

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 12

1443 هـ . 2022 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

1. مقدمة.
2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
3. أهداف البحث و أسئلته.
4. فرضيات البحث و حدوده.
5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
7. منهج البحث و إجراءاته.
8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
9. نتائج البحث.
10. مقترحات البحث إن وجدت.
11. قائمة المصادر والمراجع.

7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:

- أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض .

- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر ، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى .
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .
وفيما يلي مثال على ذلك:

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
30-11	د. علي خيربك د. لما سعود غدير ابراهيم	دراسة تأثير إضافة البوزولانا الطبيعية السورية على مقاومة البيتون ذاتي التوضع للأوساط الحامضية
44-31	علي معين خضور د. رامي العبد علي خضور	دراسة تأثير إضافة الرمل البحري والاسمنت مع البنتونايت على مواصفات قص البنتونايت
80-45	دارين جابر نوفل ديم حنان كامل درويش ديم عدنان أحمد محمد ديم فادي عز الدين شعبان	توليد نموذج رقمي للارتفاعات من صور الأقمار الصناعية (<i>Sentinel-1</i>) باستخدام تقنية التداخل الراداري - منطقة الدراسة: تلخلخ - القرينين في سورية
100-81	د. عارف السويدي د. ابراهيم حمود د. أيمن المذنب	الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن كمحسن غير تقليدي وتأثيره على خواص الانتفاخ والانكماش في التربة الغضارية الانتفاخية
120-101	د. مروان الخوري د. عبد القادر الجندي داليا فرج أولاد	دراسة تطور مقاومة المونة الإسمنتية باستخدام نوعي الإسمنت الأكثر شيوعاً في سوريا (البورتلاندي العادي والمقاوم للكبريتات)

144-121	د. عماد الدين كنجو شذا علي مرهج	نمذجة وإدارة الصيانة الدورية للمراكز الصحية
---------	------------------------------------	--

دراسة تأثير إضافة البوزولانا الطبيعية السورية على مقاومة البيتون ذاتي التوضع للأوساط الحامضية

الأستاذ الدكتور المهندس علي خيربك *

الدكتورة المهندسة لما سعود **

المهندس غدير علي ابراهيم ***

الملخص:

تُعتبر البوزولانا من المواد الطبيعية مثل الرماد البركاني وبعض الترب المحتوية على أكاسيد السيليكون المتبلور. ويقتصر وجودها على بعض البلدان في العالم ومنها سوريا. صنّف الدليل الأوربي للبيتون ذاتي التوضع المواد البوزولانية من الإضافات التي تحسن من الخصائص الريولوجية للبيتون والتي ترتبط بالتشغيل والجريان ومقاومة الانفصال الحصري، وتزيد من ثبات البيتون في حالته الطرية، إذ تخفض حركة الماء ضمن البيتون الطري كما تحمي من حصول ظاهرة النزف فيه. يركز هذا البحث على دراسة تحسين خصائص الديمومة للبيتون ذاتي التوضع بإضافة البوزولانا الطبيعية السورية بنسب مختلفة، وذلك باعتماد إحدى معايير الديمومة والتي تتمثل بمقاومة البيتون لتخرب بنيته بفعل الهجوم الحمضي. ولإنجاز ذلك قمنا بتصميم خلطات بيتونية تختلف فيما بينها بنسب إضافة البوزولانا الطبيعية، وقياس بارامترات التأثر بالأحماض كتغير مظهر العينات، وفقدان الكتلة، وفقدان المقاومة وذلك بمقارنة قياس تأثر عينات لم يتم فيها استخدام البوزولانا الطبيعية، وعينات أخرى استخدمت فيها بنسب إضافة مختلفة. توصل البحث إلى أنّ استخدام البوزولانا الطبيعية في البيتون ذاتي التوضع يؤثر بشكل واضح على ديمومته ومقاومته للغمر بالأحماض، إذ تبين أن إضافة البوزولانا بمعدل 125kg/m^3 يزيد من ديمومة البيتون من خلال الفقدان الطفيف للمقاومة مقارنة ببيتون

لم تستخدم فيه البوزولانا الطبيعية، مع تسجيل الحد الأدنى أيضاً لفاقد الكتلة بالاهتراء بعد الغمر بمحلول حمضي من حمض الكبريت.

الكلمات المفتاحية: البيتون ذاتي التوضع، ديمومة البيتون، البوزولانا الطبيعية، مقاومة الأحماض، فاقد الكتلة، فاقد المقاومة.

* أستاذ في قسم هندسة وإدارة التشييد في كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

** مدرس في قسم هندسة وإدارة التشييد في كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

*** طالب ماجستير في قسم هندسة وإدارة التشييد في كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

A study of the effect of adding Syrian natural pozzolana On the resistance of concrete to acidic media

Prof. Dr. Eng. Ali Kheirbek*

Dr. Eng. Lama Saoud**

Eng. Ghadeer Ali Ibrahim***

Abstract

Pozzolana is a naturally occurring substance such as volcanic ash and some soils containing crystalline silicon oxides. Its presence is limited to some countries in the world, including Syria. The European guide for Self-Compacting Concrete classified pozzolanic materials as additives that improve the rheological properties of concrete and its related to operation, flow and resistance to gravel separation, and increase the stability of concrete in its soft state, it reduces the movement of water within the soft concrete and protects against the occurrence of bleeding in it. This research focuses on the study of improving the durability properties of Self-Compacting Concrete by adding natural Syrian pozzolana in different proportions, by adopting one of the criteria for durability, which is the resistance of the concrete to being destroyed by the acid attack.,To achieve this, we designed concrete mixtures that differ among themselves in the proportions of adding natural pozzolana, and measured the acid-susceptibility parameters such as changing the appearance of the samples, loss of mass, and loss of resistance by comparing with measuring the susceptibility of samples in which natural pozzolana was not used, and other samples in which different addition rates were used. The research concluded that the use of natural pozzolana in Self-Compacting Concrete clearly affects its durability and resistance to immersion in acids, as it was found that adding pozzolana at a rate of 125 kg/m³ increases the durability of concrete through a slight loss of resistance compared to concrete in which natural pozzolana was not

used, while also recording the minimum mass loss by wear after immersion in an acidic solution of sulfuric acid.

Key words: Self-Compacting Concrete, permanence of concrete, natural pozzolana, Acid resistance, loss of mass, loss of resistance.

* Professor, Department of Construction and Management Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Teacher, Department of Construction and Management Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Master Degree, Department of Construction and Management Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

- مقدمة:

تعتبر مقاومة البيتون للعوامل الخارجية المخربة وديمومته الجيدة أحد أهم الاعتبارات للحفاظ على العناصر الإنشائية من الاهتلاك والتخريب درءاً لأي مخاطر قد تهدد المنشآت البيتونية، ولم يتردد الباحثون عن الخوض في دراسة تحسين مقاومة البيتون وتحسين ديمومته ومواصفاته الميكانيكية. ومع التطور العمراني والصناعي الهائل، تسارعت الأبحاث العلمية بشكلٍ مكثفٍ للبحث والاستقصاء الدقيق عن تطوير خصائصه ومواصفاته العملية، الأمر الذي شجّع على إيجاد أساليب جديدة لاستعمال مواد البناء المتوفرة محلياً في إنتاج بيتون مقاوم للأحماض والمواد المخربة الأخرى بما يتوافق مع الاشتراطات والمواصفات العالمية. وهو ما دفع للقيام بهذا البحث الذي سيتطرق إلى تأثير إضافة البوزولانا الطبيعية السورية للبيتون ذاتي التوضع على ديمومته ومقاومته للأحماض باعتبار أن هذه المادة متوفرة بكميات كبيرة في سوريا، استثمر منها على مدى العقود الماضية جزء بسيط جداً في صناعة الاسمنت.

1-1- البيتون ذاتي التوضع (Self-Compacting Concrete SCC):

هو البيتون الذي يتميز بقابليته العالية للجران وعدم الانفصال وإمكانية الانتشار وملء القالب وتغليف التسليح دون الحاجة إلى أي عملية رج ميكانيكي [1]. وهو بيتون عالي التشغيل يمكنه الجريان عبر التسليح الكثيف أو العناصر الإنشائية المعقدة تحت تأثير وزنه الذاتي حيث يملأ الفراغات دون فصل للحبيبات وذلك دون الحاجة لأي عملية رج من أجل تجانسه وتسوية سطحه [2].

يمكن تلخيص أهم إيجابيات البيتون ذاتي التوضع بما يلي [3]:

- تحقيق جودة عالية وتجانس في البنية كيفما كان شكل العنصر الإنشائي، ومهما زادت كثافة تسليحه.
- تخفيض العمالة والمعدات والتوفير في تكاليفها.
- عدم الحاجة للرجاجات الآلية أو اليدوية لتحقيق الاكتناز المطلوب وعمليات إنهاء وتسوية السطوح العلوية.

- تسريع عملية التشييد من خلال الإنتاجية العالية في معدلات الصب واختصار زمن الرج واختصار نقاط تمركز المضخة وتحركها ضمن الموقع وسهولة وصول الجبالات مما سيؤدي إلى توفير في الوقت والموارد.
- تخفيض مستوى الضجيج في المشروع من خلال عدم تشغيل الرجاجات الآلية مما سينعكس إيجاباً على عمليات تواصل الأشخاص ضمن الورشة.

2- أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث بشكلٍ رئيسي إلى دراسة تأثير إضافة البوزولانا الطبيعية السورية إلى البيتون ذاتي التوضع كبديل عن المواد المستوردة غالية الثمن كهباب السيليس وغيرها من الإضافات معدلات اللزوجة، وتأثير ذلك على الخصائص الميكانيكية وخصائص الديمومة للبيتون ذاتي التوضع.

تتركز أهمية البحث في التحقق من مدى جودة وكفاءة هذه المادة الطبيعية الموجودة بكثرة في سورية من خلال استخدامها في البيتون ذاتي التوضع ودراسة مقاومته للتأثيرات الحمضية، وبالتالي تأمين ديمومة عالية للبيتون ذاتي التوضع باستخدام مواد ذات منشأ محلي.

على الرغم من تواجد البوزولانا الطبيعية بكثرة في بلادنا، ما زلنا إلى يومنا هذا نستورد مواد يمكن أن تكون البوزولانا بديلاً لها كهباب السيليس والرماد المتطاير والإضافات المعدلة للزوجة، وهي مواد غالية الثمن مقارنة بسعر البوزولانا الطبيعية التي يمكن أن تعمل على معالجة الكثير من عيوب البيتون التقليدي كانهصال الحصى والنفزف والانكماش والتأثر بالبيئة المخربة.

3- طرائق البحث ومواده:

تم اعتماد المنهجية التجريبية في إجراء البحث من خلال اعتماد نسب إضافة مختلفة للبوزولانا الطبيعية ودراسة تأثير هذه الإضافة على الخصائص الميكانيكية كالمقاومة على الضغط البسيط، وخصائص الديمومة من خلال مقاومة الأوساط الحمضية وقياس الظواهر المرافقة لهذا التأثير كفقان الكتلة والمقاومة الميكانيكية.

تم إحضار البوزولانا من منطقة السويداء وطحنها لنعومة قريبة من نعومة الإسمنت في مخبر معمل إسمنت طرطوس.

أما المواد التي تم استخدامها في هذا البحث فكانت:

أ- حصىات طبيعية بمقاسات مختلفة من مقالع حسياء بمعامل اهتراء وفق لوس أنجلوس $LA=12,18\%$.

ب- رمل خشن $D_{max}=5mm$ من مقالع حسياء معامل نعومته 4.19 بمكافئ رملي $ES=86\%$ ، و كتلة حجمية صلبة $\rho_s=2,71g/cm^3$.

ج- رمل ناعم $D_{max}=1mm$ من مقالع الصنوبر معامل نعومته 1.39، بمكافئ رملي $ES=83\%$ ، و كتلة حجمية صلبة $\rho_s=2,55 g/cm^3$.

د- بوزولانا طبيعية من منطقة تل شبحان في السويداء: بنعومة قريبة من نعومة الاسمنت ودليل فعالية 89%، كتلة حجمية صلبة $\rho_s=2,6g/cm^3$. ونعومة قريبة من نعومة الاسمنت.

هـ- إسمنت بورتلاندي عادي أسود من النوع الأول Type I إنتاج معمل إسمنت طرطوس بصنف 32,5.

و- ماء للحبل: صالح للشرب.

ز- ملدن عالي الأداء محلي الصنع من شركة آيلا السورية (Flocrete SP100) مصنع وفق المواصفات القياسية السورية درجة اشباعه 2% من وزن الاسمنت.

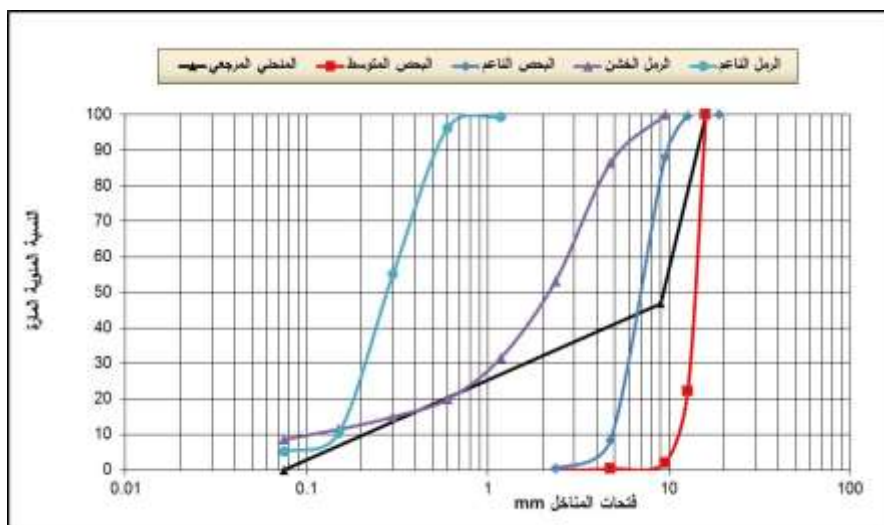
يمكن تقسيم العمل المخبري إلى المراحل الآتية:

- فرز الحصىات للحصول على قطر أعظمي يتوافق مع متطلبات صناعة البيتون ذاتي التوضع [4].
- توصيف الإحضارات الطبيعية من خلال إجراء الاختبارات اللازمة عليها (التدرج الحبي، قياس الكتلة الحجمية الظاهرية والكتلة الحجمية الصلبة، قياس معامل الاهتراء وفق لوس أنجلوس، قياس المكافئ الرملي، درجة الاشباع للملدن، دليل الفعالية للبوزولانا الطبيعية).

- تصميم الخلطة البيتونية المناسبة باستخدام الطريقة الفرنسية (Dreux-Gorisse) [5] مع الأخذ بعين الاعتبار المتطلبات الخاصة للبيتون ذاتي التوضع.
- صب عينات البيتون وفق نسب الإضافة المختلفة ودراسة تأثير الخصائص الميكانيكية وخصائص الديمومة وفق نسب الإضافة.

3-1- توصيف الإحضارات:

يبين الشكل (1) منحنيات التدرج الحبي للحصويات المختلفة التي تم مزجها والمنحني المرجعي وفق الطريقة الفرنسية (Dreux-Gorisse) المستخدمة في تصميم الخلطات البيتونية حيث تراوح قطر الحصويات المتوسطة بين 4.75 مم و16 مم، والحصويات الناعمة بين 2.36 مم و12.7 مم، والرمل الخشن بين 0.01 مم و5 مم، والرمل الناعم بين 0.01 مم و1 مم.



الشكل (1) منحنيات التدرج الحبي للحصويات المستخدمة

أجريت اختبارات الكتلة الحجمية الظاهرية والصلبة ومعامل لوس أنجلوس والمكافئ الرملي للحصويات المستخدمة. يبين الجدول (1) نتائج هذه الاختبارات.

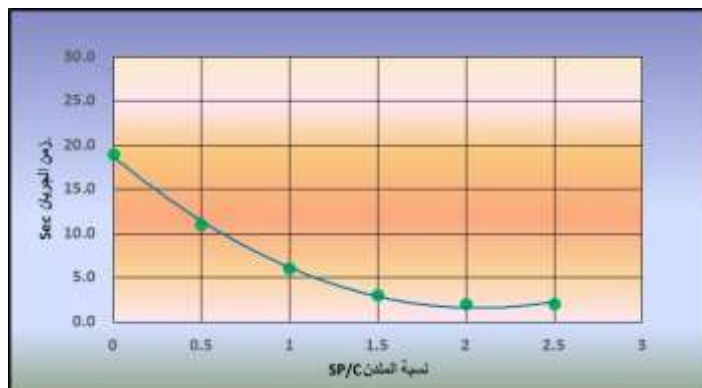
الجدول (1) قيم الكتل الحجمية ومعامل الاهتراء للحصويات المختبرة

المكافئ الرملي (%)	عامل الاهتراء وفق لوس أنجلوس %	الكتلة الحجمية الصلبة Kg/l	الكتلة الحجمية الظاهرية Kg/l	العينة
-	12.18	2.74	1.45	البحص المتوسط
-		2.7	1.46	البحص الناعم
86	-	2.71	1.5	الرمل الخشن
83		2.6	1.5	الرمل الناعم

تُقَبَل هذه القيم للاستعمال في إنتاج البيتون ذاتي التوضع حسب الدليل الأوربي للبيتون ذاتي التوضع [4]. ولحساب درجة الإشباع بالملدن والذي يدل عليه زمن الجريان قمنا باستخدام جهاز المانيايبيليمتر للمونة الاسمنتية الطرية قبل صبها في القوالب (يمكن لجهاز المانيايبيليمتر قياس زمن جريان المونة الاسمنتية ضمن حيز مقطعه مستطيل تجري ضمنه المونة الإسمنتية بفعل رجاج داخلي بعد نزع الحاجز حتى تصل إلى خط مرجعي في نهاية المقطع المستطيل فيكون زمن الجريان هو زمن وصول المونة إلى هذا الخط.)، وقمنا بتركيب خلطات مختلفة من المونة اسمنتية تختلف فيما بينها بنسبة الملدن المضافة، وكانت النتائج كما في الجدول (2) والشكل (2):

الجدول (2) قيم زمن جريان المونة لحساب نسبة الإشباع بالملدن

مكونات الخلطات						
رمز الخلطة	0	0.5	1	1.5	2	2.5
رمل ناعم (gr)	1350	1350	1350	1350	1350	1350
ماء (gr)	270	270	270	270	270	270
اسمنت (gr)	450	450	450	450	450	450
ملدن (gr)	0	2.25	4.5	6.75	9	11.25
نسبة الملدن % (SP/C)	0	0.5	1	1.5	2	2.5
زمن الجريان (sec)	19	11	6	3	2	2



الشكل (2) قيم زمن جريان المونة ونسبة الإشباع بالملدن

ثبتت نتائج زمن الجريان عند 2 ثانية بجهاز المانيا بليمتر عند إضافة ملدن بنسبة إشباع تعادل 2% من وزن الاسمنت.

تم حساب دليل فعالية البوزولانا المستخدمة بشكل تجريبي مخبرياً حيث قمنا بصب مواشير من المونة النظامية بخلطتين، الأولى بدون بوزولانا، والثانية باستبدال 25% من وزن الاسمنت بالبوزولانا لنقوم بقياس مقاومتها على الضغط البسيط للوصول إلى دليل فعالية البوزولانا الطبيعية.

يُعطى دليل الفعالية i بالعلاقة:

$$i = \frac{f_c}{f_{c0}}$$

حيث f_c مقاومة المونة مع البوزولانا على الضغط البسيط، و f_{c0} مقاومة المونة النظامية بدون البوزولانا على الضغط البسيط.

بلغت قيمة دليل فعالية البوزولانا المستخدمة 0.89

3-2- تصميم خلطات البيتون ذاتي التوضع:

تم اعتماد الطريقة الفرنسية (Dreux-Gorisse) في تصميم الهيكل الحصوي لخلطات البيتون ذاتي التوضع. تم تثبيت محتوى الإسمنت بمعدل $C=400\text{Kg/m}^3$ وتم اعتماد المقاومة التصميمية $R_c=200\text{Kg/cm}^2$ ، حصلنا على ست خلطات للبيتون ذاتي التوضع بمحتوى إضافة مختلف للبوزولانا يتراوح بين 0 و 200Kg/m^3 :

$$P_{ozz}=50, 100, 125, 150, 200\text{Kg/m}^3$$

نبين في الجدول 3 تركيب خلطات البيتون ذاتي التوضع الخمس التي تم تصميمها في هذا البحث.

الجدول (3) التصاميم الوزنية لخلطات البيتون ذاتي التوضع وفق Dreux-Gorisse

مكونات الخلطات الحصوية						
C200P	C150P	C125P	C100P	C50P	C0P	رمز الخلطة
489	506	515	523	540	557	البحص المتوسط (kg/m^3)
277	287	292	296	306	315	البحص الناعم (kg/m^3)
347	359	364	370	382	394	الرمال الخشن (kg/m^3)
401	414	421	428	442	456	الرمال الناعم (kg/m^3)
400	400	400	400	400	400	الإسمنت (kg/m^3)
200	150	125	100	50	0	البوزولانا (kg/m^3)
8	8	8	8	8	8	الملدن (kg/m^3)
223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	الماء (kg/m^3)

3-3- تحضير عينات البيتون المصبوب مخبرياً والتحقق من اشتراطات البيتون ذاتي التوضع:

بعد صب الخلطات البيتونية الخمس تم إجراء اختبارات المطابقة على البيتون الطري للتأكد من تحقيقه مؤشرات البيتون ذاتي التوضع وهي:

- قياس قدرة البيتون على الجريان (L-Box).
- قياس قدرة البيتون الطري على الانتشار (قطر الانتشار).
- قياس مقاومة البيتون الطري للانفصال الحبيبي (الاستقرار على المنخل).

يوضح الجدول (4) نتائج الاختبارات الريولوجية للبيتون الطري للمخلطات الخمس المنفذة، والتي يظهر من خلالها تحقيق اشتراطات البيتون ذاتي التوضع وفق الدليل الأوروبي للبيتون ذاتي التوضع [4]. كما يوضح الشكل (3) جانباً من اختبارات التحقق من اشتراطات البيتون ذاتي التوضع.

الجدول (4) نتائج الاختبارات الريولوجية للبيتون الطري للمخلطات الخمس المنفذة

رمز الخلطة	محتوى البوزولانا kg/m ³	قطر الانتشار Cm	نسبة الملاط العابر %	H2/H1 L-Box
C0P	0	55	15	80
C50P	50	61	7.5	86
C100P	100	62	4.36	87
C125P	125	64	0.3	92
C150P	150	62	2.6	90



الشكل 3c الاستقرار على المنخل



الشكل 3b قابلية الجريان (L-Box)



الشكل 3a قطر الانتشار

3-4- صب العينات وتحضيرها لاختبارات الديمومة:

تم صب عينات مكعبية بأبعاد $10*10*10$ سم دون إجراء أية عمليات رج بعد الصب. بلغ عدد العينات المصبوبة ست وثلاثون عينة بمعدل ست عينات لكل خلطة مصممة. يبين الشكل (4) نماذجاً لعيّنات البيتون ذاتي التوضع المصبوبة خلال البحث.



الشكل (4) نماذج من العينات المصبوبة من البيتون ذاتي التوضع

تم فك القوالب وبعد 28 يوم من تاريخ الصب تم تقسيم العينات إلى قسمين بمعدل ثلاث عينات من كل تصميم لاختبارها على الضغط البسيط، وثلاث عينات لغمرها بمحلول حمض الكبريت الممدد بتركيز 2%. بقيت العينات مغمورة بالمحلول الحمضي لمدة سبعة أيام، تم نقل العينات بعدها من أوعية الغمر إلى الهواء، وفي اليوم التالي تم إزالة الطبقات المتخرّبة وتم اختبار مقاومة العينات على الضغط البسيط مع قياس أوزانها.

4- النتائج والمناقشة:

حققت جميع خلطات البيتون ذاتي الارتصاص المحضرة اشتراطات المطابقة في الحالة الطرية من حيث قطر الانتشار وقابلية الجريان في العلبه L-BOX والاستقرار في المنخل فيما يتعلق بتقارب قيم قطر الانتشار عند زيادة نسبة البوزولانا كانت النتائج واقعية ومنطقية كون زيادة محتوى البوزولانا في البيتون ترافق معه نقصان في محتوى الحصى مما جعل حجم العجينة الرابطة أكبر وهو ما عمل على الحصول على قطر انتشار مقبول. كما حققت في الحالة الصلبة قيماً للمقاومة على الضغط البسيط بعمر 28day تجاوزت الـ 280kg/cm^2 قبل الغمر بالأحماض، وقيماً تجاوزت الـ

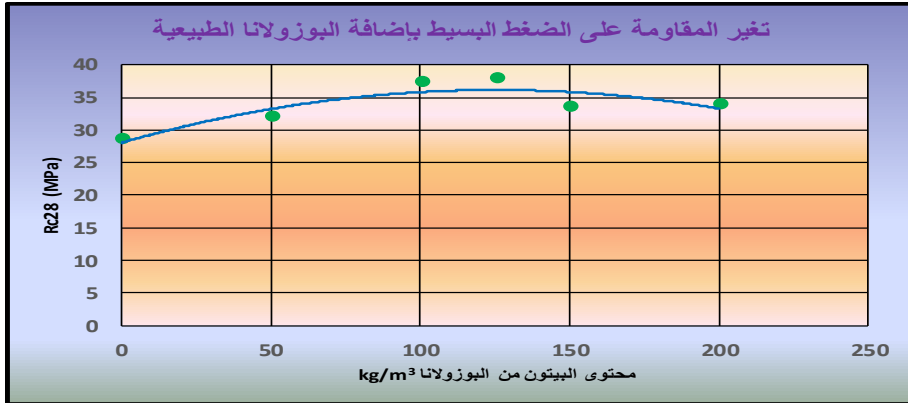
200kg/cm² بعد الغمر بالأحماض، إذ لم يتجاوز فاقد للمقاومة بعد الغمر بالأحماض النسبة 27.6%، أما فاقد كتلة البيتون بعد الغمر بالأحماض فلم يتجاوز النسبة 3.18%، حيث ظهر بشكل جلي تأثير إضافة البوزولانا على ديمومة البيتون ومقاومته للأوساط الحمضية كما هو مبين في الجدول (5)

الجدول (5) المقاومة على الضغط البسيط وفاقد المقاومة والكتلة للعينات قبل وبعد الغمر بالأحماض

الخطة	المقاومة قبل الغمر بالحمض (Mpa)	المقاومة بعد الغمر بالحمض (Mpa)	فاقد المقاومة قبل وبعد الغمر (%)	فاقد الكتلة قبل وبعد الغمر (%)
C0P	28.42	20.6	27.6	3.18
C50P	31.85	26.5	16.9	2.02
C100P	37.24	32.3	13.2	1.78
C125P	37.73	34.3	9.1	1.39
C150P	33.32	30.4	8.8	1.7
C200P	33.81	25.5	24.6	2.2

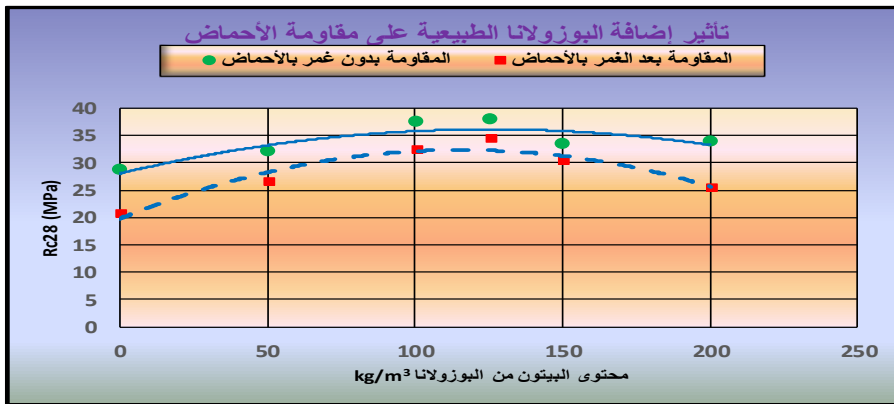
تبين النتائج أن الخلطة المثلى التي تعطي أفضل النتائج من حيث المقاومة الميكانيكية ومقاومة الأحماض كانت الخلطة C125P، حيث حققت أعلى قيمة مقاومة على الضغط البسيط قبل الغمر بالحمض وبلغت 37.73Mpa.

يبين الشكل (5) تأثير محتوى البوزولانا على مقاومة الضغط البسيط والذي يظهر فيه زيادة المقاومة عند المحتوى 125Kg/m³ (المتوافق مع C125P) حوالي 32.7% مقارنة بالمقاومة المرجعية عند المحتوى 0Kg/m³ (المتوافق مع C0P).



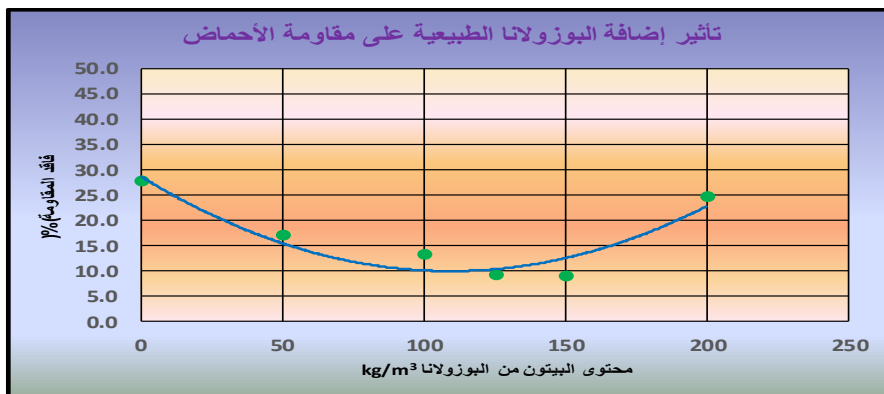
الشكل (5) العلاقة بين مقاومة البيتون على الضغط البسيط ومحتوى البوزولانا

كما حققت الخلطة C125P أعلى قيمة للمقاومة على الضغط البسيط بعد الغمر بالحمض والتي بلغت 34.3Mpa. يبين الشكل (6) تأثير محتوى البوزولانا على مقاومة الضغط البسيط للعينات المغمورة بالحمض والذي يظهر فيه زيادة المقاومة عند المحتوى 125Kg/m³ (المتوافق مع C125P) حوالي 66.5% مقارنة بالمقاومة المرجعية عند المحتوى 0Kg/m³ (المتوافق مع C0P).



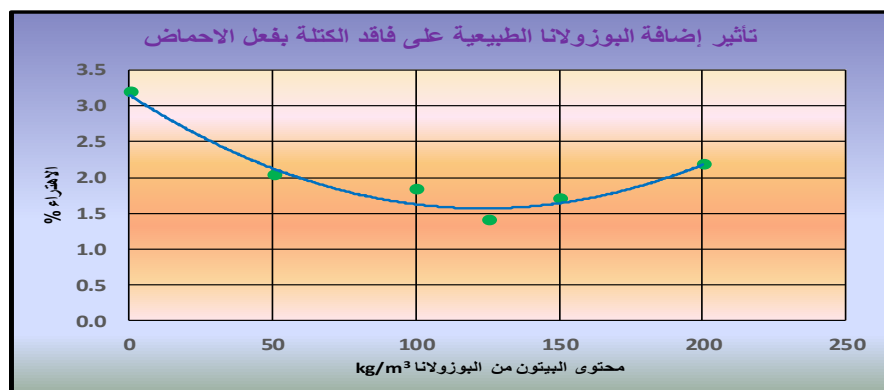
الشكل (6) العلاقة بين مقاومة البيتون على الضغط البسيط ومحتوى البوزولانا بعد الغمر بالحمض

أما بالنسبة لفاقد مقاومة البيتون على الضغط البسيط قبل وبعد الغمر بالحمض فقد أعطت الخلطة C125P أقل قيمة فاقد للمقاومة إذ بلغت 9.1 % كما هو موضح بالشكل (7).



الشكل (7) العلاقة بين فاقد المقاومة على الضغط ومحتوى البوزولانا قبل وبعد الغمر بالأحماض

كذلك حققت الخلطة C125P أقل قيمة لفاقد كتلة البيتون بعد الغمر بالحمض إذ بلغت نسبة الفاقد 1.39% مقارنة مع القيمة 3.18% للعينة المرجعية ذات المحتوى 0kg/m³ (المتوافق مع C0P) كما هو موضح بالشكل (8).



الشكل (8) العلاقة بين فاقد الكتلة ومحتوى البوزولانا قبل وبعد الغمر بالأحماض

تبين النتائج أن نسبة المحتوى المثالية من إضافة البوزولانا الطبيعية لخصائص المقاومة على الضغط البسيط كان $P_{0zz}=125\text{kg/m}^3$. وبعد هذه العينة بدأت المقاومة بالتناقص لانخفاض الفعل البوزولاني عند استهلاك كامل الكلس الحي CaO من الاسمنت.

5- الاستنتاجات والتوصيات:

5-1. الاستنتاجات:

- 1- تمثل إضافة البوزولانا الطبيعية في البيتون ذاتي التوضع كمادة ناعمة إضافة إلى الاسمنت وقرأ اقتصادياً هاماً كون هذا النوع من البيتون يحتاج إلى كمية زائدة من المواد الناعمة مقارنة بالبيتون التقليدي [4]. إذ أثبت البحث أن أفضل محتوى بوزولانا كان عند الخلطة C125P ليصبح محتوى المواد الناعمة $(C+Poz=525Kg/m^3)$.
- 2- بلغت قيمة المقاومة على الضغط البسيط بعمر 28 يوماً 37Mpa لنسبة الإضافة المثلى من البوزولانا، وبلغت بعد غمرها بالأحماض عند هذا المحتوى القيمة 34Mpa. مما يُعتبر مؤشراً جيداً للتأثير الإيجابي لإضافة البوزولانا إلى البيتون ذاتي التوضع على كل من المقاومة على الضغط البسيط والديمومة.
- 3- أثبتت النتائج أن هذا المحتوى من البوزولانا يحقق أيضاً أفضل النتائج لفقد الكتلة بعد الغمر بالحمض والذي لم يتجاوز الـ 1.39%، مقارنة بالقيمة 3.18% للعينة المرجعية ذات المحتوى $0Kg/m^3$ مما يؤكد للتأثير الجيد لإضافة البوزولانا إلى البيتون ذاتي التوضع وحمايته من الاهتراء.
- 4- يقدم استخدام البوزولانا الطبيعية وقرأ اقتصادياً هاماً إذا ما علمنا أنه يمكن أن يكون بديلاً جيداً يحل مكان إضافات أخرى يحتاجها البيتون ذاتي التوضع كهباب السيليس والإضافات رافعة اللزوجة [6]، [7].

