

# مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 9

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](http://www.albaath-univ.edu.sy)

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

**ISSN: 1022-467X**

## شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة, اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد ( كتابية 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.م عارف السويدي د.م إبراهيم حمود د.م أيمن المذيب	الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن كمحسن غير تقليدي وتأثيره على خواص الانتفاخ والانكماش في التربة الغضارية الانتفاخية
60-31	محمد جهاد العيسى نضال شقير سامر زيزفون	تقدير النظام التكتوني باستخدام مستويات الحلول الصدعية في المنطقة الساحلية في سوريا
76-61	محمد جهاد العيسى نضال شقير سامر زيزفون	حساب قدر الطاقة ( $M_w$ ) للهزات المحلية في سورية
102-77	م.عمار طواشي د.م سليمان العامودي	دراسة سلوك اجهاد-تشوه لعينات اسطوانية من البيتون ذاتي الدمك SCC والمنتجة من المواد المحلية
130-103	م.عمار طواشي د.م سليمان العامودي	السلوك الإنشائي للجوائز البيتونية المسلحة المعرضة للهب النار المباشر





# 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](mailto:a-swaidani@aiu.edu.sy)

د.م إبراهيم حمود - كلية الهندسة - الجامعة العربية الدولية - [Hammoud1164@aiu.edu.sy](mailto:Hammoud1164@aiu.edu.sy)

د.م أيمن المذيب- كلية الهندسة - الجامعة العربية الدولية - [a-mazyab@aiu.edu.sy](mailto:a-mazyab@aiu.edu.sy)

## الموجز:

ظهر الجيوبولمر مؤخراً (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 المحرّضات القلوية. يسعى هذا البحث إلى الوصول إلى سلاسل غير عضوية، من خلال التفعيل 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 المختبر، وكانت النسبة التي تم اختيارها بين المحرّض القلوي (alkaline activator) +  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  (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 (LL-5%). وتم تحضير المحرّض القلوي من NaOH و  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  بالنسب  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH} = 2.5$ .

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 وتفيد هذا الانكماش بشكل أقل عند إضافة النسبتين 10% و5% 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% و5% 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 النسبي، 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](mailto:a-swaidani@aiu.edu.sy).

**Dr. Ibrahim HAMMOUD.** Faculty of Engineering, Arab International University, [Hammoud1164@aiu.edu.sy](mailto:Hammoud1164@aiu.edu.sy)

**Dr . Ayman MEZIAB.** Faculty of Engineering, Arab International University, [a-mazyab@aiu.edu.sy](mailto: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  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  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 الانتفاخية، يجري الباحثون محاولات حثيثة للمقارنة بين التحسين المطلوب للتربة الغضارية الانتفاخية، 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 قلبية وسيليكات قلبية في الماء، كما أن المادة الصلبة هي حجر طبيعي أو معدني وهذا هو المغزى من البادئة "جيو" [6-1].

وقد تبلور مفهوم الجيوبولمر كعملية لبلورة المواد اللاعضوية (استنساخ 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 القلبية [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 ايجابيات 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 تفضي إلى مواد /غير الاسمنت/ تعطي خواصاً رابطةً 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 لتشكيل 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 اعيانها من منطقة الشيخ مسكين. أعماق الاعتيان تراوحت بين 1-1.5m. يبين الجدول التالي مواصفات التربة الغضارية. الجدول رقم (1) مواصفات التربة الغضارية قبل المعالجة

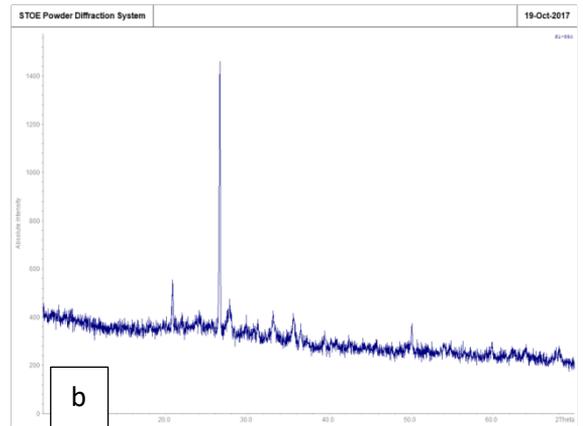
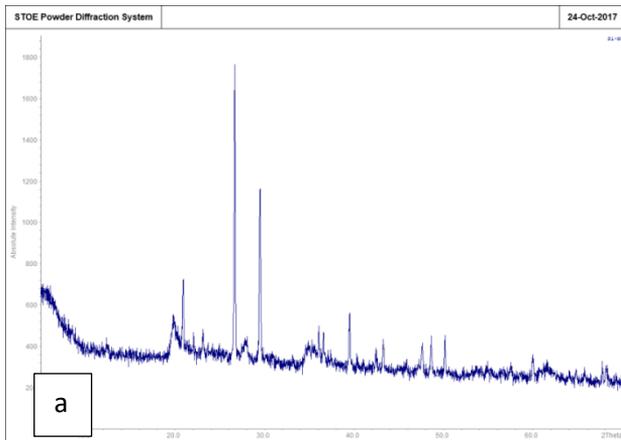
الاختبار	التربة الغضارية الثانية (الشيخ مسكين)
العمق	1-1.5m
الرطوبة الطبيعية	18%
خواص الرص (بروكتور النظامي): الكثافة الجافة العظمى MDD الرطوبة المثالية OMC	1.52 19%
خواص القوام (حدود اتريغ): حد السيولة (LL) حد اللدونة (PL) قربنة اللدونة (PI)	58% 27% 31%
مقاومة الضغط غير المحصور وفق محور واحد (UCS)	282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

### 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 للاسمنت، 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]

إن 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 (الألومينوسيليكات اللابلورية) الأساس الذي سيبني عليه تشكيل سلاسل الجيوبولمر.

3-3 المحرض القلوي alkaline activator:

إن من أشهر المركبات القلوية المستخدمة في عملية التفعيل 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 ( $\text{NaCO}_3$ ) ومن ثم إلى سيليكات الصوديوم ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) 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 ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) 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 للسليكا 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

والد EDX ، ويعتمد تحليل (EDX) Energy-Dispersive X-ray على مبدأ أن الذرات الموجودة على سطح العينة المدروسة والمحرضة بواسطة حزمة الالكترونات، تبت 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 التبرغ 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 <sup>1</sup>	95	5
G10	90	10
G15	85	15

#### 5-النتائج والمناقشة:

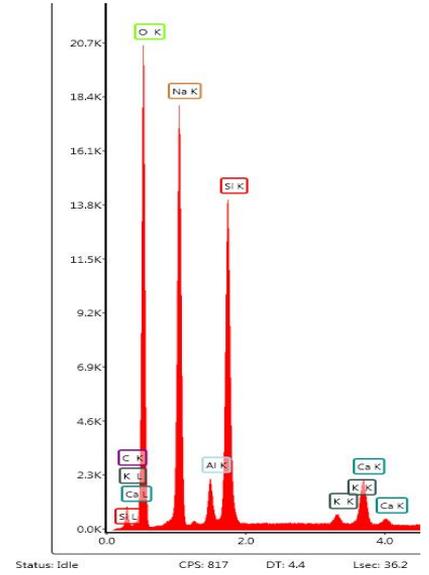
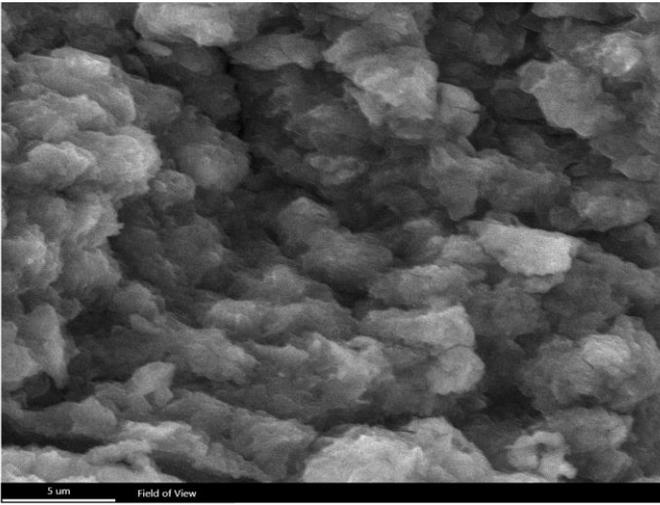
##### 5-1 تحضير الجيوبولمر والاختبارات التي تمت عليه:

تم تحضير الجيوبولمر في المخبر، وكانت النسبة التي تم اختيارها بين المحرض القلوي (alkaline activator) والمكون من  $(\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{NaOH})$  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 وتحديدًا (5%-LL). حيث تم تحضير محلول NaOH قبل 24 ساعة من المزج مع المحسن. وتم تحضير المركب القلوي (المحرض القلوي) من NaOH و  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  بالنسب  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 / \text{NaOH} = 2.5$  وزناً وذلك بإضافة NaOH إلى  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ثم يترك المزيج لمدة 24h في الفرن بدرجة حرارة  $80^\circ\text{C}$  منها 1 ساعة في جو المخبر للخلط بواسطة الـ stirrer (مغناطيس) بدرجة حرارة  $80^\circ\text{C}$  وذلك لضمان المزج المتجانس للمركب أو المحرض القلوي. تركيز NaOH هو 10M وعند تحضير

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

NaOH من 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 لتر بحذر وكل ذلك يتم تحت السحابة.

يتم بعد ذلك إضافة محلول المحرض القلوي إلى الغضار المكلسن (CC) الذي يشكل أساس الجيوبولمر بنسبة مزج (activator/CC = 0.85) ويتم المزج إما بالخلط الميكانيكي أو يدوياً لمدة 10 دقائق على الأقل. حتى الحصول على عجينة 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 التنفيع القلوي وإنتاج سلاسل الجيوبولمر.

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

بينت تجارب حدود اتبرغ (حد السيولة وحد اللدونة) التي أجريت على التربة الغضارية ، والتربة مع الإضافات، في هذا البحث، أن 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(2-5). كما يبين الشكل (2-5) قيم قرينة اللدونة مقابل نسب الإضافة من الجيوبولمر من أساس الغضار المكلسن. 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 طويلة من عينة 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 (5-2)، وقد أظهرت النتائج الموضحة في الجدول (5-3) 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	$\Delta L$	$\Delta L/L$	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 الأدمتر (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 الأدمتر لبدء الاختبار وأُخذت 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. 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  $\Delta h$  وارتفاعها الأصلي  $h_0$ . ثم بدأت عملية التحميل المتدرج للوصول إلى تشوه انتفاخ مقداره صفر وتم تسجيل النتائج في الجدول (5).

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

الانتفاخ الحر وضغط الانتفاخ في حلقة الأدمتر

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

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 جزيئية من الألومينوسيليكات، والتي تعمل كمادة رابطة بين حبيبات التربة، وضمن الوسط القلوي الذي سببه المحرض القلوي، وبوجود الرطوبة المناسبة، حيث تتشكل بنية حبيبة 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).
- إجراء 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  $\text{NaOH}$  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 ANGGRAIN 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 geopolymer 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**, 3<sup>rd</sup> 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. 2<sup>th</sup> edition, pp 39-75.



## تقدير النظام التكتوني باستخدام مستويات الحلول الصدعية في المنطقة الساحلية في سوريا

محمد جهاد العيسى<sup>(1)</sup>، نضال شقير<sup>(1)</sup>، سامر زيزفون<sup>(2)</sup>

(1) المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق

(2) المركز الوطني للرصد الزلزالي، دمشق-سورية

### ملخص

يهدف هذا البحث إلى إجراء تقدير أولي للنظام التكتوني في المنطقة الساحلية باستخدام مستويات الحلول الصدعية لآلية البؤرة الزلزالية لأكبر الهزات المسجلة بالشبكة الوطنية للرصد الزلزالي خلال الفترة 1995-2011. تم الحصول على حلول آلية البؤرة الزلزالية لحوالي 42 حدث زلزالي يملك كل منها خمس قطبيات (أول حركة) للموجة الطولية (P) على الأقل. كان النظام التكتوني لمعظم هذه الأحداث نظام شدي أدى لظهور آلية التصدع العادي بتوافق مع المظاهر المحلية للصدوع المولدة للزلازل في المنطقة الساحلية. وإحصائياً تدل النتائج على ظهور التصدع العادي النقي في حوالي 65% من آليات البؤرة المحسوبة وعلى ظهور التصدع العادي مع وجود مركبة أصغرية للإزاحة الجانبية في 8% من الآليات المحسوبة، وبالنتيجة فإن آلية التصدع العادي قد ظهرت في 73% من الهزات الأرضية المعالجة. بينما كانت آلية الإزاحة الجانبية أكثر ندرة ومحصورة في بعض المناطق. إن نتائج هذا البحث تخالف الدراسات الجيولوجية والتكتونية السابقة والتي تنبأت أن إجهاد التصدع العكسي يجب يكون مسيطراً.

**الكلمات المفتاحية:** مستويات الحلول الصدعية، النظام التكتوني، المنطقة الساحلية،

سورية

# using the fault Tectonic regime outlining plan

<sup>2</sup>Mohammed.ALISSA<sup>(1)</sup>, Nidal SHOUKEIR<sup>(1)</sup>, Samer ZEIZAFOUN (

(1)Higher Institute of Earthquake studies and Research, Damascus university E-mail: [mohammed.alissa11985@gmail.com](mailto:mohammed.alissa11985@gmail.com);

(2) National Earthquake Center (NEC).

## Abstract

The aim of this study was to outline the tectonic regime in the coastal region of Syria using the fault plan solutions of the largest events recorded by the Syrian National Seismological Network during 1995-2011. A dataset of fault-plane solutions was obtained for 42 events having at least 5 P-wave polarities. The tectonic regime for the most of these events was extensional and produce normal mechanisms in agreement with the local configurations of the seismogenic faults in the coastal region. Statically, the results reveal that the pure normal faulting appears in 65% of the calculated focal mechanisms; and the normal faulting with a minimal strike-slip component appears in 8% of them. Consequently, the normal faulting appears in 73% of the processed earthquakes. However, the strike-slip mechanisms were more scarce and restricted to certain areas. The results of this research are in contrast with previous geological and tectonic studies which predict a thrust faulting stress regime should be prevailing.

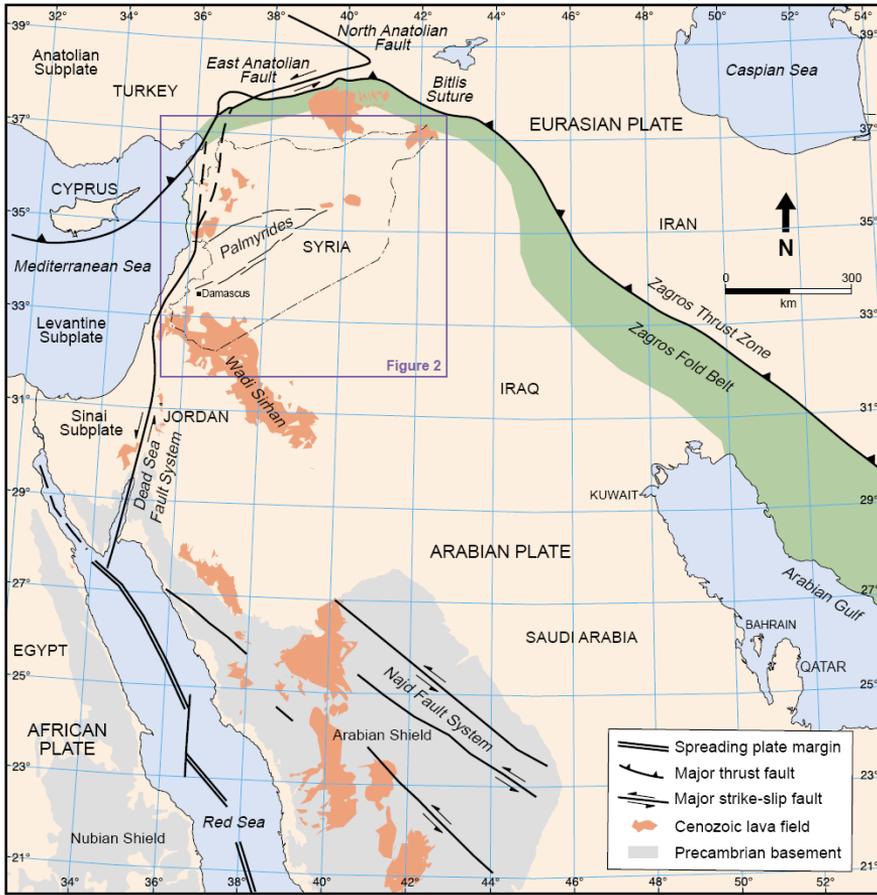
**Keywords:** fault plan solutions, tectonic regime, coastal region, Syria.

## 1- مقدمة

تقع سورية في الطرف الشمالي من الصفيحة العربية (الشكل 1) ويحدها من الغرب الجزء الشمالي من نظام صدع البحر الميت. يتقاطع هذا النظام في شمال المنطقة الساحلية قرب مدينة أنطاكية مع نظام صدع الأناضول الشرقي والذين يشكلان الحدود الشمالية الغربية للصفحة العربية ويظهران بوضوح في خارطة التكتونيك الحديث لسورية (Rukieh et al. 2005). أظهرت الدراسات السابقة أن التشوهات التكتونية في سورية عموماً (e.g Barazangi et al. 1993) تتحكم بها عمليات تصادم-انفتاح متكررة وتحركات عند أطراف الصفيحة العربية (الشكل 1). وقد شرحت الدراسات السابقة لآلية البؤرة، للأحداث الزلزالية التي وقعت في سورية، أن التشوهات النشطة حالياً ذات مظهر إزاحة يسارية مع مركبة أصغرية للتصدع العادي ويرافق هذه التشوهات أحواض شديدة تمزقية على طول نظام صدع البحر الميت (Garfunkel et al. 1981, Chaimov et al. 1990, Barazangi et al. 1993). بناء على ما سبق تعتبر المنطقة الساحلية من المناطق الأكثر نشاطاً في سورية من الناحيتين التكتونية والزلزالية وجديرة بالاهتمام لتنفيذ دراسات علمية تفصيلية لهذا النشاط وما يحمله من مخاطر.

يهدف هذا البحث إلى تقدير النظام التكتوني في المنطقة الساحلية باستخدام مستويات الحلول الصدعية لأكبر الهزات التي سجلتها الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي وصولاً إلى تقييم النشاط التكتوني الحديث على امتداد الصدوع النشطة في تلك المنطقة. وإذا أخذنا بالحسبان أن دورة تكرار الزلازل الكبيرة ( $M \geq 5$ ) في سورية والتي تُعتبر طويلة نسبياً حسب ما قدرها (Ambraseys and Barazangi, 1989) بحوالي 200-350

سنة، يمكن لنا أن ندرك سبب ظهور بعض الصدوع غير نشطة زلزالياً خلال فترة البحث. لقد تم التركيز في هذا البحث على حساب آلية البؤرة لعدد من الهزات الأرضية التي سجلتها الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي والتي يملك كل منها خمس قطبيات (أول حركة) للموجة الطولية (P) على الأقل وذلك بحيث تكون صالحة نسبياً لحساب آلية البؤرة وقابلة للمقارنة مع الصدوع الرئيسية في المنطقة الساحلية.

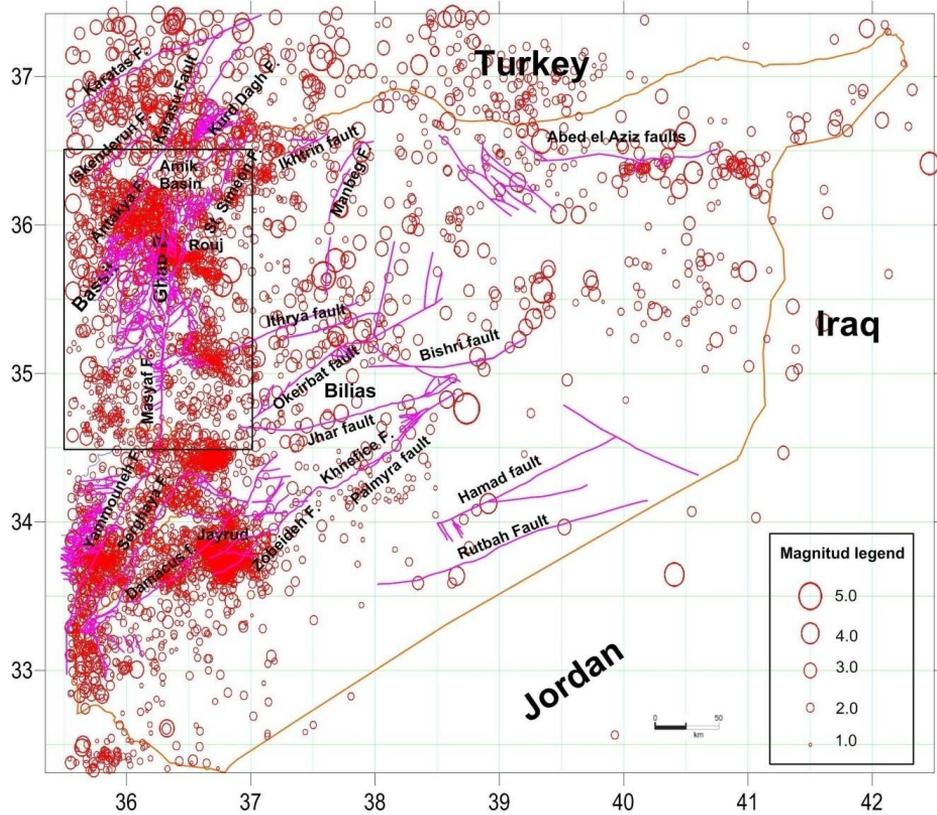


شكل 1. خريطة تكتونية إقليمية لشمال الصفيحة العربية وجوارها تظهر قرب سورية من عدة حدود صفائحية نشطة. (معدلة عن Brew et al. 2001). يعرض المربع موقع الشكل 2.

## 2- النشاط الزلزالي الحديث في سورية

بدأت الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي عملها في 14 كانون الثاني 1995 حسب (Dakkak et al. 2005). وتتألف هذه الشبكة من 27 محطة قصيرة الدور (1 Sec) وقد زودتنا بمعطيات الزلزالية الآلية المحلية لأول مرة في سورية. كان الهدف التصميمي لهذه الشبكة رصد كل نشاط زلزالي قابل للتمييز على طول نظام صدع البحر الميت وفروعه في سورية ولبنان (الشكل 1). ويمكن أن نجد معلومات تفصيلية حول هذه الشبكة مثل نظام التحصيل والنقل والمعالجة والتسجيل في المرجع (Dakkak et al. 2005). سجلت الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي حوالي 5000 حدث محلي منذ تأسيسها في كانون الثاني 1995 ولغاية 2001 (Abdul-Wahed and Asfahani, 2018) وتتركز الزلزالية الآلية الرئيسية (الشكل 2) على طول نظام صدع الأناضول الشرقي والامتداد الشمالي لنظام صدع البحر الميت وخصوصاً في لبنان من خلال عدة زلازل معتدلة ( $5 < M_s < 6$ ). وتتميز زلزالية الداخل السوري بوجود تجمعات عديدة لأحداث ضعيفة ( $M_L < 4$ ) والتي تلاحظ في عدة مناطق مثل منطقة البسيط والشريط الساحلي (الشكل 2). وصفت العديد من الدراسات السابقة النشاط الزلزالي في سورية على أنه يتراوح بين المعتدل والضعيف (Garfunkel et al. 1981, Chaimov et al. 1990, Barazangi et al. 1993, Brew 2001), حيث أظهرت تسجيلات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي أن هذا النشاط ينتج سنوياً عدداً قليلاً من هزات منخفضة القدر مقارنة مع الدول المجاورة. تبين الدراسات السابقة المتعلقة بآلية البؤرة للأحداث الزلزالية التي وقعت

في سورية أن معظم التشوهات النشطة قد كانت ذات مظهر إزاحة يسارية مع مركبة أصغرية للتصدع العادي ويرافقها أحواض شديدة تمزقية على طول نظام صدع البحر الميت ( Abdul-Wahed and Al-Tahan 2010, Abdul-Wahed et al., ) (2011).



شكل 2. النشاط الزلزالي في سورية وجوارها كما وثقته الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي من 1995 وحتى 2012 (Abdul-Wahed and Asfahani , 2018). يشير المستطيل إلى حدود منطقة الدراسة.

