

# مجلة جامعة حمص

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية

مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد ١  
1443 هـ - 2025 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب  
رئيس جامعة حمص

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس التحرير	أ. د. وليد حمادة
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

سورية . حمص . جامعة حمص . الإدارة المركزية . ص . ب (٧٧)

. هاتف / فاكس : ٢١٣٨٠٧١ ٣١ ٩٦٣ ++

. موقع الإنترنت : [www.homs-univ.edu.sy](http://www.homs-univ.edu.sy)

. البريد الإلكتروني : [journal.homs-univ.edu.sy](http://journal.homs-univ.edu.sy)

**ISSN: 1022-467X**

## شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- ٢ 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).
  - ١- مقدمة
  - ٢- هدف البحث
  - ٣- مواد وطرق البحث
  - ٤- النتائج ومناقشتها .
  - ٥- الاستنتاجات والتوصيات .

٦- 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).
١. مقدمة.
  ٢. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
  ٣. أهداف البحث و أسئلته.
  ٤. فرضيات البحث و حدوده.
  ٥. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
  ٦. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
  ٧. منهج البحث و إجراءاته.
  ٨. عرض البحث و المناقشة والتحليل
  ٩. نتائج البحث.
  ١٠. مقترحات البحث إن وجدت.
  ١١. قائمة المصادر والمراجع.
- ٧- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
- أ- قياس الورق ١٧,٥×٢٥ B5.
- ب- هوامش الصفحة: أعلى ٢,٥٤- أسفل ٢,٥٤ - يمين ٢,٥- يسار ٢,٥ سم
- ت- رأس الصفحة ١,٦ / تذييل الصفحة ١,٨
- ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس ٢٠
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس ١٣ عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس ١٣ عريض.
- ج. يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى ١٢سم.
- ٨- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- ٩- 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.

١٠- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة  
١١- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [١] 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

١. دفع رسم نشر (٥٠٠٠٠٠) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
٢. دفع رسم نشر (٢٠٠٠٠٠) ل.س مئة ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
٣. دفع رسم نشر (٢٠٠) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
٤. دفع مبلغ (١٥٠٠٠) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

## المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
٤٨-١١	آلاء سلوم د.مازن سلوم	تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة المعرضة لضغوط بيزومترية مرتفع
٨٤-٤٩	م.رشا علي صالح	أفاق استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في إنشاء أبنية السكن الموقت في سورية
١١٠-٨٥	د.امال عطيه	دراسة بعض العوامل الفيزيوكيميائية لمياه نهر سوريث في باتياس
١٣٦-١١١	بتول حيدر	تحسين مواصفات المياه الخارجة من محطة السلمية باستخدام المرشح البيولوجي الهوائي

١٦٤-١٣٧	د.سوزان تفاحة	تقييم الأداء البوزولاني لظمي بعض سدود المنطقة الساحلية لتحديد إمكانية استخدامها بخلطات الاسمنت
---------	---------------	--



# تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائية المعرضة لضغط بيزومتري مرتفع

## الملخص

يهدف البحث إلى دراسة تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المنفذة في الأراضي ذات الميول الخفيفة والمعرضة لضغط بيزومتري مرتفع (يؤدي إلى تسرب الماء من الطبقات السفلية إلى الطبقات العلوية) بتباعدات مختلفة وذلك من خلال إيجاد نموذج رياضي يعتمد على نظرية التحويل المتطابق (تحويل شوارتز\_كريستوفل) والنظرية الانعكاسية. تم في هذه الدراسة استنتاج المعادلات الرياضية العامة لتابع الجهد المركب ( $w$ )، ودالة جهد السرعة ( $\phi$ )، ودالة الجريان ( $U$ )، وتم دراسة تأثير ميل سطح المياه الجوفية في خواص الصرف المتمثلة في التدفق الكلي للمصارف المغطاة ( $Q_t$ )، وتدفق المصرف الرئيسي المكشوف ( $Q_0$ )، والتدفق الأعظمي للمصارف المغطاة ( $Q_{max}$ )، و التدفق الأصغري للمصارف المغطاة ( $Q_{min}$ )، والضغوط الأعظمي بين مصرفين مغطيين ( $h_{max}$ )، وتحليلها ووضعها على شكل منحنيات لا بعدية. وتم التوصل نتيجة البحث إلى أن الضغوط الأعظمي بين مصرفين مغطيين يتغير بنسبة 209.17% عند تغير الميل من 0.002 إلى 0.008.

## الكلمات المفتاحية

مصارف مغطاة - ضغوط بيزومتري - المياه الجوفية - تحويل شوارتز\_كريستوفل -  
الجهد المركب - جهد السرعة

# The Effect of the Groundwater Surface Slope on its Movement Towards Covered Drains Located in Sloping Lands Subjected to High Piezometric Pressure

## Abstract

The research aims to study the effect of the groundwater surface slope on its movement towards covered drains implemented in lands with slight slopes and subjected to high piezometric head (The high piezometric head can lead to water seepage from the lower layers to the upper layers) at different spacings by finding a mathematical model based on the identical transformation theory (Schwartz–Christoffel transformation) and the reflection theory .

In this study, the general mathematical equations for the complex voltage function ( $w$ ), the velocity voltage function ( $\phi$ ), and the flow function ( $\psi$ ) were derived.

The effect of the groundwater surface slope on drainage properties represented by the total flow of covered drains ( $Q_t$ ), flow of open main drain ( $q_0$ ), maximum flow of covered drains ( $Q_{max}$ ), minimum

flow of covered drains( $Q_{min}$ ), and the maximum head between two covered drains( $h_{max}$ ) was studied for different cases of spacing between covered drains, and these properties were analyzed and formulated in the form of non-dimensional curves.

The research results showed that the maximum pressure between two covered drains changes by 209.17% when the slope changes from 0.002 to 0.008.

#### **key words**

Covered drains – Piezometric head – Groundwater – Schwarz\_Christoffel transformation – Complex potential – Velocity potential

## ١ - مقدمة

إن الزيادة المستمرة في عدد سكان العالم تزيد من حاجة الإنسان للمحاصيل الزراعية لذلك فإن الاهتمام بالزراعة أمر ضروري، ولن يكون الاهتمام بهذا الموضوع ممكناً إذا لم يكن هناك طريقة صرف جيدة للترب.

يعد تصريف الترب عامل أساسي لصحة النبات ونموه وذلك لأنه يؤثر على كمية الماء والهواء المتوفرة لجذور النباتات.

يسمح التصريف الجيد للتربة بتصريف المياه الزائدة بعيداً عن جذور النباتات، مما يساعد على منع حالات التشبع بالمياه التي يمكن أن تؤدي إلى تعفن الجذور والأمراض الفطرية الأخرى. كما أنه يسمح للهواء بالدوران حول جذور النباتات، وهو أمر ضروري لتنفس الجذور وامتصاص العناصر الغذائية.

عندما يكون هناك تربة ذات ناقلية هيدروليكية ضعيفة متوضعة فوق طبقة مياه جوفية أو طبقة عالية النفوذية فإن احتمالية حدوث ضغط ارتوازي تزداد وذلك بسبب حدوث تدفق تسرب تصاعدي في التربة، في بعض الحالات قد يكون التدفق التصاعدي كبيراً بما يكفي للتسبب في حدوث تشبع مائي للتربة، أو حدوث ما يسمى بالبرك السطحية، أو حدوث تملح للتربة، في مثل هذه الظروف فإن استخدام نظام الصرف المغطى هو الأنسب، وذلك لأنه يؤمن أقصى فائدة وبأقل تكلفة إجمالية، بالإضافة إلى أنه يوفر مساحة كبيرة من الأرض التي يمكن أن تستهلك في النظام التقليدي للمصارف المكشوفة.

ومن أجل دراسة نظام الصرف المغطى وحالات استخدامه كان لا بد من الاطلاع على أهم الأبحاث التي عنت بدراسته حيث قدم الباحث Hammad, H. Y. عام 1957 النظرية الهيدروديناميكية لحركة المياه باتجاه المصارف في الأراضي الأفقية، حيث تم إيضاح الشروط الطرفية وخطوط الجريان والسطح الحر للمياه، وأوجد باستخدام نظرية الدوال المركبة

معادلة لحساب التدفق في واحدة الطول لحالة المصارف الممتلئة تماماً، كما أعطى معادلات لإيجاد السطح الحر للمياه والضاغط الأعظمي، وذلك وفقاً للحالات الثلاث الآتية:

– المصارف مغمورة تماماً.

– المصارف ممتلئة تماماً.

– المصارف ممتلئة جزئياً. [4]

وضح Harr. M. E عام 1962 أن جهد السرعة في نقطة معينة من منطقة جريان المياه الجوفية يتعلق بنفاذية التربة  $k$ ، والضغط المطبق عند تلك النقطة  $p$ ، وكثافة الماء  $\rho$ ، وتسارع الجاذبية الأرضية  $g$ ، وموقع النقطة بالنسبة لمستوي مرجعي  $y$ . أعطى معادلة جهد السرعة بالشكل التالي:

$$\phi = k \left( \frac{p}{\rho g} + y \right) \quad (1)$$

وكذلك أعطى معادلة الجهد المركب بالشكل التالي

$$W = \phi + i\psi \quad (2)$$

حيث  $\phi$  هي دالة جهد السرعة واعتبرها الجزء الحقيقي من معادلة الجهد المركب.

$\psi$  هي دالة الجريان وهي الجزء التخيلي من معادلة الجهد المركب. [5]

وقدم الباحثون Mohammad Najamii, Don Kirkham, and Merwin Dougal

عام 1978 حلاً لمسألة الصرف للتربة المتطبقة التي يتسرب الماء إليها من الأعلى ومن الأسفل عن طريق استخدام مصارف أنبوبية توضع في الطبقة العليا من التربة.

توصلوا بالاعتماد على معادلة لابلاس وقانون دارسي وعلى تحويل فورييه إلى معادلة تدفق المصرف الأنبوبي و معادلة التباعد بين المصارف بالإضافة إلى رسم شبكة الجريان.

تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة  
المعرضة لضغط بيزومتري مرتفع

أعطوا أمثلة عددية أوجدوا من خلالها أنه إذا كانت الطبقة السفلية ذات ناقلية هيدروليكية أصغر من الناقلية الهيدروليكية للطبقة العليا يمكن عندها أن تكون المصارف الأنبوبية على تباعدات أوسع. [6]

من أجل حالة الترب موحدة الخواص والمعرضة لضغط بيزومتري مرتفع قدم الباحث H.M. Hathoot عام 1986 حلا لمسألة صرف الأراضي الزراعية المرتكزة على طبقة نفوذة ذات ضاغط بيزومتري مرتفع باستخدام نظام المصارف النفقية المزدوجة استخدم نظرية التحليل المركب و النظرية التخيلية لإيجاد دالة الجهد المركب  $w$  ودالة جهد السرعة  $\phi$  ودالة الجريان  $\psi$  و تدفق المصرف النقي  $Q$  و التباعد بين المصارف النفقية [7].L

وقدم الباحث Mohamed M. Sobeih عام 1988 دراسة لنظام صرف الأراضي التي تعاني من ضاغط بيزومتري مرتفع وذلك باستخدام المصارف الأنبوبية كمصارف مساعدة للمصارف النفقية الموجودة مسبقا في الأرض، وذلك للتحكم في مستوى المياه الأرضية فوق منسوب المصارف النفقية .

توصل إلى استنتاج معادلات رياضية عامة جديدة لإيجاد دالة الجهد المركب  $w$  ودالة جهد السرعة  $\phi$  ودالة الجريان  $\psi$  كما استنتج معادلات لحساب تدفق المصارف الأنبوبية المساعدة وتدفق المصارف النفقية الموجودة مسبقا في الأرض. [8]

ومن أجل الحالة غير المستقرة لحركة المياه الجوفية استنتج الباحثون T. Hartani, D. Zimmer, and B. Lesaffre عام 2001 حلولا شبه تحليلية للحالة غير المستقرة لوصف سلوك سطوح المياه الجوفية لأنظمة الصرف المغطى المثبتة في الأراضي المائلة المستندة على طبقة كتيمة.

أوجدوا من خلال الدراسة معدلات تدفق المصرف وارتفاعات سطح المياه الجوفية ومعدلات التغذية.

تم إدخال المعادلات في نموذج الصرف الحقلي SIDRA الذي يحاكي القيم بالساعة لارتفاعات منسوب المياه الجوفية ومعدلات تدفق المصرف.

لإثبات تنبؤات النموذج استخدمت طريقتان:

– تستخدم الطريقة الأولى معادلة الحالة المستقرة المقترحة من قبل Lesaffre (1987)، والمشتقة من معادلة Boussinesq.

– تستخدم الطريقة الثانية النموذج العددي SLOP، الذي يحل معادلة Boussinesq باستخدام طريقة الفروق المنتهية لحساب ارتفاعات سطح المياه الجوفية عند مواضع مختلفة بوصفها تابعاً للتغذية والزمن.

وبالمقارنة بين الطريقتين توصلوا إلى النتائج التالية:

- أشكال سطح المياه الجوفية الناتجة بكلتا الطريقتين متشابهة.
- الارتفاعات الأعظمية لسطح المياه الجوفية متماثلة.
- العلاقة بين الارتفاعات الأعظمية لسطح المياه الجوفية ومعدلات تدفق المصارف متماثلة.
- يمكن استخدام النموذج والمعادلة بدقة مقبولة لتصميم أنظمة الصرف المغطى في الأراضي المائلة. [9]

في حالة الأراضي مختلفة الميول قدمت الباحثة ماريا يوسف عباس عام 2011 دراسة تحليلية لحركة المياه الجوفية باتجاه المصارف المغطاة المنفذة بمسافات غير متساوية في الأراضي مختلفة الميول، وتوصلت بالاعتماد على نظرية التحويل المتطابق بمساعدة تحويل شوارتز كريستوفل والنظرية الانعكاسية إلى دالة الجهد المركب  $w$  و دالة جهد السرعة  $\emptyset$

ودالة الجريان  $\psi$ . كما أعدت برنامج للحاسب الآلي باستخدام تقنية MATLAB5.3 لحساب  
خواص الصرف والمتمثلة في :

١. التصريف المار من كل مصرف  $q_n$
٢. تدفق التسرب الداخل إلى المصرف الرئيسي المكشوف  $q$ .
٣. التدفق الكلي للمصارف الأنبوبية  $Q_t$ .
٤. الضغوط الأعظمي لسطح المياه الأرضية بين مصرفين أنبوبيين متتاليين  $H_f$ . [1]

كما تم دراسة حركة المياه باتجاه المصارف المغطاة في الأراضي الواقعة بين منسوبين  
مختلفين للمياه السطحية والتي درسها الباحث غريب الصالح عام 2018، مستخدماً

برنامج SEEP2D ضمن بيئة برنامج Groundwater Modeling System (GMS).

أوجد التدفق الوارد باتجاه كل صف من المصارف بالإضافة إلى دراسة تأثير المتغيرات  
على تدفق كل مصرف والسطح الحر للمياه الجوفية.

وتوصل نتيجة الدراسة إلى تعديل معادلة رومانوف Romanov لحساب التدفقات باتجاه  
المصارف من أجل حالة المصارف الشاطئية المتوضعة على منسوب واحد، بحيث تصبح  
العلاقة الجديدة قابلة للتطبيق في حالة الصرف الشاطئي باستخدام صفيين من المصارف  
المغطاة المتوضعة على مناسيب مختلفة. [2]

كما درس الباحثون Germán F. Camussi a, Silvia Imhoff a, Diogenes L. Antille b, Roberto P. Marano  
عام 2022 الأداء الهيدروليكي للمصارف النفقية  
والتحقق من معادلات تباعد المصارف في حالة الاستقرار للتربة المائيسولية (هذه التربة  
تُعرف أيضاً بالتربة السوداء أو تربة البراري، وهي تتميز بخصوبتها العالية وتواجدها في

مناطق البراري الطبيعية) ، تم اختبار ثلاث معالجات تمثل ظروف هيدرولوجية مختلفة؛ وهي (T1) :هطول الأمطار لمدة 360 دقيقة و بكثافة 23 ملم/ساعة.

(T2): تجمع المياه السطحية الناتج عن كثافة هطول الأمطار بمعدل 50 ملم/ساعة وعمق المياه بين 50 و 100 ملم.

و (T3): ظروف تجمع المياه السطحية المشابهة للمعالجة T2 ، ولكن تم تحقيقها من خلال كثافة هطول الأمطار بمعدل 65 ملم/ساعة إما بحدث مطري واحد (T3A) أو بحدثين متتاليين (T3B) .

أوجدوا من خلال الدراسة أن نظام الصرف النفقي بتباعدات 4 أمتار مناسباً لإدارة المياه الزائدة في نوع التربة المدروسة، و إذا أمكن حساب مساهمة تشققات التربة في التوصيل الهيدروليكي الحقلي يمكن استخدام معادلة هوكهوت المطبقة على التربة ذات الطبقتين بثقة للمساعدة في تحسين تصميم أنظمة الصرف النفقي للتربة المائيسولية، ويمكن زيادة المسافة بين المصارف النفقية بحوالي % (40 - 30) ، سيساعد هذا في تقليل تكاليف التركيب دون التأثير على الكفاءة الهيدروليكية لنظام الصرف.[10]

## ٢- هدف البحث

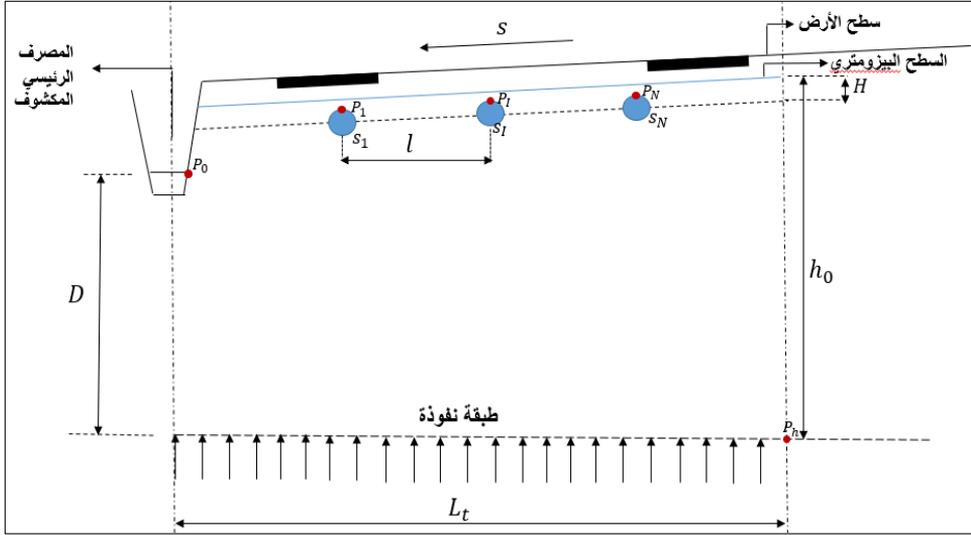
أ- دراسة تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) على خواص الصرف المتمثلة في التدفق الكلي للمصارف المغطاة ( $Q_t$ ) ، وتدفق المصرف الرئيسي المكشوف ( $Q_0$ )، والتدفق الأعظمي للمصارف المغطاة ( $Q_{max}$ )، والتدفق الأصغري للمصارف المغطاة ( $Q_{min}$ )، والضغوط الأعظمي بين مصرفين مغطَّيين ( $h_{max}$ ) من أجل حالات مختلفة للتباعد بين المصارف وذلك من خلال إيجاد نموذج رياضي يدرس حركة المياه الجوفية باتجاه المصارف

المغطاة المنفذة في الأراضي ذات الميول الخفيفة والمعرضة لضغوط بيزومتري مرتفع بتباعدات مختلفة، بالاعتماد على نظرية التحويل المتطابق (تحويل شوارتز - كريستوفل) والنظرية الانعكاسية.

### ٣- أهمية البحث

تتدفق المياه الجوفية باتجاه المناطق المنخفضة وذلك بسبب فروق الضغوط المائية، وهذا يؤدي إلى زيادة كمية المياه الواجب صرفها في المناطق المنخفضة، وبالتالي ستتناقص قيم تدفقات المصارف المغطاة من المصرف المغطى المتوضع بجوار المصرف المكشوف الموجود في المنطقة المنخفضة من منطقة الدراسة باتجاه المصرف المغطى المتوضع أعلى منطقة الدراسة، وبمعرفة أن تدفقات المصارف ستتناقص باتجاه المنطقة العليا من منطقة الدراسة سيؤدي إلى ذلك إمكانية تقليل أقطار المصارف المستخدمة في المنطقة العليا وبالتالي تقليل التكلفة الاقتصادية.

و يبين الشكل (1) المقطع الهندسي للمسألة المدروسة.



الشكل (1) المقطع الهندسي للمسألة المدروسة

#### ٤- طرائق البحث ومواده:

تم الاعتماد في هذه الدراسة على نظرية التحويل المتطابق (تحويل شوارتز\_كريستوفل)، والنظرية الانعكاسية، حيث تم إيجاد دالة الجهد المركب ( $w$ ) ، دالة جهد السرعة ( $\phi$ ) ، ودالة الجريان ( $\psi$ ).

حيث تعتمد طريقة شوارتز\_كريستوفل على تحويل أي مضلع من المستوي  $Z$  إلى مستوي نصف علوي  $\xi$ ، وذلك بإسقاط أضلاع المضلع الموجود في المستوي  $Z$  بشكل منبسط على المحور الحقيقي للمستوي  $\xi$ . يُنجز ذلك بفتح المضلع عند نقطتين ملائمتين، مثلاً بين  $A$  و  $E$  كما في الشكل (2-a) فتكون بذلك إحدى جهتي المضلع ممتدة باتجاه

تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة  
المعرضة لضغوط بيزومترية مرتفع

على استقامة واحدة من  $\xi = -\infty$  إلى  $\xi = +\infty$  وتتوضع على المحور الحقيقي للمستوي  $\xi$ .

يتم التعبير عن تحويل شوارتز\_كريستوفل بالمعادلة الآتية [9] :

$$\frac{dz}{d\xi} = m_1 (\xi - a_1)^{\frac{A_1}{\pi}-1} \times (\xi - b_1)^{\frac{B_1}{\pi}-1} \times (\xi - c_1)^{\frac{C_1}{\pi}-1} \times (\xi - d_1)^{\frac{D_1}{\pi}-1} \times (\xi - e_1)^{\frac{E_1}{\pi}-1} \quad (3)$$

إذ إن:

$m_1$ : ثابت مركب (عقدي).

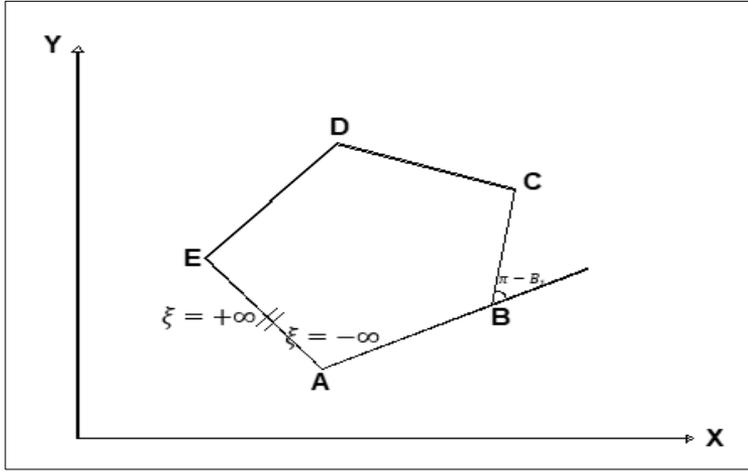
$A_1, B_1, C_1, D_1, E_1$ : الزوايا الداخلية للمضلع في المستوي  $z$  (بالراديان)، الشكل

(2-a)

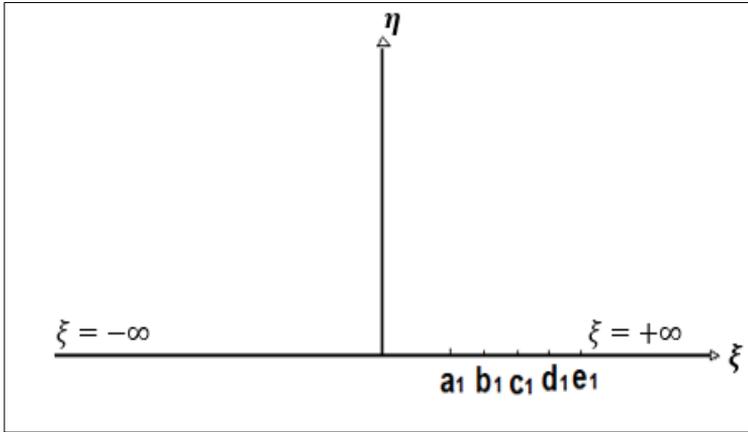
$a_1, b_1, c_1, d_1, e_1$ : نقاط على المحور الحقيقي للمستوي  $\xi$  الشكل (2-b)

إن الزاوية الداخلية عند نقطة فتح المضلع في المستوي  $z$  تتعلق بـ  $\pi$  كما يُلاحظ

في المعادلة (3) .



الشكل (2-a) المستوي z



الشكل  
(2-b)  
المستوي  $\xi$   
الشكل  
(2) تحويل  
شوارتز-  
كريستوفل

### ٥- إيجاد النموذج الرياضي:

في هذه الدراسة تم إيجاد نموذج رياضي لحركة المياه الجوفية باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة والمعرضة لضغط بيزومتري مرتفع وذلك باستخدام نظرية شوارتز كريستوفل والنظرية الانعكاسية، حيث تم إسقاط المساحة المحصورة ضمن المضلع  $A_{\infty}BCD_{\infty}$  في المستوي Z كما في الشكل (3-a) إلى مستوي نصف علوي  $\xi$  كما في

الشكل (3-b)



وتعرف قدرة المصرف بأنها التدفق الداخل إلى المصرف في وحدة الزاوية المحيطة وتعطى بالعلاقة التالية:

$$1- \text{ إذا كان المصرف ممتلئ بشكل كامل } m = \frac{Q}{2\pi}$$

$$2- \text{ إذا كان المصرف نصف ممتلئ } m = \frac{Q}{\pi}$$

أما المصرف الرئيسي المكشوف فيتم تمثيله بمصرف مغطى  $S_0$  نصف ممتلئ، قدرة تصريفه  $m_0$ ، وتصريفه  $(Q_0 = \pi \times m_0)$ .

في هذه الدراسة تم اعتماد الفرضيات الأساسية الآتية:

- ١- التربة متجانسة ومتماثلة الخواص.
- ٢- التربة معرضة لضغط بيزومتري مرتفع.
- ٣- لكل مصرف قدرة تصريف مختلفة (حسب موقعه بالنسبة للطبقة النفوذة).
- ٤- نعتبر أن المصارف المغطاة ممثلة بسطح الماء في المصرف معرض للضغط الجوي.
- ٥- تمثيل المصرف المكشوف بمصرف مغطى نصف ممتلئ.
- ٦- المصارف المغطاة موزعة على خط ميله يساوي ميل سطح المياه الجوفية ويتباعدات متساوية.

المتغيرات الأساسية التي تم الاعتماد عليها في هذه الدراسة هي على الشكل التالي:

$l$ : التباعد بين المصارف (m).

$D$ : عمق الطبقة النفوذة أسفل سطح المياه في المصرف الرئيسي المكشوف (m).

$d$ : قطر المصرف المغطى (m).

$d_0$ : القطر المكافئ للمصرف الرئيسي المكشوف (m).

تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة  
المعرضة لضغط بيزومتري مرتفع

$k$ : الناقلية الهيدروليكية للتربة (m/day).

$L_t$ : الطول الكلي لمنطقة الدراسة (m).

$N$ : عدد المصارف المغطاة .

$H$ : فرق الضغوط المؤثر أعلى منطقة الدراسة (m).

$s$ : ميل سطح المياه الجوفية.

١-٥ تابع الجهد المركب:

لإيجاد تابع الجهد المركب تم استخدام تحويل شوارتز\_كريستوفل والنظرية  
الانعكاسية (التخليية)، وباستخدام المعادلة (3) تم التوصل إلى معادلة التحويل  
التالية:

$$\xi = \sin \frac{\pi Z}{L_t} \quad (4)$$

- إحداثيات المصرف الرئيسي  $S_0$  في المستوي  $Z$  تعطى كما يلي:

$$z_0 = iD \quad (5)$$

بتعويض المعادلة (5) في المعادلة (4) ينتج  $\xi_0$  للمصرف  $S_0$  :

$$\xi_0 = \sin \frac{\pi(iD)}{L_t} \quad (6)$$

اعتمادا على النظرية الانعكاسية (التخليية)، يتم اعتبار الطبقة النفوذة كمرآة، كما في  
الشكل (3-b)، فإن إحداثيات المصرف التخليي  $S_0'$  في المستوي  $Z$ :

$$z_0' = -iD \quad (7)$$

بتعويض المعادلة (7) في المعادلة (4) ينتج  $\xi_0'$  للمصرف  $s_0'$ :

$$\xi_0' = \sin \frac{\pi(-iD)}{L_t} \quad (8)$$

إن تابع الجهد المركب للمصرف ونظيره التخيلي يمكن كتابته بالشكل العام [1]:

$$w = m[\ln(\xi - \xi_a) + \ln(\xi - \xi_a')] \quad (9)$$

حيث أن:

$m$ : قدرة المصرف.

$\xi_a$ : تمثل كلا من  $\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_I, \dots, \xi_N$  للمصارف الحقيقية.

$\xi_a'$ : تمثل كلا من  $\xi_0', \xi_1', \dots, \xi_I', \dots, \xi_N'$  للمصارف التخيلية.

بتعويض  $\xi_0$  و  $\xi_0'$  في المعادلة (9) يتم استنتاج دالة الجهد المركب للمصرف الرئيسي المكشوف:

$$w_0 = m_0 \left\{ \ln \left[ \sin \frac{\pi}{L_t} (z - iD) \right] - \ln \left[ \sin \frac{\pi}{L_t} (z + iD) \right] \right\} \quad (10)$$

حيث:  $m_0$ : قدرة المصرف  $s_0$ .

بتعويض  $z = x + iy$  في المعادلة (10):

$$w_0 = m_0 \left\{ \ln \left[ \sin \frac{\pi}{L_t} (x + i(y - D)) \right] - \ln \left[ \sin \frac{\pi}{L_t} (x + i(y + D)) \right] \right\} \quad (11)$$

و بإصلاح المعادلة (11) حيث

$$\sin(x + iy) = \sin(x) \cosh(y) + i \cos(x) \sinh(y) \quad (12)$$

تصبح المعادلة (11) بالشكل التالي:

$$w_0 = m_0 \left\{ \begin{array}{l} \ln \left[ \sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y-D)}{L_t} + i \cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y-D)}{L_t} \right] \\ - \ln \left[ \sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y+D)}{L_t} + i \cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y+D)}{L_t} \right] \end{array} \right\} \quad (13)$$

- إحداثيات المصرف المغطى  $S_1$  في المستوي  $z$ :

$$z_1 = l + i(D + sl) \quad (14)$$

بتعويض المعادلة (14) في المعادلة (4) ينتج  $\xi_1$  للمصرف المغطى  $s_1$ :

$$\xi_1 = \sin \frac{\pi(l + i(D + sl))}{L_t} \quad (15)$$

- إحداثيات المصرف المغطى التخيلي  $S_1'$  في المستوي  $z$ :

$$z_1' = l - i(D + sl) \quad (16)$$

بتعويض المعادلة (16) في المعادلة (4) ينتج  $\xi_1'$  للمصرف  $S_1'$ :

$$\xi_1' = \sin \frac{\pi(l - i(D + sl))}{L_t} \quad (17)$$

- تابع الجهد المركب للمصرف المغطى الحقيقي  $S_1$  والمصرف المغطى التخيلي  $S_1'$ :

$$w_1 = m_1 \left\{ \begin{array}{l} \ln \left[ \sin \frac{\pi}{L_t} (z - l - i(D + sl)) \right] \\ - \ln \left[ \sin \frac{\pi}{L_t} (z - l + i(D + sl)) \right] \end{array} \right\} \quad (18)$$

بتعويض  $z = x + iy$  في المعادلة (18)

$$w_1 = m_1 \left\{ \begin{array}{l} \ln \left[ \sin \frac{\pi}{L_t} ((x-l) + i(y-D-sl)) \right] \\ - \ln \left[ \sin \frac{\pi}{L_t} ((x-l) + i(y+D+sl)) \right] \end{array} \right\} \quad (19)$$

بالاعتماد على المعادلة (12) يتم كتابة المعادلة (19) بالشكل التالي:

$$\begin{aligned} w_1 &= m_1 \left\{ \ln \left[ \sin \left( \frac{\pi(x-l)}{L_t} \right) \cosh \left( \frac{\pi(y-D-sl)}{L_t} \right) \right. \right. \\ &+ i \cos \left( \frac{\pi(x-l)}{L_t} \right) \sinh \left( \frac{\pi(y-D-sl)}{L_t} \right) \left. \right] \\ &- \ln \left[ \sin \left( \frac{\pi(x-l)}{L_t} \right) \cosh \left( \frac{\pi(y+D+sl)}{L_t} \right) \right. \\ &+ i \cos \left( \frac{\pi(x-l)}{L_t} \right) \sinh \left( \frac{\pi(y+D+sl)}{L_t} \right) \left. \right] \left. \right\} \quad (20) \end{aligned}$$

باتباع الأسلوب نفسه يتم إيجاد تابع الجهد المركب لبقية المصارف، ومن ثم فإن معادلة الجهد المركب لكامل منطقة الدراسة تعطى بالمعادلة التالية:

$$\begin{aligned}
 w &= m_0 \left\{ \ln \left[ \sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y-D)}{L_t} + i \cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y-D)}{L_t} \right] \right. \\
 &- \ln \left[ \sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y+D)}{L_t} + i \cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y+D)}{L_t} \right] \left. \right\} \\
 &+ \sum_{l=1}^N m_l \left\{ \ln \left[ \sin \frac{\pi(x-l)}{L_t} \cosh \frac{\pi(y-D-l)}{L_t} \right. \right. \\
 &+ i \cos \frac{\pi(x-l)}{L_t} \sinh \frac{\pi(y-D-l)}{L_t} \left. \right] \\
 &- \ln \left[ \sin \frac{\pi(x-l)}{L_t} \cosh \frac{\pi(y+D+l)}{L_t} \right. \\
 &+ i \cos \frac{\pi(x-l)}{L_t} \sinh \frac{\pi(y+D+l)}{L_t} \left. \right] \left. \right\} \quad (21)
 \end{aligned}$$

حيث  $I$ : رقم المصرف المغطى

## ٢-٥ إيجاد دالة جهد السرعة ودالة الجريان:

إن تابع الجهد المركب لحركة المياه الجوفية عبارة عن جزئين جزء حقيقي يمثل دالة جهد السرعة  $\phi$  وجزء تخيلي يمثل دالة الجريان  $\psi$ ، وكلاهما تابعان لموقع المصرف  $(x, y)$ ، ويعطى بالمعادلة التالية [5]:

$$w = \phi + i\psi \quad (22)$$

حيث

$\phi$ : دالة جهد السرعة وتعطى بالمعادلة [5]:

$$\phi = \ln\sqrt{r^2 + i^2} \quad (23)$$

حيث  $r$  : الجزء الحقيقي للمعادلة (21).

$i$  : الجزء التخيلي للمعادلة (21).