5-2. التوصيات:

- 1- يوصي البحث باعتماد البوزولانا الطبيعية السورية كإضافة هامة لصناعة البيتون ذاتي التوضع في المشاريع الانشائية وخاصة المنشآت التي ستتعرض للظروف المخربة كونها تحقق مقاومة جيدة للبيتون في الأوساط المخربة وديمومة أعلى.
- 2- من الضروري تخصيص مراكز خاصة لطحن البوزولانا الطبيعية وتحويلها إلى منتج داعم للإسمنت في عمليات صب البيتون.
- 3- نرى من الأنسب اهتمام الجهات الحكومية والنقابات والمراكز البحثية ذات الصلة بإطلاق المشاريع الهندسية لتطوير صناعة البيتون ذاتي التوضع واعتماده كبريد أساسي للبيتون التقليدي لتوفر كل مستلزمات إنتاج هذا البيتون الحديث من مواد محلية المنشأ وأهمها البوزولانا الطبيعية السورية.
- 4- ننصح باستكمال البحث لتأكيد فاعلية البوزولانا في ديمومة البيتون ذاتي التوضع من خلال إدراج بارامترات الديمومة الأخرى كنفذية البيتون للماء والهواء، ومقاومته لحلقات الصقيع والذوبان، والتسخين والتبريد، والترطيب والتجفيف.

المراجع المستخدمة:

- 1- American Concrete Institute, 2007, - ACI237R07 Self-consolidating concrete. USA.
- 2- Shikoku Island Concrete Research Association: Report by Self-Compacting Concrete Research Committee, 2000, - Self-Compacting Concrete in Shikoku Island. UK.
- 3- الحريري، صلاح الدين، 2013 - تكنولوجيا إنتاج الببتون ذاتي التوضع عالي المقاومة من مواد محلية. جامعة دمشق، سوريا، 153.
- 4- BIBM; CEMBUREAU; ERMCO; EFCA; EFNARC, 2005, - The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, production and Use. EU,68.
- 5- خيربك، علي؛ ترك، نوار 2013 منهجية جديدة لتحسين خلطات الببتون ذاتي التوضع، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية- سلسلة العلوم الهندسية، المجلد [35] العدد (8)، 57 - 61.
- 6- Mahmoud, E.; Ibrahim, A.; El-Chabib, H.; Patibandla, S.C. 2013 Self-Consolidating Concrete Incorporating High Volume of Fly Ash, Slag, and Recycled Asphalt Pavement, International Journal of Concrete Structures and Materials, Vol [7] No. 2, pp. 155 – 163.
- 7- خيربك، علي 2012 تأثير استخدام الفيلر على الخصائص الريولوجية للببتون ذاتي الارتصاص، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية- سلسلة العلوم الهندسية، المجلد [34] العدد (2)، 29 - 43.

دراسة تأثير إضافة الرمل البحري والاسمنت مع

البننتونايت على مواصفات قص البننتونايت

الطالب: علي معين خضور_الدكتور المشرف: توفيق فياض + د. رامي العبدى
كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين

ملخص

تستخدم الأوتاد بشكل شائع لتدعيم هياكل المنشآت ذات الحمولات الكبيرة مثل المباني الشاهقة والجسور، وذلك بسبب استطاعتها العالية، وخواصها المرنة لتتناسب ظروف التحميل المختلفة وظروف التربة. تقاوم الأوتاد الأحمال المطبقة عليها عن طريق الاحتكاك الجانبي للأوتاد التربة، والارتكاز في نهاية قدم الوتد. يستخدم البننتونايت لتثبيت جدران الحفر عند تنفيذ الأوتاد لمنع انهيار جوانب التربة الضعيفة أثناء الحفر، نظراً لخصائصه الانتفاخية العالية. عند صب الأوتاد يرتفع البننتونايت للأعلى بسبب كثافته المنخفضة والتي تكون أقل من كثافة بيتون الصب، ويستقر البيتون في الأسفل حتى الانتهاء من صب الأوتاد، وبعد ذلك يتبقى طبقة قشرة كتيمة لزجة وضعيفة الاحتكاك (filter cake) بسماكة صغيره حوالي (1mm - 5cm) حول جسم الوتد، هذه الطبقة تسبب انخفاض قدرة تحمل الأوتاد على الاحتكاك لحوالي (10%-30%)، نتيجةً للزوجة البننتونايت. هذه الدراسة تشمل تحسين مواصفات البننتونايت على القص (زاوية الاحتكاك والتماسك)، بإضافة نسب مختلفة من الرمل البحري والاسمنت مع البننتونايت، مع إجراء عدد من التجارب المخبرية لتحديد خواص البننتونايت المعالج بنسب الإضافات المختلفة من المادتين، للحصول على أفضل نسبة إضافة من الرمل البحري ومن الاسمنت، تحسن مواصفات القص للبننتونايت وتحافظ على قابلية تشغيل البننتونايت المصري.

الكلمات المفتاحية: البننتونايت - الرمل البحري - الاسمنت - التماسك - زاوية الاحتكاك - اللزوجة - درجة الانتفاخ.

Study of the effect of adding marine sand and cement with bentonite on bentonite shearing properties

▽ ABSTRACT ▽

Piles are commonly used to support heavy structures such as high-buildings and bridges. This is due to its high capacity and flexibility for different loading cases. Piles transfer the applied loads to the ground via lateral friction along the pile. During excavation of borehole, bentonite is used to support the wall of the borehole and to avoid soil collapse constructed, due to its high swelling property. When the piles are poured the bentonite rises due to the lower density and the concrete settles at the bottom of the hole. A viscous and weakly frictionless layer with a small thickness of (filter cake) layer around the pile body, which causes a decrease in the friction bearing capacity of the piles, because of the viscosity of bentonite. This study includes improving the properties of bentonite on shear, by adding different percentages of marine sand, and cement with bentonite, by conducting a number of laboratory experiments to determine the properties of bentonite treated with different percentages of additives from the two materials, to obtain the best addition ratio of marine sand and cement, improve the shear properties of bentonite and maintain the workability of Egyptian bentonite.

Keywords: Bentonite – Marine sand – Cement – Cohension – Friction angle – Viscosity – Degree of swelling.

1.مقدمة:

نتيجةً للنمو السكاني المتزايد في العقود الأخيرة، زادت رغبة السكان للعيش في الأبنية المرتفعة ذات الحمولات الكبيرة. لذلك تم استخدام الأوتاد كأساسات عميقة لهذه المنشآت الهندسية، وذلك بسبب استطاعتها العالية، ومرونتها لتتناسب ظروف التحميل المختلفة وظروف التربة. يتم استخدام البنتونايت في تطبيقات الهندسة الجيوتكنيكية، نظراً لخصائصه الريولوجية الفريدة، حيث يستخدم البنتونايت لتثبيت جدران الحفر عند تنفيذ الأوتاد، لمنع انهيار جوانب التربة أثناء الحفر. عند صب الأوتاد يرتفع البنتونايت للأعلى بسبب كثافته المنخفضة والتي تكون أقل من كثافة بيتون الصب، ويستقر البيتون في الأسفل، وبعد ذلك يتبقى طبقة قشرة كثيفة لزجة وذات نفاذية منخفضة (filter cake) بسماكة صغيرة على محيط جسم الوتد المصبوب، هذه الطبقة تقلل من احتكاك التربة على جوانب الوتد (Hashemzadeh and Hajidavalloo, 2016).

2.أهمية البحث وأهدافه:

- العمل على تحسين خواص البنتونايت (المقاومة على القص) باستخدام نسب إضافات مختلفة من (الرمل البحري المحلي أو الاسمنت مع البنتونايت)، وإجراء عدد من التجارب المخبرية لتحديد خواص القص للبنتونايت المعالج عند كل نسبة إضافة.
*تحليل ومناقشة النتائج والحصول على نسبة الإضافة الأمثل من المادتين مع البنتونايت، والتي تحسن خواص القص للبنتونايت مخبرياً (التماسك وزاوية الاحتكاك)، وتوفر كمية البنتونايت المستخدم في الحقل مما يقلل الكلفة الاقتصادية لاستخدام البنتونايت، مع مراعات معايير (اللزوجة ودرجة الانتفاخ) للمحافظة على قابلية تشغيل البنتونايت المعالج.

3.منهجية البحث:

يعتمد البحث على المنهج التجريبي من خلال مراحل البحث التالية:

2- إجراء عدد من التجارب المخبرية لدراسة خواص البنتونايت المصري المستخدم (التماسك، زاوية الاحتكاك، حدود أتربغ، الانتفاخ الحر، اللزوجة، الوزن النوعي، الوزن الحجمي).

- 3- إجراء عدة تجارب مخبرية لتحديد خواص الرمل البحري المحلي المضاف إلى البنتونايت المصري (التماسك، زاوية الاحتكاك، الوزن النوعي، الوزن الحجمي).
- 4- إجراء عدة تجارب مخبرية، لتحديد خواص البنتونايت المعالج بنسب إضافات مختلفة من الرمل البحري مع البنتونايت (5%، 10%، 15%، 20%، 25%، 30%)، والإسمنت مع البنتونايت (1%، 2%، 3%، 4%، 5%)، حيث تجرى تجربة (القص المباشر، اللزوجة، الانتفاخ الحر).
- 5- إظهار تأثير نسب الإضافات المختلفة من المادتين على خواص البنتونايت، وتحديد نسبة الإضافة الأمثل من المادتين والتي تحسن خواص البنتونايت على الاحتكاك وتحافظ على قابلية تشغيله (اللزوجة (30-90) ودرجة الانتفاخ (>100%)).

4. الدراسة المخبرية:

1.4. مواصفات البنتونايت والرمل البحري المضاف:

استخدم في هذه الدراسة البنتونايت المصري نوع

(Bentonite OCMA – DFCP- 4).

-تم اعتماد نسبة الماء المضاف للبنتونايت خمس أضعاف البنتونايت وفق

(Darveshi et al, 2019)، وهذه النسبة هي النسبة المستخدمة للبنتونايت الحقلي.

تم إجراء عدد من التجارب المخبرية لتحديد خواص البنتونايت المصري والرمل البحري المضاف وفق الجدول التالي:

الجدول (1) مواصفات البنتونايت والرمل البحري المضاف.

نوع المادة	التماسك (Kpa)	زاوية الاحتكاك	اللزوجة	درجة الانتفاخ %	الوزن الحجمي للرمل المضاف γ_{bs} (Kn/m3)	الوزن الحجمي للبنتونايت الحقلي γ_f (Kn/m3)	الوزن الحجمي لمسحوق البنتونايت (Kn/m3) γ_b	الوزن النوعي Gs	حد السيولة LL	حد اللدونة Pi	حد الانكماش Slv الحجمي
البنتونايت المصري	1.72	1.1	45.3	191.7	-	11.1	10.5	2.29	318.5	57	24.9
الرمل البحري المضاف	0.009	41.7	-	-	14.9	-	-	2.67	-	-	-

2.4. اشتراطات القص والخلط:

-من أجل إجراء تجربة القص للبتونايت، تم في المخبر خلط مسحوق البتونايت في الحالة الجافة مع خمس أضعاف ماء في الخلاط الكهربائي، على سرعة

(40 دورة/الدقيقة) لمدة نصف ساعة حتى تجمد البتونايت قليلاً،

ثم يخلط لمدة نصف ساعة أخرى بسرعة (60 دورة/الدقيقة) حتى يتشرب البتونايت الماء بشكل جيد، فيصبح قوام البتونايت جيلي، ويترك للتخمر 24 ساعة على الأقل وعند الاستخدام يتم خلطة لمدة ربع ساعة بنفس آخر سرعة

(Iravanian and Bilsel, 2016).

-لتشكيل عينات البتونايت المعالج تم الاستعانة بالإرشادات الواردة في

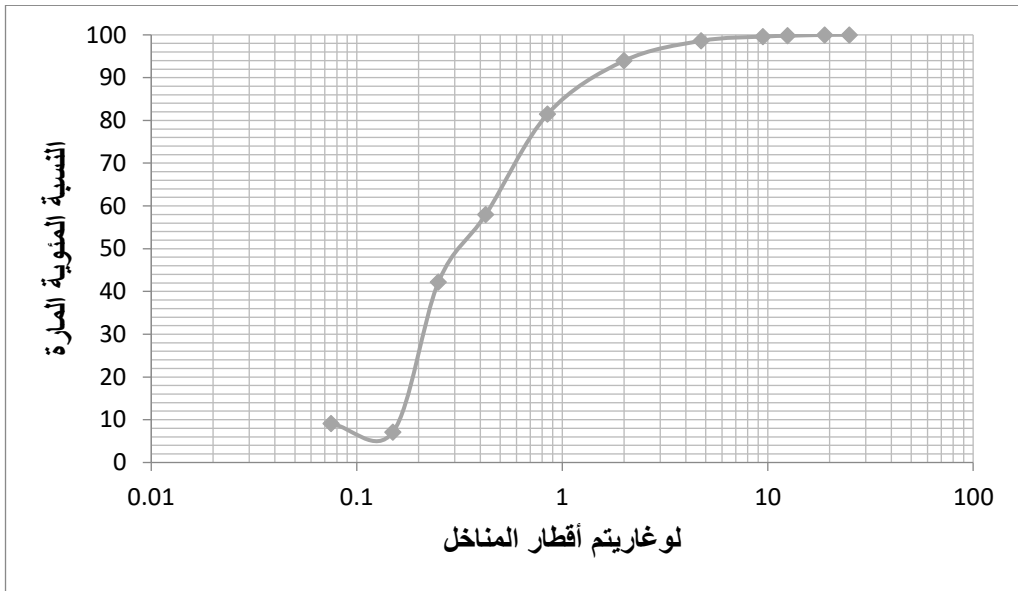
(ASTM D 2435, 1996)، يتم إضافة الرمل البحري إلى مسحوق البتونايت في الحالة الجافة ويخلط المزيج الجاف جيداً، بعد ذلك يوضع الماء المقطر في وعاء الخلاط بنسبة خمس أضعاف البتونايت، مع تشغيل الخلاط بسرعة دوران منخفضة ليضاف المزيج على دفعات، مع التحريك لمنع تكتل المزيج والتصاقه بجوانب الوعاء

(Srikanth and Mishra, 2016).

- تم إجراء تجربة القص المباشر البطيء باتجاه واحد على البتونايت عند اجهادات بين ((5-75) Kpa) ومعدل سرعة القص (1mm/min) وطول شوط القص(5mm) [9] (Domitrović and Kovačević, 2013).

-تم استخدام الرمل البحري من موقع الصنوبر في مدينة جبلة، تم غسل الرمل على المنخل (N200) ثم جفف ونخل على المنخل (N10) وفق الإرشادات الواردة في (ASTM D 422-63, 2007).

- أجريت تجربة التحليل الحبي للرمل المضاف من أجل إظهار التدرج الحبي وفق الشكل التالي:



الشكل [1] - منحنى التحليل الحبي للرمل البحري المضاف.

الجدول (2) - قيم معاملات التحليل الحبي للرمل البحري المضاف.

عامل التجانس ($C_u = d_{60}/d_{10}$)	4.70
عامل الانحناء ($C_2 = (d_{30}^2)/(d_{10} * d_{60})$)	0.21
رمل سيئ التدرج الحبي $C_u < 6$ and $1 > C_2 > 3$	

-إن خصائص العينات المختبرة، تم الحصول عليها بعد إجراء عدة تجارب للبتونايت مع وبدون إضافات، واعتماد النتائج الوسطية للدراسة.

3.4. خصائص القص للبتونايت مع الإضافات:

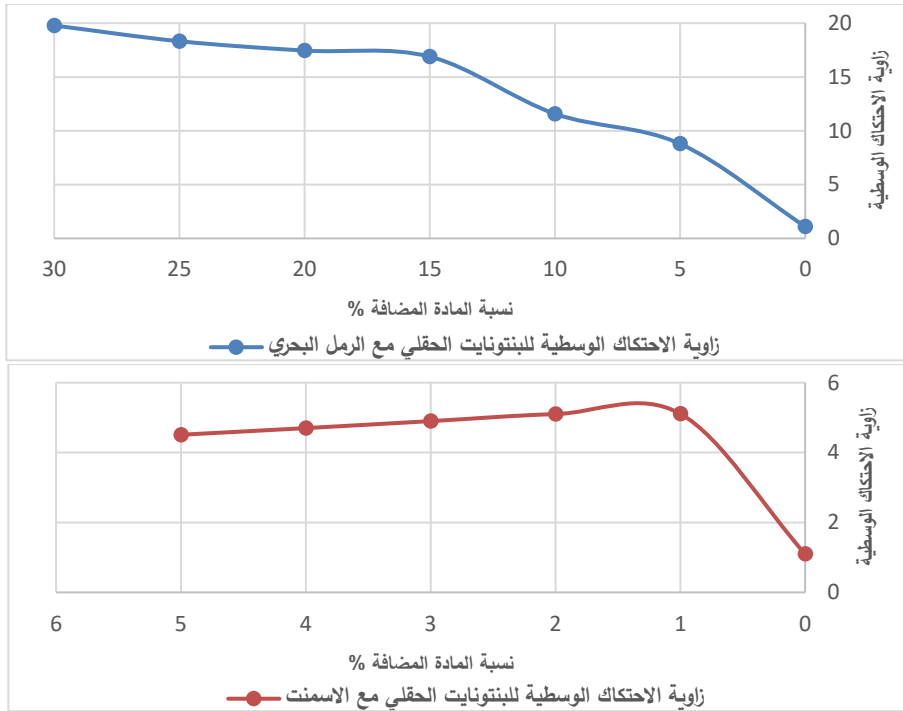
تم إضافة الرمل البحري مع البتونايت، والاسمنت مع البتونايت بنسب إضافات مختلفة، مع إضافة المياه المقطرة بنسبة خمسة أضعاف البتونايت كما ذكر سابقاً، وأجريت تجربة القص المباشر على عينات البتونايت الحقلي المضاف، تظهر نتائج القص في الجدولين (3)(4).

الجدول (3) - مواصفات القص للبتونايت مع إضافات الرمل.

نوع المادة	البتونايت الحقلي (مع 500% ماء)	البتونايت المصري مع الرمل البحري						الرمل البحري المضاف	الرمل البحري الطبيعي
		1.87	2	1.94	1.77	1.64	1.67	0.009	0.01
التماسك الوسطي (Kpa)	1.72	1.87	2	1.94	1.77	1.64	1.67	0.009	0.01
زاوية الاحتكاك الوسطية (0)	1.1	8.79	11.58	16.89	17.45	18.32	19.78	41.7	41
نسبة الرمل البحري المضاف (%)	0	5	10	15	20	25	30	100	100

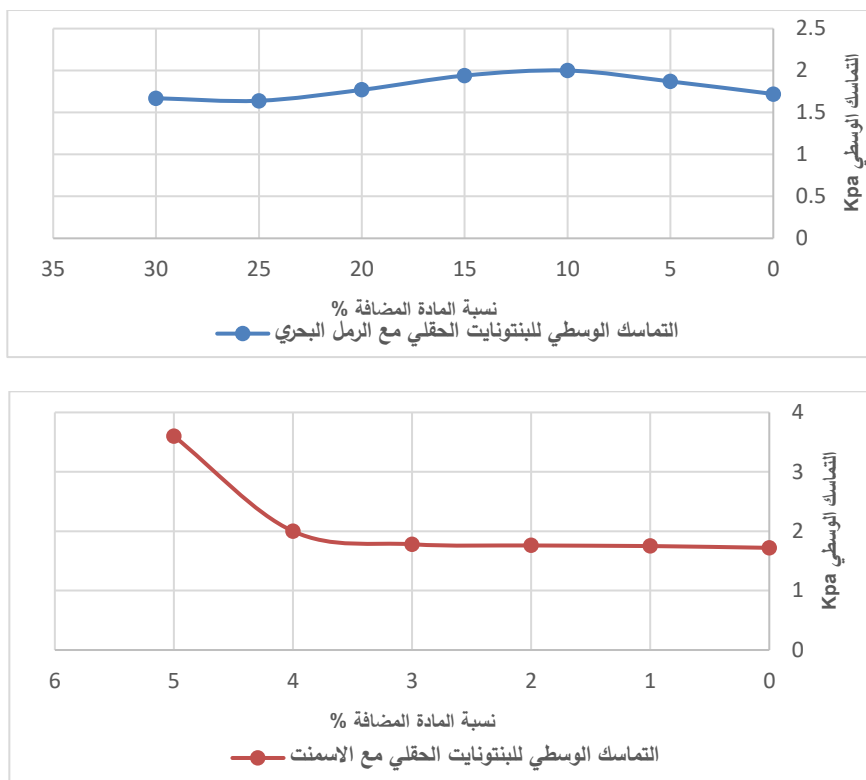
الجدول (4) - مواصفات القص للبتونايت مع إضافات الاسمنت.

نوع المادة	البتونايت الحقلي	البتونايت المصري مع الاسمنت				
		1.75	1.76	1.78	2	3.6
التماسك الوسطي (Kpa)	1.72	1.75	1.76	1.78	2	3.6
زاوية الاحتكاك الوسطية (0)	1.1	5.11	5.1	4.9	4.7	4.51
نسبة الاسمنت المضاف (%)	0	1	2	3	4	5



الشكل [2] - العلاقة بين زاوية الاحتكاك الوسطية للبنتوناييت المعالج مع نسب إضافة الاسمنت والرمل.

نلاحظ من الشكل [2] زيادة زاوية احتكاك البنتوناييت بشكل طردي مع زيادة نسبة الرمل البحري المضاف وهذا يوافق (Gueddouda et al, 2008) ، حيث يزداد احتكاك البنتوناييت بمقدار (87.5%) عند إضافة (5%) رمل، كما يزداد احتكاك البنتوناييت بمقدار (90.5%) عند إضافة (10%) رمل. بينما تزداد زاوية احتكاك البنتوناييت مع زيادة نسبة الاسمنت المضاف، حيث يزداد احتكاك البنتوناييت بمقدار (78.5%) عند إضافة (1%) اسمنت، كما يزداد احتكاك البنتوناييت بمقدار (78.4%) عند إضافة (2%) اسمنت، ويعود الاحتكاك للتناقص بعد هذه النسبة.



الشكل [3] - العلاقة بين التماسك الوسطية للبتوناييت المعالج مع نسب إضافة الاسمنت والرمل.

يبين الشكل [3] زيادة تماسك البتوناييت مع إضافة الرمل البحري نتيجة لحصول اكتناز وتقارب لحبيبات الرمل الخشن مع حبيبات البتوناييت الناعم [13]، ليعود للانخفاض بعد النسبة (15%)، حيث يزداد تماسك البتوناييت (8.02%) عند إضافة (5%) رمل، ويزداد التماسك بمقدار (14%) عند إضافة (10%) رمل، حيث عند نسبة الإضافة (10%) رمل تكون أعلى نسبة زيادة للتماسك.

كما يبين الشكل السابق زيادة تماسك البتوناييت بشكل ضئيل مع إضافة الاسمنت، وهذا يتوافق مع (Santhoshkumar et al, 2016)، وتكون الزيادة تتراوح بين (1.7%-3.4%) بين النسب {1،2،3} %، ويزداد التماسك بمقدار (14%) عند النسبة (4%) اسمنت، بينما يصل لأكبر زيادة وقدرها (52.2%) عند النسبة (5%) اسمنت.

إن لزوجة البتوناييت يجب أن تتراوح بين (30-90) وفق

(Hutchinson et al, 1975).

- كما تم إجراء تجربة الانتفاخ الحر على عينات البنتونايت مع نسب الإضافات المختلفة.
- إن درجة انتفاخ البنتونايت يجب أن تكون ($>100\%$) [12].
- تظهر نتائج تجربة اللزوجة والانتفاخ الحر على عينات البنتونايت المعالج بنسب الإضافات المختلفة من الرمل البحري والاسمنت وفق الجداول التالية:

الجدول (5) نتائج تجربة اللزوجة والانتفاخ الحر للبنتونايت المعالج بنسب مختلفة من الرمل البحري.

لزوجة البنتونايت المعالج بالرمل البحري	45.3	37	34.5	27	23.5	22.7	16.7
نسبة انتفاخ البنتونايت المعالج بالرمل البحري %	191.7	167.4	157.9	147	138.6	124.4	119.3
نسبة الرمل البحري المضاف %	0	5	10	15	20	25	30

- نلاحظ من الجدول (5) أن جميع نسب الإضافات للرمل البحري مع البنتونايت تحقق درجة انتفاخ عالية، لكن النسبتين (5% و 10%) تحققان معيار اللزوجة (>30).

الجدول (6) نتائج تجربة اللزوجة والانتفاخ الحر للبنتونايت المعالج بنسب مختلفة من الاسمنت.

لزوجة البنتونايت المعالج بالاسمنت	45.3	33.17	32	31.6	19	17
نسبة انتفاخ البنتونايت المعالج بالاسمنت %	191.7	151.3	146	140	134.8	116.3
نسبة الاسمنت المضاف %	0	1	2	3	4	5

-نلاحظ من الجدول (6) أن جميع نسب الإضافات للإسمنت مع البنتونايت تحقق درجة انقفاخ عالية، لكن النسبتين (2% و 1%) تحققان معيار الزوجة (>30)، بينما تتخفص لزوجة البنتونايت بعد هذه النسبتين بسبب التأثير الكيميائي للتفاعل بين الاسمنت والبنتونايت الذي يضعف قوام البنتونايت ويخفص لزوجة بشكل كبير ليقترب سلوك البنتونايت من سلوك الماء [12].

5.5. الاستنتاجات والتوصيات:

5.1. نتائج البحث (Research Results):

1- تزداد زاوية احتكاك البنتونايت بشكل خطي مع زيادة نسبة الرمل البحري المضاف إلى البنتونايت، وتكون أكبر زيادة للاحتكاك (90.5%) عند النسبة (10%)، رمل بينما يزداد تماسك البنتونايت بشكل خطي حتى نسبة (10%) رمل وتكون أعلى نسبة زيادة للتماسك وقدرها (14%)، وينخفص التماسك بعد هذه النسبة.

2- تزداد زاوية احتكاك البنتونايت بشكل كبير مع زيادة نسبة الاسمنت إلى البنتونايت، وتكون أكبر نسبة زيادة (78.5%) عند النسبة (1%) اسمنت، بينما تكون نسبة زيادة الاحتكاك (78.4%) عند (2%) اسمنت، بينما يزداد تماسك البنتونايت بشكل ضئيل مع زيادة نسبة الاسمنت المضاف إلى البنتونايت، وتكون أعلى زيادة قدرها (52.2%) عند النسبة (5%) من الاسمنت.

3- يحافظ البنتونايت على قابلية تشغيل عند إضافة النسبتين (5% و 10%) من الرمل البحري، وتكون نسبة إضافة (10%) من الرمل البحري هي النسبة المثالية بسبب زيادة مواصفات قص البنتونايت مخبرياً وانخفص الكلفة الاقتصادية للبنتونايت.

4- يحافظ البنتونايت على قابلية تشغيل عند إضافة النسبتين (2% و 1%) من الاسمنت، وتكون نسبة إضافة (2%) من الاسمنت هي النسبة المثالية بسبب زيادة مواصفات قص البنتونايت مخبرياً وانخفص الكلفة الاقتصادية للبنتونايت.

5.2. التوصيات والأبحاث المستقبلية (Recommendation):

- 1- يوصى بإعطاء اهتمام أكبر لتحسين مواصفات البنتونايت والطبقة الرقيقة من البنتونايت المتشكلة حول الودد، من خلال استخدام إضافات أخرى تحسن مواصفات القص وتحافظ على قابلية التشغيل للبنتونايت.
- 2- يوصى بإجراء مزيد من التجارب على البنتونايت المعالج بالإسمنت والرمل، مثل: (حدود أتربرخ، الانتفاخ الحر، التشديد وغير ذلك) من أجل دراسة أوسع لتأثير نسب الإضافات المختلفة من الرمل والاسمنت على خصائص البنتونايت.
- 3- يوصى بإجراء دراسة تجريبية لتحسين خواص البنتونايت باستخدام الاسمنت والرمل معاً، للوصول لأفضل نسبة مثالية تحقق قابلية التشغيل ومقاومة احتكاك عالية وتقلل الكلفة الاقتصادية.
- 4- يوصى بإجراء دراسة عددية لتأثير تغيير (سماكة ومواصفات) طبقة البنتونايت حول الودد على مقاومة احتكاك الودد المنفذ مع بنتونايت، بسبب قلت الدراسات المرجعية المتضمنة هذه البارامترات باستخدام نمذجة (3D)، ومقارنة النتائج مع الدراسة التجريبية، للحصول على النسب الأفضل من المادتين اللتان تعطيان أفضل قابلية تشغيل وأكبر مقاومة احتكاك للودد.

المراجع (References):

1. American Society for Testing and Materials (ASTM), (2007), "*Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compression Load*", D1143/D1143M.
2. ASTM D 2435. "*standard test method for one-dimensional consolidation properties of soils*". American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, (1996).
3. ASTM D 422–63. "*Standard test method for particle-size analysis of soils*". American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, (2007).
4. Hashemzadeh. M, S and Hajidavalloo. E, "*Numerical investigation of filter cake formation during concentric eccentric drilling*", (2016). Department of Mechanical Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz 61355, Iran, Journal of Petroleum Science and Engineering 145 (2016) 161–167.
5. Hutchinson, M.T., Daw, G.P., Shotton, P.G., and James, A.N. "*The Properties of Bentonite Slurries Used in Diaphragm Walling and their Control*". Diaphragm Walls and Anchorages. London, England, (1975).
6. Iravanian. A and Bilsel. H, "*Tensile Strength Properties of Sand-bentonite Mixtures Enhanced with Cement*", (2016). Near East University, Nicosia, Mersin10, Turkey. Cyprus. International University, Nicosia, Mersin10, Turkey. **Volume 143**, 2016, Pages 111–118.
7. Darvishi. A., Vosoughifar. H., Saeidijam. S., Torabi. M and Rahmani. A, "*An experimental and prediction study on the compaction and swell–expansion behavior of bentonite clay*

containing various percentages of two different synthetic fibers", (2019), Geotechnical Engineer, Istanbul Technical University, ITU, Ayazağa Campus, Maslak, Istanbul 34469, Turkey.

8. Domitrović. D and Kovačević. Z, B, "*The relationship between swelling and shear strength properties of bentonites*", (2013). University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb, Croatia.

9. Gueddouda, M., Lamara, M., Aboubaker, N and Taibi, S. "*Hydraulic conductivity and shear strength of dune sand–bentonite mixtures*". Electron J Geotech Eng 13, (2008),1–15.

10. Santhoshkumar, G. T., B. M. Abraham, M. B., Sridharan. A and Jose, T. B, "*Role of Bentonite in Improving the Efficiency of Cement Grouting in Coarse Sand*", Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA Vol. 47 No. 3 September 2016 ISSN 0046-5828 Principal, JBCMET, JB Campus, Kochi-683556, 2Prof. of Civil Engineering, CUSAT Kochi – 22, 3 Sr.

11. Srikanth, V and Mishra, K. A. "*A Laboratory Study on the Geotechnical Characteristics of Sand–Bentonite Mixtures and the Role of Particle Size of Sand*". Int. J. of Geosynth. and Ground Eng, Springer International Publishing, Switzerland, (19 January 2016).

توليد نموذج رقمي للارتفاعات من صور الأقمار الصناعية (Sentinel-1) باستخدام تقنية التداخل الراداري - منطقة الدراسة: تلكلخ □ القرينتين في سورية

م. دارين جابر نوفل * د.م حنان كامل درويش ** د.م عدنان أحمد محمد **
د.م فادي عز الدين شعبان ***

المخلص

إن النماذج الرقمية للارتفاعات (DEMs) ذات أهمية كبيرة في العديد من المجالات العلمية والتطبيقية كونها تعدّ مدخلات رئيسية لمجموعة كبيرة ومتنوعة من التطبيقات، وهي أيضاً من أهم مصادر البيانات الخاصة بالمعلومات والتحليلات الجغرافية المكانية. يقدم هذا البحث دراسة مقارنة حول جودة وموثوقية الـ (DEM) المولد باستخدام تقنية التداخل الراداري من بيانات القمر الصناعي (Sentinel-1) عن طريق معالجة (11) زوجاً من الصور في منطقتي تلكلخ والقرينتين في مدينة حمص في سورية، ودراسة تأثير خط الأساس الزمني والعمودي واتجاه طيران القمر الصناعي المساعد والهابط على جودة مخططات التداخل والتماسك وبالتالي قيم الارتفاعات الناتجة. كما تم تقييم الدقة و إجراء مقارنة إحصائية لقيم الارتفاعات المشتقة مع قيم ارتفاعات مجموعة من النقاط المقاسة حقلياً في منطقتي الدراسة. إذ بينت النتائج أن أفضل قيمة لجذر الخطأ المتوسط التربيعي (RMSE) تساوي (8.04 م) في منطقة القرينتين ذات الطبيعة السهلية والغطاء النباتي المنخفض في حالة المدار الهابط من أجل خط أساس زمني (12) يوماً وخط أساس عمودي (151 م). أما في تلكلخ ذات التضاريس الوعرة والغطاء النباتي الكثيف فقد بلغت قيمة الـ (RMSE) المقدار (12.62 م) في حالة المدار الهابط من أجل خط أساس زمني (12) يوماً وخط أساس عمودي (143 م). بينت الدراسة أن نماذج الارتفاع الرقمية في القرينتين في حالة المدار المساعد أكثر دقة منها في تلكلخ، وذلك من أجل عدة خطوط أساس عمودية و زمنية متساوية للمنطقتين حيث

تراوحت قيم الـ (RMSE) بين (10.67)، (14.01) و (68.77 م) في القريتين بينما
ازدادت في منطقة تلكلخ إلى القيم المقابلة ما بين (46.27)، (68.54) و (148.91 م).