### 3- منطقة الدراسة

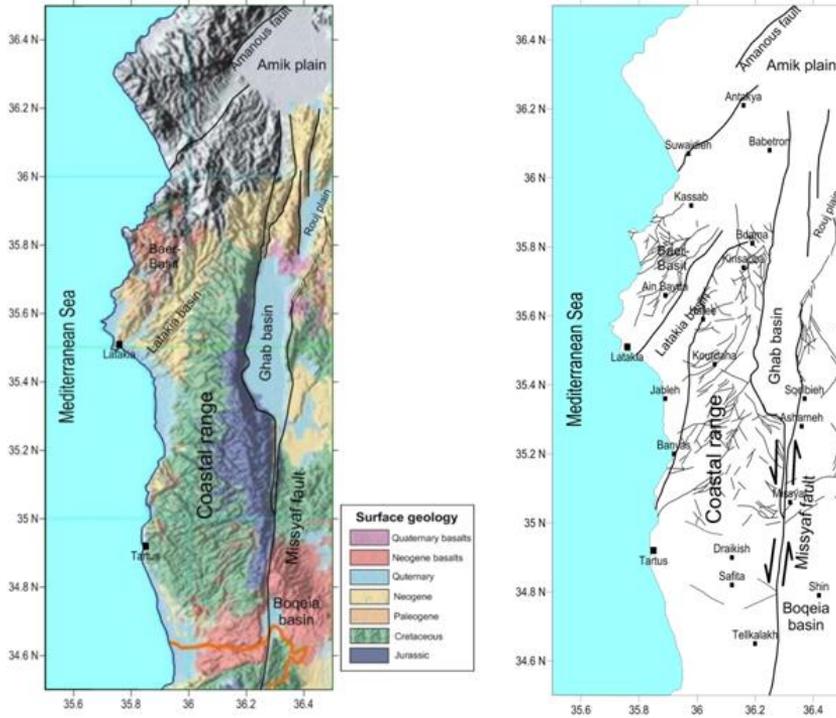
تم تحديد منطقة الدراسة بين خطي عرض 34.5 و 36.5 شمالاً وخطي الطول 35.5 و 36.5 شرقاً (الشكلان 2 و 3). تتضمن هذه المنطقة نظامين صدعيين إقليميين هما نظام صدع البحر الميت (DSFS: Dead Sea Fault System) ونظام صدع الأناضول الشرقي. وتتكون هذه المنطقة بنيوياً من قسمين: القسم الشرقي ويشمل منخفض الغاب ومصيف والتي بينت الدراسات الحديثة ( Barazangi et al. 1993, Brew et al. ) (2001) أنها أحواض تمزقية (Pull apart) والقسم الغربي الذي يشمل سلسلة الجبال الساحلية. تطرقت الدراسات السابقة إلى دراسة البنيات التكتونية وحركتها تحت تأثير نظام صدع البحر الميت عليها (Al-abdalla, 2008). وتمّ وضع العديد من الخرائط الأساسية للمنطقة منها خريطة التوضعات الرباعية والخريطة الجيومورفولوجية وخريطة التكتونيك الحديث (Trifonov et al., 2012; Trifonov, 1991). وقام العبد الله (Al-abdalla, 2010) بدراسة التطور التكتوني للسلسلة الساحلية منذ الميزوزوي وحتى الوقت الحالي.

يعمل نظام صدع البحر الميت على احتواء الحركة التفاضلية للصفحتين العربية والإفريقية حيث يبلغ مقدار الحركة النسبية على امتداد هذا الصدع حوالي (18±2 mm) تقريباً بالسنة حسب (McClusky et al., 2000). يدخل نظام صدع البحر الميت الأراضي السورية في جنوب منطقة الدراسة عبر صدع مصيف ذو الاتجاه شمال-جنوب والذي يتفرع إلى صدعين يتباعدان عن بعضهما كلما اتجهنا شمالاً ليشكلا حوض الغاب الذي ترتفع حافته الغربية إلى 1200م فوق قاعه وقد أظهرت الآبار المحفورة ونتائج

الدراسات الجيوفيزيائية أن الإزاحة الشاقولية الأعظمية لصدع الغاب الغربي تصل إلى 2500 م (Devyatkin et al. 1997). أما الحافة الشرقية لحوض الغاب فترتفع إلى 600 م فوق قاعه وقد قدرت الدراسات السابقة أن الإزاحة الشاقولية الأعظمية لصدع الغاب الشرقي لا تزيد على 1500 م (Devyatkin et al. 1997). ويرافق هذه الصدوع الضخمة مجموعة من الصدوع الجانبية والتي تنتشر على الحافة الغربية وتقطع سلسلة الجبال الساحلية (الشكل 3). تتخادم الصدوع المشكلة لحوض الغاب في الشمال قرب بحيرة العمق. تمتد سلسلة الجبال الساحلية إلى الغرب من صدعي مصياف والغاب الغربي وهي عبارة عن بنية كتلية ناهضة مرتبطة بنظام صدوع البحر الميت الانزاحية حيث يتميز جناحها الشرقي بانحداره الشديد وبنيته السلمية. يقطع المناطق الناهضة من هذه السلسلة مجموعة من الصدوع الثانوية المتجهة نحو الجنوب الغربي وقد يمتد بعضها في البحر. أما نظام صدع الأناضول الشرقي فيقع في شمال منطقة الدراسة ويعتبر منطقة انتقالية بين الصفيحة العربية وبين نطاق الطي الألبى الممتد في شمال هذا النظام والمتمثل بسلسلة جبال طوروس ويحده من الجنوب الشرقي منظومة صدوع اللاذقية-كلس. ويختلف نظام صدع الأناضول الشرقي اختلافاً ملحوظاً في بنيته المعقدة وتاريخ تطوره عن بنيات المنحدر الشمالي للصفحة العربية وتتكشف فيه الركيزة البلورية على السطح. تقسم امتدادات نظام صدع البحر الميت المتجهة بالاتجاه شمال-جنوب هذا النطاق إلى منطقتين البسيط والكرد-داغ.

تقع منطقة البسيط إلى الغرب من منظومة صدوع اللاذقية-كلس ويحدها من الشمال مجرى العاصي الأسفل أما من الجنوب الشرقي فيحدها منخفض الكبير الشمالي والمرتبطة بنظام صدوع اللاذقية-كلس. يقطع منطقة البسيط العديد من الصدوع ذات الاتجاه العام

شمال شرق-جنوب غرب ، وتنتمي إلى المنظومة اللاذقية-كلس بالإضافة إلى صدوع جانبية متقاطعة معها. يظهر النشاط الزلزالي بوضوح على امتداد تلك على الصدوع ونذكر منها صدع يمتد من جنوب أوردو إلى جنوب البدرسية، ويستمر في البحر بالاتجاه الجنوب الغربي. وهناك محور ثان له نفس الاتجاه ويمتد من قرب دركوش، شمال بداما، الرابية، بلوران ويستمر في البحر بالاتجاه الجنوب الغربي. وثمة محور ثالث يوافق صدع عين البيضاء ويستمر في البحر بالاتجاه الجنوب الغربي. يشكل صدع النهر الكبير الشمالي الحدود الجنوبية لمنطقة البسيط.

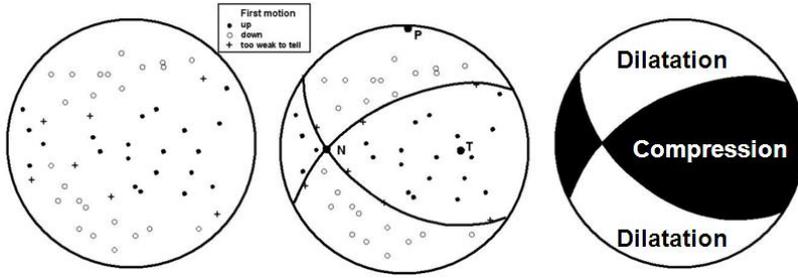


شكل 3: خارطة جيولوجية مبسطة لمنطقة الدراسة (على اليسار) وخارطة لأهم الصدوع والمدن (على اليمين).

تأثرت منطقة الدراسة من الناحية التكتونية بفعل حركتين وهما: حركة التطور البنيوي للسلسلة الساحلية ممثلة بالمناطق الواقعة إلى الجنوب من نهر الكبير الشمالي وبعيداً عنه باتجاه الشرق والجنوب الشرقي، والحركات التكتونية الألبية ممثلة بالمناطق الواقعة إلى الشمال والشمال الغربي من نهر الكبير الشمالي، حيث تتفصل الحركتين بالمنخفض النيوجيني لنهر الكبير الشمالي وبنظام صدوع اللاذقية-كلس (Trifonov, 1991).

#### 4- الطرائق المستخدمة

إن العديد من الملاحظات قد سمحت بالوصول إلى آلية البؤرة الزلزالية ( Seismic focal mechanism) للهزات الأرضية اعتباراً من التسجيلات الزلزالية المتولدة عنها ( Lay and Wallace 1995). وبشكل عام فإنه في حالة شبكات الرصد ذات الكثافة الكافية والتوزيع الجغرافي المنتظم لمحطات الرصد حول المنبع الزلزالي والذي يضمن تغطية جميع زوايا السمات حول البؤرة الزلزالية فإن قطبية الموجة الطولية (P) تعتبر كافية لتحديد آلية البؤرة الزلزالية. وقد اصطلح أن قطبية الموجة الطولية (P) موجبة إذا كانت أول حركة (First motion) نحو الأعلى فتوصف بأنها انضغاطية ويرمز لها ب) C: (compression) كما اصطلح أن قطبية الموجة الطولية (P) سالبة إذا كانت أول حركة نحو الأسفل فتوصف بأنها تمددية ويرمز لها ب) (D: dilatation). إن عزل القطبيات الموجبة عن القطبيات السالبة يسمح بتحديد مستويي الحلول لآلية البؤرة الزلزالية واللذين يسميان اصطلاحاً المستويان العقديان ( الشكل 4).



شكل 4: المبدأ المبسط لحساب آلية البؤرة الزلزالية حيث تمثل الدوائر الصغيرة المفرغة القطبيات التمديدية أما الدوائر الصغيرة المصمتة فتمثل القطبيات الانضغاطية.

قام (Snoke et al., 1984) بإعداد البرنامج (FOCMEC) لحساب آلية البؤرة الزلزالية بالاعتماد على قطبية الموجة الطولية (P) وعلى نسبة السعة (SV/P) (حيث يشير الرمز P لسعة الموجة P و يشير الرمز SV لسعة المركبة الشاقولية للموجة S) وقد طور (Hardebeck and Shearer, 2002, 2003) في برنامجهما (HASH) تلك التقنية فوسعاها لتستخدم نسبة السعة (S/P) ولتأخذ بعين الاعتبار جميع مصادر الخطأ المؤثرة بحيث تكون آلية البؤرة المحسوبة أكثر استقراراً. لكن (Reasenber and Oppenheimer, 1985) استخدموا قطبية الموجة الطولية (P) فقط في إعداد البرنامج الحاسوبي (FPFIT) والذي يجري بحثاً شبيكياً لأفضل توافق بين المستويين العقدين والقطبيات الملاحظة. أما (Suetsugu, 1998) فقد اعتبر في برنامجه (PINV) أن قطبيات الموجة الطولية (P) إما أن تكون  $1+$  أو  $1-$  كقيم سعوية عظمى وصغرى على التسلسل وقام بإجراء عملية قلب مصفوفة العزوم (Moment tensor inversion) لإيجاد مزدوجة القوى دون إعطاء أي تقدير للخطأ للحكم على مدى موثوقية حلول

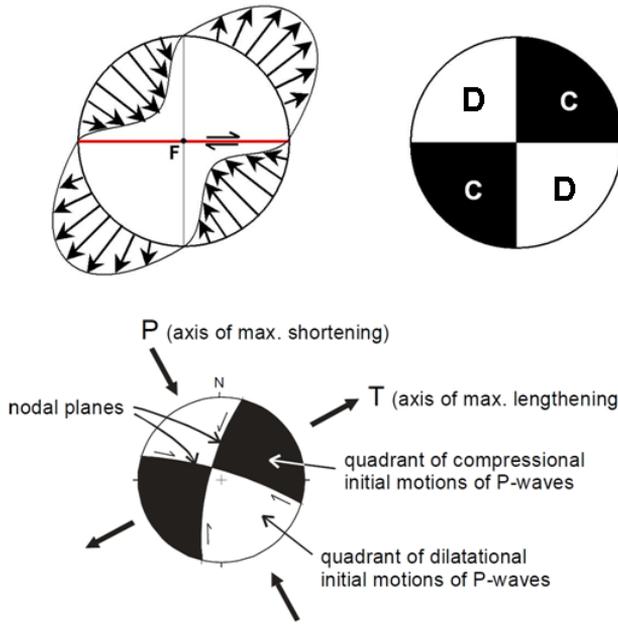
المستويات الصدعية (Fault plane solutions) . قام (Abdul-wahed, 2018b) بإعداد البرنامج (MECA3) باستخدام الطريقة الاحتمالية ( Zollo and Bernard, 1991) لحل المسألة العكسية بشكل غير خطي للوصول لآلية البؤرة الزلزالية. تحسب احتمالية معاملات المستويات الصدعية بالاعتماد على مجموعة المعطيات الملاحظة (مثل قطبية الموجة الطولية P المسجلة في عدد كافي من محطات الرصد الزلزالي) باستخدام مقاربة (Bayesian) التي تأخذ بالحسبان شكل دالة كثافة الاحتمالية كما عرفها (Brillinger et al., 1980). يقوم البرنامج بتقدير احتمالية معاملات نموذج آلية البؤرة من خلال بحث شامل لجميع الزوايا الممكنة لحلول المستويات الصدعية. تمثل حلول الاحتمالية العظمى حلول المستوي الصدعي والمستوي المساعد. يسمح البرنامج (MECA3) بعرض حلول آليات البؤرة المحسوبة ببرامج أخرى بهدف مقارنتها مع بعضها كما يسمح بتصنيف آلية البؤرة حسب (Zoback, 1992) واستنتاج النظام التكتوني واتجاه محور الإجهاد الأفقي الأعظمي ( $S_H \max$ ) ( Abdul-Wahed and Alissa, 2020).

تفترض البرامج السابقة أن المنبع الزلزالي من النموذج النقطي وذو آلية ثنائية مزدوجة القوى وأن موقع البؤرة الزلزالية محدد بدقة وأن معاملات آلية البؤرة الزلزالية هي الاتجاهات الزاوية للصدع (السمت والميل والانزلاق) حسب ما عرفها ( Aki and Richards 1980) حيث تمثل مستويات الحلول بأخذ مسقط تقاطعها مع النصف السفلي للكرة البؤرية. قام (Salamon et al., 2003) بحساب آلية البؤرة للزلازل التي قدرها المحلي ( $ML \geq 4$ ) المسجلة في منطقة شرق المتوسط خلال القرن العشرين باستخدام البرنامج الحاسوبي (FPFIT) ووجد أن الحلول الشاذة تؤكد على مدى تعقد

عمليات التشوه على طول نظام صدع البحر الميت. كذلك استخدم هذا البرنامج (Bräuer, 2011) لحساب آلية البؤرة الزلزالية لحوالي 30 حدث زلزالي محلي وقعت في حوض البحر الميت.

### 5- تصنيف النظام التكتوني

من الشائع أن تستخدم آلية البؤرة الزلزالية في الاستدلال على اتجاهات حقل الإجهاد الحالي في القشرة الأرضية وتحديد اتجاه الحركة الحالية للصفائح التكتونية. لقد تنبأت المبادئ النظرية لمحاور الإجهاد أنه عند تعريض عينات صخرية للإجهاد فإن سطوع التمزق سوف تحدث بزاوية 45 درجة مع اتجاه الإجهاد الأعظمي واتجاه الإجهاد الأصغري وأكدت ذلك التجارب المخبرية. وبشكل مكافئ لذلك فإن المستويان العقديان لآلية البؤرة يحددان اتجاهات محاور التشوه: محور الانضغاط الأعظمي (موجب) يقع في منتصف الربع التمددي ويسمى محور الضغط (P: compression axis) ويظهر وفقه تشوه التقصير الأعظمي (max shortening) ومحور التمدد الأعظمي (سالبة يعبر عن الشد) يقع في منتصف الربع الانضغاطي ويسمى محور الشد (T: tension axis) ويظهر وفقه تشوه التطاول الأعظمي (max lengthening) (الشكل 5). أما محور التشوه الوسيط (أو الحيادي) والذي يعامد المحورين السابقين ويرمز له ب (B or null axis) فسيكون ناتجاً عن تقاطع المستويين العقديين ولا يحدث تشوه وفقه.



شكل 5: المبدأ المبسط لتحديد محاور التشوه في البؤرة الزلزالية.

بما أن محاور الإجهاد في القشرة الأرضية تأخذ الاتجاهات الشاقولية والأفقية ( $S_V, S_H$ ) هو ( $S_V$ ) الذي يحدد النظام التكتوني (Tectonic regime) فإذا كان هذا المحور الشاقولي أصغرياً أي محوراً للشد ( $T$ ) كان هذا النظام انضغاطياً (compressional) وسيطرت فيه آلية التصدع العكسي وتحققت العلاقة ( $S_H \max > S_h \min > S_V$ )، وإذا كان المحور الشاقولي أعظماً أي محوراً للضغط ( $P$ ) كان هذا النظام تمديداً (extensional) وسيطرت فيه آلية التصدع العادي وتحققت العلاقة ( $S_V > S_H \max > S_h \min$ )، أما إذا كان محوراً وسطياً أي محوراً حيدياً ( $B$ ) فسيكون هذا النظام تمزقياً شديداً وسمي (wrench)

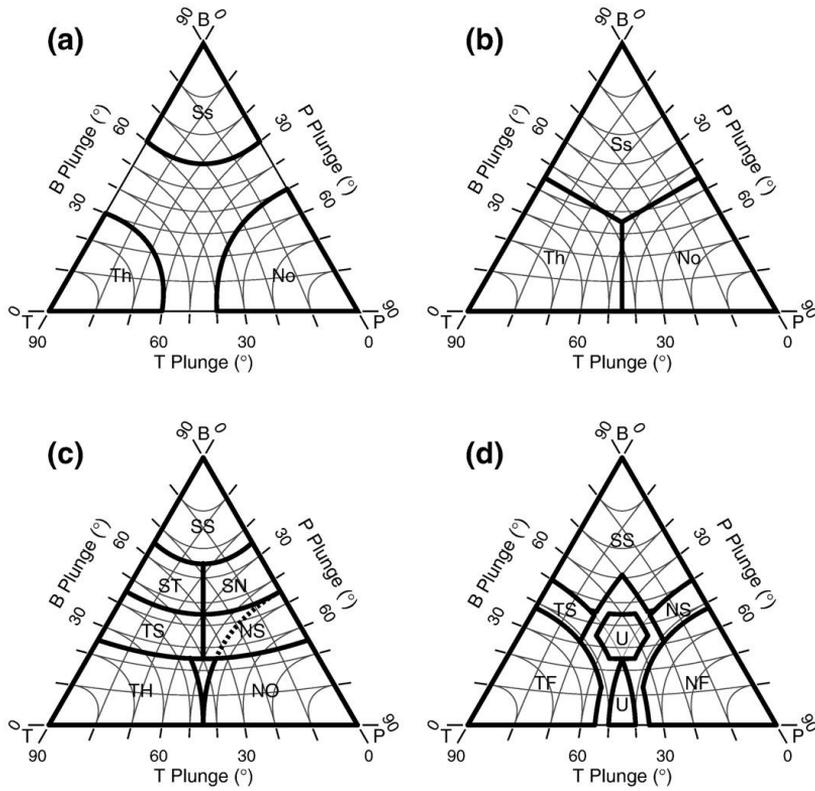
وسيطرت فيه آلية الإزاحة الجانبية الأفقية وتحققت العلاقة ( $S_H \max > S_V > S_H \min$ ). يعتبر تصنيف (Anderson, 1951) للنظام التكتوني بسيطاً ولا يغطي جميع الحالات ولكنه مفيد من أجل التصنيف الأولي لهذا النظام (Simpson, 1997; Hardebeck ) (and Michael, 2006).

استخدمت زوايا ميل (التغريق) محور الضغط (P) ومحور الحياضي (B) ومحور الشد (T) للاستدلال على الأنظمة التكتونية المولدة للزلازل وقد استخدم الباحثون المقاربتان التاليتان: (1) أنه من الممكن اعتبار المحاور الثلاثة (P, B, T) على أنها الاتجاهات الرئيسية للإجهاد بشكل تقريبي؛ (2) أنه من الممكن اعتبار المحاور الثلاثة (P, B, T) على أنها مؤشرات على شعاع الانزلاق الصدعي وبالتالي يمكن أن تستخدم لتصنيف الحركة الصدعية. أدخل (Frohlich, 1992) مخططاً بيانياً ثلاثي الأبعاد لتمثيل زوايا ميل المحاور الضغط والحياضي والشد (P, B, T) بنقطة واحدة داخل المثلث البياني مما سمح بإجراء معاينة بصرية لتلك المقاربات. لقد وجد (Célérier et al., 2012) أن المحاور الثلاثة (P, B, T) تزودنا بتقديرات معقولة لاتجاهات محاور الإجهاد في حالة أن محاور الإجهاد الرئيسية كانت شاقولية أما في الحالات الأخرى فإنه من الأفضل تفسيرها كتعبير عن هندسة الصدع والانزلاق الصدعي. قدم (Frohlich, 1992; 2001; ) (Frohlich and Apperson, 1992) التصنيف الأبسط للنظام التكتوني بناء على الميل الأصغري للمحاور الثلاثة (P, B, T) وميّر الأصناف الثلاث السابقة (الشكل 6) لكن هذا التصنيف ترك مساحة واسعة من المثلث البياني دون توصيف. وقدم (Kagan, ) (2002; 2005) تصنيفاً بسيطاً يعتمد على المحور ذو الميل الأعظمي وشمل هذا

التصنيف معطيات أوسع. عرض (Triep and Sykes, 1996; 1997) تصنيفاً أكثر اكتمالاً بهدف الحصول على تصنيف أدق للانزلاقات الصدعية المائلة ( oblique slips). وقدم (Zoback, 1992) تصنيفاً يعتمد على ميل المحور الحيايدي (B) واستخدمه في خارطة الإجهاد العالمية (World Stress Map).

## 6- جودة المعطيات

أدت الزلزالية المنخفضة في سورية وعدم كفاية تغطية محطات شبكة الرصد كما ورد في المرجع (Dakkak et al. 2005) إلى الحد من عدد حلول المستوي الصدعي التي يمكن الحصول عليها في منطقة الدراسة. لذلك فقد تفحصنا بدقة كل المعطيات المتوفرة وكذلك موثوقية الحلول بهدف الحصول على أكثر ما يمكن من المعلومات منها. بما أن غالبية الأحداث الزلزالية المسجلة في سورية كانت أحداث ضعيفة (Abdul-Wahed and Al-Tahan 2010, Abdul-Wahed et al., 2011; Abdul-Wahed and Asfahani, 2018) فقد اعتبرنا جميع الأحداث المحلية التي تمتلك خمسة قطبيات للموجة P كحد أدنى صالحة لحساب آلية البؤرة الزلزالية. طبقاً لذلك فإن مجموعة مختارة مكونة من 42 حدث وقعت داخل منطقة الدراسة كانت معتبرة كأحداث رئيسة صالحة لتحليل قطبية الموجة الطولية (P).



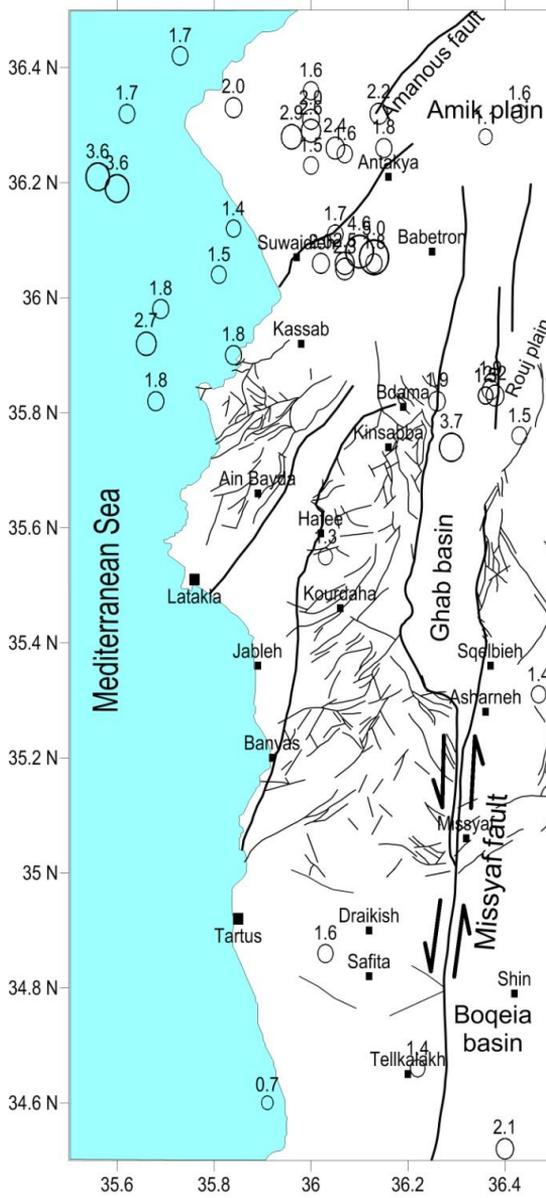
شكل 6. مخطط فروليش (Frohlich, 1992) الأساسي لتصنيف الأنظمة التكتونية حسب زوايا ميل محاور التشوه الضغط والمحايد والشد (P, B, T) وهو معروض بالرمز (a) وثلاثة نسخ مطورة منه والرموز المستخدمة بالأشكال هي: (a) Thrust (Th), strike-slip (Ss), and normal (No) regimes as defined by Frohlich and Apperson (1992) and Frohlich (1992, 2001). (b) Thrust (Th), strike-slip (Ss), and normal (No) regimes as defined by Kagan (2002, 2005). (c) Thrust (TH), thrust and strike-slip (TS), strike-slip and thrust (ST), strike-slip (SS), strike-slip and normal (SN), normal and strike-slip (NS), and normal (NO) regimes as defined by EPRI (1994) and reported by Triep and Sykes (1996, 1997). d) Thrust faulting (TF), thrust and strike-slip (TS), strike-slip (SS), normal

and -slip (NS), and normal faulting (NF) regimes as defined by Zoback (1992) and used in the World Stress Map.