$\psi$  : دالة الجريان وتعطى بالمعادلة [5]:

$$\psi = \tan^{-1} \frac{i}{r} \quad (24)$$

١-٢-٥ دالة جهد السرعة :

تعطى دالة جهد السرعة لكامل منطقة الدراسة بالمعادلة التالية:

$$\phi = \phi_0 + \phi_1 + \phi_I + \dots + \phi_N + C \quad (25)$$

بتطبيق المعادلة (23) يتم إيجاد دالة جهد السرعة  $\phi$  لمنطقة الدراسة :

$$\begin{aligned}
 \phi &= \frac{m_0}{2} \left\{ \ln \left[ \left( \sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y-D)}{L_t} \right)^2 + \left( \cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y-D)}{L_t} \right)^2 \right] \right. \\
 &- \ln \left[ \left( \sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y+D)}{L_t} \right)^2 + \left( \cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y+D)}{L_t} \right)^2 \right] \left. \right\} \\
 &+ \sum_{I=1}^N \frac{m_I}{2} \left\{ \ln \left[ \left( \sin \frac{\pi(x-Il)}{L_t} \cosh \frac{\pi(y-D-IsI)}{L_t} \right)^2 \right. \right. \\
 &+ \left. \left. \left( \cos \frac{\pi(x-Il)}{L_t} \sinh \frac{\pi(y-D-IsI)}{L_t} \right)^2 \right] \right. \\
 &- \ln \left[ \left( \sin \frac{\pi(x-Il)}{L_t} \cosh \frac{\pi(y+D+IsI)}{L_t} \right)^2 \right. \\
 &+ \left. \left. \left( \cos \frac{\pi(x-Il)}{L_t} \sinh \frac{\pi(y+D+IsI)}{L_t} \right)^2 \right] \right\} \\
 &+ C
 \end{aligned} \tag{26}$$

٥-٢-٢ دالة الجريان:

تعطى دالة الجريان لكامل منطقة الدراسة بالمعادلة التالية:

$$\psi = \psi_0 + \psi_1 + \psi_I + \dots + \psi_N \tag{27}$$

بتطبيق المعادلة (24) يتم إيجاد دالة الجريان  $\psi$  لمنطقة الدراسة:

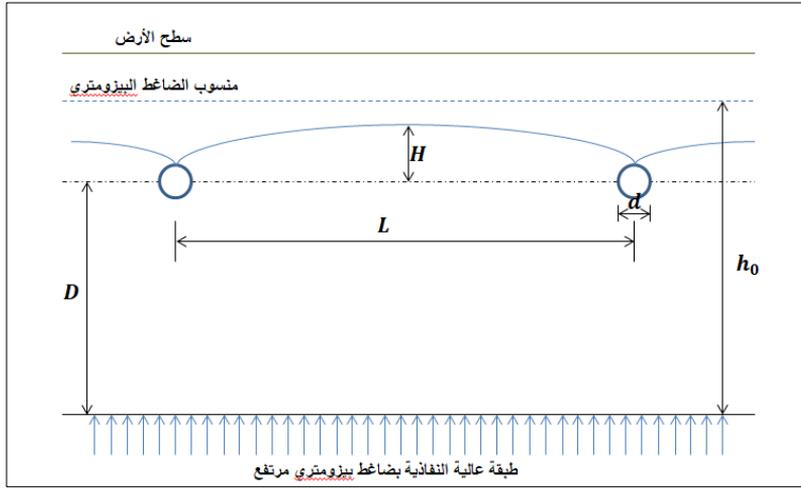
$$\begin{aligned}
 \psi &= m_0 \left\{ \tan^{-1} \left[ \frac{\cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y-D)}{L_t}}{\sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y-D)}{L_t}} \right] \right. \\
 &\quad \left. - \tan^{-1} \left[ \frac{\cos \frac{\pi x}{L_t} \sinh \frac{\pi(y+D)}{L_t}}{\sin \frac{\pi x}{L_t} \cosh \frac{\pi(y+D)}{L_t}} \right] \right\} \\
 &\quad + \sum_{l=1}^N m_l \left\{ \tan^{-1} \left[ \frac{\cos \frac{\pi(x-l)}{L_t} \sinh \frac{\pi(y-D-l)}{L_t}}{\sin \frac{\pi(x-l)}{L_t} \cosh \frac{\pi(y-D-l)}{L_t}} \right] \right. \\
 &\quad \left. - \tan^{-1} \left[ \frac{\cos \frac{\pi(x-l)}{L_t} \sinh \frac{\pi(y+D+l)}{L_t}}{\sin \frac{\pi(x-l)}{L_t} \cosh \frac{\pi(y+D+l)}{L_t}} \right] \right\} \quad (28)
 \end{aligned}$$

٦- التحقق من النموذج الرياضي:

٦-١ التحقق عن طريق المقارنة مع علاقة حتوت Hathoot

تم التحقق من النموذج بمقارنته مع الحل الرياضي المقدم من حتوت Hathoot [7] ، حيث يمكن تعويض قيمة ميل سطح المياه الجوفية في النموذج بأي قيمة وباقي الشروط مطابقة تماما لشروط علاقة حتوت Hathoot [7] ، تم اعتبار أن سطح المياه الجوفية الأولي أفقي ( $s = 0$ ) كما في الشكل (4).

تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة  
المعرضة لضغوط بيزومتري مرتفع



الشكل (4) مقطع التربة الخاص بتحقيق النموذج

أعطى حنوت Hathoot العلاقة التالية لحساب التدفق باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي الأفقية والمعرضة لضغوط بيزومتري مرتفع:

$$\frac{Q}{2\pi k} = \frac{h_0 - D - H}{\ln \left( \frac{\cosh \left( \frac{\pi}{L} (H + 2D) \right)}{\cosh \left( \frac{\pi H}{L} \right)} \right)} \quad (29)$$

حيث:

$h_0$ : ارتفاع الضاغظ البيزومتري للطبقة السفلية عالية النفاذية (m).

$H$ : ارتفاع السطح الحر للمياه الجوفية في منتصف المسافة بين المصارف (m).

$L$ : المسافة بين المصارف (m).

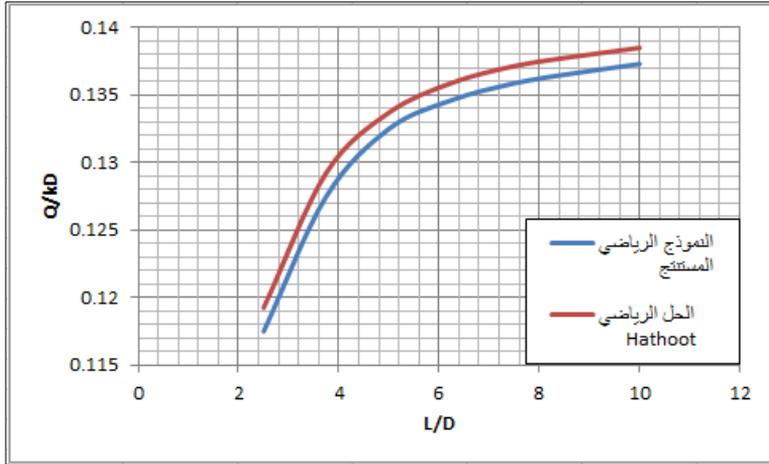
$D$ : عمق سطح الطبقة السفلية عالية النفاذية أسفل منسوب سطح الماء في

المصرف (m).

$k$ : معامل النفاذية لطبقة التربة العلوية (m/day).

$d$ : قطر المصرف (m).

يبين الشكل (5) العلاقة بين التباعد النسبي بين المصارف المغطاة  $l/D$  والتدفق النسبي للمصارف المغطاة  $Q/kD$  وذلك من أجل النموذج الرياضي المستنتج ومعادلة تحتوت، ونلاحظ من الشكل (5) أن نسبة الخطأ بين النموذج الرياضي المستنتج ومعادلة تحتوت حوالي 2% وذلك من أجل حالة سطح المياه الجوفية الأولي أفقي.



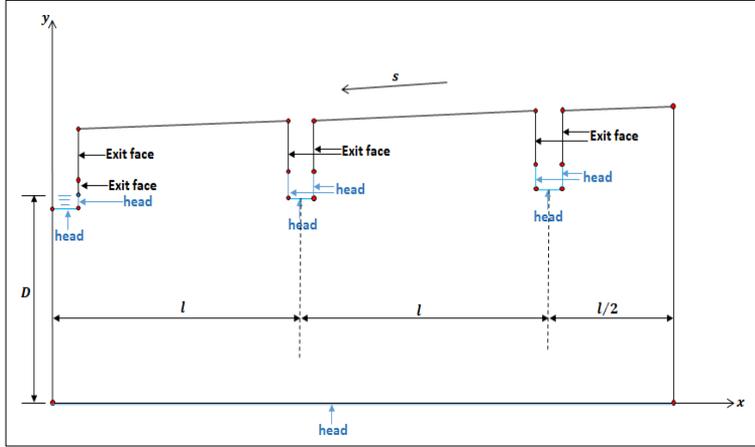
الشكل(5)التحقق من النموذج الرياضي

## ٢-٦ التحقق باستخدام برنامج SEEP-2D ضمن بيئة برنامج GMS(Groundwater Modeling System)

تم التحقق من النموذج عن طريق أخذ جزء من منطقة الدراسة كما في الشكل (6) واستبدال إحداثيات النقاط  $P_0, P_{11}, P_{12}, P_h$  المبينة في الشكل (6) والموضحة إحداثياتها في الجدول (1)، والشروط الحدية عند النقاط  $(P_0, P_{11}, P_{12}, P_N)$  هي  $(\frac{P}{\rho g} = 0)$ ، أما عند النقطة  $(P_h)$  فالشرط الحدي هو  $(\frac{P}{\rho g} = h_0)$ ، و موقع النقطة

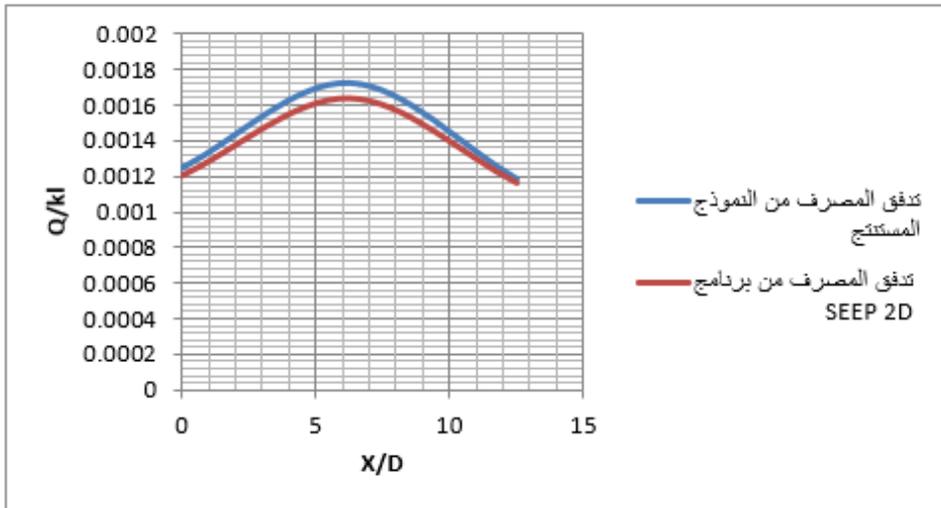


للمصرف، حيث يتم تمثيل المصرف في البرنامج كما هو موضح في الشكل (7)، و تم أيضاً توضيح الشروط الحدية المدخلة في البرنامج في الشكل (7)



الشكل (7) الشروط الحدية في برنامج GMS

يبين الشكل (8) العلاقة بين البعد النسبي للمصرف عن مبدأ الإحداثيات  $(X/D)$  والتدفق النسبي للمصرف  $(Q/kl)$  وذلك من أجل النموذج الرياضي المستنتج وبرنامج SEEP 2D، ونلاحظ من الشكل (8) أن نسبة الخطأ بين النموذج الرياضي المستنتج وبرنامج SEEP 2D حوالي 7%.



الشكل (8) التحقق من النموذج الرياضي المستنتج مع برنامج SEEP 2D

### ٧- تصميم نظام الصرف:

يمكن كتابة معادلة جهد السرعة بالعلاقة التالية:

$$\phi = K \left( \frac{P}{\rho g} + y \right) \quad (30)$$

حيث:

$P$ : شدة الضغط ( $kg/m.sec^2$ )

$K$ : الناقلية الهيدروليكية ( $m/sec$ ).

$\rho$ : كثافة الماء ( $kg/m^3$ ).

$g$ : تسارع الجاذبية ( $m/sec^2$ ).

بذلك يصبح لدينا :

$$K \left( \frac{P}{\rho g} + y \right) = \phi_0 + \phi_1 + \phi_I + \dots + \phi_N + C \quad (31)$$

لإيجاد قيم قوة المصارف ( $m_0, \dots, m_N$ ) وبالتالي قيم التدفقات الواردة إلى كل مصرف يتم التعويض بقيم إحداثيات النقاط  $P_0, P_1, P_I, P_N, P_h$  المبينة في الشكل (3- a) والموضحة إحداثياتها في الجدول (2)، الشروط الحدية عند النقاط ( $P_0, P_1, P_I, P_N$ ) هي ( $\frac{P}{\rho g} = 0$ )، أما عند النقطة ( $P_h$ ) فالشرط الحدي هو ( $\frac{P}{\rho g} = h_0$ )، و موقع النقطة ( $y$ ) لكل النقاط يساوي إلى ارتفاع النقطة عن سطح الطبقة النفوذة، بتعويض هذه الشروط الحدية وإحداثيات هذه النقاط ( $x, y$ ) في معادلة جهد السرعة (26) يتم الحصول على

مجموعة من المعادلات بحلها يمكن الحصول على قدرة كل مصرف، والثابت الحقيقي  $C$ ، وإيجاد تدفق كل مصرف من المصارف المغطاة  $(Q_1, Q_I, \dots, Q_N)$ ، و تدفق المصرف الرئيسي المكشوف  $(Q_0)$ ، و إيجاد الضاغط الأعظمي للسطح الحر للمياه الجوفية  $(h_{max})$  تم برمجة المعادلات على برنامج MATLAB 2018.

الجدول (2) إحداثيات النقاط المحددة في الشكل (3-a)

النقطة	$x$	$y$	$P/\rho g$
$P_0$	$d_0/2$	$D$	0
$P_1$	$l$	$D + sl + d/2$	0
$P_I$	$Il$	$D + Isl + d/2$	0
$P_h$	$L_t$	0	$h_0$

#### ٨- تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ )

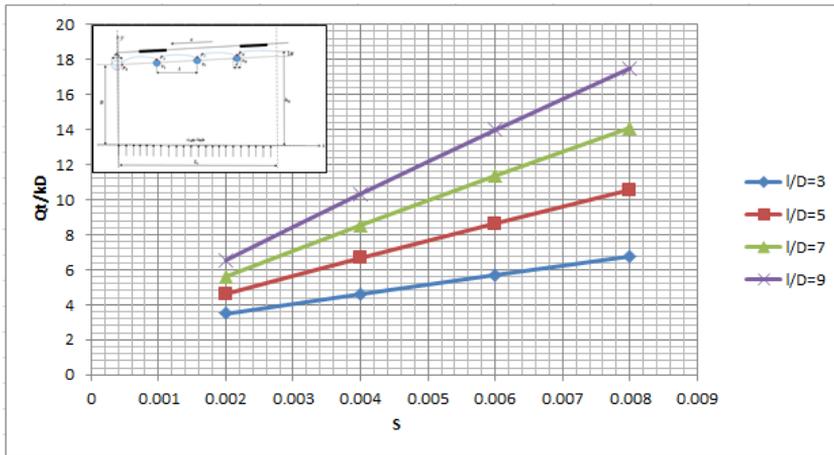
تمت دراسة تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) على خواص الصرف (التدفق الكلي النسبي للمصارف المغطاة  $(Q_t/(kD))$ ، وتدفق المصرف الرئيسي المكشوف  $(Q_0/(kD))$ ، والتدفق النسبي الأعظمي للمصارف المغطاة  $(Q_{max}/(kD))$ ، والتدفق النسبي الأصغري للمصارف المغطاة  $(Q_{min}/(kD))$ ، والضاغط النسبي الأعظمي بين مصرفين مغطيين  $(h_{max}/D)$ ) وذلك من أجل المتغيرات الآتية وهي  $d/D = 0.025$ ،  $N_2 = 10$ ،  $N_1 = 10$ ،  $d_0/D = 0.1525$

تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة المعرضة لضغط بيزومتري مرتفع

$$k = 0.5m/day, D = 8 m, H/D = 0.125$$

٧-١ تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في التدفق الكلي النسبي للمصارف المغطاة  $(Q_t/kD)$ :

يبين الشكل (9) تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في قيمة التدفق الكلي النسبي للمصارف المغطاة  $(Q_t/kD)$ ، نلاحظ من الشكل أن قيمة  $(Q_t/kD)$  تزداد بازدياد قيمة ( $s$ ) من 0.002 إلى 0.008 حوالي 93.85%، 128.28%، 151.09%، 167.11% من أجل  $l/D = 3$ ،  $l/D = 5$ ،  $l/D = 7$ ،  $l/D = 9$  على التوالي، مما سبق نستنتج أنه لا يمكن إهمال تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في قيمة التدفق الكلي النسبي للمصارف المغطاة  $(Q_t/kD)$ .



الشكل (9) العلاقة بين ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) والتدفق الكلي النسبي للمصارف المغطاة

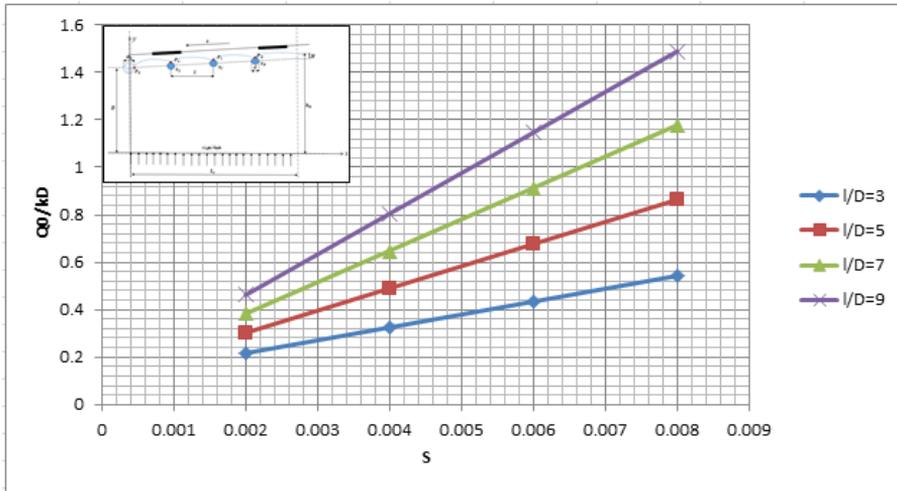
$$(Q_t/kD)$$

$$, N_2 = 10, N_1 = 10, d_0/D = 0.1525, d/D = 0.025,$$

$$k = 0.5m/day, D = 8 m, H/D = 0.125$$

## ٢-٧ تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في التدفق النسبي للمصرف الرئيسي المكشوف ( $Q_0/(kD)$ )

يبين الشكل (10) تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في التدفق النسبي للمصرف الرئيسي المكشوف ( $Q_0/(kD)$ ) ، نلاحظ من الشكل أن قيمة ( $Q_0/(kD)$ ) تزداد بازدياد قيمة ( $s$ ) من 0.002 إلى 0.008 حوالي 150.58% ، 185.72% ، 207.75% ، من أجل  $l/D = 3$  ،  $l/D = 5$  ،  $l/D = 7$  ،  $l/D = 9$  على التوالي، مما سبق نستنتج أنه لا يمكن إهمال تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في قيمة التدفق النسبي للمصرف الرئيسي المكشوف ( $Q_0/(kD)$ ).



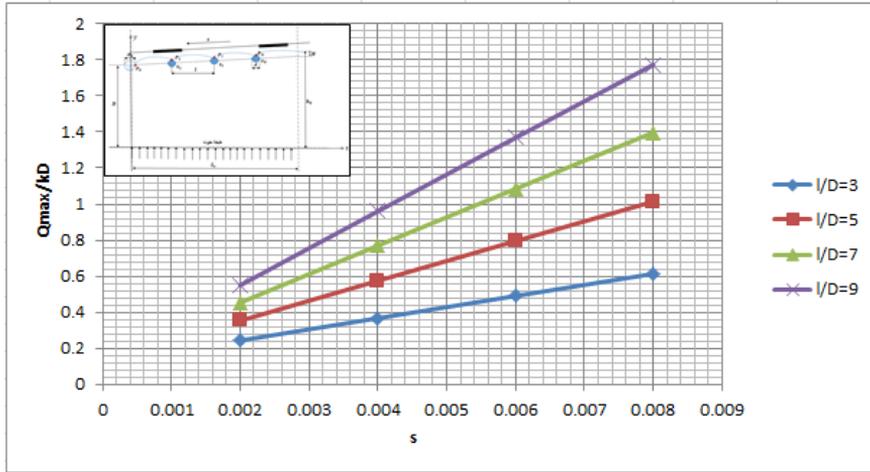
الشكل (10) العلاقة بين ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) والتدفق النسبي للمصرف الرئيسي المكشوف ( $Q_0/(kD)$ )

$$N_2 = 10 \quad , N_1 = 10 \quad , d_0/D = 0.1525 \quad , d/D = 0.025 \quad ,$$

$$k = 0.5m/day \quad , D = 8m \quad , H/D = 0.125$$

### ٣-٧ تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في التدفق النسبي الأعظمي للمصارف المغطاة ( $Q_{max}/(kD)$ )

يبين الشكل (11) تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في التدفق النسبي الأعظمي للمصارف المغطاة ( $Q_{max}/(kD)$ )، نلاحظ من الشكل أن قيمة ( $Q_{max}/(kD)$ ) تزداد بازدياد قيمة ( $s$ ) من 0.002 إلى 0.008 حوالي 151.51%، 186.77%، 208.03%، 222.12% من أجل  $l/D = 3$ ،  $l/D = 5$ ،  $l/D = 7$ ،  $l/D = 9$  على التوالي، مما سبق نستنتج أنه لا يمكن إهمال تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في قيمة التدفق النسبي الأعظمي للمصارف المغطاة ( $Q_{max}/(kD)$ ).



الشكل (11) العلاقة بين ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) والتدفق النسبي الأعظمي للمصارف المغطاة

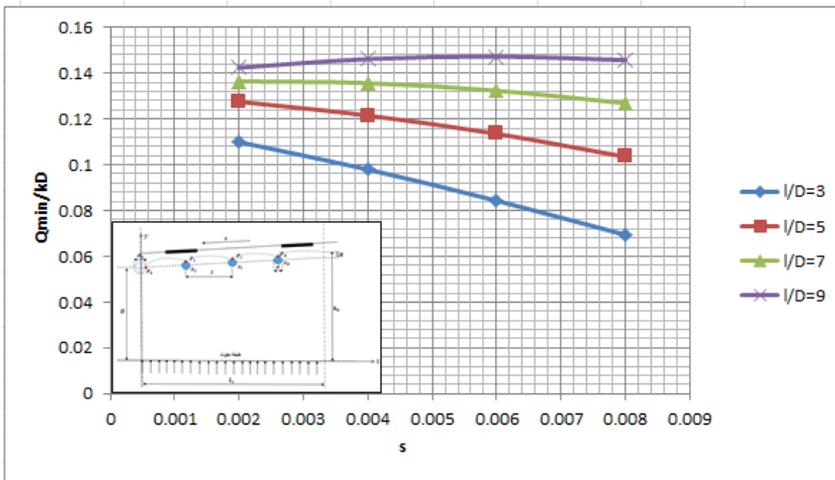
$$(Q_{max}/(kD))$$

$$، N_2 = 10 ، N_1 = 10 ، d_0/D = 0.1525 ، d/D = 0.025 ،$$

$$k = 0.5m/day ، D = 8 m ، H/D = 0.125$$

٧-٤ تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في التدفق النسبي الأصغري للمصارف المغطاة  
( $Q_{min}/(kD)$ )

يبين الشكل (12) تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في التدفق النسبي الأصغري للمصارف المغطاة ( $Q_{min}/(kD)$ ) ، نلاحظ من الشكل أن قيمة ( $Q_{min}/(kD)$ ) تتناقص بازدياد قيمة ( $s$ ) من 0.002 إلى 0.008 حوالي 36.86%، 18.84%، 7.02% من أجل  $l/D = 3$ ،  $l/D = 5$ ،  $l/D = 7$  على التوالي وتزداد بقيمة 2.32% من أجل  $l/D = 9$  ، مما سبق نستنتج أنه لا يمكن إهمال تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في قيمة التدفق النسبي الأصغري للمصارف المغطاة ( $Q_{min}/(kD)$ ) .



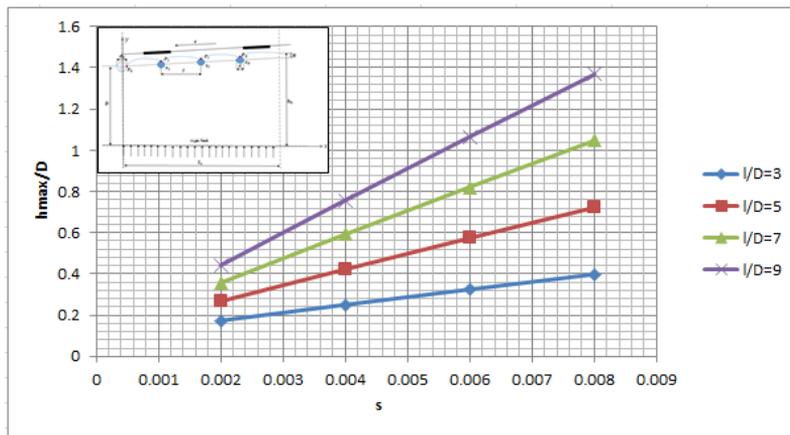
الشكل (12) العلاقة بين ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) والتدفق النسبي الأصغري للمصارف المغطاة  
( $Q_{min}/(k D)$ )

$$N_2 = 10 \quad , \quad N_1 = 10 \quad , \quad d_0/D = 0.1525 \quad , \quad d/D = 0.025 \quad ,$$

$$k = 0.5m/day \quad , \quad D = 8 m \quad , \quad H/D = 0.125$$

### ٧-٥ تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في الضغوط النسبي الأعظمي بين مصرفين مغطَّيين ( $h_{max}/D$ ):

يبين الشكل (13) تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في الضغوط النسبي الأعظمي بين مصرفين مغطَّيين ( $h_{max}/D$ )، نلاحظ من الشكل أن قيمة ( $h_{max}/D$ ) تزداد بازدياد قيمة ( $s$ ) من 0.002 إلى 0.008 حوالي 129.22%، 170.45%، 193.17%، 209.17% من أجل  $l/D = 3$ ،  $l/D = 5$ ،  $l/D = 7$ ،  $l/D = 9$  على التوالي، مما سبق نستنتج أنه لا يمكن إهمال تأثير ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) في قيمة الضغوط النسبي الأعظمي بين مصرفين مغطَّيين ( $h_{max}/D$ ).



الشكل (13) العلاقة بين ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) و الضغوط النسبي الأعظمي بين مصرفين

مغطَّيين ( $h_{max}/D$ )

$$، N_2 = 10 ، N_1 = 10 ، d_0/D = 0.1525 ، d/D = 0.025 ،$$

$$k = 0.5m/day ، D = 8 m ، H/D = 0.125$$

#### ٩- الاستنتاجات

- ١- تزداد قيمة التدفق الكلي للمصارف المغطاة ( $Q_t$ ) عند زيادة ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) من 0.002 حتى 0.008 بنسبة 167.11%.
- ٢- تزداد قيمة التدفق الأعظمي للمصارف المغطاة ( $Q_{max}$ ) عند زيادة ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) من 0.002 حتى 0.008 بنسبة 222.12%.
- ٣- تتناقص قيمة التدفق الأصغري للمصارف المغطاة ( $Q_{min}$ ) عند زيادة ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) من 0.002 حتى 0.008 بنسبة 36.86%.
- ٤- تزداد قيمة الضاغط الأعظمي بين مصرفين مغطَّيين ( $h_{max}$ ) عند زيادة ميل سطح المياه الجوفية ( $s$ ) من 0.002 حتى 0.008 بنسبة 209.17%.

#### ١٠- التوصيات

- ١- عدم إهمال ميل سطح المياه الجوفية عند تصميم شبكات الصرف المغطى في الأراضي ذات الميول الخفيفة والمعرضة لضغوط بيزومتري مرتفع.
- ٢- عدم إهمال قيمة التباعد بين المصارف المغطاة عند تصميم شبكات الصرف المغطى في حالة وجود ميل لسطح المياه الجوفية في الأراضي ذات الميول الخفيفة والمعرضة لضغوط بيزومتري مرتفع.
- ٣- إيجاد الحل الرياضي للمسألة نفسها ولكن من أجل الترب غير موحدة الخواص.

#### المراجع

- [1] عباس، مارييا. يوسف، 2011 دراسة تحليلية لحركة المياه الجوفية باتجاه المصارف المغطاة المنفذة بمسافات غير متساوية في الأراضي مختلفة الميول. منشورات جامعة تشرين، اللاذقية، 140.
- [2] صالح، غريب، 2018 دراسة حركة المياه باتجاه المصارف المغطاة في الأراضي الواقعة بين منسوبين مختلفين للمياه السطحية. منشورات جامعة البعث، حمص، 71.
- [3] سلوم، مازن. سعيد و السباعي، محمود. راتب، 2019 الصرف (٢). منشورات جامعة البعث، حمص، 246.
- [4] HAMMAD, H. Y. 1957- A Hydrodynamic Theory of Water Movement towards Covered Drains with Application to Some Field Problems. Alexandria University Press, Alexandria, Egypt, 112.

- [5] HARR, M. E. 1962 - **Groundwater and Seepage**. McGraw-Hill Book Company, Inc. New Yourk, 313.
- [6] NAJAMII, M.; KIRKHAN, D.; and DOUGAL, M. D. 1978 **Tube Drainage in Stratified Soil Above an Aquifer**, Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 104, No. IR2. 209–229.
- [7] HATHOOT, H. M. 1986 **Drainage of Soil with an Upward Hydraulic Gradient by Double Mole Drains**, ICID, Bulletin, Vol. 35, No. 2. 28–32.
- [8] SOBEIH, M. M. 1988 **Improvement of Tile Drainage Systems Using Mole Drains Soil Subjected To Artesian Water Table**, Mansoura Engineering Journal (MEJ), Vol. 13, No. 1, June, 1–11.
- [9] HARTANI, T.; ZIMMER, D.; and LESAFFRE, B. 2001 **Drainage of Sloping Lands with Variable Recharge: Analytical and Model Developmen**, Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 127, No. 1, 8–15
- [10] Camussi, G.F.; Imhoff, S.; Antille, D.L.; Marano R.P.; and Marano, R.P. 2022 **Hydraulic performance of mole drains and validation of steady-state drainage spacing equations for Mollisols**.

تأثير ميل سطح المياه الجوفية على حركتها باتجاه المصارف المغطاة المتوضعة في الأراضي المائلة  
المعرضة لضغط بيزومتري مرتفع

---

<https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105448>

## آفاق استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في

### إنشاء أبنية السكن المؤقت في سورية

م. رشا علي صالح، عضو الهيئة الفنية لدى الجامعة العربية الخاصة للعلوم والتكنولوجيا

#### الملخص:

تواجه مرحلة إعادة الإعمار في سورية تحديات كبيرة على عدة أصعدة بيئياً واقتصادياً واجتماعياً، إذ يعدّ إنشاء المساكن المؤقتة ضرورة ملحة لتأمين سكن المهجرين والعائدين للوطن بعد الحرب أو بعد الكوارث الطبيعية، كما تشكّل الحاجة الملحة لمشاريع التشييد سواءً في مرحلة السكن المؤقت أو ما يتبعه تهديد خطير في مجال الاستدامة، إضافة لأن سورية تعاني من وجود نسبة كبيرة من مخلفات البناء نتيجة الحرب والزلازل، وتتسبب في العديد من المشاكل البيئية والصحية والاقتصادية والتي تستدعي المعالجة السريعة، لذا يجب البحث عن أساليب جديدة لمواجهة هذه التحديات بالصورة الأمثل، ومن هذه الأساليب استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني.

تستعرض هذه الدراسة معايير تصميم المساكن المؤقتة ومتطلباتها، والتحديات التي تواجه الإسكان المؤقت في مرحلة إعادة الإعمار، والتعريف بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد وتطبيقاتها في المجال الهندسي، وصولاً لتحديد إمكانيات استخدام تقنية الإنشاء الرقمية هذه في طباعة أبنية السكن المؤقت.

كلمات مفتاحية: السكن المؤقت- الطباعة ثلاثية الأبعاد- الاستدامة.

# Prospects for Using Three–Dimensional Printing Technology in the Construction of Temporary Housing Buildings in Syria

## **Abstract:**

The reconstruction phase in Syria faces great challenges on several levels, environmentally, economically, and socially. The construction of temporary housing is an urgent necessity to secure housing for displaced people and those returning to the homeland in the next phase or after natural disasters. The urgent need for construction projects, whether in the temporary housing phase or what follows, also poses a threat. It is dangerous in the field of sustainability, in addition to the fact that Syria suffers from the presence of a large percentage of construction waste as a result of the war and earthquake, and it causes many environmental, health and economic problems that require rapid treatment. Therefore, new methods must be searched to confront these challenges in an optimal manner, and one of these methods is the use of technology. 3D printing of buildings.

This study reviews the design standards and requirements for temporary housing, the challenges facing temporary housing during the reconstruction phase, and the definition of 3D printing technology and its applications in the engineering field, leading to identifying the possibilities of using this digital construction technology in printing temporary housing buildings.

**Keywords:** Temporary Housing- 3D Printing- Sustainability.

**المقدمة:** خلفت الحرب المستمرة في سورية منذ أكثر من عقد وراءها الكثير من الدمار على صعيد كل من البنى التحتية والمباني السكنية والخدمية على حد سواء، والتي تزيد على ١٢٠ ألف مبنى مهدم، وذلك وفقاً لإحصائية نشرت عام ٢٠١٩ من قبل REACH بالتعاون مع الأمم المتحدة للتطوير والتدريب، والذي أوضح عدد المباني المتضررة بحسب المدينة أو المنطقة، كما هو موضح في الشكل (1) (4)



الشكل (1): عدد المباني المتضررة في سورية وفقاً لإحصائية REACH



إضافة للزلازل المدمر الذي ضربها منذ أكثر من عام، والذي أدى إلى تدهم الكثير من الأبنية في مناطق عدة منها، ويظهر الشكل (2) صورته عن حجم دمار المباني الموجودة في سورية حالياً.

الشكل (2): كثافة المباني المدمرة في سورية

وأدى هذا التدمير الكثيف للمباني إلى تهجير ملايين المواطنين داخلياً وخارجياً، مما سيشكل أزمة إسكان كبيرة، إذ يجب التفكير في تأمين مساكن مؤقتة للمهجرين إلى حين إعادة الإعمار وعودتهم إلى مساكنهم الدائمة.

إضافة إلى أن كثافة المباني المهدامة تشكل أزمة حقيقية على الصحة والبيئة، مما يستدعي التفكير بطرق فعالة للتخلص من مخلفات المباني أو الاستفادة منها من خلال إعادة تدويرها واستخدامها من جديد، ومن هنا تنبع أهمية البحث.

**أهمية البحث:** تتمثل أهمية البحث في امكانية معالجته للتنمية المستدامة في سورية في مرحلة إعادة الإعمار من خلال النقاط الأساسية الثلاثة:

- **بيئية:** حيث تعتبر الحاجة الملحة لمشاريع التشييد في مرحلة إعادة الإعمار وما يسبقها، بالطرق وأنظمة الانشاء التقليدية، مصدراً أساسياً للتلوث والغازات الدفيئة، وما تشكله من خطر داهم على البيئة واستدامتها.

- **اجتماعية:** حيث أنه في الفترة القادمة، من الحتمي عودة ملايين المهجرين إلى عملهم الأساسي في مدنهم التي باتوا لا يملكون مسكناً ولا مأوى بها، وبالتالي من الضروري إيجاد الحلول الناجعة والسريعة لتأمين السكن المؤقت اللائق للعائدين.

- **اقتصادية:** حيث أن مخلفات الدمار الناتج عن الحرب والزلازل، تشكل عبئاً اقتصادياً حقيقياً، وبنفس الوقت ركيزة أساسية تنموية إن أحسن استغلالها والاستفادة منها من خلال الأساليب والمعالجات الحديثة، من إعادة التدوير وغيرها.