الكلمات المفتاحية: النموذج الرقمي للارتفاعات (DEM)، التداخل الراداري، تقييم الدقة، خط
أساس زمني، خط أساس عمودي، المدار الهابط، المدار الصاعد.

* طالبة دراسات عليا في قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث -

حمص - سورية. [✉darennofl@gmail.com](mailto:darennofl@gmail.com)

** أستاذ مساعد في قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص -
سورية.

[✉hanan.darwishe@hotmail.com](mailto:hanan.darwishe@hotmail.com), [✉ad.moh4@gmail.com](mailto:ad.moh4@gmail.com)

*** أستاذ مساعد في قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية -
سورية. [✉fadi.chaaban@tishreen.edu.sy](mailto:fadi.chaaban@tishreen.edu.sy)

Generating a Digital Elevation Model from Sentinel-1 satellite images using interferometry technique – Study Area: Tal Kalakh – Al-Qaryatayn in Syria

Eng. Dareen Nofl *

Dr.Eng. Hanan DARWISHE**

Dr.Eng. Adnan Mohammad**

Dr.Eng Fadi CHAABAN***

Abstract

Digital Elevation Models (DEMs) are of great importance in many scientific and applied fields as they are the main inputs for a wide variety of applications, in addition, they are one of the most significant data sources for geospatial information and analysis.

This research presents a comparative study on the quality and reliability of (DEM) generated using the radar interferometry technique from Sentinel satellite data by processing (11) pairs of images in Tal Kalakh and Al-Qaryatayn regions in Homs city/ Syria. Moreover, the impact of temporal and perpendicular baseline and the direction of the satellite's ascending and descending flight was examined on the quality of interferogram and coherence products and thus the resulting elevation values. accuracy assessment and a statistical comparison were performed of the derived elevation values with the elevation values of a set of field-measured points in both study areas. where the results showed that the best value of the mean square error (RMSE) was (8.04 m) in the Al-Qaryatayn region, which has a plain nature and low vegetation cover in the case of a descending orbit for temporal baseline (12) days and perpendicular baseline (151 m). While in the Tal Kalakh region, which has rugged terrain and dense vegetation, the value of (RMSE) was (12.62 m) in the case of a descending orbit for temporal baseline (12) days and perpendicular baseline (143 m). Digital Elevation Models in Al-Qaryatayn in the case of the ascending orbit are more accurate than in Tal Kalakh for several unified temporal and perpendicular baselines of the two regions, where the (RMSE) values

ranged between (10.67), (14.01) and (68.77 m) in Al-Qaryatayn while they decreased in Tal Kalakh to the corresponding values between (46.27), (68.54)and (148.91 m).

Key words: digital elevation model (DEM), Radar Interferometry, Accuracy Assessment, temporal baseline, perpendicular baseline, descending orbit, ascending orbit .

* Postgraduate student, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Al-Baath University, Homs, Syria.

✉ dareennofl@gmail.com

** Associate Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Al-Baath University, Homs, Syria.

✉ hanan.darwishe@hotmail.com ✉ ad.moh4@gmail.com

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

fadi.chaaban@tishreen.edu.sy

1 مقدمة

تتوافر مجموعة من النماذج الرقمية للارتفاعات (DEMs) والمأخوذة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، التي يمكن تحميلها مجاناً من الإنترنت وتغطي كامل سطح الكرة الأرضية. إذ لا تزيد دقتها المساحية المكانية عن (30م) مثل نماذج (ASTER GDEM) و (SRTM1sec) وبالتالي لا يمكن تطبيقها في الدراسات الحساسة. إن النماذج الرقمية للارتفاعات المستتبطة من القياسات الأرضية (مساحة أرضية أو تصويرية) هي دقيقة ولكن لجزء صغير من الأرض ومكلفة وتستغرق وقتاً طويلاً في الإنشاء.

يعتبر قياس التداخل بالرادار ذي الفتحة التركيبية (InSAR) من الطرق الحديثة لتوليد الـ (DEM). يوفر كوبرنيكوس، البرنامج الأوروبي لرصد البيئة، مجموعات بيانات رادارية مستمرة من خلال مهمة القمر (Sentinel-1) مع تغطية عالمية تقريباً. إن القمر (Sentinel-1) الذي تم إطلاقه في عام (2014) هو جزء التصوير بالرادار من مهمة (Sentinel). وهو عبارة عن سلسلة من عمليات رصد الرادار عبر الأقمار الصناعية كمشروع مشترك بين الاتحاد الأوروبي ووكالة الفضاء الأوروبية (ESA). يحمل (Sentinel-1) جهاز استشعار (SAR) بتردد مركزي يبلغ (5.405 جيجا هرتز) يغطي النطاق (C) من الطيف الكهرومغناطيسي [1]. تتكون هذه المهمة حالياً من Sentinel-1A (S1A) و Sentinel-1B (S1B) حيث، تزودنا بمنتجات على فترات تصل إلى (6) أيام بدقة مكانية تبلغ (20م × 5 م)، والتي يمكن الوصول إليها مجاناً ضمن برنامج كوبرنيكوس، إذ تم إثبات إمكاناتها في جميع مجالات التطبيقات.

إن الخطوة الحاسمة لتوليد (DEM) ناجح باستخدام تقنية (InSAR) هي اختيار زوج من الصور بخصائص مناسبة [2]. تهدف معظم الدراسات في هذا المجال إلى تقدير التضاريس المحلية أو الإقليمية بناءً على زوج من منتجات (Sentinel-1). مثال ذلك الدراسة التي تمت في منطقة تونك في الهند [3]، حيث كان الفرق الزمني بين الصور (12) يوماً وتم التحقق من صحة وجودة الـ (DEM) الناتج بصرياً اعتماداً على طبقة التماسك، والتي كانت منخفضة بالنسبة للأراضي الزراعية والمسطحات المائية. إذ اقترح المؤلفون معالجة هذه المشكلة بتخفيض خط الأساس الزمني إلى (6) أيام من خلال الجمع بين صور (S1A) و (S1B). في [4] تم توصيف ومناقشة سلسلة المعالجة لاشتقاق الـ (DEM) من الصور ذات

المدار الصاعد والهابط للقمر الصناعي (ERS) من أجل تقليل الأخطاء الناتجة عن هندسة الإضاءة. وتم تحليل ستة صور تداخل من أزواج صور (Sentinel-1) لمدينة تسوكوبا في اليابان في [5]، إذ أكدت دراستهم أنه كلما كان ارتفاع الغموض (Height Ambiguity) أكبر، كلما كانت دقة الـ (DEM) أقل. تم اختبار قدرات قياس التداخل لتقديرات ارتفاع المبنى في لاريسا، اليونان من خلال استخدام ستة أزواج من الصور بخطوط أساس زمنية تتراوح بين (6) و (28) يوماً وخطوط أساس عمودية بين (114-171 م) لإنشاء نموذج رقمي للسطوح (DSM) فردي، والذي تم تكديسه ووضع متوسط له لتشكيل (DSM) حضري نهائي و استنتج المؤلفون أن الدقة المكانية لـ (Sentinel-1) ليست كافية للتنبؤ بشكل موثوق بارتفاع المبنى الفردي ولكن النتائج يمكن أن تكون مفيدة على مستوى الكتلة [6]. تم استخدام أربعة أزواج من صور (Sentinel-1) من سنوات مختلفة لكل منها، مع خطوط أساس زمنية تتراوح بين (6 و 24) يوماً وخطوط أساسية عمودية بين (24 و 180 م) وذلك في دراسة ارتفاعات الأنهار الجليدية على عكس ارتفاعات التضاريس لنهرين جليديين في منتزه (Los Glaciares) الوطني في الأرجنتين، مع وجود اختلافات في الارتفاعات تزيد عن (2000 م) [7]. إذ استنتجت هذه الدراسة أن هناك تدهور شديد في جودة الطور بسبب تأثير الغطاء النباتي والمنحدرات الحادة والكتل الجليدية المتحركة، وأن الأزواج ذات خطوط الأساس العمودية التي تقل عن (70 م) لم تكن قابلة للاستخدام في هذه الحالة.

2 هدف البحث وأهميته

تهدف هذه الدراسة إلى الاستفادة من مجموعات بيانات الـ (Sentinel-1) واستغلال برمجيات معالجة بيانات الرادار مفتوحة المصدر (SNAP) (Sentinel Applications Platform) وهي منصة تطبيقات لمعالجة صور (Sentinel)، بالإضافة لاستخدام أدوات (SNAPHU) خوارزمية تدفق تكلفة الشبكة الإحصائية لفك الطور (Network-Flow Phase Unwrapping) المقدمة على التوالي بواسطة وكالة الفضاء الأوروبية (ESA) وجامعة ستانفورد. وذلك، بهدف توليد نموذج (DEM) لمنطقة الدراسة في تللكخ والقريتين، والعمل على إيجاد أفضل دقة للـ (DEM) من خلال مقارنة بعض البارامترات وخصائص الصور المستخدمة (خطوط أساس مكانية عمودية وزمنية مختلفة، مدار صاعد

وهابط). تكمن أهمية هذا البحث في وضع منهجية معالجة توفر الوقت والجهد اللازم لتوليد نموذج (DEM) بشكل مجاني وتغطية مكانية كبيرة. بالإضافة إلى إمكانية توليد نموذج (DEM) قبل وبعد هزة أرضية أو انهيار أرضي أو حدث معين، مما يسمح لنا بدراسة التغيرات التي طرأت على السطح الأرضي نتيجة لتوفر البيانات الرادارية المستمرة منذ عام (2014) والتي يزودنا بها موقع كوبيرنيكوس.

3 مواد وطرائق البحث

3.1 صور (Sentinel-1)

يمكن لـ (Sentinel-1) الحصول على صور (SAR) بأنواع مختلفة من الاستقطابات مثل (HH و HV و VV و VH) [8]. يمكن تشغيل (Sentinel-1) بأحد أوضاع الاستحواذ الأربعة للحصول على صور (SAR) (الشكل 1) [9]:

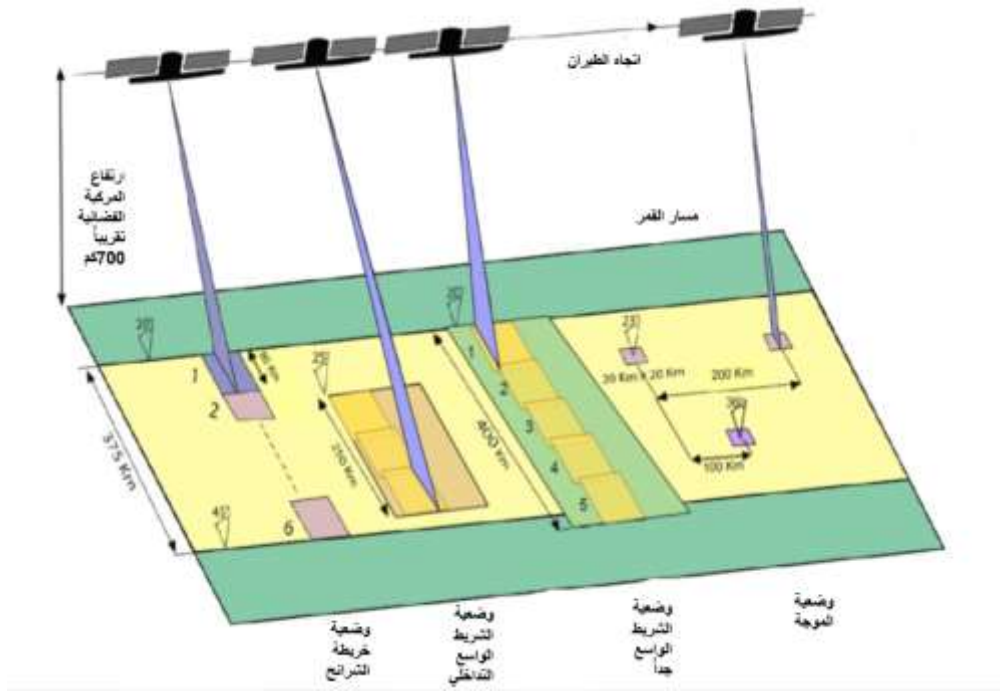
1-وضعية خريطة الشرائح (SM) Stripmap Mode

2-وضعية الشريط (الرقعة) الواسع التداخلي Interferometric Wide Swath Mode (IW)

3-وضعية الشريط الواسع جدا (EW) Extra Wide Swath Mode

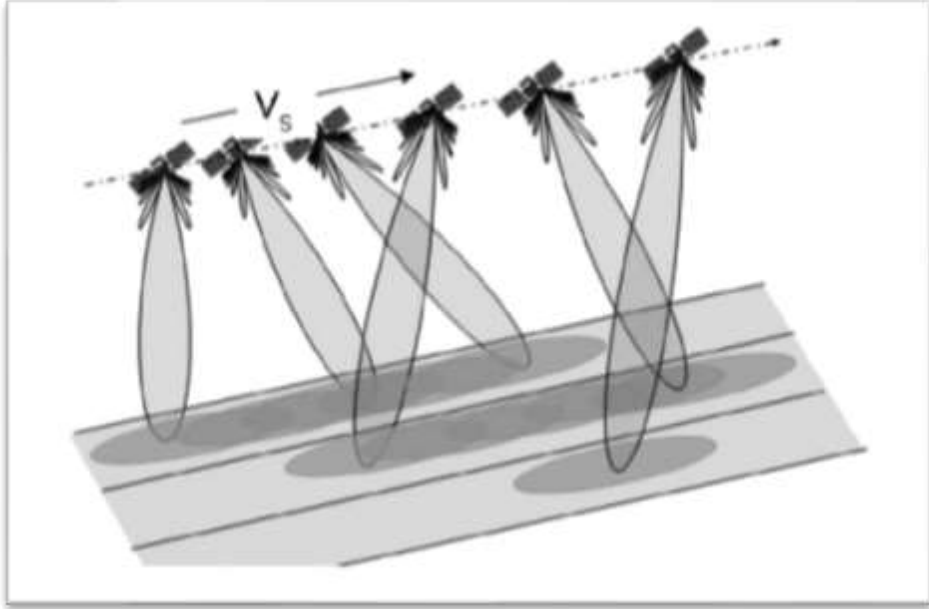
4- وضعية الموجة (WV) Wave Mode

توليد نموذج رقمي للارتفاعات من صور الأقمار الصناعية (Sentinel-1) باستخدام تقنية
التداخل الراداري - منطقة الدراسة: تلخلخ - القريتين في سورية



الشكل 1 : أوضاع تصوير Sentinel-1

إن وضع (IW) هو وضع التصوير الرئيسي لـ (Sentinel-1) لأغراض قياس التداخل. يعمل كل من وضعي (IW) و (EW) في وضع رصد التضاريس بالمسح التدريجي في السمات (TOPS) Terrain Observation with Progressive Scans in (Azimuth) (الشكل 2) [10]. مما يوفر عرضاً كبيراً للرقعة يبلغ (250 كم) بدقة مكانية تبلغ (20 م × 5 م) و (400 كم) بدقة مكانية تبلغ (40 م × 20 م)، على التوالي. في وضع التصوير (TOPS SAR) ، يتم توجيه حزمة سمت الهوائي من الخلف إلى المقدمة بمعدل ثابت. ونتيجة لذلك، وعلى عكس Scan SAR، يتم رصد جميع الأهداف على الأرض من خلال مخطط هوائي سمتي كامل الذي يلغى تقريباً تأثير النقوص (Scalloping) ويحقق غموضاً ثابتاً في السمات ونسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) شبه موحدة على طول السمات. ومع ذلك، فإن توجيه حزمة سمت السمت السريع يقلل من زمن بقاء الهدف، وبالتالي يقلل دقة التمييز المكانية باتجاه السمات [9].



الشكل 2 : نمط تصوير (TOPS SAR)

3.2 تداخل الـ (SAR)

يرتبط كل بكسل من صورة الـ (SAR) الرقمية بمساحة من سطح الأرض تدعى دقة الخلية (Resolution Cell). ولكل بكسل رقم معقد يحتوي معلومات السعة (Amplitude) والطور (Phase) للمجال الميكرويفي المنعكس من جميع المبعثرات (Scatterers) مثل الصخور و الغطاء النباتي و الأبنية ضمن دقة الخلية المسقطة على الأرض.

ترتبط الصفوف المختلفة للصورة مع مواقع سمتية مختلفة في حين تشير الأعمدة المختلفة إلى مواقع نطاقات مائلة مختلفة. يعتمد موقع وأبعاد دقة الخلية في إحداثيات السمات والمدى المائل فقط على خصائص النظام . وتحتوي صورة (SAR) المكتشفة على قياس السعة لإشعاع الرادار المرتد عن المبعثرات الموجودة في كل دقة خلية. تعتمد هذه السعة على الخشونة أكثر من التركيب الكيميائي. وتعرض بواسطة مستويات التدرج الرمادي. حيث تقابل البكسلات اللامعة مساحات ذات إشعاع متبعثر قوي (مثل المناطق العمرانية) في حين تقابل البكسلات الداكنة إشعاع متبعثر منخفض (حوض الماء الساكن) [11]. يدمج الـ (InSAR)

بأبسط أشكاله صورتي (SAR) تمت محاذاتهما بدقة لنفس المشهد لتكوين صورة لفرق الطور تسمى مخطط التداخل (Interferogram) عن طريق حساب الاختلافات في الطور لأموال الرادار ويتم عرض التداخل الناتج بالألوان. يمكن الحصول على صورتي (SAR) لتشكيل التداخل إما من هوائيين على نفس المنصة الفضائية ويفصلان بشكل عمودي على اتجاه الطيران (اتجاه السمات)، وهي تقنية تسمى التداخل أحادي المسار (Single Pass Interferometry) (وتسمى أيضاً التداخل المتزامن) أو من تمريرات مختلفة لنفس هوائي (SAR) في أوقات مختلفة، والمعروفة باسم (Repeat-Pass Interferometry) وهي التقنية المستخدمة في دراستنا. تسمى دورات فرق الطور في التداخل بالهامش (Fringes) وتنتج عن التداخل الموجة المرصودة لا يزيد عن دورة موجية واحدة. اعتماداً على اتجاه الرؤية للقمر، يقابل كل هامش زيادة أو نقصان في مدى نصف طول موجة الـ (SAR) على طول خط النظر للقمر.

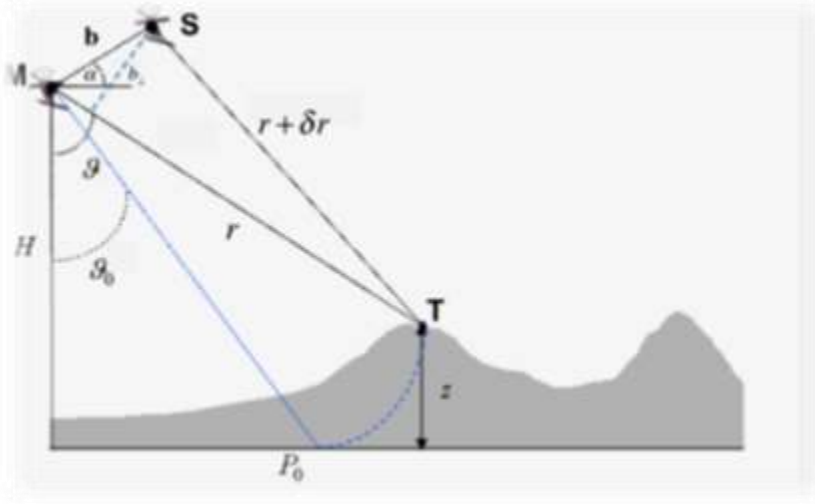
يعتمد طور قياس التداخل لكل بكسل فقط على الاختلاف في مسارات انتقال الإشارة من كل من مستشعري (SAR) إلى دقة الخلية المدروسة. وفقاً لذلك، يحتوي مخطط التداخل المحسوب على تباين في الطور (ϕ) من عدة عوامل مساهمة:

- عامل انحناء الأرض (طور الأرض المسطحة ϕ_{flat})
- عامل السطح الطبوغرافي للأرض (الطور الطبوغرافي ϕ_{DEM})
- عامل الظروف الجوية (تغير الرطوبة ودرجة الحرارة و الضغط بين عمليات الاستحواذ ϕ_{atm})
- عامل مصادر الضوضاء الأخرى (تغيير المشتتات أو المبعثرات، زاوية نظر مختلفة، تشتت حجمي ϕ_{noise})
- عامل تشوه (انزياح) السطح الذي حدث بين عمليتي الاستحواذ (طور الإزاحة ϕ_{disp}) [2].

3.3 تقنية الـ (InSAR) لتقدير تضاريس الارتفاع

عندما يلتقط نظام الرادار صورتي (SAR) لنفس المنطقة، تدعى الصورة الأولى الصورة الرئيسية (Master) ويتم التقاطها من الموقع المداري (M)، ويتم التقاط الصورة الثانية (أو

ما يسمى بالصورة التابعة (Slave) من الموقع المداري (S) و الموجود على مسافة (b) (يشار إليها باسم خط الأساس Baseline) من (M). في المستوى المتعامد مع اتجاه السمت يتم فصل هوائيي (SAR) بواسطة متجه خط الأساس (b). من (الشكل 3) الذي يوضح تشكيل تداخل (SAR) يمكن كتابة العلاقة (1) التي توضح المكون العمودي b_{\perp} لخط الأساس (خط الأساس العمودي) [12]:



الشكل 3 : تشكيل تداخل (SAR)

$$b_{\perp} = b \cos(\vartheta - \alpha) \quad (1)$$

حيث (θ) و (α) هما زاوية الرؤية الجانبية للقمر الصناعي وزاوية ميل متجه خط الأساس بالنسبة للمستوى الأفقي، على التوالي.

يمكن تمثيل صور (SAR) الرئيسية والتابعة ($\hat{\gamma}_1, \hat{\gamma}_2$) رياضياً بكسلاً تلو الآخر، على النحو التالي في المعادلات 2 و3:

$$\hat{\gamma}_1 = \gamma_1 \exp \left[-j \frac{4\pi}{\lambda} r \right] \quad (2)$$

$$\hat{\gamma}_2 = \gamma_2 \exp \left[-j \frac{4\pi}{\lambda} (r + \delta r) \right] \quad (3)$$

حيث: $j = \sqrt{-1}$ ، r هي المدى أو النطاق (range) بين الموقع المداري M ونقطة الكائن المدروسة.

δr الفرق بين النطاقين من موقعي القمر M و S إلى النقطة المدروسة
 γ_1 و γ_2 هما توابع الانعكاس المعقدة لبيانات الصورة الرئيسية والتابعة، على التوالي وتشير
 λ إلى الطول الموجي الفعال للرادار.

للتبسيط، في المعادلات (2 و 3) لم يتم اعتبار وجود إشارات ضجيج ممكنة. من أجل كل
بكسل، يمكن الحصول على فرق الطور بين صورتني (SAR) عن طريق ضرب الصورة
الرئيسية في المرافق المعقد للصورة التابعة ($\hat{\gamma}_2^*$) كما في المعادلة (4) [12]:

$$C = \hat{\gamma}_1 \hat{\gamma}_2^* = |\hat{\gamma}_1 \hat{\gamma}_2| \exp \left[j \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta r + \angle \gamma_1 - \angle \gamma_2 \right) \right] \quad (4)$$

يشير الرمز ($*$) إلى عملية المرافق المعقد و يمثل الرمز (\angle) عملية استخراج الطور.
من المعادلة (4)، بافتراض أن آلية التبثر لم تتغير بين مروري المستشعر على المنطقة
المدروسة نحصل على:

$$C = \hat{\gamma}_1 \hat{\gamma}_2^* = |\hat{\gamma}|^2 \exp \left[j \frac{4\pi}{\lambda} \delta r \right] \quad (5)$$

وهكذا، نحصل على طور التداخل (φ) ما في المعادلة (6):

$$\varphi = \frac{4\pi}{\lambda} \delta r \quad (6)$$

بتطبيق قاعدة جيب التمام على المثلث (MST) الموضح في (الشكل 3) [13]، يمكن
إثبات أن:

$$r + \delta r = \sqrt{b^2 + r^2 - 2br \sin(\vartheta - \alpha)} \simeq r' - b \sin(\vartheta - \alpha) \quad (7)$$

حيث (ϑ) تمثل

زاوية الرؤية الجانبية

وبالتالي، يمكن كتابة طور التداخل وفق المعادلة (8):

$$\varphi \simeq -\frac{4\pi}{\lambda} b \sin(\vartheta - \alpha) \quad (8)$$

عندما تكون الأرض مسطحة (أي $Z=0$) فإن، $\vartheta = \vartheta_0$ التي تمثل زاوية الرؤية الجانبية في حالة الأرض المنبسطة، وتصبح المعادلة (8) على الشكل:

$$\varphi \simeq -\frac{4\pi}{\lambda} b [\sin(\vartheta_0 - \alpha) + \cos(\vartheta_0 - \alpha)(\vartheta - \vartheta_0)] \quad (9)$$

يرتبط ارتفاع الهدف، أي Z ، بزاوية الرؤية الجانبية ϑ وارتفاع القمر الصناعي H

كما في العلاقة (10):

$$Z = H - r \cos \vartheta \quad (10)$$

$$\frac{\partial z}{\partial \vartheta} = r \sin \vartheta \rightarrow \frac{\partial \vartheta}{\partial z} = \frac{1}{r \sin \vartheta} \rightarrow$$

$$\vartheta - \vartheta_0 = \frac{z}{r \sin \vartheta} \quad (11)$$

$$\varphi \simeq -\frac{4\pi}{\lambda} b \sin(\vartheta_0 - \alpha) - \frac{4\pi}{\lambda} \frac{b_{\perp}}{r \sin \vartheta} z \quad (12)$$

يمثل الحد الأول على الجانب الأيمن من المعادلة (12) ما يسمى بمساهمة طور الأرض المسطحة أو الطور المرجعي، أي الطور الذي يتم الحصول عليه عندما يكون السطح الطبوغرافي مسطحاً تماماً ($Z = 0$).

يربط الحد الثاني طور قياس التداخل بارتفاع السطح Z . من خلال المعادلة (12)، يتضح أن طور قياس التداخل يتناسب مع الارتفاع من خلال قيمة خط الأساس العمودي لزوج بيانات قياس التداخل. وفقاً لذلك، كلما زاد خط الأساس العمودي، زادت دقة تقدير التضاريس، كما هو موضح في المعادلة التالية (13) التي تربط الانحراف المعياري لقياس الطور σ_{φ} (أي خطأ قياس طور (InSAR) بالانحراف المعياري لقياسات الارتفاع المشتقة من (InSAR):

$$\sigma_z = -\frac{\lambda}{4\pi} \frac{r \sin \vartheta}{b_{\perp}} \sigma_{\varphi} \quad (13)$$

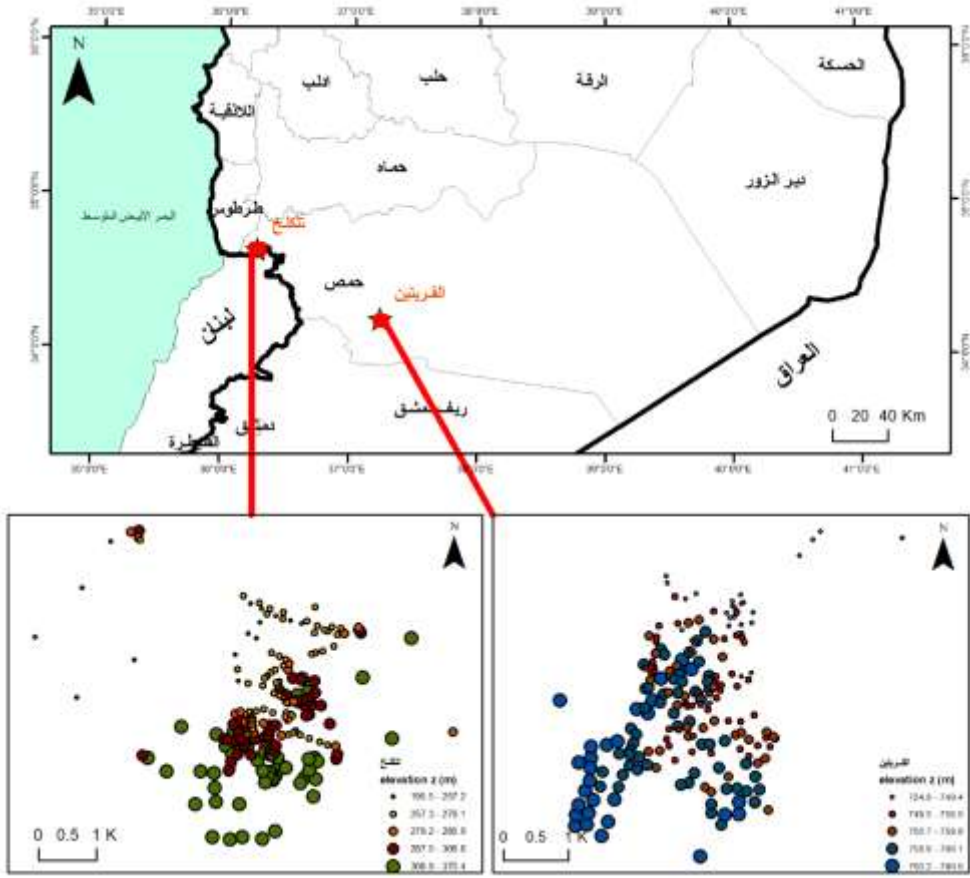
هناك مقياس آخر يستخدم بشكل متكرر لأداء قياس التداخل لتقدير تضاريس الارتفاع و هو ما يسمى بارتفاع الغموض (Height Ambiguity)، والذي يمثل مقدار تغير الارتفاع الذي يؤدي إلى تغيير قدره (2π) في طور قياس التداخل، والذي يمكن اشتقاقه بسهولة من المعادلة (13)، بفرض ($\sigma_{\varphi} = 2\pi$) على النحو التالي:

$$z_{2\pi} = \left| -\frac{\lambda r \sin \vartheta}{2b_{\perp}} \right| \quad (14)$$

3.4 منطقة الدراسة والبيانات المستخدمة في البحث

تم اختيار منطقتين للدراسة، منطقة القريتين و منطقة تلكلخ الشكل(4)، وذلك بهدف دراسة تأثير البارامترات المختلفة على دقة الارتفاعات الناتجة باستخدام تقنية (InSAR). تقع تلكلخ على مسافة (45 كم) إلى الغرب من مدينة حمص، وهي ذات طبيعة تضاريسية وعرة وترتفع عن سطح البحر حوالي (500 م). تقع القريتين على تخوم البادية السورية وإلى الجنوب الشرقي من مركز محافظة حمص بحوالي (85 كم) وتتميز بتضاريس سهلية وغطاء نباتي خفيف.

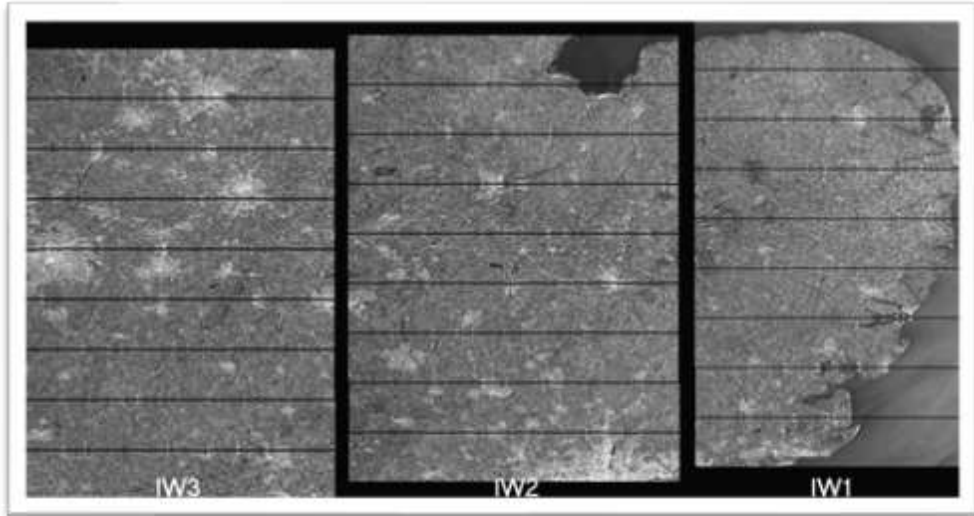
يوضح الشكل (4) توزيع النقاط الحقلية التي تم قياسها باستخدام أعمال المسح الأرضي واستخدامها لتقييم الدقة في منطقتي الدراسة.



الشكل 4: منطقة الدراسة وتوزع نقاط القياسات الحقلية في منطقتي الدراسة (تلخالخ - القريتين)

تم استخدام منتجات مركب مشهد مفرد (single look complex) IW-SLC التي تتكون من ثلاث رقع فرعية لكل قناة استقطاب فرعية (IW1, IW2, IW3). إذ تعتمد تسمية كل رقعة فرعية على نوع المدار، أي صاعد (Ascending) حيث يدور القمر من الجنوب إلى الشمال ويرصد من جهة الغرب أو هابط (Descending) يدور القمر من الشمال إلى الجنوب ويرصد من جهة الشرق، الرقعة الفرعية القريبة إلى المدى القريب هي (IW1)، والرقعة الفرعية في المدى البعيد هي (IW3) وتتكون كل رقعة فرعية من تسع رشقات (bursts)، حيث تتم معالجة كل رشقة كصورة (SLC) منفصلة. يتم تضمين الرشقات المتسلسلة المعقدة المركزة الفردية بترتيب زمن السمات في صورة رقعة فرعية، مع ترسيم الحدود باللون الأسود. كما في (الشكل 5):

تم تحميل البيانات المستخدمة في هذا البحث من مركز الوصول المفتوح كوبرنيكوس، إذ تمت دراسة ستة أزواج من الصور في حالة المدار الصاعد (Ascending) في منطقتي تلخخ والقريتين بخطوط أساس زمنية تتراوح بين (6) و(36) يوماً وخطوط أساس عمودية تتراوح بين (82م) و(176م)، حيث احتوت كل صورة على منطقتي الدراسة معاً في رقتين فرعيتين مختلفتين ولذلك كانت خطوط الأساس العمودية والزمنية نفسها في المنطقتين في حالة المدار الصاعد. كذلك تمت دراسة خمسة أزواج من الصور في حالة المدار الهابط (Descending) في المنطقتين بخطوط أساس زمنية تتراوح بين (12) و(96) يوماً وخطوط أساس عمودية تتراوح بين (143م) و(177م). لم تتضمن الصورة الواحدة في حالة المدار الهابط على منطقتي الدراسة معاً لذلك، كانت فقط خطوط الأساس الزمنية نفسها في المنطقتين بينما اختلفت خطوط الأساس العمودية بسبب اختلاف موقع القمر أثناء عملية التصوير لمنطقتي الدراسة في حالة المدار الهابط كما هو موضح في الجدول (1).



