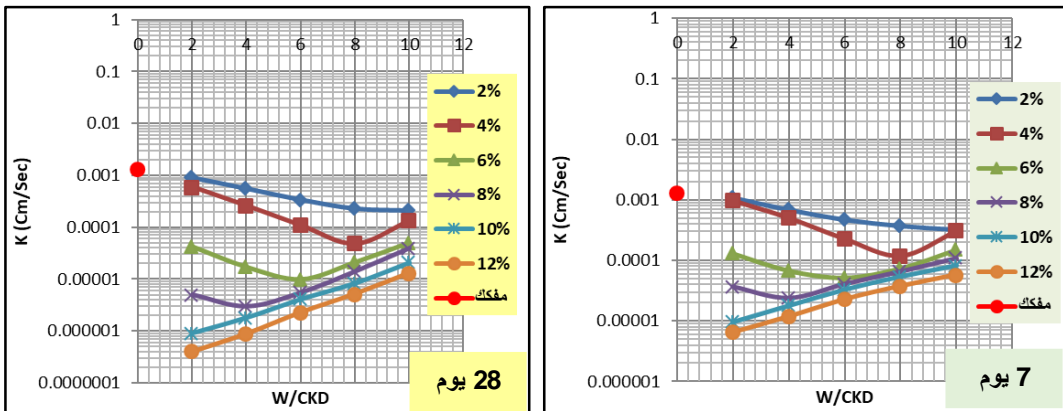
يُظهر الشكل (28,a) أنه من أجل النسبة المنخفضة (CKD=4%) تتزايد الإجهادات القاصة مع تزايد التشوهات الأفقية حتى بلوغ ذروة صغيرة نسبياً تكون عندها المقاومة قصوى، ثم تعاود الإجهادات الانخفاض وتثبت عند قيمة أصغر بقليل من الذروة التي تمثل بداية الانهيار.

أما العينات المحقونة بنسبة غبار عالية (CKD=12%) فتتميز المنحنيات التي تمثلها بوجود ذروة واضحة الشكل (28,b)، كما تتميز بزيادة سريعة للإجهادات القاصة إذ تبلغ المنحنيات الذروة عند قيمة منخفضة نسبياً للتشوهات، وبعد الذروة تستمر التشوهات بالتزايد أما الإجهادات فتتناقص إلى قيمة ثابتة تقريباً. كما نلاحظ أنه قبل الذروة تزداد قيم إجهادات القص بشكل خطي تقريباً مع التشوهات الأفقية وقد لاحظنا ذلك بوضوح عند نسب % (CKD) العالية، وذلك يُعزى للتلاصق بين جزيئات الرمل الذي يسببه الحقن بمعلق غبار الإسمنت فيجعل التربة المحقونة تتمتع بخواص جديدة جيدة.

### 3-5. نتائج تجارب النفاذية

نبيّن فيما يلي نتائج تجارب النفاذية المنجزة على التربة الطبيعية، وعلى عينات التربة الرملية المعالجة.

### 3-5-1. تأثير تغيير نسبة (W:CKD) في معلق الحقن على معامل النفاذية (K) من أجل نسب % (CKD) المدروسة ومدتي المعالجة



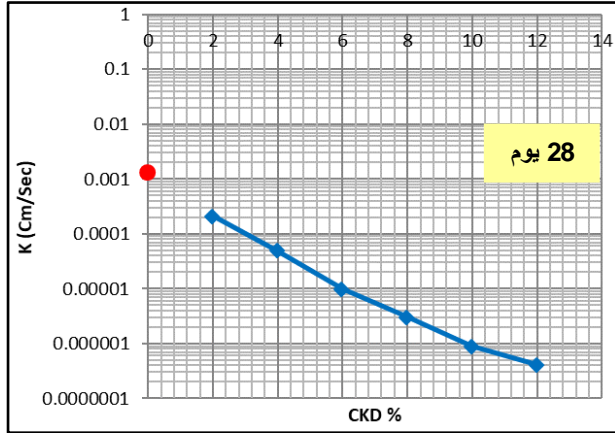
الشكل (29). تغير معامل لنفاذية بازدياد نسبة (W/CKD) من أجل نسب % (CKD) المدروسة ومدتي معالجة