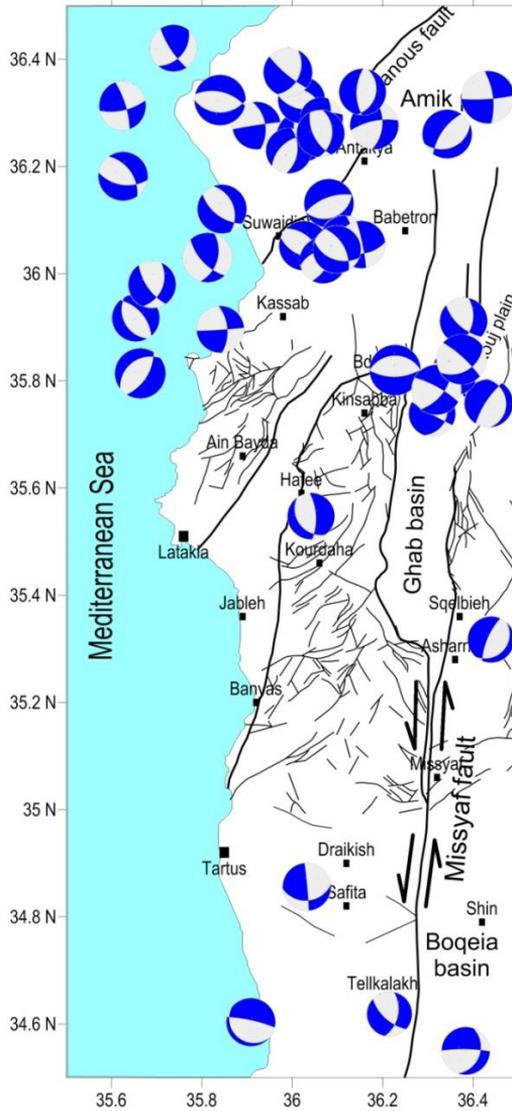
تمت معالجة المجموعة المختارة من الهزات باستخدام الأدوات البرمجية التي يقدمها البرنامج Seisan 10.3 بدءاً من عرض الشكل الموجي وتحديد أزمنة الوصول وحتى الحصول على آليات البؤرة الزلزالية. يعتبر التحديد الدقيق لموقع البؤرة عاملاً حاسماً في التميز الموثوق لمعاملات التصدع وبهدف تحسين الدقة في الأحداث المختارة طبقاً للتصفية الرقمية على التسجيلات لتحسين نسبة الإشارة إلى الضجيج وقمنا بتحديد جميع أطوار الموجتين P و S يدوياً. ونتيجة لذلك فقد زاد عدد قراءات أزمنة الوصول. ثم قمنا بإعادة تحديد مواقع البؤر باستخدام أزمنة الوصول الجديدة ونفس النموذج السري المستخدم في الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي. يعرض الشكل 7 توزيع البؤر السطحية للأحداث الزلزالية المعتبرة صالحة لدراسة آلية البؤرة ضمن منطقة الدراسة.

## 7- النتائج

تم تطبيق برمجيات آلية البؤرة المذكورة أعلاه والتي يقدمها البرنامج Seisan 10.3 على الأحداث المختارة. كان لأغلب هذه الأحداث آلية التصدع العادي بتوافق مع البنيات الصدعية المحلية أما آلية الإزاحة الجانبية فكانت أكثر ندرة (بضعة أحداث فقط) ومحصورة في بعض المناطق مثل الامتداد الشمالي لصدع الغاب. كما لوحظت آلية التصدع العكسي في حدثين فقط وقعا في البحر. يعرض الشكل 8 مظاهر آليات البؤرة الزلزالية المحسوبة من أجل المجموعة المختارة من الهزات المسجلة في المنطقة الساحلية من سورية. يعكس هذا المظهر البنيات المحلية المولدة للزلازل في تلك المنطقة.

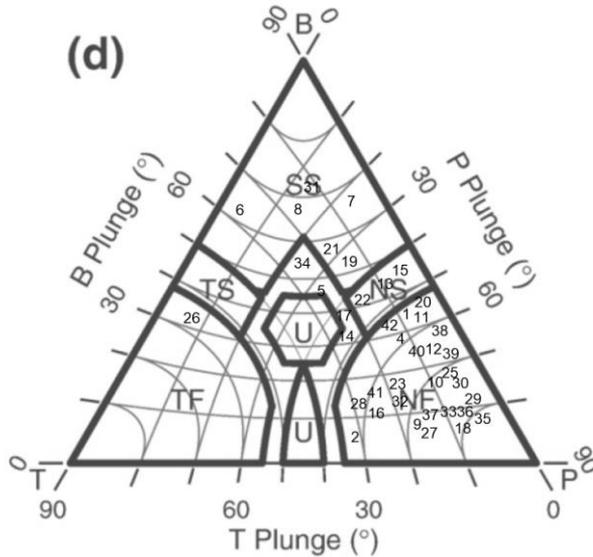


شكل 7: توزيع البؤر السطحية للأحداث الزلزالية المعتبرة صالحة لدراسة آلية البؤرة ضمن منطقة الدراسة وتشير الأرقام إلى قدر كل منها.



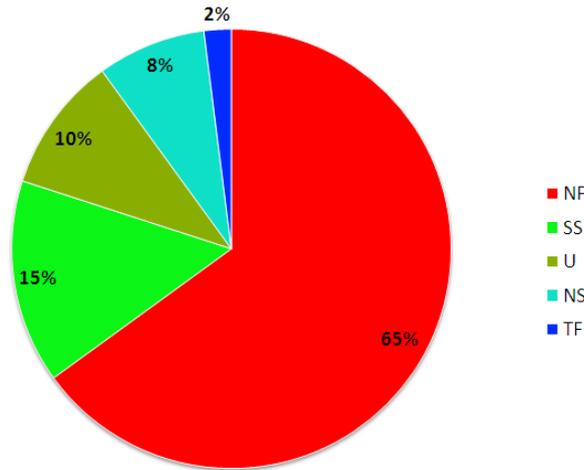
شكل 8: آليات البؤرة المحسوبة في منطقة الدراسة حيث تم تمثيل مستويات الحول الصدعية بمسقط متساوي المساحة للنصف السفلي من الكرة البؤرية: الربع الأبيض يمثل نطاق التمدد والأزرق يمثل نطاق الانضغاط.

استخدمنا في هذا البحث زوايا ميل محور الضغط (P) ومحور الحياضي (B) ومحور الشد (T) التي حصلنا عليها من آليات البؤرة باعتبار أنها مؤشرات على شعاع الانزلاق الصدعي لتصنيف الحركة الصدعية. وتم إسقاط هذه الزوايا على مثلث (Frohlich, 1992) كمخطط بيانياً ثلاثي الأذرع لتمثيل زوايا ميل المحاور الثلاثة بنقطة واحدة داخل المثلث البياني لإجراء معاينة بصرية للميل العام. طور (Zoback, 1992) هذا المثلث وقدم تصنيفاً أكثر تفصيلاً للحركة الصدعية يعتمد على ميل المحور الحياضي (B) واستخدمه في خارطة الإجهاد العالمية (World Stress Map). وسنعمد مثلث (Zoback, 1992) بهدف الحصول على تصنيف أدق للانزلاقات الصدعية المائلة (oblique slips) ويعرض الشكل (9) نتائج هذا التصنيف.



شكل 9. إسقاط زوايا ميل محور الضغط (P) ومحور الحياضي (B) ومحور الشد (T) على مثلث (Zoback, 1992) لآليات البؤرة المحسوبة والمشار إليه بالرمز (d) في الشكل 8.

يُظهر إسقاط زوايا ميل المحاور (P, B, T) لآليات البؤرة المحسوبة بهذا البحث على مثلث (Zoback, 1992) أن معظم الحركات الصدعية في منطقة الدراسة كانت من الصنف (NF) وتدل على تصدع عادي. وإحصائياً تدل النتائج على سيطرة الشد الناتجة عن تكتونيك تمديدي إذ كان التصدع عادياً نقياً (NF) في حوالي 65% من آليات البؤرة المحسوبة وكان تصدعاً عادياً مع وجود مركبة أصغرية للإزاحة الجانبية (NS) في 8% من الآليات المحسوبة (الشكل 10). وبالتالي فإن آلية التصدع العادي قد ظهرت في 73% من الهزات الأرضية المعالجة. بالمقابل كان هناك ست حركات صدعية فقط من الصنف (SS) وتدل على وجود تصدع الإزاحة الجانبية في حوالي 15%. وقعت بعض الحركات الصدعية في وسط المثلث ضمن التصنيف (U) أي الإزاحة المائلة الهجينة. لم تظهر إلا هزة واحدة فقط ضمن الصنف (TF) والذي يدل على حركة صدعية عكسية وقد وقعت بؤرة هذه الهزة في البحر مقابل لواء اسكندرون وبالتالي يمكن إهمال هذه الهزة.



شكل 8: النسب المئوية لأصناف آليات البؤرة المحسوبة في المنطقة الساحلية حسب تصنيف (Zoback, 1992).

#### 8- المناقشة

يُمر في منطقة الدراسة نطاقين تكتونيين رئيسيين هما نظام صدع البحر الميت ونظام صدع الأناضول الشرقي. يتميز نظام صدع البحر الميت بحركة إزاحة جانبية يسارية والتي تم التعرف عليها من خلال الأحواض التمزقية الشدية الصغيرة في الرسوبيات الحديثة (Garfunkel et al. 1981, Trifonov 1991, Brew et al. 2001)، ومن خلال قطع وإزاحة المجاري المائية والمنشآت التي بناها الإنسان (Brew et al. 2001, Gomez et al. 2001, Gomez et al. 2003, Meghraoui et al. 2003, Gomez et al. 2006). لكن نتائج هذا البحث لم تُظهر تلك الإزاحة الجانبية اليسارية كآلية مسيطرة كما يتوقع الكثيرون بل كان لأغلب الأحداث المعالجة آلية التصدع العادي (NF) والتي شكلت ما نسبته (65%) من آليات البؤرة المحسوبة وهذا يدل على سيطرة التكتونيك الشدي في المنطقة الساحلية. يمكن تفسير هذه النتيجة بأن معظم الأحداث المسجلة خلال فترة الدراسة 1995-2011 كانت واقعة على الصدوع الجانبية لنظام صدع البحر الميت في سلسلة الجبال الساحلية وناتجة عن عمليات شد محلية. لقد وجد (Salamon et al. 2003) أن آليات التصدع العادي لبعض الأحداث قرب البحر الميت وخليج العقبة تسجل نشاط صدوع عادية تمتد على طول هوامش نظام صدع البحر الميت. كما أشارت بعض النتائج التي حصلنا عليها في هذا البحث إلى وجود مركبة إزاحية جانبية ترافق آلية التصدع العادي (NS) كما هو الحال في الحدتين الذين وقعا في حوض الغاب وكما هو الحال في الحدث الواقع في جنوب تل كلخ. يمكن أن تكون هذه

الأحداث مرتبطة بصدوع شد-انتقالي محلية. وظهرت بعض آليات البؤرة ذات الإزاحة اليسارية على الامتداد الشمالي لنظام صدع البحر الميت. أما في منطقة اسكندرون فكان لمعظم الأحداث الواقعة في تلك المنطقة آلية تصدع عادي مع غياب المركبة الإزاحية.

إن معظم الآليات التي أمكن حسابها قد أنتت من أحداث صغيرة القدر لذلك فإنها على الأرجح قد نتجت عن تحرك بعض الصدوع المحلية وبالتالي يمكن لها أن تمثل التغيرات المحلية بحقل الإجهاد. بالمقابل فإن غياب الأحداث الزلزالية كبيرة القدر يمكن أن يدفعنا للاعتقاد أن الصدوع الإقليمية الكبيرة تمر حالياً بفترة من الهدوء الزلزالي والذي بدأ منذ 850 سنة كما أشار (Meghraoui et al. 2003). يدعم هذا الاعتقاد عدم ظهور آليات الإزاحة الجانبية اليسارية المضرب والتي تميز الصدوع الإقليمية الكبيرة في منطقة الدراسة. لقد درس العبدالله (Al Abdalla et al., 2010) التطور التكتوني وتطور حقل الإجهادات القديم (palaeostress) في المنطقة الساحلية منذ أواخر الكريتاسي وحتى السينوزويك ووجد أن هذه المنطقة قد طورت تكتونيك شدي خلال الميزوزويك والباليوجين أما التشوهات الانضغاطية فلم تظهر إلا في نهاية الأوليغوسين في شمال منطقة البائر- البسيط حيث عانت هذه المنطقة من إجهادات الانضغاط بالاتجاه NNW-SSE منذ نهاية الميوسين حتى الآن. لكن النتائج التي حصلنا عليها في هذا البحث لم تُظهر وجود آليات التصدع العكسي في هذه المنطقة والتي يمكن أن ينتجها التكتونيك الضغطي. إذا تخالف نتائج هذا البحث والتي تُعبر عن حقل الإجهاد الحالي الدراسات الجيولوجية والتكتونية السابقة والتي سمحت بتقدير حقل الإجهاد القديم وبالتالي يمكن الاستنتاج بحدوث تغييرات حالية في حقل الإجهاد.

## 9- الخاتمة

تم في هذا البحث تحليل قاعدة التسجيلات الزلزالية للشبكة الوطنية للرصد الزلزالية في المنطقة الساحلية بهدف اختيار الأحداث الصالحة لحساب آلية البؤرة الزلزالية. ونتيجة لذلك تبين أن هناك 42 حدث زلزالي وقعت خلال الفترة 1995-2011 كان لها خمس قطبيات للموجة (P) على الأقل وهو الحد الأدنى لحساب آلية البؤرة الزلزالية. بينت مستويات الحلول الصدعية المحسوبة أن التكتونيك الشدي كان مسيطراً في معظم تلك الأحداث الزلزالية. وإحصائياً تدل النتائج على ظهور الصدع العادي النقي في حوالي 65% من آليات البؤرة المحسوبة وعلى ظهور الصدع العادي مع وجود مركبة أصغرية للإزاحة الجانبية في 8% من الآليات المحسوبة، وبالنتيجة فإن آلية الصدع العادي قد ظهرت في 73% من الهزات الأرضية المعالجة. بينما كانت آلية الإزاحة الجانبية أكثر ندرة ومحصورة في بعض المناطق. إن نتائج هذا البحث تخالف الدراسات الجيولوجية والتكتونية السابقة والتي تنبأت أن إجهاد الصدع العكسي يجب يكون مسيطراً. يمكن أن نقدم تفسيراً محتملاً لذلك أن آليات البؤرة المحسوبة في المنطقة الساحلية كانت لأحداث صغيرة القدر لذلك فإنها على الأرجح مرتبطة بالمظاهر المحلية للشد-انتقال على طول هوامش نظام صدع البحر الميت وبالتالي تعكس حقل الإجهاد المحلي. تبقى هذه النتائج أولية بالنظر لكون زمن العودة للزلازل الكبيرة ( $M \geq 5$ ) طويل نسبياً في سورية وبالتالي فمن المرجح أن بعض الصدوع التي لم تُظهر نشاطاً زلزالياً خلال فترة هذه الدراسة قد تكون نشطة خلال فترة زمنية أطول.

كلمة شكر

يتوجه مؤلفو هذا البحث بالشكر الجزيل إلى المركز الوطني للرصد الزلزالي لتزويدهم بالتسجيلات الزلزالية وبعض المعلومات والمعطيات الهامة وبشكل خاص الجيوفيزيائي نظير اليوسف كما يتقدمون بالشكر للأستاذ الدكتور إبراهيم عثمان المدير العام لهيئة الطاقة الذرية لدعمه هذا البحث.

## References

- Abdul-Wahed M. K. and M. Alissa, (2020), Present-day stress state in northwestern Syria, *Geofísica Internacional*, (2020) Vol. 59-4 -1; 300-316.
- Abdul-Wahed M. K. and Asfahani J., (2018), The recent instrumental seismicity of Syria and its implications, *Geofísica Internacional* (2018) 57-2: 79-92.
- Abdul-Wahed M. K., (2018b), Preparation of a computer program for calculating the focal mechanism of the recorded micro-earthquake in Syria, Internal Rapport, AECS.
- Abdul-Wahed M. K., 2012, The focal mechanism of recent largest seismic events in Syria. The 7th Gulf Seismic forum, Saudi Geological Survey; 22-25 January 2012, Jeddah, Saudi Arabia.
- Abdul-Wahed M. K., Asfahani J., Al-Tahan I., 2011, A combined methodology of multiplet and composite focal mechanism techniques for the identification of the seismological active zones in Syria. *Acta Geophysica*, 59, 967-992, DOI:10.2478/s11600-011-0024-2.
- Abdul-Wahed M. K. & Al-Tahan I., 2010, Preliminary outlining of the seismological active zones in Syria. *Annals of geophysics*, 53, 1-9.
- Aki K. & Richards P. G. (1980), *Quantitative Seismology, Theory and methode*. San Fransisco : W. H. Freeman and Co.
- Al-Abdalla, A. 2008. Evolution tectonique de la plateforme arabe en Syrie depuis le Me'sozoï'que. PhD thesis, Me'moire de the'se de l'Universite' de Paris 6, Paris, 302 (in French).
- Al abdalla A., Barrier E., Matar A. & Muller C., (2010), Late Cretaceous to Cenozoic tectonic evolution of the NW Arabian platform in NW

- Syria, Geological Society, London, Special Publications 2010; v. 341; p. 305-327, doi:10.1144/SP341.15.
- Ambraseys N. and Barazangi M., (1989), The 1759 earthquake in the Bekaa valley: implication for Earthquake Hazard Assessment in the Eastern Mediterranean Region. *Geophys. Res. J.*, Vol. 94, PP. 4007-4013.
- Anderson EM (1951) The dynamics of faulting. Oliver & Boyd, Edinburgh.
- Barazangi, M., Seber, D., Chaimov, T., Best, J. & Sawaf, T., 1993. Tectonic evolution of the northern Arabian plate in western Syria, in: Boschi et. al., (eds.) *Recent Evolution and Seismicity of the Mediterranean Region*, pp. 117-140, Kluwer Academic Publisher, the Netherlands.
- Bräuer B., (2011), The structure of the southern Dead Sea basin revealed from local earthquake data, Dissertation, am Fachbereich Geowissenschaften, der Freien Universität Berlin, Potsdam, Mai 2011.
- Brew G., Barazangi M., Al-Maleh A. K., Sawaf T.(2001), Tectonic and geologic evolution of Syria, *GeoArabia*, Vol. 6, PP 573-616.
- Célérier, B., Etchecopar, A., Bergerat, F., Vergely, P., Arthaud, F. and Laurent, P., 2012. Inferring stress from faulting: From early concepts to inverse methods. *Tectonophysics*, 581: 206-219.
- Chaimov, T. A. & Barazangi, M., Al-Saad, D., Sawaf, T. & Gebran, A., 1990. Crustal shortening in the Palmyride fold belt, Syria, and implications for movement along the Dead Sea fault system, *Tectonics*, 9, 1369-1386.
- Dakkak R., Daoud M., Mreish M., Hade G., (2005), The Syrian National Seismological Network (SNSN): Monitoring a major continental transform fault, *Seismological Research Letters*, Vol. 76, PP 437-445.
- Devyatkin, E. V., Dodonov, A. E., Sharkov, E. V., Zykin, V. S., Simakova, A. N., Khatib, K. and H. Nseir, H., (1997). The El-Ghab Rift Depression in Syria: Its Structure, Stratigraphy, and History of Development. *Stratigraphy and Geological Correlation*, Vol. 5, No. 4, 1997, pp. 362–374.

- Frohlich C., 1992, Triangle diagrams: ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 75 (1992) 193-198.
- Frohlich, C and Apperson, K D, 1992 Earthquake focal mechanisms, moment tensors, and the consistency of seismic activity near plate boundaries *Tectonics*, 11 279-296.
- Garfunkel Z., Zak Y. & Freund R., (1981), Active faulting in the Dead Sea rift, *Tectonophysics*, Vol. 80, PP. 1-26.
- Gomez F., Meghraoui M., Darkal A. N., Sbeinati R., Darawcheh R., Tabet C., Khawlie M., Charabe M., Khair K. & Barazangi M., (2001), Coseismic displacements along the Serghaya fault : an active branch of the Dead Sea Fault System in Syria and Lebanon, *J. Geol. Soc. Lond.*, Vol 158, PP. 405-408.
- Gomez F., Meghraoui M., Darkal A. N., Hijazi F., Mouty M., Suleiman Y., Sbeinati R., Darawcheh R., Al-Gazzi R. & Barazangi M., (2003), Holocene faulting and earthquake recurrence along the Serghaya branch of the Dead Sea Fault System in Syria and Lebanon, *Geophysical J. Int.*, Vol 153, PP. 658-674.
- Gomez F., Khawlie M., Tabet C., Darkal A. N., Khair K. & Barazangi M., (2006), Late Cenozoic uplift along the northern Dead Sea transform in Lebanon and Syria, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 241, PP. 913-931.
- Hardebeck, J. L. and Shearer, P. M. (2003). Using S/P Amplitude Ratios to Constrain the Focal Mechanisms of Small Earthquakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 93:2434-2444.
- Hardebeck, J. L. and Shearer, P. M. (2002). A new method for determining first motion focal mechanisms. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 92:2264-2276.
- Hardebeck JL, Michael AJ (2006) Damped regional-scale stress inversions: methodology and examples for southern California and the Coalinga aftershock sequence. *J Geophys Res* 111, B11310.
- Lay C. & Wallace T. C., (1995), *Modern global seismology*, San Diego ; Academic Press.
- McClusky, S.C., Balassanian, S., Barka, A., Ergintav, S., Georgie, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadaria, M., Ouzounis, A., Paradisissis, D., Peter, Y., Pirilepin,

- M., Reilinger, R.E., Sanli, I., Seeger, H., Teableb, A., Toksöz, N., Veis, V., 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean Caucasus. *Journal of Geophysical Research* 105, 5695–5719.
- Meghraoui M., Gomez F., Sbeinati R., Van der Woerd J., Mouty M., Darkal A. N., Radwan Y., Layyous I., Al-Najjar H., Darawcheh R., Hijazi F. & Barazangi M., (2003), Evidence for 830 years of seismic quiescence from palaeoseismology, archaeo seismology and historical seismicity along the Dead Sea Fault System, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 210, PP. 35-52.
- Ponikarov, V.P. 1966. The Geology of Syria. Explanatory Notes on the Geological Map of Syria, Scale 1:200,000. Ministry of Industry, Damascus, Syrian Arab Republic.
- Reasenber, P. and Oppenheimer, D. (1985). Fpfit, fpplot, and fppage: Fortran computer programs for calculating and displaying earthquake fault plane solutions. Technical report, U.S. Geol. Survey.
- Reilinger, R., et al. (2006), GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *J. Geophys. Res.*, 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.
- Rukieh, M., Trifonov, V. G., Dodonov, A. E., Minini, H., Ammar, O., Ivanova, T. P., Taza, T., Yusef, A., Al-Shara, M., Jobaili, Y., 2005. Neotectonic map of Syria and some aspects of Late Cenozoic evolution of the northwestern boundary zone of the Arabian plate. *Journal of Geodynamics*, 40, 235-256.
- Salamon A., Hofstetter, A., Garfunkel Z., Ron H. (2003), Seismotectonics of the Sinai subplate – the eastern Mediterranean region, *Geophys. J. Int.*, Vol. 155, PP 149-173.
- Simpson RW (1997) Quantifying Anderson's fault types. *J Geophys Res* 102:17909–17919.
- Snoke, J. A., Munsey, J. W., Teague, A. G., and Bollinger, G. A. (1984). A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data. *Earthquake notes*, 55.
- Suetsugu, D. (1998). Practice on source mechanism, iisee lecture note. Technical report, Tsukuba, Japan.

- Trifonov et al., (2012), Neotectonics, recent geodynamics and seismic hazard of Syria. In: Transactions of the geological institute, vol 598. GEOS, Moscow, 204 pp
- Trifonov V. G. (1991), Levent fault zone in the northwest Syria, Geotectonics, Vol. 25, PP 145-154.
- Zoback, M.L., 1992. First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map project. J. Geophys. Res., 97, 11,703-11,728.