الشكل 5: الرقع الفرعية لصورة (IW-SLC) في حالة المدار الهابط

الجدول(1): أزواج الصور المستخدمة مع خطوط الأساس الزمنية والعمودية

أزواج الصور من المدارات الصاعدة (ascending)					
	الصورة التابعة Slave	الصورة الرئيسية Master	b _{temp} day خط الأساس الزمني	b _⊥ m خط الأساس العمودي	منطقة الدراسة
1	S1B_IW_SLC__1SDV_20190904	S1B_IW_SLC__1SDV_20191010	36	119	القرينتين
2	S1B_IW_SLC__1SDV_20190928	S1B_IW_SLC__1SDV_20191010	12	82	القرينتين
3	S1A_IW_SLC__1SDV_20191004	S1B_IW_SLC__1SDV_20191010	6	176	القرينتين
4	S1B_IW_SLC__1SDV_20190904	S1B_IW_SLC__1SDV_20191010	36	119	تلكلخ
5	S1B_IW_SLC__1SDV_20190928	S1B_IW_SLC__1SDV_20191010	12	82	تلكلخ
6	S1A_IW_SLC__1SDV_20191004	S1B_IW_SLC__1SDV_20191010	6	176	تلكلخ
أزواج الصور من المدارات الهابطة (descending)					
1	S1B_IW_SLC__1SDV_20190625	S1B_IW_SLC__1SDV_20190929	96	172	تلكلخ
2	S1B_IW_SLC__1SDV_20200731	S1B_IW_SLC__1SDV_20190929	60	153	تلكلخ
3	S1B_IW_SLC__1SDV_20191011	S1B_IW_SLC__1SDV_20190929	12	143	تلكلخ
4	S1B_IW_SLC__1SDV_20191011	S1B_IW_SLC__1SDV_20190929	12	151	القرينتين
5	S1B_IW_SLC__1SDV_20190625	S1B_IW_SLC__1SDV_20190929	96	177	القرينتين

3.5 معالجة البيانات

3.5.1 التسجيل المشترك (Coregistration)

مخطط التداخل هو نتيجة قياس التداخل من صور (SAR) مركبة (complex) حصل عليها الرادار لنفس المنطقة ولكن في مواضع مختلفة للرادار، بحيث تختلف صورة الهدف نفسه في الصورتين. هذا يعني أن هناك إزاحة بين الصورتين تتعلق بهندسة الـ (SAR) ومدار القمر الصناعي وتوقيت الرادار وطبوغرافيا الهدف. ومن أجل إنشاء مخطط تداخل صحيح، يجب تسجيل الصورة التابعة في نفس هندسة الصورة الرئيسية بحيث يكون لكل هدف في الصورتين

إحداثيات متطابقة (نفس النطاق) (Range) وموضع السمات (Azimuth) بالضبط [14].
من أجل إعادة تشكيل الصورة التابعة إلى هندسة الصورة الرئيسية، يلزم تعيين متعدد الحدود
من الدرجة المنخفضة (d) كما في المعادلة (15) [15]:

$$\begin{pmatrix} \xi_S \\ \eta_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi_M \\ \eta_M \end{pmatrix} + \sum_{i=0}^d \sum_{j=0}^{d-i} \begin{pmatrix} a_{ij} & \xi_M^i & \eta_M^j \\ b_{ij} & \xi_M^i & \eta_M^j \end{pmatrix} \quad (15)$$

يتم إجراء تقدير أولي خشن (coarse) لمعاملات كثير الحدود (a_{00}, b_{00}) ، نحصل عليها
من هندسة المدار مفترضين ارتفاع صفري للتضاريس. يتم إجراء ترميز جغرافي (Geocoding)
للبيكسل ذي الإحداثيات (ξ_M, η_M) في الصورة الرئيسية [16]، ويتم حساب
إحداثيات البيكسل المقابل في الصورة التابعة (ξ_S, η_S) عن طريق الترميز الجغرافي
العكسي (Backgeocoding). وهكذا نحصل على إزاحات التسجيل المشترك المدارية
 $(\Delta\check{\xi}, \Delta\check{\eta})$ كما في (المعادلة 16):

$$\Delta\check{\xi} = \check{\xi}_S - \xi_M \quad (16)$$

$$\Delta\check{\eta} = \check{\eta}_S - \eta_M$$

والتي تُستخدم لاحقاً لتحديد الإزاحة النسبية لأزواج البقع الموزعة بشكل متجانس من صورتي
السعة. يؤدي الارتباط المتبادل (Cross-Correlating) بين هذه الرقع إلى إزاحات
تسجيل أكثر دقة من الارتباط (Correlation) (المعادلة 17):

$$\Delta\xi = \xi_S - \xi_M$$

$$\Delta\eta = \eta_S - \eta_M \quad (17)$$

يتيح الإفراط في أخذ العينات تحديد الإزاحات على مستوى البيكسل الفرعي باستخدام الأداة (TOPSAR-Split)، يتم اختيار الرقعة الفرعية (Subswath) والرشقات (Bursts) المناسبة لتحديد منطقة الدراسة واختزال كمية المعالجة (الشكل 6).

يتم تحميل البيانات المتعلقة بموقع القمر الصناعي أثناء استحواذ بيانات (SAR) تلقائياً
لمنتجات (Sentinel-1) بواسطة برنامج (SNAP) وإضافتها إلى بيانات التعريف الخاصة
بها مع مشغل تطبيق ملف المدار (APPLY ORBIT FILE). تم اختيار (SRTM 1sec)
(DEM) و طريقة الجار الأقرب (nearest-neighbor) لإجراء الترميز
الجغرافي العكسي.



الشكل 6: الرقعة الفرعية IW2 والرشقات 8 و9 في منطقة تملكخ في حالة المدار الهابط

3.5.2 تشكيل مخطط التداخل (Interferogram)

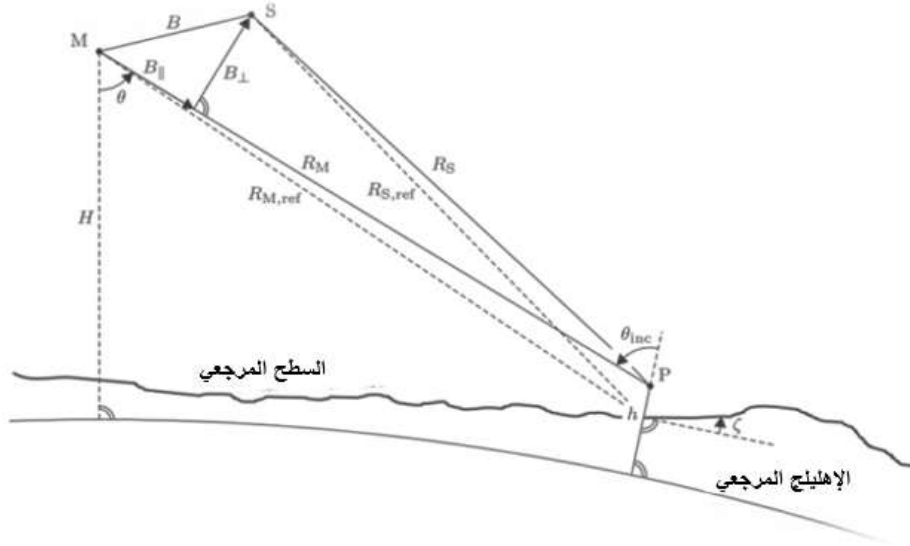
من الأفضل الإبقاء على مساهمات الغلاف الجوي والضوضاء الأخرى صغيرة قدر الإمكان لأنه من الصعب تقديرها. وأن لا تكون هناك إزاحة في السطح بين زمني استحواذ الصورتين. لذلك قمنا باستخدام صور من موسم الجفاف بخط أساس عمودي مناسب عن طريق بوابة البحث (<https://search.asf.alaska.edu>) باستخدام أداة خط الأساس (baseline tool) التي توفر تصوراً لبيانات خط الأساس الزمني والعمودي. لتشكيل التداخل يتم طرح الطور الناتج عن انحناء سطح الأرض (الطور المرجعي (ϕ_{ref})) المعطى بالعلاقة التالية [15]:

$$\phi_{ref} = -\frac{4\pi}{\lambda} (R_{M,ref} - R_{S,ref}) \quad (18)$$

حيث، $(R_{M,ref})$ و $(R_{S,ref})$ هي النطاقات إلى السطح المرجعي للصورة الرئيسية والتابعة على التوالي للهدف (P) المرمز جغرافياً كما يوضح (الشكل 7). يمكن تلخيص إجراء حساب الطور المرجعي في أربع خطوات [16]:

1- في عدة مواقع (أزمنة) على طول المدار (1)، يتم تحديد النطاقات إلى بضع نقاط موزعة بالتساوي في منطقة مخطط التداخل. إذ يتم استخدام تردد دوبلر المستخدم

- لتركيز (SAR) ، وزمن المدى، وتحديد الجسم المرجعي للعثور على موقع النقطة (P) عن طريق الحل التكراري لمجموعة من ثلاث معادلات [17].
- 2- بالنسبة لهذه النقاط، يتم استرداد الموضع في زمن التصوير على طول المدار (2) مع النطاقات المقابلة.
- 3- يتم تحديد فروق النطاق لكل نقطة مرجعية، وتحويلها إلى اختلافات طور.
- 4- استيفاء لكل دقة خلية (Resolution Cell) في مخطط التداخل.
- باستخدام معلومات البيانات الوصفية المدارية يتم تقدير طور الأرض المسطحة في البرنامج وطرحه من التداخل. إلى جانب طور قياس التداخل، يتم تقدير التماسك (Coherence) بين الصورة الرئيسية والصورة التابعة كمؤشر لجودة معلومات الطور. إذ يوضح ما إذا كانت الصور بها أوجه تشابه قوية وبالتالي فهي قابلة للاستخدام في معالجة قياس التداخل. قد يكون فقدان التماسك ناتج عن الفاصل الزمني بين استحواذ الصور (فوق الغطاء النباتي والأجسام المائية)، و هندسة المدار (أخطاء أو عدم دقة في البيانات الوصفية للمدار) أو عدم الترابط الحجمي (Volume Decorrelation) (آليات التششت المحتملة للهياكل الضخمة، مثل الغطاء النباتي المعقد أو الأسطح الجافة).



الشكل 7 : هندسة استحواذ (InSAR) والنطاقات إلى السطح المرجعي

يتم تقدير التماسك من خلال حساب قائم على النافذة لحجم معامل الارتباط المتبادل المعقد لصور (SAR) كما في المعادلة التالية [18]:

$$\gamma = \frac{\sum_{n=1}^N V_1^{(n)} \cdot V_2^{*(n)}}{\sqrt{\sum_{n=1}^N |V_1^{(n)}|^2 \cdot \sum_{n=1}^N |V_2^{(n)}|^2}} \quad (19)$$

حيث (N) هو عدد البكسلات في النافذة، (V) هي إشارة الصورة (سعة وطور) وتشير (V*) إلى المترافق المعقد للإشارة. تتراوح قيم التماسك بين (0 و 1)، ستظهر مناطق التماسك العالي لامعة مثل مناطق المباني، والمناطق ذات التماسك المنخفض ستكون مظلمة

مثل مناطق الغطاء النباتي. إذا كانت مناطق التماسك المنخفض هي السائدة للغاية في الصورة، فسوف يفشل فك التغليف اللاحق وينتج عنه نتائج خاطئة أو عشوائية. تم حساب نطاق التماسك في البرنامج على أساس نافذة من (10x3) بيكسل في اتجاه المدى/السمت. تتم إزالة خطوط التماس في مخطط التداخل حيث يتم استخدام أداة (TOPS Deburst) للقيام بهذه العملية.

لا يمكن استعادة معلومات الطور في مناطق التماسك المنخفض، ولكن يمكن زيادة جودة الهوامش الموجودة في مخطط التداخل من خلال تطبيق مرشحات طور متخصصة، مثل مرشح غولد شتاين (Goldstein) (المعادلة 20) الذي يستخدم تحويل فورييه السريع (FFT) لتحسين نسبة الإشارة إلى الضجيج في الصورة [19]. إذ تتم تجزئة التداخل إلى بقع مستطيلة متداخلة ويتم تقدير طيف الطاقة (Power Spectrum) (المعادلة 21) عن طريق تنعيم كثافة الـ (FFT) ثنائية الأبعاد. تتكيف دقة التمييز المكانية (Spatial Resolution) للمرشح مع تغير الطور المحلي، فيتم ترشيح مناطق الطور السلس بقوة بعكس المناطق ذات التباين العالي في الطور، والتي يتم الترشيح فيها بشكل ضعيف.

$$H(u, v) = |Z(u, v)|^a \quad (20)$$

$$Z(u, v) = \exp \left\{ -\frac{\frac{u^2}{\sigma_u^2} - \frac{2uv}{\sigma_u \sigma_v} + \frac{v^2}{\sigma_v^2}}{2(1 - \rho^2)} \right\} \quad (21)$$

حيث، $H(u, v)$: مرشح تكيفي (Adaptive Filter)

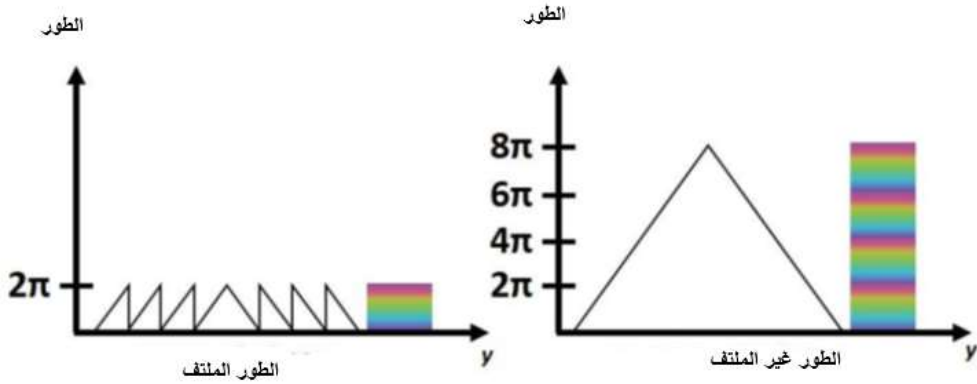
$Z(u, v)$: طيف الطاقة (Power Spectrum)

(u, v) : إحداثيات التردد و (σ_u) ، (σ_v) : هي عرض النطاق للإحداثيات (u, v) على التوالي. نستخدم أداة فلتر غولدشتاين لزيادة جودة مخطط التداخل وهذا ما يساعدنا لاحقاً بشكل كبير في عمليات المعالجة.

3.5.3 فك تغليف (التفاف) الطور (PU) Phase Unwrapping

في مخطط التداخل، يكون طور قياس التداخل غامضاً ومعروفاً فقط ضمن مقياس (2π) لربط طور قياس التداخل بالارتفاع الطبوغرافي، يجب أولاً فك الطور. يُعرّف ارتفاع الغموض على أنه اختلاف الارتفاع الذي يولد تغييراً في طور قياس التداخل بمقدار (2π) درجة بعد

تسطيح مخطط التداخل (طرح الطور المرجعي). يحل فك الطور هذا الغموض من خلال دمج فرق الطور بين وحدات البكسل المجاورة. بعد حذف أي عدد صحيح من ارتفاعات الغموض (ما يعادل عدداً صحيحاً من دورات الطور (2π))، يوفر تباين الطور بين نقطتين على مخطط التداخل المسطح قياساً لتغير الارتفاع الفعلي (الشكل 8). وفقاً لذلك، يجب تفسير النتائج غير المغلفة على أنها ارتفاع / إزاحة نسبية بين وحدات بكسل الصورتين [2].



الشكل 8: مبدأ فك التفاف الطور (Phase Unwrapping)

تقتض معظم منهجيات فك الطور ثنائي الأبعاد أنه يتم أخذ عينات من البيانات بشكل كافٍ في معظم أجزاء المشهد. وفي هذه الحالة تتساوى تدرجات الطور غير المغلفة مع التدرجات المغلفة المرصودة، ويمكن الحصول على تقدير للطور غير المغلف للتداخل بسهولة من خلال تكامل هذه التدرجات المقدر.

ولكن معظم برامج التداخل تحتوي على تدرجات (Gradient) تتجاوز نصف دورة، وتكاملها غير الصحيح يؤدي إلى أخطاء عالمية ومن هنا تتبع صعوبة فك الطور. تنشأ هذه التدرجات التي توجد خارج المجال $[-\pi, +\pi]$ بسبب كل من عدم الترابط والتغيرات المكانية الحقيقية للإشارات قيد الرصد. نسمي هذه التدرجات بالانقطاعات (Discontinuities). وبالتالي، تكمن مهمة خوارزمية فك الطور ثنائي الأبعاد بتحديد واستيعاب هذه الانقطاعات [20].

توجد ثلاث استراتيجيات لفك الطور [21] وهي:

1- أساليب تتبع المسار (Path-Following): يمكن تحديد مسار التكامل من خلال توزيع الرواسب (Residues) أو خريطة الجودة. تضمن هذه الطرق التطابق بين

المدخلات وأطراف الطور المعاد تغليفيها لنتيجة (PU) (ما يسمى التوافق الهامشي). هناك نوعان من هذه الطرق:

-الطرق المستندة إلى نظرية الرواسب: يمكن تلخيصها كمعايير توازن الرواسب. ويمكن الكشف عن الرواسب بواسطة قيمة تكامل الحلقة لتدرجات الطور المقدر لكل (2 x 2) بكسل متجاور. هناك ثلاثة خيارات فقط لقيمة تكامل الحلقة هذه، أي (0) و (-2π) (تسمى رواسب سلبية) و ($+2\pi$) (تسمى رواسب إيجابية). ومن ثم، عندما يكون تكامل المسار المغلق صفراً، فإن نتيجة التكامل ستكون مستقلة عن مسار التكامل. وتحسب مقدرات تدرجات الطور المطلق بين البكسلات المتجاورة من العلاقة (22):

$$\hat{\Delta}_{\psi}(s, s - 1) = \begin{cases} \varphi(s) - \varphi(s - 1) & |\varphi(s) - \varphi(s - 1)| \leq \pi \\ \varphi(s) - \varphi(s - 1) - 2\pi & \varphi(s) - \varphi(s - 1) > \pi \\ \varphi(s) - \varphi(s - 1) + 2\pi & \varphi(s) - \varphi(s - 1) < -\pi \end{cases} \quad (22)$$

حيث: $\hat{\Delta}_{\psi}(s, s - 1)$ هو مقدر تدرج الطور المطلق بين البكسل (s) والبكسل (s-1) $\varphi(s) - \varphi(s - 1)$ هو تدرج الطور المغلف (الملتف).

حقل التدرج الناتج من هذه العلاقة هو ثنائي البعد (أفقي وشاقولي). نحصل على الطور المطلق لكل بكسل من خلال عملية تكامل بسيطة مع نقطة مرجعية معروفة. تعتبر خوارزمية قطوع الفرع (Branch Cuts) الأكثر تمثيلاً لهذه الطرق.

- أساليب موجهة بالجودة (Quality-Guided): تحاول هذه الطرق إنشاء مسار التكامل الذي يمر أولاً بالبكسل الأعلى جودة الذي توفره خريطة الجودة، مفترضة أنه من غير المحتمل أن تتسبب البكسلات ذات الجودة العالية في حدوث خطأ في الـ (PU). توفر هذه الطرق مبادلة فعالة بين زمن تشغيل الـ (PU) والدقة.

2- الأساليب القائمة على التحسين (Optimization-Based Methods): تستخدم هذه الطرق وظائف موضوعية (Objective Functions) مختلفة للتقليل، قدر الإمكان، من الفرق بين تدرجات الطور غير المغلفة والتدرجات المقدر [22]، [23]، [24]. أحد هذه الأساليب هي طريقة الحد الأدنى لتدفق التكلفة (MCF) (the Minimum-Cost) [25] Flow.

3- لأساليب المستندة إلى الإحصاء (Statistics-Based Methods): تحصل هذه الطرق على نتيجة (PU) من خلال تعظيم الاحتمال الشرطي لنتيجة (PU) بوجود الطور المغلف المعطى.

تعتبر طريقة (SNAPHU) المقترحة في [26] واحدة من أكثر الأساليب القائمة على الإحصاء تمثيلاً. يُستخدم نموذج التكلفة الإحصائية وتدفق الشبكة لحساب حل (PU) الأكثر احتمالاً.

تطرح هذه الخوارزمية فك الطور باعتباره مشكلة تقدير احتمالية لاحقة قصوى (MAP) (Maximum a Posteriori Probability). إذ يتم تحديد وظائف تكلفة القوس الذي يربط العقد المجاورة (nodes) المطابقة للرواسب الإيجابية والسلبية بحيث يؤدي تقليل التكلفة الإجمالية إلى زيادة احتمال الحل غير المغلف إلى الحد الأقصى تقريباً نظراً لبيانات الإدخال التي يمكن رصدها. تتشكل دوال التكلفة هذه من اللوغاريتمات السالبة لوظائف كثافة الاحتمال غير المغلفة (PDFs) كما في العلاقة التالية:

$$g_k(\Delta\phi_k, \Delta\psi_k) = -\log(f(\Delta\phi_k|\Delta\psi_k, I, \rho)) \quad (23)$$

حيث: g_k دالة (وظيفة) التكلفة، $\Delta\phi_k$ تدرجات الطور المغلف و $\Delta\psi_k$ تدرجات الطور غير المغلف

I متوسط شدة صور (SAR) المشكلة لمخطط التداخل

ρ مقدار معامل الارتباط المركب للتداخل

ونظراً لأن طريقة (SNAPHU) تستخدم إجراء تحسين تكراري، فإن وقت تنفيذه يعتمد على صعوبة مخطط التداخل. يتم فيها تقسيم مخطط تداخل كبير إلى بلاطات (Tiles) بها عدد من الصفوف والأعمدة في التقسيم. باستخدام خيار البلاط، يتم تشغيل تحسين هذه الطريقة على كل بلاطة على حدة، والذي يستخدم ذاكرة ووقتاً أقل من القيام بالتحسين على مخطط التداخل الكامل. في النهاية، تأخذ الطور غير المغلف من كل بلاطة وتستخدم التداخل مع البلاطات المجاورة لتقدير الإزاحة الإجمالية لكل بلاطة بالنسبة للبلاطات الأخرى وإعداد طور نهائي غير مغلف لمخطط التداخل الكامل.

من أجل تنفيذ فك النطاق الطور، نقوم باستخدام الأداة (Snapu Export) لتحويل مخطط التداخل كطور مغلف إلى تنسيق يمكن تشغيله بواسطة أداة الـ (Snapu)، حيث

يمكن بدء عملية فك التغليف من داخل الـ (SNAP) عن طريق تحديد مشغل (Snaphu - Unwrapping) لا يحتوي الطور المفتوح غير المغلف على أي بيانات وصفية أو ترميز جغرافي للمنتج. إذ يقوم برنامج الـ (Snaphu) بتحويله مرة أخرى إلى تنسيق مناسب يحتوي على البيانات الوصفية المطلوبة من المنتج قبل عملية فك التغليف كونهما ينتميان إلى نفس الشكل الهندسي وعندها تتم عملية الاستيراد باستخدام الأداة (Snaphu Import).

3.5.4 تحويل طور التداخل إلى ارتفاع (Phase to Elevation)

الطور غير المغلف هو عبارة عن خطوط نقطية مستمرة ولكنها ليست مقياساً مترياً بعد. لتحويل وحدات الراديات إلى ارتفاعات، يتم تشغيل إجراء (phase to elevation) وبالتالي يصبح لكل بكسل قيمة مترية تشير إلى الارتفاع .

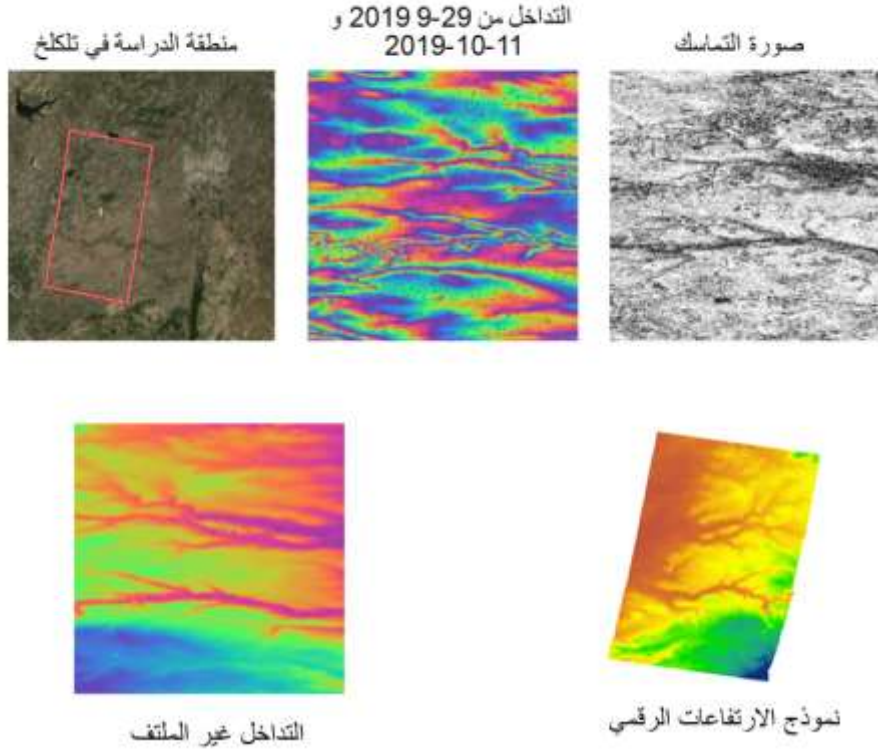
3.5.5 تصحيح التضاريس (Terrain Correction)

يعمل تصحيح التضاريس على ترميز الصورة جغرافياً عن طريق تصحيح التشوهات الهندسية لـ (SAR) بسبب هندسة الإضاءة، وذلك باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي (SRTM1sec) ونحصل على منتج مُسقط على الخريطة. يحول الترميز الجغرافي الصورة من هندسة النطاق المائل أو هندسة النطاق الأرضي إلى نظام إحداثيات خريطة، وذلك بتطبيق منهجية (Range Doppler Terrain Correction) باستخدام عامل تصحيح التضاريس (Range Doppler Terrain Correction)

4 النتائج ومناقشتها

باستخدام برنامج (ArcMAP) تم استخراج ارتفاعات (200) نقطة تم قياسها حقلياً ضمن أعمال المسح الأرضي في منطقتي تلكلخ والقرينين في نماذج الارتفاعات الرقمية التي تم حسابها لأزواج الصور في الجدول (1) باستخدام برنامج (SNAP 8). يبين الشكل (9) خطوات توليد (DEM) للصورتين بتاريخ (2019-9-29) و (2019-10-11) في منطقة تلكلخ. تم حساب الفروق بين الارتفاعات المستخرجة و ارتفاعات النقاط الحقلية المقاسة، كذلك المتوسط (MEAN) والانحراف المعياري (SD) لهذه الفروق من أجل تقييم دقة نماذج الارتفاعات المشتقة وحساب جذر الخطأ المتوسط التربيعي (RMSE). إذ يعد الـ (MEAN) والـ (RMSE) أكثر المقاييس شيوعاً في معظم الدراسات من أجل إجراء تقييم

الدقة الإحصائية لأنها حساباتهما تستند إلى مرجع (DEM) ذي جودة أعلى أو نقاط حقلية، و تعطي مقياساً للانحراف بالأمتار، وهو أمر يسهل تفسيره [2].



الشكل(9): خطوات توليد الـ (DEM) من صورتي (Sentinel1) في تكلخ

4.1 تأثير خط الأساس الزمني

لتوضيح تأثير خط الأساس الزمني على جودة تحليلات قياس التداخل، يجب أن تكون قيمة خط الأساس العمودي متساوية أو متقاربة ومن أجل المدار نفسه صاعد أو هابط. يبين الشكل(10) صور التماسك الناتجة من أجل خطي الأساس الزمنيين (12) و (60) يوماً وخطي أساس عموديين متقاربين (143) متر و (153) متر في منطقة تكلخ في حالة المدار الهابط ، وكما يبدو واضحاً وجود مناطق التماسك العالي (اللامعة البيضاء) في صورة

التماسك من أجل (12) يوماً بينما نلاحظ انخفاض التماسك مع تزايد خط الأساس الزمني وتظهر مناطق التماسك المنخفض (المظلمة) بشكل واضح في صورة التماسك من أجل (60) يوماً، وهذا ما تؤكد قيم (RMSE) للارتفاعات المستخرجة حيث تكون قيمتها أكبر من أجل خط الأساس الزمني (60) يوماً وبالتالي تكون دقة الارتفاع أقل .



صورة التماسك من أجل 60 يوماً (Min=0.04 , Max=0.75)



صورة التماسك من أجل 12 يوماً (Min=0.08 , Max=0.86)

الشكل 10: صور التماسك من أجل خطي الأساس الزمنيين (12) و (60) في منطقة تللكخ في حالة المدار الهابط والقيم الدنيا والعظمى للتماسك في الحالتين

يوضح الجدول (2) القيم الدنيا (Min) والعليا (Max) للارتفاعات المشتقة في حالة المدار الهابط في تللكخ من أجل خطي الأساس الزمنيين (12) و(60) يوماً، كذلك قيم (MEAN) و (SD) للفروقات (Diff) (حيث Diff = ارتفاع النقطة الحقلية المستخرج في النموذج DEM - ارتفاع النقطة الحقلية المقاسة) وقيمة (RMSE) للارتفاعات المشتقة. حيث نلاحظ تناقص قيم (SD) و (RMSE) بتناقص خط الأساس الزمني وتزداد بالتالي دقة نموذج الارتفاع المشتق في منطقة تللكخ.

حيث: (SD) هو الانحراف المعياري للفروقات (الجذر التربيعي لناتج قسمة مجموع مربعات انحرافات قيم (Diff) عن متوسط هذه الفروقات على عدد النقاط (200)).

أما (RMSE) جذر الخطأ المتوسط التربيعي للارتفاعات المشتقة و هو (الجذر التربيعي لنتائج قسمة مجموع مربعات انحرافات قيم الارتفاعات المشتقة عن القيم الحقيقية المقاسة على عدد النقاط (200)).

الجدول(2):القيم الإحصائية لنموذجي الارتفاعات (InSAR) في حالة المدار الهابط في منطقة تلكلخ من أجل خطي الأساس الزمنيين (12) و(60) يوماً

DEM	Min(m)	Max(m)	Diff		RMSE(m)
			MEAN(m)	SD(m)	
النقاط الحقيقية	195.523	370.417	-	-	-
InSAR(12)	195.444	397.412	5.02	11.58	12.62
InSAR(60)	207.037	422.313	4.13	22.32	22.70

يوضح الجدول (3) القيم الدنيا (Min) والعليا (Max) للارتفاعات المشتقة في حالة المدار الهابط في القرينتين من أجل خطي الأساس الزمنيين (12) و(96) يوماً، كذلك قيم (MEAN) و(SD) للفروقات (Diff) وقيمة (RMSE) للارتفاعات المشتقة. حيث نلاحظ أيضاً تناقص قيم (SD) و(RMSE) بتناقص خط الأساس الزمني وتزداد بالتالي دقة نموذج الارتفاع المشتق في منطقة القرينتين.

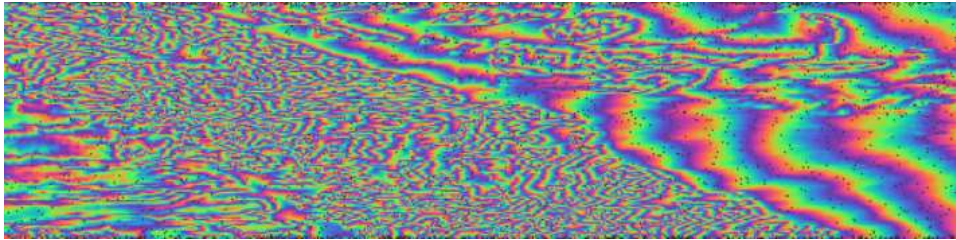
الجدول(3): القيم الإحصائية لنموذجي الارتفاعات (InSAR) في حالة المدار الهابط في منطقة القرينتين من أجل خطي الأساس الزمنيين (12) و(96) يوماً

DEM	Min(m)	Max(m)	Diff		RMSE(m)
			MEAN(m)	SD(m)	
النقاط الحقيقية	724.871	790.578	-	-	-
InSAR(12)	705.179	780.230	-3.06	7.44	8.04
InSAR(96)	756.433	823.142	34.04	7.62	34.83

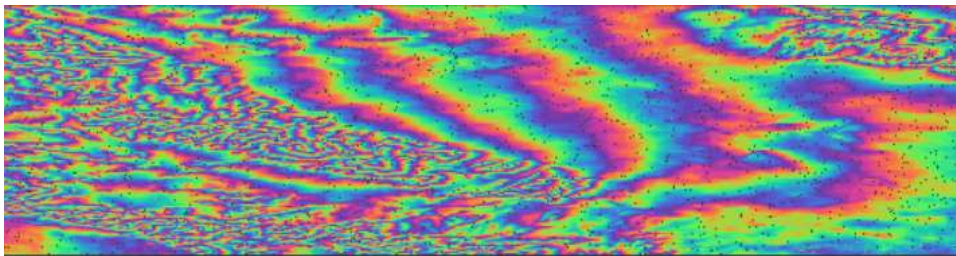
4.2 تأثير خط الأساس العمودي

لتوضيح تأثير خط الأساس العمودي يجب ان يكون لدينا نفس خط الأساس الزمني واتجاه المدار. يوضح الشكل(11) مخططات التداخل الناتجة من أجل خطي الأساس العموديين (176 م) و(82 م) وخطي أساس زمنيين متقاربين (6) و(12) يوماً في منطقة القريتين في حالة المدار الصاعد. يتم تمثيل فرق الارتفاع بدورة طور واحدة تزداد مع خطوط أساس عمودية أصغر، لذلك تكون أزواج الصور ذات خطوط الأساس العمودية الصغيرة أقل حساسية لاختلافات الارتفاع كما توضح المعادلة (13).