من الشكل (29) نلاحظ أنه: ينخفض معامل النفاذية (K) للعينات المعالجة بازدياد مدة المعالجة من أجل جميع نسب غبار الإسمنت المدروسة، وسبب ذلك إتمام عملية التفاعل [18,19]. كما نلاحظ أنه لكل نسبة من نسب غبار الإسمنت المدروسة؛ هناك نسبة (W:CKD) معينة هي النسبة الأفضل والتي تؤدي لأفضل تخفيض في معامل النفاذية، إذ يكون عندها معلق حَقن بقوامه الأفضل كما هو مبين في الجدول (8) وفي الشكل (30). وعندما تقل نسبة (W/CKD) عن النسبة الأفضل فإن المعلق يكون لزجاً وكميته غير كافية لإخراج الهواء من فراغات التربة، كما أن اللزوجة العالية للمعلق تمنعه من التغلغل جيداً بين حبيبات التربة الرملية مما يؤدي لازدياد معامل النفاذية (K).

الجدول (8) قيمة معامل النفاذية (K) من أجل كل نسبة من نسب (CKD)% ونسبة (W:CKD) الأفضل

المقابلة لها عند مدة المعالجة (28) يوم

CKD%	2	4	6%	8%	10%	12%
W:CKD	10:1	8:1	6:1	4:1	2:1	2:1
K (cm/sec)	$2.1 \times 10^{-4}$	$4.9 \times 10^{-5}$	$9.9 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-6}$	$9 \times 10^{-7}$	$4.1 \times 10^{-7}$

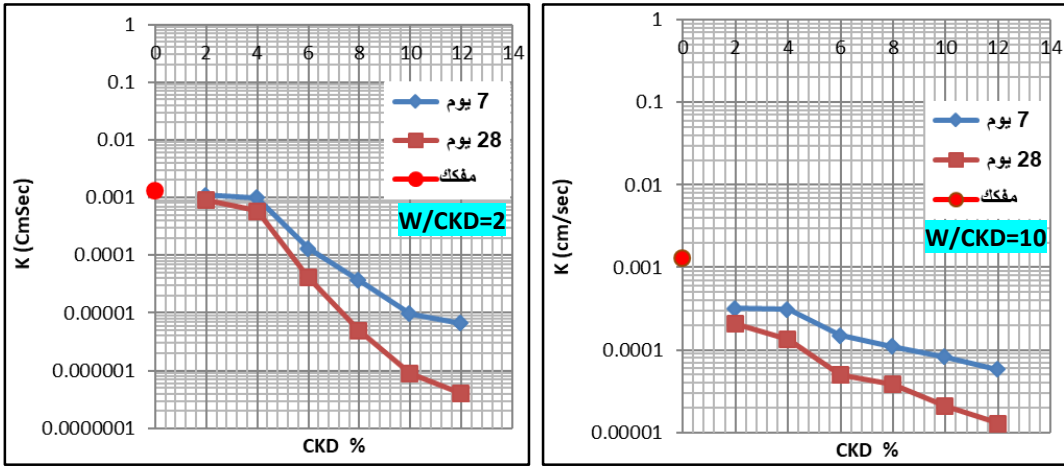


الشكل (30). انخفاض معامل النفاذية مع ازدياد نسبة (CKD)% من أجل نسبة (W:CKD) الأفضل المقابلة لكل نسبة غبار إسمنت ومن أجل مدة معالجة 28 يوم

نلاحظ من الجدول (8) والشكل (30) انخفاض كبير جداً في معامل النفاذية خصوصاً عند النسب العالية لغبار أفران الإسمنت، وذلك بسبب ازدياد المادة الفعالة الرابطة (C-S-H) التي تملأ فراغات التربة وتتصلب مما يؤدي لتكثيم التربة الرملية المعالجة بالحقن بغبار أفران الإسمنت.

### 5-3-2. تأثير تغيير نسبة % (CKD) في معلق الحقن على معامل النفاذية من أجل نسب (W:CKD) المختلفة ومدتي المعالجة

وجدنا بنتيجة التجارب أنه ينخفض معامل النفاذية (K) بازدياد مدة المعالجة وبازدياد نسبة % (CKD) في معلق الحقن من أجل جميع نسب الخلط المدروسة {W:CKD= (2:1, 4:1, 6:1, 8:1, 10:1)} وببين الشكل التالي انخفاض (K) بازدياد نسبة % (CKD) من أجل نسبي الخلط الأدنى (W/CKD=2) والأعلى (W/CKD=10)، ومن أجل مدتي المعالجة.