## حساب قدر الطاقة ( $M_W$ ) للهزات المحلية في سورية

محمد جهاد العيسى<sup>(1)</sup>، نضال شقير<sup>(1)</sup>، سامر زيزفون<sup>(2)</sup>

(1) المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق

(2) المركز الوطني للرصد الزلزالي، دمشق-سورية

### الملخص

يعتبر قدر الطاقة ( $M_W$ ) ضرورياً جداً في دراسات الخطر الزلزالي لكنه للأسف غير متوفر لجميع الهزات الأرضية التي حدثت في سورية وسجلتها الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي. لذلك تم في هذا البحث تطبيق طريقة التحليل الطيفي لحساب قدر الطاقة ( $M_W$ ) للهزات الأرضية المحلية التي حدثت في سورية بالاعتماد على معالجة تسجيلات الشبكة الرقمية الحديثة خلال الفترة 2009-2011. سمحت النتائج المحسوبة باشتقاق علاقات تجريبية تربط بين قدر الطاقة ( $M_W$ ) وبين قدر الهزات المحلية ( $M_L$ ) وقدر نهاية التسجيل ( $M_C$ ) واللذين تتضمنهما النشرات الزلزالية الصادرة عن المركز الوطني للرصد الزلزالي. لقد بلغ معامل الارتباط الخطي ( $R^2$ ) للعلاقات المشتقة قيمة جيدة مما يسمح بالاعتماد على هذه العلاقات تجريبية والحصول على نتائج موثوقة لقدر الطاقة ( $M_W$ ). كما كانت الفروقات المتبقية بين قدر الطاقة المحسوب بالعلاقات المشتقة وقدر الطاقة المحسوب بطريقة التحليل الطيفي صغيرة وضمن الحدود المقبولة في معظم الهزات.

الكلمات المفتاحية: قدر الهزات المحلية ( $M_L$ )، قدر الطاقة ( $M_W$ )، طريقة التحليل الطيفي، سورية.

# Calculating the moment magnitude ( $M_w$ ) for local earthquakes in Syria

Mohammed.ALISSA<sup>(1)</sup>, Nidal SHOUKEIR<sup>(1)</sup>, Samer ZEIZAFOUN<sup>(2)</sup>

(1) Higher Institute of Earthquake studies and Research, Damascus university E-mail: [mohammed.alissa11985@gmail.com](mailto:mohammed.alissa11985@gmail.com);

(2) National Earthquake Center (NEC).

## Abstract

The moment magnitude ( $M_w$ ) is very necessary for the seismic hazard studies. Unfortunately, it is not available for all seismic events happened in Syria and recorded by the Syrian seismic network. Therefore, the spectral analysis method has been applied, in this research, to calculate the moment magnitude ( $M_w$ ) for local earthquakes in Syria depending on processing the modern digital network records during the period 2009-2011. The calculated results allow to derive empirical relationships between the moment magnitude ( $M_w$ ) and the local magnitude ( $M_L$ ), and the coda wave magnitude ( $M_C$ ), which are both included in the published seismic bulletins of the national earthquake center. The linear correlation factor ( $R^2$ ) attained good values, which allows to depend on these empirical relationships to get confident results of the moment magnitude ( $M_w$ ). The residuals between the calculated ( $M_w$ ) using these derived relationships and the calculated one using the spectral analysis method are minimal and within the acceptable limits for the majority of events.

**Keywords:** local magnitude ( $M_L$ ), moment magnitude ( $M_w$ ), spectral analysis method, Syria.

## 1- المقدمة

تعتمد الهندسة الزلزالية على النشرات الزلزالية الصادرة عن مراكز الرصد الزلزالي والتي تتضمن نتائج معالجة التسجيلات الزلزالية والتي ولدتها الصدوع النشيطة نتيجة حركة الصفائح التكتونية. إذ يتطلب تصميم منشآت مقاومة للزلازل بناء قاعدة بيانات زلزالية تضم معلومات موثوقة عن الزلازل ولأطول فترة زمنية ممكنة بهدف تقييم أخطار الزلزلة والحد من آثارها. ويعتبر القدر الزلزالي من أهم تلك المعلومات والتي تساهم في تطوير الكود الزلزالي إذ أنه يعبر عن عنف وشدة الحركة الزلزالية المؤثرة في تلك الأبنية والتي يجب أخذها في الاعتبار ضمن الاشتراطات الفنية للأبنية لتصمد في مواجهة الزلازل. يعتبر العالم ريختر (Richter, 1935) أول من حسب القدر الزلزالي ومع مرور الزمن تطور علم الزلازل وظهرت أنواع مختلفة من القدر الزلزالي وقد تميز كل منها بمجال تطبيقي لحسابه أو باعتماده على طور موجي مسيطر فظهر قدر الهزات المحلية ( $M_L$ ) وقدر الأمواج السطحية ( $M_S$ ) وقدر الأمواج الجسمية ( $M_B$ ) وقدر المدة ( $M_D$ ) وغيرها. لكن الكثير من علماء الزلازل والهندسة الزلزالية يُفضلون استخدام قدر العزم الزلزالي ( $M_W$ ) والمعروف بقدر الطاقة (Kanamori 1977; Hanks and Kanamori 1979) لتجنب السلبيات التي تظهرها الأنواع الأخرى للقدر مثل تأثرها بظاهرة الإشباع السعوي للهزات العنيفة. كما توصي الهيئات العلمية الدولية والمراكز الزلزالية الدولية بحساب قدر الطاقة ( $M_W$ ) كونه مقياساً مستقراً يمكن الاعتماد عليه في تقدير الخطر الزلزالي (Seismic hazard) وفي تطوير الكود الزلزالي (Hanks and Kanamori 2003; Ottemoller and Havskov 1981; Howell, 1979; Kanamori, 1979). علاوة على ذلك فإن قدر الطاقة ( $M_W$ ) أكثر تعبيراً عن الطاقة الزلزالية المتحررة ويمكن تقديره من ملاحظات جيولوجية حقلية.

مكنت الشبكة الرقمية الحديثة للرصد الزلزالي في سورية والتي بدأت بالعمل في كانون الأول عام 2008 من حساب قدر الهزات المحلية ( $M_L$ ) بدقة حيث قام (Bagh et al., 2014) بحساب منحني تصحيح تخامد الأمواج مع المسافة ومعامل التصحيح لجميع محطات الرصد في الشبكة الرقمية الحديثة فضبط بذلك الثوابت المستخدمة في حساب

قدر الهزات المحلية ( $M_L$ ). لكن قدر الطاقة ( $M_W$ ) لم يُحسب إلا لعدد محدود جداً من الهزات وما يزال غير متوفر في النشرات الزلزالية لذلك قام (Alissa et al., 2020) باشتقاق علاقات تجريبية تربط بين قدر الطاقة ( $M_W$ ) وبين مختلف أنواع القدر للهزات الأرضية التي حدثت في سورية والواردة في النشرات الزلزالية وأعطت تلك العلاقات دقة مقبولة نسبياً.

## 2- هدف البحث

يهدف هذا البحث إلى حساب قدر الطاقة ( $M_W$ ) للهزات الأرضية المحلية التي حدثت في سورية بالاعتماد على معالجة تسجيلات الشبكة الرقمية الحديثة للرصد الزلزالي في سورية وذلك بتطبيق طريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة. كما يهدف إلى مقارنة النتائج المحسوبة مع نتائج العلاقات التجريبية تربط بين قدر الطاقة ( $M_W$ ) وبين مختلف أنواع القدر للهزات الأرضية التي حدثت في سورية والتي تم الحصول عليها بالاعتماد على النشرات الزلزالية المحلية والدولية.

## 3- مواد وطرق البحث

### 3-1 الوضع الزلزالي في سورية

سمح إنشاء الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي عام 1995 بدراسة النشاط الزلزالي الحديث في سورية. تتألف هذه الشبكة من 27 محطة قصيرة الدور (1 Sec) وكان الهدف التصميمي لتوزيع محطات هذه الشبكة هو رصد كل نشاط زلزالي قابل للتمييز على طول نظام صدع البحر الميت وفروعه في سورية ولبنان (الشكل 1) (Dakkak et al., 2005). سجلت الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي حوالي 5000 حدث محلي منذ تأسيسها في كانون الثاني 1995 ولغاية 2012 (Abdul-Wahed and Asfahani, 2018). وقد تركزت الزلزالية الآلية المسجلة (الشكل 2) على طول نظام صدع الأناضول الشرقي والامتداد الشمالي لنظام صدع البحر الميت وخصوصاً في لبنان من خلال عدة زلازل معتدلة ( $5 < M_S < 6$ ). تتميز زلزالية الداخل السوري بوجود تجمعات

عديدة لأحداث ضعيفة القدر ( $M_L < 4$ ) والتي تلاحظ في عدة مناطق مثل منطقة البسيط والشريط الساحلي (الشكل 2). وصفت العديد من الدراسات السابقة النشاط الزلزالي في سورية على أنه يتراوح بين المعتدل والضعيف (Garfunkel et al., 1981; Chaimov et al., 1990; Barazangi et al., 1993; Brew 2001)، حيث أظهرت تسجيلات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي أن هذا النشاط ينتج سنوياً عدداً قليلاً من هزات منخفضة القدر مقارنة مع الدول المجاورة (Abdul-Wahed and Al-Tahan, 2010; Abdul-Wahed et al., 2011).

**شكل 1.** التوزيع الجغرافي لمحطات الرصد الزلزالي (المشار إليها بالرمز ▲) والتابعة للشبكة الوطنية السورية.

**شكل 2.** النشاط الزلزالي في سورية وجوارها كما وثقته الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي من 1995 وحتى 2012 (Abdul-Wahed and Asfahani, 2018).

### 3-2 حساب القدر الزلزالي في سورية

مر إنشاء الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي بمرحلتين أساسيتين. تبدأ المرحلة الأولى منذ تأسيس الشبكة عام 1995 وحتى عام 2008 حيث كانت هذه الشبكة من النوع التشابهي وقد وثقت خصائصها في البحث (Dakkak et al. 2005). أما المرحلة الثانية فتم خلالها تحديث هذه الشبكة واستبدالها بتجهيزات رقمية وبدأت بالعمل في شهر كانون الأول 2008 (Bagh et al., 2014). سمحت المرحلة الأولى بحساب نوع واحد فقط من القدر الزلزالي وهو قدر نهاية التسجيل ( $M_C$ : The coda magnitude) وذلك باستخدام العلاقة التالية (Bulletin of SNSN, 1995-2012):

$$M_C = -3.0 + 2.6 * \log (T) + 0.001 * D \quad (1)$$

حيث تمثل (T) المدة الزمنية بين بداية وصول الموجة (P) وحتى تلاشي الاهتزاز الناتج عن الهزة الأرضية، أما (D) فتمثل المسافة بين محطة الرصد والبقعة الزلزالية.

أما في المرحلة الثانية من تطور الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي فقد مكنت الشبكة الرقمية الحديثة من حساب قدر الهزات المحلية ( $M_L$ ) بدقة، بالإضافة لحساب القدر ( $M_C$ )، وذلك باستخدام العلاقة التي وضعها (Richter, 1935) هي:

$$M_L = \log(A_{WA}) - \log(A_0) + C \quad (2)$$

حيث تمثل ( $A_{WA}$ ) السعة العظمى لهزة مسجلة باستخدام جهاز تسجيل زلزالي أفقي معياري من النوع (Wood-Anderson) ذو الدور 0.8 ثانية وموضوع على بعد 100 كم من المركز السطحي لتلك الهزة، ويمثل المعامل ( $\log(A_0)$ ) منحنى تصحيح تخامد الأمواج مع المسافة، أما ( $C$ ) فيمثل معامل تصحيح خاص بكل محطة رصد. يسمح البرنامج (Seisan 10.3) بمحاكاة جهاز الرصد (Wood-Anderson) والذي فعلياً لم يعد مستخدماً وبذلك نتمكن من حساب قدر الهزات المحلية ( $M_L$ ) بعد ضبط الثوابت الواردة بالعلاقة (2).

قام (Bagh et al., 2014) بحساب منحنى تصحيح تخامد الأمواج مع المسافة ومعامل التصحيح لجميع محطات الرصد في الشبكة الرقمية الحديثة وضبط بذلك الثوابت المستخدمة في حساب قدر الهزات المحلية ( $M_L$ ) وفق العلاقة (2). وأصبح بذلك قدر الهزات المحلية ( $M_L$ ) متوفراً في النشرات الزلزالية الصادرة عن المركز الوطني للرصد الزلزالي بالإضافة إلى القدر ( $M_C$ ) لكن قدر الطاقة ( $M_W$ ) لم يُحسب إلا لعدد محدود جداً من الهزات وما يزال غير متوفر في تلك النشرات لذلك قام (Alissa et al., 2020) باشتقاق علاقات تجريبية تربط بين قدر الطاقة ( $M_W$ ) وبين مختلف أنواع القدر للهزات الأرضية التي حدثت في سورية والواردة في النشرات الزلزالية المحلية والدولية وأعطت تلك العلاقات دقة مقبولة نسبياً.

### 3-3 طريقة حساب قدر الطاقة

عادة ما يتم تحديد قدر الطاقة ( $M_w$ ) بالاعتماد على تحريات جيولوجية حقلية للصدع المولد للزلازل وذلك بتحري طول الصدع ( $L$ ) ومقدار الإزاحة الصدعية ( $D$ ) ومعامل صلابة الصخور ( $\mu$ ) وبذلك نتمكن من حساب العزم الزلزالي باستخدام العلاقة:

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot D \quad (3)$$

حيث تمثل ( $A$ ) مساحة الصدع وهي حاصل ضرب طوله بالعمق التقديري للدورة. ثم تستخدم العلاقة التجريبية التي وضعها (Hanks and Kanamori, 1979) لمنطقة شرق المتوسط في حساب قدر الطاقة:

$$M_w = (2/3) \log(M_0) + 10.73 \quad (4)$$

وبالتالي يمكن حساب هذا القدر للزلازل القديمة من خلال التحريات الحقلية للصدوع التي ولدتها. كما يتميز هذا النوع من القدر بأنه لا يتأثر بإشباع السعة الذي يحدث في تسجيلات أجهزة الرصد في حالة الزلازل العنيفة. لكنه بالمقابل غير قابل للتطبيق على جميع الزلازل وخصوصاً الصغيرة منها إذ أنه من النادر أن يترك الصدع المولد للزلازل أثراً على سطح الأرض وغالباً ما تخفي ذلك طبقة اللحقيات والترتبية الزراعية بالإضافة أن معظم النشاط الزلزالي على مستوى العالم يحدث على صدوع تحت بحرية مما يجعل تحري معاملات العلاقة (3) أمراً صعباً جداً. لذلك قام العلماء بتطوير طرق حسابية تعتمد على التسجيلات الزلزالية مثل طريقة قلب الشكل الموجي لإيجاد مصفوفة العزم الزلزالي والتي تطبق على الهزات كبيرة-متوسطة القدر (Jost and Herrmann, 1989)، وطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة التي تطبق على الهزات الصغيرة القدر (Iwata and Irikura, 1988).

ونظراً لكون معظم الهزات الأرضية المسجلة في سورية صغيرة القدر فإن طريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة تبدو الأكثر قابلية للتطبيق ولذلك سنقوم بعرضها بشيء من التفصيل.

وفقاً لطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة (Iwata and Irikura, 1988) يمكن تحديد العزم الزلزالي ( $M_0$ ) بالاعتماد على نموذج (Brune, 1970) للمنبع وطيف الموجة القصية باستخدام العلاقة التالية:

(5)

حيث أن ( ) هي الكثافة الوسطية للصخور في المنطقة المنبعية و ( $V_S$ ) سرعة الأمواج القصية فيها و ( $r$ ) المسافة بين المنبع ومحطة الرصد الزلزالي. أما ( ) فهو المستوى الطيفي المنبسط عند الترددات المنخفضة من طيف الإزاحة الناتج عن الموجة القصية ( $S$ ) وتمثل الدالة ( ) معامل الإشعاع للموجة القصية ( $S$ ) وعادة ما تُعطى القيمة (0.6) ويمثل العامل ( $F_s$ ) تأثير السطح الحر للأرض وعادة ما يُعطى القيمة (2.0).

كما يُحدد التردد الزاوي ( $F_0$ : corner frequency) على طيف الإزاحة الناتج عن الموجة القصية ( $S$ ) والذي يُستخدم في حساب نصف قطر المنبع ( $R_S$ ):

$$R_S = 0.37 * V_S / f_0 \quad (6)$$

كما يمكن حساب هبوط الإجهاد ( $\Delta\sigma$ ) الناتج تحرر الطاقة الزلزالية باستخدام العلاقة:

$$\Delta\sigma = 0.44 * M_0 / (R_S)^3 \quad (7)$$

### 3-4 إعداد قاعدة المعطيات

إن تطبيق طريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة يتطلب أن يكون هذا الطيف مصححاً بالنسبة لطيف الاستجابة لمحطة الرصد الزلزالي لذلك لم يكن هذا التطبيق ممكناً على تسجيلات الشبكة السورية للرصد الزلزالي خلال المرحلة الأولى من تشغيلها (1995-2008) لعدم توفر ملفات الاستجابة لمحطات الرصد خلال تلك المرحلة. قمنا باختيار مجموعة من الهزات الأرضية المسجلة في الشبكة الرقمية الحديثة في سورية بحيث أن قدرها المحلي ( $M_L > 2.0$ ) وذلك لضمان دقة مقبولة في حساب مواقع بؤرها وأن تكون مسجلة في شبكات الرصد المجاورة بهدف مقارنة نتائج حساب قدر الطاقة ( $M_W$ ) مع النتائج المنشورة في المركز الزلزالي الدولي (ISC). لقد بين تفحص التسجيلات المتوفرة في المركز الوطني للرصد الزلزالي أن حوالي (42) هزة وقعت في سورية خلال الفترة 2009-2011 تحقق هذا الشرط ويمكن حساب قدر الطاقة ( $M_W$ ) لها. تبين الخارطة الواردة في الشكل (3) التوزيع الجغرافي للهزات المختارة.

شكل 3. خارطة البؤر الزلزالية للهزات المختارة وتمثل حجمها قدر الهزات المحلية ( $M_L$ ) المحسوب في المركز الوطني للرصد الزلزالي.

### 3-5 برنامج المعالجة

استخدمنا في هذا البحث برنامج معالجة التسجيلات الزلزالية سايزن (Seisan) بشكل أساسي لتمتعه بالعديد من الميزات الإيجابية. فهذا البرنامج معتمدٌ حالياً في المركز الوطني للرصد الزلزالي في سورية، وكذلك العديد من دول العالم، وهذا يشكل ميزة هامة تجنبنا مشاكل عدم التوافق في أنماط ملفات الشكل الموجي وملفات النتائج المرحلية لعمليات المعالجة وملفات النتائج النهائية. وبالإضافة إلى ذلك فهو في نسخته الحالية (Seisan version 10.3, 2015) يتكون من العديد من الأدوات البرمجية التي تسمح بتنفيذ جميع الإجراءات الروتينية المتبعة في الرصد الزلزالي مثل معالجة الإشارة الزلزالية وتميز الأطوار الموجية وحساب مواقع البؤر الزلزالية، حساب القدر الزلزالي بأنواعه المختلفة، رسم الخرائط الزلزالية، إخراج النشرة الزلزالية والبحث في الكاتالوغ الزلزالي وغيرها. وفيما يتعلق بموضوع هذا البحث، يسمح البرنامج (Seisan) بعرض الشكل الموجي لكل مركبة من مركبات محطة الرصد على حدة وبالتالي تطبيق طريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة حيث نعرض المركبة الشاقولية فقط من كل محطة رصد ثم نحدد عليها نافذة زمنية تحوي الموجة القصية (S) فقط. ثم نختار عرض طيف الإزاحة الذي نحدد عليه يدوياً أو آلياً المستوى الطيفي المنبسط عند الترددات المنخفضة ( ) والذي يتقاطع مع الجزء المنحدر من الطيف عند التردد الزاوي ( $F_0$ ) فيقوم البرنامج بحساب العزم الزلزالي ( $M_0$ ) ونصف قطر المنبع ( $R_s$ ) وهبوط الإجهاد ( $\Delta\sigma$ ). نكرر ذلك لجميع المركبات الشاقولية التي تحوي شكل موجي واضح للموجة القصية (S). وأخيراً نقوم بإعادة حساب موقع البؤرة وتحديث النتائج التي تحفظ في قاعدة بيانات البرنامج (Seisan). نكرر الخطوات السابقة لجميع الهزات المختارة.

شكل 4. مثال لحساب قدر الطاقة ( $M_w$ ) باستخدام البرنامج (Seisan). تظهر في الأعلى الإشارة الزلزالية المسجلة بالمركبة الشاقولية (Z) لمحطة الرصد أرنبة (ARNB) وفي الأسفل طيف الإزاحة

المحسوب للنافذة الزمنية الحاوية للموجة القصية (S) والمحددة بالخططين الأخضرين. يحدد الرمز (+) الجزأين المنبسط والمنحدر من الطيف. وتشير الرموز: (M<sub>0</sub>) إلى لوغاريتم العزم الزلزالي مقدراً بنيوتن متر، (OM) إلى لوغاريتم المستوى الطيفي المنبسط عند الترددات المنخفضة مقدراً بنانومتر بالثانية، (F<sub>0</sub>) إلى التردد الزاوي مقدراً بالهرتز، (R) إلى نصف قطر المنبع مقدراً بالكيلومتر، (ST) إلى هبوط الإجهاد مقدراً بالبار، (MW) إلى قدر الطاقة المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة.

#### 4- النتائج ومناقشتها

تم حساب قدر الطاقة (M<sub>w</sub>) للهزات المختارة في هذا البحث والبالغ عددها (42) هزة وقد أظهرت النتائج أن هذا القدر يتراوح بين 2.5 و 5.0 كما هو موضح بالشكل (5).

شكل 5. نتائج حساب قدر الطاقة (M<sub>w</sub>) بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة.

كما تم اشتقاق العلاقة التجريبية بين قدر الطاقة (M<sub>w</sub>) وبين قدر الهزات المحلية (M<sub>L</sub>) المحسوب في المركز الوطني للرصد الزلزالي لنفس الهزات الأرضية وحصلنا على العلاقة:

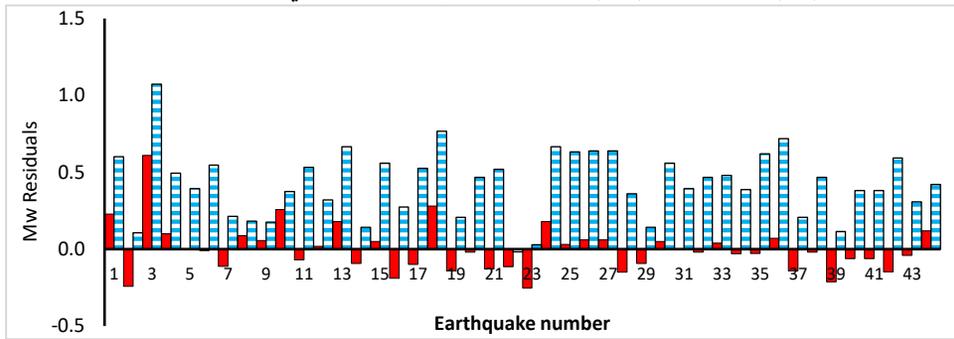
$$M_w = 0.7 * M_L + 1.4 \quad (8)$$

تظهر نتائج حساب قدر الطاقة (M<sub>w</sub>) وجود علاقة خطية واضحة مع قدر الهزات المحلية (M<sub>L</sub>) وقد بلغ معامل الارتباط الخطي (R<sup>2</sup>) قيمة جيدة جداً فكان حوالي 0.90 (الشكل 6) مما يسمح بالاعتماد على هذه العلاقة التجريبية والحصول على نتائج موثوقة لحساب قدر الطاقة (M<sub>w</sub>) للهزات الأصغر. يظهر هيستوغرام الفروقات المتبقية بين قدر الطاقة (M<sub>w</sub>) المحسوب من العلاقة التجريبية (8) بالاعتماد على قدر الهزات المحلية (M<sub>L</sub>) وقدر الطاقة (M<sub>w</sub>) المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة أن هذه الفروقات كانت صغيرة جداً ولم تصل إلى 0.3 إلا في أربعة هزات فقط (الشكل 7). إن المقارنة بين نتائج تطبيق العلاقة (8) التي توصل إليها هذا البحث والعلاقة التجريبية التي توصل إليها (Alissa et al., 2020) بالاعتماد على معطيات المركز الزلزالي

الدولي (ISC) تظهر بوضوح أن العلاقة الجديدة قد أعطت فروقات متبقية أصغر مما يدل على كفاءتها وقرب نتائجها من الواقع (الشكل 8).

شكل 6. العلاقة التجريبية بين قدر الطاقة ( $M_W$ ) المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة و قدر الهزات المحلية ( $M_L$ ).

شكل 7. هيستوغرام الفروقات بين قدر الطاقة ( $M_W$ ) المحسوب من العلاقة التجريبية بالاعتماد على قدر الهزات المحلية ( $M_L$ ) و قدر الطاقة ( $M_W$ ) المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة.