نلاحظ فقدان معلومات الارتفاع لخطوط الأساس العمودية الأصغر والكمية المتزايدة من ضجيج الطور. يشار إلى ذلك أيضًا من خلال الزيادة الكبيرة في قيم الـ (RMSE) للارتفاعات المشتقة.



مخطط التداخل لزوج الصور $b_{\perp} = 176$ (RMSE=10.67m)



مخطط التداخل لزوج الصور $b_{\perp} = 82$ (RMSE=68.77)

الشكل 11: مخططات التداخل من أجل خطوط أساس عمودية (82 م) و(176م) في منطقة القريتين في حالة المدار الصاعد

يتم عرض مخطط التداخل في مقياس ألوان قوس قزح يتراوح من $(-\pi)$ إلى $(+\pi)$. تمثل الأنماط، التي تسمى أيضاً "الهوامش" (Fringes)، دورة (2π) كاملة وتظهر في مخطط التداخل كدورات من الألوان العشوائية، حيث تمثل كل دورة نصف الطول الموجي للمستشعر. لاشتقاق الـ (DEM) بجودة كافية، يجب أن تكون هذه الهوامش مرئية في جميع أنحاء الصورة.

يوضح الجدول (4) قيم الـ (RMSE) للارتفاعات المشتقة و القيم الإحصائية للفروق بين الارتفاعات المستخرجة للنقاط وارتفاعات النقاط الحقلية المقاسة في منطقتي تلكخ والقريتين في حالة المدار الصاعد من أجل خطي الأساس العموديين (82 م) و (176 م). حيث نلاحظ تناقص قيم (SD) و (RMSE) بتزايد قيمة خط الأساس العمودي وتزداد بالتالي دقة الارتفاعات المشتقة في منطقتي الدراسة .

الجدول(4): القيم الإحصائية لنموذجي الارتفاعات (InSAR) في حالة المدار الصاعد من أجل خطي الأساس العموديين (82 م) و (176 م) في تلكخ والقريتين

القريتين					
DEM	Min(m)	Max(m)	Diff		RMSE(m)
			MEAN(m)	SD(m)	
النقاط الحقلية	724.871	790.578	-	-	-
InSAR(176)	729.037	795.057	9.67	4.51	10.67
InSAR(82)	734.815	874.859	65.88	20.41	68.77
تلكخ					
النقاط الحقلية	195.523	370.417	-	-	-
InSAR(176)	248.087	418.493	45.76	6.84	46.27
InSAR(82)	344.178	512.014	144.89	34.35	148.91

4.3 تأثير اتجاه حركة القمر

توليد نموذج رقمي للارتفاعات من صور الأقمار الصناعية (Sentinel-1) باستخدام تقنية
التداخل الراداري - منطقة الدراسة: تللكخ - القريتين في سورية

ومن أجل دراسة تأثير اتجاه حركة القمر في المدارات الصاعدة والهابطة على التشوهات الهندسية وبالتالي انتشار الأخطاء خلال معالجة التداخل وتأثيرها على دقة الارتفاعات الناتجة. لم نتمكن من الحصول على خطوط أساس زمنية وعمودية متساوية في حالة المدار الهابط، لذا تمت المقارنة بين نماذج الارتفاع المشتقة في منطقتي تللكخ والقريتين في حالة المدار الصاعد فقط ومن أجل خطوط الأساس العمودية والزمنية نفسها الجدول(5).

الجدول(5): القيم الإحصائية لنماذج الارتفاعات (InSAR) في حالة المدار الصاعد في
تللكخ و القريتين من أجل خطوط الأساس الزمنية والعمودية نفسها

DEM_ InSAR	خط الأساس الزمني (يوم)	خط الأساس العمودي (متر)	القريتين		تللكخ	
			SD(m)	RMSE(m)	SD(m)	RMSE(m)
1	36	119	10.02	14.01	32.02	68.54
2	12	82	20.41	68.77	34.35	148.91
3	6	176	4.51	10.67	6.84	46.27

نلاحظ أن قيم (RMSE) و(SD) تتناقص في القريتين عند مقارنتها بالقيم في منطقة تللكخ من أجل خطوط الأساس العمودية والزمنية نفسها و بالتالي نموذج الارتفاع أكثر دقة في القريتين في حالة المدار الصاعد عند مقارنته مع نموذج الارتفاع في تللكخ ومن أجل نفس خطوط الأساس.

كذلك تمت المقارنة بين نماذج الارتفاعات المشتقة في حالتي المدار الصاعد والهابط في تللكخ حيث كان من الصعب الحصول على خطوط أساس زمنية وعمودية متساوية. يوضح الجدول (6) القيم الإحصائية للارتفاعات المشتقة، والتي تظهر أن نماذج الارتفاعات في تللكخ في حالة المدار الهابط أكثر دقة من النماذج في حالة المدار الصاعد.

الجدول (6): القيم الإحصائية لنماذج الارتفاعات (InSAR) في حالة المدار الصاعد والهابط في تلكلخ

المدار الصاعد				
DEM_ InSAR	خط الأساس الزمني (يوم)	خط الأساس العمودي (متر)	SD(m)	RMSE(m)
1	36	119	32.02	68.54
2	12	82	34.35	148.91
3	6	176	6.84	46.27
المدار الهابط				
1	96	172	12.88	14.67
2	60	153	22.32	22.70
3	12	143	11.58	12.62

5 الاستنتاجات والتوصيات

أظهرت هذه الدراسة أنه من الممكن إنشاء (DEMs) بناءً على قياس التداخل بالرادار بواسطة صور القمر (Sentinel-1) عند تحقيق المتطلبات الأساسية، من طول خطوط الأساس الزمنية والعمودية. إذ يتحكم خط الأساس الأول في المقدار المتوقع لعدم الترابط الزمني على الأسطح الطبيعية بينما يحدد الثاني مقدار تغير الارتفاع، والذي تمثله دورة الطور. بالإضافة إلى تقليل تأثير العوامل الجوية والتشوهات الهندسية الناتجة عن هندسة الاستحواذ الجانبي واتجاه حركة القمر.

تمت دراسة تأثير البارامترات المختلفة على جودة قياس التداخل وبالتالي دقة الارتفاعات المشتقة. تبين أنه إذا تم اختيار أزواج الصور المناسبة التي تحقق أقل فاصل زمني (6) أيام وبنفس الوقت امتلاك أزواج الصور هذه خط أساس عمودي مناسب بين (150 م) و (300 م) للحصول على أقل قيمة لارتفاع الغموض ولتقليل تأثير العوامل الجوية. وإذا تم استيفاء الشروط الفنية لتقليل مناطق عدم التماسك وتقليل انتشار الأخطاء خلال عملية فك الطور، يمكننا إنشاء الـ (DEM) بدقة جيدة.

نموذج الارتفاع الرقمي المشتق في دراستنا في منطقتي تلكلخ والقريتين في حالة المدار الهابط أدق من النموذج المشتق في حالة المدار الصاعد. كذلك، كان نموذج الارتفاع الرقمي في حالة المدار الصاعد أكثر دقة في القريتين من نموذج الارتفاع المشتق في منطقة تلكلخ من أجل العوامل المؤثرة نفسها.

مع بيانات (InSAR) المتوفرة بكثرة ومجاناً واستمراريتها بواسطة الـ (Sentinel-1) يمكن إنتاج نموذج ارتفاع رقمي بمواصفات معينة من حيث الدقة لتطبيق معين مثل دراسة الانهيارات الأرضية حيث توجد مزيد من التحقيقات في ملاءمة (Sentinel-1) لتقدير حجم الانهيارات الأرضية. يجب التركيز في الدراسات المستقبلية على دمج الصور ذات التواريخ المتعددة والمسارات الصاعدة والهابطة بدلاً من نهج زوج الصور الواحد لتقليل الأخطاء المحتملة والمنتشرة خلال عملية فك الطور وبالتالي زيادة دقة الارتفاعات الناتجة.

6 المراجع

- [1] Nuthammachot, Narissara, Askar Askar, Dimitris Stratoulis, and Pramaditya Wicaksono. "Combined use of Sentinel-1 and Sentinel-2 data for improving above-ground biomass estimation." Geocarto International (2020): 1-11.
- [2] Braun, A. "DEM Generation with Sentinel-1 Workflow and Challenges." SkyWatch Space Applications Inc.: Waterloo, ON, Canada (2020).
- [3] Soni C, Chaudhary A, Sharma U, Sharma C. Satellite radar interferometry for DEM generation using Sentinel-1A imagery. In: Sharma MK, Dhaka VS, Perumal T, Dey N, Tavares JMRS, editors. Innovations in computational intelligence and computer vision. Singapore: Springer; 2021. p. 26–33. doi: 10.1007/978-981-15-6067-5_4.
- [4] Crosetto M. Calibration and validation of SAR interferometry for DEM generation. ISPRS J Photogram Remote Sens. 2002; 57:213–27. doi: 10.1016/S0924-2716(02)00107-7.
- [5] Nonaka T, Asaka T, Iwashita K, Ogushi F. The relationships between errors of DEM and the height of ambiguity of Sentinel-1. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium; 28 July–02 September 2019. Yokohama: IEEE; 28 July–02 September 2019. p. 1725–8. doi: 10.1109/IGARSS.2019.8899305.

- [6] Letsios V, Farasalis I, Stathakis D. InSAR DSM using Sentinel- 1 and spatial data creation, 17–20 June 2019, Limassol, Cyprus: Association of Geographic Information Laboratories in Europe (AGILE); 2019. p. 1–4.
- [7] Ortone Lois AS. Generation of DEMs in Los Glaciares National Park, in order to complement information related to elevation studies within the National Park and mass balance studies of Viedma Glacier and Frías Glacier: Original title: Generación de DEMs en el Parque Nacional Los Glaciares, con el objeto de complementar información relativa a estudios de elevación dentro del Parque Nacional y estudios de balance de masas del Glaciar Viedma y Glaciar Frías, 27–29 May 2020. Argentina: Buenos Aires; 2020. p. 1–15.
- [8] Ghannadi, Mohammad Amin, Saeedeh Alebooye, Moein Izadi, and Amirreza Moradi. "A method for Sentinel-1 DEM outlier removal using 2-D Kalman filter." Geocarto International (2020): 1-15.
- [9] Geudtner, Dirk Torres, Paul Snoeij, Allan Ostergaard, Igancio Navas-Traver, Bjorn Rommen, and Michael Brown. "Sentinel-1 system overview and performance." In ESA Living Planet Symposium, vol. 722, p. 96. 2013.
- [10] F. De Zan and Andrea Monti Guarnieri, "TOPSAR: Terrain Observation by Progressive Scans", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 44, No. 9, September 2006, pp 2352-2360.
- [11] Ferretti, Alessandro, Andrea Monti-Guarnieri, Claudio Prati, and Fabio Rocca. "InSAR Principles: Guidelines for SAR Interferometry Processing and Interpretation, 19 vols." The Netherlands: ESA Publications (2007).
- [12] Pepe, Antonio, and Fabiana Calò. "A review of interferometric synthetic aperture RADAR (InSAR) multi-track approaches for the retrieval of Earth's surface displacements." Applied Sciences 7, no. 12 (2017): 1264.
- [13] Franceschetti, G.; Lanari, R. Synthetic Aperture Radar Processing; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 1999.
- [14] Xia, Ye. "Synthetic aperture radar interferometry." Sciences of Geodesy-I, pp. 415-474. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.
- [15] Bähr, Hermann. Orbital effects in spaceborne synthetic aperture radar interferometry. KIT Scientific Publishing, 2013

- [16] Hanssen, Ramon F. Radar interferometry: data interpretation and error analysis. Vol. 2. Springer Science & Business Media, 2001.
- [17] Schwabisch, M., and D. Geudtner. "Improvement of phase and coherence map quality using azimuth prefiltering: Examples from ERS-1 and X-SAR." International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'95. Quantitative Remote Sensing for Science and Applications, vol. 1, pp. 205-207. IEEE, 1995.
- [18] Hellwich, Olaf. "Basic principles and current issues of SAR interferometry." Joint Workshop of ISPRS WGI/1, I/3 and IV/4, Sensors and Mapping from Space. 1999.
- [19] Goldstein, Richard M., and Charles L. Werner. "Radar interferogram filtering for geophysical applications." Geophysical research letters 25, no. 21 (1998): 4035-4038.
- [20] Chen, Curtis W. "Statistical-cost network-flow approaches to two-dimensional phase unwrapping for radar interferometry." (2001).
- [21] Yu, Hanwen, Yang Lan, Zihui Yuan, Junyi Xu, and Hyongki Lee. "Phase unwrapping in InSAR: A review." IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine 7, no. 1 (2019): 40-58.
- [22] H. Yu, M. Xing, and Z. Bao, "A fast phase unwrapping method for large-scale interferograms," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 51, no. 7, pp. 4240–4248, 2013.
- [23] R. Yamaki and A. Hirose, "Singularity-spreading phase unwrapping," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 45, no. 10, pp. 3240–3251, 2007.
- [24] H. Yu, Z. Li, and Z. Bao, "Residues cluster-based segmentation and outlier-detection method for large-scale phase unwrapping," IEEE Trans. Image Process., vol. 20, no. 10, pp. 2865–2875, 2011.
- [25] M. Costantini, "A novel phase unwrapping method based on network programming," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 36, no. 3, pp. 813–821, 1998.
- [26] C. W. Chen and H. A. Zebker, "Two-dimensional phase unwrapping with use of statistical models for cost functions in nonlinear optimization," J. Opt. Soc. Amer. A, Opt. Image Sci., vol. 18, no. 2, pp. 338–351, 2001.

الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن كمحسن غير تقليدي وتأثيره على خواص الانتفاخ والانكماش في التربة الغضارية الانتفاخية

د.م عارف السويداني - كلية الهندسة - الجامعة العربية الدولية - a-swaidani@aiu.edu.sy

د.م إبراهيم حمود - كلية الهندسة - الجامعة العربية الدولية - Hammoud1164@aiu.edu.sy

د.م أيمن المذيب - كلية الهندسة - الجامعة العربية الدولية - a-mazyab@aiu.edu.sy

الموجز:

ظهر الجيوبولمر مؤخرًا (ويعرف أيضاً بالسلاسل اللاعضوية)، كبديل محتمل لمادة الاسمنت البورتلاندي، من خلال تحويل المواد الطبيعية أو المنتجات الثانوية للصناعة (خبث الأفران، الرماد المتطاير، هباب السيليكا...)، كمصدر لسيليكات الألمنيوم إلى مواد تمتلك خواص رابطة، وذلك باستخدام المحرضات القلوية. يسعى هذا البحث إلى الوصول إلى سلاسل غير عضوية، من خلال التنقيح القلوي، لمواد طبيعية كمصدر لسيليكات الألمنيوم بحالتها اللابلورية (amorphous)، وقد تم في هذا البحث اختيار الغضار المكلسن كأساس (precursor) لهذه السلسلة. يقصد بالغضار المكلسن، الغضار المعالج حرارياً إلى درجات حرارة مرتفعة ولكن دون درجة الانصهار. تم إنتاج الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن كمصدر طبيعي للسليكا والألومينا اللابلورية، بإضافة محلول (مئات الصوديوم مع سيليكات الصوديوم) إلى الغضار المكلسن مع المعالجة الحرارية. وقد تم تحضير الجيوبولمر في المخبر، وكانت النسبة التي تم اختيارها بين المحرض القلوي (alkaline activator) $(\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH})$ إلى محسن التربة المقترح (غضار مكلسن) والذي يمثل أساس الجيوبولمر هي (0.85). نسب المحسن إلى التربة (5, 10, 15%)، الرطوبة التي يضاف فيها الجيوبولمر إلى التربة هي الرطوبة القريبة من حد السيولة (LL) للتربة بدون إضافات وتحديداً (5%-LL). وتم تحضير المحرض القلوي من NaOH و Na_2SiO_3 بالنسب $\text{NaOH} = 2.5 / \text{Na}_2\text{SiO}_3$.

الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن كمحسن غير تقليدي وتأثيره على خواص الانتفاخ والانكماش في التربة الغضارية الانتفاخية

بينت نتائج التجارب التي أجريت على عينات التربة الغضارية المحسنة بالجيوبولمر تحسناً كبيراً في خواص الانكماش الخطي، الذي انعدمت قيمته عند إضافة نسبة 15% من الجيوبولمر إلى التربة الغضارية وتقيد هذا الانكماش بشكل أقل عند إضافة النسبتين 10% و 5% على الترتيب. وكذلك خواص الانتفاخ (انتفاخ نسبي وضغط انتفاخ) فقد تقيدت أيضاً بشكل كامل عند إضافة النسبة 15% من الجيوبولمر وبشكل أقل عند النسبتين 10% و 5% على الترتيب. في دلالة واضحة على فعالية الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن في تحسين خواص الانتفاخ والانكماش للتربة الغضارية الانتفاخية.

كلمات مفتاحية:

الترب الغضارية الانتفاخية، الجيوبولمر، التفعيل القلوي، الغضار المكلسن، الانكماش الخطي، الانتفاخ الحر، ضغط الانتفاخ.

Geopolymer based on Calcined clay as untraditional stabilizer and its influence on swelling and shrinkage properties of expansive clayey soil

Dr. Aref ALSWIDANI. Faculty of Engineering, Arab International University
a-swaidani@aiu.edu.sy.

Dr. Ibrahim HAMMOUD. Faculty of Engineering, Arab International University, Hammoud1164@aiu.edu.sy

Dr . Ayman MEZIAB. Faculty of Engineering, Arab International University, a-mazyab@aiu.edu.sy.

Abstract

Recently, geopolymer (inorganic series material) emerge as substantial material of Portland cement, through convert natural or by-product materials such as furnace slug, fly ash, silica fume, as a resource of aluminosilicates to materials possess bonding properties, by using alkaline activators.

This research try to acquire inorganic series based on natural materials as a resource of aluminosilicates in its amorphous phase, for this purpose, calcined clay was chosen as a precursor of this series. When we say calcined clay, we mean clay that thermally treated at high temperatures but less than fusion limit.

Geopolymer based on calcined clay as a resource of amorphous aluminosilicates, was produced by adding an alkaline solution consists of sodium hydroxide and sodium silicate to calcined clay with thermally treatment. And the geopolymer was prepared in the laboratory, the ratio between alkaline activator ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH}$) to proposed soil stabilizer was equals to (0.85). the ratios of stabilizer to soil were (5,10,15%) as a percent of dry weight , and the moisture content in which the geopolymer added to soil was closed to liquid limit (LL) of mother soil and precisely (LL-5%). While the alkaline activator from Na_2SiO_3 and NaOH was prepared in the ratio $\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH} = 2.5$.

The results of experiments on samples of clayey soil stabilized by geopolymer, showed an extremely enhancement in the properties of linear shrinkage, and the value of linear shrinkage was ceased to zero when geopolymer was added at the ratio 15% to expansive clayey soil, while the linear shrinkage was restricted to lower levels when geopolymer was added at 10% and 5% respectively.

In a similar manner, the values of relative swelling and swelling pressure reduced to zero value when the ratio of 15% of geopolymer was added to the expansive soil, while this restriction was less at ratios of 10% and 5% respectively.

That is a clear indicator to the high efficiency of adding the geopolymer based on calcined clay, on restriction the phenomena of swelling and shrinkage of expansive clayey soil.

Key words:

Expansive clayey soil, geopolymer, alkaline activator, calcined clay, linear shrinkage, free swelling, pressure of swelling.

1- مقدمة:

إن الاستخدام الآمن للمصادر الطبيعية، أصبح اليوم من الحاجات التي يفرضها الواقع المستنزف لهذه المصادر، هذا بالإضافة إلى أن انبعاثات غازات الدفيئة، تنذر بنتائج سلبية جداً على الحياة على الكوكب الأزرق. ومع الحاجة إلى تحسين التربة الغضارية الانتقائية، يجري الباحثون محاولات حثيثة للمقارنة بين التحسين المطلوب للتربة الغضارية الانتقائية، التي تصادف في أساسات الأبنية والطرق، وبين الحفاظ على الموارد الطبيعية، لذلك تظهر اليوم أبحاث كثيرة تعنى بالاستغلال الأمثل لهذه الموارد الطبيعية

ومن بين المقاربات التي سعى الباحثون للتوصل إليها هو مادة رابطة عالية الكفاءة وبنفس الوقت صديقة للبيئة ومن هنا توجهت جهود كثير من الباحثين إلى الجيوبولمر، كطريقة وإجراء يمكن أن يحقق في آن معاً، الكفاءة والأمان وذلك من ناحية التأثير على البيئة. الجيوبولمر هو مركب ذو وزن جزيئي مرتفع، مكون من وحدات جزيئية مكررة، وهي مقاومة للحرارة المرتفعة، وأكثر مقاومة للمواد الكيميائية. للجيوبولمر مكونين أساسيين اثنين: مادة صلبة تفاعلية والتي تحتوي على السيليكون وأوكسيد الألمنيوم، ومحلول تفاعل (أساسي) من هيدروكسيدات قلوية وسيليكات قلوية في الماء، كما أن المادة الصلبة هي حجر طبيعي أو معدني وهذا هو المغزى من البادئة "جيو" [1-6].

وقد تبلور مفهوم الجيوبولمر كعملية لبلمرة المواد اللاعضوية (استتساخ سلاسل من مواد معدنية)، وذلك عندما أطلق الباحث الفرنسي جوزيف دافيدوفيتس (Joseph Davidovits) [7] هذا الاسم على عملية إنتاج سلاسل لاعضوية من جزيئات السيليكا والألومينا.

وظهر الجيوبولمر مؤخراً (ويعرف أيضاً بالسلاسل اللاعضوية)، كبديل محتمل لمادة الاسمنت البورتلاندي، من خلال تحويل المحسنات أو المنتجات الثانوية للصناعة، كمصدر لسيليكات الألمنيوم (خبث الأفران، الرماد المتطاير، هباب السيليكا...) إلى مواد تمتلك خواص رابطة، كقيمة مضافة، وذلك باستخدام المحرصات القلوية [8].

وقد تطور هذا المفهوم ليصبح مجالاً مفتوحاً للباحثين عن مواد ذات خواص رابطة، صديقة للبيئة بعيداً عن سلبات صناعة الاسمنت. لذلك كان التحدي في الوصول إلى إيجابيات الاسمنت كمادة رابطة فعالة، حيث يكفي إضافة الماء إلى الاسمنت للحصول على مادة تمتلك بعد تصلبها خواص الحجر (like-stone material)، وحاول الباحثون الوصول إلى مقاربات تقضي إلى مواد /غير الاسمنت/ تعطي خواصاً رابطة عند إضافة الماء إليها، وأطلقوا على السلاسل التي حصلوا عليها اسم جيوبولمر الجزء الواحد (one-part geopolymer) وأطلقوا شعار أضف الماء فقط (just add water ...)، حيث يتم في هذه العملية الخلط الجاف بين المحرض القلوي مع الأساس من الألومينوسيليكات مع أو بدون خطوة المعالجة الحرارية [9]. وهذا النوع من الجيوبولمر ليس هو المقصود في هذا البحث.

الجيوبولمر المقصود في هذا البحث يمكن الحصول عليه من خلال ثلاث خطوات مقترحة:

- 1- انحلال للمادة التي تحتوي على سيليكات الألمنيوم اللابلورية في المحلول القلوي.
 - 2- إعادة تنظيم وتوزيع الذرات المتشردة (الأيونات) المترافق مع تشكل بنية من خثرات صغيرة متكاثفة.
 - 3- تشكل سلاسل تكاثفية (polycondensation) من المادة المنحلة والتي كانت على شكل خثرات لتشكل مركبات مائية (hydrated product) [10].
- وعموماً يتأثر الجيوبولمر كعملية اجرائية بعدة عوامل، منها نسبة Al_2O_3/SiO_2 ، وتركيز المادة القلوية ودرجة حرارة الانضاج و زمن الانضاج ونسبة الماء إلى المادة الصلبة والرقم الهيدروجيني (PH) وأخيراً الطاقة الحرارية [11].

2- الأهداف والدوافع:

يسعى هذا البحث إلى الوصول إلى سلاسل غير عضوية، من خلال التفعيل القلوي، لمواد طبيعية كمصدر لسيليكات الألمنيوم بحالتها اللابلورية (amorphous)، وقد تم اختيار الغضار المكلسن كأساس (precursor) لهذه السلسلة.

الغضار المكلسن كنتاج للمعالجة الحرارية للتربة الغضارية، كان مجال بحث موسع توصل فيه الباحثون (AL-Swaidani et al-2018) [12] إلى امكانية استخدامه كمادة تحسين لخواص التربة الغضارية الأم، عن طريق المعالجة الحرارية بدرجة حرارة عالية، لكن دون الانصهار، مما شكل دافعاً لهذا البحث، حيث من الممكن كلسنة التربة الغضارية وزيادة التفعيل من خلال اللجوء إلى إنتاج سلاسل لاعضوية بالمعالجة القلوية باستخدام محرضات قلوية مركبة من ماءات الصوديوم وسيليكات الصوديوم.

3- المواد: Materials

3-1 التربة الغضارية:

التربة الغضارية التي تم اختيارها في البحث، تم احضارها من منطقة الشيخ مسكين. وأخذت من أعماق تراوحت بين 1-1.5m. يبين الجدول رقم (1) مواصفات التربة الغضارية.

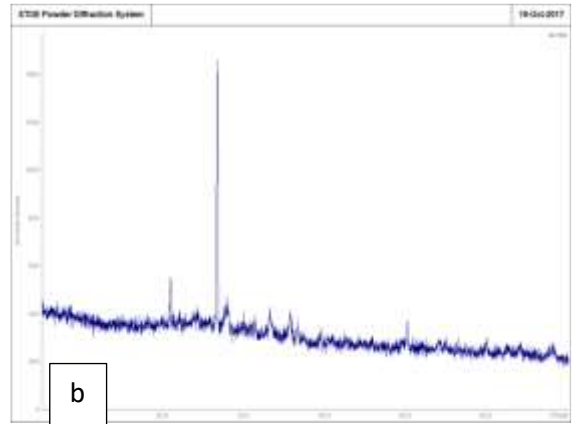
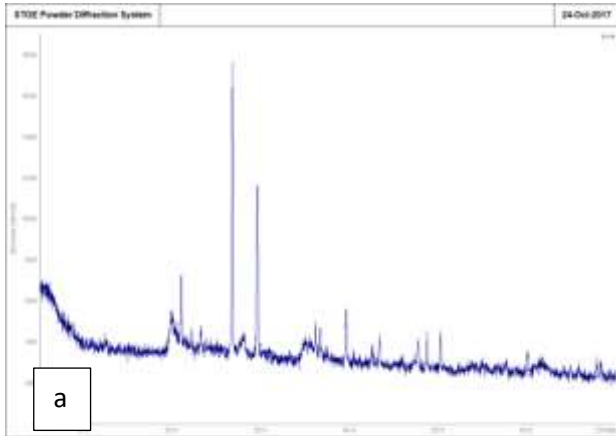
الجدول رقم (1) مواصفات التربة الغضارية قبل المعالجة

الاختبار	التربة الغضارية الثانية (الشيخ مسكين)
العمق	1-1.5m
الرطوبة الطبيعية	18%
المار من المنخل رقم 200	91.5%
خواص الرص (بروكتور النظامي): الكثافة الجافة العظمى MDD الرطوبة المثالية OMC	1.52 19%
خواص القوام (حدود اتبرغ): حد السيولة (LL) حد اللدونة (PL) قربنة اللدونة (PI)	58% 27% 31%
مقاومة الضغط غير المحصور وفق محور واحد (UCS)	282 KPa
نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) عينات مغمورة بالماء لمدة 96 ساعة عينات غير مغمورة بالماء	3.85 7.45
تصنيف التربة الموحد	CH

2-3 الغضار المكلسن calcined clay:

يقصد بالغضار المكلسن، الغضار المعالج حرارياً إلى درجات حرارة مرتفعة ولكن دون درجة الانصهار، وقد استخدمت هذه المادة بشكلها المعالج قديماً كمادة بناء، في إنتاج أحجار البناء أو ما يسمى بالطوب، ويعد استخدام المعالجة الحرارية لتحسين خواص التربة الغضارية من الوسائل التي استخدمت بشكل نمطي ولأغراض محددة وضيقة [13]، إلا أن الغضار المكلسن شائع الاستخدام كبديل جزئي للأسمنت، بسبب الخواص الرابطة التي أظهرتها الاختبارات والتجارب التي أجريت على المادة بعد المعالجة [13] إن تسخين الغضار إلى درجة حرارة معينة، يتوقع منه أن يؤدي إلى التخلص من الماء المرتبط كيميائياً ضمن شبكة بلورات الغضار، أو ما يسمى بالماء البنيوي (structural water)، بعملية تعرف بنزع الماء البنيوي (dehydroxilation)، حيث أن مجموعات الـ (OH) تشكل جزءاً من طبقة البلورات ثمانية الوجوه، وترتبطها بطبقة البلورات رباعية الوجوه. [14]

إنَّ التخلص من مجموعات الـ (OH) يقود إلى حالة من عدم الانتظام في البنية البلورية وتحول المادة إلى حالة انتقالية أو ما يسمى مرحلة ما بعد الاستقرار (metastable). ومن هنا يأتي تعبير (metakaolenite) ميتاكاولينيت والذي يشير إلى فلز الكاولينيت الذي تم تسخينه من أجل كسر الانتظام البنيوي للبلورات [15].



الشكل رقم (1) تطور الطور الزجاجي للغضار قبل وبعد الكلسنة (المعالجة الحرارية) وفق اختبار الـ XRD
a- طيف XRD للغضار قبل الكلسنة b- طيف XRD للغضار بعد الكلسنة

يبين الشكل (1) تطور الطور الزجاجي للغضار المستخدم في هذا البحث، قبل الكلسنة وبعدها، حيث يلاحظ اختفاء القمم المعبرة عن البلورات التي تشكل بنية المادة، أو تقلص شدة وميض الأشعة السينية (XRD) لقمم أخرى أكثر انتظاماً، حيث أنه من المعلوم أن الأشعة السينية لا تعطي أثراً على شكل قمم/بيكات إلا عند تشتتها عند مصادفتها للبلورات التي تتشكل منها بنية المادة، كما أن شدة الوميض تدل على مدى انتظام البنية البلورية [15].

وبالنتيجة فإن المعالجة الحرارية للغضار أعطت النتيجة المطلوبة في زيادة الطور الزجاجي / اللابلوري وتقليص الطور البلوري، وبذلك تصبح المادة أكثر تفاعلاً مع وسطها الذي توجد فيه. حيث يمثل الغضار المكلسن (الألومينوسيليكا اللابلورية) الأساس الذي سيبني عليه تشكيل سلاسل الجيوبولمر.

3-3 المحرض القلوي alkaline activator:

إن من أشهر المركبات القلوية المستخدمة في عملية التنفيل القلوي، مركبات الصوديوم لأسباب تتعلق بوفرته وسهولة الحصول على مركباتها، التي يمكن بدايةً استخلاصها من ماء البحر، أي كلور الصوديوم (NaCl) والذي يمكن تحويله إلى كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) ومن ثم إلى سيليكات الصوديوم (Na_2SiO_3) عبر المعالجة الحرارية، أو يمكن تحويل كلور الصوديوم إلى ماءات الصوديوم (NaOH) [16].

تمّ في هذا البحث استخدام مزيج من مركبي كلور الصوديوم (NaOH) وسيليكات الصوديوم (Na_2SiO_3) المخبرية وذلك لزيادة فعالية التحريض القلوي وكخطوة للحصول على الجيوبولمر، خواص المركبين بنقاوة مخبرية.

3-4 الجيوبولمر (geopolymer):

تم إنتاج الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن كمصدر طبيعي للسيليكا والألومينا اللابلورية، بإضافة محلول المحرض القلوي (ماءات الصوديوم مع سيليكات الصوديوم) إلى الغضار المكلسن مع المعالجة الحرارية، وتم أخذ عينات من المركب الناتج وانضاجه لمدة 7 أيام في جو المخبر للحصول على عينات تصلح لاختبارات الـ SEM والـ EDX ، ويعتمد تحليل (EDX) Energy-Dispersive X-ray على مبدأ أن الذرات

الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن كمحسن غير تقليدي وتأثيره على خواص الانتفاخ والانكماش في التربة الغضارية الانتفاخية

الموجودة على سطح العينة المدروسة والمحرّضة بواسطة حزمة الالكترونات، تبتث أشعة سينية ذات طول موجي محدد، والتي تعد سمة محددة لبنية الذرة للعناصر المدروسة، حيث يتمكن مشعر يستقبل الطاقة المتبددة Dispersive Energy من تحليل إصدارات الأشعة السينية وتحديد العنصر الكيميائي نوعياً وكمياً [17].

4- الدراسة التجريبية:

بداية كان لا بد من اجراء اختبارات المواد على الجيوبولمر الذي تم الحصول عليه من أساس الغضار المكلسن وفق ما موصوف في الفقرة 3-4 وذلك لإثبات كفاءة المنتج الذي سيعمل كمادة رابطة بين حبيبات التربة المستهدفة بالتحسين. وهذه الاختبارات هي اختبار عينات من الجيوبولمر منضجة لمدة 7 أيام في جو المخبر على المجهر الالكتروني الماسح (SEM) واختبار الـ (EDX) لنفس العينات، وهي تمثل المرحلة الأولى من الدراسة التجريبية.

أما المرحلة الثانية فتتضمن إجراء اختبارات القوام، الانكماش والانتفاخ، وذلك على التربة والتربة مع الإضافة (الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن)، ومقارنة النتائج مع العينة المرجعية من التربة الغضارية غير المعالجة، ومن ثم مناقشة هذه النتائج وصولاً إلى الاستنتاجات والتوصيات.