الشكل (31). انخفاض معامل النفاذية بازدياد نسبة % (CKD) من أجل مدتي معالجة ومن أجل نسبي خلط للمعلق

من الشكل السابق نلاحظ أنه ينخفض معامل النفاذية بشكل واضح خلال الأيام السبعة الأولى، كما نلاحظ أن تأثير مدة المعالجة أكثر أهمية عند نسب غبار الإسمنت العالية مقارنةً بنسب الغبار المنخفضة، وهذا منطقي فبازدياد المادة الرابطة يكون تأثير مدة المعالجة مفيداً بشكل أكبر [18,19].

كما نلاحظ انخفاض كبير في معامل النفاذية بازدياد نسبة غبار الإسمنت في معلق الحقن ويزداد الانخفاض حدةً بازدياد نسبة غبار الإسمنت المئوية، يُعزى التخفيض الحاصل في النفاذية إلى أن غبار الإسمنت يتغلغل في فراغات التربة ويملاها ثم يتصلب فيقوم بتكثيم التربة وتتنخفض النفاذية.

### 5-4. التحقق من جودة الحقن

تم التأكد من تغلغل وتجانس معلق الحقن في كامل العينة المحقونة بالطرق التالية:  
1. من خلال الصورة المجهرية لعينة محقونة والتي أظهرت تغلغل معلق الحقن ضمن فراغات التربة وانتشاره أفقياً ووصوله لأطراف العينة الشكل (32).



الشكل (32): صورة مجهرية لتغلغل معلق الحقن في عينة التربة الرملية بعد مدة معالجة (28) يوم  
2. من خلال مراقبة انتشار معلق الحقن بالاتجاهين الشاقولي والأفقي للعينات المحقونة، وذلك باستخدام جهاز تم تصميمه خصيصاً لهذا الغرض ميبين في الشكل (33)، يتألف من: أسطوانة مصنوعة من بلاستيك عالي المتانة (كلوريد بولي فينيل CPVC) بقطر داخلي (30)cm وارتفاع (30) cm، وذراع متحرك متصل بسلسلة معدنية لرفع الأسطوانة البلاستيكية المحيطة بالعينة المحقونة بسهولة، مُحَدَّد معدني دائري لتحديد مكان وشاقولية أنبوب الحقن، وغطاء لتغطية العينة أثناء عملية الحقن.



الشكل (33): جهاز دراسة انتشار معلق الحقن

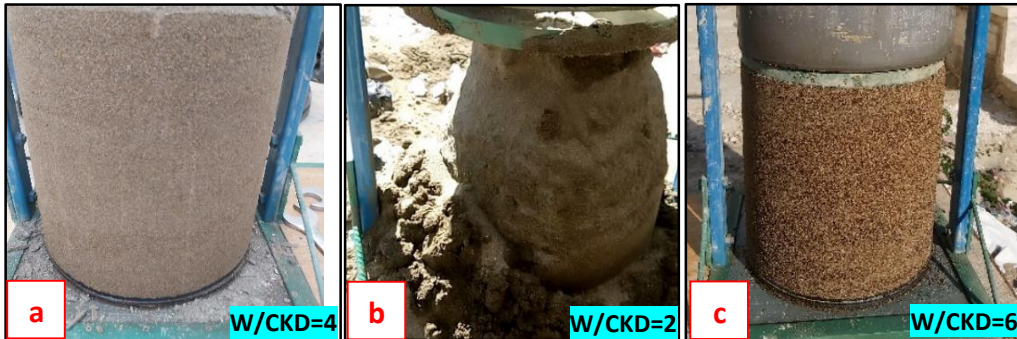
## تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت (CKD) على بعض خصائص التربة الرملية الساحلية