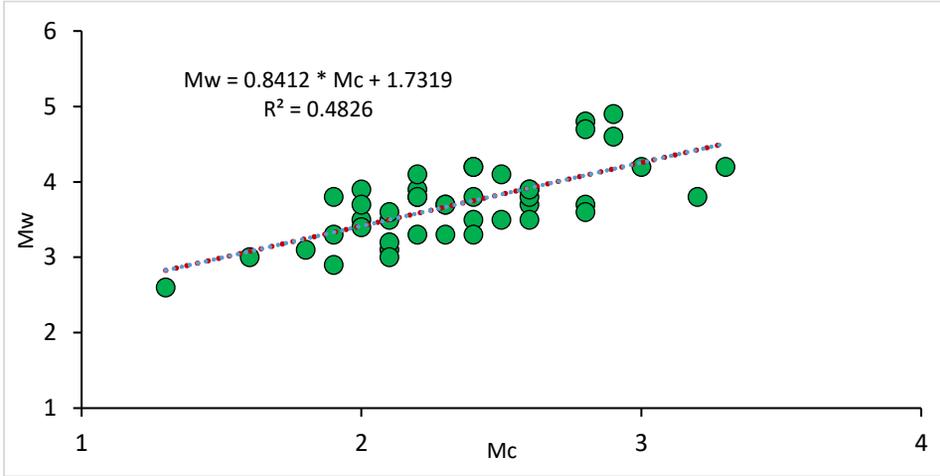
شكل 8. مقارنة بين هيستوغرام فروقات قدر الطاقة ( $M_W$ ) المحسوب من العلاقة التجريبية لهذا البحث باللون الأحمر مع هيستوغرام فروقات قدر الطاقة ( $M_W$ ) المحسوب من العلاقة التجريبية التي توصل إليها (Alissa et al., 2020) باللون الأزرق المخطط.

كما تم اشتقاق العلاقة التجريبية بين قدر الطاقة ( $M_W$ ) وبين قدر نهاية التسجيل ( $M_C$ ) المحسوب في المركز الوطني للرصد الزلزالي لنفس الهزات الأرضية وحصلنا على العلاقة:

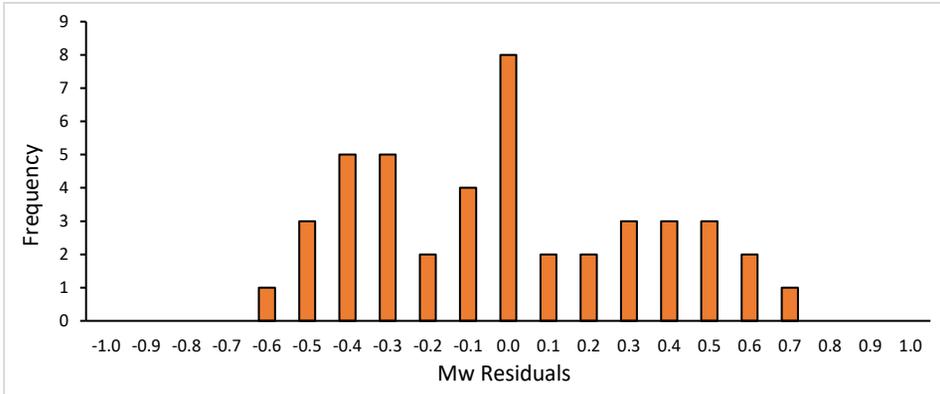
$$M_W = 0.84 * M_C + 1.73 \quad (9)$$

تظهر نتائج حساب قدر الطاقة ( $M_W$ ) وجود علاقة خطية مقبولة مع قدر نهاية التسجيل ( $M_C$ ) حيث كان معامل الارتباط الخطي ( $R^2$ ) ضعيفاً نسبياً ولم يتجاوز 0.48 (الشكل 9) وبالتالي يمكن الاعتماد على هذه العلاقة التجريبية والحصول على نتائج مقبولة لحساب قدر الطاقة ( $M_W$ ) في حال عدم إمكانية تطبيق الطرق الأخرى. يظهر هيستوغرام الفروقات المتبقية بين قدر الطاقة ( $M_W$ ) المحسوب من العلاقة التجريبية (9)

بالاعتماد على قدر نهاية التسجيل ( $M_C$ ) وقدر الطاقة ( $M_W$ ) المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة أن هذه الفروقات كانت مقبولة ولم تتجاوز 0.7 (الشكل 10).



شكل 9. العلاقة التجريبية بين قدر الطاقة ( $M_W$ ) المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة وقدر نهاية التسجيل ( $M_C$ ).



شكل 10. هيستوغرام الفروقات المتبقية بين قدر الطاقة ( $M_W$ ) المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة قدر وبين قدر الطاقة ( $M_W$ ) المحسوب من العلاقة التجريبية التي تربطه مع قدر نهاية التسجيل ( $M_C$ ).

## 5- الاستنتاجات والتوصيات

قمنا في هذا البحث بتطبيق طريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة لحساب قدر الطاقة ( $M_W$ ) للهزات الأرضية المحلية التي حدثت في سورية بالاعتماد على معالجة تسجيلات الشبكة الرقمية الحديثة للرصد الزلزالي خلال الفترة 2009-2011. كما تمت مقارنة النتائج المحسوبة مع نتائج العلاقات التجريبية تربط بين قدر الطاقة ( $M_W$ ) وبين قدر الهزات المحلية ( $M_L$ ) وقدر نهاية التسجيل ( $M_C$ ) وللذين تتضمنهما النشرات الزلزالية الصادرة عن المركز الوطني للرصد الزلزالي.

أظهرت النتائج وجود علاقات خطية واضحة بين قدر الطاقة ( $M_W$ ) وبين قدر الهزات المحلية ( $M_L$ ) حيث كانت النقاط التجريبية ذات توزيع خطي (الشكل 6) وقد بلغ معامل الارتباط الخطي ( $R^2$ ) قيمة جيدة جداً فكان 0.90 مما يسمح بالاعتماد على هذه العلاقات تجريبية والحصول على نتائج موثوقة لقدر الطاقة ( $M_W$ ). تُظهر الفروقات المتبقية بين قدر الطاقة المحسوب بالعلاقة المشتقة وقدر الطاقة المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة أنها كانت صغيرة جداً في معظم الهزات. أما بالنسبة للعلاقة التجريبية بين قدر الطاقة ( $M_W$ ) وبين قدر نهاية التسجيل ( $M_C$ ) فكانت خطية مع وجود بعض التبعر للنقاط التجريبية وقد بلغ معامل الارتباط الخطي ( $R^2$ ) قيمة ضعيفة نسبياً فكان حوالي 0.48. يمكن تفسير التبعر الملاحظ للنقاط التجريبية بتأثير العامل الشخصي إذ أن قدر نهاية التسجيل ( $M_C$ ) يعتمد على الدقة في تحديد لحظة تلاشي الأمواج الزلزالية واختفائها ضمن الضجيج الطبيعي وهذا التحديد قد لا يكون سهلاً في بعض الأحيان ويحتاج إلى بعض الخبرة لذلك من المتوقع أن يختلف من شخص لآخر. عموماً كانت الفروقات المتبقية بين قدر الطاقة ( $M_W$ ) المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة وبين قدر الطاقة المحسوب من العلاقة التجريبية المشتقة بالاعتماد على قدر نهاية التسجيل ( $M_C$ ) والملاحظ في قاعدة معطيات الشبكة السورية خلال الفترة 2009-2011 قد كانت ضمن الحدود المقبولة، وبالتالي يمكن الاعتماد على تلك العلاقة التجريبية والحصول على نتائج مقبولة لقدر الطاقة ( $M_W$ ) من خلال تحويل قدر نهاية التسجيل ( $M_C$ ) الوارد في النشرات الزلزالية الصادرة عن المركز الوطني للرصد الزلزالي. إن العلاقات التجريبية المشتقة في هذا البحث مفيدة وعملية لحساب قدر

الطاقة ( $M_W$ ) سواء للهزات الصغيرة المسجلة بالشبكة الرقمية الحديثة أو لجميع الهزات المسجلة بالشبكة التشابهية القديمة (1995 – 2008).

## References

- Abdul-Wahed M. K. and Asfahani J., 2018, The recent instrumental seismicity of Syria and its implications, *Geofísica Internacional* (2018) 57-2: 79-92.
- Abdul-Wahed M. K., Asfahani J., Al-Tahan I., 2011, A combined methodology of multiplet and composite focal mechanism techniques for the identification of the seismological active zones in Syria. *Acta Geophysica*, 59, 967-992, DOI:10.2478/s11600-011-0024-2.
- Abdul-Wahed M. K. & Al-Tahan I., 2010, Preliminary outlining of the seismological active zones in Syria. *Annals of geophysics*, 53, 1-9.
- Alissa M., Abdul-Wahed M. K., Shoukeir N., Zeizafoun S., 2020. Empirical relationships for deriving the moment magnitude (Mw) for earthquakes in Syria. *Magazine of Albaath-University*, Vol. 42, Nb. \*\*, PP. \*\*-\*\*. (Accepted).
- Bagh S., Alhasan A., and Tello S., 2014, Local Magnitude Calibration of the Syrian National Digital Seismological Network, *Seismological Research Letters* Volume 85, Number 2, 324-333. doi: 10.1785/0220130021
- Barazangi, M., Seber, D., Chaimov, T., Best, J. & Sawaf, T., 1993. Tectonic evolution of the northern Arabian plate in western Syria, in: Boschi et. al., (eds.) *Recent Evolution and Seismicity of the Mediterranean Region*, pp. 117-140, Kluwer Academic Publisher, the Netherlands.
- Brew G., Barazangi M., Al-Maleh A. K., Sawaf T., 2001. Tectonic and geologic evolution of Syria, *GeoArabia*, Vol. 6, PP 573-616.
- Brune JN. 1970. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *J Geophys Res.* 75:4997–5009. doi:10.1029/JB075i026p04997.
- Chaimov, T. A. & Barazangi, M., Al-Saad, D., Sawaf, T. & Gebran, A., 1990. Crustal shortening in the Palmyride fold belt, Syria, and implications for movement along the Dead Sea fault system, *Tectonics*, 9, 1369-1386.

- Dakkak R., Daoud M., Mreish M., Hade G., (2005), The Syrian National Seismological Network (SNSN): Monitoring a major continental transform fault, *Seismological Research Letters*, Vol. 76, PP 437-445.
- Garfunkel Z., Zak Y. & Freund R., (1981), Active faulting in the Dead Sea rift, *Tectonophysics*, Vol. 80, PP. 1-26.
- Hanks TC, Kanamori H. 1979. A moment magnitude scale. *J Geophys Res.* 84:2348–2350. doi:[10.1029/JB084iB05p02348](https://doi.org/10.1029/JB084iB05p02348).
- Howell BF. 1981. On the saturation of earthquake magnitude. *Bull Seismol. Soc. Am.* 51:1013–1018.
- Hussein HM, Abou Elenean KM, Marzouk IA, Peresan A, Korrat IM, Abu El-Nader E, Panza GF, El-Gabry MN. 2008. Integration and magnitude homogenization of the Egyptian earthquake catalogue. *Nat Hazards.* 47:525–546. doi:[10.1007/s11069-008-9237-3](https://doi.org/10.1007/s11069-008-9237-3).
- Iwata T, Irikura K. 1988. Source parameters of the 1983, Japan Sea earthquake sequence. *J Phys Earth.* 36 (4):155–184. doi:[10.4294/jpe1952.36.155](https://doi.org/10.4294/jpe1952.36.155).
- Jost ML, Herrmann RB. 1989. A student's guide to and review of moment tensor. *Seismol Res Lett.* 60(2):37–57. doi:[10.1785/gssrl.60.2.37](https://doi.org/10.1785/gssrl.60.2.37).
- Kanamori H. 1977. Energy-release in great earthquakes. *J Geophys Res.* 82:2981–2987. doi:[10.1029/Jb082i020p02981](https://doi.org/10.1029/Jb082i020p02981).
- Ottmoller L, Havskov J. 2003. Moment magnitude determination for local and regional earthquakes based on source spectra. *Bull Seismol Soc Am.* 93:203–214. doi:[10.1785/0120010220](https://doi.org/10.1785/0120010220).
- Richter CF. 1935. An instrumental earthquake magnitude scale. *Bull Seismol Soc Am.* 25:1–32.
- SEISAN, 2015. The earthquake analysis software, Version 10.3, Jens Havskov and Lars Ottemöller, Department of Earth Science, University of Bergen, Allégaten 41, 5007 Bergen, Norway, 2015.

## **دراسة سلوك اجهاد-تشوه لعينات اسطوانية من الببتون ذاتي الدمك SCC والمنتجة من المواد المحلية**

**اسم الباحث : م.عمار طواشي-دكتوراه هندسة إنشائية-كلية الهندسة  
المدنية-جامعة البعث.**

**موبايل:0956125924، أيميل: atawashi@albaath-univ.edu.sy**

**المشرف: دم سليمان العامودي-أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية-  
جامعة البعث.**

**موبايل:0944880263، أيميل: dr.s.amoudi.1@gmail.com**

### **Study of Stress-Strain behavior of self-compacting concrete SCC Cylindrical Samples Produced of Local Materials**

Researcher Name: Eng. Ammar Tawashi – PhD of Structural  
of Civil Engineering – AL-Baath University. Engineering – Faculty

Mobile: 0956125924, E: mail [atawashi@albaath-univ.edu.sy](mailto:atawashi@albaath-univ.edu.sy)

Supervisor: Dr. Soleman Al-Amoudi -Assistant Professor at the  
Faculty of Civil Engineering - Al-Baath University.

Mobile: 0944880263, E: mail [dr.s.amoudi.1@gmail.com](mailto:dr.s.amoudi.1@gmail.com)

## دراسة سلوك اجهاد- تشوه لعينات اسطوانية

### من البيتون ذاتي الدمك SCC والمنتجة

### من المواد المحلية

#### ملخص:

إن الهدف الأساسي من البحث القدرة على انتاج بيتون ذاتي التوضع (الدمك) من مواد البناء المحلية فقط، يتم إنتاجه واختباره تجريبياً، ويتمتع بقابلية تشغيل عالية، قادر على المرور والانسياب ضمن العنصر البيتوني والتغلغل بسهولة بين قضبان التسليح دون حدوث انفصال للمزيج البيتوني، مما يمكننا من استخدامه في اعمال التشييد، والترميم والتدعيم وبأقل التكاليف للإنتاج.

تم إنتاج ثلاثة خلطات بيتونية بثلاثة عيارات للاسمنت ( $550,500,450 \text{ kg/m}^3$ )، و ثلاثة انواع من الملدنات (HRW, Sikament, S) ونسبتي ملدن (2%, 2.5%) من وزن الاسمنت، وتم دراسة خصائص هذا النوع من البيتون بحالتيه الطرية والصلبة لتحديد المقاومة الاسطوانية المميزة، وتمثيل منحنى إجهاد-تشوه (6,6) للعينات المختبرة على عمر 28 يوم، ومقارنة النتائج مع نماذج (6,6) لدراسات وأبحاث سابقة، وأوضحت النتائج تقارباً يصل حتى (80%)، وأن أقرب منحنى يوصف الحالة هو منحنى العالم بوبوفيتش POPOVICS بجزئه الصاعد، ومنحنى الكود الاوربي EURO-CEB بجزئه الهابط.

#### الكلمات المفتاحية:

(البيتون المسلح- بيتون ذاتي التوضع- ذاتي الدمك- الملدنات- اجهاد-تشوه- قابلية التشغيل)

## Study of Stress-Strain behavior of self-compacting concrete SCC Cylindrical Samples Produced of Local Materials

### Abstract:

The main purpose of this research is the ability to produce self-compacting concrete from only local building materials, it is produced and tested experimentally, and it has a high operability and able to pass and flow within the concrete member and easily penetrate between the reinforcing bars without the occurrence of separation or accumulation of the concrete mixture This enables us to use it in construction, restoration and strengthen at the lowest costs of production.

Three concrete mixtures have been produced with three grades of cement (550,500, and 450 kg/m<sup>3</sup>) and three types of chemical plasticizers (HRW, Sikament, and S) and two ratios (2%, and 2.5%) of the weight of cement, The characteristics of this type of concrete in its fresh and solid states were studied to determining the cylindrical strength, measuring the stress-strain curve ( $\sigma, \epsilon$ ) for the tested samples at the age of 28 days, and comparing the results with models ( $\sigma, \epsilon$ ) for previous reference studies and research, the results showed That the convergence of the curves reaches up to (80%), and that the closest curve to describe the case is the POPOVICS curve with its ascending part and the EURO-CEB curve with its descending part.

### key words:

(Reinforced Concrete- self-compacting concrete SCC- plasticizer - stress - strain - operability)

## 1- المقدمة:

يعتبر البيتون المسلح بأنواعه أهم مواد الإنشاء وأكثرها استخداماً، وأول استخدام حديث له في القرن التاسع عشر قد سبب ثورة تكنولوجية في صناعة البناء وأصبحت واحدة من أكثر مواد البناء شيوعاً.

البيتون المسلح التقليدي والذي تم استخدامه على مدى طويل في تشييد الأبنية التجارية والسكنية واجه عدة تغييرات في تركيبته، من خلال تغيير نسب وأوزان المواد الداخلة بتركيبه أو من خلال إضافة مواد (طبيعية أو مصنعة) محسنة له، بنسب محددة، والهدف من ذلك الوصول لخليط بيتوني مُحسَّن ومُطَوَّر يعطي خواص مرغوبة بحالته الطرية ومقاومة عالية لمختلف الإجهادات المؤثرة فيه بالحالة الصلبة.

توازياً مع ذلك، البحث للحصول على خليط بيتوني يحقق قابلية تشغيل عالية ومقاومة عالية نسبياً كان جُلَّ اهتمام العديد من الباحثين.

ومع التطور التكنولوجي بالصناعة الإنشائية تم الوصول لبيتون حديث ذاتي التوضع والرص SCC ويعد أهم التطورات في صناعة البيتون والبناء في الوقت الحالي، فقد ازداد استخدامه بصورة ملحوظة في السنين الأخيرة بأعمال التشييد الإنشائي كبديل عن استخدام البيتون العادي، لقابلية التشغيل العالية التي يتمتع بها البيتون ذاتي التوضع فهو قادر على الإنسياب والمرور خلال العناصر الإنشائية بتأثير وزنه الذاتي فقط، من خلال إضافة مواد مُحسَّنة لمواصفات المزيج البيتوني [1]، دون حصول انفصال بمكوناته ومهما كانت كثافة التسليح، بلاضافة للميزات الأخرى التي يتميز بها البيتون ذاتي التوضع مقارنة مع البيتون العادي من حيث الجودة، وتخفيض تكاليف التشييد المتعلقة برج البيتون فهو قادر على رص نفسه بنفسه بطريقة كاملة ومنظمة وبالتالي طرد الهواء المحصور وتكوين أسطح بيتونية ملساء وكثيفة، إضافةً لخفض العمالة المطلوبة لصبه و الزمن اللازم لأعمال التشييد [6]، وحيث اعتمد إنتاج هذا النوع من البيتون بصورة أساسية على نسب تجريبية، اختلفت هذه الخلطات باختلاف خصائص المواد والاضافات الداخلية في تركيبها، إلا أن هناك عدد من المعايير الخاصة وضعت لتحديد خواص هذا البيتون، ولتجنب الحصول على خلطات سيئة من حيث المقاومة و قابلية التشغيل المطلوبة.

فقد قام الباحثون (AL-HARIRI S and ALAEED M) من جامعة دمشق [2] بإعداد بحث يوصف تكنولوجيا إنتاج البيتون ذاتي التوضع عالي المقاومة باستخدام المواد المحلية وأهميته في صناعة التشييد، واستخدموا عدة عيارات للأسمنت وعدة نسب ل (W/C) والسيليكيا فيوم كمادة مألثة، وتم الحصول على مقاومات عالية تصل وسطياً حتى (50 Map).

كما قدم الباحثون (Selvi.K, T.Mahendran, N.Atthikumar) من جامعة ناندها في الهند [8] بإعداد بحث يوصف الخواص الطازجة لبيتون ذاتي الدمك تم انتاجه باستخدام الرماد المتطاير كمادة مألثة اضافية وبنسب مختلفة للخلطات وبالإضافة بدراسة عامل مرونة عينات اسطوانية مصنوعة من هذا البيتون.

ودرس الباحث (Jianjie Yu) من جامعة هانغ كونغ نانشنغ في الصين [7] تأثير إضافة مواد مطاطية بنسب مختلفة على التغيير المنتظم لأداء تشوه البيتون ذاتي التوضع بدراسة منحني اجهاد-تشوه.

مما سبق نلاحظ قيام الباحثون باستخدام مواد مألثة ناعمة مثل الرماد المتطاير والسيليكيا فيوم في انتاج البيتون ذاتي التوضع لتحسين خصائصه، مع محاولة بحثية لاستخدام مواد مطاطية لدراسة أثره على تشوه البيتون، هذا ماتجنبناه في بحثنا من استخدام مواد إضافية مكلفة وغير متاحة بشكل دائم، ومحاولة انتاج بيتون ذاتي التوضع من المواد المحلية فقط يحقق المطلوب بجالتيه الطرية والصلبة.

## 2- مشكلة البحث

إن استخدام البيتون ذاتي التوضع (SCC) في أعمال التشييد الإنشائي بديلاً عن البيتون العادي يعتبر من الأمور الجيدة والمثيرة للإهتمام لإنتاج بيتون ذو مواصفات مرغوبة وقابلية تشغيل جيدة بعد أن كان استخدامه مقتصرًا لتطبيقات الإصلاح، ورغم التقدم العلمي الكبير في مجال إنتاج البيتون ذاتي التوضع لاستخدامه في تطبيقات الصب في المكان والبيتون الجاهز، إلا أنه لا توجد طريقة ثابتة خاصة ومرجع معتمد يحدد نسب مدروسة للمواد الداخلة في إنتاجه من حصويات وإسمنت ومواد إضافية أخرى، والإعتماد على نسب تجريبية لأبحاث سابقة ودراسات خاصة من خلال إجراء

خطات تجريبية غايتها الوصول إلى إنتاج بيتون ذو قابلية تشغيل جيدة بأقل كلفة اقتصادية وأعلى مقاومة ممكنة، والتي قد اعتمدت على مبدأ أن النسب المثلى من المواد اللازمة لإنتاج البيتون ذاتي التوضع تختلف باختلاف مواصفات المواد المختارة بحد ذاتها، فذلك يعتبر ناحية جدل في البيتون ذاتي التوضع إلى حد الآن، حيث أن الإختيار الخاطئ للمواد والنسب غير المناسبة تؤدي إلى نتائج خاطئة، وعدم التوصل إلى بيتون ذو مواصفات وخواص محددة يحقق المقاومة المطلوبة في العناصر المصنوعة منه للعوامل المحيطة.

### 3- هدف البحث:

يهدف بحثنا لإجراء مقارنة سلوكية لعينات مصنعة مخبرياً من البيتون ذاتي التوضع SCC من المواد المحلية، ودراسة السلوك الاجهادي-التشوهي (6,6) للعينات المخبرية ومقارنتها مع نماذج منحنيات تجريبية بحثية.

### 4- الدراسة المرجعية:

يُعرف البيتون ذاتي التوضع SCC بأنه بيتون عالي التدفق، ثابت ومستقر [1] ويمكن أن ينتشر من مكان الضخ ويملئ القوالب ويغلف فولاذ التسليح دون أي دمك ميكانيكي أو رص يدوي.

وبالتالي فإن خليط البيتون ذاتي التوضع يصنف بأنه بيتون ذاتي (الدمك) إذا توفرت فيه المتطلبات الأساسية لقابلية التشغيل [11] التالية:

- قابلية الملئ العالية تحت تأثير وزنه الخاص (Filling Ability).
- مقاومة الانفصال العالية (الاستقرار) (Segregation Resistance).
- القدرة على التدفق والانسياب العالية (Passing Ability).

### 4-1 طرق اختبار قابلية التشغيل للبيتون ذاتي التوضع:

هناك العديد من طرق الاختبار المستخدمة لمراقبة قابلية تشغيل البيتون ذاتي التوضع SCC للتحقق من الخلطة المشكلة في الميدان، فإلى الآن لا يوجد طريقة معتمدة

عالمياً لقياس الخواص الطرية له [5]، وبالتالي كان لابد من تطبيق عدد من طرق الاختبار الخاصة بقابلية الملى، ومقاومة الانفصال، والقدرة على التدفق والانسياب لكل خطة مشكلة للتأكد من تحقق المتطلبات المذكورة آنفاً.

إن قابلية التشغيل في البيتون ذاتي التوضع يعتمد على عدة عوامل [10] منها: (نوع المنشأة - معدات الضخ و نقاط توضع البيتون - كثافة فولاذ التسليح ودرجة تعقيد الكوفراج - تفاصيل التصميم الهيكلي).

وهناك العديد من المعايير التي يجب أن تؤخذ بالاعتبار عند تصميم خلطات البيتون ذاتي التوضع للوصول للمواصفات المطلوبة للخطة ومنها: (الخواص الهندسية لعنصر المصبوب - خواص المواد الداخلة بالخطة - تكنولوجيا الصب وغيرها..).