تم تحضير تركيبات مزجية من التربة الغضارية و محلول الجيوبولمر، بنسبة إضافة من الجيوبولمر هي (5, 10, 15%) كنسبة من وزن الغضار المكلسن الجاف الداخل في تركيب محلول الجيوبولمر، إلى وزن التربة الجاف، أما الماء الذي يشكل وسط المحلول فتم احتسابه ضمن رطوبة التشكيل المقترحة في هذا البحث وهي أقل من حد السيولة بـ 5% ووفق ما هو موضح في الجدول رقم (2) أما التجارب التي تم إجراؤها على مواد الإضافة والتربة والتركيبات المزجية، فكانت على الشكل التالي:

- تجربة حدود اتربرغ للتربة والتربة مع الإضافة (حد السيولة، حد اللدونة، قرينة اللدونة)، وفق المواصفة (ASTM D 4318-93)

- تجربة الانكماش الخطي للتربة والتربة مع الإضافة وفق المواصفة البريطانية (BS 137).
- تجربة الانتفاخ الحر للتربة والتربة مع الإضافة وفق المواصفة (ASTM D- 4645,) 2435.

الجدول رقم (2) نسب خلط الإضافة إلى التربة (كتلة/كتلة)

التسمية	التربة (%)	الجيوبولمر (GP) (%)
G5 ¹	95	5
G10	90	10
G15	85	15

5-النتائج والمناقشة:

5-1 تحضير الجيوبولمر والاختبارات التي تمت عليه:

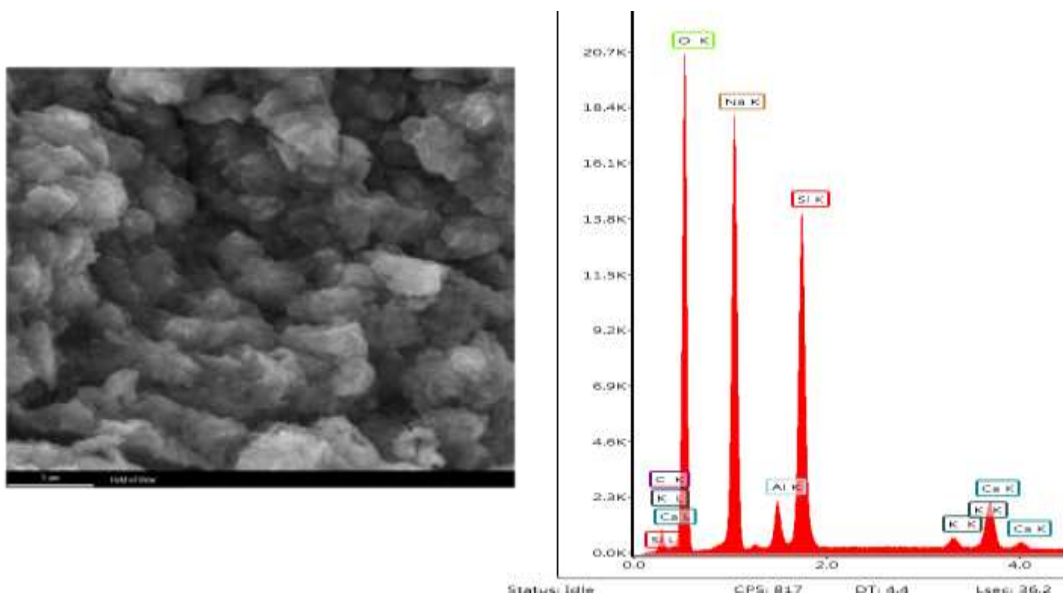
تم تحضير الجيوبولمر في المخبر، وكانت النسبة التي تم اختيارها بين المحرض القلوي (alkaline activator) والمكون من (NaOH + Na₂SiO₃) إلى محسن التربة المقترح (غضار مكلسن) والذي يمثل أساس الجيوبولمر هي (0.85).
نسب إضافة المحسن إلى التربة (5, 10, 15%)، الرطوبة التي يضاف فيها المحسن مع المحرض إلى التربة هي الرطوبة القريبة من حد السيولة (LL) للتربة بدون إضافات وتحديداً (5-LL). حيث تم تحضير محلول NaOH قبل 24 ساعة من المزج مع المحسن. وتم تحضير المركب القلوي (المحرض القلوي) من NaOH و Na₂SiO₃ بالنسب =2.5 Na₂SiO₃ / NaOH وزناً وذلك بإضافة NaOH إلى Na₂SiO₃ ثم يترك المزيج لمدة 24h في الفرن بدرجة حرارة 80 °C منها 1 ساعة في جو المخبر للخلط بواسطة الـ stirrer (مغناطيس) بدرجة حرارة 80 °C وذلك لضمان المزج المتجانس للمركب أو المحرض القلوي. تركيز NaOH هو 10M وعند تحضير NaOH من

G5: stands for Geopolymer added at 5% (by weight) to soil

الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن كمحسن غير تقليدي وتأثيره على خواص الانتفاخ والانكماش
في التربة الغضارية الانتفاخية

المادة الأساسية على شكل أقراص نتجنب إضافة الماء إلى الأقراص، وإنما نأخذ جزء من الماء ونضعه في بيشر ثم نضيف الأقراص بحذر، بعد ذلك نضيف بقية الكمية من الماء للوصول إلى 1 ليتر بحذر وكل ذلك يتم تحت الساحة.

يتم بعد ذلك إضافة محلول المحرض القلوي إلى الغضار المكلسن (CC) الذي يشكل أساس الجيوبولمر بنسبة مزج ($\text{activator/CC} = 0.85$) ويتم المزج إما بالخلط الميكانيكي أو يدوياً لمدة 10 دقائق على الأقل. حتى الحصول على عينة متجانسة



الشكل رقم (2) صورة المجهر الالكتروني الماسح (SEM) وتحليل الـ (EDX) لعينة الجيوبولمر المحضرة مخبرياً مع انضاج 7 أيام

يبين الشكل (2) صورة بالمجهر الالكتروني المسحي (SEM) لعينة من الجيوبولمر الذي تم تحضيره كما هو موصوف أعلاه. مع تحليل (EDX) لنفس العينة تظهر سيادة عنصر الصوديوم Na والسيليكون Si والألمنيوم Al، أما صورة الـ SEM . فيظهر فيها انتظام البنية الميكروية للعينة مما يدل على الوصول إلى الغاية المرجوة من التفعيل القلوي وإنتاج سلاسل الجيوبولمر .

5-2 خواص القوام (حدود اتربرغ) : ASTM-D4318-93

بينت تجارب حدود اتربرغ (حد السيولة وحد اللدونة) التي أجريت على التربة الغضارية ، والتربة مع الإضافات، في هذا البحث، أنّ إضافة الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن، بكل النسب المقترحة في هذا البحث (5- 10- 15%) أدى إلى زيادة ملحوظة في حد اللدونة ونقصان في حد السيولة، وبالتالي أدى إلى نقصان قرينة اللدونة، وهذا دليل على التحسن الذي طرأ على التربة الغضارية المحسنة، انخفاض قرينة اللدونة يعبر عن ارتفاع قابلية التشغيل للتربة، وتغير التركيب الحبي لها. قيم حد السيولة وحد اللدونة و قرينة اللدونة مبينة في الجدول رقم (3).

الجدول رقم (3) قيم حد السيولة، حد اللدونة، و قرينة اللدونة مقابل نسب الإضافة من الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن.

العينة	الرمز	حد السيولة(%)	حد اللدونة(%)	قرينة اللدونة PI(%)
1	G-0 (ref)	58	27	31
2	G-5	51.8	34.6	17.2
3	G-10	47.6	38.4	9.2
4	G-15	43.5	40.7	2.8

3-5 الانكماش الخطي:

يعبر الانكماش عن سلوك التربة عند انخفاض رطوبتها، ويعرف الانكماش الخطي بأنه نسبة النقصان في الطول لعينة التربة إلى طولها الأصلي، عند انخفاض رطوبتها. يقيس اختبار الانكماش الخطي التشوه النسبي لانكماش عينة طولية من عجينة التربة المحضرة برطوبة قريبة من قيمة رطوبة السيولة للتربة توضع في قالب معدني نصف اسطواني بأبعاد (2.5x14 cm).

في الدراسة الحالية، جففت العينة أولاً في جو المخبر حتى انفصال الجوانب بشكل واضح. ثم جففت في فرن مخبري بدرجة حرارة 110°C حتى الانكماش الكلي حيث أخذت القياسات بعناية، وفي حالات المزج مع المحسنات أخذت الرطوبة موافقة لحد السيولة الموافق للنسبة المزجية من الجدول رقم (2)، وقد أظهرت النتائج الموضحة في الجدول رقم (4) أن الانكماش الخطي يتقيد عند إضافة الجيوبولمر بالنسبة 5% وبشكل أفضل عند النسبة 10%، ويتعزز هذا التقيد عند إضافة 15% جيوبولمر لينعدم الانكماش بشكل كامل، وهي أفضل نتيجة تم الحصول عليها.

الجدول رقم (4) قيم التشوه والتشوه النسبي والانكماش الخطي مقابل مقابل نسب الإضافة من الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن

العينة	التسمية	Lo	L1	ΔL	ΔL/L	Lsi %
1	G-0 (ref)	140.1	110.1	30	0.2141	21.41
2	G-5	140.1	121	19.1	0.1363	13.63
3	G-10	140.1	132.5	7.6	0.054	5.4
4	G-15	140.1	140.1	0	0	-



الشكل رقم (3) عينات التربة والتربة مع الجيوبولمر في قوالب الانكماش بعد التجفيف النهائي

5- الانتفاخ الحر وضغط الانتفاخ في حلقة الأومتر (ASTM D- 4645, 2435):
لتحديد الانتفاخ الحر، تم تحضير عينات من التربة بالرطوبة الطبيعية ، وذلك للعينة المرجعية بدون إضافات، وتلك المعالجة بإضافة الجيوبولمر وفق النسب المبينة في الجدول (2). حيث أضيف الماء المقطر إلى خلية الأومتر لبدء الاختبار وأخذت قراءات التشوه (الانتفاخ) عند الأزمنة 1, 2, 4, 8, 15 و30 دقيقة والأزمنة 1, 2, 4, 8, 24, 48, 72 و96 ساعة، وذلك بعد تطبيق حمل ارتكاز على العينة وذلك لتصغير المؤشر. بعد انتهاء فترة الـ (96) ساعة كانت فعالية الانتفاخ للعينات قد تلاشت، وتوقف الانتفاخ الحر وفق اتجاه واحد، وتم حساب الانتفاخ النسبي وفق محور واحد كنسبة بين مقدار زيادة ارتفاع العينة Δh وارتفاعها الأصلي h_0 . ثم بدأت عملية التحميل المتدرج للوصول إلى تشوه انتفاخ مقداره صفر وتم تسجيل النتائج في الجدول (5).

الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن كمحسن غير تقليدي وتأثيره على خواص الانتفاخ والانكماش
في التربة الغضارية الانتفاخية

الجدول رقم (5) قيم الانتفاخ الحر وضغط الانتفاخ مقابل النسب المزجية للتربة مع المحسنات

الانتفاخ الحر وضغط الانتفاخ في حلقة الأومتر					
العينة	التسمية	التشوه (الانتفاخ) (mm)	الارتفاع الأصلي للعينة (mm)	الانتفاخ الحر (التشوه النسبي) (%)	ضغط الانتفاخ (Kpa)
1	G-0 (ref)	1.67	20	8.35	80
2	G-5	0.63	20	3.15	25
3	G-10	0.11	20	0.55	5
4	G-15	0.0	20	0	0

يبين الجدول رقم (5) نتائج الانتفاخ الحر وضغط الانتفاخ للتربة قبل المعالجة بالجيوبولمر وبعده، وتظهر النتائج مدى التحسن الذي أمكن الوصول إليه بإضافة 15% من الجيوبولمر والذي أدى إلى تلاشي الانتفاخ الحر وضغط الانتفاخ وخروج التربة المحسنة من دائرة الترب الانتفاخية، بينما كان التحسين أقل عند النسبتين 10% و5% على الترتيب. يمكن تفسير تلاشي الانتفاخ الحر وضغط الانتفاخ عند إضافة النسبة الكافية من الجيوبولمر إلى التربة الغضارية الانتفاخية من خلال آلية عمل الجيوبولمر الذي يتكون من سلاسل جزئية من الألومينوسيليكات، والتي تعمل كمادة رابطة بين حبيبات التربة، وضمن الوسط القلوي الذي سببه المحرض القلوي، وبوجود الرطوبة المناسبة، حيث تتشكل بنية حبيبية جديدة للتربة.

6- الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- يمكن الحصول على الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن، من خلال المعالجة القلوية وبالشروط التي تم تطبيقها على الاختبارات الموصوفة في هذا البحث.
- إن انخفاض قيمة قرينة اللدونة للتربة الغضارية الانتفاخية موضوع هذا البحث هو دليل واضح على فعالية المعالجة بالجيوبولمر ومؤشر أولي على صلاحية التربة بعد التحسين للتأسيس سواءً في مشاريع الأبنية أو الطرق.
- إن انعدام قيم الانكماش والانتفاخ عند استخدام نسبة إضافة من الجيوبولمر مقدارها (15%) هو أفضل نتيجة تم الحصول عليها في تقييد الانتفاخ والانكماش للتربة الغضارية الانتفاخية موضوع البحث والتربة بعد التحسين صالحة للتأسيس بعيداً عن مشاكل الانتفاخ والانكماش.

التوصيات:

بناءً على النتائج التي تم الوصول إليها في هذا البحث يكمن التوصل إلى التوصيات التالية:

- استخدام الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن في تحسين ترب التأسيس الغضارية الانتفاخية لتقييد الانتفاخ والانكماش ولتصبح صالحة للتأسيس.
- دراسة تأثير إضافة الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن إلى التربة الغضارية الانتفاخية على خواص المتانة وكمثال عليها مقاومة الضغط غير المحصور (UCS) ومقاومة القص ومقاومة الاختراق والتي تمثلها نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR).
- اجراء تجارب حقلية تثبت من خلال دراسة حالة حقلية، أن معالجة الترب الغضارية الانتفاخية باستخدام تقنية إنتاج جيوبولمر من أساس غضار مكلسن فعالة في تحسين هذا النوع من الترب الاشكالية.

7-المراجع: References:

- [1] CEK T H, PERNÁ I, CNÁ K U, RÍMALV and ŠTĚPÁNKOVÁ H, 2020- The Evaluation of Clay Suitability for Geopolymer Technology, Minerals, Vol.10, 852
- [2] ZHANG M, GUO H, EL-KORCHI T, ZHANG G, TAO M, 2013- Experimental feasibility study of geopolymer as the next-generation soil stabilizer, Construction and Building Materials, Vol. 47, pp 1468-1478
- [3] CORRÊA-SILVA M, ARAÚJO N, CRISTELO N, MIRANDA T, GOMES A T, COELHO J, 2019- Improvement of a clayey soil with alkali activated low- calcium fly ash for transport infrastructures applications, Road Materials and Pavement Design , Vol 20, 8, pp 1912-1926
- [4] AL BAKRI M, KAMARUDIN H, BNHUSSAIN M, RAFIZ A R, and ZARLNA y, 2012- Effect of $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ Ratios and NaOH Molarities on Compressive Strength of Fly-Ash-Based Geopolymer, journal of the American Concrete Institute, vol.109, 5, pp 503-508
- [5] KAMARUDDIN F A, NAHAZANAN H, HUAT B K and ANGGRAINI V, 2020- Improvement of Marine Clay Soil Using Lime and Alkaline Activation Stabilized with Inclusion of Treated Coir Fibre , Applied Science, Vol.10, 2129, pp 2-16
- [6] RONG-RONG Z and DONG-DONG M, 2020- Effects of Curing Time on the Mechanical Property and Microstructure Characteristics of Metakaolin-Based Geopolymer Cement-Stabilized Silty Clay , Advances in Materials Science and Engineering, Volume. 2020, pp 1-9
- [7] KOMNITSAS K and ZAHARAKI D, 2007- Geopolymerisation: A review and prospects for the minerals industry. Minerals engineering, Vol. 20, 14, pp 1261-1277.
- [8] CANAKCI H, GÜLLÜ H and ALHASHEMYM A, 2019- Performances of Using Geopolymers Made with Various Stabilizers for Deep Mixing, Materials, MDPI, Vol. 12, 2542, pp 2-32
- [9] LUUKKONEN T, ABDOLLAHNEJAD Z, YLINIEMI J, KINNUNEN P. and ILLIKAINEN M, 2018- One-part alkali-

- activated materials: A review. **Cement and Concrete Research**, Vol.103, pp 21-34
- [10] ABDEL-GAWWAD H A and ABO-EL-ENEIN S A, 2016- A novel method to produce dry geopolymers cement powder, **HBRC Journal**, Vol. 12, pp 13–24
- [11] ABDULLAH M S, AHMAD F, AL BAKRI M, 2015- Geopolymer Application in Soil: A Short Review, **Applied Mechanics and Materials**, Vols. 754-755, pp 378-381
- [12] AL-SWAIDANI A M, HAMOOD I and MEZIAB A, 2018- Thermally Treated Clay as a Stabilizing Agent for Expansive Clayey Soil: Some Engineering Properties, **Studia Geotechnica et Mechanica**, Vol. 40, 3, pp 220-232.
- [13] FITOS M, BADOGIANNIS G E, SOTIRIOS G T and MARIA P, 2015- Pozzolanic activity of thermally and mechanically treated kaolins of hydrothermal origin. **Applied Clay Science**, Vols . 116-117, pp 182-192
- [14] MITCHELL J K , 2005- **Fundamentals of soil behaviour**, 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc, pp 592
- [15] CHRISTIDIS E G, PAIPOUTLIDI K, MARANTOS I, PERDIKATSI V, 2020- Determination Of Amorphous Matter In Industrial Minerals With X-Ray Diffraction Using Rietveld Refinement, **Bulletin of the Geological Society of Greece**, vol. 56, pp 1-16.
- [16] SLATY F, KHOURY H, WASTIELS J, RAHIER H, 2013- Characterization of alkali activated kaolinitic clay, **Applied Clay Science**, Vols. 75–76, pp 120-125
- [17] EBNESJJAD S, 2014-Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding (book), chapter 4- **surface and Materials characterization Techniques**, William Andrew. 2th edition, pp 39-75.

دراسة تطور مقاومة المونة الإسمنتية باستخدام نوعي الإسمنت الأكثر شيوعاً في سوريا (البورتلاندي العادي والمقاوم للكبريتات)

طالبة الدكتوراه: داليا فرج أولاد كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

اشراف الدكتور: مروان الخوري + د. عبد القادر الجندي

ملخص:

يتم اختيار الإسمنت عادةً قبل الشروع في أعمال صبّ البيتون وفقاً لمعايير متعددة تتعلق بنوع المنشأة وموقعها والمقاومة الميكانيكية المطلوبة وترتبة التأسيس. لذلك نجد في أحيان كثيرة توصيات باستخدام إسمنت بورتلاندي سريع التصلب عندما تُطلب مقاومة مبكرة مرتفعة، وإسمنت بورتلاندي ذو حرارة إمالة منخفضة عند صبّ الكتل الضخمة، ومقاوم للكبريتات عند صبّ البيتون في أوساط حاوية على الكبريتات أو غيرها....

يهدف هذا البحث إلى دراسة الأسباب التي تكمن وراء ظاهرة بطء تصلب البيتون الذي استخدم فيه الإسمنت المقاوم للكبريتات، ألا وهي التركيب الكيميائي المختلف لنوعي الإسمنت كما بينت هذه الدراسة. هذه الظاهرة التي تؤخر من وصول البيتون إلى مقاومته النهائية خلافاً للبيتون الذي يُصنع باستخدام الإسمنت البورتلاندي العادي.

تمّ في هذا البحث دراسة تطور المقاومة الميكانيكية مع الزمن على عينات مونة اسمنتية تمّ صبها باستخدام إسمنت بورتلاندي عادي، وإسمنت مقاوم للكبريتات (72 موشور لكل نوع وأبعاد مواشير $16*4*4$ Cm)) تم أخذ قيم قراءاتها الوسطية.

بعد إجراء الاختبارات اللازمة ودراسة النتائج الخاصة بتطور (المقاومة على الضغط - المقاومة على الشد بالانعطاف - تغير الوزن) مع الزمن لكل من نوعي الإسمنت، تم تقييم هذه النتائج ولوحظت زيادة في مقاومة عينات الإسمنت المقاوم للكبريتات على الضغط بنسبة 18% بالمقارنة مع الإسمنت العادي، والمقاومة على الشد بالانعطاف بحدود 20% لصالح الإسمنت البورتلاندي وذلك عند عمر تصلب بلغ 180 يوماً، وتم تحليل أسباب تأخر التصلب، والمقارنة بين نوعي الإسمنت المستخدم من حيث النتائج التي تم الحصول عليها.

كلمات مفتاحية: الإسمنت البورتلاندي العادي، الإسمنت المقاوم للكبريتات، تفاعل الإمالة، المقاومة على الضغط، الشد بالانعطاف.

Studying the Development of Cement Mortar Resistance by Using the Two Most Common Types of Cement in Syria (Ordinary Portland and Sulfate Resistant)

Abstract:

Cement is usually selected before concrete work is initiated according to several criteria relating to the type of plant, its location, the required mechanical resistance and the foundation soil. Therefore, we often find recommendations for the use of fast-paced Portland cement when high resistance is required, low-temperature Portland cement when pouring large blocks, and sulfate resistance when pouring concrete into sulfate containers. This research aims to study the reasons behind the slow hardening of concrete in which sulfate-resistant cement was used, which is the different chemical composition of the two types of cement as shown in this study. This is the phenomenon that delays the concrete from reaching its final strength, unlike concrete that is made using ordinary Portland cement. In this research, the development of mechanical resistance over time was studied on cement mortar samples poured using ordinary Portland cement, and sulfate-resistant cement (72 prisms for each type(4*4*16)Cm) whose average readings were taken.

After conducting the necessary tests and studying the results of the development of (resistance on compression - tensile strength on bending - weight change) with time for each of the two types of cement, these results were evaluated and an increase in the resistance of sulfate-resistant cement samples to compression was observed by 18% compared to ordinary cement. The resistance to bending tensile is about 20% in favor of Portland cement at a hardening life of 180 days. The reasons for the delay in hardening were analyzed, and the two types of cement used were analyzed in terms of the results obtained.

Keywords: Ordinary Portland cement, sulfate resistant cement, reaction, concrete hardening.

1-مقدمة:

ينتشر استخدام الإسمنت المقاوم للكبريتات في المواقع التي يمكن أن تظهر فيها أخطار قد تؤثر على ديمومة البيتون بفعل الوسط الذي سيُصبّ فيه، مما يستدعي اتخاذ احتياطات تتعلق باختيار المواد الداخلة في البيتون كالإسمنت مثلاً أو بعض الإضافات الصلبة أو السائلة التي تعمل على إكساب البيتون بعض المواصفات الخاصة التي تجعله يقاوم العوامل المخربة المحيطة به.

تحدد درجة التأثير المخرب على البيتون حسب الوسط المحيط المهاجم:

فبالنسبة للوسط السائل فإن درجة التأثير تتعلق بوجود العناصر المخربة وبدرجة تركيزها في السائل وتتعلق أيضاً بدرجة الحرارة ومقدار ضغط وسرعة جريان السائل على السطح. أما بالنسبة للوسط الغازي فتتأثر درجة التخریب بنوع وتركيز الغاز ومقدار انحلاله في الماء ومقدار رطوبة وحرارة الجو المحيط.

أما بالنسبة للمواد الصلبة (أملاح، شوائب) فتتعلق درجة التأثير بحسب تشتت هذه المواد وتركيزها وانحلالها بالماء رطوبة الجو المحيط. [12-13]

تُصنّف المواصفات العالمية درجة تخریب الوسط عادةً في أربعة مستويات:

الجدول (1) تصنيف الأوساط المخربة وفق المواصفات الفرنسية P 18-305

تصنيف الأوساط المخربة وفق المواصفات الفرنسية P 18-305					
PH	Mg ⁺⁺ mg/l	So ₄ ⁻⁻ mg/l	Co ₂ mg/l	وصف الوسط	رمز الوسط
5.5-6.5	300>	250-600	15-30	ضعيف التخریب الكيميائي (جو منشآت صناعية)	A1
4.5-5.5	300- 1500	600- 1500	30-60	متوسط التخریب الكيميائي	A2
4-4.5	1500- 3000	1500- 6000	60- 100	عالي التخریب الكيميائي	A3
<4	3000>	6000>	100>	شديد التخریب	A4

بنفس الوقت يمكن اعتبار التآكل الكيميائي للبيتون الحاصل في وسط غازي وبوجود الرطوبة مشابهاً تماماً للتآكل الحاصل في وسط سائل.

دراسة تطور مقاومة المونة الإسمنتية باستخدام نوعي الإسمنت الأكثر شيوعاً في سوريا (البورتلاندي العادي والمقاوم للكبريتات)

كما يمكن تصنيف الأوساط المخربة حسب مقدار عمق التآكل الكيميائي للبيتون كما في الجدول:

الجدول (2) تصنيف الأوساط المخربة حسب مقدار عمق التآكل الكيميائي للبيتون

درجة التخریب للوسط المائي	عمق التخریب للبيتون لمدة 50 عام من الاستثمار	
	بيتونية مسلحة	بيتونية
غير مخربة	1	2
تخریب ضعيف	2-1	4-2
تخریب متوسط	4-2	6-4
تخریب قوي	>4	>6

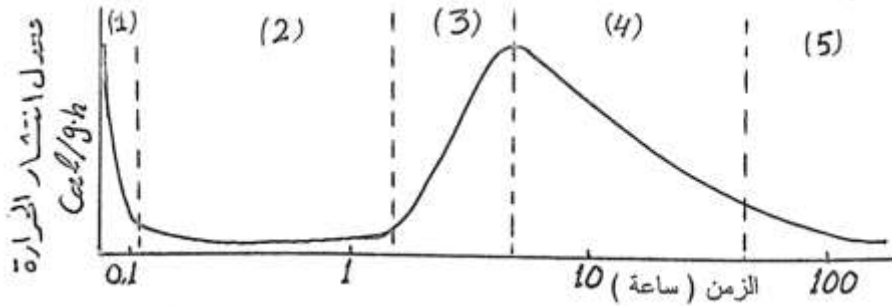
2-الإسمنت البورتلاندي [13]:

يتكون الإسمنت البورتلاندي (المقاوم للكبريتات والبورتلاندي العادي وأغلب أنواع الإسمنت بشكل عام) من مطحون الكلنكر ذي المركبات الأربعة الأساسية التالية:

C3A – C3S – C2S – C4AF

مع إضافة كبريتات الكالسيوم بكميات صغيرة إلى الكلنكر أثناء التصنيع وذلك لضبط زمن تجمد الإسمنت، بحيث لا تتجاوز النسبة المضافة من هذه المادة الـ 4% وزناً من كمية الإسمنت.

C3S: سيليكات ثلاثية الكالسيوم تعتبر من أهم مكونات الإسمنت وتشكل حوالي نصف وزنه وهي مسؤولة عن تصلبه وإعطائه المقاومة العالية في العمر الأولي والنهائي. يمكن تتبع سير تفاعل C3S مع الماء من خلال قياس معدل انتشار الحرارة مع الزمن.



الشكل (1) مراحل إمهاء C3S.

يُذكر أنّ تفاعلات C3S مع الماء معقدة وتعطي نتيجة إماهتها مادتين هما سيليكات الكالسيوم المائية وماءات الكالسيوم كما في المعادلة:



تجدر الإشارة إلى أن قيم X, Y, Z ليست بالضرورة أعداداً صحيحة، كما أن قيمها ليست ثابتة بل تتغير تغيراً طفيفاً بمرور الزمن. لذلك يرمز عادة لسيليكات الكالسيوم المائية بالرمز العام CSH.

C2S: سيليكات ثنائية الكالسيوم يتفاعل مع الماء بشكل مشابه لتفاعل C3S إلا أنه أبطأ بكثير نظراً لقلّة فعاليته ونشاطه، ويستغرق إتمام التفاعل مع الماء إلى أكثر من سنة [13]. ويمثل تفاعله بالمعادلة التقريبية التالية:



حيث الأرقام الواردة في الصيغة C3S2H3 هي أرقام تقريبية تتغير بحسب درجة الإماهة، وبنيته مماثلة لبنية

C-S-H الناتج عن إماهة C3S، لذلك يمكن اعتباره مشاركاً في إكساب الببتون المقاومة في العمر المتوسط والمديد.

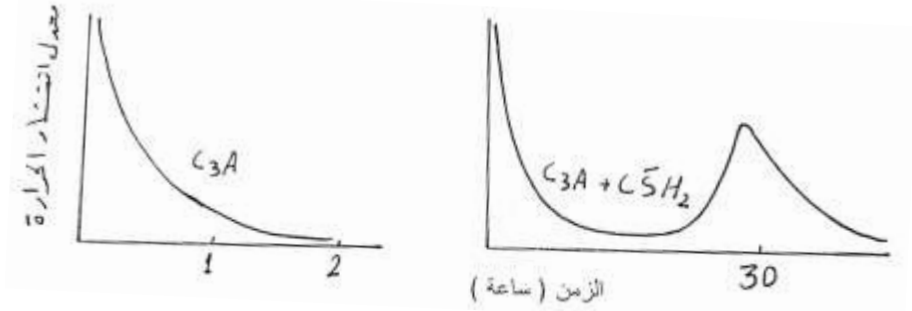
C3A: ألومينات ثلاثية الكالسيوم أسرع وأنشط مكونات الإسمنت تفاعلاً مع الماء وهو الذي يساهم في إكساب الببتون مقاومته البدائية لأنه يسبب تجمداً سريعاً للعجينة الإسمنتية، ويتم تفاعل الجزء الأكبر منه خلال نصف ساعة حسب المعادلة:



قيم x يمكن أن تأخذ (7-9-13-19).

وهو (أي C3A) المركب الذي ينشر أكبر حرارة عند إماهته لذلك يُعدّ المركب الرئيسي المساعد في حصول التجمد السريع للعجينة الإسمنتية وهذا أمر غير مرغوب فيه من الناحية العملية لذلك يضاف الجبس إلى الكلينكر الناتج من الفرن ويطحن معه بنسبة تقارب 4% من وزن الإسمنت.

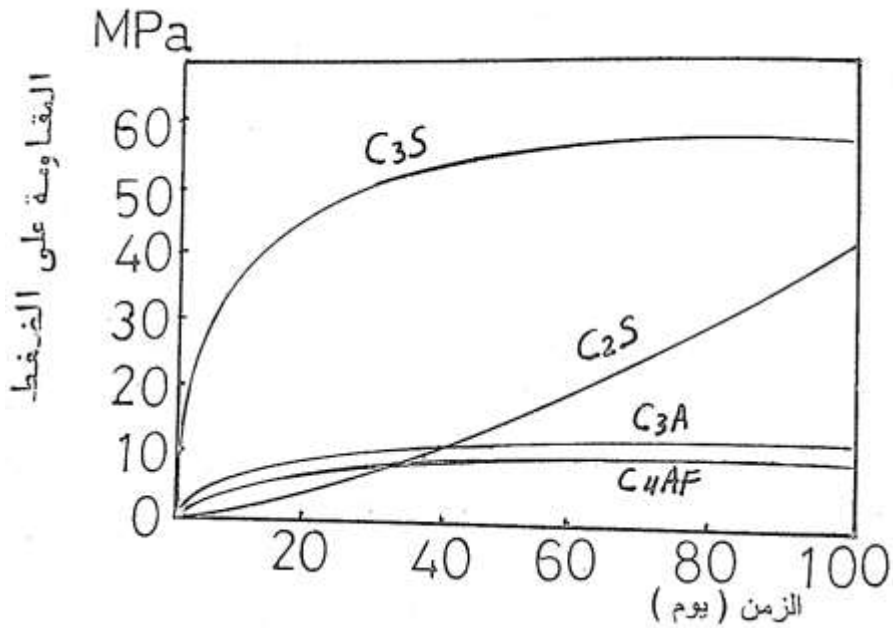
دراسة تطور مقاومة المونة الإسمنتية باستخدام نوعي الإسمنت الأكثر شيوعاً في سوريا (البورتلاندي العادي والمقاوم للكبريتات)



الشكل (2) تميته مركب C3A.

C4AF: ألومينوفريت رباعي الكالسيوم إماهته تشبه إماهة C3A لكن التفاعل أبطأ وأقل نشراً للحرارة ولا يسبب تفاعله مع الماء تجمداً سريعاً، ويعد دوره ثانوياً في عملية تصلب الإسمنت.

يُمكن ترجمة ما سبق بالمخطط البياني التالي:



الشكل (3) مقاومة نواتج تفاعل مكونات الإسمنت.

يبين الجدول التالي تغير نسب مركبات الإسمنت تبعاً لنوعه [14]:

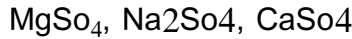
الجدول (3) تغير نسب مركبات الإسمنت تبعاً لنوعه

النسبة المئوية لمركبات الكلنكر في الإسمنت				نوع الإسمنت
C3S	C2S	C3A	C4AF	
49	25	11	8	إسمنت بورتلاندي
42	38	4	10	إسمنت مقاوم للكبريتات

3- التآكل الكبريتاتي:

وهو من أهم أنواع التآكل الكيميائي، وسببه وجود شوارد الكبريتات SO_4^{--} في الماء الملامس للبيتون.

وتوجد هذه الشوارد في المياه الجوفية وبخاصة في التربة الغضارية، وفي مياه البحر والمناطق المجاورة لبعض الصناعات الكيميائية التي تطرح نفاياتها الغنية بشوارد الكبريتات مثل:



وتتم آلية التآكل على الشكل التالي:

عند إماهة C3A بوجود الجص يتحول في البداية إلى إيترنجيت ثم إلى مركب أحادي سلفو ألومينات C_4ASH_{12} . وعندما تصادف شوارد الكبريتات شوارد الكالسيوم الموجودة في المسامات، والناجمة من تشرذمات الكالسيوم فإنها تتفاعل معها مشكلة كبريتات الكالسيوم المائية (الجص) حسب المعادلة:



ثم يتفاعل الناتج مع أحادي سلفو ألومينات مشكلاً الإيترنجيت من جديد:



إن حجم الإيترنجيت الناتج أكبر بكثير من حجم المواد الداخلة في التفاعل، إذ أنه يضم (30-32) جزيء ماء، وبالتالي يؤثر بقوة ضاغطة [1] تؤدي إلى حدوث إجهادات داخلية عالية وتسبب تشققات غير مرغوب بها في بنية البيتون. ولذلك فإن تخفيض نسبة C3A في الإسمنت تؤدي إلى تقليل التآكل الكبريتاتي وهو ما نجده في الإسمنت المقاوم للكبريتات.