لذلك كان توجه البحث نحو الطباعة ثلاثية الأبعاد كتقنية إنشاء رقمية سريعة، ترتكز على مبدأ إعادة تدوير الكم الهائل من مخلفات الأبنية المدمرة دون الحاجة لإنتاج مواد البناء والانشاء الجديدة، لتأمين السكن المؤقت الذي يوفر للعائدين الحياة الكريمة.

**هدف البحث:** يهدف البحث إلى إلقاء الضوء على تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمساكن، ودراسة خصائصها وميزاتها وتقنيات تنفيذها، لاستخلاص مدى ملاءمتها للواقع الراهن في سورية لتكون أحد الحلول والتوجهات المثلى لإنتاج أحياء السكن المؤقت وفقاً لمبادئ التنمية المستدامة.

**منهجية البحث:** يتبع البحث المنهجيات البحثية التالية:

- **منهج نظري:** ضمن محورين رئيسيين: المساكن المؤقتة مراحلها ومتطلباتها، ومحور تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد وتطبيقاتها وإمكانيات ها وآلية عملها في المجال الهندسي.

- **منهج وصفي:** من خلال استعراض أنماط المساكن التي تمت طباعتها عالمياً، وتحديد السمات المميزة لكل منها.

- **منهج مقارنة:** من خلال المقارنة بين متطلبات واعتبارات السكن المؤقت وإمكانيات تلبيتها باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني.

**أولاً: المساكن المؤقتة بعد الحروب والكوارث:**

١. **المساكن المؤقتة:** تحدد مراحل الإيواء بعد الكوارث بأربعة مراحل وهي:

– المأوى الأولي (في غضون ساعات).

– الإيواء المؤقت (خلال أسابيع).

– الإسكان المؤقت (يمتد من عدة أشهر إلى ٣ سنوات أو أكثر).

– الإسكان الدائم (في غضون بضع سنوات).

وتعرف المساكن المؤقتة بأنها المساكن التي توفر أماكن إقامة قصيرة الأمد للمتضررين من الكوارث تمتد لخمس سنوات أو أكثر، يمكنهم فيها استعادة بعض جوانب حياتهم، وتوفر لهم حياة آمنة ولاتقة لحين عودتهم إلى أماكن إقامتهم الدائمة، حيث تملأ الفجوة بين مرحلة الإغاثة الفورية ومرحلة إعادة الإعمار. (2)

٢. **معايير تصميم المساكن المؤقتة:** على الرغم من أن المساكن المؤقتة لا تحتاج لاتباع

معايير الإسكان الدائمة، إلا أنها يجب أن توفر للسكان الحد الأدنى من مستويات

المعيشة، وبالتالي يحتاج تصميمها لعناية خاصة من حيث المعايير التالية:

• **إدارة المخاطر:** يجب ألا تزيد التصاميم من تعرض الشاغلين لها للمخاطر الطبيعية كالزلازل والعواصف أو التعرض للأخطار الأخرى.

• **السرعة في الإنشاء:** تتطلب المساكن المؤقتة إدارة سريعة للموقف، فيجب ألا تتجاوز

مرحلة إنشاء التجمع السكني عدة أيام، وذلك لنقل المهجرين من مراكز الإيواء المؤقتة للمساكن المؤقتة.

• **توافر المواد:** يجب أن تكون المواد المستخدمة في إنشاء السكن المؤقت من الأسواق

المحلية، بالإضافة إلى تحليل لشراء المواد من الأسواق المحلية والمواد التي تحتاج إلى استيراد.

• **الحجم والشكل:** إن مساحة المعيشة هو مقدار حاسم لعملية التصميم ويجب ألا تقل

في جميع الحالات عن ٢٠م<sup>٢</sup>.

- العمر الافتراضي: يجب تقدير الوقت المتوقع لاستخدام المساكن المؤقتة وبالتالي اختيار النمط الملائم لتحقيق عمرها الافتراضي، كما يجب أن يكون النمط المستخدم قابل لإعادة الاستخدام أو الارتقاء به.
  - الخصوصية والملاءمة الثقافية: يجب أن يتكيف التصميم مع الثقافة المحلية للمنطقة، وأن يتمتع بالمرونة مما يسمح للسكان بإضافة بعض الأقسام الخارجية أو الانقسات الداخلية لتحقيق الخصوصية.
  - مراعاة البيئة: يتطلب بناء المساكن المؤقتة كميات كبيرة من المواد، لذا يجب الأخذ بعين الاعتبار الآثار السلبية للمواد المستخدمة على البيئة المحلية. (2)
3. التحديات التي تواجه الاستدامة والبيئة نتيجة عمليات التشييد: تشكل الحاجة لتأمين المساكن المؤقتة بشكل سريع ضرورة ملحة بعد الحروب والكوارث، وتعد مشاريع التشييد هذه من أكبر المخاطر على البيئة والاستدامة في عدة مجالات، والتي يمكن تلخيصها بأربعة نقاط أساسية وهي الشكل (3):



الشكل (3): التحديات التي تواجه الاستدامة والبيئة

- استهلاك الموارد الطبيعية: إن أكبر تحدي في هذه المرحلة هو الحاجة الملحة للعديد من مشاريع التشييد، ونتيجة هذه الحاجة سيكون هناك استهلاك للعديد من الموارد الطبيعية لإنتاج مواد بناء تساعد في عملية إعادة الإعمار، وبالتالي ستتشكل هذه الحاجة الملحة تحدي خطير في مجال استدامة مواد البناء وقدرة الأجيال القادمة على الحصول عليها.

لذا عند التفكير بوجوب تحقيق معايير الاستدامة في المرحلة القادمة يجب التفكير بدايةً ألا يكون إنشاء هذا المبنى يؤثر سلباً على قدرة الأجيال القادمة الحصول على المصادر

الأولية التي تحتاجها لعملية الاعمار، حيث تعتبر صناعة مواد التشييد بصفة عامة والخرسانة بصفة خاصة من أكثر الصناعات المستهلكة للموارد الطبيعية في العالم.

● المخلفات الناتجة عن صناعة مواد البناء: إضافة لاستهلاك الموارد الطبيعية، تعتبر صناعة مواد التشييد بصفة عامة والخرسانة بصفة خاصة من أكثر الصناعات المنتجة للمخلفات في العالم، فعند إنتاج مادة الإسمنت ينتج عن حرق وطحن المواد الخام (مواد جيرية-مواد طينية) غبار ناعم يتطاير بسهولة بفعل الرياح مما يسبب كارثة صحية وبيئية للمناطق المحيطة بمنطقة الانتاج، وأيضاً عند انتاج الحديد والرخام والجرانيت وغيرها.

● المخلفات الناتجة أثناء عمليات التشييد: والمتمثلة في كسر الطوب والخرسانة وفائض الركام والحديد وبعض الأخشاب ومخلفات المصانع الشكل (4)، ومخلفات تشكيل



الخرسانة حيث يتم انتاج حوالي ١٢ بليون طن سنوياً من الخرسانة، تستهلك ١,٧ بليون طن اسمنت و ٩ طن ركام وتريون لتر ماء وأكثر من ٢ بليون طن حجر جيري، وهذه المواد ينتج عنها مخلفات تقدر ب ٥٠% ولذلك نجد أن مخلفات الخرسانة هي من أهم مخلفات الإنشاء.

الشكل (4): مخلفات البناء الناتجة عن عمليات التشييد الجديدة

● المخلفات الناتجة عن هدم المباني: علاوة على ذلك تعاني سورية من وجود كميات كبيرة من مخلفات البناء وهدم المباني الناتجة عن الحرب وعن الزلزال الذي ضرب مناطق عدة عام ٢٠٢٣ والتي تشكل خطراً على البيئة، حيث تتكون مخلفات البناء والتشييد من ناتج الخرسانة وكسر الطوب والسيراميك والبلاط والزجاج والأخشاب والحديد وألواح الجبس وغيرها، وتختلف نسب هذه المخلفات من بلد لآخر باختلاف طريقة التشييد والمواد المستخدمة، وطبقاً لتصنيف وكالة حماية البيئة الامريكية فإن

نسب مخلفات البناء والهدم تتراوح بين ٤٠%-٥٠% خرسانة، ٢٠% كسر حجارة، ٣٠% خشب، ١٠% مواد عازلة وأسفلت، ٥% معادن، ٥% طوب. (3)

استشعرت الدول الصناعية المتقدمة أخطار مخلفات البناء، خصوصاً بعد الحرب العالمية الثانية حيث بدأت أولى عمليات استخدام المخلفات وإعادة تدويرها على مستوى محدود أخذ بالتطور لاحقاً، إلى أن ظهرت مفاهيم وأساليب جديدة لم تكن مألوفة من قبل في تصميم وتنفيذ المشاريع بما يقلل من المخلفات ويعتمد على إعادة تدويرها واستغلالها بشكل يحقق مفاهيم التصميم المستدام، من خلال حماية البيئة وخفض استهلاك الطاقة والاستغلال الأمثل للموارد المتاحة والاعتماد بشكل أكبر على مصادر الطاقة المتجددة، ومن أحدث هذه التقنيات هي تقنية طباعة المباني.

### ثانياً: الطباعة ثلاثية الأبعاد:

١. المفهوم العام: هي إحدى طرق التصنيع الحديثة (التصنيع بالإضافة أو التصنيع التجميعي) حيث يمكن تصنيع منتج ثلاثي الأبعاد مجسم وملمس باستخدام طريقة الطبقة فوق الطبقة، والذي يتناقض مع الطرق التقليدية كالصب والقولبة والطرح، حيث يتم تصميم النموذج أولاً على إحدى برامج الكاد، ثم يتم تحويله لملف بصيغة STL، ثم يتم تقطيعه لطبقات وفق برنامج خاص، ونقل الناتج لآلة الطباعة التي تقوم بضخ المواد وفقاً لهذه الطبقات وصولاً للمنتج النهائي الملموس الشكل (5). (1)



الشكل (5): مراحل عملية الطباعة ثلاثية الأبعاد

## ٢. مجالات تطبيق تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد: تم استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد

في العديد من مجالات الحياة ومنها:

- في المجال الطبي: استخدمت هذه التقنية في صناعة المعدات الطبية والنماذج المفصلة للصب المعدني للتيجان التي تستخدم في طب الأسنان الشكل (6)، وفي صناعة الأعضاء الاصطناعية لاستخدامها في الزرع مثل الورك والركبة والمفاصل وأجهزة السمع وتقويم العظام وغيرها الشكل (7)، كما تطورت لطباعة الجلد والعظام والأنسجة والمستحضرات الصيدلانية وحتى الأعضاء البشرية الشكل (8). (7)



الشكل (8):

طباعة أعضاء بشرية



الشكل (7):

طباعة أعضاء اصطناعية



الشكل (6):

صب تيجان

- في المجال الصناعي: استخدمت هذه التقنية في طباعة معدات صناعية صغيرة أو أجزاء من معدات صناعية ثقيلة بوقت قليل الشكل (9)، وفي تطوير المنتجات وصناعة النماذج الأولية أو طباعة الأجزاء الصغيرة من الطائرة، كما تمت طباعة أول نموذج لطائرة في ألمانيا الطائرة "ثور" التي تميزت بخفة وزنها وبالتالي حاجتها قدرًا أقل من الوقود ما يقلل من انبعاثات الكربون والملوثات الأخرى الشكل (10)، وفي تصنيع السيارات كالسيارة الكهربائية LSEV الشكل (11). (13)



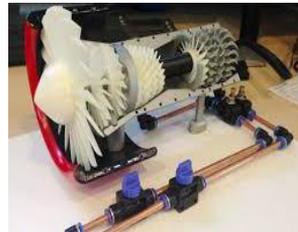
الشكل (11):

طباعة سيارة LSEV



الشكل (10):

طباعة طائرة (الطائرة "ثور")



الشكل (9):

طباعة جزء من آلة

- في مجال الموضة: طباعة أنواع مختلفة ومعقدة من المجوهرات الذهبية أو الفضية أو اكسسوارات من معادن اصطناعية وبلاستيك الشكل (12)، وفي طباعة نماذج خاصة معقدة ومتنوعة من الملابس والأحذية الشكل (13). (16)



الشكل (13): طباعة أحذية وملابس



الشكل (12): طباعة مجوهرات واكسسوارات



- في مجال الفنون: طباعة تماثيل ولوحات ومنحوتات مختلفة، إضافة لإعادة عمل نسخ مطابقة للقطع الفنية القديمة التاريخية الشكل (14). (19)

الشكل (14): لوحة الموناليزا أول قطعة فنية تتم طباعتها بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد

- في مجال الطعام: تتسابق العديد من المطاعم في العالم على تقديم نماذج مميزة وغريبة من الأطعمة المطبوعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد الشكل (15). (16)



الشكل (15): نماذج طباعة حلويات باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد

- في مجال الفضاء والأقمار الاصطناعية: طرحت وكالة الفضاء الأوروبية NASA فكرة لبناء مستعمرة على القمر بواسطة الطباعة ثلاثية الأبعاد على شكل قبة تحمي السكان من الأشعة الفضائية والنيازك الصغيرة التي من الممكن أن تحلق بقربها ووفقاً لنظرية ناسا فإن ٩٠% من المواد اللازمة للبناء موجودة بالفعل على سطح القمر والأجزاء المتبقية يمكن نقلها بواسطة صاروخ فضائي الشكل (16). (28)



الشكل (16): النموذج المقترح للطباعة على سطح القمر

٣. تطبيقات تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في المجال الهندسي: تطورت مراحل استخدام هذه التقنية مع تطور تقنيات الطباعة والآلات والمواد المستخدمة، حيث دخلت تقنية الطباعة المجالات التالية:



- بداية تم إدخال هذه التقنية بشكل بسيط من خلال طباعة نماذج هندسية دقيقة ثلاثية الأبعاد للزيادة في التوضيح واعطاء صورة مصغرة للمشروع بطريقة ثلاثية الأبعاد وتحتوي على الكثير من التفاصيل الدقيقة والمعقدة على عكس الطرق التقليدية التي

تقيّد من محدودية الإبداع الشكل (17). (17) الشكل (17): نموذج مجسم معماري، سورية

- ثم تم إدخال التقنية بشكل أوسع من خلال طباعة أنواع مختلفة ومتعددة من الديكورات الجبسية أو غيرها التي تحوي على تفاصيل أو زخارف، مما يعطي الحرية للمصمم للتفكير أو الإبداع على عكس الطرق التقليدية التي تقيد الفكر أو ربما تتطلب العديد من الخبرات والوقت والجهد والتكلفة، ومن الأمثلة الهامة انجاز الديكورات والزخارف



الداخلية في كنيسة فاميليا ساغرادا للمعماري انطونيو غاودي في برشلونة والتي تم البدء في بناءها عام ١٨٨٢م وتم إدخال الطباعة ثلاثية الأبعاد للمساهمة في إنشائها منذ عام ٢٠٠١ الشكل (18). (14)

شكل (18): كنيسة فاميليا ساغرادا، برشلونة

ثم اقتحمت تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد مجال التصميم الداخلي من خلال طباعة أنواع معقدة ومختلفة من المفروشات، وخاصة الطرز التي تحوي على الكثير من التفاصيل الدقيقة التي كانت تتطلب الكثير من الوقت والخبرات لإنجازها أو الطراز المعاصر لتلبية الحاجة للإبداع وخلق النماذج العصرية المناسبة للفراغ الشكل (19). (25)

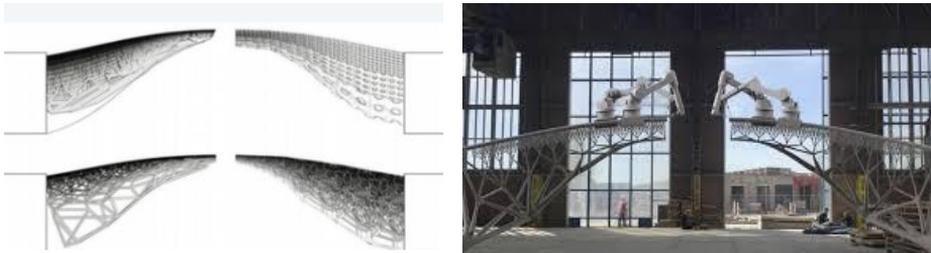


الشكل (19): نماذج طباعة مفروشات

– ثم مع تطور آلات الطباعة تم استخدامها في طباعة المنشآت الصغيرة كالجسور مثلا حيث يتم استعمال طابعات روبوتية ومن الممكن أن يتم العمل بدءا من جهة واحدة بحيث يشكل الجزء المطبوع مسار حركة للروبوت الشكل (20)، ومن الممكن البدء بالعمل من الجهتين باستخدام آلتى طباعة الشكل (21). (5) (30)



الشكل (20): نموذج جسر باستخدام 3D Printer Robot /يمين، جسر الصين /يسار



الشكل (21): نموذج جسر باستخدام روبوتين /يمين، تصميم الجسر على الحاسب /يسار

– لاحقاً مع تطور المواد المستخدمة في الطباعة تم استخدام التقنية في صناعة المواد الأولية المستخدمة في البناء أو في طباعة عناصر البناء في حالة تقنية البناء باستخدام العناصر مسبقة الصنع، ويظهر الشكل (22) نموذج خيم تم إنشاؤها في إحدى الغابات في الولايات المتحدة الأمريكية من خلال طباعة وحدات البناء في المعمل وتجميعها لاحقاً في الموقع.(22)



الشكل (22): مراحل تجميع المواد الأولية المطبوعة لإنشاء خيم في غابة في كاليفورنيا

– إلى أن ظهر نوع جديد من الطابعات الضخمة والتي يصل ارتفاعها لـ ١٥م وبدأت ثورة جديدة في عالم الإنشاء، فبدأ استخدام هذه الطابعات في طباعة أجزاء الأبنية مسبقة الصنع ولاحقاً في طباعة الأبنية بشكل كامل، وسيتم التوسع في هذا المجال من خلال استعراض الأنماط الإنشائية المتبعة في الطباعة وأنواع الآلات وإمكانياتها.

٤. الآلات المستخدمة في طباعة المباني وإمكانيات ها: يختلف نوع الآلات في كل بلد وفقاً للشركة المصنعة، لكن هناك ثلاث أنماط أساسية لشكل الطابعة وطريقة عملها:

• **الطابعة ذات السكتين:** كمثال عنها طابعة **VULCAN 3D printer**: يسمح هذا النوع من الطابعات بطباعة منزل بارتفاع طابقين في الموقع، تتكون الطابعة من قاعدة التحكم حيث يتم إدخال معطيات المبنى عبر الحاسوب، إضافة لحاويات الإسمنت

والمياه، والتي ترتبط بذراع متحركة يوجد بنهايتها جهاز النفث والذي تخرج عبره المواد، ترتبط الذراع وجهاز النفث بقاعدة متحركة على سكتين تحيطان بالمبنى، إضافة لذراع رافعة إلكترونية تقوم بحمل



العناصر الانشائية الداعمة ووضعتها في موقعها ضمن المبنى وفق المعطيات المدخلة عبر الحاسوب الشكل (23). (24)

الشكل (23): آلية عمل طابعة VULCAN



● الطابعة الروبوتية المتحركة: كمثل عنها

طابعة CYBE ROBOTIC 3DP: تعد هذه الطابعة من أنواع الطابعات الروبوتية، تتكون من روبوت صغير يحتوي على دارة التحكم والتي يتم ربطها بالحاسوب للحصول على معطيات المبنى، تحتوي على ذراع الكترونية مرتبطة بجهاز النفث، والذي يقوم إضافة لدوره في نفث المواد بقياس طول الجزء الذي سيتم طباعته والذي لا يتجاوز ٢,٧٥م، إضافة لخزان مياه وحماية الإسمنت ووحدة تتحكم بكمية الخلط بين الإسمنت والمياه، تتحرك هذه الطابعة حول المبنى لطباعته كأجزاء ملتصقة ببعضها

الشكل (24): طابعة CYBE ROBOTIC

الشكل (24). (23)

والأجزاء المرتبطة بها

٥. الطابعة الروبوتية الثابتة: كمثل عنها طابعة APIS COR PRINTER: تشبه هذه

الطابعة إلى حد بعيد النموذج السابق لكنها طابعة ثابتة وليست متحركة، تحتوي على قاعدة التحكم المرتبطة بذراع أطول قابل للحركة في جميع الاتجاهات، وتعطي مدى



أكبر حيث تستطيع طباعة المنزل بالكامل دون الحاجة لفصله لأجزاء بطول ٢,٧٥م، من الممكن أن تتوضع ضمن المبنى وتتم عملية الطباعة بدوران الذراع حول محورها في حال الحاجة لنقل المبنى لمكان آخر، ومن الممكن أن تتوضع بمكان ثابت خارج حدود المبنى

وتتولى الذراع الالكترونية التحرك لتوجيه جهاز النفث لكامل حدود المبنى الشكل(25).

الشكل (25): طباعة GPIS

(20)

COR وآلية عملها

## ٦. العناصر الإنشائية والبنائية المستخدمة في تقنية طباعة المباني:

يختلف النمط المتبع في إنشاء المباني حسب نوع الطباعة وإمكانيات ها، حيث يوجد حتى الآن وفقاً لأنواع الطابعات الشهيرة التي تم ذكرها سابقاً نمطين من النظم الإنشائية المتبعة في إنشاء الأبنية بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد وهي:

- النمط الأول: يشبه نظام الإنشاء الهيكلي إلى حد ما حيث يعتمد على استخدام عناصر التسليح مع وجود طبقة من الاسمنت تشكل أساس تكوين المبنى، ويتم استخدام هذا النمط في الطابعات التي تسير على سكتين وفي الطابعات الروبوتية الثابتة، حيث تمنح هذه الطابعات إمكانية طباعة الجدران المستمرة مهما كان طولها، وتكون العناصر الإنشائية والبنائية في هذا النمط كالتالي:



- الأساسات: لا تحتاج الأبنية المطبوعة إلى أساسات عميقة بل يتم استخدام حصيرة خرسانية يتم طباعتها فوق مستوى سطح الأرض وتعد كسطح تسوية يتم توّضع المبنى فوقه الشكل (26). (26)

الشكل (26): الأساسات السطحية للأبنية المطبوعة

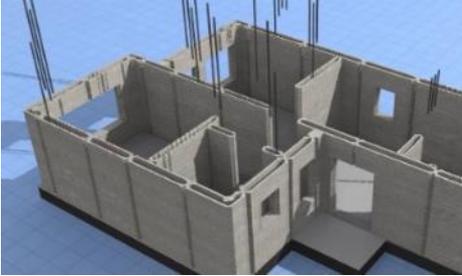
- الجدران: الجدران المطبوعة ثلاثية الأبعاد أخف بنسبة ٥٠% من الجدران الخرسانية ولكنها تتمتع بقوة وصلابة أعلى بكثير، كما أنها تتمتع بمقاومة قوية للماء، و ضد الكسر بالإضافة إلى تحسين نفاذية الهواء، والاحتفاظ بالحرارة مقارنة بالجدران المصنوعة من مواد البناء الشائعة، ويعود السبب لذلك لشكل الجدران حيث تكون عبارة عن طبقتين كل طبقة بعرض ٢,٥سم (بسماعة رأس النفث)، مع فراغ ١٥سم بين الطبقتين، اللتان ترتبطان ببعضهما عن طريق شريط منكسر من مادة الطباعة ذاتها وبذات السماكة ٢,٥سم، كما أنه

في بعض الأبنية عند طباعة طوابق متعددة تم استخدام طبقة ثالثة لزيادة قدرتها على التحمل الشكل (27)، الطابعات ذات السكتين والطابعات الروبوتية الثابتة لها قدرة على طباعة الجدران المستمرة مهما كان طولها، لكن الطابعات الروبوتية المتحركة تقوم بطباعة الجدران بطول لا يتجاوز ٢,٧٥م ملتصقة ببعضها. (18) (15)

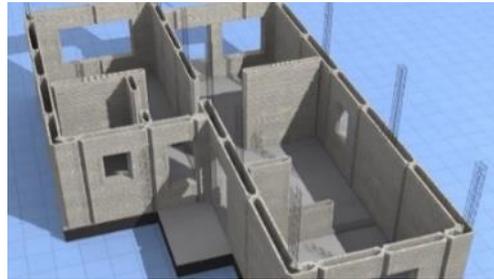
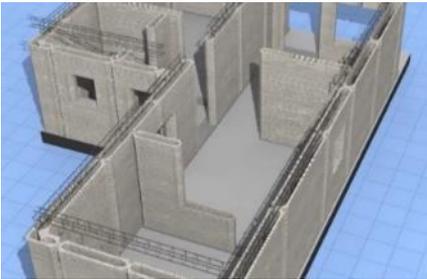


الشكل (27): شكل الجدران المطبوعة وطبقاتها

- الأعمدة والجسور: يتم إضافة حديد التسليح للأعمدة أولاً ثم للجسور بعد الانتهاء من

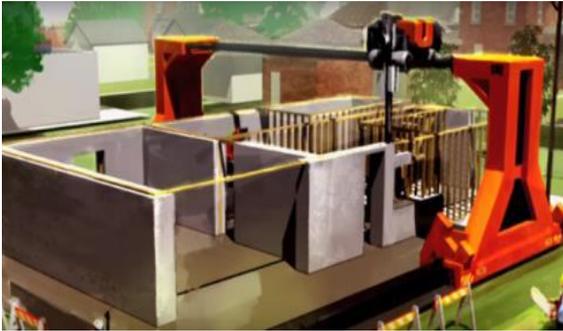


طباعة الجدران، ثم تتم عملية الصب ضمن الفراغات المخصصة، يضاف فوقها طبقة من العازل (حببيبات الفوم الأبيض) لتغطية الفراغات ولتؤمن العزل الحراري قبل تركيب بلاطة السقف الشكل (28). (23)



الشكل (28): مراحل تسليح المبنى

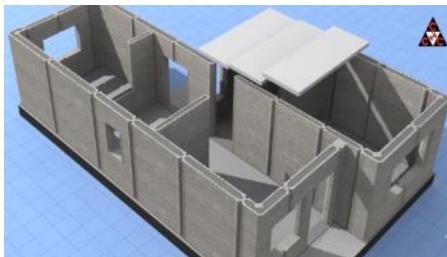
- الطباعة فوق الفتحات: تتم إضافة عناصر داعمة مسبقة التجهيز بشكل يدوي في أعلى



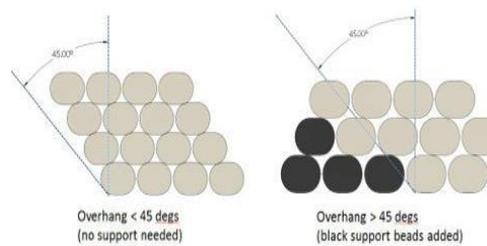
الفتحة ثم تتابع الطباعة عملها في طباعة الجزء المتبقي من الجدار، وتحتوي بعض الطابعات على ذراع روبوتية تنقل العناصر الداعمة وتضعها في المكان المخصص عند الحاجة الشكل (29). (24)

الشكل (29): إضافة العناصر الداعمة في طباعة VULCAN

- الأسقف: في الأسقف المستوية أو المسطحة يجب استخدام دعائم أو جوائز مسبقة التجهيز أولاً بذات مبدأ الفتحات أو طباعة السقف على الأرض ثم رفعه للأعلى الشكل (30)، أما بالنسبة للأسقف المائلة أقل من ٤٥ درجة فيمكن طباعتها بسهولة، أما في الأسقف المائلة أكبر من ٤٥ درجة فيتم استخدام ما يسمى بالمادة الداعمة وهي جزء يتم بناءه (طباعته) أثناء الطباعة ولا يكون جزء من الجسم الرئيسي المراد طباعته ويمكن إزالتها بسهولة وبطرق عديدة بعد الانتهاء من عملية الطباعة حسب التقنية المستخدمة في الطباعة الشكل (31). (23) (27)

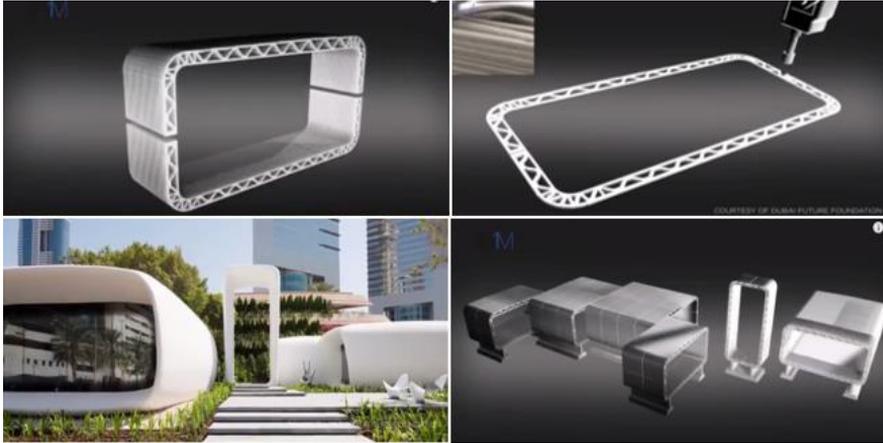


الشكل (31): استخدام مادة طباعية قابلة للإزالة قبل طباعة الأسقف المائلة



الشكل (30): استخدام عناصر داعمة قبل طباعة البلاطات المستوية

النمط الثاني: ويختلف عن الطرق التقليدية لأنها تستخدم في حالة الطباعة في المعمل وليس على أرض الواقع، كما لا تعتمد على العناصر الإنشائية المعروفة (أعمدة وجوائز وأسقف...)، بل تتم طباعة أجزاء المبنى بشكل متكامل (الجدران مع الأرضية والسقف) ويتم تجميعها وتركيبها لاحقاً في الموقع الشكل (32). (10)



الشكل (32): مراحل تجميع العناصر المكونة لمبنى مكاتب دبي في الموقع

#### ٧. المواد المستخدمة في الطباعة: بشكل عام تستخدم في الطابعات ثلاثية الأبعاد

البوليمرات وهي مادة كيميائية تتكون من العديد من الوحدات المتكررة ويمكن أن تكون البوليمرات ثلاثية الأبعاد أو ثنائية الأبعاد أو أحادية البعد، وتتشكل البوليمرات عن طريق عدة تفاعلات كيميائية لعدد كبير من الجزيئات التي تُسمى مونومرات (monomers) تتصل ببعضها البعض بشكل متتابع لتكوين السلسلة، هناك بعض البوليمرات التي توجد بشكل طبيعي مثل: البروتينات والنشا والسليلوز والمطاط والتي تستخدم في الطباعة في مجالات عديدة، وهناك أيضاً تلك التي يتم تشكيلها صناعياً. أما في طابعات المباني فمن الممكن استخدام خلطة خرسانية مكونة من الإسمنت المضاف إليه ألياف زجاجية للتنقية ومياه، أو ممكن استخدام خليط من مواد البناء المعاد تدويرها وألياف زجاجية وطلاء للتصلب ومياه الشكل (33)، حيث أثبتت التجارب العالمية أنه يمكن إعادة تدوير 80-90% من مخلفات الهدم حيث يتم وضع المجاميع الخرسانية التي يتم جمعها من مواقع الهدم من خلال آلة السحق والتي يجب أن تكون خالية من القمامة، الخشب، الورق وغير ذلك من المواد الأخرى، يتم قبول المعادن مثل حديد التسليح، لأنها يمكن إزالتها بواسطة المغناطيس وأجهزة الفرز الأخرى لإعادة تدويرها في مكان آخر، ثم يتم فرز القطع الإجمالية المتبقية حسب الحجم، كما يمكن ان يتم السحق في موقع البناء الفعلي باستخدام الكسارات المحمولة ذلك يقلل من تكاليف البناء والتلوث عند المقارنة مع نقل المواد من وإلى المحجر. (5) (16)



الشكل (33): مواد البناء المستخدمة في الطباعة

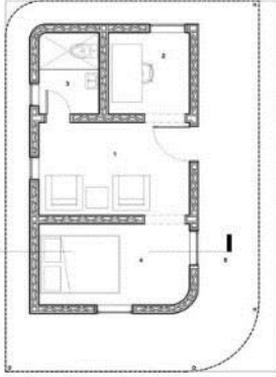
### ٨. أمثلة لمباني أنشئت بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد:

تعددت تجارب إنشاء المباني بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في مختلف أنحاء العالم، ومن أهم تلك التجارب:

#### ١) مسكن إيواء-الولايات المتحدة الأمريكية:

البطاقة التعريفية للمبنى	
	موقع المشروع أوستن-تكساس - الولايات المتحدة الأمريكية
	الشركة المصنعة ICON
	مساحة البناء ٦٠ متر مربع
	ارتفاع البناء طابق واحد
	زمن البناء ١٢ ساعة
	الطباعة المستخدمة Vulcan

يعد هذا المبنى من أوائل المباني السكنية المطبوعة في العالم، غرض المشروع هو محاولة



الشكل (34): مسقط مبنى

لتوفير سكن لائق للمشردين في المجتمعات الفقيرة في بعض الدول النامية لمواجهة أزمة الإسكان العالمية، إذ تمت طباعة المبنى التجريبي في أمريكا كجزء من خطة الشركة لبناء مجمع مكون من حوالي ١٠٠ منزل للمقيمين في السلفادور، حيث يمكن للشركة طباعة منزل بالكامل مقابل ٤٠٠٠ دولار فقط ومن المقرر خفض التكاليف لـ ٢٥٠٠ دولار عند نقلها للسلفادور، يحتوي المنزل على غرفة معيشة، نوم، حمام، مكتب وشرفة الشكل (34)،



الشكل (35): شكل الجدران

المادة الرئيسية المستخدمة هي الاسمنت البورتلاندي، كما تم استخدام الدعائم الخشبية في السقف بشكل واضح مما ساعد على إقناع العملاء في متانة الهيكل الإنشائي، وحافظت الشركة على الشكل الناتج عن الطباعة دون تعميم الأسطح أو إضافة مواد إكساء للمحافظة على طابع المبنى الشكل (35)، ومن المتوقع عمراً أطول لهذه المنازل من المنازل المبنية بوحدات البناء الخرسانية

التقليدية، ويظهر الشكل (36) مراحل عملية الطباعة، والشكل (37-38) يوضح المنتج

النهائي وشكل التجمع السكني المخطط إنشاؤه. (8) (24) (21)



الشكل (36): مراحل طباعة المبنى



الشكل (37): المبنى من الداخل الشكل (38): التجمع السكني المخطط لإنشاؤه في السلفادور

## ٢) مجموعة مخازن شنغهاي-الصين:

البطاقة التعريفية للمبنى		
	المنطقة الصناعية - شنغهاي - الصين	موقع المشروع
	WINSUN	الشركة المصنعة
	٦٦ م <sup>٢</sup> للمخزن الواحد	مساحة البناء
طابق واحد في معظمه وطابقين في بعض الأجزاء		ارتفاع البناء
٢٤ ساعة		زمن البناء
نموذج مطور عن طباعة Vulcan		الطباعة المستخدمة

مجموعة المخازن هذه هي جزء من خطة التطوير العقاري التي تنتهجها الصين، حيث قامت الشركة المصنعة بطباعة عشرة مباني وباستخدام أربعة آلات ضخمة بطول ٣٢م وطول ١٠م وطول ٦م في حديقة شنغهاي هاي تيك الصناعية بمساحة إجمالية ٦٦٠ م<sup>٢</sup> بما لا يتجاوز ٢٤ ساعة، مما عزز قدرة المباني على الإنشاء السريع، يعتقد أن كل منزل يكلف أقل من ٥٠٠٠ دولار أي يمكن بناء مساكن بأسعار معقولة، تم استخدام مخلفات مواد البناء التي تم خلطها بالإسمنت والألياف الزجاجية وضخها إلى طبقات للبناء، وطبعت المباني باستخدام النظام الإنشائي الثاني الذي تم ذكره سابقاً عن طريق صنع أجزاء في مقر الشركة ثم تركيبها في الموقع مما طوّر من إمكانيات استخدام العناصر مسبقة الطباعة، وتظهر الأشكال (39-41) مراحل عملية الطباعة في المعمل والتجميع في الموقع والمنتج النهائي لتجمع المباني. (29) (7)

الشكل (39): مراحل عملية  
الطباعة في المعمل



الشكل (40): مراحل عملية  
التجميع في الموقع



الشكل (41): مجمع مباني  
شنغهاي-الصين



### ٣) مشروع TECLA:

البطاقة التعريفية للمبنى	
موقع المشروع	ماسالومباردا - إيطاليا
الشركة المصنعة	Mario Cucinella
مساحة البناء	٦٠ متر مربع
ارتفاع البناء	طابق واحد
زمن البناء	٢٠٠ ساعة
الطابعة المستخدمة	Crane WASP

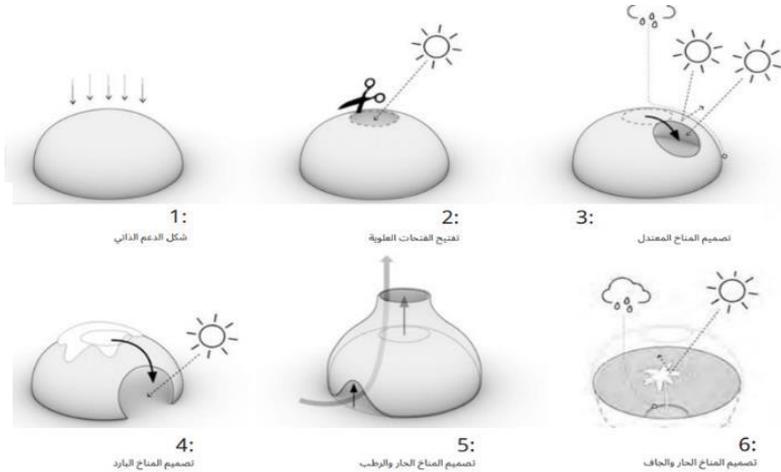


الشكل (42): شكل البيوت الطينية في  
سورية التي تم استلهام التصميم منها

الفكرة الأساسية من المشروع هي أن الحلول للعديد من المشاكل التي تواجهنا على كوكب الأرض يمكن أن نجدها في الواقع في الأرض، لذا سعى المشروع لدمج التكنولوجيا بمواد البناء التقليدية، فمنذ آلاف السنين كانت المباني مكونة من عناصر هيكلية

مصنوعة بالكامل من الأرض وكانت تقاوم الزلازل وعملية التآكل، إلا أن المباني التقليدية تم إنشاؤها بشكل تجريبي، بينما من الممكن اليوم تقييم تكوينها بدقة وتحسين مكوناتها، لذا تم صنع المزيج المكون للطباعة من التربة المحلية عوضاً عن الاسمنت، والألياف (قشر الأرز والقش) عوضاً عن المواد الداعمة، إضافة للمياه، من ميزات المشروع أنه أول مبنى مطبوع في العالم من الطين، ويتميز بأنه أكثر مرونة، فإذا كانت التقنيات التقليدية قد وضعت حدوداً مادية على خيال المعماريين فإن الطباعة ثلاثية الأبعاد يمكنها إنتاج أي شكل مهما كان معقداً، كما أنه يخفض الانبعاثات بنسبة ٥٠% فضلاً للمواد المشكلة له، ويخفض التكاليف بنسبة ٥٠-٦٠%، وتم بناؤه بوقت أقل بنسبة ٥٠-٧٠%، كما أنه نظراً للدقة في تحديد كمية مواد البناء اللازمة فيمكن أن يؤدي ذلك لخفض النفايات إلى الصفر، تم استلهام التصميم من شكل البيوت الطينية في سورية الشكل(42).