حيث تم دهن الأسطوانة البلاستيكية من الداخل بالزيت المعدني من أجل سهولة سحبها عن العينة ومن ثم تمت عملية الحقن كما ورد في الفقرة (4-3) ولكن باستخدام خرطوم حقن وحيد وأنبوب حقن وحيد كي نتحقق من انتشار معلق الحقن حتى الأطراف، وبعد عملية الحقن بمدة معالجة (28) يوم، تم سحب الأسطوانة للأعلى بسهولة وبالتالي تمت مراقبة شكل وأبعاد الكتلة المحقونة، وقد وجدنا أنه:

عند نسبة (W:CKD) الأفضل والتي يكون عندها معلق حقن بقوامه الأفضل؛ فإن قطر انتشار الحقن يكون كاملاً، ومساوياً لقطر الأسطوانة البلاستيكية أي أن معلق الحقن انتشر بشكل جيد أفقياً وشاقولياً، كما هو مبين في الشكل (a, 34).

أما عندما تقل نسبة (W:CKD) عن النسبة الأفضل فإن المعلق يكون لزجاً، وقد لاحظنا أن قطر انتشار الحقن في هذه الحالة أصغر من قطر الأسطوانة البلاستيكية، ولا يصل الحقن لأطراف الأسطوانة بسبب لزوجة المعلق، كما هو مبين في الشكل (b, 34).

وعند ازدياد نسبة (W:CKD) عن النسبة الأفضل يصبح المعلق مانعاً ورخواً وقد وجدنا في هذه الحالة أن قطر انتشار الحقن يكون كاملاً، ومساوياً لقطر الأسطوانة، ولكن مقاومة الضغط الحر والقص أقل من المقاومة الأعظمية كما ورد أعلاه في ثنايا هذه المقالة، أي أن ميوعة وسيولة المعلق أمنت تغلغله وسهلت انتشاره أفقياً بشكل تام ولكن المقاومة انخفضت بسبب نزف حبيبات الغبار مع الماء الزائد، الشكل (c, 34).

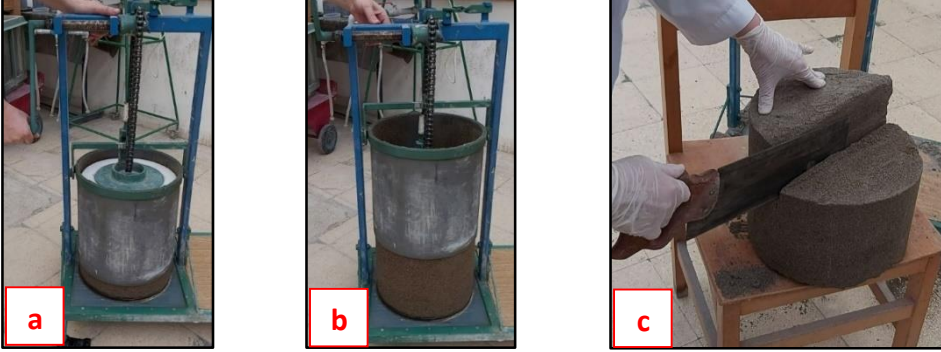


الشكل (34). انتشار الحقن أفقياً لعينة محقونة بالنسبة (CKD=8%) من أجل نسب (W/CKD)

مختلفة

3. من خلال إجراء مقاطع طولية وعرضية في العينة المحقونة بنسبة (W/CKD) الأفضل: فبعد رفع غطاء العينة باستخدام الذراع المتحرك تم قص العينة بالاتجاه

الشاقولي والاتجاه العرضي؛ كما هو مبين في الشكل (35)، ولاحظنا بوضوح أنّ معلق الحقن انتشر بشكل متجانس في كافة أنحاء التربة المحقونة.