تُتخذ عادةً سلسلة من الإجراءات الاحتياطية [14] للتقليل من أثر الكبريتات في البيتون نذكر منها:

- استخدام الإسمنت المقاوم للكبريتات في صناعة البيتون.
- استعمال مادة البوزولانا التي تتفاعل مع ماءات الكالسيوم $Ca(OH)_2$ مشكلةً سيليكات الكالسيوم المائية، وبذلك يقل تشكل كبريتات الكالسيوم المائية (الجبص).
- الإقلال قدر الإمكان من النسبة W/C بحيث لا تتجاوز بأي شكل من الأشكال 0.55.
- وقاية حديد التسليح وذلك بزيادة سماكة طبقة التغطية بحيث لا تقل عن 30mm أو باستخدام طلاء خاص يُدهن به حديد التسليح أو كليهما معاً.

4- أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة أسباب ظاهرة بطء تصلب البيتون الذي استُخدم فيه الإسمنت المقاوم للكبريتات والذي يؤدي إلى تأخير وصول البيتون إلى مقاومته القصوى خلافاً للبيتون الذي يُصنع باستخدام الإسمنت البورتلاندي العادي، كما يهدف إلى مراقبة تطور مقاومة نوعي البيتون بعد عمر 28 يوم.

5- المواد المستخدمة في إجراء البحث وطرائقه:

اعتمد في هذا البحث المنهج التجريبي المتبع في صنع عينات المونة التقليدية من خلال صب واختبار عدد كافٍ من عينات المونة الإسمنتية ليم بعدها جمع النتائج وتحليلها ومناقشتها للوصول إلى الاستنتاجات والتوصيات اللازمة. كما يجدر ذكره أن صب جميع العينات وكسرهما والتحليل الكيميائي لنوعي الإسمنت قد تم في معمل إسمنت طرطوس. أما تجارب التحليل الحبي والمكافئ الرملي قد تمت في مخبر مواد البناء في كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث.

تجدر الإشارة هنا إلى أنّ هذا البحث تم على أنواع محددة من الإحضرارات المحلية تمت دراسة خواصها لتحديد قابلية استخدامها في الخلطات المنفذة.

استخدمت المواد التالية في البحث لتحضير خلطات المونة الإسمنتية المختلفة:

1- إسمنت بورتلاندي عادي صنف 32.5 صنع معمل طرطوس مطابق للمواصفات القياسية السورية رقم 44 لعام 1980.

تم إجراء التحليل الكيميائي له وكان كالتالي:

الجدول (4) التحليل الكيميائي للإسمنت البورتلاندي العادي.

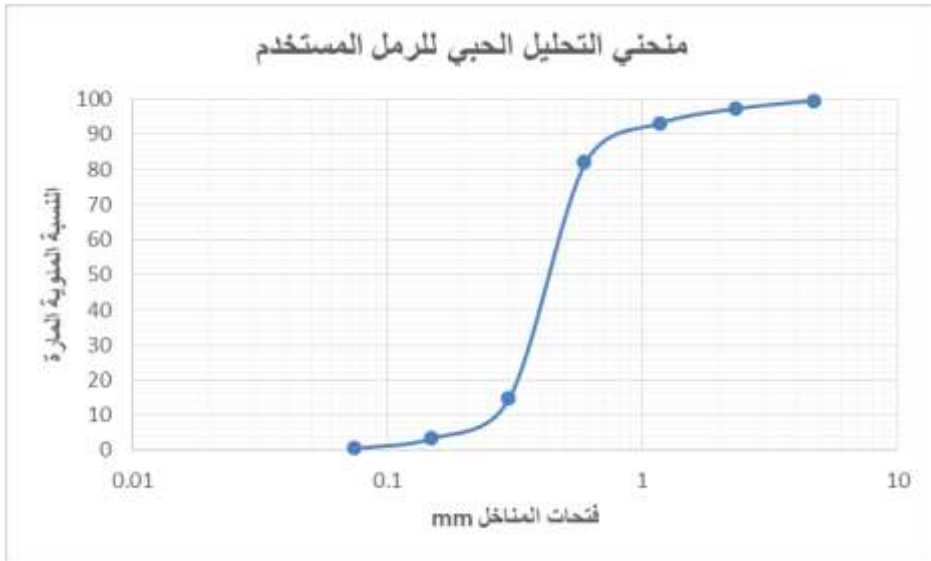
CaO	CaO free	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	SO ₃	LOI
61.4	0.95	4.84	4.59	2.01	18.8	2.8	3.14

2- إسمنت مقاوم للكبريتات مطابق للمواصفات القياسية السورية رقم 246 لعام 2003 صنع معمل إسمنت حماه. كما تم قياس المحتوى الكيميائي من العناصر له وكان كالتالي:

الجدول (5) التحليل الكيميائي للإسمنت المقاوم للكبريتات.

CaO	CaO free	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	SO ₃	LOI
61.68	1	4.71	4.39	2.82	19.8	2.1	2.7

3- حصويات ناعمة "رمل" من مقالع القرنتين ذات مكافئ رملي $E.s = 71.09\%$ وهو رمل طبيعي سيليسي المنشأ جاف ونظيف حباته مدورة ملساء تحليله الحبيبي مبين في الشكل:



الشكل (4) منحنى التحليل الحبيبي للرمل المستخدم.

4- الماء: الماء المستخدم في إنتاج البيتون وحفظ العينات هو الماء الصالح للشرب الخالي من الشوائب والأملاح الضارة.

6- إجراءات الصب:

رغم التقدم العلمي الكبير في مجال تكنولوجيا البيتون فإنه لا توجد طريقة ثابتة نظامية خاصة بتركيب الخلطة البيتونية وإنما جميع هذه الطرق هي طرق تجريبية تعتمد على فرضيات معينة غايتها جميعاً تشكيل بيتون سهل التنفيذ وبأقل طاقة رص ممكنة ويعطي مقاومة ميكانيكية عالية وكثيم نسبياً.

تم صب سلسلة من العينات المتشابهة (72 مشور مونة اسمنتية بشكل عينات موشورية $16*4*4$ Cm) من كلا نوعي الإسمنت، وبظروف وخصائص صب وتخزين موحدة، تم حفظها جميعاً في الماء ضمن أوعية بلاستيكية وكل نوع من نوعي الإسمنت لوحده وذلك تقادياً لأي تأثير ممكن أن يحصل على العينات (من نوعية وعاء الحفظ ومن نوعي الإسمنت كل على الآخر) ومن ثم كسرها عند أعمار (7-28-60-90-180) يوماً وذلك باستخدام جهازيّ الكسر (الضغط والشد بالانعطاف).

وقد تم تحضير عينات المونة الإسمنتية النظامية حسب NFP15-403. [12]

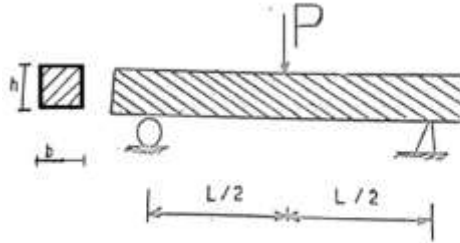
تُعرّف المونة الإسمنتية النظامية في النظام الفرنسي بأنها المونة التي تتركب وزناً من مثل واحد من الإسمنت مع ثلاثة أمثال من الرمل النظامي ونصف مثل من الماء بحيث تكون النسبة (W/C=0.50). يتم صبها بعد الخلط بشكل عينات موشورية أبعادها (4*4*16 cm).

تجدر الإشارة هنا إلى أنه لم يتم استخدام أي من أنواع الإضافات (السائلة أو الصلبة) عند إجراء هذه التجارب وذلك للوقوف فقط على تأثير اختلاف نوع الإسمنت على المقاومة وكما لا تتداخل النتائج وتتغير بإضافة متغيرات أخرى لعينات المونة الإسمنتية التي تم الحصول عليها.

6-1- تعيين المقاومة على الشد بالانعطاف:

بعد إخراج العينات من الماء ووضعها في وسط رطب برطوبة نسبية (90-100%) وبدرجة حرارة (20°C) لمدة (24h) تم كسرها بواسطة جهاز كسر المونة الإسمنتية.

يمثل الشكل التالي رسماً توضيحياً لإجراء تجربة الشد بالانعطاف على عينات المونة الإسمنتية الموشورية الأكثر في المخابر:



الشكل (5) رسم توضيحي لإجراء تجربة الشد بالانعطاف على عينات المونة الإسمنتية الموشورية.

بعد كسر العينات بالأعمار التي تم ذكرها سابقاً كانت النتائج كالتالي:

الجدول (6) النتائج الوسطية لـ 72 موشور مونة إسمنتية تم العمل عليها.

العمر Days	الشد بالانعطاف Mpa	المقاومة على الضغط Mpa	تغير الوزن %	نوع الإسمنت
7	5.91	28.025	0.17%	إسمنت بورتلاندي عادي
28	7.66	34.5	0.52%	
60	7.69	35	0.86%	
90	7.8	36.2	0.86%	
180	7.8	36.4	0.86%	
7	4.07	19.26	0.18%	إسمنت مقاوم للكبريتات
28	6.26	24.9	0.18%	
60	6.5	32	0.18%	
90	6.87	36	0.18%	
180	6.9	38.45	0.18%	

تم رسم العلاقة بين مقاومة العينات المنتجة وعمر العينات وهي القيم الوسطية للمقاومات المقاسة لأكثر من ست عينات بنفس العمر وذات ظروف التخزين وكانت النتيجة كما في الشكل التالي:

دراسة تطور مقاومة المونة الإسمنتية باستخدام نوعي الإسمنت الأكثر شيوعاً في سوريا (البورتلاندي العادي والمقاوم للكبريتات)



الشكل (6) تطور مقاومة عينات المونة الإسمنتية مع الزمن على الشد بالانعطاف.

يُلاحظ من الشكل أن المقاومة على الشد بالانعطاف لكل من نوعي الإسمنت قد تطورت بشكل واضح وملاموس بين العمرين (7-28 يوماً) وتابعت التطور إنما بشكل طفيف حتى عمر 90 يوماً لتستقر نسبياً عند عمر 100 يوماً للإسمنت المقاوم للكبريتات وعمر 28 يوماً للإسمنت البورتلاندي العادي.

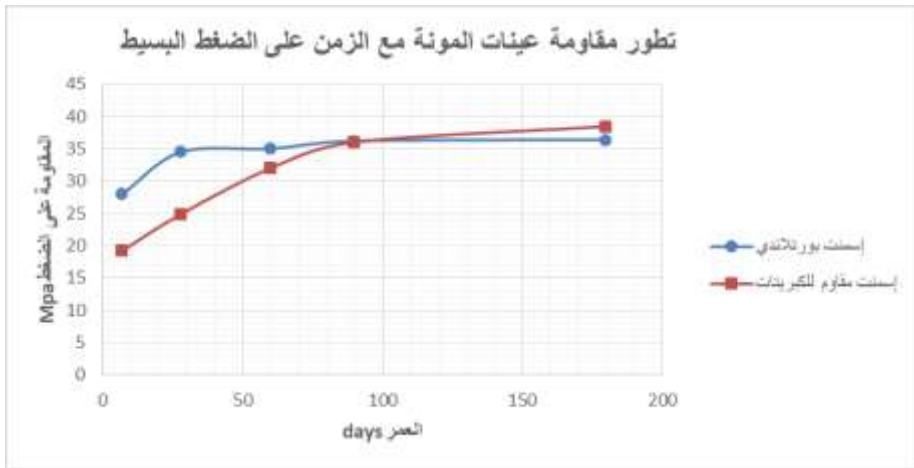
كما يُلاحظ أنه وفي أعمار النضج المختلفة بأن الإسمنت البورتلاندي العادي أبدى مقاومة أعلى للشد بالانعطاف على نظيره الإسمنت المقاوم للكبريتات واستمر هذا على كافة مراحل النضج حتى عمر 180 يوماً لتكون هذه الزيادة بحدود 20% في هذا العمر المتأخر. يبين الشكل التالي سطح الكسر لإحدى العينات باستخدام جهاز الشد بالانعطاف.



الشكل (7) شكل سطوح العينات بعد الكسر باستخدام جهاز الشد بالانعطاف.

6-2- تجربة تعيين المقاومة الميكانيكية على الضغط للمونة الإسمنتية النظامية:

بعد كسر العينات المشورية على الانعطاف تم كسر أنصاف المواشير الناتجة على الضغط عند الأعمار المحددة. تم إجراء تجربة الكسر باستخدام جهاز الكسر الموجود في معمل إسمنت طرطوس، وأخذ قراءات الجهاز تم رسم العلاقة بين مقاومة العينات المنتجة وعمر مواشير المونة الإسمنتية. يظهر المخطط التالي تطور مقاومة مواشير المونة الإسمنتية المقاسة على الضغط البسيط مع الزمن حتى العمر 180 يوماً لكل من نوعي الإسمنت وهي القيم الوسطية للمقاومات المقاسة لأكثر من ست عينات بنفس العمر وذات ظروف التخزين:



الشكل (8) تطور مقاومة عينات المونة الإسمنتية مع الزمن على الضغط البسيط.

من قراءة المخطط السابق نجد أن الإسمنت البورتلاندي وفي أعمار صغيرة حتى 60 يوم أبدى مقاومة أعلى على الضغط من نظيره الإسمنت المقاوم للكبريتات ولكن وبعد عمر 90 يوم كانت مقاومة الإسمنت المقاوم للكبريتات أعلى بزيادة نسبية قدرها 8% تقريباً عند عمر 180 يوم.



الشكل (9) شكل بعض سطوح العينات بعد الكسر باستخدام جهاز الكسر على الضغط.

6-3-تغير وزن العينات:

بعد فك قوالب المونة الإسمننتية تم قياس وزنها الطبيعي مباشرة قبل وضعها في الماء كما تم أخذ قراءة الوزن مرة أخرى قبل كسرها وذلك لدراسة تغير وزنها "زيادة أو نقصان" نتيجة وضعها في الماء كوسط حفظ وذلك للوقوف على نتيجة التفاعل الحاصل مع الوسط. هذا الاختبار يعطي فكرة "ولو مبدئية" عن كتامة العينات المنفذة وتشربها للماء. تجدر الإشارة إلى أن التغير الوزني لأبد حاصل، لأن تفاعلات الإماهة ليست مقتصرة على مرحلة خلط الإسمنت فقط إنما هي تفاعلات مستمرة تأخذ مدة طويلة من عمر البيتون، وبالتالي التغير في الوزن يجب أخذه بعين الاعتبار لأنه ومن الضروري معرفة مقاومة العينات لوسط الحفظ بدون تطبيق أي قوى خارجية عليها. فقط وسط الحفظ.

تم رسم العلاقة بين تغير وزن مواشير المونة وعمر هذه المواشير كما يظهر في الشكل التالي:



الشكل (10) تطور تغير وزن العينات مع الزمن لكل من نوعي الببتون.

ومن قراءة مخطط تغير الوزن مع الزمن نلاحظ أن كتلة المواشير لكل من نوعي الإسمنت قد ازدادت نتيجة امتصاصها للماء، كما ويظهر أن العينات المشكلة من الإسمنت المقاوم للكبريتات أبدى مقاومة أعلى لوسط الحفظ (الماء) من خلال التغير البسيط في كتلته (لم يتجاوز 0.2%)، في حين أن العينات التي يدخل الإسمنت البورتلاندي العادي في تركيبها فقد لوحظت زيادة في الوزن من 0.18% بعمر الـ 7 أيام حتى الـ 0.88% بعمر 28 يوم يُعزى إلى نواتج تفاعل الإماهة الحاصل في بنية المواشير من جهة ولامتصاص هذه المواشير بعضاً من وسط الحفظ من جهة أخرى واستمر هذا الثبات النسبي في الكتلة في الأعمار اللاحقة.

7- تحليل النتائج:

بعد قراءة النتائج وتحليلها، يمكن تفسير المقاومات المنخفضة نسبياً عند العمر 28 يوم للكثير من عينات المونة التي تحوي في تركيبها إسمنت مقاوم للكبريتات، ولكن هناك طور آخر لمنحني المقاومة لعينات البيتون التي استُخدم فيها الإسمنت المقاوم للكبريتات بين العمرين (90-180) يوم ليستقر بعدها نسبياً عند العمر 180 يوماً.

لأن سرعة تفاعل الإماهة لمكونات الإسمنت في الأيام الأولى بعد المزج هي بحسب الترتيب:



وتختلف سرعة إماهة هذه المكونات حسب نعومة الإسمنت كما تتأثر بوجود شوائب فمثلاً تزداد سرعة إماهة كل من C2S، C3S بوجود شوائب من أكاسيد معدنية. وليس صحيحاً افتراض أن مكونات الإسمنت تتفاعل مع الماء بشكل مستقل عن بعضها فنجد تنافساً بين C4AF، C3A للتفاعل مع الجبس، وبما أن C3A أنشط فإنه يستهلك معظم كمية الجبس، ويكون تأثير C4AF بالجبس أقل لكنه أكثر نشاطاً مما يتوقع في تفاعله مع الماء. [13]

يُعزى تطور مقاومة الإسمنت المقاوم للكبريتات بعد عمر 28 يوم إلى تركيبه المعدني (الجدول 3) حيث كنا قد أشرنا إلى أن المركب C3A هو أول المركبات التي تتفاعل مع الماء من بين المركبات الأربعة المشكلة للكلنكر، وهو الذي يعطي بدايةً مقاومة الإسمنت المقاوم للكبريتات، أما بالنسبة لكل من C2S و C3S اللذين يعطيان المقاومة للبيتون في العمر البدائي والبعيد فإن نسبتهما في تركيب الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات أكبر منهما في الإسمنت البورتلاندي العادي مما سيؤثر في عملية التصلب التي ستتم على نحوٍ أبطأ وهذا ما يفسر استمرار ازدياد المقاومة بعد العمر 28 يوماً لعينات المونة المصنوعة من الإسمنت المقاوم للكبريتات.

يمكن أن نعزي ذلك لنفس أسباب ازدياد المقاومة التي تم دراستها في المخطط (8) وذلك لأن المركبين C3S و C2S قد تفاعلا بشكل كامل أو يُمكن القول شبه كامل [13] مما أدى لاستقرار في كتلة البيتون لكل من نوعي الإسمنت مع الزمن، على الرغم من التغيرات الوزنية السريعة التي أبدتها العينات المصبوبة من الإسمنت البورتلاندي العادي مقارنةً بنظيرتها من العينات المصنوعة من الإسمنت المقاوم للكبريتات. نظراً لتأخر الإسمنت المقاوم للكبريتات في اكتساب المقاومة فهذا يعني أن عملية الإماهة لم تكتمل واستمرت لفترة زمنية أطول من العادي وهذا انعكس على تغير في اكتساب المقاومة.

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- استخدام مادة البوزولانا أو بعض الإضافات المعدنية الأخرى (خبث الأفران) التي تتفاعل مع $Ca(OH)_2$ وتشكل مركبات جديدة ثابتة وصعبة الانحلال.
- 2- إضافة الكمية الدقيقة من الجبس، والتي يجب أن تتفاعل بالكامل وتشكل الإيترنجيت خلال 24-48 ساعة.
- 3- زيادة نسبة المركب C4AF عن طريق زيادة نسبة أكسيد الحديد في المواد الأولية، حيث أن تفاعله مع الكبريتات يؤدي إلى تشكيل إيترنجيت هلامي لا يحدث أي زيادة في الحجم.
- 4- حماية البيتون من الأوساط المهاجمة عبر حماية سطحه من هذه المواد المخربة بوسائل عدة منها:

- تغطية سطح البيتون بمواد كيميائية مقاومة للأوساط المخربة.
- تغطية سطح البيتون بطبقة من البيتومين.
- تغطية سطح البيتون بصفائح بلاستيكية أو قطع سيراميكية أو أحجار الزينة.

5- إن الزيادة في المقاومة بعد عمر 28 يوماً تخص كلاً من نوعي الإسمنت، ولكن على نحو أوضح الإسمنت المقاوم للكبريتات، مما يستوجب " قبل اتخاذ القرار بقبول أو رفض " المقاومات الميكانيكية الوقوف عند التركيب المينيرالي للإسمنت وتصنيفه قبل اعتماد الزمن الأقصى الذي ستُعتمد عنده مقاومة البيتون للشد أو للضغط.

المراجع باللغة الانكليزية: References

- 1- Horta A., "Evaluation of Self – Consolidating Concrete for Bridge structure Applications”, M. Sc. Thesis, Georgia Institute of Technology, 2005.
- 2 – ACI302. 1R-96, American concrete Institute, Guide for concrete floor and slab construction.
- 3 - ACI304. 2R-96, American concrete Institute, Placing concrete by pumping methods.
- 4 - ACI308. 9R-96, American concrete Institute, Standard specification for curing concrete.
- 5 - ACI309R -05, American concrete Institute, Guide for consolidation of concrete.
- 6 - ACI347 -04, American concrete Institute, guide to form work for concrete.
- 7 – ASTM, Standard test Method for bulk density and voids in Aggregates C29.
- 8- ASTM, Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory C192.

المراجع باللغة العربية:

- 12-حنّا، بسام. الدليل العملي لمواد البناء، منشورات جامعة البعث لعام 2000 – 1999
- 13 -خوري, مروان. الكيمياء للمهندسين، منشورات جامعة البعث لعام 2001 – 2000
- 14-خيربك، علي. مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (29) العدد (4) 2007.

دراسة تطور مقاومة المونة الإسمنتية باستخدام نوعي الإسمنت الأكثر شيوعاً في سوريا (البورتلاندي العادي والمقاوم للكبريتات)

نمذجة وإدارة الصيانة الدورية للمراكز الصحية

طالب الدراسات العليا: شذا علي مرهج

كلية: الهندسة المدنية - جامعة: تشرين

الدكتور المشرف: عماد الدين كنجو

1- الملخص

تعد المراكز الصحية ركناً من أركان بناء المجتمعات الحديثة وواحدة من المنشآت الاستراتيجية للدولة باعتبارها جزء لا يتجزأ من المباني الحكومية. تم في هذا البحث وضع دليل للصيانة الدورية للمراكز الصحية والذي يركز في بنائه على مجموعة النماذج: النموذج الفراغي للمراكز الصحية، نموذج العيوب والفحوص، نموج العنصر والصيانات المطلوبة، كما تم وضع نموذج حفظ واسترجاع بيانات الصيانة والذي يساعد في الأرشفة الالكترونية لمعلومات الصيانة لكل مركز من المراكز الصحية. بهدف استخدامها في إدارة الكلفة والزمن وتعمل كتغذية راجعة لقاعدة البيانات لدليل الصيانة. تم الاستعانة بلغة النمذجة الموحدة UML لكتابة مختلف النماذج. بعد الانتهاء من وضع نماذج إدارة الصيانة للمراكز الصحية تم تحويل النماذج إلى قاعدة بيانات من النوع العلائقي والتي تم إغناؤها بالبيانات التي تم جمعها من مصادر مختلفة (أدلة صيانة، وثائق المراكز الصحية، ملاحظات المهندسين...).

الكلمات المفتاحية: إدارة الصيانة، الصيانة الدورية، صيانة المراكز الصحية، دليل صيانة، نماذج صيانة.

Modeling and management of periodic maintenance of health centers

Abstract –2

Health centers are a cornerstone of building modern societies and one of the state's strategic facilities as an integral part of government buildings. In this research, a guide was developed for the periodic maintenance of health centers, whose construction is based on a set of models:

The spatial model for health centers, the defects and checks model, the component model and the required maintenance, and a model for keeping and retrieval of maintenance data was developed, which helps in electronic archiving of maintenance information for each health center. In order to be used in cost and time management and serve as a feedback to the maintenance manual database. The Unified Modeling Language (UML) was used to write various models

After completing the development of maintenance management forms for health centers, the forms were converted into a relational database, which was enriched with data collected from various sources (maintenance manuals, health center documents, engineers' notes, ...).

Keywords: maintenance management, periodic maintenance, maintenance of health centers, maintenance manual, maintenance models.

3- مقدمة

يجب أن تكون عملية الصيانة منظّمة ودورية وتراعي خصوصية كل العناصر الموجودة في المبنى من حيث المواد المكونة لهذه العناصر وطريقة تنفيذها وتشكيلها وطريقة استعمالها. تعد إدارة الصيانة واحدة من المفاصل الأساسية لإدارة المنشأة ضمن الشروط المحددة من الأمان والجودة، وتحتاج عملية إدارة الصيانة إلى بيانات منظمة وطريقة محددة تسمح بأرشفة الخبرة العلمية المتراكمة واستثمار هذه البيانات وتحديثها كلما دعت الحاجة.

تناول العديد من الباحثين موضوع إدارة الصيانة الدورية، فمثلاً وضعت دراسة أعدتها ابراهيم (2017) دليلاً يتضمن توصيف الأعطال الخاصة بعناصر المنشأة المدرسية والإجراءات الإصلاحية المقترحة لكل عطل من هذه الأعطال، وذلك بهدف المساعدة في تنظيم عملية الصيانة في المباني المدرسية في سورية، كما وضعت نموذجاً خاصاً بمؤشرات الأداء للمباني المدرسية باستخدام ثلاث مؤشرات هي: الوظيفي والتقني والصحي [1].

قدمت دراسة جراد والحسن (2016) أداة لإدارة عملية الصيانة باستخدام (Building Information Modeling BIM)، حيث تم تشكيل قاعدة بيانات على REVIT تربط بين موديلات الانتكاس للصيانة وبين مكونات البناء في النموذج ثلاثي الأبعاد. توصل الباحثان إلى توزيع الميزانية الخاصة بالصيانة حسب أولوية العناصر، والوصول إلى موازنة تقديرية لأعمال الصيانة الدورية، كما تم وضع خطة موارد للعام القادم وصولاً إلى قاعدة معرفة لأعمال الصيانة [2].

من جهة أخرى، قدمت المزروي عام (2020) منهجية متكاملة لتحسين كفاءة إدارة الصيانة في الجامعات الحكومية من خلال تقييم الواقع الفعلي، إذ تم اقتراح نموذج يساعد في متابعة وتقييم أداء وإدارة الصيانة بالاعتماد على مجموعة معايير وفق المحاور الأربعة لنظرية الأداء المتوازن؛ (وهي: العمليات الداخلية التعلم والنمو، رضا الزبون، المحور المالي) وباستخدام مجموعة مؤشرات كمية ونوعية. أثبت النموذج المقترح فعالية عالية كمنهجية لمتابعة وتقييم الأداء بتطبيقه على عينة من خمس

كميات مختففة في جامعة تشرين، إذ تم تصميم قوائم تفحص لتساعد في فحص حالة العناصر وتحديد أولويات الصيانة المقترحة حسب خطورة الحالة، وحساب متوسط حالة الصيانة للعينة المدروسة والتي تراوحت بين مقبولة إلى جيدة [3].

توصل Dukić وآخرون (2013) إلى وضع برنامج خاص بالصيانة الدورية يعتمد على قاعدة بيانات رقمية للأبنية السكنية، والذي يزيد من جودة صيانة المباني من خلال تحديد مواعيد لعمليات التفقيش الوقائية، وبالتالي التقليل من عمليات الصيانة التصحيحية والتقليل من تكاليف الصيانة حتى 11% [4].

تم تطوير نظام آلي لإدارة صيانة المراكز الصحية باستخدام مخططات لغة النمذجة الموحدة (UML)، التي توضح العوامل المحددة للنظام وكيف يتفاعل هؤلاء الوكلاء مع بعضهم البعض. نظام إدارة المرافق متعدد الوكلاء (Multi-agent facility management system (MAFMS) هو نظام موزع يتكون من خمسة مكونات. تتضمن عملية سير العمل عدة مستويات من إدارة الصيانة، وتشكل هذه المستويات مكونات النظام. يحتوي كل مكون على موارد تتبع أهدافه الخاصة، ويتم تقديم هذه الموارد المستقلة كوكلاء. يُسمح للوكلاء بالتفاعل مع بعضهم البعض من أجل حل المشكلات المعقدة لإدارة سير العمل وتخصيص الموارد. يعمل نظام MAFMS كنظام ديناميكي لدعم القرار ويتم تقديمه لمديري المرافق لإدارة سير العمل ومواردهم بشكل أفضل، كما يمكن لـ MAFMS المطورة متابعة حالة أوامر الصيانة وتسريع سير عمل الصيانة [5].

يعتبر قطاع الصحة من أهم القطاعات المرعية في الجمهورية العربية السورية فهو عنصر مهم من عناصر التنمية، حيث تعد المراكز الصحية من أهم مقدمي الرعاية الصحية في المجتمعات المحلية، وهي مهمة بشكل خاص للأطباء والإداريين وصناع السياسات الذين يسعون إلى تحسين رعاية المرضى الأكثر ضعفاً وفقراً.

تنتشر المراكز الصحية في المناطق الريفية، يوضح الجدول (1) عدد المراكز الصحية وعدد الأشخاص المشمولين بالرعاية الصحية من قبل كل مركز صحي في أرياف مدينة اللاذقية [6].

الجدول 1. إحصائيات المراكز الصحية في محافظة اللاذقية

المنطقة	عدد سكان ريف	عدد المراكز الصحية الريفية	شخص/مركز صحي
اللاذقية	217929	19	11470
الحفة	112683	24	4695
القرداحة	63306	17	3724
جبله	208122	32	6504

بعد الاطلاع على واقع صيانة المراكز الصحية في سورية، تبين أن أغلب عمليات الصيانة تتم بعد حدوث أعطال صغيرة أو كبيرة تقود في بعض الأحيان إلى خروج المنشأة جزئياً أو كلياً عن الخدمة، وهذا يتناقض مع الهدف الأساسي لهذه المنشآت وهي تقديم الخدمات الطبية لمنطقة محددة خلال كامل عمر المنشأة.

في الواقع، إن غياب منهجيات إدارة الصيانة يقود إلى الخروج المتكرر للمنشأة عن الخدمة بشكل جزئي أو كلي ويجعل من إعادة المنشأة إلى الحالة الجيدة للخدمة والأداء الوظيفي أمراً مكلفاً ويحتاج إلى زمن لا يستهان به.

يجب القبول بأن كل المنشآت بحاجة إلى صيانة، وهي تقدر بـ 12% من الكلفة الإجمالية للمشروع [7]، ويتم التعويل على إدارة الصيانة الدورية من أجل تخفيض تكاليف الصيانة حتى 30% [8].

في السنوات الأخيرة، تعرضت نوعية الرعاية الصحية إلى المزيد من التدهور في سورية، بسبب تعطل المعدات الطبية الناجم عن نقص قطع الغيار ونقص الصيانة، إضافة إلى شح الأدوية والمستلزمات الطبية بسبب العقوبات [9]، وهذا بدوره أدى إلى تعليق المزيد من العمليات الروتينية والتدخلات الطبية اللازمة، الأمر الذي يعزز دور إدارة الصيانة ويجعل منها حاجة ملحة أكثر من أي وقت مضى.

تحتاج عمليات إدارة الصيانة الدورية إلى بيانات منظمة وطريقة محددة تسمح بأرشفة الخبرة العملية المتراكمة وإنجاز هذه البيانات وتحديثها كلما دعت الحاجة، يبقى موضوع الصيانة بشكل عام والصيانة الدورية على وجه الخصوص موضوعاً حيوياً لكل المنشآت

ولكنه يأخذ بعداً خاصاً في حالة المراكز الصحية بإعتبارها المنشآت التي تقدم الرعاية الصحية لكل شرائح المجتمع.

4- هدف البحث

تشكل المباني الحكومية عصب الدولة وبتعطيل هذه المنشآت للقيام بعملية الصيانة يتعطل سير العمل، تعتبر المراكز الصحية في طليعة مقدمي الرعاية الصحية للمرضى الأكثر ضعفاً من مرضى السكري والأمراض المزمنة الأخرى. عادة ما يكون معدل تدهور مرافق الرعاية الصحية أعلى من المباني الأخرى، لأن هذه المرافق توفر خدمات أساسية وهي مشغولة ومستخدمة على مدار السنة. يؤدي انخفاض كفاءة القطاع الصحي بسبب التوقفات إلى هدر واسع لموارده وبالتالي انخفاض كفاءته الاقتصادية وتدني الإنتاجية الفعلية للقوى البشرية العاملة في المراكز الصحية.

يهدف هذا البحث إلى تحسين إدارة عمليات الصيانة الدورية في المراكز الصحية من خلال اقتراح نماذج لإدارة الصيانة الدورية للمراكز الصحية في سورية. تساعد النماذج المقترحة في تقديم دليل لصيانة المراكز الصحية، بالإضافة إلى تخزين واسترجاع بيانات الصيانة والمراقبة لعناصر مركز صحي محدد.

5- مواد وطرق البحث

يتم التصميم الفعلي لقاعدة بيانات الخاصة بدليل الصيانة والأرشفة والتنظيم في مرحلتين وذلك بهدف إجراء تطبيقات برمجية لقاعدة البيانات لاحقاً.

المرحلة الأولى **المستوى المنطقي** والذي يهتم باستخدام المتطلبات المحددة لإنشاء نموذج قاعدة بيانات، حيث تم وضع التصميم الكامل للنماذج الخاصة بإدارة الصيانة الدورية للمراكز الصحية والتي هي عبارة عن النموذج الفراغي للمراكز الصحية، نموذج العيوب والفحوص، نموذج العنصر والصيانات المطلوبة بالإضافة إلى النموذج الخاص بالأرشفة والتنظيم، مع مراعاة أي متطلبات محددة لنظام إدارة قواعد البيانات

المرحلة الثانية **المستوى المادي**: تأتي هذه المرحلة بعد المستوى المنطقي، وبالتالي تتضمن التنفيذ المادي للمستوى المنطقي. يأخذ نظام إدارة قواعد البيانات وعوامل التنفيذ

المادية الأخرى في الاعتبار، حيث تم اقتراح هيكلية لقاعدة البيانات لدليل الصيانة ولأرشفة البيانات والتي تتضمن وضع جداول قاعدة البيانات والربط بين هذه الجداول.