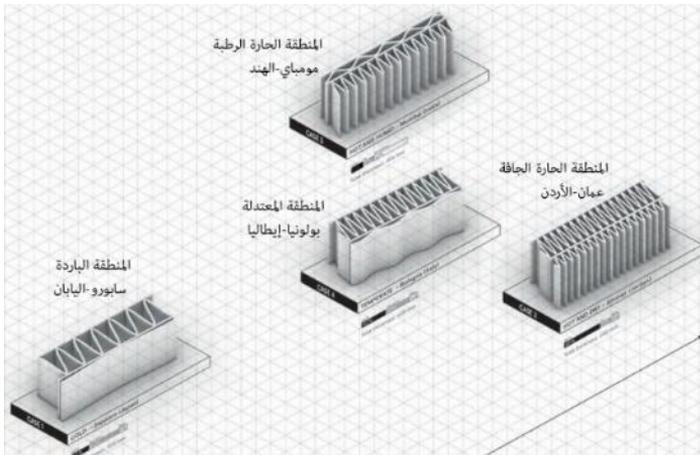
يشمل التصميم مساحتين دائريتين متصلتين، ويتضمن غرفة معيشة وغرفة نوم وحمام، المميز أثناء الطباعة هو أنه تم تركيب طابعتين على مساري رافعتين لبناء القبتين لتعملا في الوقت نفسه دون أن يتقاطع مسار إحدهما مع الأخرى، ومن التحديات التي واجهت الطباعة بالطين هي أنه يحتاج لوقت أطول ليجف. وقد تم دراسة تصميم المشروع بطرق مختلفة ليكون قادراً على مواجهة العوامل الجوية في مختلف الظروف الشكل (43)، وطريقة تجميع الكتل في كل مناخ الشكل (44)، وشكل الطبقات المكونة للجدار كذلك الأمر الشكل (45). (31)



الشكل (٤٣):  
مقترح تصميم  
المبنى في مختلف  
الظروف المناخية

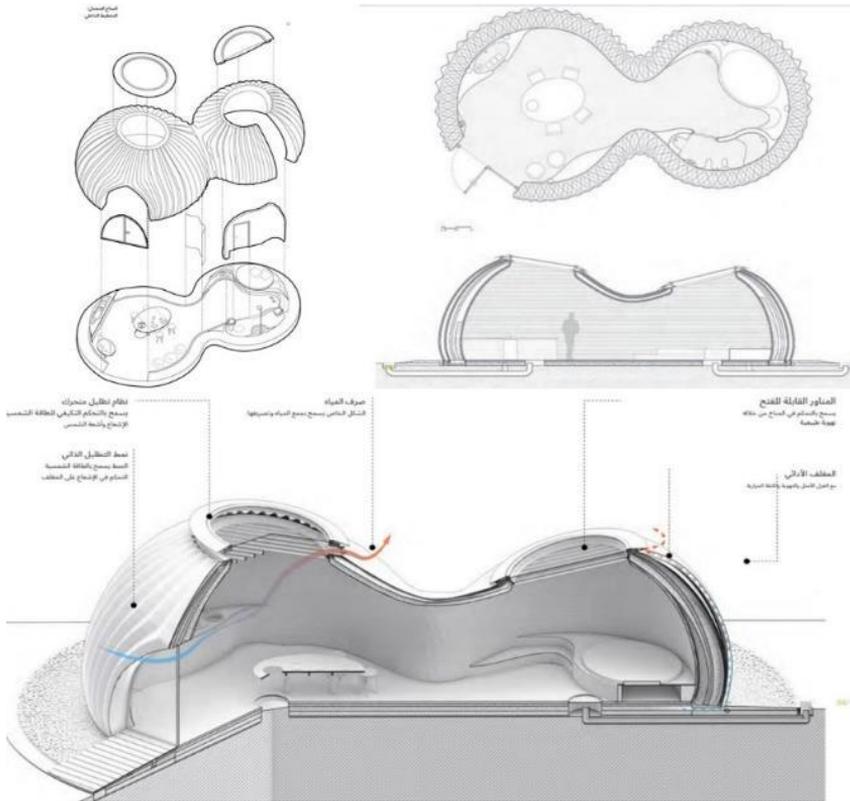


الشكل (44): طريقة تجميع الكتل في كل منطقة مناخية



الشكل (45): الطبقات المكونة للجدار في كل منطقة مناخية

النموذج التي قامت الشركة بطباعته هو النموذج الخاص بالمنطقة المعتدلة- إيطاليا، ويظهر الشكلين (46-47) مخططات المبنى ولقطات متنوعة له.



الشكل (46): مخططات المبنى



الشكل (47): لقطات مختلفة من مشروع TECLA

(٤) مبنى سكني:

البطاقة التعريفية للمبنى	
	موقع المشروع
	حديقة سوتشو الصناعية في مقاطعة جيانغسو - الصين
	الشركة المصنعة
	WinSun
	مساحة البناء
	١٠٠ متر مربع للطابق
	ارتفاع البناء
خمس طوابق	
زمن البناء	
غير معروف	
الطابعة المستخدمة	
غير معروفة	

كسر هذا المبنى حاجز الخوف لدى العالم من متانة المباني المطبوعة، بحكم وصوله لخمس طوابق إضافة لأنه طور إمكانيات تسليحها، كشف هذا المبنى قدرة الطابعات ثلاثية الأبعاد على انجاز ارتفاعات أعلى مما هو متوقع، وفسح المجال للمصممين الصينيين للتفكير بإنجاز أول ناطحة سحاب مطبوعة في دبي، تمت طباعة المبنى ضمن المعمل وعرضت الشركة ضمن معرض خاص في حديقة سوتشو الصناعية بعض أجزاء المبنى قبل تركيبه.

حسب تصريحات رئيس الشركة فإنه لا يوجد أي مانع تقني من طباعة المبنى بالكامل في الموقع، ولكن سيكون من الصعب نقل المبنى لكان آخر حينها، لكن الشركة تسعى لطباعة مبنى كامل في الموقع خلال الثلاث سنوات القادمة بعد إتمام بعض التجارب، لم تكشف الشركة عن نوع الطابعة المستخدمة ولا عن الزمن المستغرق في الطباعة، ولم تنشر أي صور لها أو فيديو أثناء عملية الطباعة، إلا أنها صرحت بأن الطابعة يبلغ ارتفاعها ٦,٦م وعرضها ١٠ أمتار وطولها ١٥٠م، ووفقاً للشركة تتيح ١٠ أضعاف كفاءة الإنشاءات التقليدية، بالإضافة إلى انخفاض محتمل بنسبة ٣٠-٧٠٪ في استهلاك الطاقة، وتوفير تكلفة البناء بأكثر من ٥٠٪، كما أن المبنى مقاوم للزلازل القوية، المواد التي استخدمت في الطباعة هي في المقام الأول نفايات البناء والنفايات الصناعية ومخلفات المناجم، بالإضافة لإسمنت وحديد التسليح وعامل تصلب خاص، كما تميز المبنى عن جميع المباني المطبوعة التي سبقته بأن الشركة لم تحافظ على شكل التموجات الناتج عن الطباعة بل إن دقة انجاز

المبنى والتفاصيل إضافة إلى إكساء المبنى أعطى صورة جمالية عن المباني المطبوعة  
الشكل (48). (9) (29)



الشكل (48): لقطات للمبنى قبل وبعد الإكساء

## ٩. ميزات استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني وملاءمتها للسكن المؤقت:

وفقاً لما تم دراسته سابقاً من آلية عمل الطابعات ثلاثية الأبعاد، ومن تحليل أشهر المباني المطبوعة، يمكن تحديد ميزات استخدام هذه التقنية بما يلي:

– الاقتصاد بالتكاليف: تعتبر تكلفة المباني المطبوعة قليلة نسبياً مقارنة بطرق البناء التقليدية، وذلك يعود لقلة عدد العاملين اللازمين في الموقع، وعدم الحاجة لاستخدام أي آليات للحفر والنقل أثناء الإنشاء، إضافة لاستخدام المواد المعاد تدويرها في الطباعة، حيث تعد تكلفة شراء الطباعة هي الكلفة الوحيدة عملياً.

– المرونة الانشائية: حيث أن امكانيات الطابعات ثلاثية الأبعاد بنماذجها المختلفة وآليات عملها المتعددة، تؤمن فراغات داخلية متباينة المساحات والمجازات، بالاستعانة بالقليل من حديد التسليح أو الاستغناء عنه تماماً، تبعاً لشكل وتسقيف المبنى. إضافة إلى إنتاج مباني منتشرة أفقياً أو متعددة الطوابق، حيث أنه تم التوصل لطباعة مبنى من ثمانية

طوابق، وتخطط الصين حالياً لإنشاء أول ناطحة سحاب مطبوعة بالعالم، أي أن إمكانيات هذه التقنية تتطور يوماً بعد يوم موفرة مرونة إنشائية متميزة دون اللجوء إلى أنظمة إنشائية معقدة ومكلفة اقتصادياً.

السرعة في الإنشاء: حيث يمكن طباعة المبنى في فترة زمنية أقل بكثير من طرق البناء



الشكل (49): مبنى تكساس

التقليدية، إذ تم طباعة مبنى أوستن خلال ١٢ ساعة الشكل (49)، واستغرق طباعة مبنى STUPINO - روسيا ٢٠ ساعة الشكل (50)، بينما تمت طباعة مجموعة مباني-الصين بمساحة ٦٦٠م<sup>٢</sup> خلال ٢٤ ساعة الشكل (٥١).



الشكل (51): مبنى الصين



الشكل (50): مبنى روسي



الشكل (52) القدرة التشكيلية- مشروع منزل بكين

- المرونة في التشكيل: توفر تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد إمكانية انجاز أشكال أكثر تعقيداً وتحوي على تفاصيل أكثر من الطرق التقليدية مثل منزل بكين الشكل (52)، إضافة لإمكانية طباعة عناصر الفرش الداخلي وعناصر الموقع العام أيضاً كما في مشروع مكاتب دبي الشكل (53).



الشكل (53): عناصر الفرش والموقع المطبوعة في دبي

– تحدي العوامل الجوية والتضاريس: يمكن بناء المباني بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في أي ظروف جوية كانت، وفي درجات حرارة قاسية ارتفاعاً أو انخفاضاً، حيث تمت طباعة



مبنى STUPINO تحت درجة حرارة -٣٥ درجة مئوية وعلى الثلج الشكل (54)، وفي الصحراء السعودية خلال فصل الصيف، من دون استخدام أي وسائل تبريد أو تظليل خلال العمل الشكل (55).

الشكل (54): سكن STUPINO في روسيا



الشكل (55) فيلا طابقين - السعودية

#### ١٠. آفاق استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في إنشاء المساكن المؤقتة:

من خلال دراسة مميزات تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد لإنتاج المباني وخصائصها المتنوعة، يتضح مدى ملاءمتها لمعايير المساكن المؤقتة وتحقيقها لمتطلباتها التصميمية والتنفيذية، والتي يمكن تلخيصها بالجدول التالي:

معايير تصميم المساكن المؤقتة	إمكانيات تحقيقها باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني
إدارة المخاطر	قلة اليد العاملة والاعتماد في الإنشاء على الآلات بشكل كامل يحقق عامل الأمان أثناء الإنشاء، إضافة لإمكانيات تصميم الجدران بما يحقق عامل الأمان من الظروف المناخية والزلازل
السرعة في الإنشاء	من الممكن بناء تجمع سكني كامل خلال بضعة أيام فقط
توافر المواد	من الممكن استخدام مواد متنوعة في الطباعة كالتراب أو الخرسانة أو مخلفات البناء بعد إعادة تدويرها لكنها بحاجة لمعالجة معملية أولاً
الحجم والشكل	إمكانيات الطباعة غير محدودة بحجم معين وتظهر مرونة عالية وحرية كبيرة في التصميم

العمر الافتراضي للمباني المطبوعة يضاهاى المباني المنشأة بطرق تقليدية، إضافة لإمكانية هدم المباني عند انتهاء الحاجة منها وإعادة استخدامها كمادة أولية لطباعة مباني جديدة	العمر الافتراضي
تقنية الطباعة غير محددة بأبعاد أو قوالب ثابتة وبالتالي يمكن تصميم أي مسكن وفق الحاجة	الخصوصية والملاءمة الثقافية
بما أن الطباعة تتم على حصىرة خرسانية فوق مستوى الأرض وبالتالي عند إزالة المبنى لا يشكل أية تأثير على البيئة الطبيعية والموقع	مراعاة البيئة

#### ١١. دور تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني في التنمية المستدامة في سورية:

إن إنشاء المباني باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد تعتبر من التوجهات المعمارية التي من الممكن أن تواجه تحديات التنمية المستدامة بعد الكوارث والحروب، وهذا ما يجب التنبه له في الواقع الراهن في سورية بشكل خاص، نتيجة عمليات التشييد الضخمة التي ستحتاجها في مرحلة إعادة الاعمار، وذلك من حيث:

##### • الناحية البيئية:

– الوفر في استهلاك الموارد الطبيعية: باستخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني يمكن تقليل استنزاف الموارد الأولية والخامات من خلال استخدام مخلفات الخرسانة وإعادة تدويرها.

– انعدام المخلفات الناتجة عن صناعة المواد الأولية وأثناء عمليات التشييد: تعد تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد صديقة للبيئة حيث لا تحتاج لأي قوالب خشبية ولا يتم إنتاج أية مخلفات أثناء عملية التشييد، إضافة إلى أن صناعة المواد الأولية بإعادة تدوير مخلفات المباني المهذمة يمكن أن ينتج عنه الحد الأدنى من الغبار والأتربة التي تعد أقل ضرراً على البيئة من إنتاج الاسمنت وغيره من مواد البناء التقليدية.

##### • الناحية الاقتصادية:

– إعادة تدوير المخلفات الناتجة عن المباني المهذمة: يمكن استخدام المخلفات الناتجة عن هدم المباني كمادة أولية في الطباعة مما يوفر أكثر من ٦٠% من المواد المطلوبة عادةً للبناء، وما يساعد ذلك في توازن الميزان التجاري من حيث

- انخفاض الواردات بمجال مواد البناء، إضافة لتحقيق الوفرة الاقتصادي الذي تعتبر سورية بأمر الحاجة له في مرحلة البناء وإعادة الاعمار.
- انخفاض حجم اليد العاملة في مجال البناء وتوظيفها في القطاعات الخدمية الهامة الأخرى والأقل خطورة، من خلال الاعتماد في الإنشاء على الآلات بشكل كامل بما يحقق عامل الأمان أثناء الإنشاء.
- من الممكن نقل المبنى بعد الانتهاء من الحاجة إليه كسكن إيواء إلى مكان آخر والاستفادة منه مجدداً كسكن دائم، كما يمكن هدم المباني واستخدامها في طباعة أبنية جديدة بمساحات ملائمة لسكن دائم في مناطق وتجمعات أخرى.
- الناحية الاجتماعية:

- السرعة في تأمين المسكن اللائق من حيث الخصوصية والحدائق والنظافة لاستقبال ملايين المهجرين، العائدين إلى بلدهم وعملهم الأساسي في مدنهم التي باتوا لا يملكون مسكناً ولا مأوى بها، وما ينعكس ذلك على الاستقرار الاجتماعي والنفسي لهم، ومحفزاً للكثيرين غيرهم للعودة.
- الإقلال من الأعباء الاجتماعية التي ستشكلها الأعداد الهائلة من الأسر العائدة على الأقارب والأصدقاء لاحتوائهم، وتأمين الأرضية المناسبة لجيل الشباب للاستقرار والارتباط وعدم الانتظار لتكوين أنفسهم وهدر الوقت بهدف تأمين مستقبلهم الذي ضاع منه الكثير.

## ١٢. النتائج والتوصيات:

١. تعاني سورية من وجود كمية كبيرة من مخلفات هدم المباني نتيجة الحرب والزلازل وبالتالي تشكل تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد للمباني فرصة للتخلص من تلك المخلفات واستغلالها كمواد خام للطباعة.
٢. إن المواد المستخدمة في طباعة المباني غير محدودة، ولا تقتصر على مخلفات الأبنية المهدامة فقط، إنما هناك إمكانية استخدام مواد محلية تناسب البيئات المختلفة في سورية، كالطين في البيئات السورية الجافة.

٣. يمكن استخدام تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد في المساكن المؤقتة في مختلف المدن والمحافظات السورية وذلك لتوفر المواد الأولية المستخدمة في الطباعة، الناتجة من مخلفات الأبنية المهدامة في حلب وحمص ودمشق وريفها، ومن المواد المحلية بالريف أو المناطق الملائمة بيئياً في تدمر وريف ادلب وحلب والرقّة ...
٤. تعتبر تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد هي الحل الأنسب لزيادة تعقيد تصميم المباني، حيث توفر الوقت والجهد وبالذقة المثلى، مقارنة مع استخدام الأساليب التقليدية في الإنشاء.
٥. الطباعة ثلاثية الأبعاد هي أسلوب إنشاء حر غير مقيد، وبالتالي غير محدود بقوالب أو أبعاد ثابتة، مما يعطي إمكانيات كبيرة لتصميم المنازل بشكل يراعي البيئة والخصوصية الثقافية والمجتمعية.
٦. يختلف تصميم المباني المطبوعة عن الأبنية العادية مما يتطلب من النقابات الهندسية والمهنية والجهات المختصة في سورية، نشر ثقافة هذه التقنية وفهم أكبر لأسلوب الإنشاء وشكل الجدران الناتجة عن الطباعة وغيرها.

### ١٣. المراجع:

#### المراجع العربية:

1. ABDULSALAM A,2019- A study on the 3D printing technology and its future in the Arab world. Third Conference for Graduate Students, Sebha University, Libya
2. AMMAR E,2022- Temporary housing and its role in reconstruction. Al-Baath University Journal-Engineering Sciences Series. Vol. 44, no.11, 11-44.
3. AZZAM M, FAGGAL A,2007- Recycling construction and building waste and preserving the environment "applicability in Egypt".  
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.36623.59048>
4. JARAD F,2023- An applied study to evaluate and rehabilitate schools affected by the war on Syria. Tishreen University Journal of Engineering Sciences. Vol.45, no.3, 49-72.

#### المراجع الأجنبية:

5. AMBILY P.S, KALIYAVARADHAN S, RAJENDRAN N.2024- Top challenges to widespread 3D concrete printing (3DCP) adoption – A review. European Journal of Environmental and Civil engineering, vol. 28:2, pp. 300-328. <http://dx.doi.org/10.1080/19648189.2023.2213294>

6. AMBILY P.S, KALIYAVARADHAN S, RAJENDRAN N.2024- Top challenges to widespread 3D concrete printing (3DCP) adoption – A review. European Journal of Environmental and Civil Engineering, vol. 28:2, pp. 300-328.
7. DODZIUK H,2016- Applications of 3D printing in healthcare. Kardiochirurgia i Torakochirurgia Polska. Vol.3, no.13, pp 283-293.
8. ELNAEEM R, TAGLSIR M,2020- Applicability of using the 3D concrete printing technology in Sudan. FES Journal of Engineering Sciences, pp. 64-70.
9. HAGER I, GOLONKA A, PUTANOWICZ R,2016- 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? International Conference on Ecology and new Building materials and products, pp. 292 – 299.
10. LUHAR S, SUNTHARALINGAM TH, NAVARATNAM S, LUHAR I, THAMBOO J, POOLOGANATHAN K, GATHEESHGAR P,2020- Sustainable and renewable bio-based natural fibres and its application for 3D printed concrete: A review. Sustainability2020 -Sustainable Innovative Solutions for Material Efficient Buildings .vol. 12 (24). <https://doi.org/10.3390/su122410485>
11. MPOFU TH, MAWERE C, MUKOSERA M,2012- The Impact and Application of 3D Printing Technology. International Journal of Science and Research (IJSR). Vol. 3, no.6, pp 2148-2152. Paper ID: 02014675.
12. NACHAL N, MOSES J. A. , KARTHIK P, ANANDHARAMAKRISHNAN C,2019- Applications of 3D Printing in Food Processing. Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2019. (Food Engineering Reviews), vol. 11(3). <https://link.springer.com/article/10.1007/s12393-019-09199-8>
13. PAOLETTI I, CECCON L,2018- The Evolution of 3D Printing in AEC: From Experimental to Consolidated Techniques. IntechOpen. pp 39-69. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.79668>
14. QIU H,2024- Construction of Sagrada Famlia -Building the Architecture and Sacred Space in the Modern World-Proceedings of the 3rd International Conference on Literature, Language, and Culture Development. Communications in Humanities Research, Vols. 33(1), pp. 59-64. <http://dx.doi.org/10.54254/2753-7064/33/20240051>
15. SALET, T. A. M., & WOLFS, R. J. M. 2016- Potentials and Challenges In 3D Concrete Printing Proceedings of the 2nd International Conference on Progress in Additive Manufacturing (Pro-AM 2016), Published by Research Publishing, Singapore, pp 8-13. <https://hdl.handle.net/10356/84592>
16. SHAHRUBUDINA N, LEE T.C, RAMLAN R,2019- An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. Procedia Manufacturing-2nd International Conference on Sustainable Materials

- Processing and Manufacturing (SMPM 2019). Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) , Procedia Manufacturing 35, pp 1286–1296.
17. WU P, WANG J, WANG X, 2016- A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. *Automation in Construction*. Vol. 68, pp 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>
- مواقع الانترنت:
18. *3printr*. [Online] MAR 16, 2015. [Cited: JAN 6, 2024.] <https://www.3printr.com/winsun-3d-prints-villa-apartment-building-3827111/>.
19. *Alyawm alsabee*. [Online] AUG,8,2019. [Cited: JUN 24,2024] <https://www.youm7.com/story/2019/8/8/%D9%84%D9%85%D8%B3%D8%A7%D8%B9%D8%AF%D8%A9-%D8%B6%D8%B9%D8%A7%D9%81-%D8%A7%D9%84%D8%A8%D8%B5%D8%B1-%D9%85%D8%B5%D9%85%D9%85->
20. *Apis Cor*. [Online] The original site of the printer company. [Cited: JAN 23, 2024.] <https://apis-cor.com/technologies/>.
21. *ArchDaily*. [Online] AUG 19, 2020. [Cited: JUN 2, 2024.] [https://www.archdaily.com/946038/big-partners-up-with-3d-printing-robotics-company-icon?ad\\_source=search&ad\\_medium=projects\\_tab&ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_all](https://www.archdaily.com/946038/big-partners-up-with-3d-printing-robotics-company-icon?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all).
22. *ArchDaily*. [Online] AUG 25, 2013. [Cited: JAN 5, 2024.] <https://www.archdaily.com/419306/echoviren-smith-allen/521661fce8e44e9a450000d1-echoviren-smith-allen-image>.
23. *CyBe*. [Online] The original site of the printer company. [Cited: FEB 15, 2024.] <https://cybe.eu/3d-concrete-printing/printers/cybe-robot-crawler/>.
24. *IconBuild*. [Online] The original site of the printer company. [Cited: FEB 20, 2024.] [https://iconbuild.com/robotics?\\_gl=1\\*v5cl7i\\*\\_ga\\*MTQ1NjgxNDY3OC4xNzE5MTgzNjk1\\*\\_ga\\_699HT9K481\\*MTcxOTE4MzY5NC4xLjEuMTcxOTE4MzkzMC42MC4wLjA](https://iconbuild.com/robotics?_gl=1*v5cl7i*_ga*MTQ1NjgxNDY3OC4xNzE5MTgzNjk1*_ga_699HT9K481*MTcxOTE4MzY5NC4xLjEuMTcxOTE4MzkzMC42MC4wLjA).
25. *imm Cologne*. [Online] [Cited: JUN 22, 2024.] <https://www.imm-cologne.com/magazine-archive/design-and-architecture/3d-moebel/>.
26. *Inhabitat*. [Online] [Cited: JAN 8, 2024.] <https://inhabitat.com/a-10k-tiny-house-3d-printed-in-24-hours/apis-cor-building-materials/>.
27. *KJ Additive Direct manufacturing Design 3D printing*. [Online] The original site of the printer company. [Cited: JAN 14, 2024.] <http://www.kjadditive.fi/fdm-3d-tulostus/>.
28. NASA. [Online] OCT 1, 2020. [Cited: NOV 20, 2023.] <https://www.nasa.gov/technology/manufacturing-materials-3-d->

- 
- [printing/nasa-looks-to-advance-3d-printing-construction-systems-for-the-moon-and-mars/](https://www.nasa.gov/press/201608/pr01-3d-printing-nasa-looks-to-advance-3d-printing-construction-systems-for-the-moon-and-mars/).
29. *winsun3d*. [Online] The original site of the printer company. [Cited: APR 20, 2024.] <https://www.winsun3d.com/En/Product/>.
30. *STRUCTURAL ENGINEERING ART AND APPROXIMATION*. [Online] NOV 11, 2015. [Cited: JUN 21, 2024.] <https://struartapp.com/3d-printed-structures-what-does-it-mean-for-structural-engineers/>.
31. *TECLA. Sustainability report*. MASSA LOMBARDA, ITALY, EUROPE : an alternative building paradigm. [Cited: JUN 10, 2024.] <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=61d5bf2ac4c5285fJmltdHM9MTcyMTM0NzIwMCZpZ3VpZD0wZDQ2MjlkOC0yZmRlTzJjNTUtMzBjZi0zZGY3MmU2OTZkYjEmaW5zaWQ9NTI2MA&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=0d4629d8-2fde-6c55-30cf-3df72e696db1&psq=tecla+pdf&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cubWNhcmNoaXRlY3RzLml0L2VuL3Byb2plY3RzL3RlY2xhLXRlY2hub2xvZ3ktYW5kLWNsYXk&ntb=1>



## دراسة بعض العوامل الفيزيائية كيميائية لمياه

### نهر سوريته في بانباس

د. م. امال عطيه\*

#### □ الملخص □

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم نوعية مياه نهر سوريته في الساحل السوري لأغراض الشرب. تم في هذا البحث دراسة بعض العوامل الفيزيائية والكيميائية لمياه نهر سوريته، وتم أخذ عينات مائية من أربعة مواقع رصد مختلفة على طول مجرى النهر خلال الفترة الممتدة من أيلول ٢٠٢٢ ولغاية آب ٢٠٢٣، ويمعدل عينة واحدة شهرياً، وتم تحليل بعض العوامل الفيزيائية كدرجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني pH، والناقلية الكهربائية EC، والمواد الصلبة المنحلة الكلية TDS، والنترات  $NO_3^-$ ، والفوسفات  $PO_4^{3-}$ ، والمتطلب الحيوي للأكسجين  $BOD_5$ ، والتركيز الإجمالي للفحوم الهيدروجينية العطرية المتعددة النوى ( $\Sigma PAHs$ ). أظهرت نتائج البحث أن قيم العوامل المدروسة (درجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني، والناقلية الكهربائية، والمواد الصلبة المنحلة، والنترات، والفوسفات) كانت ضمن الحدود المسموحة للاستهلاك البشري حسب معايير المواصفة القياسية السورية ومنظمة الصحة العالمية، وكانت قيم العوامل (المتطلب الحيوي للأكسجين، والتركيز الإجمالي للفحوم الهيدروجينية العطرية) أكبر من الحدود المسموحة لها في مياه الشرب، مما يشكل خطراً بيئياً يهدد الكائنات الحية.

كلمات مفتاحية: نهر سوريته، عوامل جودة المياه، مياه الشرب.

دراسة بعض العوامل الفيزيوكيميائية لمياه  
نهر سوريث في بانياس

\* مشرف على الأعمال في قسم هندسة النظم البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية

- سوريا. Email: [amal83ym@gmail.com](mailto:amal83ym@gmail.com)

## Study of Some Physicochemical Factors of the Water Sureat River in Banias

Dr. Amal Ateah\*

□ ABSTRACT □

This study aims to evaluate the water quality of the Sureat River on the Syrian coast for drinking purposes. In this research, some physical and chemical factors of the water Sureat River were studied. Water samples were taken from four different monitoring sites along the river's course during the period extending from September 2022 to August 2023, at a rate of one sample per month, and some physical chemical factors were analyzed, such as temperature, number pH, EC, total dissolved solids (TDS), nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), biological oxygen demand ( $\text{BOD}_5$ ), and total concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons ( $\Sigma\text{PAHs}$ ). The results of the research showed that the values of some of the factors studied (temperature, pH, EC, TDS,  $\text{NO}_3^-$ , and  $\text{PO}_4^{3-}$ ) were within the permissible limits for human consumption according to the standards of the Syrian standard and the World Health Organization, and the values of some factors ( $\text{BOD}_5$ , and  $\Sigma\text{PAHs}$ ) were greater than the permissible limits in drinking water, which constitutes an environmental hazard that threatens living organisms.

---

\* Work Supervisor, Department of Environmental Systems Engineering, High Institute of Environmental Research, Tishreen University, Lattakia, Syria.  
E-mail: [amal83ym@gmail.com](mailto:amal83ym@gmail.com)

**Key words:** Sureat River, water quality factors, drinking water.

### 1- مقدمة:

تُعدّ المياه العذبة كالأنهار والبحيرات والينابيع والآبار من أهم المصادر المائية المستخدمة لأغراض الشرب بعد إجراء المعالجة المطلوبة لها [1, 2]. وتعتبر مصدراً طبيعياً مهماً لبقاء واستمرار النظام البيئي بأكمله. ويستخدم البشر الماء في مختلف المجالات الزراعية والصناعية والترفيهية والخدمية والحرفية بكميات كبيرة قد تستنزف قدرة المورد المائي على التجدد وتعويض الفاقد منه. بالإضافة إلى ذلك، هناك التلوث الكبير والخطير الذي يهدد موارد المياه العذبة، والناجم عن التزايد السكاني والتطور الزراعي والصناعي والخدمات [3, 4].

ففي السنوات الأخيرة أدت الأنشطة البشرية الكثيفة الزراعية منها والصناعية إلى تلوث مصادر المياه العذبة إلى درجة كبيرة تفوق القيم المسموحة لها في مياه الشرب، وهذا ما أدى إلى ازدياد خطر الإصابة بالأمراض والأوبئة التي تهدد حياة الإنسان [5, 6].

تتقسم التحديات التي تواجه المياه العذبة إلى نوعين:

#### ١ - التحديات بسبب الطبيعة:

- انخفاض معدلات هطول الأمطار عاماً بعد عام.
- ارتفاع درجات الحرارة.

دراسة بعض العوامل الفيزيوكيميائية لمياه  
نهر سوريث في بانياس

• شدة التبخر نتيجة ارتفاع درجات الحرارة مما يؤثر على مساحة المسطحات المائية العذبة.

• توالي سنوات الجفاف.

• الأمطار الملوثة كالأمطار الحامضية.

٢ - التحديات بسبب الأنشطة البشرية:

• تطور الزراعة التي تستهلك الكثير من المياه.

• البناء العمراني الذي يتطلب الكثير من المياه.

• تلوث المياه العذبة بمياه الصرف الصحي ومخلفات المصانع.

• إنشاء المنشآت الصناعية بالقرب من مصادر المياه العذبة.

• انتشار مكبات للنفايات بشكل عشوائي بالقرب منها مما يلوثها فتصبح غير صالحة للاستخدام.

من المعروف أن المياه العذبة تؤمن المورد الأساسي للشرب، ووفقاً لمنظمة الصحة العالمية فإن أقل من 1% من الإمداد العالمي بالمياه متوفر وآمن للاستهلاك البشري، وأكثر من 760 مليون شخص دون إمدادات مياه شرب كافية حتى عام 2011 [7,8]. وترتفع تكاليف مياه الشرب بسبب زيادة تكاليف المعالجة، وزيادة عدد السكان المستهلكين، الأمر الذي أدى إلى استنزاف كبير لموارد المياه العذبة وتهديد ببقائها [9].

أدت التحديات السابقة إلى تغيير وتدهور نوعية مياه البحيرات والأنهار والينابيع والآبار في سوريا، وتلوثها بأشكال مختلفة من الملوثات العضوية واللاعضوية، ومنها الملوثات العضوية الثابتة المهددة للإنسان والبيئة نتيجة لبقائها في البيئة لشهور وسنوات عديدة دون أن تتحلل، وتأثيراتها السمية الحيوية الجينية المسرطنة والمسببة للطفرات الوراثية للإنسان [10, 11].

من هنا جاءت أهمية البحث في رصد التغيرات الزمنية والمكانية لتراكيز بعض العوامل الفيزيوكيميائية في مياه نهر سوريت في الساحل السوري خلال الفترة الممتدة من (أيلول ٢٠٢٢ حتى آب ٢٠٢٣)، والتعرف على نوعية المياه، وتصنيفها، والتحقق من صلاحية استخدامها للاستهلاك البشري. ومن المعروف أن نهر سوريت هو الأخ التوأم لنهر السن ويتغذى من حوض السن، ويشكل حوض نهر السن أحد المصادر الرئيسية لتزويد المياه في المنطقة الساحلية، وتستخدم مياهه حالياً لأغراض الشرب والري وتربية الأسماك والصناعة، لذلك فإن أي خطر يهدد نهر سوريت فمن المحتمل أن يهدد نهر السن نتيجة قربهما من بعضهما البعض وتغذيتهما من نفس الحوض، والعلاقة العضوية التي تربط بينهما [12].