#### 4-2 المواد اللازمة لإنتاج البيتون ذاتي التوضع SCC:

لما كانت المواد الداخلة في تركيب خليط SCC مشابهة لتلك المستخدمة في إنتاج البيتون التقليدي من حصويات خشنة وناعمة وإسمنت، إلا أنه يجب إضافة بعض المواد الأخرى للخطة البيتونية لتحسين قابلية التشغيل لها [3]، والحصول على بيتون ذو جودة مطلوبة، وتتطلب هذه الاعتبارات الاختيار السليم والجيد للمواد اللازمة لتشكيل الخطة البيتونية SCC ومطابقتها للمواصفات القياسية المطلوبة للوصول للخصائص المذكورة أعلاه والحصول على مقاومات بيتونية عالية، ويمكن أن تتوزع المواد وفق التالي [5]: ( الحصويات الخشنة - الحصويات الناعمة - المواد الناعمة والاسمنت - الماء - الإضافات (كالملدنات) وغيرها).

#### 5- تكنولوجيا إنتاج البيتون ذاتي التوضع SCC

كما ذكرنا سابقاً أنه لا توجد طريقة ثابتة ومعتمدة في إنتاج البيتون ذاتي التوضع SCC، إلا أنه يوجد عدد من الخطات البيتونية ذاتية التوضع SCC تم إنتاجها واختبارها في الدلائل الإرشادية الهندسية وأبحاث أكاديمية سابقة، تعتمد بشكل أساسي على نسب وأوزان تقديرية للمواد الداخلة في تركيبها، وتختلف بدورها باختلاف الخصائص الفيزيائية والكيميائية والمواصفات الهندسية لتلك المواد، بما يحقق الهدف المحدد لاستخدامها من

حيث قابلية التشغيل والمقاومات المطلوبة، إلا أن لجميع تلك الخلطات التجريبية الشكل العام نفسه لمراحل تركيبها والتي تتلخص [5]:

( تحديد هبوط الانسياب "قطر الانتشار" و  $T_{50} (sec)$  الهدف - اختيار نسبة الحصىات الخشنة - تقدير المحتوى الاسمنتي المطلوب والماء - حساب حجم العجينة والملاط - تحديد الخليط - إجراء خلأط تجريبية - إجراء الاختبارات اللازمة للتحقق من سمات البيتون ذاتي التوضع من حيث قابلية التشغيل - ضبط نسب الخليط بناءً على نتائج الاختبارات - إجراء المزيد من الاختبارات من أجل مطابقة النتائج، حتى يتم تحقيق الخصائص المطلوبة من الخليط).

#### 6- مراقبة جودة البيتون ذاتي التوضع SCC:

مراقبة الجودة أمر بالغ الأهمية بالنسبة للبيتون ذاتي التوضع SCC، ويجب إجراء اختبار مراقبة الجودة بواسطة موظفين ذوي خبرة [1]، للتحقق من الخواص المطلوبة لهذا النوع من البيتون وذلك عن طريق إجراء العديد من التجارب المخبرية ومطابقة تحقيقه للمواصفات المطلوبة أم لا.

#### 7- الدراسة التجريبية في مخبر البيتون المسلح في جامعة البعث

من أجل إنتاج مزيج بيتوني متجانس من البيتون ذاتي التوضع SCC ضمن المخبر فإن ذلك يتطلب القيام بعدة مراحل وهي كالتالي:

- تحديد المواد الأساسية الداخلية في تركيب الخلطة البيتونية والتي تختلف باختلاف الخواص الفيزيائية والهندسية لها وتحدد بدورها خواص المزيج البيتوني بحالته الطرية والصلبة.
- تحديد نسب ووزان المواد المحلية الداخلة بتشكيل الخليط البيتوني.
- إجراء تجارب الخواص الطرية للمزيج البيتوني والتي تتضمن خصائص قابلية التشغيل والتي تعطي بدورها المزيج الأمثل.

- إجراء تجارب الخواص الصلبة بتحديد قيمة مقاومة البيتون واستنتاج مخطط (6,6)، ومقارنة السلوك الاجهادي والتشوهي للبيتون المنتج.

#### 7-1 مواد البناء الاساسية المستخدمة في انتاج البيتون ذاتي التوضع SCC:

تم التحقق من المواد المستخدمة في إنتاج البيتون ذاتي التوضع SCC محلي الصنع، من خلال إجراء التجارب المخبرية الأساسية عليها، في مخابر كلية الهندسة المدنية في جامعة البعث، وبالاعتماد على المواصفات الفنية للمواد المضافة والتي تحددها الشركات المنتجة في الجمهورية العربية السورية.

#### • الحصىات الخشنة:

حصىات متدرجة، مكسرة، حادة الحواف وذات سطح متوسط الخشونة، مأخوذة من مقالع منطقة حسياء في ريف حمص كما هو موضح بالشكل رقم(1)، مطابقة للمواصفات القياسية السورية رقم (332) لعام 2007، والتي تعتبر ذات جودة عالية في انتاج البيتون المسلح فقد تم استخدام حصىات خشنة [4] ذو مقياس أقصى 12.5mm.



الشكل رقم (1) الحصىات الخشنة

#### • الحصىات الناعمة:

تم استخدام نوعين من الحصىات الناعمة وهي كالتالي:  
الرمل القيرواني كما موضح بالشكل رقم(2).  
رمل الكسر (من مقالع حسياء-ريف حمص).



الشكل رقم (2) الحصويات الناعمة

● المواد الناعمة و الإسمنت البورتلاندي:

من أجل الحصول على مزيج بيتوني ذاتي التوضع SCC مصنع من المواد المحلية المتاحة، يمكننا استخدامه في التطبيقات الهندسية المختلفة، ويحقق المتطلبات الأساسية منه من حيث قابلية التشغيل والمقاومة المقبولة، تم استخدام الاسمنت البورتلاندي ماركة 32.5 نيوتن/م<sup>2</sup> مطابق للمواصفات القياسية السورية-1 رقم 3800 عام 2015 كمادة ناعمة أساسية للخليط ممثلاً عن المواد الناعمة الاخرى المحسنة للخليط، وبعده عيارات كما موضح بالجدول رقم (1)، وذلك للتحقق من أثر المحتوى الاسمطي على مقاومة الببتون وقابلية تشغيل الخليط.

الجدول رقم(1) عيارات الاسمنت المستخدمة

عيار الاسمنت ضمن المزيج Kg/m <sup>3</sup>		
450 Kg/m <sup>3</sup>	500 Kg/m <sup>3</sup>	550 Kg/m <sup>3</sup>

● الماء:

تم استخدام ماء صالح للشرب، نظيف، خالي من الزيوت والمواد الضارة، فقد أبدت الخلطات الببتونية استجابة عند النسبة  $\frac{W}{C} = 0.39$  ، لذلك تم اعتماد هذه النسبة لجميع خلطات SCC.

● الاضافات:

تم استخدام ثلاث أنواع من الملدنات، وبنسبتين (2.5% , 2%) من وزن الاسمنت [3] في الخلطات التجريبية كما موضح بالجدول (2).

الجدول رقم(2) أنواع الملدنات

S	Sikament	HRW	أنواع الملدنات
	2%, 2.5%		نسبة الملدن من وزن الاسمنت

## 8- التجارب المخبرية

قبل البدء بإجراء التجارب يجب التأكد من عدم اختلاف محتوى الرطوبة في الركام والتي يمكن أن تسبب بدورها خلل في اعداد الخلطة البيتونية، ولها أثر كبير على قابلية تشغيل SCC مقارنة مع الخلطة التقليدية، حيث وضعت المواد ضمن فرن كهربائي على درجة 110C، ولمدة 24 ساعة للتخلص من الرطوبة الزائدة ضمنها.

قمنا بإجراء عدد من الخلطات البيتونية التجريبية باستخدام الخط اليدوي، فقد تم تحديد النسب والأوزان اللازمة لكل خلطة بالاستعانة بالدراسات والأبحاث السابقة، كما إن عملية خط البيتون تمت على مراحل متتالية [10] وفق التالي:

(تحديد الأوزان والنسب اللازمة للخلطة التجريبية باستخدام ميزان الكتروني دقيق - الخط الجاف للمواد الحصوية والاسمنت - اضافة الماء والملدن بشكل تدريجي - البدء بتجارب ضبط الجودة و قابلية التشغيل مع الاستمرار في خط المزيج).

8-1 الخلطات التجريبية ذات المحتوى الاسمنتي 550 kg/m3:

ضمن هذه الخلطات تم استخدام عيار اسمنت 550 kg/m3، نسبة  $\frac{W}{C} = 0.39$  ثابتة كما موضح بالجدول (3)، وثلاثة أنواع من الملدانات (HRW, Sikament, S)، فقد استجابت الخلطات الثلاث عند نسبة ملدن 2%، فقد تم ملاحظة أن سلوك المزيج الحاوي على الملدن "HRW" كان الأفضل من حيث قابلية تشغيل وتجانس الخليط والتي تم التحقق منها باستخدام تجارب قابلية التشغيل المذكورة سابقاً، والمزيج الحاوي على الملدن "Sikament" كان أقل جودة، فقد لوحظ نزيف و حدوث انفصال طفيف للمزيج، أما بالنسبة للخليط الحاوي على الملدن "S" كان الأسوء، فقد أعطى مزيج بيتوني بقابلية تشغيل غير مثالية ما أن يخلط المزيج إلا ويبدأ بالتجمد، لذلك تم استبعاده في الخلطات التجريبية اللاحقة.

الجدول رقم (3) مواد البناء المستخدمة بانتاج خلاط البيتون عند عيار اسمنت 550 Kg/m3

النسبة/الكمية	الوحدة	مواد البناء المستخدمة
2%	%	نسبة الملدن

0.39	-	W/C
550	kg/m <sup>3</sup>	الاسمنت
625	kg/m <sup>3</sup>	الرمل
1000	kg/m <sup>3</sup>	البحص

### 8-1-1 الخطة الأولى من الببتون ذاتي التوضع SCC عيار اسمنت 550 Kg/m<sup>3</sup>

#### وباستخدام الملدن HRW:

ضمن هذه الخطة أُستخدم المضاف الكيميائي (HRW)، وبنسبة 2% من وزن الاسمنت، نسبة  $\frac{W}{C} = 0.39$  و عيار أسمنت 550 Kg/m<sup>3</sup>، وكانت نتائج قابلية التشغيل للخطة الببتونية SCC وفق التالي:

- اختبار هبوط الانسياب (قطر الانتشار) SF والزمن  $T_{50}$ (sec):

وَضِعَ المخروط بمنتصف الدائرة 50 cm الشكل رقم(3)، تم ملئه من الببتون ذاتي التوضع SCC، ومن ثم رفعه مرة واحدة للأعلى وأخذ القياسات. وفق النتائج الموضحة بالجدول رقم (5) يعتبر الببتون ذو لزوجة عالية وقابلية ملئ وجريان جيدة، ويمكن تصنيفه تحت الصنف SF1 والذي يمكن استخدامه في منشآت الببتون ذات التسليح الخفيف أو غير المسلح-المقاطع الصغيرة.



الشكل رقم (3) يوضح هبوط الانسياب

- اختبار J-ring:

وَضِعَ مخروط أبرامز بمنتصف الدائرة 50 cm وأُحيط بالحلقة J، من أجل تمرير المزيج من قضبان التسليح [11]، ومن ثم اتباع نفس خطوات تجربة هبوط الانسياب كما موضح



بالشكل رقم(4)، فوفقاً للنتائج الموضحة بالجدول رقم (5) يعتبر الخليط ذو لزوجة مقبولة و قدرة جيدة على المرور والجريان ضمن قضبان التسليح.

الشكل رقم (4) يوضح تجربة J-ring

• اختبار الانفصال SR:

وَضِعَت عينة من المزيج الببتوني على المنخل ذو الفتحة 4.75mm، كما موضح بالشكل رقم(5)، دون رص أو دمك لها، ومن ثم التحقق من ثبات المزيج وعدم قابليته للانفصال وقد تبين أن انفصال الخليط ضمن الحدود المسموحة.



الشكل رقم (5) يوضح تجربة الانفصال

• اختبار مؤشر الثبات المرئي (VSI):

أعطى المملدن حالة عدم وجود انفصال أو نزف في مركز انتشار الببتون، وبالتالي يمكن ان يأخذ تصنيف عالي الثبات، و يكون رقم مؤشر الثبات المرئي  $VSI=0$  كما موضح بالشكل رقم (6).



الشكل رقم (6) يوضح المزيج البيتوني وتقييمه مرئياً

• المقاومة الاسطوانية:

قمنا بصب عينات أسطوانية بأبعاد (30×15 سم) من الخلطة الاولى كما هو موضح بالشكل رقم (7)، لوحظ وجود تعشيش منخفض على سطح إحدى العينات، غُمرت بالماء وتم إخراجها قبل 24 ساعة من كسرها في عمر 7 أيام للتنبؤ بقيم المقاومات المتوقعة و على عمر 28 يوم الجدول رقم(4).

الجدول رقم (4) المقاومة الاسطوانية المميزة

المقاومة الأسطوانية على عمر 28 يوم MPA	خواص العينات				عينات SCC
	قوة الكسر kN	الوزن الحجمي t/m <sup>3</sup>	الوزن kg	الحجم cm <sup>3</sup>	
31.19	554	2.36	12.53	5301	HRW-550-00
37.61	665	2.38	12.56	5268	HRW-550-01
31.12	550	2.35	12.46	5301	HRW-550-02

- تم قياس السلوك الميكانيكي للعينات الاسطوانية[9]، فقد كان منحنى ( اجهاد- تشوهξ-6 ) كما هو موضح بالشكل رقم(10).



الشكل رقم (7) يوضح الاسطوانات البيتونية

**8-1-2 الخلطة الثانية من البيتون ذاتي التوضع SCC عيار اسمنت 550 Kg/m<sup>3</sup>**

**وباستخدام الملدن SIKAMENT:**

ضمن هذه الخلطة أستخدم المضاف الكيميائي (SIKAMENT)، بنسبة 2% من وزن الاسمنت، نسبة  $\frac{W}{C} = 0.39$  و عيار أسمنت 550 Kg/m<sup>3</sup>، ومن خلال نتائج قابلية التشغيل للخلطة البيتونية تبين:

- يعتبر الببتون ذو قابلية ملئ وجريان جيدة، ويمكن تصنيفه تحت الصنف SF1 والذي يمكن استخدامه في منشآت الببتون ذات التسليح الخفيف أو غير المسلح-المقاطع الصغيرة.
- يعتبر الخليط ذو لزوجة مقبولة و قدرة عالية على المرور والجريان ضمن قضبان التسليح.
- انفصال الخليط فوق الحدود المسموحة كما هو موضح بالجدول رقم(5).
- حالة وجود كومة حصويات مجمعة دون حدوث نرف، وبالتالي يمكن ان يأخذ تصنيف منخفض الثبات كما موضح بالشكل رقم (8)، و رقم مؤشر الثبات المرئي VSI=2.



الشكل رقم (8) يوضح المزيج الببتوني وتقييمه مرئياً

- تم قياس السلوك الميكانيكي للعينات الاسطوانية على عمر 28 يوم [9]، فقد كان منحنى (اجهاد-تشوه 6-8) وفق الشكل رقم (10).

### **3-1-8 الخلطة الثالثة من الببتون ذاتي التوضع SCC عيار اسمنت 550 Kg/m<sup>3</sup> وباستخدام الملدن S:**

## دراسة سلوك اجهاد-تشوه لعينات اسطوانية من الببتون ذاتي الدمك SCC والمنتجة من المواد المحلية

ضمن هذه الخلطة أُستخدم المضاف الكيميائي (S)، بنسبة 2% من وزن الاسمنت، نسبة  $\frac{W}{C} = 0.39$  و عيار أسمنت 550 Kg/m<sup>3</sup>، ومن خلال نتائج قابلية التشغيل للخلطة الببتونية تبين:

- يعتبر الببتون ذو قابلية ملئ وجريان مقبولة، ويمكن تصنيفه تحت الصنف SF2 والذي يمكن استخدامه للعديد من التطبيقات العادية.

- يعتبر الخليط ذو لزوجة عالية جداً و قدرة منخفضة على المرور والجريان ضمن قضبان التسليح.

- انفصال الخليط ضمن الحدود المسموحة كما هو موضح بالجدول رقم(5).

- حالة وجود هالة ملاط وكومة حصويات كبيرة مجمعة في مركز انتشار الببتون كما موضح بالشكل رقم(9)، مع ملاحظة حدوث انفصال ونزيف، يأخذ تصنيف منخفض الثبات جداً، ورقم مؤشر الثبات المرئي VSI=3.



الشكل رقم (9) يوضح المزيج الببتوني وتقييمه مرئياً

- تم قياس السلوك الميكانيكي للعينات الاسطوانية على عمر 28 يوم [9]، فقد

كان منحنى (اجهاد-تشوه 6-6) وفق الشكل التالي رقم (10).

يبين الجدول رقم(5) أدناه خصائص قابلية التشغيل للخلطات المختبرة، والمشكلة من

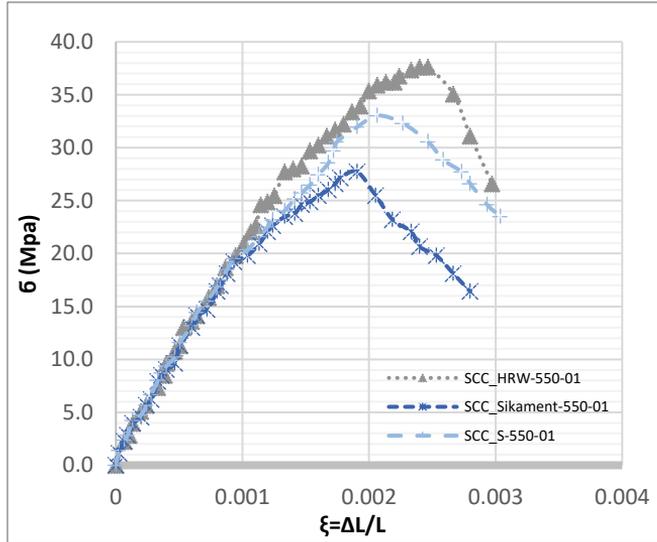
نسب وأوزان موحدة للمواد والاضافات الداخلة بتصنيعها عند عيار اسمنت 550

Kg/m<sup>3</sup>، باختلاف فقط نوع الملدن:

الجدول رقم (5) خصائص قابلية تشغيل الخلطات الببتونية المخبرية عند عيار اسمنت 550 Kg/m<sup>3</sup>

الحدود المقبولة	S	SIKAMENT	HRW	المدن الوحدة	خصائص قابلية التشغيل
	الخلطة الثالثة	الخلطة الثانية	الخلطة الأولى		
55-65	68	55	58	cm	هطول الانسياب
-	8.86	6.47	5.4	sec	زمن الانسياب
≥ 80%	72%	98%	86%	(D <sub>J</sub> %)	J-ring
≤ 15%	4.85%	13.30%	6.42%	(SR%)	اختبار الانفصال
-	VSI=3	VSI=2	VSI=0	-	VSI

كما يوضح الشكل رقم (10) ادناه منحنيات (اجهاد-تشوه ξ-6) للخلطات المختبرة المذكورة أعلاه:



الشكل رقم (10) منحنيات (اجهاد-تشوه ξ-6) لعينات SCC المختبرة عند عيار اسمنت 550 Kg/m<sup>3</sup>

## 2-8 الخلطات التجريبية ذات المحتوى الاسمتي 500 kg/m<sup>3</sup>:

ضمن هذه الخلطات تم استخدام عيار اسمنت 500 kg/m<sup>3</sup>، نسبة  $\frac{W}{C} = 0.39$  ثابتة، ونوعين من الملدانات (HRW, SIKAMENT)، حيث استجابت الخلطات عند نسبة ملدن 2.5%، وفي هذه الحالة أيضاً سلوك المزيج الحاوي على الملدن "HRW" كان الأفضل من حيث قابلية تشغيل وتجانس الخليط، والمزيج الحاوي على الملدن "SIKAMENT" كان أقل جودة، فقد لوحظ أيضاً حدوث نزف وانفصال طفيف للمزيج.

### 8-2-1 الخطة الأولى من الببتون ذاتي التوضع SCC عيار اسمنت 500 Kg/m3

#### وباستخدام الملدن HRW:

ضمن هذه الخلطة أُستخدم المضاف الكيميائي (HRW)، بنسبة 2.5% من وزن الاسمنت، نسبة  $\frac{W}{C} = 0.39$  و عيار أسمنت 500 Kg/m3، حيث كانت نتائج قابلية التشغيل للخلطة الببتونية SCC كما هو موضح في الجدول رقم(6)، من خلال التحقق باستخدام تجارب الخواص الطرية الموضحة بالشكل رقم (11):



الشكل رقم (11) يوضح تجارب الخواص الطرية

وفق النتائج الموضحة يعتبر الخليط ذو لزوجة وقابلية ملئ جيدة، والقدرة على المرور والجريان ضمن قضبان التسليح عالية، وانفصال الخليط ضمن الحدود المسموحة، ألا هناك ملاحظ بوجود نرف طفيف للمزيج وبالتالي يمكن أخذ مؤشر الثبات المرئي  $VSI=1$ .

تم قياس السلوك الميكانيكي للعينات الاسطوانية على عمر 28 يوم، فقد كان منحنى (اجهاد-تشوه 6-8) وفق الشكل التالي رقم (12).

### 8-2-2 الخطة الثانية من الببتون ذاتي التوضع SCC عيار اسمنت 500 Kg/m3

#### وباستخدام الملدن SIKAMENT:

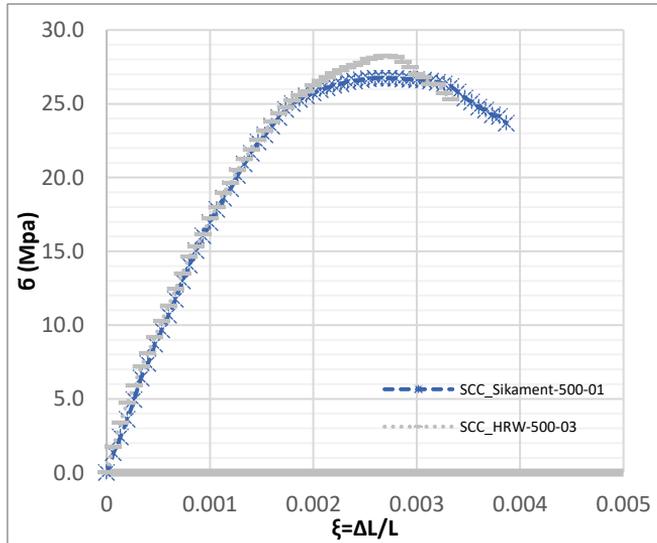
ضمن هذه الخلطة أُستخدم المضاف الكيميائي (SIKAMENT)، بنسبة 2.5% من وزن الاسمنت، نسبة  $\frac{W}{C} = 0.39$  و عيار أسمنت 500 Kg/m3، وفقاً للنتائج الموضحة في الجدول أدناه رقم(6)، يعتبر الخليط ذو لزوجة عالية وقابلية ملئ جيدة، والقدرة على المرور والجريان ضمن قضبان التسليح مقبولة، وانفصال الخليط ضمن الحدود المسموحة، ويلاحظ وجود نرف طفيف وتشكل كومة حصويات في مركز انتشار المزيج، وبالتالي يمكن أخذ مؤشر الثبات المرئي  $VSI=2$ ، كما تم قياس السلوك الميكانيكي

للعينات الاسطوانية على عمر 28 يوم، فقد كان منحنى (اجهاد-تشوه  $\xi$ -6) وفق الشكل التالي رقم (12).

الجدول رقم (6) خصائص الخلطات البيتونية المخبرية عند عيار اسمنت 500 Kg/m<sup>3</sup>

الحدود المقبولة	SIKAMENT	HRW	الملدن	خصائص قابلية التشغيل
	الخلطة الثانية	الخلطة الأولى	الوحدة	
55-65	54	52	cm	هطول الانسياب
-	7.58	4.86	sec	زمن الانسياب
$\geq 80\%$	89%	96%	( $D_f\%$ )	J-ring
$\leq 15\%$	5.68%	4.06%	(SR%)	اختبار الانفصال
-	VSI=2	VSI=1	-	VSI

كما يوضح الشكل رقم (12) ادناه منحنيات (اجهاد-تشوه  $\xi$ -6) للخلطات المختبرة المذكورة أعلاه:



الشكل رقم (12) منحنيات (اجهاد-تشوه  $\xi$ -6) لعينات SCC المختبرة عند عيار اسمنت 500 Kg/m<sup>3</sup>

### 3-8 الخلطات التجريبية ذات المحتوى الاسمنتي 450 kg/m<sup>3</sup>:

ضمن هذه الخلطات تم استخدام عيار اسمنت 450 kg/m<sup>3</sup>، نسبة  $\frac{W}{C} = 0.39$  ثابتة، ونوعين من الملدانات (HRW, SIKAMENT)، كما موضح بالشكل رقم (13)، لم تستجب الخلطات حتى عند نسبة ملدن 2.5%، فلم تعطي أي من الخلطات الخواص المثالية لقابلية التشغيل التي يتميز بها البيتون ذاتي التوضع لذلك تم استبعاد هذه النسب.