➤ المرحلة الأولى: وضع نماذج إدارة الصيانة الدورية للمراكز الصحية

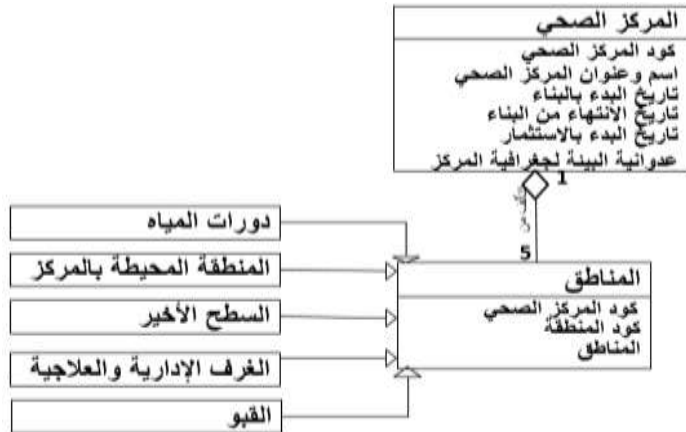
تم استخدام لغة النمذجة الموحدة ((Unified Modeling Language (UML) نظراً لبساطتها وقدرتها على تمثيل مختلف القيود التي تربط مكونات النموذج الواحد. تحتوي لغة UML على 13 نوعاً من الرسوم البيانية التي يمكن تقسيمها إلى مجموعتين تقريباً، مجموعة مخططات الهيكل Structure Diagram تمثل الجوانب الثابتة للنظام، بينما تمثل مجموعة المخططات السلوكية Behavior Diagram المكونات الديناميكية له [10]. استُخدم مخطط الفئة، والذي يعد من المخططات الهيكلية للنظام، في بناء النماذج المستخدمة لإدارة الصيانة للمراكز الصحية.

تتضمن نمذجة صيانة المراكز الصحية النماذج التالية:

1. النموذج الفراغي للمراكز الصحية

تعتمد النمذجة الفراغية للمراكز الصحية على مفهوم التقسيم الفراغي لها، بدءاً من المركز الصحي نفسه وصولاً إلى المناطق الرئيسية، التي بدورها تتضمن من مجموعة من العناصر التي تجرى عليها عمليات الصيانة والمراقبة.

يوضح الشكل (1) النموذج الفراغي للمراكز الصحية، حيث يتألف كل مركز صحي من خمسة مناطق رئيسية للصيانة هي: القبو، المنطقة المحيطة بالمركز، الغرف الإدارية والعلاجية، دورات المياه والسطح.



الشكل 1. النموذج الفراغي للمراكز الصحية.

في المرحلة الثانية، تم تقسيم كل منطقة من المناطق الرئيسة الخمسة إلى مجموعة من العناصر. يسمح ذلك بالابتعاد عن العشوائية في الصيانة وعدم إغفال أية عناصر أثناء عمليات التفتيش والصيانة.

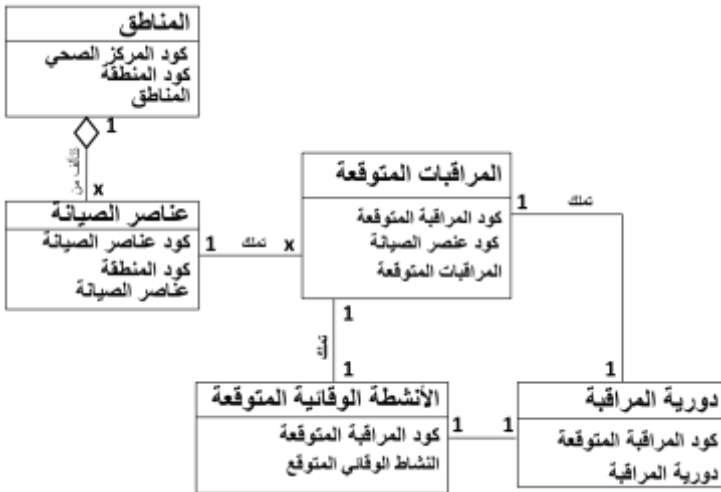
تعرف المنطقة بأنها الحيز من الفراغ من المركز الصحي والذي يحتوي على عناصر (باب، نافذة، سور، ...)، والتي تجري عليه عمليات الصيانة والمراقبة.

2. نموذج العنصر والصيانات المطلوبة

إن أي نظام مركب من مجموعة من العناصر الجزئية لا يمكن تححصه بشكل صحيح إلا من خلال تفحص كامل مكوناته الجزئية بشكل تفصيلي.

يعرف عنصر الصيانة بأنه نواة نمذجة عمليات الصيانة، وهي عبارة عن مكونات مادية أساسية للبناء. يمتلك كل عنصر من عناصر الصيانة للمركز الصحي مثل الجدار مجموعة من المراقبات المتوقعة لكل منها دورية مراقبة ونشاط وقائي متوقع. ينتمي كل عنصر إلى منطقة وتحصل عليه مجموعة من العيوب نتيجة لعدة أسباب محتملة، كما تجري عليه عمليات الصيانة الوقائية والإصلاحية وفقاً للسبب الذي أدى للعيوب كما تجري عليه عمليات تفتيش ومراقبات دورية.

يوضح الشكل (2) نموذج العنصر والصيانات المطلوبة.



الشكل 2. نموذج العنصر والصيانات المطلوبة.

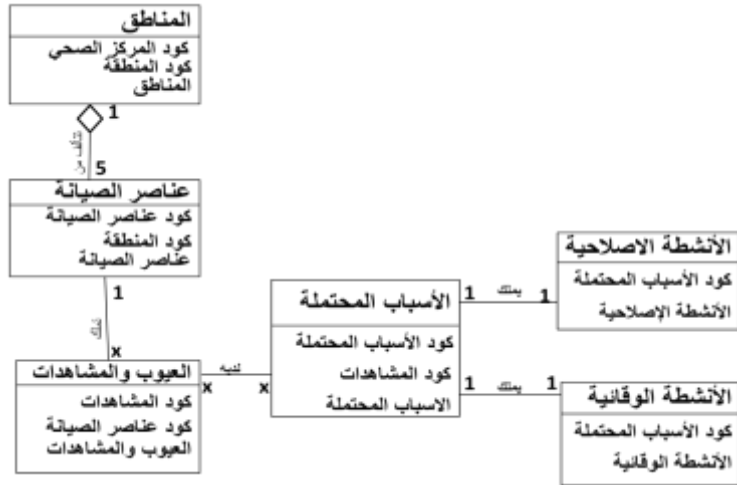
تعتبر المراقبات المتوقعة عن المراقبات الواجب تنفيذها على عناصر الصيانة للمركز الصحي والتي تتم بدورية معينة وينتج عن كل منها نشاط وقائي متوقع، أما دورية المراقبة فهي عبارة عن الفترة الزمنية الفاصلة بين كل مراقبتين. يعبر النشاط الوقائي المتوقع عن النشاط الواجب تنفيذه على عنصر صيانة بعد القيام بعمليات المراقبة والتي تعتبر صيانات وقائية لمنع حدوث الأعطال.

كمثال على النموذج يمتلك عنصر اساسات وارصفة القبو (B1) والذي ينتمي لمنطقة القبو (B) مجموعة من المراقبات المتوقعة أحدها التحقق من عدم وجود تصدعات والذي يجب أن يتم بدورية مراقبة كل 6 أشهر، وينتج عنه نشاط وقائي متوقع وهو اكتشاف حديد التسليح مع احتمال تنظيفه ودهنه بمضادات الصدأ وترميم المنطقة.

3. نموذج العيوب والفحوص

يبين هذا النموذج مجموعة العيوب (المشاهدات) الخاصة بكل عنصر من عناصر المركز الصحي، وكذلك مجموعة الأسباب المحتملة لكل عيب، كما يبين الأنشطة الإصلاحية والأنشطة الوقائية المناسبة وفقاً للأسباب المحتملة التي أدت لها، الشكل (3).

يقصد بالعيوب والمشاهدات جميع العيوب والأعطال التي من الممكن ملاحظتها على العنصر عند القيام بعمليات التفتيش. أما مفهوم الأسباب المحتملة يعبر عن جميع الأسباب التي من الممكن أن تؤدي إلى العيوب والأعطال والتي يجب التحقق من وجودها على أرض الواقع من خلال عمليات التفتيش، حيث أنه ليس من الضرورة أن يكون لكل عيب سبب محتمل واحد. يعبر النشاط الوقائي عن الإجراءات الاحترازية التي نقوم بها لمنع أو الحد من العيوب والأعطال التي من الممكن أن تقع على عناصر الصيانة. أما النشاط الاصلاحى فهي عبارة عن إجراء يتخذ لحل الأسباب لحالة حدوث الأعطال والعيوب، وبما يضمن عدم تكرار حدوثها.



الشكل 3. نموذج العيوب والفحوص.

كمثال على النموذج، يبين الجدول (2) الأنشطة الإصلاحية والوقائية حسب السبب المحتمل في حال ظهور إنجراف التربة والذي يعتبر أحد العيوب التي من الممكن أن تحصل على عنصر المساحات الخضراء (A1) في المنطقة المحيطة بالمركز الصحي (A).

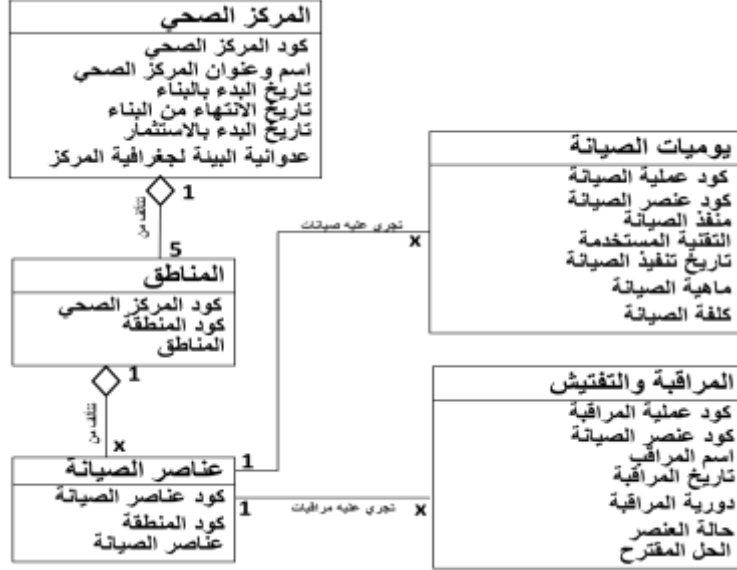
الجدول 2. الأنشطة الإصلاحية والوقائية في حال انجراف التربة المنحدر.

العيوب والمشاهدات	الأسباب المحتملة	الأنشطة الإصلاحية	الأنشطة الوقائية
انجراف التربة	نتيجة قدوم حمولات خارجية	تحويل المياه	تنظيف الحفر وأنايبب الدريناج
	نتيجة ميل المنحدر	تأمين استقرار المنحدر	تفتيش بعد هطول أمطار غزيرة

4. نموذج التنظيم والإدارة

بما أن التنبؤ بسلوك العناصر في المستقبل هو هدف إدارة الصيانة، تم العمل على تخزين بيانات كل منشأة وترتيبها ضمن جداول خاصة، حيث تم اقتراح النموذج التالي لحفظ واسترجاع عمليات الصيانة.

يوضح الشكل (4) النموذج المقترح لتخزين واسترجاع معلومات الصيانة الخاصة بكل مركز صحي خلال دورة حياته، حيث يضم المعلومات العامة للمراكز الصحية، والتي بدورها تتألف من خمسة مناطق وكل منطقة من مجموعة عناصر تضم البيانات الخاصة بعمليات التفتيش والمعلومات الخاصة بعمليات الصيانة.



الشكل 4. نموذج التنظيم والإدارة.

يقصد بعمليات المراقبة والتفتيش عمل جولات تفقدية واستقصائية مخطط لها مسبقاً لمكان العمل أو لبعض أجزائه بغرض تقييم واكتشاف وتحديد الأعطال، وهي عنصر أساسي في عملية تقليل المخاطر.

➤ المرحلة الثانية: تصميم هيكلية قاعدة البيانات المقترحة

تم اختيار النموذج العلائقي في تصميم قاعدة البيانات المقترحة، فضلاً عن تحديد العلاقات التي تربط هذه الجداول بعضها مع بعض من أجل الحصول على منهجية تساعد على إدارة عمليات الصيانة الدورية للمراكز الصحية.

تم تصميم هيكلية قاعدة البيانات لإدارة عمليات الصيانة للمراكز الصحية اعتماداً على النماذج السابقة، وتنقسم إلى قسمين رئيسيين:

القسم الأول: هيكلية قاعدة البيانات الخاصة بدليل الصيانة وهي موضحة في الشكل (5).

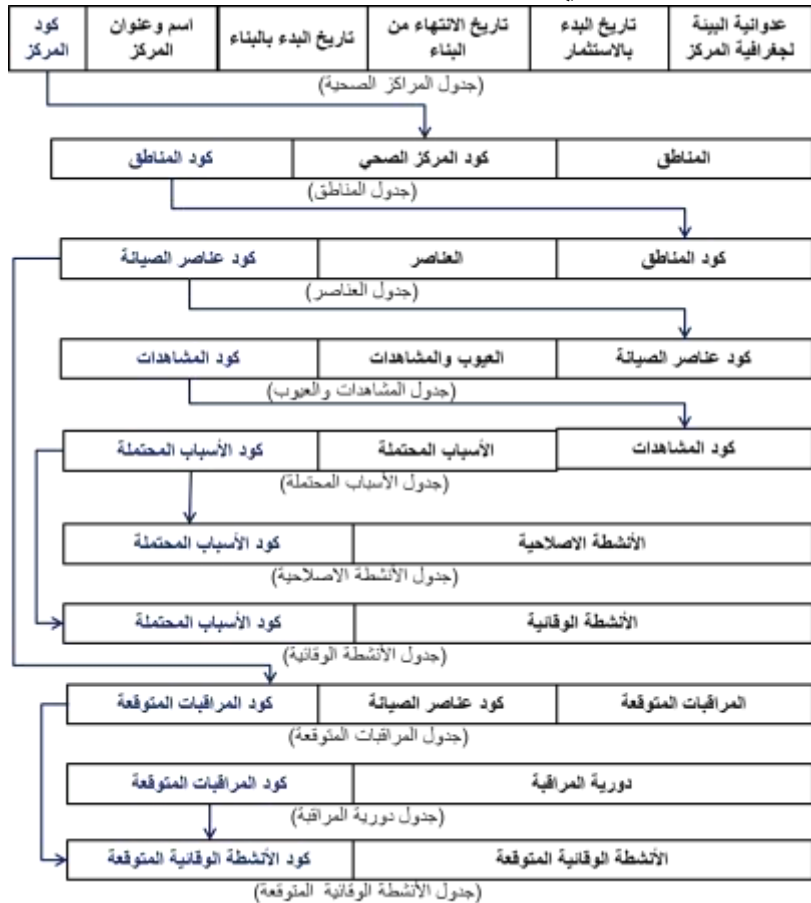
تتألف من الجداول التالية:

1) جدول المناطق، يوضح الجدول (2) جدول المناطق يتضمن الحقول التالية:

a. كود المناطق: يربط بين جدول المناطق والعناصر، يكون الربط من خلال كود برمجي، قد نستخدم الأكواد الاسمية أو الرقمية أو الاثتين معاً، وقد يتكون الكود من خانة واحدة أو عدة خانات وذلك تبعاً لحجم البيانات المرتبطة وتعدادها، في هذا الكود استخدمنا كود من خانة واحدة من النوع الحرفي.

b. اسم المناطق: يضم المناطق التي يقسم إليها المركز الصحي.

c. كود المركز الصحي: يربط بين جدول المناطق مع جدول المراكز الصحية.



الشكل 5. هيكلية قاعدة البيانات الخاصة بدليل الصيانة.

الجدول 3. جدول المناطق.

كود المناطق [cod-1]	اسم المنطقة	كود المركز الصحي [cod-6]
A	المنطقة المحيطة بالمركز الصحي	1
B	القبو	1

- (2) جدول العناصر، يوضح الجدول (4) جدول العناصر ويتألف من ثلاثة حقول:
- كود عناصر الصيانة: يربط هذا الحقل بين جدول العناصر مع من جدول العيوب والمشاهدات.
 - عناصر الصيانة: يعبر هذا الحقل عن جميع العناصر التي تنتمي للمنطقة قيد الاهتمام.
 - كود المناطق: يربط هذا الحقل بين جدول العناصر وجدول المناطق.
- الجدول 4. جدول العناصر في المنطقة المحيطة بالمركز الصحي..

كود عناصر الصيانة [cod-2]	عناصر الصيانة	كود المناطق [cod-1]
A1	السور الخارجي للمبنى	A
A2	الباب الرئيسي	A
A3	المساحات الخضراء المحيطة بالمبنى	A
A4	أرضية الساحة	A

- (3) جدول العيوب والمشاهدات، يوضح الجدول (5) جدول العيوب والمشاهدات ويتألف من ثلاثة حقول
- كود المشاهدات: يربط هذا الحقل بين جدول المشاهدات وجدول الأسباب المحتملة.
 - العيوب والمشاهدات: يعبر هذا الحقل عن مجموعة العيوب والمشاهدات التي يمكن ملاحظتها على عنصر الصيانة.
 - كود عناصر الصيانة: يربط هذا الحقل بين العيوب والمشاهدات وعناصر الصيانة.

الجدول 5. جدول ببعض العيوب والمشاهدات الخاصة بعنصر شبكات الصرف الصحي.

كود المشاهدات [cod-3]	العيوب المشاهدات	كود عناصر الصيانة [cod-2]
1	صدور رائحة كريهة في محيط المبنى	A5
2	رجوع المياه ضمن الأنابيب	A5
3	تصريف سيء لشبكة الصرف الصحي	A5

(4) جدول الأسباب المحتملة، يوضح الجدول (6) جدول الأسباب المحتملة ويتألف من ثلاثة حقول:

- a. كود الأسباب المحتملة: يربط هذا الحقل بين الأسباب المحتملة وجدول الأنشطة الإصلاحية وجدول الأنشطة الوقائية.
- b. الأسباب المحتملة: يعبر هذا الحقل عن الأسباب المحتملة للمشاهدة.
- c. كود المشاهدات: يربط هذا الحقل بين الأسباب المحتملة وجدول العيوب والمشاهدات.
- الجدول 6. الأسباب المحتملة الخاصة برجوع المياه ضمن الأنابيب.

كود الأسباب المحتملة [cod-4]	الأسباب المحتملة	كود العيوب والمشاهدات [cod-3]
1	عدم تنظيف حفر التفتيش بشكل دوري	1
2	أنابيب مسدودة	1
3	دخول جذوع أشجار إلى داخل الأنابيب	1

(5) جدول الأنشطة الإصلاحية، يوضح الجدول (7) جدول الأنشطة الإصلاحية ويتألف من حقلين:

- كود الأسباب المحتملة: يربط هذا الحقل بين جدول الأسباب المحتملة وجدول الأنشطة الإصلاحية.
- الأنشطة الإصلاحية: يعبر هذا الحقل عن النشاط الإصلاحي المقترح الموافق للسبب المحتمل للعييب المشاهد.
- الجدول 7. الأنشطة الإصلاحية في حال رجوع المياه ضمن الأنابيب حسب السبب الذي أدى لها.

كود الأسباب المحتملة [cod-4]	الأنشطة الإصلاحية
1	تنظيف حفر التفتيش والأنابيب بشكل
2	فتح الأنابيب المسدودة
3	قلع الأشجار الخطرة

(6) جدول الأنشطة الوقائية، يوضح الجدول (8) جدول الأنشطة الوقائية ويتألف من حقلين:

- (a) الأنشطة الوقائية: يعبر هذا الحقل عن النشاط الوقائي المقترح للمشاهدة.
- (b) كود الأسباب المحتملة: يربط هذا الحقل بين جدول الأسباب المحتملة وجدول الأنشطة الوقائية.

الجدول 8. الأنشطة الوقائية في حال رجوع المياه ضمن الأنابيب حسب السبب الذي أدى لها.

كود الأسباب المحتملة [cod-4]	الأنشطة الوقائية
1	مراقبة الأنابيب بواسطة كاميرا
2	مراقبة الأنابيب بواسطة كاميرا
3	تجنب زراعة أشجار ذات جذور عميقة

(7) جدول المراقبات المتوقعة، يوضح الجدول (9) جدول المراقبة المتوقعة ويتألف من ثلاثة حقول:

- كود عناصر الصيانة: يربط هذا الحقل بين جدول العناصر وجدول المراقبات المتوقعة.
- المراقبات المتوقعة: يعبر هذا الحقل عن المراقبة الواجب تنفيذها على العنصر المدروس.

-كود المراقبات المتوقعة: يربط هذا الحقل بين جدول المراقبة المتوقعة مع كل من جدول دورية المراقبة وجدول النشاط المتوقع.

الجدول 9. المراقبات المتوقعة لعنصر شبكات الصرف الصحي.

كود عناصر الصيانة [cod-2]	المراقبات المتوقعة	كود المراقبات المتوقعة [cod-5]
A5	التحقق من جودة كتامة غرف التنقيش (عدم وجود تشققات، عدم وجود هبوطات)	1
A5	التحقق من جودة وعدم انسداد أنابيب الشبكة (عدم وجود رائحة، عدم عودة المياه ضمن الشبكة)	2
A5	التحقق من نظافة وكتامة وجودة غطاء غرفة التنقيش	3
A5	التحقق من نظافة غرف التنقيش	4

(8) جدول دورية المراقبة، يوضح الجدول (10) جدول دورية المراقبة ويتألف من ثلاثة حقول:

✓ كود المراقبات المتوقعة: يربط هذا الحقل بين جدول دورية المراقبة وجدول الأنشطة الوقائية المتوقعة وجدول المراقبات المتوقعة.

✓ دورية المراقبة: يعبر هذا الحقل عن الفترة الزمنية الفاصلة بين مراقبتين متتاليتين على عنصر صيانة محدد.

الجدول 10. جدول دورية المراقبة للمراقبات المتوقعة لعنصر شبكات الصرف الصحي المتعلق بالمراقبة.

كود المراقبات المتوقعة [cod-5]	دورية المراقبة
1	6 Months
2	6 Months
3	6 Months
4	6 Months

9) جدول الأنشطة الوقائية المتوقعة، يوضح الجدول (11) جدول الأنشطة الوقائية المتوقعة ويتألف من حقلين:

- كود المراقبات المتوقعة: يربط هذا الحقل بين جدول دورية المراقبة وجدول المراقبات المتوقعة وجدول الأنشطة الوقائية المتوقعة.
- الأنشطة الوقائية المتوقعة: يعبر هذا الحقل عن الأنشطة الواجب تنفيذها على العنصر بعد عملية الكشف.

الجدول 11. جدول الأنشطة الوقائية المتوقعة لعنصر شبكات الصرف الصحي المتعلق بالمراقبة المتوقعة ودورية المراقبة.

الأنشطة الوقائية المتوقعة	كود المراقبات المتوقعة [cod-]
ترميم الكتامة أو استبدال العناصر	1
تنظيف الأنابيب	2
تنظيف مناطق انسداد الغطاء واستبداله في حال وجود تشققات	3
تنظيف من الأوراق، الوحل، والمخلفات الأخرى	4

جمع البيانات

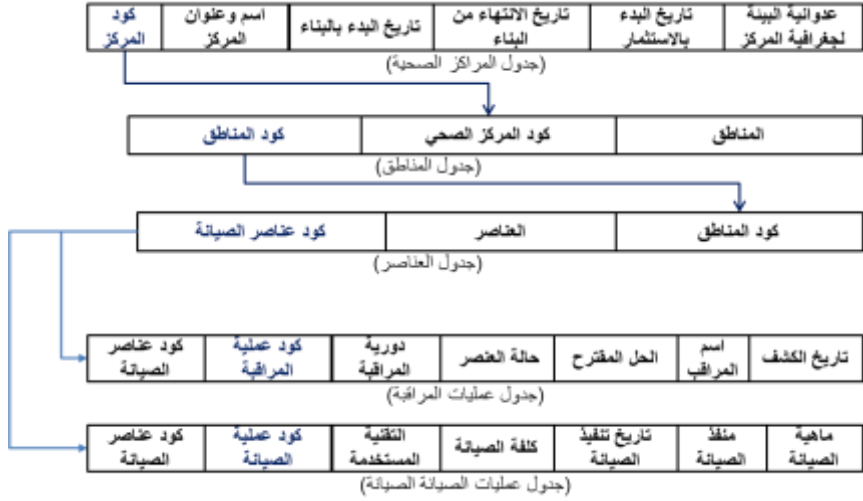
تم تحديد الأعطال والإصلاحات الخاصة بكل عنصر من عناصر المنشأة من خلال الاطلاع على واقع عمليات الصيانة في المراكز الصحية، كما تم الاستفادة من الملاحظات الموضوعية من قبل المهندسين خلال الزيارات الميدانية إلى مراكز صحية يُجرى عليها عمليات صيانة.

تم الاطلاع على الكشوف التقديرية لبنود الأعمال اللازم القيام بها كإجراء تصحيحي للأعطال الموجودة على عناصر المراكز الصحية، وكذلك الاستفادة من تقارير الصيانة الشهرية على المراكز الصحية التي تم الحصول عليها من مديرية الصحة في محافظة اللاذقية.

نمذجة وإدارة الصيانة الدورية للمراكز الصحية

من خلال هذه البيانات تم تحديد مجموعة العيوب التي تحتاج إلى عملية صيانة، والتي يمكن أن تحدث على كل عنصر، وكذلك الأسباب المحتملة لهذه المشاهدات والإجراءات الإصلاحية والوقائية المناسبة.

القسم الثاني: هيكلية قاعدة البيانات الخاصة بالأرشفة والتنظيم، وهي موضحة في الشكل (6).



الشكل 6. هيكلية قاعدة البيانات الخاصة بالأرشفة والتنظيم.

تتألف من الجداول التالية:

A. جدول المراكز الصحية:

يضم هذا الجدول المعلومات العامة للمراكز الصحية، مثل اسم المركز وموقع وعنوان المركز وتاريخ البدء بالبناء وتاريخ الانتهاء من البناء وتاريخ البدء بالاستثمار وعدوانية البيئة لجغرافية المركز، (الجدول 12).

الجدول 12. جدول المراكز الصحية.

كود المراكز الصحية	اسم وعنوان المركز	تاريخ البدء بالبناء	تاريخ الانتهاء من البناء	تاريخ البدء بالاستثمار	عدوانية البيئة لجغرافية المركز
[cod-6]					

B. جدول عمليات المراقبة:

يضم الجدول (13)، تاريخ الكشف اسم الشخص الذي يقوم بالفحص، دورية المراقبة، حالة العنصر، الحل المقترح.

الجدول 13. عمليات المراقبة.

الحل المقترح	دورية المراقبة	حالة العنصر	تاريخ الكشف	اسم المراقب	كود عملية المراقبة [cod-7]	كود عناصر الصيانة [cod-2]

تم تقسم دورية المراقبة لعناصر الصيانة للمراكز الصحية بدورها إلى أربعة أقسام وهي كما يوضح الجدول (14): شهر، 3 أشهر، 6 أشهر وسنة.

الجدول 14. أقسام دورية المراقبة لعناصر المراكز الصحية.

الرمز	دورية المراقبة
(1)	One year
(2)	6 Months
(3)	3 Months
(4)	1 Months

كما تقسم حالة العناصر إلى خمسة أقسام أساسية موضحة في الجدول (15)، حيث يتم توزيع درجات التقييم للمهندس المشرف على الصيانة كما يلي: يتألف التقييم للمهندس المراقب للمركز الصحي من 5 مستويات بدءاً من سيئ جداً (العنصر خارج الخدمة) إلى ممتاز، والذي على أساسه تعطى الأولوية للعنصر للصيانة أو لتكثيف عملية المراقبة.

الجدول 15. جدول توزيع درجات التقييم للمهندس المشرف على الصيانة.

حالة العنصر	الوصف
Very bad	حصول فشل في المكون حيث أن المكون لا يعمل مع احتمالية وجود أضرار إنشائية أو بيئية أو أضرار على الأمن والسلامة في المنشأة
Bad	المكون يعمل ولكن يتعطل كثيراً مع وجود إشارات واضحة على تدهور وضع المكون واحتمالية تسببه بأضرار على المنشأة
Good	المكون في حالة متوسطة حيث أنه يعمل ولكن بحاجة إلى مراقبة مكثفة

نمذجة وإدارة الصيانة الدورية للمراكز الصحية

	ويحتاج إلى صيانة وقائية
Very good	المكون يعمل بشكل جيد مع وجود أعطال صغيرة وسطحية لا تؤثر على عمل المكون ويمكن تأجيل إجراء الصيانة
Excellent	المكون يعمل كما لو كان جديداً ولا يوجد أي اشارات لوجود عطل مع مظهر خارجي جديد

C. جدول عمليات الصيانة:

يضم البيانات الخاصة بعمليات الصيانة التي تتم على مركز صحي محدد خلال دورة حياته. يبين الجدول (16) هذه البيانات وهي: تاريخ تنفيذ الصيانة، ماهية الصيانة المنفذة، كما يتم إدخال كلفة الصيانة التقنية المستخدمة ويتم إدخال تاريخ تنفيذ هذه الصيانة.

الجدول 16. عمليات الصيانة.

التقنية المستخدمة	كلفة الصيانة	منفذ الصيانة	ماهية الصيانة	تاريخ تنفيذ الصيانة	كود عملية الصيانة [cod-8]	كود عناصر الصيانة [cod-2]

تساعد هذا الجداول الثلاثة السابقة في تحديث دليل الصيانة للمراكز الصحية بشكل دوري وإنشاء سجل صيانة لمركز صحي محدد.

6- النتائج ومناقشتها

قدم هذا البحث مجموعة من النماذج باستخدام لغة UML لإدارة الصيانة الدورية للمراكز الصحية في سوريا والتي تهتم بإنشاء دليل لإدارة الصيانة الدورية للمراكز الصحية، والنموذج الخاص بأرشفة وتنظيم بيانات الصيانة والمراقبة والتي تراعي خصوصية كل مركز صحي، بالإضافة إلى إمكانية التغذية الراجعة لها وبالتالي المساهمة في تحسين إدارة الصيانة الدورية في المراكز الصحية عن طريق الاستفادة من الحجم الكبير لبيانات الصيانة المتوفرة في مشاريعنا المحلية وإمكانية اتخاذ القرار المناسب. تم التوصل إلى ما يلي:

✓ وضع دليل للصيانة الدورية للمراكز الصحية بالإضافة إلى الأرشفة الالكترونية لمعلومات الصيانة لكل مركز من المراكز الصحية وذلك اعتماداً على النماذج التالية:

(1) النموذج الفراغي للمراكز الصحية.

(2) نموذج العنصر والصيانات المطلوبة.

(3) نموذج العيوب والفحوص.

(4) نموذج التنظيم والإدارة.

✓ تصميم هيكلية قاعدة البيانات لإدارة عمليات الصيانة الدورية على المراكز الصحية في سورية من النوع العلائقي وبناء جداولها اعتماداً على النماذج السابقة، والتي تتضمن الجداول التالية:

- جدول المناطق.
- جدول العناصر.
- جدول العيوب والمشاهدات.
- جدول الأسباب المحتملة.
- جدول الأنشطة الوقائية.
- جداول الأنشطة الاصلاحية.
- جدول المراقبات المتوقعة.
- جدول دورية المراقبة.
- جدول الأنشطة الوقائية المتوقعة.
- جدول المراكز الصحية.
- جدول عمليات الصيانة.
- جدول عمليات المراقبة.

7- الاستنتاجات والتوصيات

إن للصيانة الدورية للمراكز الصحية دوراً كبيراً في استمرار تقديم خدماتها، يقدم هذا البحث دليلاً يتضمن الأعطال والاصلاحات والمراقبات المقترحة وكذلك أرشفة لعمليات الصيانة والمراقبة في المراكز الصحية مع إمكانية التغذية الراجعة، وذلك من خلال

الاعتماد على مجموعة من النماذج المقترحة بلغة UML ومن ثم تحويل هذه النماذج إلى قاعدة بيانات من النوع العلائقي بهدف إدارة الصيانة الدورية للمراكز الصحية. يمكن حصر التوصيات والآفاق المستقبلية للبحث بالمحاور التالية:

(a) بناء التطبيق البرمجي الخاص بإدارة الصيانة الدورية للمراكز الصحية اعتماداً على النماذج السابقة.

(b) دراسة حالة مع تقييم لمركز صحي معين بهدف التحقق من مصداقية البيانات التي تم جمعها وتخزينها ضمن قاعدة البيانات (دليل الصيانة).

8- المراجع

[1] ابراهيم، رهام. 2017- تطوير نظام لإدارة عملية صيانة المباني المدرسية اعتماداً على مؤشرات الأداء. رسالة ماجستير، جامعة تشرين، 164 صفحة.

[2] جراد، فايز؛ الحسن، باسل. 2016 إدارة أعمال الصيانة لمباني السكن الجامعي باستخدام نمذجة معلومات البناء BIM. مجلة جامعة تشرين- سلسلة العلوم الهندسية، 38 (4)، 327-347.

[3] المزاوي، سناء. 2020- تحسين كفاءة إدارة الصيانة في الجامعات الحكومية من خلال تقييم الأداء الفعلي (حالة جامعة تشرين). رسالة ماجستير، جامعة تشرين، 180 صفحة.

[4] DUKIĆ, D., TRIVUNIĆ, M., STARČEV-ĆURČIN, A. 2013 Computer-aided building maintenance with “BASE-FM” program, Automation in Construction, Vol. 30, 57–69.

[5] YOUSEFLI, Z., NASIRI, F., MOSELHI, O. 2020 Maintenance workflow management in hospitals: An automated multi-agent facility management system, Journal of Building Engineering, 101431.

[6] سليمان، هبة أكثم. 2018- صياغة منهجية لتقييم وتحسين فعاليات الرعاية الصحية في محافظة اللاذقية. رسالة ماجستير، جامعة تشرين، 157 صفحة.

[7] MILLS, E. 1996- Building Maintenance and Preservation, A Guide to Design and Management. Architectural Press, (Economics of Maintenance), Oxford, P 435.

[8] DUKIĆ, D. 2010- Building Maintenance Management by Means of a Database, Magister Thesis, FTN Novi Sad, 2010.

[9] SEN, K., AL FAISAL, W. 2012 Syria: public health achievements and sanctions, The Lancet, Vol. 379.

[10] STEINPICHLER, D., KARGL, H. 2012- Project Management with UML and Enterprise Architect for Version 9. SparxSystems GmbH, Germany, P 339.