## 2 - أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في تقييم واقع التلوث في مياه نهر سوريت في الساحل السوري، وذلك بدراسة بعض العوامل الفيزيوكيميائية باعتباره يقع في منطقة تكثر فيها النشاطات البشرية وخاصة الزراعية.

يهدف البحث بشكل أساسي إلى رصد التغيرات الزمانية والمكانية لتراكيز بعض العوامل الفيزيوكيميائية: درجة الحرارة، ودرجة الحموضة  $pH$ ، والناقلية الكهربائية، والمواد الصلبة المنحلة، والنترات، والفوسفات، والمتطلب الحيوي للأكسجين، والتراكيز الإجمالية للفحوم الهيدروجينية المتعددة النوى، والتعرف على نوعية المياه، ومقارنتها مع المواصفة القياسية السورية لتحديد مدى صلاحيتها للاستهلاك البشري.

## 3 - وصف منطقة الدراسة:

## دراسة بعض العوامل الفيزيائية كيميائية لمياه نهر سوريث في بانياس

يقع الحوض الهيدرولوجي لنهر سوريث في غرب سوريا في منطقة حريصون في بانياس في الساحل السوري. وتجري مياه نهر سوريث من مجموعة من الينابيع المغذية التي تشكل بحيرة سوريث ومنها تتدفق مياه النهر في الأراضي الزراعية بجوار نهر السن الأساسي في المنطقة. ويبعد نبع سوريث عن نبع السن مسافة 100 m باتجاه الجنوب، وتبلغ غزارة نبع سوريث ( $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) ويشترك معه في الحوض المغذي، ويتشابه معه بالخصائص الهيدروجيولوجية والفيزيائية. ويبين الشكل (1) صورة فضائية لنهري السن وسوريث على الخريطة، حيث ينبع نهر سوريث من بحيرة سوريث التي تقع على بعد حوالي 4 km تقريباً عن البحر المتوسط باتجاه الشرق، ويتابع مجراه غرباً بين الأراضي الزراعية، ثم يتجه جنوباً لينتهي نهر حريصون ليصب في البحر الأبيض المتوسط [13, 14].

**تقع منطقة الدراسة ضمن الإحداثيات التالية:** خط طول ( $36^\circ 14' 09.41''$ ) -  $36^\circ 14' 09.41''$  -  $36^\circ 14' 09.41''$ ، وخط عرض ( $35^\circ 04' 07.40''$ ) -  $35^\circ 04' 07.40''$  -  $35^\circ 04' 07.40''$ . وتشكل جزءاً من المنطقة الوسطى من الجبال الساحلية، وتمتد من الشمال إلى الجنوب على شكل سلسلة واحدة بين وادي نهر الكبير الشمالي ووادي نهر الكبير الجنوبي، ويعرض يتراوح بين 25 - 30 كم بين البحر المتوسط وغور الانهدام، وتتميز بكونها غير متناظرة السفوح حيث أن الجزء الشرقي شديد الانحدار، ويتدرج نحو الغرب بهضاب أقل انحداراً وأوسع مساحة.

تتميز منطقة الدراسة تكتونياً ببنية معقدة بسبب كثافة وشدة الفوالق والصدوع والشقوق ذات الاتجاهات المختلفة، حيث يلاحظ فيها وجود ثلاثة فوالق رئيسية وهي فالق القرداحة، فالق السن، فالق المرقية، وهي من منظومة الفوالق ذات الاتجاه شمال شرق - جنوب غرب التي تلعب دوراً ملموساً في تحديد الظروف الهيدرولوجية والجيولوجية في الحوض، والتي تؤمن الواردات المائية للنبع، والذي يمكن تشبيهه بنهر جوفي يؤمن التغذية لنبع سوريث بسبب الميول الهيدروليكية وتوفر النفوذية والشقوقية والكارست في هذه المنطقة،

وهناك ارتباط مباشر بين الهطولات المطرية وارتفاع التصريف للنبع مما يدل على وجود سرعة عالية لانتقال المياه الجوفية الراشحة ووصولها إلى النبع [15].



الشكل (1): صورة فضائية لموقع نهر سوريت

#### 4 - منهجية إجراء البحث:

##### 1 - جمع العينات:

جُمعت عينات مائية من أربعة مواقع على طول مجرى نهر سوريت، وتم تحديد العوامل الآتية: درجة الحرارة، ودرجة الحموضة pH، والناقلية الكهربائية، والمواد الصلبة المنحلة، والنترات، والفوسفات، والمتطلب الحيوي للأكسجين، والتركيز الإجمالية للفحوم الهيدروجينية المتعددة النوى  $\sum PAHs$ .

- تم أخذ العينات من المواقع المبينة في الشكل (2):

**الموقع الأول S1:** يقع في نقطة خروج مياه النهر من بحيرة سوريت.

**الموقع الثاني S2:** يقع في نقطة السد الترابي عند مطعم الميلاد.

دراسة بعض العوامل الفيزيوكيميائية لمياه  
نهر سوريت في باتياس

الموقع الأول S3: يقع في نقطة الأراضي الزراعية المكثفة.

الموقع الأول S4: يقع قبل مصب النهر في البحر المتوسط.

لوحظ أنه يسود حوض نهر سوريت المناخ المتوسطي المعتدل الذي يتميز بشتاء ماطر ودافئ وصيف حار ورطب ينذر حدوث الأمطار فيه. كما لوحظ أحياناً جفاف نهر سوريت بعد الموقع S2 عند مطعم الميلاد في فترات الجفاف في بعض السنوات السابقة [16].



الشكل (2): صورة لمواقع أخذ العينات S1 و S2 و S3 و S4 في نهر سوريت

تمّ كطف عدة عينات مائية من المواقع S1 و S1 و S3 و S4 بحيث تمثل فصول السنة الأربعة، والتغيرات المناخية، والظروف المحيطة التي حدثت في المنطقة، وقد امتد ذلك (أيلول ٢٠٢٢ حتى آب ٢٠٢٣). الأمر الذي يسمح بتتبع تغيرات نوعية المياه على مدار العام وخلال فترة الفيضان (موسم الأمطار في فصلي الشتاء والربيع) وفترة الشح (فترة الجفاف في فصلي الصيف والخريف). كما لوحظ خلال فترة الدراسة انخفاض منسوب النهر كثيراً في المواقع S3 و S4 دون أن يجف تماماً في شهري أيلول وتشرين الأول لعام ٢٠٢٢م.

## ٢ - تحليل العينات وتحديد تراكيز بعض العوامل الفيزيوكيميائية:

تم تحليل العينات حقلياً ومخبرياً وفق الخطوات الآتية:

▪ تم قطف عينات مائية من نهر سوريت على عمق 20 Cm من سطح المياه وعكس اتجاه التيار، وتمَّ تحديد بعض العوامل الفيزيوكيميائية حقلياً مثل: درجة الحرارة، ودرجة الحموضة (pH)، والناقلية الكهربائية، والمواد الصلبة المنحلة باستخدام جهاز قياس حقلي **PCT-407 Portable pH Conductivity TDS Meter**.

▪ تم تحديد تراكيز النترات والفسفات مخبرياً باستخدام جهاز مقياس الطيف الضوئي **UV-630 (Spectrophotometer)** من شركة JASCO.

▪ تم تحديد تراكيز  $BOD_5$  مخبرياً باستخدام جهاز الـ BOD لقياس كمية الأوكسجين الذائب المستهلك من أجل أكسدة المواد العضوية عند درجة حرارة ثابتة 20 درجة مئوية، وخلال فترة زمنية محددة يطلق عليها اسم فترة الحضانة وغالباً تكون خمسة أيام  $BOD_5$ .

▪ تم تحديد التراكيز الإجمالية للمركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات ( $\Sigma PAHs$ ) مخبرياً باستخدام جهاز الكروماتوغرافيا الغازية نوع (Hewlett - Packard) الموصول بمكشاف مطيافية الكتلة **gas chromatography/ mass spectrometry (GC/MS)** [17].

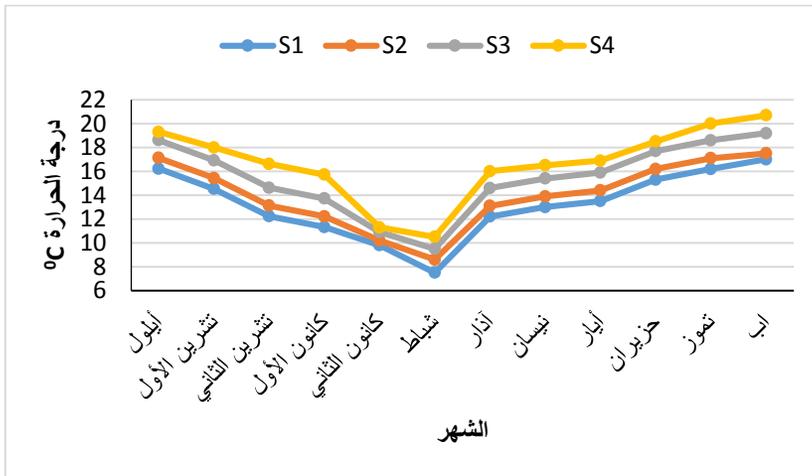
تم إجراء التجارب والتحليل الحقلية والمخبرية في مواقع النهر وفي مخابر كلية الهندسة المدنية ومخابر المعهد العالي للبحوث البحرية في جامعة تشرين.

## 5 - النتائج والمناقشة:

أ- درجة حرارة المياه:

دراسة بعض العوامل الفيزيوكيميائية لمياه  
نهر سوريث في باتياس

لوحظ ازدياد درجة حرارة مياه نهر سوريث بشكل مضطرب من المنبع عند الموقع S1 باتجاه المصب في البحر عند الموقع S4، وبمعدل سنوي 13.3 و 14 و 15.5 و 16.7 °C في المواقع S1 و S2 و S3 و S4 على التوالي. فقد أظهرت درجات الحرارة تغيرات فصلية واضحة كما هو مبين في الشكل (3)، حيث سجلت أعلى قيمة لها صيفاً 20.7 °C في شهر آب في الموقع S4، في حين سجلت أدنى القيم في فصل الشتاء في شهر شباط في المواقع S1 و S2 و S3 و S4، وقد بلغت 7.5 و 8.6 و 9.5 و 10.5 °C على التوالي، وفي الربيع في شهر آذار 12.2 في الموقع S1. لوحظ أن هناك اختلافاً بين درجات الحرارة صيفاً وشتاءً، وهناك تأثيراً لدرجة حرارة الهواء المحيط وفقاً للتغيرات المناخية الفصلية السائدة في المنطقة المحيطة بالنهر [18]. كما أن جميع القيم كانت أصغر من 25 °C حسب المواصفة القياسية السورية [19].

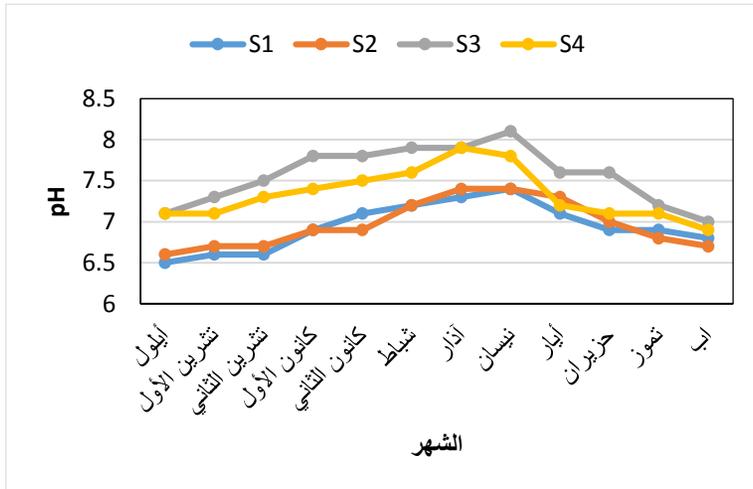


الشكل (3): تغيرات قيم درجات الحرارة في مياه نهر سوريث خلال فترة الدراسة

ب- الرقم الهيدروجيني (pH):

تراوحت قيم الـ pH في مياه نهر سوريث ما بين 6.5 في شهر آب في الموقع S1 و 8.1 في شهر نيسان في الموقع S3، وبمعدل سنوي 6.9 و 7 و 7.6 و 7.5 في المواقع

S1 و S2 و S3 و S4 على التوالي كما هو مبين في الشكل (4)، حيث سجلت أعلى القيم في الموقع S3. كما اختلفت قيمة pH في موسمي الفيضان وشح المياه فقد بلغ معدلها السنوي ٧,٥ و 7 على التوالي، حيث لوحظ ارتفاع قيم pH في فصلي الشتاء والربيع وانخفاضها في فصلي الصيف والخريف في المواقع الأربعة. يعود انخفاض قيم الـ pH في المواقع الأربعة في فترة شح المياه إلى تأثير مياه البحيرة بالنشاط البشري كالصرف الصحي بالإضافة إلى النشاط السياحي في فصل الصيف و صرف مخلفات المطاعم السائلة الموجود قربها مما يعكس الطبيعة الحامضية الخفيفة للمياه في هذه الفترة. كما لوحظ أيضاً أن معظم قيم pH كانت أعلى من القيمة ٧ مما يعكس الطبيعة القاعدية الخفيفة لمياه الحوض المغذي والذي يمكن أن يعزى إلى سيادة أيونات الكربونات والبيكربونات، وإلى طبيعة التكتشفات الصخرية التي تحتازها المياه عبر الحوامل المائية الجوفية المغذية للبحيرة [20]. كما كانت قيم pH في المواقع المدروسة ضمن المجال ٦,٥ - ٩ للحدود المسموحة للمواصفة القياسية السورية.



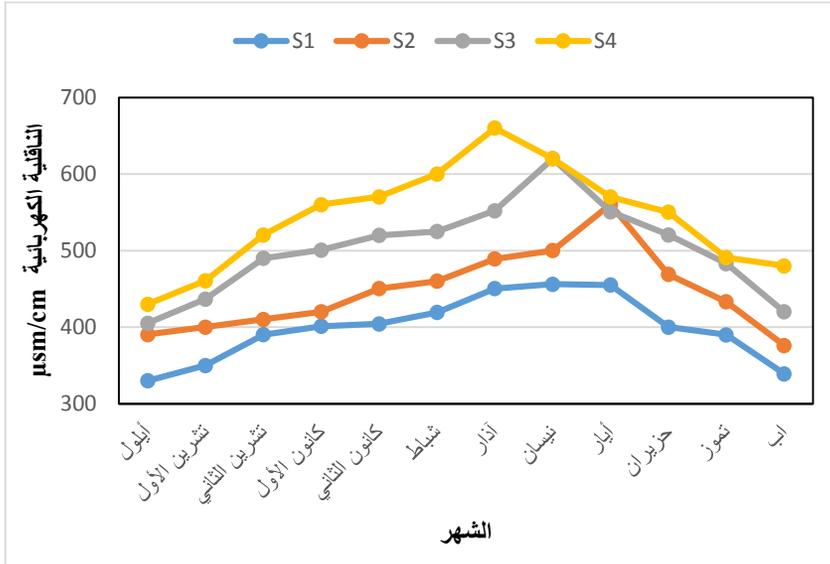
الشكل (4): التغيرات الشهرية لقيم الـ pH في مياه نهر سوريث خلال فترة الدراسة

دراسة بعض العوامل الفيزيوكيميائية لمياه  
نهر سوريت في بانياس

ت- الناقلية الكهربائية (EC) : تقاس بوحدة مايكروسيمنس/سم ( $\mu S/cm$ )

تعبر قيمة الناقلية الكهربائية عن كمية الأملاح الذائبة الكلية في المياه. فقد لوحظ ازدياد قيم الناقلية بشكل مضطرب من الموقع S1 باتجاه الموقع S4 ، لقد تراوحت قيم EC كما هو مبين في الشكل (5) ما بين  $330.2 \mu S/cm$  في شهر أيلول في الموقع S1 و  $660.3 \mu S/cm$  في شهر آذار في الموقع S4، وكان معدلها السنوي 398.9 و 446.7 و 502.3 و 542.9  $\mu S/cm$  في المواقع S1 و S2 و S3 و S4 على التوالي. كما اختلفت قيمة الناقلية في موسمي الفيضان وشح المياه فقد بلغت 513.3 و 432  $\mu S/cm$  على التوالي.

يمكن أن يعزى هذا الاختلاف في الناقلية إلى تركيز الأمطار خلال موسم الفيضان في الشتاء والربيع في منطقة الدراسة والتي تعمل على تحفيز عمليات انحلال الصخور الكربوناتيّة والشوارد والأملاح مما قد يتسبب في زيادة قيم الناقلية، بينما يشير انخفاض هذه القيم إلى ضعف عمليات الانحلال للصخور الكلسية المنتشرة في المنطقة في موسم شح المياه في الخريف والصيف . كانت قيم EC أصغر من  $1500 \mu S/cm$  في المواقع الأربعة وضمن الحدود المسموحة للمواصفة القياسية السورية.



الشكل (5): التغيرات الشهرية للناقلية الكهربائية في مياه نهر سوريا

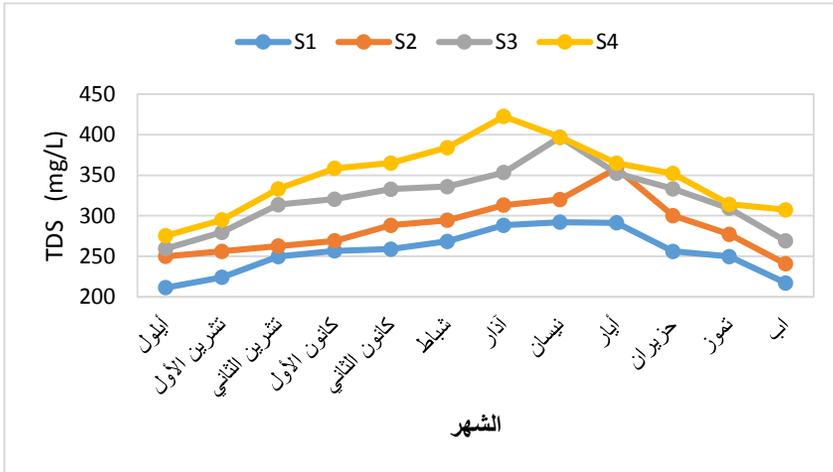
### ث - مجموع المواد الصلبة المنحلة (TDS) Total Dissolved Solid:

المواد الصلبة المنحلة الكلية (TDS) في الماء هي جزيئات صلبة ذائبة أو معلقة أو قابلة للترسيب. وتتكون (TDS) من مجموعة متنوعة من المعادن والأملاح والأيونات والكاتيونات الموجودة في الماء.

يوضح الشكل (6) ازدياد قيم (TDS) بشكل مضطرب من الموقع S1 باتجاه الموقع S4، فقد تراوحت قيم (TDS) ما بين 211.3 mg/L في شهر أيلول في الموقع S1، و 422.6 mg/L في شهر آذار في الموقع S4، وكان معدلها السنوي ٢٥٥,٣ و ٢٨٥,٩ و ٣٢١,٤ و ٣٤٧,٥ mg/L في المواقع S1 و S2 و S3 و S4 على التوالي. كما اختلفت قيمة (TDS) في موسمي الفيضان وشح المياه فقد بلغت ٣٢٨,٥ و ٢٧٦,٤ mg/L على التوالي، وكانت قيم TDS أقل من 500 mg/L وضمن الحدود المسموحة للشرب. يمكن أن يعزى هذا الاختلاف في TDS إلى الأمطار التي تعمل على تحفيز عمليات انحلال

دراسة بعض العوامل الفيزيوكيميائية لمياه  
نهر سوريث في بانياس

الصخور الكربوناتيّة والشوارد والأملاح في منطقة الدراسة مما قد يتسبب في زيادة قيم TDS، بينما يشير انخفاض هذه القيم إلى ضعف عمليات الانحلال للصخور الكلسية المنتشرة في المنطقة في فترات الجفاف.

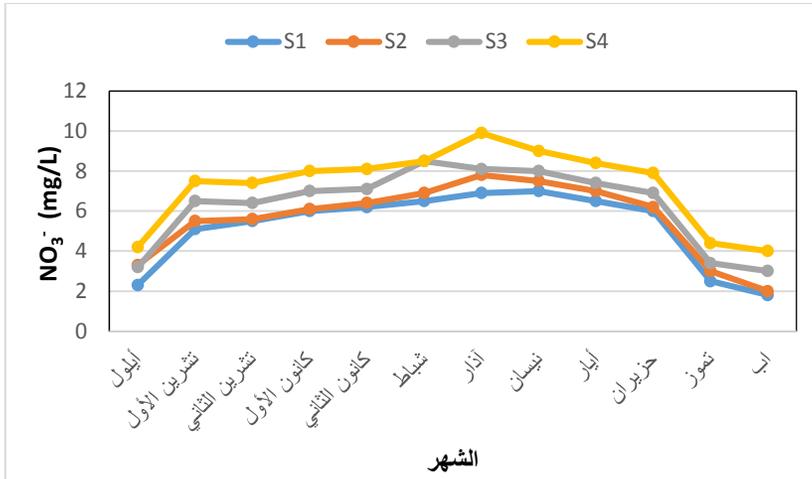


الشكل (6): التغيرات الشهرية للمواد الصلبة المنحلة الكلية (TDS) في مياه نهر سوريث

ج- النترايت ( $\text{NO}^{-3}$ ):

النترايت هي قياس أكسدة النيتروجين، وتُعتبر من المغذيات الأساسية التي تسبب النمو الزائد للنباتات أو الطحالب في البيئات المائية. فقد لوحظ ازدياد قيم  $\text{NO}^{-3}$  بشكل مضطرب من الموقع S1 باتجاه الموقع S4، وتراوحت قيم ( $\text{NO}^{-3}$ ) كما يتضح من الشكل (7) ما بين 1.8 mg/L في شهر آب في الموقع S1 و 9.9 mg/L في شهر آذار في الموقع S4، وكان معدلها السنوي 5.2 و 5.6 و 6.3 و 7.3 mg/L في المواقع S1 و S2 و S3 و S4 على التوالي، وسجلت أعلى القيم في الموقعين S3 و S4 حيث الأنشطة الزراعية المكثفة على جانبي النهر. اختلفت قيمة ( $\text{NO}^{-3}$ ) في موسمي الفيضان وشح المياه فقد بلغت 7.5 و 4.7 mg/L على التوالي، حيث يرتفع تركيز النترايت في موسم الفيضان بعد هطول المطر بسبب غسل التربة وخاصة الأراضي الزراعية المجاورة، حيث أن الأسمدة والمبيدات الحشرية والعشبية تزيد من تركيز النترايت، كما أن

التسريبات المحتملة من شبكات الصرف الصحي ومن الجور الفنية تزيد من تركيزها ، كما كان تركيز ( $\text{NO}^{-3}$ ) أقل من ( $45 \text{ mg/L}$ ) الحد المسموح لها حسب المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب [19].



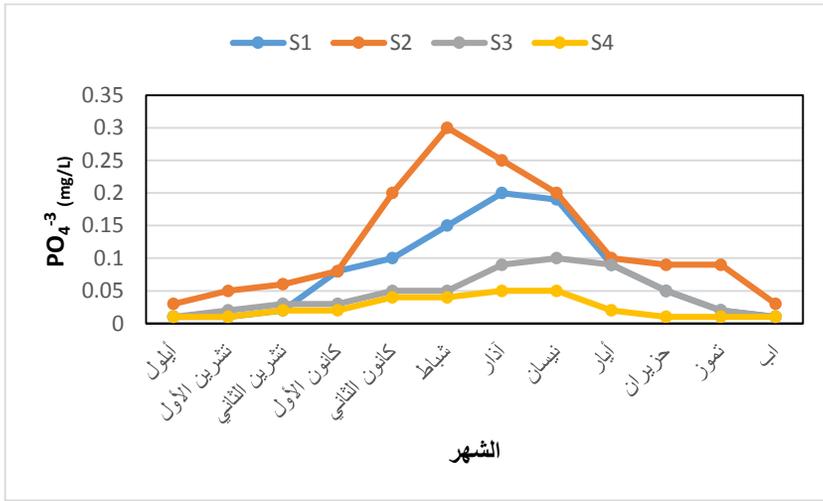
الشكل (7): التغيرات الشهرية للنترات ( $\text{NO}^{-3}$ ) في مياه نهر سوريث

### ح- الفوسفات ( $\text{PO}_4^{-3}$ ):

الفوسفات هي مركبات كيميائية ناتجة من العناصر الفوسفورية والأكسجين، وهي ضرورية لنمو النبات والحيوان، ولا تعتبر سامة إلا إذا وجدت بكميات كبيرة. ويمكن أن يتواجد الفوسفات في المياه بأشكال كثيرة، ناجمة عن غسل الأراضي الزراعية التي تحوي على الأسمدة والمبيدات القريبة من المصدر المائي، بالإضافة إلى أن الفوسفور يدخل في تركيب المنظفات التي تتسرب مع مياه الصرف الصحي والحفر الفنية. لقد تراوحت قيم ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) كما يتضح من الشكل (8) ما بين  $0.01 \text{ mg/L}$  في الموقعين S3 و S4 ، و  $0.3 \text{ mg/L}$  في شهر شباط في الموقع S2 ، وسجلت أعلى القيم في الموقع S2 بسبب صرف الصرف الصحي لمطعم الميلاد فيه. كان معدلها السنوي  $0.08$  و  $0.12$  و  $0.05$ .

دراسة بعض العوامل الفيزيوكيميائية لمياه  
نهر سوريث في بانياس

و ٠,٠٣ mg/L في المواقع S1 و S2 و S3 و S4 على التوالي. كما اختلفت قيمة  $(PO_4^{-3})$  في موسمي الفيضان وشح المياه فقد بلغت ٠,١٢ و ٠,٠٣ mg/L على التوالي. كانت جميع القيم أدنى من الحد المسموح لشوارد الفوسفات لأغراض الشرب (0.5 mg/L) وفق المواصفة القياسية السورية.

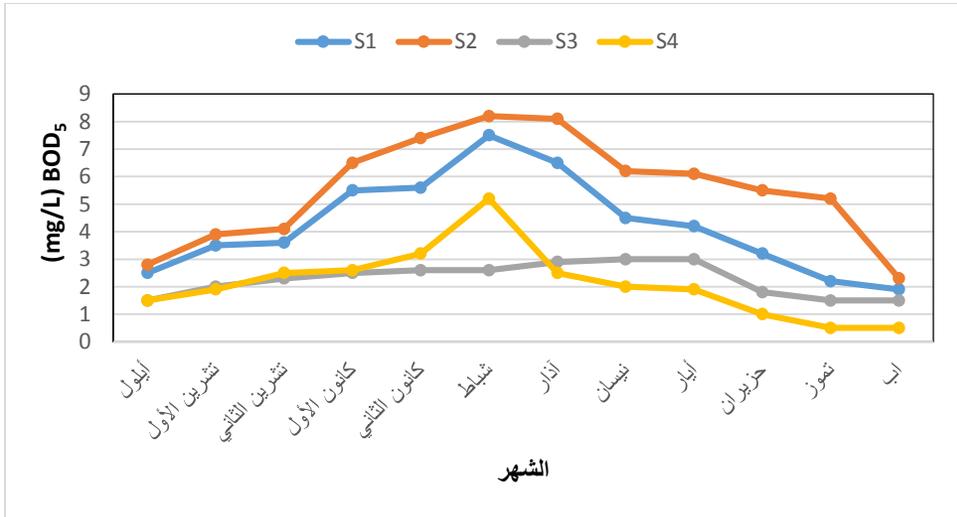


الشكل (8): التغيرات الشهرية للفوسفات في مياه نهر سوريث

خ- المتطلب الحيوي للأكسجين ( $BOD_5$ ):

إن الطلب الحيوي للأكسجين  $BOD_5$  من أكثر المؤشرات أهمية وشيوعاً لتحديد درجة تلوث المياه بالمواد العضوية، ويشير ( $BOD_5$ ) إلى كمية الأوكسجين المذاب التي تستهلكها الكائنات الحية الدقيقة في عملية تحلل المواد العضوية المؤكسدة. يتضح من الشكل (9) أن قيم ( $BOD_5$ ) تراوحت ما بين 0.5 mg/L في آب في الموقع S4 و 8.2 mg/L في شهر شباط في الموقع S2، وكان معدلها السنوي 4.2 و 5.5 و 2.3 و 2.1 mg/L في المواقع S1 و S2 و S3 و S4 على التوالي. وكانت أعلى القيم أيضاً في الموقع S2 نظراً للمصرفات السائلة لمطعم الميلاذ. كما اختلفت قيمة ( $BOD_5$ ) في

موسمي الفيضان وشح المياه فقد بلغت 4.6 و 2.5 mg/L على التوالي. كانت معظم القيم أكبر من القيمة المسموحة 2 mg/L في مياه الشرب حسب المواصفة السورية.



الشكل (9): التغيرات الشهرية لـ BOD<sub>5</sub> في مياه نهر سوريت

#### د- الفحوم الهيدروجينية العطرية PAHs:

تُعد الفحوم الهيدروجينية العطرية متعددة الحلقات Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) من أخطر أشكال الملوثات العضوية الموجودة في المياه العذبة. وصنفت ضمن مجموعة الملوثات العضوية الثابتة Persistent Organic Pollutants (POPs) وفقاً لاتفاقية استكهولم، لأنها مركبات صعبة التحلل الحيوي وتبقى في المياه لشهور وسنوات عديدة [21]، ونظراً لتأثيراتها السمية المسببة للسرطانات والطفرات الجينية والوراثية فقد أعطت وكالة حماية البيئة الأمريكية (USEPA (United States) ووكالة حماية البيئة الأوروبية (EU (European Environmental Protection Agency والاتحاد الأوروبي

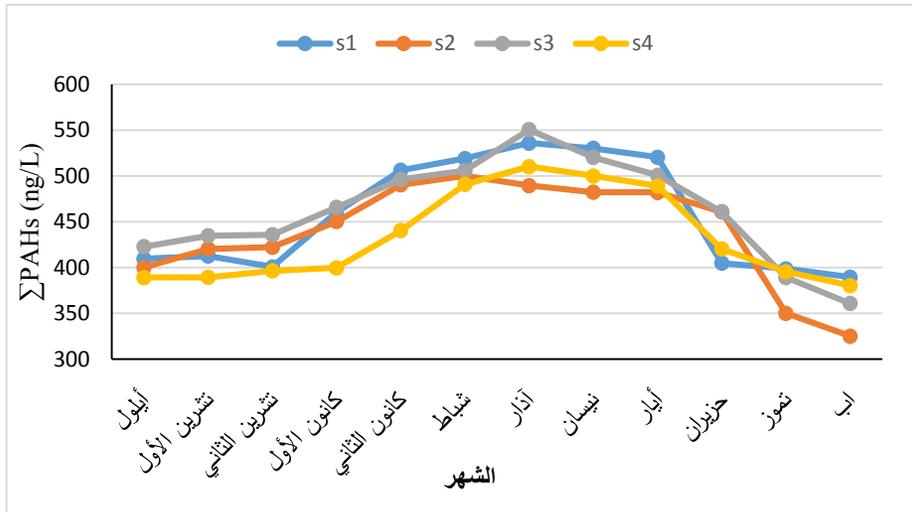
## دراسة بعض العوامل الفيزيوكيميائية لمياه

### نهر سوريث في بانياس

( Union ) الأولوية لدراسة مركباتها وتحديد تراكيزها في المياه وتقدير مخاطرها المحتملة على الإنسان والبيئة، وكيفية التعامل معها والحد من انتشارها، واقتراح تقنيات معالجة فعالة لإزالتها من المياه وخاصة المياه العذبة المستخدمة لأغراض الشرب [22, 23].

لذلك تم في هذا البحث دراستها في مياه نهر سوريث، فقد تمكنا بنتيجة القياسات المخبرية من تم تحديد التراكيز الإجمالية للفحوم الهيدروجينية العطرية متعددة الحلقات ( $\Sigma$ PAHs) في المواقع الأربعة S1 و S2 و S3 و S4 في مياه نهر سوريث خلال فترة الدراسة، وذلك على مدى عام كامل وخلال فصول السنة الأربعة، وقد أظهرت نتائج القياس تلك أن أعلى قيمة ل ( $\Sigma$ PAHs) كانت (550.6 ng/L) في شهر آذار في فصل الربيع في الموقع S3 كما هو مبين في الشكل (10)، وكانت أدنى قيمة (325.1 ng/L) في شهر آب في فصل الصيف في الموقع S2، وكان معدلها السنوي ٤٥٧,٤ و ٤٤٠ و ٤٦٢,١ و 433.5 ng/L في المواقع S1 و S2 و S3 و S4 على التوالي، حيث كان المعدل أعلى في الموقع S3 وذلك بسبب وجوده في منطقة زراعية مكثفة ويكثر فيه الاستخدام المفرط للمبيدات الزراعية والأسمدة ومواد التدفئة للبيوت البلاستيكية في فصل الشتاء. كما اختلفت قيمة ( $\Sigma$ PAHs) في موسمي الفيضان وشح المياه فقد بلغت 498.1 و 401.3 ng/L على التوالي، ويُعزى ارتفاعها في موسم الأمطار إلى الهطولات المطرية التي حدثت في هذا الفصل وانتقالها إلى المياه عبر الينابيع المغذية للبحيرة والنهر بما تحمله من ملوثات من الحوض المغذي الذي تكثر فيه الأنشطة البشرية كونه منطقة سياحية بامتياز لكثرة مياهه وخيراته وجماله وإطلاله على شاطئ البحر المتوسط. حيث تجرف مياه الأمطار الملوثات من الأراضي الزراعية والغلاف الجوي والغابات ومكبات القمامة وشبكات الصرف الصحي والصناعي، وتتغلغل هذه الملوثات في جوف الأرض لتصل إلى النهر عبر الحوامل المائية الجوفية والسطحية، كما تصل الزيوت ومخلفات المصانع وعوادم السيارات والقطارات حيث البحيرة مجاورة للطريق الدولي (اللاذقية - دمشق) بالإضافة لمرور سكة القطار [24, 25].

يعزى انخفاض ( $\Sigma$ PAHs) في فترة الشح إلى ازدياد معدلات التفكك الحيوي والأكسدة الضوئية لبعض المركبات ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة نتيجة ارتفاع درجة الحرارة وازدياد التبخر ونسبة التطاير، وترسب المركبات ذات الأوزان الجزيئية الثقيلة إلى القاع. كما كانت ( $\Sigma$ PAHs) في عينات المياه المدروسة أكبر من القيمة المسموحة لها (100 ng/L) حسب المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب [19].



الشكل (١٠): التراكيز الإجمالية للفحوم الهيدروجينية العطرية ( $\Sigma$ PAHs) في مياه نهر سوريا

بمقارنة هذه النتائج مع تراكيز المركبات الهيدروكربونية العطرية في مياه مناطق أخرى في العالم نجد بأن هناك تقارب في التراكيز المسجلة في هذه الدراسة مع التراكيز المسجلة في المياه السطحية لنهر Diyala في العراق [26]، بينما نلاحظ انخفاضاً كبيراً في التراكيز عن القيم المسجلة في بحيرة Lagos في نيجيريا ونهر Cauca في كولومبيا [27, 28]، في حين كانت التراكيز أكبر من القيم المسجلة في مياه نهر Yinma [29]، ومياه نهر دجلة في العراق [30].

دراسة بعض العوامل الفيزيوكيميائية لمياه  
نهر سوريث في باتياس

7 - الاستنتاجات والتوصيات:

1 - الاستنتاجات:

١ - وجد أن قيم بعض العوامل الفيزيوكيميائية (درجة الحرارة، والرقم الهيدروجيني، والناقلية الكهربائية، والمواد الصلبة المنحلة، والنترات، والفوسفات) كانت ضمن الحدود المسموحة للاستهلاك البشري حسب معايير المواصفة القياسية السورية ومنظمة الصحة العالمية، وكانت قيم بعض العوامل (المتطلب الحيوي للأكسجين، والتركيز الإجمالي للفحوم الهيدروجينية العطرية) أكبر من الحدود المسموحة لها في مياه الشرب، مما يشكل خطراً بيئياً يهدد الكائنات الحية.