الشكل (35). مراحل إجراء المقاطع الطولية والعرضية في عينة معالجة بالحقن بنسبة (W/CKD) الأفضل

## 5-5. مناقشة النتائج

بيّنت النتائج الواردة في الجداول والأشكال السابقة أنّ التربة الرملية الطبيعية اكتسبت مقاومة عالية على الضغط الحر وزيادة كبيرة في معامل المرونة المماسي بعد الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت، كما بيّنت تحسناً كبيراً جداً في التماسك ومقاومة القص وأيضاً انخفاضاً ملحوظاً بالنفاذية وسبب ذلك اكتمال الفترة الزمنية اللازمة لإتمام عملية التفاعل [18,19]، وأيضاً بسبب التلاصق بين جزيئات الرمل الناتج عن الحقن بمعلق غبار الإسمنت، ويحدث التلاصق نتيجةً لتشكل هيدرات سيليكات الكالسيوم (C-S-H) التي تقوم بملء الفراغات وربط حبيبات الرمل ببعضها البعض ومن ثم تتصلب، مما يجعل التربة المحقونة تتمتع بخواص جديدة وكأنها مادة وسطية بين الرمل والبيتون [9]، تتوافق نتائج البحث مع أبحاث سابقة درست تحسين ترب رملية بالحقن بمعلق الإسمنت كما سبق وأشرنا أثناء عرض النتائج، مما يدل على أنّ فعالية غبار الإسمنت تشبه فعالية الإسمنت في تحسين خصائص الترب الرملية، فغبار الإسمنت مشابه إلى حد كبير للإسمنت البورتلاندي العادي خاصةً في محتوى (CaO) و (SiO<sub>2</sub>) مما يجعله مؤهلاً لإنتاج مواد لاصقة رابطة جيدة عند تفاعله مع الماء، إضافةً لكونه يتميز عن الإسمنت بأنه أكثر نعومة مما يسمح لمعلق غبار الإسمنت بالتغلغل في فراغات الترب التي لا

يمكن لمعلق لإسمنت أن يدخل فراغاتها، مما ينعكس إيجاباً على جودة الحقن التي تعتمد بشكل رئيسي على تغلغل معلق الحقن ضمن فراغات التربة [2]. كما وجدنا أن لنسبة الماء لغبار الإسمنت (W/CKD) دور رئيسي مؤثر على انتشار وتغلغل الحقن أفقياً وشاقولياً، مما يؤكد أهمية تأثير قوام معلق الحقن على جودة الحقن.

## 6- الاستنتاجات

بالاستناد على النتائج التجريبية التي وردت في هذه المقالة يمكن تلخيص النتائج كالتالي:

- مادة غبار أفران الإسمنت، والتي تعد مادة غير تقليدية وحديثة العهد في الاستخدام لتحسين ترب التأسيس، ذات كفاءة عالية في تحسين خصائص التربة الرملية الساحلية.
- إن نسبة خلط المعلق (غبار إسمنت: ماء) (W:CKD) لها تأثير كبير على جودة وفعالية الحقن، فقد وجدنا أنه من أجل كل نسبة من نسب (CKD) هناك نسبة خلط مثلى (W:CKD)، ينتج عن الحقن بها أفضل قيم للخصائص المدروسة وأفضل انتشار وتوزع لمعلق الحقن، وسبب ذلك أن معلق الحقن يكون بقوامه الأفضل عند نسبة (W:CKD) الأمثل.
- تأثير مدة المعالجة أكثر أهمية عند نسب % (CKD) العالية مقارنة بالنسب المنخفضة.



- اكتسبت التربة المعالجة مقاومة عالية للضغط الحر (qu) وزيادة كبيرة في معامل المرونة المماسي (Et)، وازدادت قيم (qu) و (Et) بشكل كبير عند الحقن بالنسب العالية لـ % (CKD)، وأيضاً بازدياد مدة المعالجة.
- ازدادت قيم مقاومة الضغط الحر (qu) وقيم معامل المرونة المماسي (Et) للتربة الرملية المعالجة بالحقن بنقصان النسبة (W:CKD) في معلق الحقن ويظهر ذلك بوضوح عند نسب % (CKD) العالية.
- تتميز منحنيات (الإجهادات الشاقولية-التشوهات النسبية) الناتجة عن تجارب الضغط الحر على العينات المحقونة بنسب غبار الإسمنت العالية؛ بوجود ذروة واضحة. أما منحنيات (الإجهادات الشاقولية-التشوهات النسبية) للعينات المحقونة بنسب الغبار المنخفضة فتكون ذروتها صغيرة نسبياً، ويتناقص التشوه الشاقولي الذي يتم عنده الانهيار بازدياد نسبة غبار الإسمنت.
- تسلك العينات عند الانهيار سلوكاً قسيفاً (Brittle) ويزداد قسافةً بازدياد نسبة غبار الإسمنت، ويكون شق الانهيار واضح وعلى كامل طول العينة عندما يكون معلق الحقن بقوامه الأفضل.
- تزداد قيم التماسك وقيم مقاومة القص للتربة الرملية المعالجة بالحقن بازدياد نسبة % (CKD) في معلق الحقن وبازدياد مدة المعالجة وبانخفاض نسبة (W:CKD) في معلق الحقن. وتكون نسبة الزيادة في التماسك عالية جداً عند النسب العالية لـ % (CKD).
- تزداد قيم زاوية الاحتكاك الداخلي ( $\phi$ ) بازدياد كل من: نسبة % (CKD) ونسبة (W/CKD) في معلق الحقن ومدة المعالجة. ولكن الزيادة في قيمة ( $\phi$ ) طفيفة عند نسب % (CKD) المنخفضة.
- إن علاقة (إجهادات القص - التشوهات الأفقية) خطية قبل الذروة، وتظهر الذروة بوضوح عند نسب % (CKD) العالية.