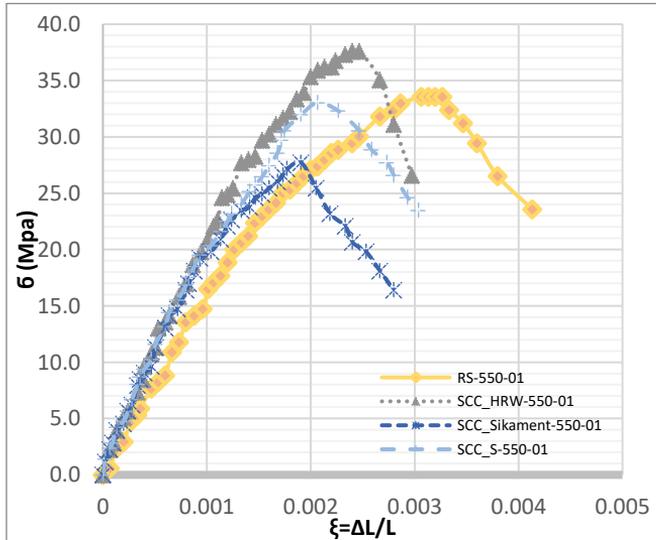
الشكل رقم (13) المزيج البيتوني التجريبي ذي المحتوى الاسمنتي 450 kg/m<sup>3</sup>

### 4-8 الخلطات المرجعية:

وهي الخلطة المتشكلة من نفس نسب وأوزان الحصى والمواد الاسمنتية المستخدمة في انتاج البيتون ذاتي التوضع SCC، بدون استخدام مواد اضافية محسنة، وذلك من أجل الحصول على بيتون تقليدي مرجعي، حيث استجابت الخلطة عند نسبة  $\frac{W}{C} = 0.45$ .

### 1-4-8 الخلطة المرجعية ذي المحتوى الاسمنتي 550 kg/m<sup>3</sup>:

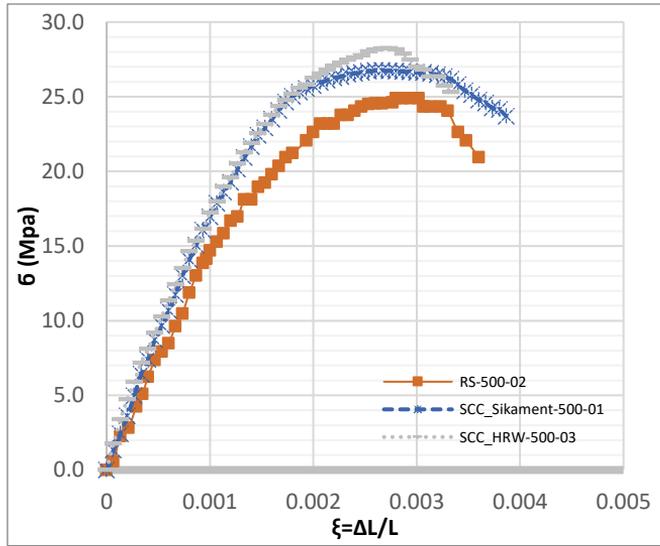
تم قياس منحني (اجهاد-تشوه- $\xi$ -6) للعينات الاسطوانية على عمر 28 يوم، ومقارنته مع منحنيات (اجهاد-تشوه- $\xi$ -6) للعينات المصنوعة من البيتون ذاتي التوضع SCC من نفس عيار الاسمنت، كما موضح بالشكل رقم(14).



الشكل رقم (14) منحنيات (6-ξ) لعينات SCC والمرجعي المختبرة عند عيار اسمنت 550 Kg/m3

### 2-4-8 الخطة المرجعية ذي المحتوى الاسمتي 500 kg/m3:

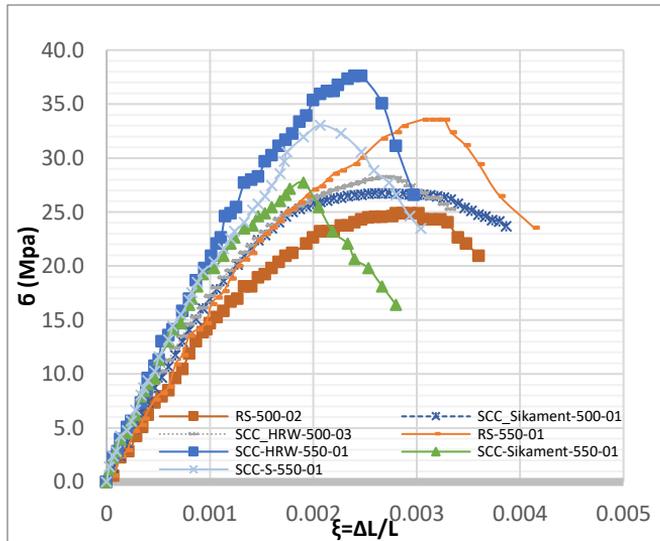
يوضح الشكل أدناه رقم(15) منحنيات (اجهاد-تشوه ξ-6) للعينات المصنوعة من البيتون ذاتي التوضع SCC والبيتون المرجعي عند عيار الاسمنت 500 kg/m3.



الشكل رقم (15) منحنيات (6-ξ) لعينات SCC والمرجعي المختبرة عند عيار اسمنت 500 Kg/m3

مما سبق يمكننا أن نوضح سلوك العينات البيتونية المصنوعة من البيتون ذاتي الدمك SCC محلية الصنع وسلوك عينات البيتون المرجعي، عند عيارات أسمنت ونسب ملدن المختلفة في الشكل رقم

(16) ادناه:



الشكل رقم (16) منحنيات (6-8) لعينات SCC والمرجعي المختبرة عند عيارات الأسمنت المختلفة

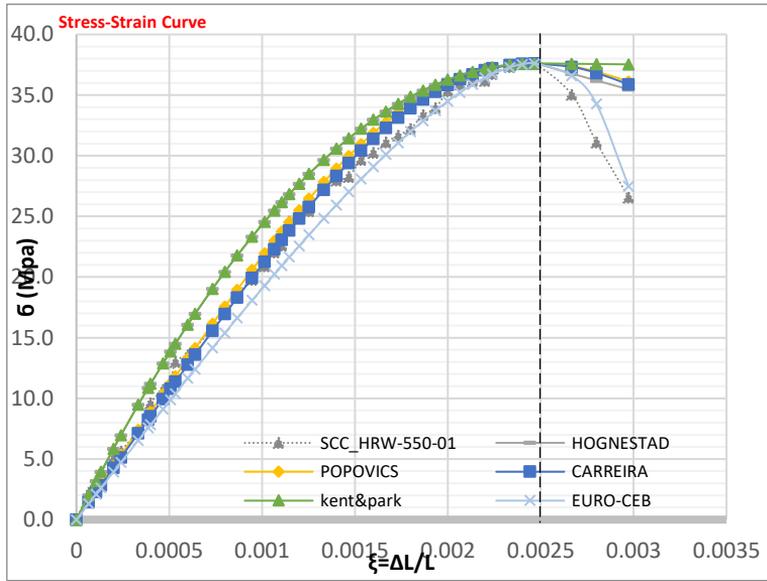
## 9- المناقشة والاستنتاجات:

- يمكننا أن نستنتج من التجارب المخبرية على خلطات SCC والببتون المرجعي التالي:
- استعمال الملدن كمضاف كيميائي للمزيج الببتوني ذاتي التوضع تمكنا من تخفيض نسبة W/C ضمن الخليط حتى 13% مقارنة مع الببتون المرجعي، مما أنعكس إيجاباً على مقاومة الببتون.
  - وفقاً للمنحنيات الموضحة بالشكل رقم (14) نلاحظ الزيادة في مقاومة الضغط الببتونية عند انتاج ببتون ذاتي التوضع SCC محلي الصنع بعيار اسمنت (550 kg) وباستخدام ملدن HRW، تصل حتى (12%) مقارنة مع الببتون المرجعي.
  - وفقاً للمنحنيات الموضحة بالشكل رقم (16) نلاحظ زيادة في مقاومة الضغط الببتونية للببتون ذاتي التوضع SCC محلي الصنع، تصل حتى (35%) عند استخدام نسبة (2%) من الملدن HRW، مقارنة مع نفس النسبة من الملدن SIKAMENT.
  - كما نجد أن استخدام نسبة مقدارها (2%) من الملدن HRW عند عيار أسمنت (550kg/m<sup>3</sup>)، أعطت معدل زيادة في المقاومة على الضغط تصل حتى (33%)، مقارنة مع نسبة (2.5%) عند عيار أسمنت (500kg/m<sup>3</sup>) من نفس الملدن.
  - من الناحية الإقتصادية فإن فارق التكلفة بسيط ولا يذكر، بأستخدام عيار أسمنت (550kg/m<sup>3</sup>) مع نسبة ملدن (2%) من وزنه، مقارنة مع عيار أسمنت (500kg/m<sup>3</sup>) مع نسبة ملدن (2.5%) من وزنه، لكن خواص قابلية التشغيل كانت أفضل للخلطة الببتونية ذات العيار الأكبر.

## 10- دراسة سلوكية لعينات البيتون المصنوعة من البيتون ذاتي التوضع

## :SCC

للتحقق من السلوك الإجهادي-التشوهي للعينات المختبرة، تم إجراء مقارنة سلوكية تتمثل بمنحنيات (6-ξ) والتي تم استنتاجها من أبحاث ودراسات سابقة، الشكل رقم(17)، كمنحنيات HOGNESTAD, POPOVICS, CARREIRA وغيرها، ومن ثم قياس نسبة التقارب بينها وبين المنحنيات التجريبية واستنتاج المنحني الأقرب الذي يوصف الحالة السلوكية للمادة.



الشكل رقم (17) منحنيات (6-ξ) لعينات SCC ومنحنيات الدراسات المرجعية

**المناقشة:** مما سبق نلاحظ وجود تقارب كبير بين منحنيات (6-ξ) الدراسات السابقة المرجعية وبين منحنى SCC خاصة في الجزء الصاعد من المنحني  $\xi_C < \xi_{CO}$  فقد تجاوزت نسبة التقارب 80%، بينما هذا الأمر يختلف في جزء المنحني الهابط  $\xi_C > \xi_{CO}$  حيث نجد الاختلاف كبير ومتفاوت بين منحنيات (6-ξ)، وقد أعطت المقارنة بأن أقرب منحنى يوصف سلوك SCC محلي الصنع، هو منحنى POPOVICS بجزئه الصاعد ومنحنى الكود الأوربي EURO-CEB بجزء المنحني الهابط.

## 11- النتائج:

- القدرة على إنتاج بيتون ذاتي التوضع (الدمك) SCC من المواد المحلية، باستخدام الاسمنت فقط ممثلاً عن الاضافات الناعمة المألثة الأخرى، ذو انسيابية فائقة، متماسك ومتجانس، وذو مقاومة عالية نسبياً بالحالة الصلبة.
- إمكانية إنتاج بيتون ذاتي التوضع (الدمك) SCC محلياً، باستخدام الأضافات المقللة للماء ذات جودة عالية، مما ساهم بانخفاض النسبة W/C حتى 13% وأنعكس إيجاباً على قابلية تشغيل الخليط ومقاومة البيتون بحالته الصلبة.
- القدرة على تحديد الخواص الإجهادية والتشوهية من خلال تمثيل سلوك البيتون ذاتي التوضع (الدمك) محلي الصنع بيانياً بمنحنيات إجهاد-تشوه (6-ع).
- التحسن في السلوك الاجهادي للعينات المصنوعة من SCC مقارنة مع البيتون المرجعي يصل وسطياً حتى نسبة 12%، وتحسن السلوك التشوهي يصل وسطياً حتى نسبة 16.8%.

## 12- المراجع العلمية:

- [1] ACI Committee, 2007-**Self-Consolidating Concrete, Emerging Technology Series**, American Concrete Institute, ACI 237R-07 First Printing, U.S.A, 34p.
- [2] AL-HARIRI. S and ALAEED. M, 2013-**Technology of Producing Ultra Strength-Self Compacting Concrete (SCC) by Using Local Materials and Its Importance in Construction Industry**, Master Thesis, Damascus University, Syria, 153p. (In Arabic)

- [3] ASTM, 2003-**Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete**, Annual Book of ASTM Standard American Society for Testing and Materials, C 494 – 03, United States, Vol: 04.02.
- [4] ASTM, 1999-**Standard Specification for Concrete Aggregates**, American Society for Testing and Materials, C 33–99ae1, United States, 8p.
- [5] ASTM, 2007-**Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory**, American Society for Testing and Materials, C 192/C 192M-02, United States, 8p.
- [6] BIBM CEMBUREAU EFCA EFNARC and ERMCO, 2005-**The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use**, SCC European Project Group, SCC 028, European Federations, 68p.
- [7] Jianjie Yu, 2016 - Research on the Mechanical Properties of Self-compacting Waste Rubberised Aggregate Concrete, **International Conference on Civil, Transportation and Environment**, (2016).
- [8] Selvi.K, T.Mahendran and N.Atthikumar, 2016 - Experimental Investigation on Modulus of Elasticity of Self-Compacting Concrete, **Journal of Applied Physics and Engineering (JAPE)**, Vol.1, No.2 (2016), p:5-8.
- [9] The Syrian Arab Code, 2012-**The design and implementation the construction by reinforced concrete**, Syrian Engineers Association, Fourth Edition, Damascus, Syria, 402p. (In Arabic)
- [10] The Syrian Arab Code, 2016-**Guidelines for the Strengthening and Rehabilitation of Existing Buildings and Structures for Earthquake Resistance**, Syrian Engineers Association, First Edition, Annex (4), Damascus, Syria, 295p. (In Arabic)
- [11] TIMO. W, 2003 -FRESH PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETE (SCC), **Otto – Graf Journal**, Vol.14. (10), p:179-188.



## السلوك الإنشائي للجوائز البيتونية المسلحة المعرضة للهب النار المباشر

اسم الباحث : عمار طواشي-دكتوراه هندسة إنشائية-كلية الهندسة  
المدنية-جامعة البعث.

موبايل:0956125924، أيميل: [atawashi@albaath-univ.edu.sy](mailto:atawashi@albaath-univ.edu.sy)

المشرف: دم.سليمان العامودي-أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية-  
جامعة البعث.

موبايل:0944880263، أيميل: [dr.s.amoudi.1@gmail.com](mailto:dr.s.amoudi.1@gmail.com)

## Structural Behavior of RC Beams Subjected to the Direct Fire Flame

Researcher Name: Ammar Tawashi – PhD in Structural Engineering  
– Faculty of Civil Engineering – AL-Baath University.

Mobile: 0956125924, E: mail [atawashi@albaath-univ.edu.sy](mailto:atawashi@albaath-univ.edu.sy)

Supervisor: Dr. Soleman Al-Amoudi -Assistant Professor at the  
Faculty of Civil Engineering - Al-Baath University.

Mobile: 0944880263, E: mail [dr.s.amoudi.1@gmail.com](mailto:dr.s.amoudi.1@gmail.com)

## السلوك الإنشائي للجوائز البيتونية المسلحة المعرضة للهب النار المباشر

### ملخص:

إن الغرض من البحث هو قياس السلوك الإنشائي لجوائز بيتونية مسلحة تم تصنيعها مخبرياً باستخدام البيتون التقليدي من خلال إخضاعها للهب نار يتم توليده بنظام تطبيق لهب خاص، عن طريق شلمون حراري يعمل باستخدام الغاز المنزلي البيوتان "الغاز البترولي المسال" لإنتاج الطاقة موضوع ضمن حيز خاص لإجراء هذا النوع من التجارب.

تم إنتاج ست عينات من الجوائز البيتونية المسلحة باستخدام البيتون التقليدي و عيار للإسمنت ( $550 \text{ kg/m}^3$ )، حيث تم كسر عينتين مرجعيتين لدراسة الخصائص الميكانيكية وتمثيل منحنيات قوة-انتقال ( $P, \Delta$ )، ومن ثم إخضاع العينات المتبقية للهب النار لمدتين زمنييتين نصف ساعة وساعة ( $1\text{h} , 0.5\text{h}$ )، وباستخدام طريقتين للتبريد، التبريد التدريجي بالهواء والتبريد المفاجئ باستخدام المياه، وبعد ذلك القيام بإجراء مقارنة سلوكية بينها وبين العينات المرجعية.

بينت النتائج زيادة بقيم انتقالات الجوائز البيتونية بحالتي التبريد، وانخفاض بقيمة المقاومة تصل حتى  $2.48\%$  بحالة التبريد التدريجي، و يصل حتى  $7.70\%$  بحالة التبريد المفاجئ للعينات المعرضة لمدة نص ساعة، وانخفاض بقيمة المقاومة تصل حتى  $5.23\%$  بحالة التبريد التدريجي، ويصل حتى  $7.74\%$  بحالة التبريد المفاجئ للعينات المعرضة لمدة ساعة.

### الكلمات المفتاحية:

(البيتون المسلح، الجوائز، انتقال-قوة، قوى الانعطاف، لهب النار)

## Structural Behavior of RC Beams Subjected to the Direct Fire Flame

### Abstract:

The purpose of the research is to define the structural behavior of RC beams that were produced in the laboratory using the classic concrete by subjecting them to a fire flame generated by special thermal system that works using domestic gas butane "liquefied petroleum gas" to produce energy, placed in a special space to conduct this type of experiment.

Six samples of RC beams were produced using classic concrete, the cement grade (550 kg/m<sup>3</sup>). Two reference samples were fractured to study the mechanical properties with Load-Deflection curves (P,Δ), and the remaining samples were subjected to fire flame for two periods time of half an hour and an hour (1h and 0.5h), using two methods of cooling, gradual cooling with air and sudden cooling using water, and then proceed a behavioral comparison between them and the reference samples.

The results showed an increase in the beams deflection in both two cases of cooling, and a decrease in the value of the resistance up to **2.48%** in the case of gradual cooling, a decrease of up to **7.70%** in the case of sudden cooling of the samples exposed for 0.5 hour, and a decrease in the value of the resistance up to **5.23%** in the case of gradual cooling, and a decrease of up to **7.74%** in the case sudden cooling of exposed samples for 1 hour.

### key words:

(Reinforced Concrete, Beam, Load-Deflection, Flexure, Fire Flame)

## 1- المقدمة:

المنشآت البيتونية المسلحة هي النظام الهيكلي الأكثر استخداماً في سورية وجميع أنحاء العالم تقريباً، حيث تمت دراسة سلوك هذه المنشآت وأنماط فشلها بشكلٍ واسع تحت تأثير العديد من العوامل الداخلية منها أو الخارجية.

إن تدهور مقاومة العناصر البيتونية بسبب التعرض قصير الأمد لدرجات الحرارة المرتفعة ( لهب النار Fire Flame ) جذب الانتباه في السنوات الماضية، حيث إن سلوك البيتون المعرض للحريق يعتمد على المكونات الداخلة في تركيبه ويتحدد بالتفاعلات المعقدة أثناء عملية الحريق، وتختلف حالات فشل البيتون المعرض للحريق وفقاً لطبيعة الحريق ونظام التحميل ونوع الهيكل الإنشائي. علاوة على ذلك، يمكن أن يحدث الفشل نتيجة أسباب مختلفة مثل انخفاض مقاومة الإنعطاف أو الشد، وفقدان قوى القص أو قوى الضغط.

إن إحدى مزايا البيتون المسلح على مواد البناء الأخرى هي خصائصها المتأصلة لمقاومة الحريق [4]، ومع ذلك، يوصى بأن تكون المنشآت البيتونية المسلحة مصممة لتأثير الحريق، مما يحقق بقاء تلك العناصر الإنشائية المعرضة للحريق قادرة على تحمل الأحمال الميتة والحية دون الانهيار على الرغم من أن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى انخفاض في مقاومة وصلابة البيتون المسلح.

توصي دلائل تصميم الأبنية وقواعد البناء ببعض المتطلبات الهيكلية المقاومة للحريق، وذلك لضمان بقاء السلامة لفترة معينة في ظل ظروف الحريق، بما يسمح بإجلاء السكان بأمان ووصول رجال الإطفاء. ومع ذلك، فإن سلوك المبنى بعد الحريق، وتقييم الحالة باستحقاقها للإصلاح أم لا، هو نقطة اهتمام أخرى تحتاج إلى مزيد من البحث.

قام العديد من الباحثين حول العالم بإجراء أبحاث لدراسة أثر الحريق على العناصر البيتونية المسلحة منها التجريبي ومنها من اهتم بالعمليات الحسابية لدراسة الأثر:

قدم كل من **Zahraa Hussien AL-Dulffy-Dr. Amer Farouk Izzet** في جامعة بغداد في العراق عام 2018 [5]، بدراسة تأثير درجة الحرارة العالية (لهب النار) على سلوك الجوائز البيتونية لاحقة الجهد، حيث لوحظ عند التعرض الى درجات الحرارة (300، 500، و700) سيليزي، فإن المتبقي من التحمل للنماذج المبردة بصورة تدريجية (84، 72، 60) % بالتوالي، بينما للتي بردت بالطريقة السريعة كانت (80، 64، 52) % بالتوالي لنفس درجات الحرارة.

ونشر كل من **Mahmoud E. Kamara- David N. Bilow** من جمعية الأسمنت البروتلاندي في الولايات المتحدة الأمريكية عام 2008 بحث بعنوان النار والمنشآت البيتونية، هدف البحث دراسة تأثير النار على مواد البناء (البيتون-التسليح) [3]، توصل لمنحنيات توصف العلاقة بين معامل المرونة، إجهاد الضغط، وإجهاد الخضوع لفولاذ التسليح مع درجة الحرارة على التوالي وكل على حدى.

كما قدم **M. PETRU** من جامعة أياسي التقنية في رومانيا عام 2008 بتقديم طريقة مبسطة لتصميم العناصر البيتونية المسلحة تحت أثر النار [7]، وأعطى منحنيات حرارية تقريبية لتوزع الحرارة ضمن المقطع البيتوني.

إن ما يميز بحثنا هو القيام بتجارب واقعية لكارثة الحريق من خلال تطبيق لهب نار مباشر على الجوائز البيتونية يتم توليده من مصدر غاز منزلي ومعرض لظروف تهوية حقيقية، حيث يتم تبريدها تدريجياً، وبشكل مفاجئ باستخدام المياه مما يحاكي وصول رجال الاطفاء لموقع الكارثة.

## 2- أهمية البحث

يكتسب بحثنا هذا أهمية من خلال ايجاد أسلوب حقيقي متبع لدراسة تأثير الحريق ( لهب النار المباشر) على الجوائز البيتونية المسلحة، ومعرفة سلوك العنصر الإنشائي تحت هذا الأثر، باستخدام متغيرات محددة، وذلك من خلال مناقشة بعض حالات الدراسة التجريبية وتقييم أثر الحريق على العناصر البيتونية المسلحة ومحاكاة كارثة الحريق بأن تكون قريبة من الظروف العملية قدر الإمكان، التي تحصل عادة في المباني السكنية أو أشكال المباني المختلفة المصنوعة من البيتون المسلح العادي.

### 3- هدف البحث:

إن بحثنا هذا يهدف إلى إجراء دراسة تجريبية، للسلوك الإنشائي للجوائز البيتونية المسلحة المصنوعة من البيتون التقليدي والمعرضة للهب النار المباشر من خلال: دراسة التغيير في السلوك الإنعطافي للجوائز المجهدة استثمارياً، والتحقق من شكل الانهيار للجوائز البيتونية المسلحة المصنوعة من البيتون التقليدي والمعرضة للحريق (لهب النار Fire Flame) تحت تأثير قوى الانعطاف.

### 4- الدراسة المرجعية:

تُعتبر النار ظاهرة فيزيائية وكيميائية تتفاعل بشدة مع الطبيعة، [7] يمكن أن تكون العلاقة بين اللمب وزمنه ومحيطه غير خطية بشكلٍ دائم، وغالباً ما يكون التقدير الكمي للعمليات هذه معقداً، يتم التعبير عن سلوك النار بمتغيرات عدة من بينها:

الخصائص الهندسية للمبنى.

الخصائص الحرارية لجدران وأسقف المبنى.

كثافة حمل النار و ظروف التهوية.

وتشمل الجوانب الأخرى لسلوك الحريق في المباني المتأثرة، المسائل الهامة التالية:

سلوك احتراق المواد، بما في ذلك فقدان الكتلة ومعدلات إطلاق الطاقة.

مراحل تطور النار.

الحرائق مكتملة الاشتعال ودور التهوية وتطور درجة الحرارة والزمن.

### 4-1 سلوك احتراق المواد:

بمجرد إشعال مادة ما، ينتشر الحريق عبر جسم المادة إلى أن يصبح مشتعلاً بشكلٍ كامل، حيث يعتمد انتشار الحريق الذي ينتقل وفقه اللمب إلى سطح المادة على مَكون الوقود، اتجاه اللمب، نسبة السطح إلى الكتلة، الحرارة المنعكسة وإمدادات الهواء.