٢- لوحظ ارتفاع قيم العوامل الفيزيوكيميائية في موسم الفيضان وانخفاضها في موسم الشح، ويعزى ذلك إلى الهطولات المطرية وجرها الملوثات إلى النهر.

## 2 - التوصيات:

- ١- دراسة العوامل الفيزيائية والكيميائية والجرثومية الأخرى في مياه نهر سوريا.
- ٢- اقتراح إجراء المزيد من الدراسات على مياه الأنهار في سوريا لتقييم مدى صلاحيتها للاستهلاك البشري.
- ٣- تطبيق برامج بيئية صارمة لحماية الحوض المغذي لنهر سوريا كونه يغذي بحيرة السن المستخدمة للشرب.

## ٦ - المراجع:

- [1] Choo, G., Wang, W., Cho, H. S., Kim, K., Park, K., & Oh, J. E. (2020). Legacy and emerging persistent organic pollutants in the freshwater system: Relative distribution, contamination trends, and bioaccumulation. **Environment international**, 135, 105377.
- [2] Grey, D., Garrick, D., Blackmore, D., Kelman, J., Muller, M., & Sadoff, C. (2013). Water security in one blue planet: twenty-first century policy challenges for science. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, **Physical and Engineering Sciences***, 371, 20120406.
- [3] OECD (2011) OECD environmental outlook to 2050: the consequences of inaction, OECD environmental outlook to 2050.

دراسة بعض العوامل الفيزيوكيميائية لمياه  
نهر سوريث في بانياس

- 
- [4] Vasseghian, Y., Hosseinzadeh, S., Khataee, A., & Dragoi, E. N. (2021). The concentration of persistent organic pollutants in water resources: A global systematic review, meta-analysis, and probabilistic risk assessment. **Science of The Total Environment**, 796, 149000.
- [5] WHO, (2012). Pharmaceuticals in Drinking-Water, World Health Organization.
- [6] WHO, (2013). Progress on Sanitation and Drinking-Water. Update, pp.40.
- [7] WHO, (2017). Safely Managed Drinking Water: Thematic Report on Drinking Water.
- [8] WHO, (2018). A Global Overview of National Regulations and Standards for Drinking-Water Quality.
- [9] Amdany, R., Chimuka, L., Cukrowska, E., Kukučka, P., Kohoutek, J., Tölgyessy, P., et al., (2014). Assessment of bioavailable fraction of POPs in surface water bodies in Johannesburg City, South Africa, using passive samplers: an initial assessment. **Environ. Monit. Assess.** 186, 5639–5653.
- [10] Li, H., Jiang, W., Pan, Y., Li, F., Wang, C., Tian, H., (2021). Occurrence and partition of organochlorine pesticides (OCPs) in water, sediment, and organisms from the eastern sea area of Shandong Peninsula, Yellow Sea, China. **Mar. Pollut. Bull.** 162, 111906.
- [11] Wang, Y., Zhang, S., Cui, W., Meng, X., Tang, X., (2018). Polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in surface water from the Yongding River basin, China: seasonal distribution, source apportionment, and potential risk assessment. **Sci. Total Environ.** 618, 419–429.
- [12] Report of the Directorate of Water Resources in Lattakia - The relationship between the two springs of al-Sen and Sureat, (2016).

- [13] Water Balance Project in the Coastal Basin, Directorate of Water Resources, Lattakia, (2005).
- [14] Report of a hydrogeological sensory study to protect Al-Sen spring from pollution, **The General Authority for Remote Sensing**, Damascus, (2008).
- [15] Ammar, G. (2006) -Study of the Flood in Al-sen River, **Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series** Vol (28) No (2).
- [16] Report of the Directorate of Water Resources in Lattakia, (2022).
- [17] UNEP, "UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME", (1992). Determination of petroleum hydrocarbons in sediments. **Reference Methods for Marine Pollution Studies**, No. 20, 78.
- [18] Cheikho, T., Haj Issa, M., Dayoub, H. (2019) - Study of Some Physical and Chemical Properties of Al-Sen River Waters in Syrian Coastal Basin, **Syrian Journal of Agricultural Research – SJAR** 6(3), 333-350.
- [19] The Syrian Arab Standards and Metrology Organization for Drinking Water No 45, (2017).
- [20] Razman, N. A., Wan Ismail, W. Z., Abd Razak, M. H., Ismail, I., & Jamaludin, J. (2023). Design and analysis of water quality monitoring and filtration system for different types of water in Malaysia. **International Journal of Environmental Science and Technology**, 20(4), 3789-3800.
- [21] Li, G., Shimin Wu, S., Lin Wang, L., Casimir, C., Akoh, C., C. (2016) -*Concentration, dietary exposure and health risk estimation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in youtiao, a Chinese traditional fried food*, **Food Control** 59, 328- 336.

---

[22] Akinyeye, R. O., Adebawore, A. A., Awokunmi, E. E., Olanipekun, E. O., (2016) - *Evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbons in water from hand dug wells at Ile-Oluji, Nigeria.* **IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)**, Vol. 10., PP 112-119.

[23] Shrestha, A. K., Basnet, N., (2018) - *The Correlation and Regression Analysis of Physicochemical Parameters of River Water for the Evaluation of Percentage Contribution to Electrical Conductivity*, Hindawi, **Journal of Chemistry**, Volume Article ID 8369613, 9 pages.

[24] Ashayeri, N. Y., Keshavarzi, B., Moore, F., Kersten, M., Yazdi, M., Lahijan-zadeh, A. R. (2018) - Presence of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and surface water from Shadegan wetland-Iran: a focus on source apportionment, human and ecological risk assessment and sediment-water exchange. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 148, 1054–1066.

[25] Bixiong, Y., Zhihuan, Z., Ting, M. (2006) - Pollution sources identification of polycyclic aromatic hydrocarbons of soils in Tianjin area, China. **Chemosphere**, 64(4), 525–534.

[26] Jasim, H. H., & Sultan, M. S. (2014). Determination of Priority Poly Aromatic Hydrocarbons Using Solid Phase Extraction and HPLC in Diyala River. **Al-Nahrain Journal of Science**, 17(3), 44-52.

[27] Sogbanmu, T. O., Osibona, A. O., & Otitolaju A. A., (2019). Specific polycyclic aromatic hydrocarbons identified as ecological risk factors in the Lagos lagoon, Nigeria. **Environmental Pollution**, 255. 113295.

[28] Villa, R., S., Duque, W., O., Páez, M., & Schuhmacher, M. (2016). Presence of PAHs in water and sediments of the Colombian Cauca River during heavy rain episodes, and implications for risk assessment, **Science of the Total Environment**, Vol. 540, 455–465.

[29] Sun, C., Zhang, J., Ma, Q., Chen, Y., & Ju, H. (2017)- Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in water and sediment from a river basin: sediment–water partitioning, source identification and environmental health risk assessment. **Environ Geochem Health**, Vol. 39, 63–74.

[30] Hameed, M. S., Al-Zubaidi, F. S., & Wahab, A. S. A. (2014). Determination of Some Aromatic Hydrocarbon in Water of Tigris River near Al-Dora refinery. **Iraqi Journal of Science**, 55(4A), 1528-1534.

# تحسين مواصفات المياه الخارجة من محطة السلمية باستخدام المرشح البيولوجي الهوائي

طالبة الدراسات العليا: م.بتول حيدر

قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

إشراف:

د.م. رصين

د.م. نعيمة عجيب

زكية

الملخص:

يعتبر مرشح الهواء البيولوجي (BAF) أحد أهم التطبيقات المستخدمة في معالجة مياه الصرف الصحي. لذلك، نتطلع في هذه الدراسة إلى اكتشاف كفاءة عمله باستخدام مادة ترشيح عبارة عن نفايات بلاستيكية غير قابلة لإعادة التدوير. استمرت هذه الدراسة والتحقيقات لعدة أشهر باستخدام محطة تجريبية مصممة تم تركيبها وتصميمها في محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة السلمية.

تم دراسة تأثير أربعة أزمنة مكث هيدروليكية (0.5-1-1.5-2)h وخمس معدلات ضخ هواء  $1/h.1m^3H_2O$  (50-75-100-125-150) على كفاءة إزالة الملوثات مع إجراء التحليل البياني للنتائج، وتبين أن العلاقة بين زمن المكث الهيدروليكي وكفاءة إزالة الملوثات علاقة طردية، وتم الحصول على أعلى كفاءة إزالة عند زمن مكث هيدروليكي 2h. وكانت كفاءة إزالة  $BOD_5$  و COD و TSS و  $NH_4^+$  على التوالي هي 73.91%، 85.11%، 90.16%، 82.25%.

كما تبين أن العلاقة بين معدل ضخ الهواء وكفاءة إزالة الملوثات علاقة طردية ، وتم الحصول على أعلى كفاءة إزالة عند معدل ضخ هواء 1.150L/h . وكانت وكانت كفاءة إزالة  $BOD_5$  و  $COD$  و  $TSS$  و  $NH_4^+$  على التوالي هي 91.67% ، 94.12% ، 90.91% ، 93.05% .

كلمات مفتاحية: مرشح بيولوجي هوائي، زمن مكث هيدروليكي، معدل ضخ هواء، كفاءة إزالة الملوثات.

## **Improving the specification of wastewater coming out of Salamiyah wastewater treatment plant by using biological aerated filter**

**Graduate student: Eng. Batoul haider**

**Department of Environmental Engineering– Faculty of  
Civil Engineering– AL–Baath University**

**Supervised:**

**Dr. Eng. Naeima Ajib  
Zakieh**

**Dr. Eng. Rasin**

### **Abstract**

A Biological aerated filter (BAF) is considered one of the most important applications used in wastewater treatment. Therefore, in this study, we were looking forward to how well it worked using a filter media that was non-recyclable plastic waste. This study and investigations operated for several months with a designed pilot plant installed and designed in Salamiyah Wastewater Treatment Plant.

The effect of four hydraulic retention time (0.5–1–1.5–2) h and five aeration rate (50–75–100–125–150) l/h.1m<sup>3</sup>H<sub>2</sub>O on the removal rates was studied, with graphical analysis of the results

being conducted. It was found that The relationship between the Hydraulic Retention Time and removal rates is a direct relationship, and the highest removal rates was obtained at a Hydraulic Retention Time of 2 h. The removal rates of  $BOD_5$ , COD, TSS and  $NH_4^+$  was respectively 73.91%, 85.11%, 90.16%, and 82.25%. It was also shown that the relationship between aeration rate and the removal rates is a direct relationship, and the highest removal rates was obtained at an aeration rate of 150 L/h. The removal rates of  $BOD_5$ , COD, TSS, and  $NH_4^+$  were respectively 91.67%, 94.12%, 90.91%, 93.05%.

Keywords: Biological aerate filter, hydraulic retention time, aeration rate, removal rates.

**1\_المقدمة:**

أدى التطور الذي شهدته معظم دول العالم إضافة لزيادة عدد السكان وارتفاع مستوى المعيشة إلى ارتفاع ملحوظ في الطلب على المياه حيث بات النقص في موارد المياه العذبة مشكلة تشغل بال المختصين كونها تؤثر على العجز المائي إضافة إلى متطلبات أخرى كالزراعة والصناعة مما دعا إلى البحث عن حلول أخرى ممكنة وقابلة للتطبيق.

يعتبر المرشح البيولوجي الهوائي أحد هذه الحلول، فهو مفاعل لمعالجة مياه الصرف الصحي يجمع بين المعالجة البيولوجية الهوائية وفصل الكتلة الحيوية عن طريق الترشيح، حيث يتم فيه تمرير مياه المجاري من خلال مادة الترشيح مغطاة بطبقة بيولوجية مؤلفة من مستعمرات تضم الكثير من الأحياء الدقيقة التي تنمو في الظروف الهوائية. وبالتالي يمكن إجراء هضم المادة العضوية وترشيح المواد الصلبة في وحدة واحدة.

في عام 1913، بدأ تطوير تقنية المرشح البيولوجي الهوائي BAF في مدينة لورانس بالولايات المتحدة الأمريكية. كان يُطلق على المفاعل تسميه "مهويات التلامس المغمورة" SCA (submerged contact aerator)، وكان يستخدم طبقات من الألواح لتطوير الأغشية الحيوية ضمن المفاعل [1].

بين عامي 1925 و 1928، في ألمانيا تم تطوير SCA ليصبح مرشح هوائي مغمور SAF (submerged aerated filters) إلا أنه لم يحتوي على آلية للغسيل العكسي. كانت عملية التهوية بواسطة أذرع ناشرة للهواء بحركة رقاص الساعة في أسفل المفاعل لمنع تراكم المواد الصلبة، وكان هناك حاجة لوجود مرحلة ترسيب لاحقة. استخدم فحم الكوك وقطع خشبية في البداية كمادة ترشيح، لكنهما لم ينجحا بسبب الانسداد وتم استبدالهما بقضبان خشبية لتقليل تراكم المواد الصلبة المعلقة. كان SCA

الألماني بعمق 3 أمتار وزمن مكث هيدروليكي (Hydraulic Retention Time) HRT) 0.5-1 ساعة. تم اقتراح أنه يمكن تحقيق المعالجة البيولوجية الكاملة إذا تم زيادة زمن المكث الهيدروليكي إلى 4 ساعات، ولكن لم يتم اعتبار SCA مجدية اقتصادياً، لأن تكاليف التشغيل كانت أعلى من تكاليف أنظمة الحمأة المنشطة [2].

بحلول عام 1943، تم تصميم مفاعل SCA بتدفق علوي في الولايات المتحدة، واستخدم ضمن المؤسسات العسكرية الذي يتراوح تعدادها السكاني 500-40000 نسمة. كانت مادة الترشيح عبارة عن وسائط أسطوانية حجرية أو خرسانية، وزمن مكث هيدروليكي 1.5-2.5 ساعة، رغم الصعوبة التي كانت في عملية التهوية إلا أن هذه العملية اتسمت بعدة مزايا مقارنة بأنظمة معالجة مياه الصرف الصحي الأخرى منها الاستقرار تحت أحمال الصدمات الهيدروليكية، التشغيل البسيط مقارنة بأنظمة الحمأة المنشطة بالإضافة إلى استخدام مساحات صغيرة [3].

في أوائل السبعينيات من القرن الماضي، في كندا صمم أول مرشح بيولوجي هوائي مشابه للمرشحات البيولوجية الهوائية الحديثة يدعى Lymflo BAF. يمكن تشغيل Lymflo BAF إما كمرشح تدفق لأعلى أو لأسفل، ويحتوي على مادة ترشيح ذات مسامية منخفضة وأحجام جزيئات مختلفة تتطلب غسلاً عكسياً منتظماً. ولم يكن هناك حاجة إلى وجود مرحلة ترسيب لاحقة. تم منح هذا المفاعل براءة اختراع كندية في أغسطس عام 1974 [4].

خلال الفترة 1976 و1980، تم إجراء بحث مكثف حول طرق الغسيل العكسي في المرشح البيولوجي الهوائي في جميع أنحاء العالم، لاسيما في فرنسا والولايات المتحدة الأمريكية. تستخدم BAF الحديثة مواد ترشيح ذات مساحات سطحية كبيرة ومسامية منخفضة والغسيل العكسي عملية معقدة ويجب التحكم به لضمان الاحتفاظ بالكتلة الحيوية المتشكلة على مادة الترشيح [5].

في عام 1996، تم إجراء بحث حول استخدام مواد بلاستيكية حبيبية كمادة ترشيح لأول مرة، بواسطة مرشح أسطواني الشكل وتحديد اتجاه تدفق نحو الأعلى والتهوية من خلال شبكة موضوعة في الجزء السفلي من المرشح مع زمن مكث هيدروليكي ثابت  $HRT=1h$ . متوسط القيم الداخلة من  $COD$  و  $TSS$  هي  $350mg/l$ ،  $126mg/l$  على التوالي، ومتوسط القيم الخارجة هي  $50mg/l$ ،  $26mg/l$  على التوالي. والنتائج أشارت إلى معدلات إزالة جيدة بدلالة الاحتياج الكيميائي للأكسجين  $COD$  بأعلى معدل 88%، وإزالة المواد العالقة الكلية  $TSS$  بأعلى معدل 64%، واعتبر أداءً معقولاً مقارنةً بالأنظمة الأخرى التي تعالج مياه الصرف الصحي المستقرة [6].

قام الباحثون Jiehui Ren et al بدراسة تأثير معدل ضخ الهواء على كفاءة الإزالة في المرشح البيولوجي الهوائي، تم استخدام محطة تجريبية بحجم  $0.75m^3$  ودراسة تأثير ثلاث معدلات ضخ ( $45 l/h - 65 l/h - 90 l/h$ ) لحجم  $0.75m^3$ ، وبينت التجربة أنه عند معدلات ضخ هواء  $65l/h$  سنحصل على كفاءة إزالة  $NH_4^+$ ،  $COD$  تصل إلى  $(91.9 \pm 3.5)\%$ ،  $(48.2 \pm 11.8)\%$  [7].

في كوريا قام الباحثون Hyung-Soo Shin et al بدراسة كفاءة المرشح البيولوجي الهوائي و التخثير الكهربائي معاً كمعالجة متقدمة لمياه الصرف الصحي، وذلك باستخدام مادة ترشيح عبارة عن بكرات بلاستيكية مسامية وتم دراسة تأثير أزمنة المكث الهيدروليكية التالية ( $0.5-1-3$ )h وبينت التجارب أن زمن المكث الهيدروليكي يجب أن يكون ساعة على الأقل للحصول على معدلات إزالة عالية ولا يصل إلى ثلاث ساعات لأن التغيير في معدل الإزالة يكون قليل جداً، وأمكن الوصول لكفاءة إزالة عند زمن مكث هيدروليكي  $HRT=1h$  بالنسبة  $COD:97\%$ ،  $NH_4:89.1\%$ ، أما التخثر الكهربائي تم تطبيقه كمرحلة لاحقه لعملية الترشيح وخلال زمن مكث هيدروليكي 5 min يمكن الوصول لكفاءة إزالة  $TP:94\%$  [8].

قامت الباحثة ريم الحفاوي وآخرون بدراسة كفاءة استخدام مادة البولي إيثيلين كمادة ترشيح في المرشح البيولوجي الهوائي لمعالجة مياه الصرف الصحي، تمت دراسة تأثير الأوكسجين المنحل (Dissolved Oxygen)DO وزمن المكث الهيدروليكي على معدلات الإزالة، حيث تم اختيار تراكيز الأوكسجين المنحل عند  $(\pm 3.17, 2.53 \pm 0.2)$  و  $(\pm 4.67, 0.33) mg/l$  وزمن مكث هيدروليكي (24, 36, 72) min.

أمكن الوصول لكفاءة إزالة بالنسبة  $COD: 68.06\%$ ،  $BOD: 69.18\%$  ،  $TSS: 70.4\%$  عند تركيز أوكسجين منحل  $DO = 4.67 \pm 0.2 mg/l$  وزمن مكث هيدروليكي  $HRT = 72 min$  [9].

## 2-هدف البحث:

1\_ دراسة كفاءة المرشحات البيولوجية الهوائية كمرحلة معالجة معمقة في تخفيض قيمة  $TSS, COD, BOD_5$  للمياه الخارجة بعد عملية المعالجة البيولوجية (برك الأكسدة).

2-دراسة تأثير عملية المعالجة على قيم الأمونيوم  $NH_4^+$  في المياه الخارجة بعد عملية المعالجة البيولوجية.

## 3-مواد وطرائق البحث:

تمت الدراسة بواسطة مرشح بيولوجي هوائي تجريبي صمم ووضع في محطة معالجة مياه الصرف الصحي في مدينة السلمية موضح بالشكل (1) ومؤلف من:

1\_ حوض الترشيح من البلاستيك ارتفاع (50cm) و عرض (30cm).

2\_ خزانين للمياه الداخلة و الخارجة من الفلتر.

3\_ مضخة هواء باستطاعة ضخ عظمى قدرها 150l/h مثبتة في قاعدة

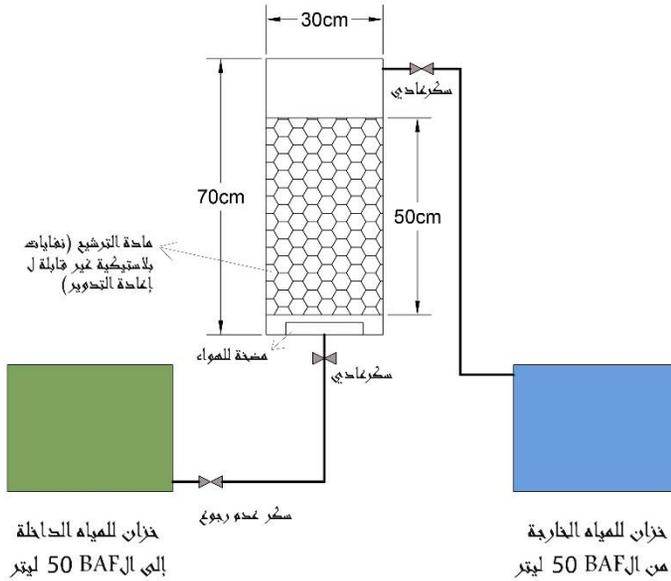
المرشح.

4\_ شبك بلاستيكي بثقوب أقل من (0.5cm) لحمل مادة الترشيح.

5\_ أنابيب (BBR) قطر (25mm) تستخدم كوصلات بين المرشح و الخزائين.

6\_ مادة الترشيح عبارة عن نفايات بلاستيكية غير قابلة لإعادة التدوير الناتجة

عن مصنع لإنتاج الأنابيب و الأحواض البلاستيكية.

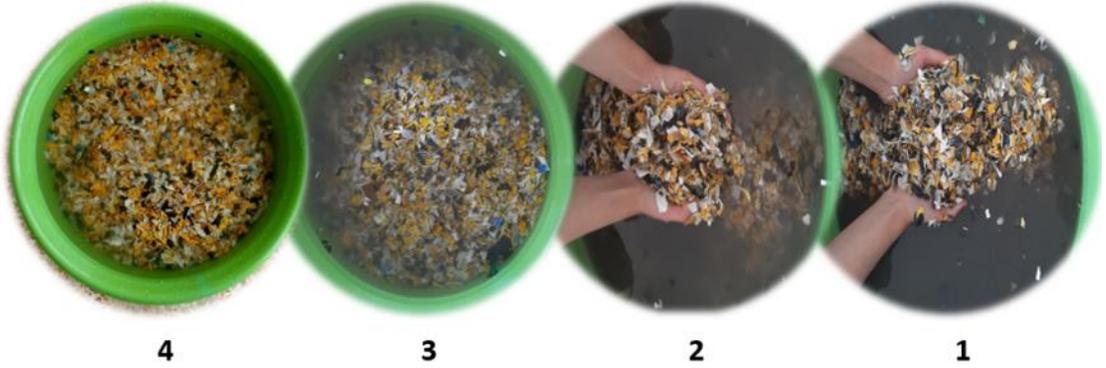


الشكل (1) مخطط كروكي للمحطة التجريبية

حيث تم غسل المادة البلاستيكية على 4 مراحل بمياه نظيفة لأنها تحتوي على

غبار ناتج عن مراحل التصنيع، حيث أن هذا الغبار يمكن أن يؤثر على العمليات

البيولوجية ضمن المرشح فيما بعد، والشكل (2) يوضح دورات الغسيل.



الشكل (2) يوضح مراحل غسيل مادة الترشيح قبل الاستخدام

تم دراسة تأثير زمن المكث الهيدروليكي ومعدل ضخ الهواء على كفاءة الإزالة في المرشح البيولوجي الهوائي، حيث تم حساب مردود المعالجة باستخدام المعادلة التالية:

$$M = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}}$$

حيث أن:

$M$  : مردود المعالجة (%)

$C_{in}$  : تركيز الملوثات الداخلة إلى المرشح (mg/l).

$C_{out}$  : تركيز الملوثات الخارجة من المرشح (mg/l).

درس تأثير زمن المكث الهيدروليكي و معدل ضخ الهواء على كفاءة الإزالة في المرشح البيولوجي الهوائي ، وتمت مقارنة النتائج مع المواصفة القياسية السورية 2752 لاستخدام مياه الصرف الصحي لأغراض الري الموضحة في الجدول (1) [10]:

الجدول (1) المواصفات القياسية السورية لاستخدام مياه الصرف الصحي لأغراض الري

المؤشر	الغضار المطبوخة	المنتزهات و الملاعب وجانب الطرق	الملاعب الرياضية	الأشجار المثمرة	جوانب الطرق الخارجية	المسطحات الخضراء	الحبوب والمحاصيل الطافية	المحاصيل الصناعية	الأشجار الحرجية
المؤشر	أ	ب			ج		د		
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	30	100			150		300		
COD(mg/l)	75	200			300		-		
DO(mg/l)	أكبر من 4	-			-		-		
TDS(mg/l)	15000	1500			-		-		
SS(mg/l)	50	150			150		-		
SAR	9								
pH	9_6								
CL <sub>2</sub> residual	0.5	-			-		-		
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	20	25			25		25		

تحسين مواصفات المياه الخارجة من محطة السلمية باستخدام المرشح البيولوجي الهوائي

NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	3	5	-
So <sub>4</sub> (mg/l)	300	500	500
PO <sub>4</sub> (mg/l)		20	
HCO <sub>3</sub> (mg/l)		520	
Cl (mg/l)		350	
الزيوت والشحوم		5	
MBAS (mg/l)		50	
Phenol (mg/l)		0.002	
Na (mg/l)		230	
Mg (mg/l)		60	
	معايير صحية		
E. Coli  CFU عصية 100/مليتر	>100	100_1000	

بيوض الديدان المعوية (بيضة/لتر)	العناصر النادرة		
	الاستعمال طويل الأجل ( بشكل دائم)	الاستعمال قصير الأجل (حتى 20 سنة كحد أقصى)	
	Al (mg/l)	5	20
	As (mg/l)	0.1	2
	Be (mg/l)	0.1	0.5
	B (mg/l)	0.75	2
	Cd (mg/l)	0.01	0.05
	Cr (mg/l)	0.1	1
	Co (mg/l)	0.05	5
	Cu (mg/l)	0.2	5
	F (mg/l)	1	15
	Fe (mg/l)	5	20

تحسين مواصفات المياه الخارجة من محطة السلمية باستخدام المرشح البيولوجي الهوائي

Li (mg/l)	2.5	2.5
Mn (mg/l)	0.2	10
Mo (mg/l)	0.01	0.05
Ni (mg/l)	0.2	2
Se (mg/l)	0.02	0.02
Zn (mg/l)	2	10

#### 4\_ النتائج و المناقشة:

##### \_ دراسة تأثير زمن المكث:

درس تأثير أربع أزمنة مكث هيدروليكية مختلفة على كفاءة الترشيح مع تثبيت تأثير عامل معدل ضخ الهواء على كفاءة الترشيح حيث تم ضخ هواء بمعدل ثابت  $120 l/h \cdot 1m^3 H_2O$  والرقم الهيدروجيني (7.6-8.1)Ph، وأجريت عملية الغسيل العكسي للمرشح كل ثلاث أيام مرة واحدة بشدة غسيل  $10 l/sec \cdot m^2$ .

تم التحكم بزمن المكث الهيدروليكي عن طريق تغيير الغزارة الداخلة إلى المرشح كما هو موضح بالجدول (2):

الجدول (2) غزارة المياه الموافقة لزمن المكث الهيدروليكي المدروس

زمن المكث الهيدروليكي (h)	الغزارة (l/min)
0.5	1.16
1	0.58

1.5	0.39
2	0.3

وتراكيز الملوثات الداخلة والخارجة كما هو موضح بالجدول (3):

الجدول (3) تراكيز الملوثات الداخلة و الخارجة من المرشح البيولوجي الهوائي عند دراسة تأثير زمن المكث الهيدروليكي

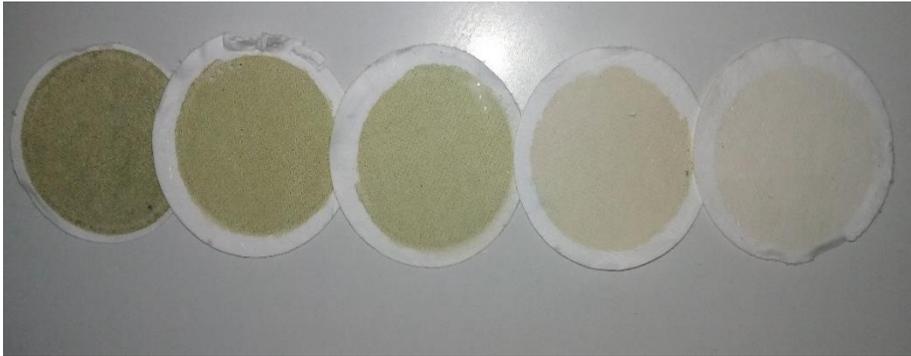
زمن المكث الهيدروليكي hour	$BOD_5$ mg/l		$COD$ mg/l		$TSS$ mg/l		$NH_4^+$ mg/l	
	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج
0.5	130	80	270	120	131	60	45.2	28.4
1	125	70	251	90	125	45	43.6	19.7
1.5	120	50	240	55	80	15	41.7	13.3
2	115	30	235	35	61	6	27.6	4.9

وبالتالي كفاءة إزالة الملوثات الموافقة لأزمة المكث الهيدروليكي المدروسة كما

هو موضح بالجدول (4):

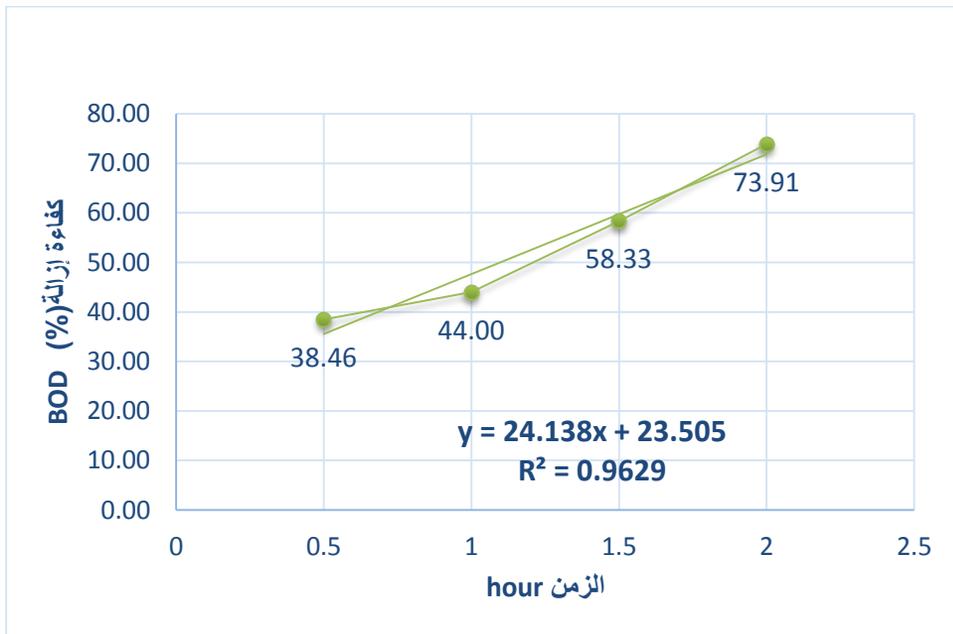
الجدول (4) كفاءة إزالة الملوثات عند دراسة زمن المكث الهيدروليكي

زمن المكث الهيدروليكي hour	كفاءة الإزالة			
	$BOD_5$ %	$COD$ %	$TSS$ %	$NH_4^+$ %
0.5	38.46	55.56	54.20	37.17
1	44.00	64.14	64.00	54.82
1.5	58.33	77.08	81.25	68.11
2	73.91	85.11	90.16	82.25

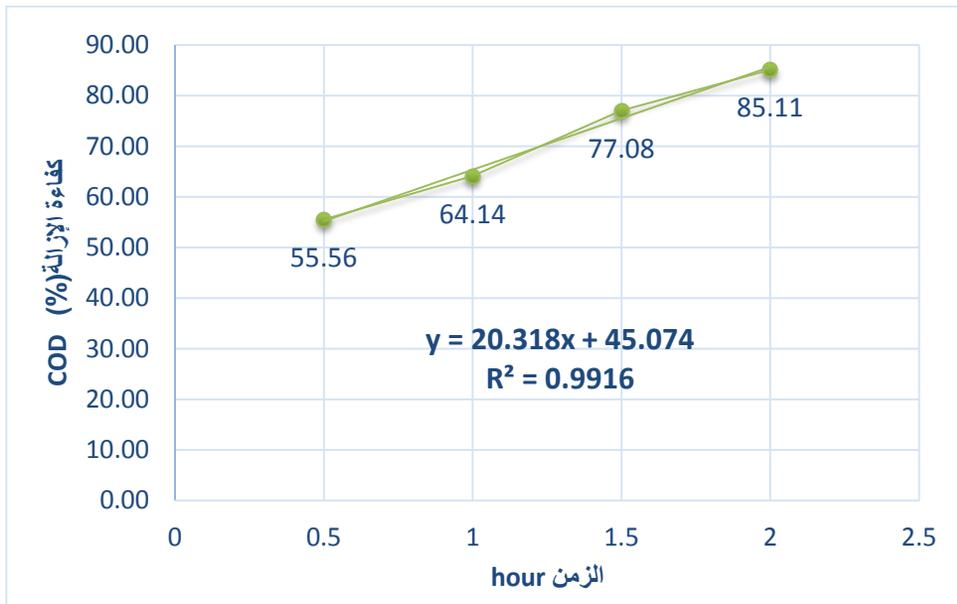


الشكل (3) التغيير في ورقة الترشيح لقياس TSS لدراسة تأثير زمن المكث الهيدروليكي

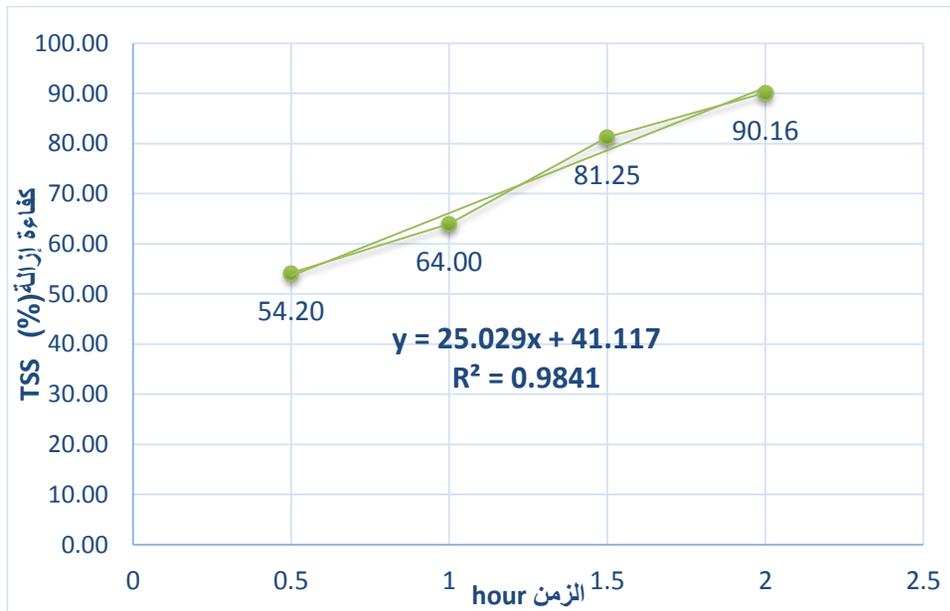
تم تمثيل تأثير زمن المكث الهيدروليكي على كفاءة إزالة الملوثات مع إيجاد النموذج الرياضي للمعادلة بواسطة برنامج SPSS كما هو موضح بالمخططات الآتية:



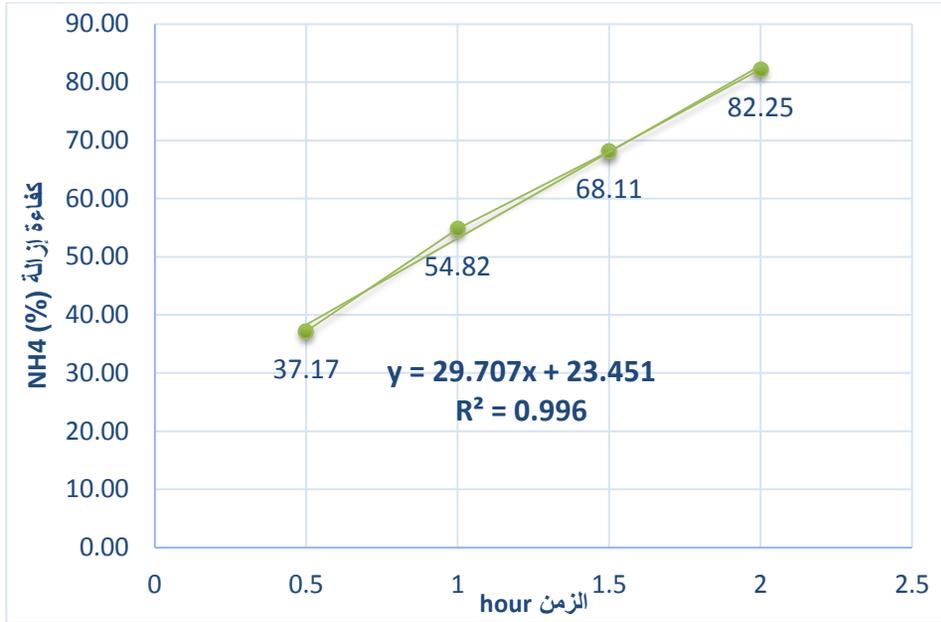
الشكل (4) العلاقة بين زمن المكث الهيدروليكي وكفاءة إزالة BOD<sub>5</sub>



الشكل (5) العلاقة بين زمن المكث الهيدروليكي وكفاءة إزالة COD



الشكل (6) العلاقة بين زمن المكث الهيدروليكي وكفاءة إزالة TSS



الشكل (7) العلاقة بين زمن المكث الهيدروليكي وكفاءة إزالة  $NH_4^+$

بالمقارنة بين نتائج التجربة في الجدول (3) مع المواصفة القياسية السورية رقم 2752 الخاصة بإعادة استخدام مياه الصرف الصحي لأغراض الري في الجدول (1) نجد أن:

- عند زمن مكث هيدروليكي  $HRT=0.5h$  كانت جميع القيم لا تتوافق مع القيم وبالتالي لا يمكن استخدام المياه لأغراض الري.
- عند زمن مكث هيدروليكي  $HRT=1h$  كانت التراكيز تتوافق مع القيم المسموحة للفئة (ج) فقط.
- عند زمن مكث هيدروليكي  $HRT=1.5h$  كانت التراكيز تتوافق مع القيم المسموحة للفئة (ج) فقط.
- عند زمن مكث هيدروليكي  $HRT=2h$  كانت التراكيز تتوافق مع القيم المسموحة للفئات (ب و ج)، وهذا تتفق مع الدراسة التي قامت بها (Reem et al., 2022) والتي

بينت أن زيادة زمن المكث الهيدروليكي يزيد من كفاءة إزالة الملوثات، وكان زمن المكث الهيدروليكي الأعلى في بحثها هو  $HRT=72min$ .