- انخفضت نفاذية التربة الرملية المعالجة بالحقن بازياد نسبة % (CKD) في معلق الحقن ويازياد مدة المعالجة وياخفض نسبة (W/CKD) في معلق الحقن، وياخفض معامل النفاذية بشكل ملحوظ وهام عند الحقن بنسب غبار الإسمنت العالية.

#### 7- التوصيات

1- استخدام غبار أفران الإسمنت المنتج في معامل الإسمنت في سوريا لتحسين خصائص ترب التأسيس الرملية كبديل متوفر وجيد وغير مكلف اقتصادياً لمادة الإسمنت البورتلاندي العادي.

2- استخدام تقنية الحقن لتحسين خصائص الترب الرملية المفككة فهي تقنية فعالة واقتصادية.

3- القيام بأبحاث إضافية لمعرفة تأثير الحقن بمعلق غبار أفران الإسمنت على أنواع أخرى من الترب.

4- القيام بأبحاث لمعرفة تأثير إضافة المواد الكيميائية لمعلق الحقن المدروس على سلوك الترب المحقونة.

#### شكر وتقدير

يود الباحثون تقديم الشكر الجزيل لرئاسة جامعة تشرين وإدارة معمل إسمنت طرطوس لتقديمهم التسهيلات اللازمة لإجراء هذا البحث.

## المراجع

- [1] ADASKA. W. S and TAUBERT. D. H, 2008- **Beneficial uses of cement kiln dust**, 50<sup>th</sup> Cement Industry Technical Conference IEEE-IAS, USA, May 19-22, Paper No. 1627.
- [2] AKBULUT. S and SAGLAMER. A, 2002- **Estimating The Groutability of Granular Soils: A New Approach**, Tunnelling and underground space technology, 17(4), 371-380.
- [3] AL-REFEAI. T. O and AL-KARNI. A. A, 1999- **Experimental Study on the Utilization of Cement Kiln Dust for Modification**, J. King Soud University Eng. Sci, Vol. 11, No. 2, 217-232.
- [4] **American Society for Testing and Materials**, 2015- ASTM Standard C33, Vol. 04.08 Soil and Rock (I); D420-D5876.
- [5] AVCI. E and MOLLAMAHMUTOĞLU. M, 2016- **UCS properties of superfine cement-grouted sand**, Journal of Materials in Civil Engineering, 28(12),06016015.
- [6] CHANG. M. H, MAO. T. W and HUANG. R. C, 2016- **A Study on the Improvements of Geotechnical Properties of In-Situ Soils by Grouting**, Geomech Eng, Vol. 10, No. 4, 527-546.
- [7] CHOO. H, LEE. W and LEE. C, 2018- **Overconsolidation and Cementation in Sands: Impacts On Geotechnical Properties and Evaluation Using Dilatometer Tests**, Geotechnical Testing Journal, 41(5), 915-929.
- [8] CHOO. H, NAM. H and LEE. W, 2017- **A Practical Method for Estimating Maximum Shear Modulus of Cemented Sands Using Unconfined Compressive Strength**, Journal of Applied Geophysics, 147, 102-108.
- [9]DANO. C, HICHER. P. Y and TAILLIEZ. S, 2004- **Engineering properties of grouted sands**, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130(3), 328-338.
- [10] DAYAKAR. P, MARTINLUTHER. S and ARUNYA. A, 2012- **Study on Effect of Cement Based HPMC Grout on**

- bearing capacity of coarse grained**, International Journal of Computer & Organization Trends, Vol. 2. No. 5, 20-28.
- [11] FAYAD. T, ALABDEH. R and ALSAKR. F, 2020-**A study on the Effect of Grouting with Cement Kilns Dust (CKD) on the Shear Strength of Coastal Sandy Soils**, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies, Vol. 42, No. 6, 183-202.
- [12] GANTA. S, 2017- **Improvement of Bearing Capacity of Sandy Soil by Grouting**, (IJITR), Vol. 5, No. 5, 7267-7270.
- [13] HAWKINS. G. J, BHATTY. J. I and OHARE. A. T, 2003-**Cement kiln dust production, management and disposal**, R & D Serial No. 2327, Portland Cement Association, Skokie, Illinois.
- [14] IBRAGIMOV. M. N, 2017- **Soil Stabilization with Cement Grouts**, Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 42, No. 2, 67-72.
- [15] KUMAR. S.T.G, ABRAHAM. B. M, SRIDHARAN. A and JOSE. B.T, 2013- **Improvement of shear strength of loose sandy soils by grouting**, Indian Geotech J, 44(3),234-240
- [16] KUMAR, A and SINGH. A.K, 2017- **Stabilization of Soil using Cement Kiln Dust**, international Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology.Vol.6, No. 6,11631-11637.
- [17] MARKOU. I. N and DROUDAKIS. A. I, 2013- **Factors Affecting Engineering Properties of Microfine Cement Grouted Sands**, Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 31, No. 4, 1041-1058.
- [18] MASLEHUDDIN. M, AL-AMOUDI. O.S.B, REHMAN. M.K, ALI. M.R and BERRY. M.S, 2009- **Properties of Cement Kiln Dust Concrete**, Construction and Building Materials, Vol. 23, No. 6, 2357-2361.
- [19] MASLEHUDDIN. M, AL-AMOUDI. O.S.B, SHAMEEM. M and REHMAN. M.K, 2008-**Usage of Cement Kiln Dust in Cement Products – Research Review and Preliminary Investigations**, Construction and Building Materials, Vol. 22, 2369-2375.
- [20] MILLER. G.A and AZAD, S. 2000- **Influence of Soil Type on Stabilization with Cement Kiln Dust**, Construction and Building Materials, Vol. 14, 89-97.

- [21] MILLER. G. A and ZAMAN. M, 2000- **Field and Laboratory Evaluation of Cement Kiln Dust as A Soil Stabilizer**, Transportation Record Bored, TRB, National Research Council, Washington, D.C., No.1714, 25-32.
- [22] MOLLAMAHMUTOGLU. M and AVCI. E, 2015- **Effectiveness of Microfine Portland Cement Grouting On the Strength and Permeability of Medium to Fine Sands**, Periodica Polytechnica Civil Engineering, 59(3), 319-326.
- [23] OZGUREL. H. G and VIPULANANDAN. C, 2005- **Effect of Grain Size and Distribution on Permeability and Mechanical Behavior of Acrylamide Grouted Sand**, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 131(12), 1457-1465.
- [24] RAJU. V.R, VALLURI. S, 2008- **Practical Application Of Ground Improvement**, Symposium on Engineering of Ground & Environmental Geotechniques (SEG2).
- [25] RAMAN. K. V, DAYAKAR. P and RAJU.K. V. B, 2016- **Improvement of sandy soil by low pressure grouting using cement grout**, Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences, JCPS, Vol. 9, No. 2, 190-194.
- [26] ROY. S and BHALLA. S. K, 2017- **Role of Geotechnical Properties of Soil in Civil Engineering Structures**, Resources and Environment, 7(4),103-109.
- [27] VENKATRAMAN.K, DAYAKAR. P and VENKATAKRISHNAIAH. R, 2018- **Study on Permeation Grouting in Coarse Grained Soil with Cement Chemical Grout (Sodium Silicates)**, International Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol. 119, No. 12, 9289-9300.