#### -دراسة تأثير معدل ضخ الهواء:

درس تأثير خمسة معدلات ضخ هواء مختلفة على كفاءة الترشيح مع تثبيت تأثير عامل زمن المكث الهيدروليكي على كفاءة الترشيح حيث كان زمن المكث 2h بغزارة  $0.3 l/min$  والرقم الهيدروجيني (7.9-8.2)Ph، وأجريت عملية الغسيل العكسي للمرشح كل ثلاث أيام مرة واحدة بشدة غسيل  $10 l/sec.m^2$ ، و كانت تراكيز الملوثات الداخلة والخارجة كما هي موضحة بالجدول الآتي:

الجدول (5) تراكيز الملوثات الداخلة والخارجة من المرشح البيولوجي الهوائي عند دراسة

#### معدل ضخ الهواء

معدل ضخ الهواء l/h	$BOD_5$ mg/l		$COD$ mg/l		$TSS$ mg/l		$NH_4^+$ mg/l	
	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج	الداخل	الخارج
50	130	70	298	91	100	26	43.7	25.65
75	135	55	270	71.5	85	17	42.2	13.15
100	130	35	245	45	61	10	51	10
125	125	20	250	30	50	6	41.3	5.3
150	120	10	255	15	55	5	40.3	2.8

وبالتالي كفاءة إزالة الملوثات الموافقة لمعدلات ضخ الهواء المدروسة كما هو موضح بالجدول الآتي:

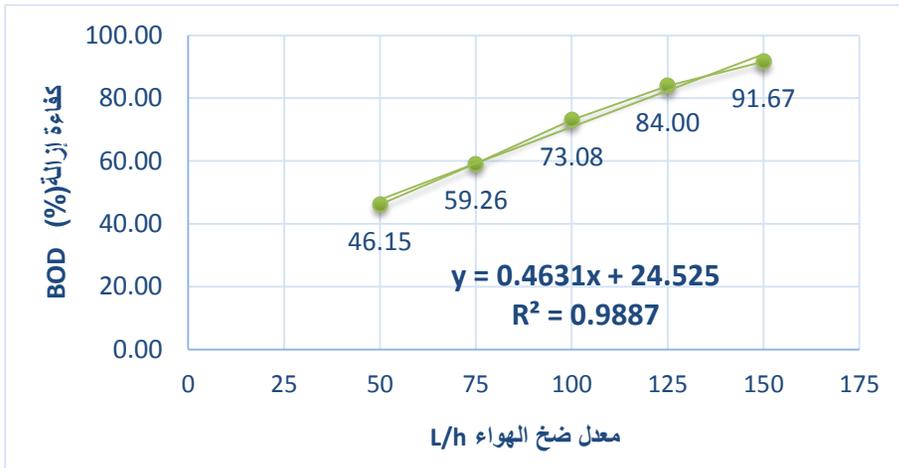
#### الجدول (6) كفاءة إزالة الملوثات عند دراسة معدل ضخ الهواء

كفاءة الإزالة
---------------

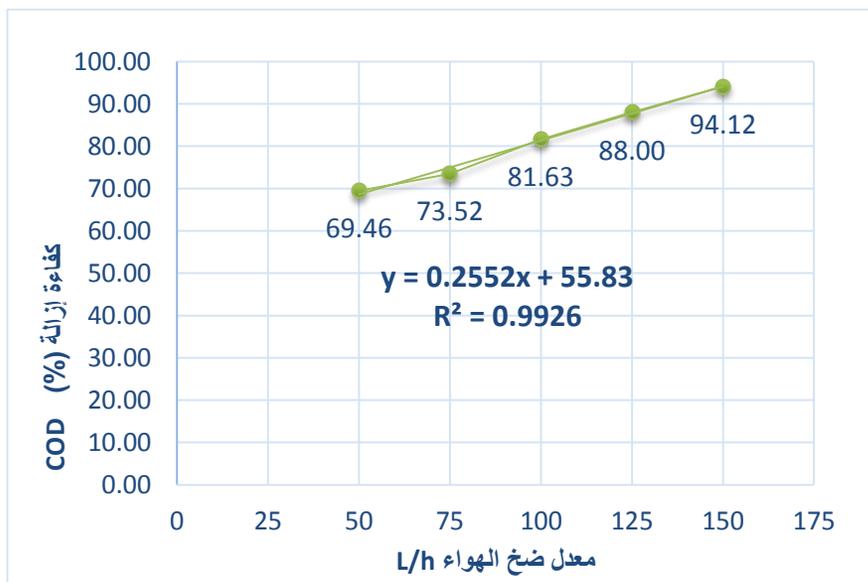
تحسين مواصفات المياه الخارجة من محطة السلمية باستخدام المرشح البيولوجي الهوائي

معدل ضخ الهواء l/h	$BOD_5$ %	$COD$ %	$TSS$ %	$NH_4^+$ %
50	46.15	69.46	74.00	41.30
75	59.26	73.52	80.00	68.84
100	73.08	81.63	83.61	80.39
125	84.00	88.00	88.00	87.17
150	91.67	94.12	90.91	93.05

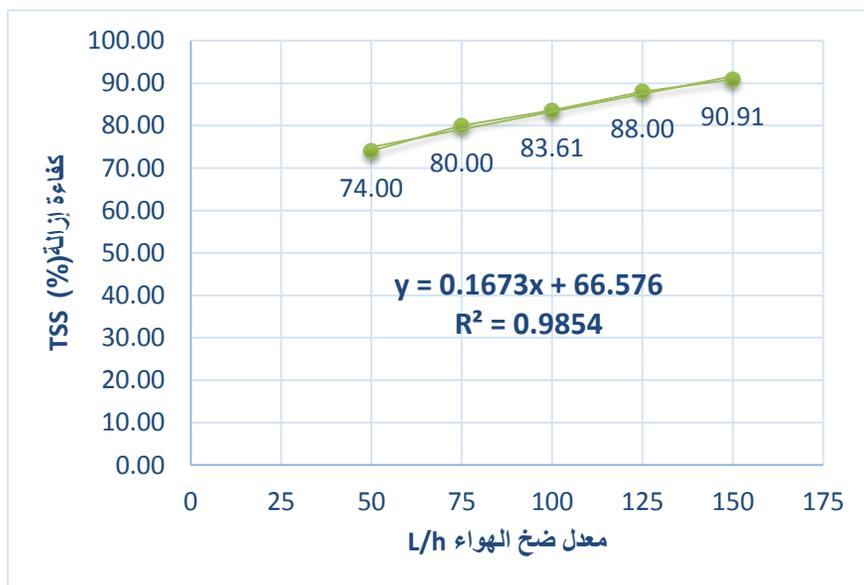
تم تمثيل نتائج تأثير معدل ضخ الهواء على كفاءة إزالة الملوثات مع إيجاد النموذج الرياضي للمعادلة بواسطة برنامج SPSS.



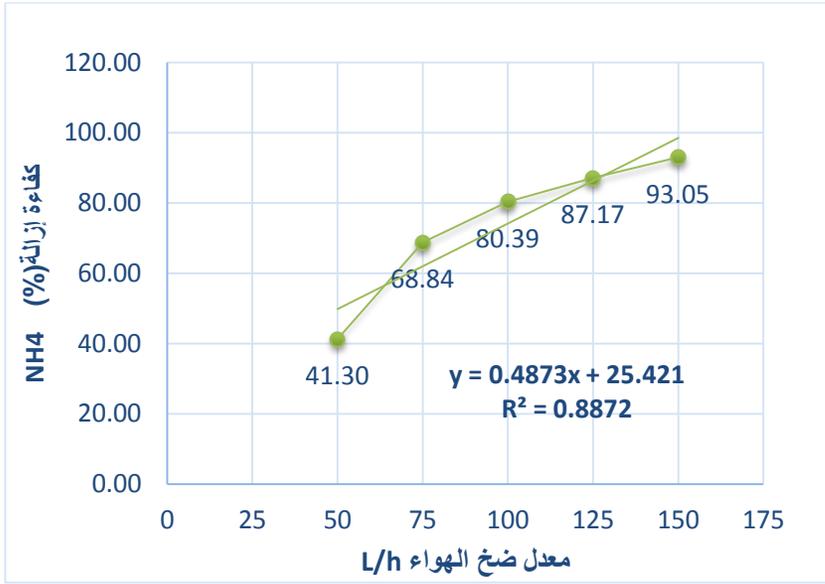
الشكل (8) العلاقة بين معدل ضخ الهواء و كفاءة إزالة  $BOD_5$



الشكل (9) العلاقة بين معدل ضخ الهواء وكفاءة إزالة COD



الشكل (10) العلاقة بين معدل ضخ الهواء وكفاءة إزالة TSS



الشكل (11) العلاقة بين معدل ضخ الهواء وكفاءة إزالة  $NH_4^+$

بالمقارنة بين نتائج التجربة في الجدول (5) مع المواصفة القياسية السورية رقم

2752 الخاصة بإعادة استخدام مياه الصرف الصحي لأغراض الري في الجدول (1)

نجد أن:

- عند معدل ضخ هواء (50\_75\_100)L/h كانت التراكيز تتوافق مع القيم المسموحة للفئة (ج).
- عند معدل ضخ هواء 125L/h كانت التراكيز تتوافق مع القيم المسموحة لأغراض الري للفئتين (ب و ج).
- عند معدل ضخ هواء 150L/h كانت التراكيز تتوافق مع القيم المسموحة للفئات (أ و ب و ج).

**5\_ الاستنتاجات والتوصيات:**

**\_ الاستنتاجات:**

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة تم التوصل إلى الاستنتاجات

الآتية:

1-العلاقة بين زمن المكث الهيدروليكي  $(0.5-2)h$  وكفاءة إزالة الملوثات علاقة طردية، وتم الحصول على أعلى كفاءة إزالة عند زمن مكث هيدروليكي  $HRT=2h$ . وكانت كفاءة إزالة  $BOD_5$  و  $COD$  و  $TSS$  و  $NH_4^+$  على التوالي هي %73.91، %85.11، %90.16، %82.25.

2- العلاقة بين معدل ضخ الهواء وكفاءة إزالة الملوثات علاقة طردية ، وتم الحصول على أعلى كفاءة إزالة عند معدل ضخ هواء  $150L/h$ . وكانت كفاءة إزالة  $BOD_5$  و  $COD$  و  $TSS$  و  $NH_4^+$  على التوالي هي %91.67، %94.12، %90.91، %93.05.

3- لاستخدام المياه لأغراض الري من الفئة (ج) يجب أن يكون زمن المكث الهيدروليكي  $HRT=2h$  ومعدل ضخ الهواء  $(50-100) L/h$ .

4- لاستخدام المياه لأغراض الري من الفئة (ب) يجب أن يكون زمن المكث الهيدروليكي  $HRT=2h$  ومعدل ضخ الهواء  $(125-150) L/h$ .

5- لاستخدام المياه لأغراض الري من الفئة (أ) يجب أن يكون زمن المكث الهيدروليكي  $HRT=2h$  ومعدل ضخ الهواء  $150L/h$ .

6\_ لتصريف المياه المعالجة إلى البيئة المائية (نهر العاصي) يجب أن يكون زمن المكث الهيدروليكي  $HRT=2h$  و معدل ضخ الهواء  $(125-150) L/h$ .

### \_ التوصيات:

- لاستكمال ما تم التوصل إليه في هذه الدراسة فإنه يوصى بدراسة المحاور الآتية:
- المزيد في البحث حول زمن المكث الهيدروليكي، ودراسة تأثير أزمته المكث الأكبر على كفاءة الإزالة.
- التوسع في دراسة نوع مادة الترشيح وتأثيرها على كفاءة المعالجة.
- دراسة عوامل مؤثرة مثل درجة الحرارة وعلاقتها بعملية النترجة.

- دراسة الجدوى الاقتصادية من استخدام المرشح البيولوجي الهوائي كبديل لأنظمة المعالجة بالطرق التقليدية (الحمأة المنشطة، برك الأكسدة...).

المراجع العلمية:

المراجع العربية:

10\_ المواصفة السورية القياسية 2572 مياه الصرف الصحي المعالجة لأغراض الري، 2008.

المراجع الأجنبية:

1\_ CLARKH, W.1930 Past and present developments in sewage disposal and purification, Sweden, 561P.

2- IMHOK. AFNDF B, U SWELLA. M.1928 Submerged contact aerators for sewage treatment, England, New-Record, 580P.

3\_ GRIFFITHL, B.1943 Contact aeration for sewage treatment, England. News-Record, 138P.

4- TYMOSZCUJK.1974, Biological Aerated filters. Canadian Patent, No. **953039**. Patent Office, Ottawa. Canada.

5\_ PWDL, R., CANER, J. P. AND IWEMA.A.1992 Biological aerated filters: an attractive and alternative biological process, Mat. Sci. Techno, 693P.

6- Tom Stephenson and Dr.Bruce Jefferson,1996 Development of a recirculating plastic media biological aerated filter (REBAF), The School of Water Sciences, UK.

7- Jiehui Ren, a Wen Cheng, a Tian Wana, Min Wanga and Meng Jiao b,2018, Effect of aeration rates on hydraulic characteristics and pollutant removal in an up-flow biological

aerated filter, Environmental Science–Water Research & Technology, China.

8– Hyung–Soo Shin, Woo–Yeol Kim, Dong–Jin Son<sup>1</sup>, and Ki–Ho Hong, 2020, Performance Assessment of a Combined System Using a Biological Aerated Filter and Electro–coagulation for Advanced Wastewater Treatment ,Konkuk University, Seoul, Republic of Korea.

9– Reem A. Elhalafawy. M. Hassanain b and Rehab El Hefny, 2022, Using Polyethylene Bio Media as A New Floated Media in a Biological Aerated Filter (BAF) to Treat Primary Effluent Wastewater, Egyptian Journal of Chemistry , Egypt J. Chem. Vol. 65, No. Sl:13B, pp. 1221 – 1229.

# تقييم الأداء البوزولاني لتمي بعض سدود المنطقة الساحلية لتحديد إمكانية استخدامها بخلطات الاسمنت

\* د.م. سوزان تفاحة

## المخلص

ضمن سياق تطبيقات الاستدامة والتقليل من استهلاك الاسمنت واستبداله بمواد خضراء، ويهدف التشجيع على التخلص من الكميات الهائلة للتمي المتراكم بقاع الكثير من سدود المنطقة الساحلية والذي أصبح عائقاً حقيقياً أمام الوظيفة التخزينية للسد. تم القيام بهذه الدراسة لتقييم الأداء البوزولاني لتمي سد الأبرش وسد الصوراني بمحافظة طرطوس وسد بلوران بمحافظة اللاذقية، وذلك بهدف تحديد إمكانية استخدامه كمستبدل اسمنتي. أظهرت النتائج أن الأداء البوزولاني لتمي كل من سد الأبرش وسد الصوراني منخفض، أما بالنسبة لتمي سد بلوران فكان الأداء البوزولاني له ممتاز، حيث تم تجريب ثلاثة نظم ترميد لاختيار نظام الترميد الأمثل لهذا التمي والذي أعطى أعلى معامل فعالية، ثم تم اختبار أثر استخدام ٢٠% من هذا التمي كمستبدل اسمنتي على قابلية تشغيل الخلطة ومقاومتي الشد بالانعطاف والضغط بعمر ٧ و ٢٨ و ٥٦ و ٩٠ يوم وأيضاً على امتصاص الخلطة ومقاومة الكبريتات. لم يظهر استخدام تمي سد بلوران المرمد كمستبدل اسمنتي أثر سلبي واضح على قوام الخلطة، ونقصت مقاومة الضغط بعمر ٧ و ٢٨ يوم ولكنها تحسنت بعمر ٥٦ لتصبح بعمر ٩٠ يوم أعلى من العينة المرجعية، كما تحسنت مقاومة الكبريتات وقل الامتصاص.

**كلمات مفتاحية:** الميكاكولن - تمي السدود المرمد - الاضافات البوزولانية كمستبدلات الاسمنتية.

\* عضو هيئة تدريسية/ كلية الهندسة / قسم الهندسة المدنية/جامعة الوادي الدولية الخاصة

# Evaluation of the Pozzolanic performance of the silt of some dams of the coastal region to determine their potential use in cement mixtures

## Abstract

In the context of sustainability applications and reducing cement consumption by replacing it with green materials, and in order to encourage the disposal of the huge amounts of silt accumulated in many dams in the coastal region, which became a real obstacle to the storage function of the dam. This study was carried out to evaluate the pozzolanic performance of the silt in Al-Abrash Dam, Al-Sourani Dam in Tartous, and Baloran Dam in Latakia, with the aim of determining the possibility of its use as a supplementary cementing material. The results showed that the pozzolanic performance of silt in both the Al-Abrash and the Sourani was low, but the pozzolanic performance of the Bluran silt was excellent. Three calcination systems were tested to choose the optimal one, which gives the highest strength activity index. Then the effect of using 20% of this silt on the workability of the mixture and its compressive and flexure strength at the ages of 7, 28, 56 and 90 days was tested, as well as its impact on the absorption and sulfate resistance was investigated. The results demonstrated that the use of silt has limited effect on the workability, and the strengths decreased at the age of 7 and 28 days but improved at the age of 56 to become higher than the control sample at the age of 90 days, while the absorption and sulfate resistance have improved.

**Key words:** Metakaolin - Calcined Silt - Supplementary cement Material.

## ١ - المقدمة والدراسة المرجعية:

أصبح من المعروف أهمية استخدام المواد البوزولانية بتصنيع الاسمنت البوزولاني أو كمستبدلات اسمنتية للتقليل من استهلاك الاسمنت بالخطأ، وبالتالي تقليل انبعاث الغازات الناتجة عن تصنيع الإسمنت وتصنيع خرسانة خضراء صديقة للبيئة.

تتلخص مزايا استخدام المواد البوزولانية بخلطات الاسمنت البورتلاندي بالآتي:

- مكسب اقتصادي بتوفير جزء من الاسمنت والذي أسعاره في تزايد مستمر واستبداله بمواد خضراء وأرخص ثمناً.

- فرصة لإعادة تدوير بعض المخلفات الطبيعية أو الصناعية أو مخلفات مواد الهدم.

- إعطاء خلطات بديمومة أعلى وبالتالي عمر أطول للمنتجات البيتونية، من خلال تقليل نفاذية الأملاح والمواد المخربة ومقاومة أعلى للكبريتات والأملاح والأيونات وتقليل

التفاعل القلوي للحصويات Alkali Silica Reaction.

- تقليل درجة حرارة التمييه ولهذا أهمية في المنشآت الكتلية الضخمة كالدود وغيرها.

- تقليل الأثر البيئي عن طريق التقليل من انبعاث الغازات الناتجة عن تصنيع الاسمنت.

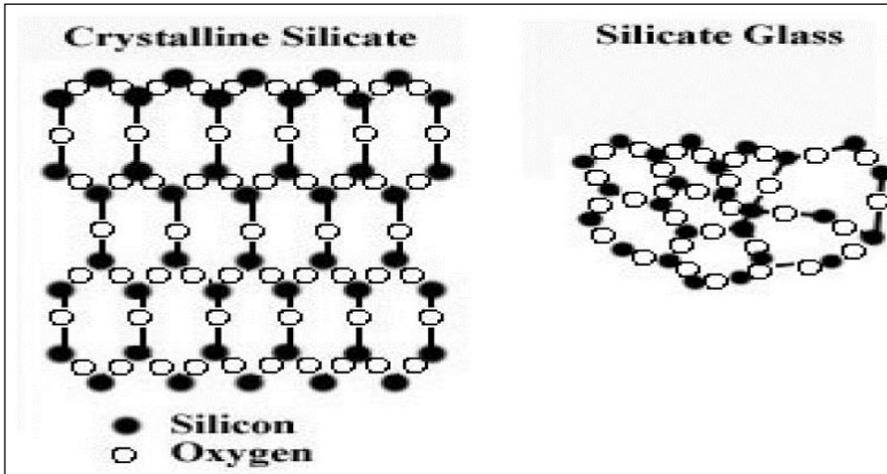
- تقليل حدوث ظاهرة النضح Bleeding والانفصال الحبيبي Segregation.

تتميز المواد البوزولانية بمحتوى عالي من أكاسيد الكاولنت  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  التي تعرضت للشي بدرجات حرارة مرتفعة إما بفعل الطبيعة كالبراكين التي حصلت بالماضي البعيد وشكلت البوزولانا الطبيعية المتواجدة في مناطق كثيرة من العالم، أو أثناء عمليات الصناعة كالبوزولانا الصناعية مثل: خبث الأفران Slag وهو مخلف من صناعة صهر الحديد بالأفران أو الرماد المتطاير Fly Ash الناتج عن احتراق الفحم الحجري بمحطات توليد الطاقة أو هباب السيليس Silica Fume وهو ناتج ثانوي من صناعة معدن السيليكون، هذا بالإضافة للطين المرمد Calced Clay.



بلوري (كرستالي) (Crystalline structure) وبهذه البنية البلورية سيكون التفاعل مع البورتلانديت  $Ca(OH)_2$  والقلويات أبطأ وأضعف من البنية غير المتبلورة، وبالتالي لن تؤدي هذه الأكاسيد عملاً بوزولانياً فعالاً باستهلاك البورتلانديت.

حيث يؤكد (Keppert, 2014) أنه إذا أعطى التحليل الكيميائي للطين محتوى عالياً من أكاسيد السيليوس والألومينا فهذا لا يعطي مدلولاً عن أداء بوزولاني مرتفع، لأن هناك جزءاً كبيراً من أكاسيد الكاولينيت لاتزال كرسطالية متبلورة ليس لها أداء بوزولاني بل على العكس ستلعب دوراً سلبياً وتكون كأنها فلر Filler وتتقص المقامات، وبالتالي لا يعتبر أي نوع من الطين أو الغضار مهما كان محتواه كبيراً من أكاسيد السيك والألومينا أنه مادة بوزولانية مالم يتم ترميده سواء بفعل البراكين كما في حال البوزولانا الطبيعية، أو صناعياً بتعريضها للترميد بحرارة عالية وذلك لتحطيم البنية الكرسطالية للسيليكا وتحويلها إلى سيلكا غير متبلورة (Active Silica) ذات أداء بوزولاني فعال، لاحظ الشكل(١):



الشكل (١) الفرق بين شكل السيليكا المتبلورة والسيليكا غير المتبلورة

وفي هذا السياق لابد من تحديد نظام الترميد الأمثل والأقدر على تحطيم البنية البلورية للمينيرالات الموجودة بالطين وإعطاء أعلى قدر من السيليكا التفاعلية (Active Silica) غير المتبلورة، ولكن بالمقابل لا يشوهها أو يحطمها بالحرارة الزائدة ويجعلها غير قادرة

تقييم الأداء البوزولاني لظمي بعض سدود  
المنطقة الساحلية لتحديد إمكانية استخدامها بخلطات الاسمنت

على التفاعل، حيث تتفاوت درجة الحرارة والمدة التي يبدأ عندها الميكاكولين بالتشكل، فبعض أنواع الطين يبدأ بالتشكل بحدود ٦٥٠ درجة وبعضها الآخر يحتاج درجات أعلى، وهنا يؤكد (Fernandez, 2009) أنه عند الترميد الزائد بدرجة حرارة ٩٢٥ قلت المقامات بشكل واضح مقارنة بدرجة حرارة ترميد ٦٠٠ و ٨٠٠.

إن تحديد نظام الترميد الأنسب من حيث درجة الحرارة المناسبة والمدة اللازمة أمر يتوقف على طبيعة الطين المستخدم وتركيبته الكيميائية والمينرالية، وفي هذا السياق قام العديد من الباحثين بتجريب عدة أنظمة ترميد لاختيار الأمثل بينها والذي يعطي أعلى دليل فعالية (strength activity index) أي أكبر قدر من السيليكات الفعالة غير البلورية، فللحصول على الميكاكولين جرب (Antoni, 2013) ترميد طين من أندونيسيا بدرجات حرارة ٧٠٠ و ٨٠٠ و ٩٠٠ درجة مئوية لمدة ٥ ساعات فأعطى الترميد بحرارة ٨٠٠ أعلى دليل فعالية، أما (Rabehi, 2012) فجرب الترميد بدرجات ٦٥٠ و ٧٠٠ و ٧٥٠ و ٨٠٠ مدة ٥ ساعات لطين من منطقة دجل بالجزائر، فكان الترميد بدرجة ٧٥٠ مدة ٥ ساعات الأمثل حيث أعطى أعلى دليل فعالية، وحيث احتاج (Lara, 2011) للترميد بحرارة ٩٠٠ لمدة ساعة للحصول على الميكاكولين من طين كوبي، أما (Rafiza, 2012) احتاج لحرارة ٨٠٠ مدة ساعتين لطين من أندونيسيا، وكذلك (Aboubakar, 2014) احتاج لحرارة ٨٠٠ مدة ساعتين لطين من ليبيا للحصول على الميكاكولين.

وتعتبر الدراسة التي أجراها (Alaa , 2013) من الدراسات الأهم بهذا المجال حيث أجرى دراسة مستفيضة لاختيار نظام الترميد الأنسب بعد مراجعة لأكثر من ٢٥٠ بحث حول التصنيع الأمثل للميكاكولين باستخدام أنواع كثيرة من الطين لها تراكيب منرالية وكيميائية متعددة، وتوصل الباحث أن الترميد بحرارة بين ٦٠٠-٨٥٠ درجة لمدة تتراوح من ١-١٢ ساعة هو الأمثل للحصول على ميكاكولين بخصائص بوزولانية عالية مهما كان نوع الطين المستخدم ومهما كان محتواه من السيليس والألومينا، كما توصل إلى أن الترميد مدة ١٢ ساعة هو الأمثل عند استخدام حرارة ٧٠٠ درجة مثلاً، والترميد لمدة ٢ ساعة هو الأمثل عند استخدام حرارة ٨٠٠ درجة.

ويظهر التحليل المينرالي باستخدام تقنيات XRD (X-Ray Diffraction) بجميع الدراسات المذكورة أن نسبة العناصر الكرسطالية (الكوارتز)  $Quartz$  تقل كثيراً بالترميد. حيث يذكر (Antoni, 2013) و (Rabehi, 2012) أن ذرى الكوارتز تتناقص شدتها (Intensity) بزيادة الترميد وتكون أقل ما يمكن عند درجة الترميد المثلى التي أعطت أعلى دليل فعالية، بمعنى أن الحالة الأقل كرسطالية هي التي أعطت أعلى دليل فعالية.

أعطى استخدام الميكاكولين كمادة بوزولانية مزايا جيدة في مجال صناعة البيتون، وتوجد بالأسواق العالمية أنواع عدة من الميكاكولين مصنعة ومعبأة بأكياس ومحضرة من أنواع مختلفة من الأطيان بهدف تحسين ديمومة الخلطات الإسمنتية، فعند (Dinikar, 2013) قلل استخدام الميكاكولين الامتصاص ونفاذية الماء والكلوريدات وحسن المقاومات بشكل أفضل من هباب السيلس وبكلفة أقل منه، وكذلك عند (Borges, 2016) قلل استخدام الميكاكولين المسامية والامتصاص وزادت مقاومة الأوساط القلوية، وعند (Rabehi, 2012) قلل استخدام الميكاكولين نفاذية الكلوريدات وقلل تآكل العينات عند غمرها بحمض الكبريت كما قل الامتصاص والنفاذية بجميع الأعمار، وعندما قامت (Lara, 2011) بدراسة أثر نوعين من الميكاكولين وقارنت النتائج بالفلر الكلسي، فوجدت أن المقاومات تحسنت بعد عمر ٢٨ يوماً كما قل الامتصاص والمسامية مع الوقت، كما لاحظت أن الميكاكولين حسن الإماهة بجميع مراحلها حيث أنقص من كمية الاترينيغيات المتشكلة وعزز تثبيت مخرجات الإماهة من نوع  $C-S-H$  و  $C-A-S-H$  ولم يعط استخدام الفلر كمستبدل اسمنتي نتائج جيدة بسبب قلة كمية السيليكا والألومينا فيه والتي تعتبر العناصر الأساسية للتفاعل البوزولاني.

كذلك تؤكد الكثير من الدراسات على أن الطمي المتراكم بقاع السدود يحتوي على نسب عالية من منارات الكاولينيت وبالتالي يمكن تصنيع ميكاكولين منه (Rabehi, 2014). بحيث يمكن استخدامه كمستبدل اسمنتي، فقد أعطى نتائج أفضل من نتائج استخدام

## تقييم الأداء البوزولاني لظمي بعض سدود المنطقة الساحلية لتحديد إمكانية استخدامها بخلطات الاسمنت

خبث الأفران عند (Safi, 2011) وأفضل من البوزولانا الطبيعية عند استخدامه مع البيتون ذاتي الارتصاص عند (Belas, 2014) كما وقلل استخدام ظمي السدود المرمد Calcined Silt الامتصاص وحسن المقاومات عند (Safi, 2012)، وكذلك عند (Rabehi, 2014) حسن استخدام الظمي المرمد من سد شورفا بالجزائر مقاومة الأحماض والكبريتات وقلل نفاذية الكلوريدات وبشكل أفضل من هباب السليس لذلك أوصى باستخدامه لتصنيع اسمنت بوزولاني، وقلل الظمي المرمد التفاعل القلوي للحصويات والتشققات الناجمة عنه عند (Anseh, 2014)، وأوصى (Khan, 2013) بإمكانية استخدام الظمي المرمد من سد تاريلا بالباكستان في تصنيع اسمنت بوزولاني حيث لم يلحظ أثر سلبي واضح على المقاومات أو زمن الشك كما قلل من استهلاك الطاقة اللازمة للتصنيع، كما وحسن الظمي المرمد من سد فيرجوج بالجزائر المقاومات عند (Safi, 2013)، كما أكد (Laoufi, 2016) الخصائص البوزولانية العالية لظمي هذا السد وبالتالي إمكانية استخدامه بتصنيع اسمنت بوزولاني أقل كلفة وصديقة للبيئة، ويذكر (Malu, 2013) أن للظمي المرمد خصائص جيدة تجعله صالح للاستخدام بصناعة القرميد والسيراميك.

عموماً استخدام المخلفات البوزولانية كمستبدلات للإسمنت يحسن خصائص الديمومة ولكن يقلل المقاومات بأعمار مبكرة وخاصة مقاومة الضغط، وبالتالي إن تحديد النسب المثلى للاستبدال من الاسمنت بأي إضافة Addition أمر بغاية الأهمية هذه النسبة التي تضمن تحقق متطلبات الديمومة وتبقى فيها المقاومة ضمن الحدود المقبولة. تتعلق نسبة الاستبدال من أي إضافة بطبيعتها وتركيباتها الكيميائية والميزرالية، لذلك وحسب ما تم استنتاجه من الدراسة المرجعية يمكن اعتبار أن استبدال من الاسمنت لحدود ٢٠% أو ٢٥% كحد أقصى بالظمي مقبول فهو يحسن خصائص الديمومة وأثره طفيف على المقاومات، فعندما درس (Tydlit, 2012) أثر الاستبدال على مراحل الإماهة وجد أن الاستبدال بنسب أعلى من ذلك لن تؤدي الاضافة المستخدمة دوراً بوزولانياً فعلاً وستكون وكأنها فلر Filler وبالتالي ستقل المقاومات أكثر بسبب النقص غير المبرر بكمية  $C_3S$  الناجم عن حذف نسبة من الاسمنت.

وانطلاقاً مما سبق وجدنا أنه يمكن الاستفادة من الأطنان الهائلة للظمي المتراكمة في قاع الكثير من سدودنا المحلية والتي أصبحت عائقاً أمام الوظيفة التخزينية للسد نتيجة الترسبات الطبيعية للماء وانجراف التربة من التلال المحيطة به وتصنيع ميتاكاولن محلي وبكلفة أقل من المستورد ومن مواد بوزولانية صناعية أخرى. كما أن استخدام الظمي المرمد كمستبدل اسمنتي يخلق فرصة لاستثمار وتدوير هذه المخلفات ويساهم بالتقليل من استهلاك الاسمنت الذي أسعاره بتزايد مستمر هذا من جهة، ومن جهة أخرى فإن التقليل من استخدام الاسمنت يعني التقليل من التلوث الناجم عن تصنيعه، حيث تترجع صناعة الاسمنت بالمراتب الأولى بين الصناعات المسببة للتلوث حول العالم، حيث يسبب إنتاج طن اسمنت انبعاث طن من غاز CO<sub>2</sub> أي ما يزيد عن ٢ بليون طن سنوياً وهذا يعادل ٧% من إجمالي انبعاث الكربون بالعالم (Meyer, 2009) & (Malhotra, 2000) كما ويؤكد (Terreza, 2017) أن استبدال حتى ٢٥% من الاسمنت ممكن أن ينقص كمية CO<sub>2</sub> بمقدار ١٠<sup>٨</sup>\*3.8 طن بالسنة.

## ٢- أهداف البحث:

- ١- تقييم الأداء البوزولاني لظمي بعض سدود المنطقة الساحلية بهدف تصنيع ميتاكاولين محلي وبكلفة أقل من المستورد ومن مواد بوزولانية صناعية كهباب السيليس وغيرها وتحديد أثر استخدامه مع خلطات الملاط والبيتون.
- ٢- توضيح أثر نظم الترميد المعتمدة على جودة الميتاكاولين المصنع.
- ٣- التوظيف المجدي لهذه المخلفات والتشجيع على التخلص منها خوفاً من أن تتحول هذه البحيرات لوعاء طيني وتضعف الوظيفة التخزينية للسد.
- ٤- توسيع نطاق البحث في مجال تطبيقات الاستدامة والتي تعتبر مواضيع الساعة، وذلك من خلال العمل على تدوير المخلفات والتقليل من استهلاك الاسمنت

تقييم الأداء البوزولاني لظمي بعض سدود  
المنطقة الساحلية لتحديد إمكانية استخدامها بخلطات الاسمنت

واستبداله بمواد خضراء، هذا بالإضافة لأهمية التقليل من استهلاك الاسمنت من ناحية اقتصادية.

٣- مواد وطرق البحث:

١-٣ توصيف مواد البحث:

الاسمنت (PC): الاسمنت المستخدم بورتلاندي نوع ١ تصنيع معمل اسمنت طرطوس صنف 32.5 محقق للمواصفة القياسية السورية (١٩٨٥/٣٣٢).

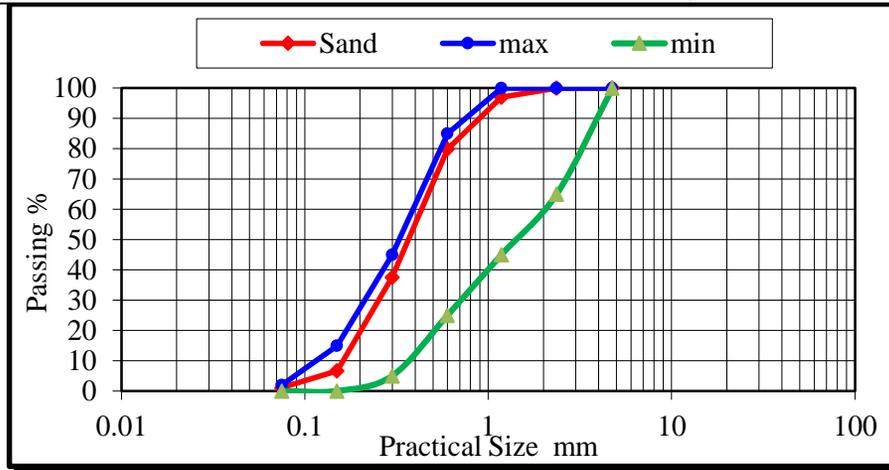
الرمل: تم استخدام رمل طبيعي سيليسي Silica Sand ناعم أبيض اللون من منطقة القريتين بسورية له التدرج الحبي بالشكل (٢) والمنحني يقع ضمن حدود حزمة المواصفة البريطانية BS 882 الموضحة بالمنحنيين (Max & Min).  
ولاختبار محتواه من الشوائب تم تحديد القيم التالية:

- المكافئ الرملي = ٨٠,٣٢ % < ٧٥ % OK

- المار من منخل ١٥٠ميكرون ٦,٧ % > ١٠ % OK

وبالتالي الرمل نظيف لا يحتاج غسيل.

الرمل النظامي المخبري: لزوم اختبار الفعالية



الشكل (٢) التحليل الحبي للرمل المستخدم ضمن حدود حزمة المواصفة BS 882

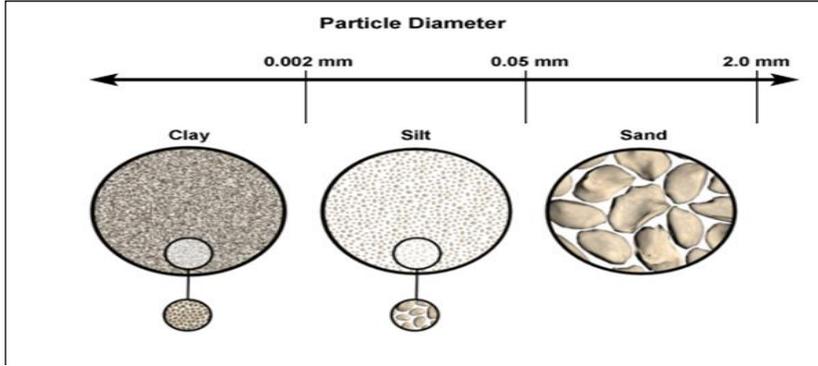
### - الطمي المرمد (CS) :Calcined Silt

تم أخذ كمية من الطمي من عدة مناطق متفرقة مغمورة بالاستعانة بغواص من كل من سد الأبرش وسد الصوراني بمحافظة طرطوس وسد بولوران بمحافظة اللاذقية.

يبين الشكل (٣) الفرق بين أقطار حبيبات الطين والطيني، وهنا نجد أن كلاً من الطين والطيني عندما يراد استخدامهم كمستبدلات اسمنتية يحتاج لطحن للحصول منه على مطحون بنعومة قريبة من نعومة الاسمنت ويفضل أن تزيد عنها قليلاً، فالنعومة شرط لأداء بوزلاني فعال كما توضح اشتراطات ASTM C 618 Type N الموضحة بالجدول (١) وهي المواصفة المعتمدة لتحديد صلاحية الإضافات من مصادر طبيعية (بوزولانا طبيعية، طين مرمد...) لاستخدامها كمستبدلات اسمنتية، ولا يعتبر أي نوع من الأطنان مادة بوزولانية صالحة للاستخدام كمستبدل اسمنتي مالم يحقق هذه اشتراطات.

تقييم الأداء البوزولاني لظمي بعض سدود  
المنطقة الساحلية لتحديد إمكانية استخدامها بخلطات الاسمنت

لذلك وبعد تنظيف الظمي من الأعشاب والأجسام الكبيرة العالقة تم تجفيفه ٢٤ ساعة بدرجة 105 °C ثم تم طحنه بمطحنة تحتوي كرات متعددة الحجم وزنها الاجمالي ١٢٦٣٥ غ للحصول على مطحون الظمي بنعومة سطح بلين بحدود = ٤٢٠٠ سم<sup>٢</sup>/غ



الشكل (٣) الفرق بين الرمل والطين والظمي من حيث حجم الحبيبات

الجدول (١) اشتراطات ASTM C618 Type N لتحديد صلاحية استخدام الإضافات من مصادر طبيعية كمستبدلات اسمنتية

SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> محتوى الأكاسيد (%)	70 min
SO <sub>3</sub> محتوى الكبريتات (%)	4 max
L.O.I الفاقد بالحرق (%)	10 max
45μ نعومة بقياس المتبقي على المنخل (%)	34 max
(%) معامل الفعالية عند ٢٨ يوم	75 min

ولتحديد أي من أنواع الظمي المدروسة يصلح لتصنيع ميتاكاولن ذو أداء بوزولاني جيد، يجب حساب محتوى أكاسيد الكاولينيت وهو الشرط الأول من اشتراطات ASTM

XRF (X-ray Fluorescence) ولزوم ذلك تم إجراء تحليل كيميائي بالأشعة السينية (X-ray) (C618 Type N) بمخابر معمل اسمنت طرطوس، والنتائج موضحة بالجدول (٢):

الجدول (٢) التحليل الكيميائي لأنواع الطمي المجرية باستخدام X-ray Fluorescence

%	طمي سد الصوراني	طمي سد الأبرش	طمي سد بلوران
SiO <sub>2</sub>	٣٢,٢٥	36.73	58.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	٥,٤٣	6.63	17.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	٧,١٢	6.18	9.45
CaO	٤٢,٢٦	38.13	9.7
MgO	٢,١٢	1.61	0.55
SO <sub>3</sub>	٣,١٥	٢.32	0.15
L.O.I	١,٦	١,٢	0.98

يتضح من الجدول السابق أن:

محتوى الأكاسيد بطمي سد الأبرش ( $36.73 + 6.63 + 6.18 = 49.54\% < 70\%$ ) ويسد الصوراني ( $32.25 + 5.43 + 7.12 = 44.8\% < 70\%$ ) لا يحقق الشرط الأول من اشتراطات ASTM C 618 Type أي أن محتوى الكاولينيت فيهما منخفض وبالتالي لا جدوى من إجراء ترميد لهما وهذا يعود لطبيعة المنطقة المحيطة بالسد ونوع الترسبات الطبيعية التي تنتج ببحيرة السد، أما محتوى الأكاسيد بطمي سد بلوران ( $58.42 + 17.8 + 9.45 = 85.67\% > 70\%$ ) فهو يحقق الشرط الأول من اشتراطات ASTM C 618 Type أي كمية الكاولينيت فيه جيدة وكافية لتصنيع ميتاكاولن، لذلك سنعمد طمي سد بلوران بهذه الدراسة لتصنيع ميتاكاولن منه وفق الاجراءات التي اعتمدها الدراسات المرجعية بهذا المجال.

ونظراً لعدم توافر معلومات مسبقة عن الترميد الأنسب لطي سد بلوران قمنا بتجريب ثلاث نظم ترميد تم اعتمادها بشكل كبير بالدراسات المرجعية لأطيان لها تركيب مشابه

تقييم الأداء البوزولاني لظمي بعض سدود  
المنطقة الساحلية لتحديد إمكانية استخدامها بخلطات الاسمنت

لظمي سد بلوران، حيث كان تزايد الحرارة يتم بمعدل  $5^{\circ}\text{C}$  في الدقيقة لتجنب الصدمة الحرارية:

الأول (SC1): الترميد بدرجة  $70^{\circ}$  مدة  $12$  ساعة (Alaa, 2013).

الثاني (SC2): الترميد بدرجة  $75^{\circ}$  مدة  $5$  ساعات (Safi, 2011, 2012, 2013) &

(Rabehi, 2014).

والثالث (SC3): الترميد بدرجة  $80^{\circ}$  مدة ساعتين مثل (Rafiza, 2012)

&(Aboubakar, 2014).

يعرف معامل الفعالية strength activity index حسب اشتراطات ASTM C 618 Type N المبينة بالجدول (1) بأنه: نسبة القيمة الوسطية ل (6 عينات) لمقاومة الضغط بعمر 28 يوم للعينة المعدلة  $20\%$  بالإضافة البوزولانية على القيمة الوسطية ل (6 عينات) لمقاومة الضغط للعينة المرجعية التي لا تحتوي إضافات وذلك باستخدام الرمل النظامي المخبري وحسب التركيب التالي:

العينة المرجعية:  $500$  غ اسمنت +  $1375$  غ رمل نظامي مخبري +  $242$  م.لتر ماء.

العينة المعدلة بالظمي:  $400$  غ اسمنت +  $100$  غ ظمي +  $1375$  غ رمل نظامي مخبري +  $242$  م.لتر ماء.

وكانت قيم معامل الفعالية من أجل نظم الترميد الثلاثة كالتالي:

(SC1=101% - SC2= 92% - SC3=94%)

من الواضح أن النظام الأول SC1 هو الأمثل لطمي سد بلوران، لأنه أعطى أكبر معامل فعالية وبالتالي أكبر قدر من السيليكا التفاعلية لذلك اعتمدناه بهذه الدراسة.



الشكل (٤) شكل الطمي قبل الترميد وبعده

الجدول (٣) التحقق من التوافق مع ASTM C618 Type N

الإشتراطات	SC١	ASTM C618	
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> محتوى الأكاسيد (%)	٨٥,٦٧	70 min	OK
SO <sub>3</sub> محتوى الكبريتات (%)	0.١5	4 max	OK
L.O.I الفاقد بالحرق (%)	١,٣٨	10 max	OK
45μم النعومة بقياس المتبقي على المنخل (%)	٣٠	34 max	OK
(%) معامل الفعالية عند ٢٨ يوم	١٠١	75 min	OK

من الجدول (٣) نجد أن طمي سد بلوران يحقق متطلبات ASTM C 618 أي يمكن استخدامه كمستبدل اسمنتي، وبعد ذلك سندرس تأثير استخدام ٢٠% منه وهي النسبة التي أوصت الدراسات المرجعية بعدم تجاوزها ومن ثم سنتحقق من أثره على الخصائص الريولوجية والميكانيكية لخلطة مونة اسمنتية مصنعة بحصويات محلية واسمنت وطني وعلى خصائص الديمومة من خلال تحديد تأثيرها على مقاومة الكبريتات والامتصاص.

#### ٥- النتائج والمناقشة:

#### ٤-١ دراسة تأثير الطمي المرمد من سد بلوران على قابلية تشغيل الخلطة:

تقييم الأداء البوزولاني لظمي بعض سدود  
المنطقة الساحلية لتحديد إمكانية استخدامها بخلطات الاسمنت

لدراسة تأثير استخدام الظمي المرمد على الخصائص الريولوجية للمونة الاسمنتية تم تجهيز خلطات بنسب Cement/Sand = 1/3 & Water/Cement = 1/2 خلطة مرجعية Control وخلطة باستبدال ٢٠% من الاسمنت بالظمي المرمد SC1. تم قياس قوام الخلطات باعتماد EN 1170-1 بتحديد قطر الانتشار لاسطوانة قطرها الداخلي ٥٧ مم والخارجي ٦٥ مم وبارتفاع ٥٥ مم الموضحة بالشكل (٥) والنتائج مبينة بالجدول (٤).



الشكل (٥) اختبار القوام حسب EN 1170-1

من الجدول (٤) يمكن أن نلاحظ أن استخدام الظمي أنقص قطر الانتشار أي قلل قليلاً قابلية تشغيل الخلطة، وهذا متوقع بسبب مساميته ومساحة سطحه الكبيرة مما يجعله يستهلك كمية أكبر من ماء الخلط، وهذا ينسجم مع نتائج كل من (Laoufi, 2016) و(Safi, 2013) ولكن مقدار النقص الحاصل بسيط حيث بقي ضمن حدود ASTM C 618 Type N التي تشترط أن لا يتجاوز تأثير الاضافة البوزولانية المستخدمة على قطر الانتشار  $\pm 5$  مقارنة بالعينة مرجعية وهذا محقق كما هو مبين بالجدول.

الجدول (٤) قيم قطر الانتشار

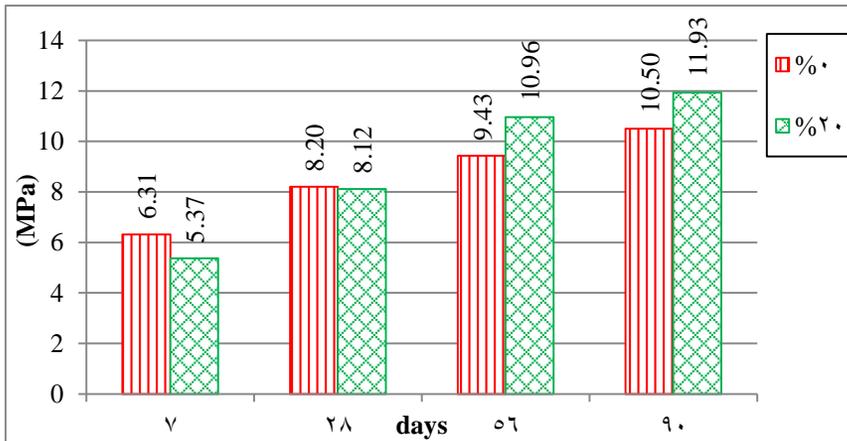
CS %	0%	٢٠%
Flow (mm)	1٦٨	15٩
Flow CON $\pm 5\% = (176.4 - 159.6)mm$	-	OK

٤-٢ دراسة تأثير الظمي المرمد من سد بلوران على مقاومة الضغط بأعمار مختلفة:

لتحديد أثر الطمي على المقاومات تم صب مواشير (٤\*٤\*١٦) مم بنسب  
Cement/Sand = 1/3 & Water/Cement = 1/2 لعينات مرجعية وأخرى معدلة  
باستبدال ٢٠% من وزن الاسمنت بالطمي المرمد وذلك لكسرها حسب EN 196-1  
ومراقبة تطور المقاومات على مدى ٩٠ يوم لتحديد أثر الطمي عليها بحسب مراحل  
الاماهة المختلفة. القيم الوسطية لمقاومة الانحناء والنتيجة عن كسر ٣ مواشير مبينة  
بالشكل (٧) والقيم الوسطية لمقاومة الضغط والنتيجة عن كسر المكعبات الستة الناتجة  
مبينة بالشكل (٨) من أجل أعمار ٧ و ٢٨ و ٥٦ و ٩٠ يوم.

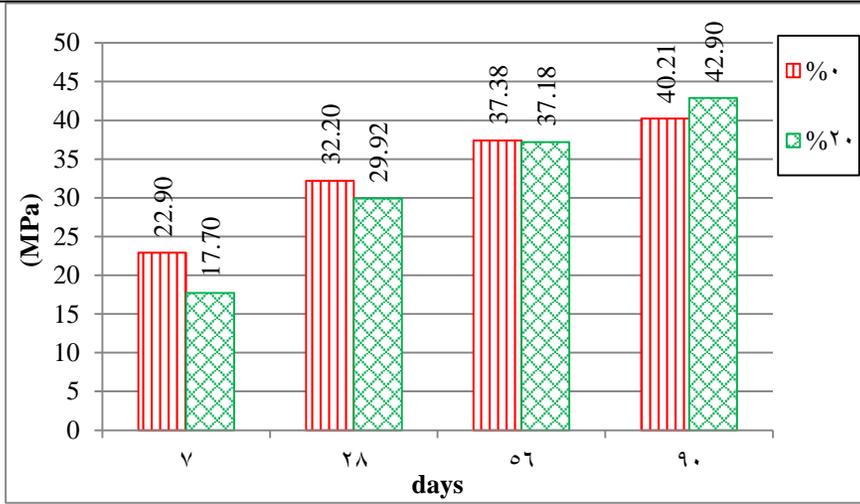


الشكل (٦) العينات المرجعية والمعدلة بالطمي ٢٠% لاختبارها حسب EN 196-1



الشكل (٧) قيم مقاومة الانحناء بأعمار مختلفة للعينة المرجعية والمعدلة بالطمي ٢٠%

تقييم الأداء البوزولاني لظمي بعض سدود  
المنطقة الساحلية لتحديد إمكانية استخدامها بخلطات الاسمنت



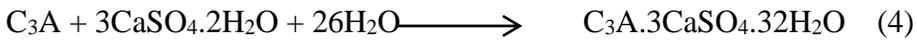
الشكل (٨) قيم مقاومة الضغط بأعمار مختلفة للعيونة المرجعية والمعدلة بالظمي ٢٠%

نلاحظ أن استخدام الظمي أنقص المقاومات وخاصة مقاومة الضغط أكثر من الشد بالانعطاف بعمر ٧ و ٢٨ يوم وتحسنت المقاومات بعمر ٥٦ لتصبح بعمر ٩٠ يوم أعلى من العينة المرجعية، ويفسر ذلك بأن إماهة الظمي أبطأ من إماهة الكلنكر بسبب طبيعته المنزالية التي تجعله أبطأ من الكلنكر بتفاعلات الإماهة، فالفعل البوزولاني بأعمار مبكرة لا يزال غير فعال كفاية لتعويض النقص الحاصل بروابط C-S-H الناتج عن حذف كمية من  $C_3S$  وهذا المسؤول بشكل أساسي عن إنقاص المقاومات بأعمار مبكرة، حيث يؤكد (Demir , 2011) و (Ezziane , 2010) أن روابط C-S-H & C-A-S-H المتشكلة من المواد البوزولانية أقل كثافة من التي يشكلها الكلنكر وتحتاج لوقت أطول لتصبح أكثر كثافة وقدرة على منح مقاومات. ولكن مع الوقت يزداد تأثير الفعل البوزولاني باستهلاك البورتلانديت وتشكيل روابط C-S-H & C-A-S-H جديدة، لذلك عادت وتحسنت مقاومات العينات الحاوية على الظمي.

## ٤ - ٣ تأثير الطمي المرمد من سد بلوران على مقاومة الكبريتات:

تعتبر مقاومة الكبريتات من أهم معايير الديمومة خصوصاً بالبيئات العدائية والقاسية، هذا من جهة ومن جهة أخرى معيار هام جداً لتقييم الأداء البوزولاني للإضافة، لذلك تم صب مواشير (٤\*٤\*١٦) مم من عينات مرجعية وأخرى معدلة باستبدال ٢٠% من وزن الاسمنت بالطمي المرمد. وبعد حفظ القوالب ٢٤ ساعة برطوبة ٩٥% تم فك القوالب وغمر المواشير بمحلول كبريتات الصوديوم  $Na_2SO_4$  بتركيز ٥% مدة ٦٠ يوم وتم تبديل المحلول كل أسبوعين مرة مثل (Rabehi, 2014) & (Demir,2011).

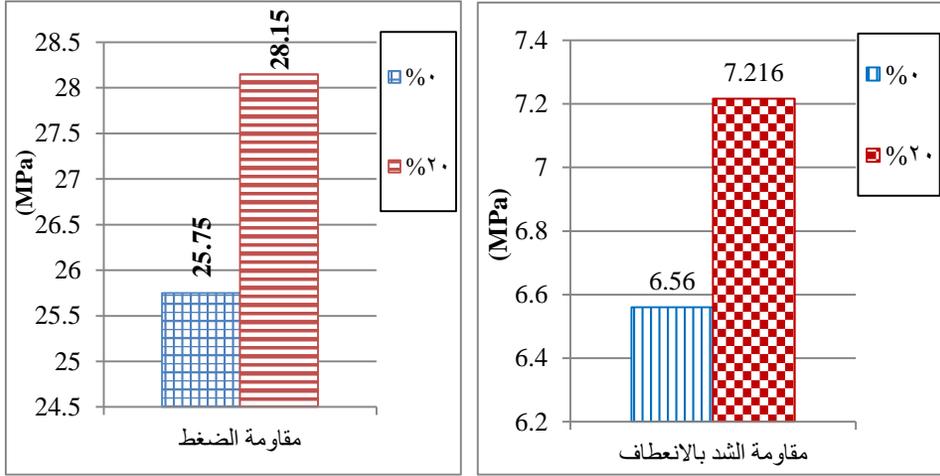
يظهر أثر الكبريتات على الخلطة بسبب التمدد الحاصل بالعجينة الاسمنتية بسبب تشكل الجبس السريع الذوبان والذي ينتج من تفاعل البورتلانديت مع الكبريتات وفق المعادلة (3)، والذي يتفاعل بدوره بوجود الماء مع  $C_3A$  الموجود بالاسمنت ليتشكل الاترنغايت  $C_3A.3CaSO_4.32H_2O$  Ettringite وفق المعادلة (4) حيث يسبب الاترنغايت الناتج التشققات التي تتغلغل منها المواد المخربة وبالتالي تنقص المقاومات بسبب تهتك العجينة الاسمنتية (ACI 201.2R-01, 2001).



وبعد انتهاء ٦٠ يوم من الغمر بالكبريتات تم اخضاع العينات للكسر حسب EN 196-1 والشكل (٩) يظهر قيم المقاومات على الشد بالانعطاف وعلى الضغط للعينات المرجعية والمعدلة بالطمي ٢٠% حيث نجد أن العينات المعدلة بالطمي كانت مقاومتها أعلى لهجمات الكبريتات من العينة المرجعية، ويفسر ذلك بفضل الفعل البوزولاني الجيد للطمي المستخدم باستهلاك كمية أكبر من البورتلانديت وبالتالي التقليل من كمية الجبس المتشكل، أضف لأن حذف نسبة من الاسمنت يعني حذف نسبة من  $C_3A$  كل ما سبق قلل كمية الاترنغايت المتشكل، هذا بالإضافة لدور الطمي بزيادة كمية C-S-H التي ملأت الفراغات والمسام وعاققت نفاذية الكبريتات وبالتالي حسنت المقاومات (Rabehi,

تقييم الأداء البوزولاني لظمي بعض سدود  
المنطقة الساحلية لتحديد إمكانية استخدامها بخلطات الاسمنت

(Demir, 2011)&2014) وكان من المتوقع أن نحصل على نسب تحسن أكبر فيما لو أطلنا فترة الغمر لأن الفعل البوزولاني يزداد تأثيره كلما مر الزمن.



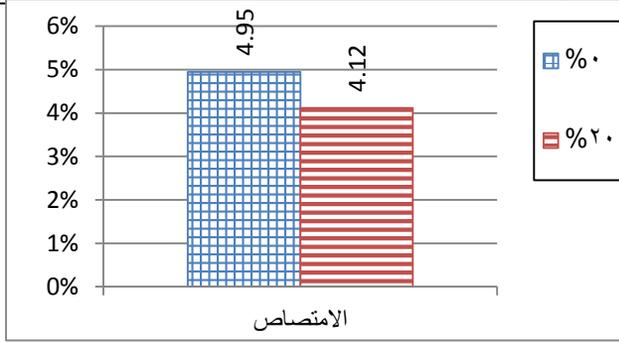
الشكل (٩) قيم مقاومة الضغط والانعطاف للعينات المرجعية والمعدلة بالظمي بعد الغمر بالكبريتات

#### ٤ - ٣ تأثير الظمي المرمد من سد بلوران على امتصاص الخلطة:

بالإضافة لكون الامتصاص خاصية فيزيائية مهمة أيضاً تعتبر من أهم النقاط الدالة على ديمومة الخلطة. لذلك تم حساب الامتصاص بأخذ مقدار حوالي ١ كغ من المواشير المصبوبة من خلطات مرجعية وأخرى معدلة بالظمي بعمر ٩٠ يوم وتم أخذ وزنها الجاف M1 بعد وضعها بالفرن بدرجة ١٠٥° مدة ٢٤ ساعة، ثم تم غمرها ٢٤ ساعة بالماء وحساب وزنها المشبع بالهواء M2 بعد تجفيف سطحها بمنديل وحساب قيم الامتصاص الموضحة بالشكل (١٠) وحسب العلاقة:

$$\text{Absorption} = (M2 - M1) / M1$$

نلاحظ من الشكل (١٠) أن الامتصاص قل بالعينه المعدلة بالظمي بحدود ٢٠ % وهذا يعود لطبيعة حبيباته التي تتمتع بقلة المسامية من جهة، ومن جهة أخرى قدرته بعمر ٩٠ يوم على تشكيل C-S-H & C-A-S-H جديدة والتي من شأنها أن تحسن اكتناز الخلطة وتشكل ما يشبه غشاء Membrane معوقاً يقلل الامتصاص (Mas , 2015).



الشكل (10) قيم الامتصاص للعينات المرجعية والمعدلة بالظمي ٢٠%

#### ٥- الاستنتاجات والتوصيات:

تم من خلال هذه الدراسة تقييم الأداء البوزولاني لظمي تم أخذه بالاستعانة بغواص من سدود من المنطقة الساحلية (سد- الأبرش - سد بلوران - سد الصوراني) لتحديد الأداء البوزولاني لها وبالتالي إمكانية استخدام أي منها كمستبدل اسمنتي وتوصلنا للآتي :

- ١- لم يحقق ظمي سد الصوراني وظمي سد الأبرش متطلبات ASTM C618 وبالتالي لا يصلح الظمي المتراكم بكل منها للاستخدام كمستبدل اسمنتي.
- ٢- حقق ظمي سد بلوران متطلبات ASTM C618 وذلك بعد ترميده بالطرق العلمية وبالتالي يمكن اعتباره مادة بوزولانية صالحة للاستخدام بخلطات الاسمنت.
- ٣- تم تجريب ثلاث نظم لترميد ظمي سد بلوران واختيار الأمثل، فكان الترميد بدرجة حرارة ٧٠٠ مدة ١٢ ساعة الأفضل، حيث أعطى الترميد بهذا الأسلوب معامل فعالية بقيمة 101% عند عمر ٢٨ يوم وهي قيمة جيدة جداً.
- ٤- قلل استخدام ظمي سد بلوران قابلية تشغيل الخلطة الطرية بسبب نعومته ولكن بقي ضمن الحدود التي تحددها المواصفة ASTM C618.
- ٥- أنقص استخدام الظمي المقاومات وخاصة مقاومة الضغط أكثر من مقاومة الشد بالانعطاف بعمر ٧ و٢٨ يوم وتحسنت بعمر ٩٠ يوم لتصبح أعلى من المرجعية

تقييم الأداء البوزولاني لطمي بعض سدود  
المنطقة الساحلية لتحديد إمكانية استخدامها بخلطات الاسمنت

٦- حسن طمي سد بلوران مقاومة الخلطة للكبريتات وقلل الامتصاص ولهذا أهمية بتحسين ديمومتها.

**التوصيات:**

١- إمكانية استخدام الطمي المرمد من سد بلوران كمستبدل اسمنتي حتى ٢٠% أو بصناعة اسمنت بوزولاني محلي مخفض الكلفة وصديق للبيئة، لأغراض تحسين الديمومة والتقليل من استهلاك الاسمنت لما لذلك من أهمية بيئية واقتصادية. فبالرغم من أن استخدام الطمي قلل المقاومات بأعمار مبكرة وخاصة مقاومة الضغط أكثر من مقاومة الشد بالانعطاف ولكن حسن خصائص الديمومة بشكل واضح، ولكن كون أن المصممون لا يزالون يعتمدون بالتصميم على المقاومات باعتبارها معيار مهم لتصميم العناصر الحاملة (load-bearing) الأمر الذي جعل من استخدام المخلفات كمستبدلات اسمنتية محدود عملياً بالرغم من النتائج البحثية الجيدة تجاه تحسين خصائص الديمومة، ولكن التوجهات الحديثة بالتصميم تركز على موضوع الديمومة فمن غير المجدي تصميم خلطة بمقاومة عالية بخلطة لا يتمتع بديمومة جيدة خصوصاً (2001 , ACI 201.2 R-01). وللفاقين من كون استخدام المخلفات ينقص مقاومة الضغط نوصي أنه يمكن استخدامها بالعناصر التي لا تعمل على الضغط بشكل أساسي أو بالعناصر غير الحاملة أو التي تكون عرضة للاهتراء أكثر مثل بيتون الأرضيات وبلاطات الارصفة وكذلك بالعناصر التي تكون ببيئات عدائية ككراجات السيارات والبيئات الساحلية... الخ حيث يكون موضوع الديمومة حرجاً.

٢- دراسة أثر الطمي المستخدم على نقاط أخرى لم تتناولها الدراسة الحالية كخصائص الانكماش وزمن الشك أو مقاومة الأحماض والقلويات.

٣- تجريب استخدام نسب أخرى من طمي سد بلوران (٥% - ١٠% - ١٥%...) لتحديد النسبة المثلى للاستبدال من هذا الطمي.

٤- فتح آفاق البحث حول إمكانية استخدام طمي سد بلوران المرمد في صناعة البلوك أوالقرميد أوالسيراميك بفضل خصائصه البوزولانية العالية بهدف توفير المصادر الطبيعية للغضار الذي تصنع منه هذه المنتجات.

٥- فتح آفاق البحث والعمل باتجاه استخدام طمي سد بلوران بتصنيع اسمنت بوزولاني محلي صديق للبيئة.

٦- المراجع:

- 1- ABOUBAKAR, M. and et al. 2014, **A Study on the Effect the addition of thermally treated Libyan Natural Pozzolan on the echanical Properties of Ordinary Portland Cement Mortar.** International Journal of Science and Technology, Vol. 3, No, 1, 79-84.
- 2- ACI Committee 201.2R-01. 2001, **Guide to Durable Concrete.** American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 41.
- 3- ACI Committee 232.1R. 2001, **Use of Raw or Processed Natural Pozzolans in Concrete.** American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 24.
- 4- ALAA, R. 2013, **Metakaolin as cementitious material: History, scours, production and composition.** Construction and Building Materials, Vol. 41, 303-318.
- 5- ANSAL, J. and et al. 2014, **Calcined Clay Pozzolan as an Admixture to Mitigate the Alkali-Silica Reaction in Concrete.** Journal of Materials Science and Chemical Engineering, Vol. 2, 20-26.
- 6- ANTONI, R. and et al. 2013, **Effects of Calcination Temperature of LUSI Mud on the Compressive Strength of Geopolymer Mortar.** Advanced Materials Research, Vol. 626, No. 213, 224-228.
- 7- ASTM C618-12a: Type N. 2012, **Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use in Concrete.** American Society of Testing and Materials, West Conshohocken, 3.
- 8- BELAS, N. and et al. 2014, **Enhancing value of dam Dredged sediments as a component of a self- compacting concrete.** Intenational Jornal of Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 14, No. 12, 110-116.
- 9- BORGES, P. et al. 2016, **Performance of blended metakaolin/blastfurnace slag alkali-activated mortars,** Cement and Concrete Composites , Vol. 71, 42–52.

- 10- DINIKAR, P. et al. 2013, **Effect of Metakaolin Content on the Properties of High Strength Concrete**, International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol. 7, No. 3, 215-223.
- 11-DEMIR, I. ؛ YAPRAK, H. 2011, **Performance of cement mortars replaced by ground waste brick in different aggressive conditions**. J Ceramics Silikaty, Vol. 55, No. 3, 268-275.
- 12-EN 1170: Parts – 1 **Measuring the plasticity of the mortar- 'Slump test' method.**
- 13-EN 196-1, **Methods of testing cement, Part1:**  
Determination of strength.
- 14-FERNANDEZ, R. 2009, **Calcined Clayey Soils as a Potential Replacement for Cement in Developing Countries**. Ph. D thesis, Lausanne university, 178.
- 15-KEPPERT, K. and et al. 2014, **Waste ceramics as supplementary cementitious material: characterization and utilization**. Transactions on Ecology on The Built Environment, Vol. 142, 231-239.
- 16-KHAN, S. and et al. 2013, **Application of Tarbela Dam RESERVOIR (TDR) silt as a Pozzolan and Production of Cement from TDR Silt**. MS. Thesis, Peshawar University, Pakistan, 75.
- 17-LAOUIFI, L. and et al. 2016, **Valorization of mud from Fergoug dam in manufacturing mortars**. Case Studies in Construction Materials, Vol. 5, December, 26–38.
- 18-LARA R. et al. 2011, **Study of the addition of calcined clays in the durability of concrete**, Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 26, No. 1, 25-40.
- 19-MALHOTRA,M. and et al. 2000, **Role of Supplementary Cementing Materials in Reducing Greenhouse Gas Emissions**. International Workshop on Concrete Technology for a Sustainable Development in the 21st Century, London& New York.

- 20-MAS, M. et al. 2015, **Ceramic tiles waste as replacement material in Portland cement.** Advances in Cement Research, II, 1-12.
- 21-MEYER, C., 2009, **The greening of the concrete industry.** Cement and Concrete Composites, Vol. 31, 601–605.
- 22-MALU, S. and et al. 2013, **Characterization of Mbayion Clay for its Industrial Potentials.** Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences, 4(6), 769-772.
- 23-RABEHI, B. and et al. 2012, **Study of calcined halloysite clay as pozzolanic material and its potential use in mortars.** International Journal of the Physical Sciences, Vol. 7, No. 31, 5179-5192.
- 24-RABEHI, B. and et al. 2014, **Potential Use of Calcined Silt of Dam as a Pozzolan in Blended Portland Cement.** International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol. 8, No. 3, 259-268.
- 25-RAFIZA, A. and et al. 2012, **Comparison of original and sintered LUSI Mud volcano as Geopolymer Raw Material.** AdvancedScience Letters, Vol. 19, No. 1, 174-178.
- 26-SAFI, B. and et al. 2011, **Rheology and zeta potential of cement pastes containing calcined silt and ground granulated blast-furnace slag.** Matériaux de Construction, Vol. 61, No. 303, 353–370.
- 27-SAFI, B. and et al. 2012, **Use of silt dams as supplementary cementitious material in self -compacting concrete : effect on physical and mechanical properties.** Recycling, Vol. 4, 791-804.
- 28-SAFI, B. and et al. 2013, **Effect of the heat curing on strength development of self-compacting mortars containing calcined silt of dams and Ground Brick Waste.** Materials Research, Vol. 16, No. 5, 439-446.
- 29-TERREZA, M. and et al. 2017, **Portland blended cements: demolition ceramic waste management.** Materials DE Construction, Vol. 67, No. 325, 114-119.
- 30-TYDLITAT, V. and et al. 2012, **Hydration Heat Development in Blended Cements Containing Fine-ground Ceramics.** Thermochemica Acta, Vol. 543, 125 – 129.