### 4-2 مراحل تطور الحريق:

بشكلٍ عام تبدأ الحرائق من مصدر الاشتعال وينتقل الدخان الناتج من الجسم المحترق بواسطة عمود دخاني ويتجمع في الجزء العلوي من النموذج كطبقة عائمة،

ينقل عمود الدخان أيضاً الحرارة الناتجة عن الحريق إلى طبقة الدخان، مما يتسبب في زيادة طبقة الدخان في الأعلى ودرجة الحرارة أيضاً، تشع طبقة الدخان هذه الطاقة إلى الوقود غير المحترق في المقصورة، مما يؤدي إلى زيادة درجة الحرارة.

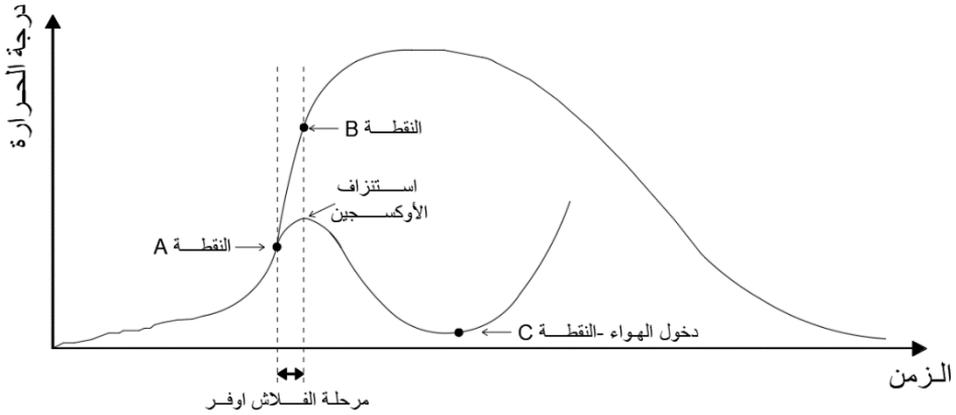
ينتشر الحريق إلى عناصر أخرى إما عن طريق الإشعاع الناتج عن اللهب المتصل بالعنصر المحترق أو عبر طبقة الدخان، عندما تشتعل العناصر الأخرى، تزداد درجة حرارة طبقة الدخان أكثر، مشعةً مزيداً من الحرارة، يشار إلى هذه المرحلة بأسم "Flashover" الفلاش أوفر، من المرجح أن تشتعل العناصر بالتتابع، حيث يعتمد تتابع الإشتعال على مكون وتوزيع مصدر الوقود والتهوية.

3-4 الحرائق مكتملة الإشتعال ودور التهوية وتطور درجة الحرارة والزمن:

الحريق مكتمل الإشتعال هو الذي يصل إلى مرحلة حرق مستقرة، حيث يكون معدل فقدان كتلة النموذج ثابتاً نسبياً خلال تلك الفترة، قد يحدث التوازن نتيجة لإمداد التهوية المحدود (في حرائق التحكم في التهوية) أو بسبب خصائص الوقود (الحرائق التي يتم التحكم فيها بالوقود).

عموماً العمليات التي تعبر عن الحريق بشكلٍ أساسي هي تدفقات الحرارة من الوقود إلى المناطق المحيطة به، وغالباً ما تتم المناقشة من حيث تطور درجة الحرارة في النموذج حيث تنقسم إلى مراحل مختلفة، يُظهر الشكل رقم (1) تبايناً مثالياً لدرجة الحرارة مع مرور الزمن، في حالة عدم وجود محاولة للسيطرة على الحريق، المراحل الرئيسية لظاهرة لهب النار هي: الإشتعال، النمو، الفلاش أوفر، النار مكتملة الإشتعال، انتهاء الكارثة، يمكن اعتبار الإشتعال عملية تتميز بزيادة في درجة الحرارة أعلى بكثير من المحيط، يمكن أن يحدث إما عن طريق الإشعال التجريبي أو عن طريق الإشعال اللاإرادي.

بعد الإشتعال، قد تنمو النار بمعدل بطيء أو سريع، وهذا يتوقف على نوع الاحتراق ونوع الوقود والتفاعل مع البيئة المحيطة ومعدل التهوية.



الشكل رقم (1) المراحل الرئيسية في عملية الاحتراق

## 5- الاستجابة الإنشائية للحريق

تُعرّف مقاومة الحريق بأنها قدرة المبنى لردع الحريق، أو توفير الحماية منه (ASTM 2001a) [1] ، والمشمول أولاً: في تعريف مقاومة الحريق هي قدرة العنصر على الحفاظ على سلامته الإنشائية واستقراره رغم تعرضه للنيران، ثانياً: بالنسبة لبعض العناصر مثل الجدران والعناصر المستوية كالأسقف، فإن مقاومة الحرائق تنطوي أيضاً على العمل كحاجز لحد ومنع انتشار لهب الحريق.

يُعرّف معدل مقاومة الحريق (أو تصنيف مقاومة الحرائق)، على أنه المدة الزمنية التي يمكن أن تتحمل فيها مجموعة (سقف أو أرضية أو جوائز أو جدار أو عمود) "حريق قياسي".

ونظراً لأن المقصود من الحريق القياسي هو أن يكون اختباراً مقارناً وليس المقصود منه التنبؤ بالأداء الفعلي، لذا فإن معدل مقاومة الحريق مع الزمن التي يتم الحصول عليها من الاختبارات المخبرية يجب عدم الاعتماد عليها للإشارة إلى المدة المحددة التي سيصمد فيها المبنى أمام الانهيار من حريق فعلي.

## 6- تقييم مقاومة الحريق:

تستند متطلبات كود الأبنية للحماية من الحرائق الإنشائية على الاختبارات المخبرية المعتمدة وفقاً لـ ASTM E119، "كود طرق الاختبار القياسي لتجارب الحريق الخاصة بتشييد الأبنية ومواد البناء (2000)" [2]، في هذه التجارب تتعرض مجموعة عناصر

البناء مثل الأسقف والجوائز والأرضيات والأعمدة والجدران نظروف حرارية يتم إنشاؤها في فرن خاص، حيث وضعت معايير للأداء وفقاً للوظائف التي يؤديها العنصر الإنشائي [8] وهي:

- وظيفة مقاومة الأحمال فقط: المقاومة الميكانيكية (المعيار  $R$ ).
- وظيفة الفصل فقط: السلامة (المعيار  $E$ )، والعزل (المعيار  $I$ ).
- وظيفة الفصل ومقاومة الأحمال: المعايير  $R$  و  $E$  والمعيار  $I$ .

فعند التعرض للحريق القياسي، يجب على العناصر الامتثال للمعايير  $I, R, E$ . كما حدد الكود العربي السوري ثلاثة شروط يجب أخذها بالحسبان أثناء التصميم [9]، وهي:

- المحافظة على المقاومة الإنشائية.
- مقاومة انتشار اللهب.
- مقاومة انتقال الحرارة.

يتم تطبيق الشرط الأول على جميع العناصر الإنشائية، بينما الشرطان الثاني والثالث، يتم تطبيقهما على الأسقف والجدران، لأن لهما وظيفة الفصل بين الفراغات.

#### 7- الدراسة التجريبية في مخبر البيتون المسلح بكلية الهندسة المدنية

تلعب الجوائز البيتونية المسلحة دوراً أساسياً وفعالاً في النظام الإنشائي البيتوني، من خلال تحمل ونقل الأحمال الشاقولية المطبقة على البلاطات إلى الأعمدة، وتحمل القوى الجانبية التي يمكن أن تتعرض لها عند تصميمها كإطارات بيتونية خاصة لمقاومة الأحمال الجانبية كالزلازل.

يعتمد تصميم الجوائز البيتونية المسلحة على عدة عوامل وأهمها الغرض من استخدام العنصر، المواد المصنوع منها، موقع الجائز وطبيعة الاستناد، والأحمال المعرض لها. أما بالنسبة للغرض من استخدام الجائز فهي تعتمد على النظام الإنشائي المراد استخدامه، والذي يشمل جملة العناصر السطحية والخطية والحجمية، والتي يمكن أن تتضمن النظام الهيكلي البيتوني بشكل كامل أو النظام الفولاذي أو حتى النظام الهيكلي المختلط.

ولما كانت الجوائز هي صلة الوصل بين العناصر السطحية الممثلة بالبلاطات والعناصر الختية الأخرى الممثلة بالأعمدة، فاستخدامها يرتبط أيضاً بشكلٍ أساسي بالبلاطات والأعمدة ونوع وآليه عمل كل منها على حدى.

#### 7-1 تصميم الجوائز البيتونية المسلحة:

##### نموذج التصميم:

عند تصميم الجوائز البيتونية المسلحة في بحثنا تم مراعاة النقاط الواردة أدناه:

- أن تتعرض لقوى الانعطاف الصافي  $(\frac{L}{h} \geq 10)$ .
- نظام الاستناد بسيط.
- المقطع العرض الأدنى لمقاومة حمل الحريق.
- تحقيق سماكة التغطية الأدنى لمقاومة حمل الحريق [9].
- تحقيق نسب التسليح الدنيا والعظمى.

قوى الانعطاف الصافي: يتعرض الجائز البيتوني المسلح للانعطاف الصافي من خلال تطبيق قوى خارجية (موزعة او مركزة) [6]، تؤدي لانتشاء في منتصف العنصر دون حدوث شكل آخر للقوى الداخلية في العنصر، يرافق ذلك نَسْهُمٌ وتَشَكُّلٌ للشقوق على كامل طول وارتفاع المقطع، ويترافق بتوليد إجهادات شادة وضاغطة ضمن المقطع البيتوني، حيث تتوزع الإجهادات الشادة على الليف السفلي من الجائز والضاغطة على الليف العلوي منه.

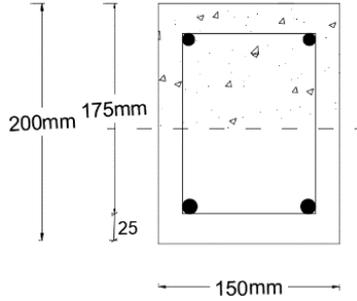
نظام الاستناد البسيط: يتم تثبيت الجائز على دعائم فولاذية عند الأطراف، لتمنع حركة الجائز الشاقولية فقط، وبذلك تلعب دور المسند الأحادي البسيط كما هو موضح بالشكل رقم (2).



الشكل رقم (2) نظام الاستناد البسيط

المقطع العرضي الأدنى لمقاومة الحريق: من أجل محاكاة الحالة الحرجة عند تصميم المقطع العرضي للجوائز تم استخدام البعد الأدنى للمقطع لمقاومة حمل الحريق، كما هو مدرج في اشتراطات الكود العربي السوري [9]، فقد تم اعتماد الأبعاد  $(b=150, h=200\text{mm})$  ممثلة لأبعاد الجائز الحرجة على الحريق، كما هو موضح بالشكل ادناه رقم (3) .

تحقيق سماكة التغطية الأدنى لمقاومة حمل الحريق: تم اعتماد سماكة التغطية الأدنى للجوائز البيتونية المسلحة بفرض أن البيتون دون حماية إضافية ومعرض لحريق لا تقل مدته الزمنية عن ساعة [9]، وبذلك تكون سماكة طبقة التغطية للوجه المعرض للهب النار المباشر لا تقل عن  $25\text{mm}$  عن حافة الأسورة الخارجي الشكل رقم (3).



الشكل رقم(3) أبعاد المقطع البيتوني وسماكة طبقة التغطية

تحقيق نسب التسليح الدنيا والعظمى: تم توزيع قضبان التسليح ضمن المقطع العرضي بما يحقق نسب التسليح المطلوبة وفق الاشتراطات التالية:

- لا تقل مساحة تسليح الشد الرئيسي في كل قطاع عن:

$$\mu_{s \min} \geq \frac{0.9}{f_y}$$

- لا تزيد مساحة تسليح الشد الرئيسي في القطاعات الأحادية التسليح على نصف المساحة التوازنية  $(0.5 \cdot A'_{sb})$ .

متطلبات التسليح العرضي:

- يجب أن لا يقل التسليح العرضي المستخدم في الجوائز المعرضة لأحمال زلزالية عن (8mm).
- توضع أول إسورة على مسافة لا تزيد عن (50mm) من وجه المسند.
- يجب أن لا يتجاوز التباعد بين عناصر التسليح العرضي والأساور  $S_t$  عن القيم التالية :

- نصف الارتفاع الفعال للجوائز  $\frac{d}{2}$ .

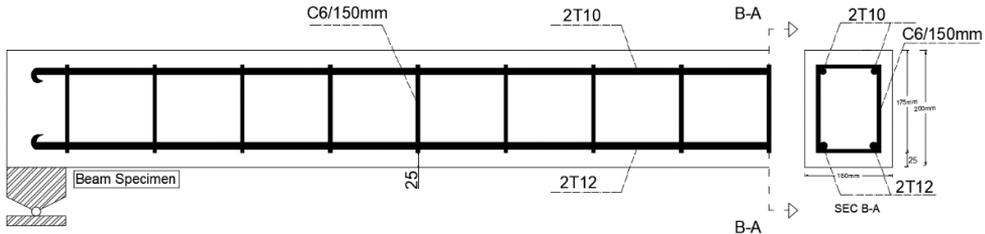
- 25 مرة قطر عناصر التسليح العرضي  $\phi_t$ .

- 12 مرة من أكبر قطر تسليح طولي مربوط بالإسوار  $\phi_l$ .

- 250mm

المواد المستخدمة في تصميم الجوائز البيتونية المسلحة:

تم إنتاج الجوائز البيتونية المسلحة باستخدام مواد البناء الأساسية بدءاً من فولاذ التسليح، حيث تم استخدام فولاذ ذو تنوعات مسحوب على الساخن ومطابق للمواصفات القياسية السورية، بأقطار مختلفة (12,10,6)mm لتشكيل القفص الفولاذي للجوائز، فقد تم اختيار فولاذ تسليح منطقة الشد (2T12) وفولاذ تسليح منطقة الضغط (2T10) بالإضافة لأساور فولاذية (C6/15cm) كما هو موضح بالشكل (4).



الشكل رقم (4) تفاصيل القفص الفولاذي للجوائز

وباستخدام مواد البناء الأخرى (الحصويات الخشنة، الحصويات الناعمة، الإسمنت والماء) لإنتاج الجوائز البيتونية المسلحة بأبعاد  $(b=150, h=200, L=2000)$ mm ، كما موضح بالشكل رقم (5) أدناه:



الشكل رقم (5) يوضح الجوائز البيتونية المختبرة

#### 7-2 تحميل الجوائز البيتونية المسلحة:

##### نموذج التحميل:

تم اعتماد نموذج تحميل الجوائز البيتونية من خلال تطبيق حمولة خارجية عبارة عن قوة مركزة يتم توليدها من مشغل هيدروليكي يعمل بضغط زيتي وبسرعة تحميل محددة تساوي  $(0.25\text{kN/s})$ ، تتوزع تلك القوة إلى قوتين مركزتين على عرض المقطع البيتوني تمكننا من توليد الانعطاف الصافي، من خلال وضع جائز فولاذي لتوزيع القوة المركزة المتولدة من جهاز الكسر إلى قوتين مركزتين تقعان ضمن الثلث الوسطي من الجائز البيتوني، بما يضمن لنا قياس سلوك الجائز البيتوني أثناء مرحلة التحميل حتى حدوث الانهيار على الانعطاف الصافي، كما هو موضح بالشكل رقم (6).

#### 7-3 تحليل الجوائز البيتونية المسلحة:

##### نموذج التحليل:

من أجل تحليل سلوك الجوائز البيتونية عادة ما يتم استخدام أجهزة القياس الخاصة بقياس حدود الاستثمار (سهوم وشقوق)، من خلال تثبيت الحساسات في أماكن تسهم

الجائز وتحديد قيم انتقال العنصر بالتوازي مع زيادة الحمولة المطبقة ومنه يتم استنتاج منحنيات قوة-انتقال  $(P, \Delta)$ .

في بحثنا قمنا باستخدام نموذج تحليل للعنصر البيتوني يتيح لنا تحديد قيم السهوم المتولدة بتثبيت حساسات على السطح السفلي عند مناطق انحناء العنصر، وبالتحديد في منتصف العنصر وعند أماكن تركيز القوتين المؤثرتين كما هو موضح بالشكل رقم (6)، وبالإضافة لتثبيت حساسات عند مناطق استناد العنصر لتحديد حركة المسند المحتملة مع تطبيق الحمولة، وذلك من أجل أخذ أثر حركة المسند بعين الاعتبار. كما تم تثبيت حساسات قياس التشوهات على السطح الجانبي للعنصر البيتوني في منتصف العنصر، عند مناطق تولد قوى الانعطاف الصافي من أجل تحديد قيم التشوهات الشادة والضاغطة ضمن العنصر البيتوني.



الشكل رقم (6) تطبيق الحمولة وتموضع الحساسات

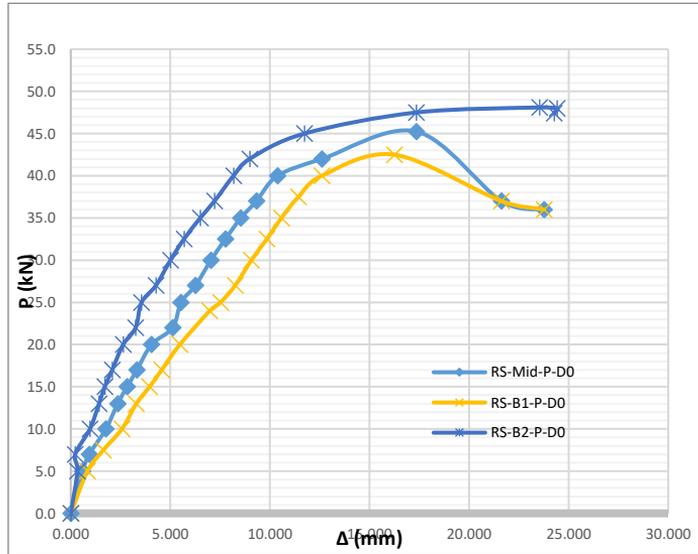
#### 8- كسر العينات المرجعية والتحميل الأستثماري للجوائز البيتونية المسلحة:

قبل البدء بإجراء التجارب المتعلقة بالحريق المتولد باستخدام لهب النار، تم وضع الجائز على جهاز الكسر وتثبيت الحساسات على الجوائز، ومن ثم قمنا بكسر عينتين مرجعيتين (RS) لتحديد المقاومة العظمى للجوائز البيتونية المسلحة على الانعطاف الصافي، والتحقق من السلوك الإنشائي للعينات ممثلة بحدود الاستثمار، وذلك بمراقبة التسهم الحاصل في الجائز وتوزع الشقوق على طول العنصر، ومن ثم رسم منحنيات قوة-انتقال  $(P, \Delta)$ ، ومنحنيات قوة-تشوه  $(P, \epsilon)$  كما هو موضح بالشكل (7) أدناه:

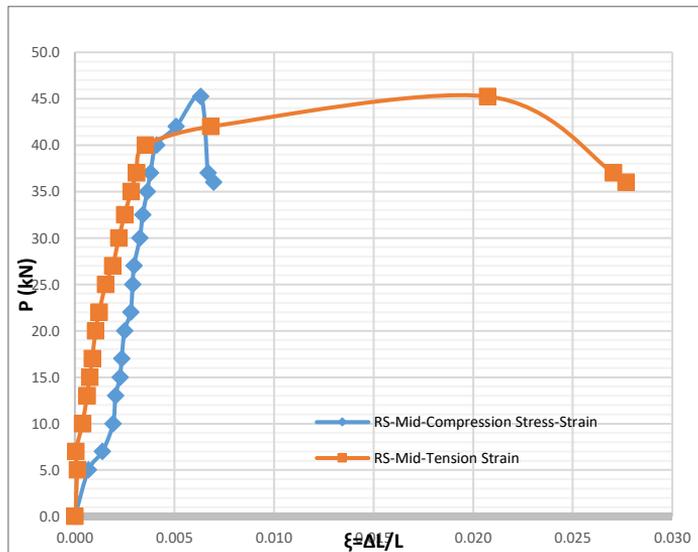


الشكل رقم (7) إجراء التجربة وكسر العينات المرجعية

تم أخذ نتائج كسر العينتين المرجعيتين وتمثيلها بيانياً وفق المنحنيات المذكورة أدناه، وكانت النتائج وفق الشكلين رقم (8،9) أدناه:



الشكل رقم (8) منحنيات قوة-انفعال ( $P, \Delta$ ) للعينتين المرجعيتين والوسطي بينهما



الشكل رقم (9) منحنيات إجهاد-تشوه (P,ξ) لوسطي العينتين

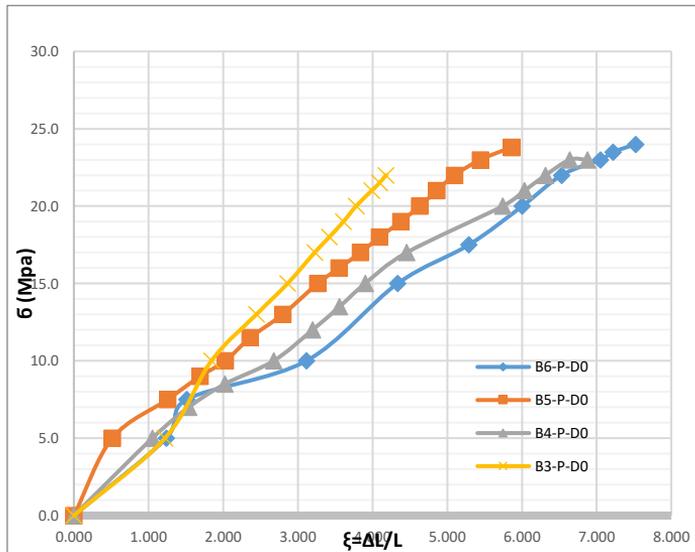
المناقشة: مما هو موضح بالمنحنيات أعلاه نجد بأن قيمة قدرة التحمل الوسطية على الانعطاف قد بلغت (45.25 kN) وقيمة السهوم بلغت (23mm) وهي قيمة تقابل النسبة (  $\frac{L}{86.9}$  ) مقارنة مع النسبة المسموحة (  $\frac{L}{180}$  ) وقيمة التشوهات العظمى كانت على الضغط تساوي (0.006)، وعلى الشد يساوي (0.021).

التحميل الاستثمائي للجوائز البيتونية المسلحة:

وفقاً للقيم التحليلية الناتجة وللرسوم البيانية الموضحة أعلاه نجد بأن قيم الحمولة الخارجية المطبقة والتي يكون عندها المقطع البيتوني بحالة التشوه الحدي تتراوح من (22 kN) حتى (30 kN)، وهي قيم تقابل النسبة من (48.6%) حتى (66.3%) من حمولة الانهيار القصوى للجوائز البيتونية.

ومنه قمنا بتحميل الجوائز البيتونية والتي سيتم دراسة سلوكها على لهب النار المباشر استثمارياً بنسبة (60%) من حمولة الانهيار، بما يضمن محاكاة حقيقية للجوائز البيتونية الموجود ضمن هيكل إنشائي مستمر ومعرض لمختلف أنواع القوى الخارجية المحتملة.

يعطى الشكل رقم(10) الموضح أدناه منحنيات قوة-انتقال (P,Δ)، للتحميل الاستثمائي المعرضة له الجوائز البيتونية المسلحة.



الشكل رقم (10) منحنيات قوة-انتقال ( $P, \Delta$ ) للتحميل الإستثماري

## 9- تجارب لهب النار:

### 9-1 الأجهزة والمعدات :

من أجل إخضاع الجوائز البيتونية المحلثة استثمارياً للهب النار المباشر، قمنا بتصميم نظام تطبيق لهب خاص لهذا النوع من التجارب، الشكل رقم (11) بأبعاد (2,1.2)m وارتفاع (1.4m)، عبارة عن قاعدة من مقاطع معدنية مثبت عليها جدران من جهاته من الصاج المعدني بثخانة (2.8mm)، سماكة الجدران (10cm) تحوي بداخلها صوف زجاجي يضمن لنا العزل الحراري على محيط العينة المختبرة وسلامة الدارس من المواد المحتمل تطايرها أثناء التجربة، وقد تم تصميم الجدران بالاتجاه الطويل على أنها قابلة للحركة وفقاً لأبعاد العينة المختبرة (جائز أو بلاطة)، كما أن الجزء السفلي والعلوي من الفرن بقيت مفتوحة للجو المحيط ومعرضة للتهوية، لكي نكون أقرب للحالة الفعلية لكارثة الحريق عند حدوثها، ومما يسمح لنا بمراقبة العينة المختبرة أثناء التجربة.

تم تزويد هذا النظام بحرقين عبارة عن Pipe من الحديد المزيبيق، مزود بصمام أمان ويخرج منها شلمونات حرارية تحوي أيضاً كل منها على صمام أمان موزعة على كامل طول الفرن، يتم توصيل الحرق بمصدر الطاقة والذي هو الغاز المنزلي "الغاز البترولي المسال".



الشكل رقم (11) النظام الخاص بتجارب لهب النار

### أجهزة قياس درجة الحرارة:

لتحديد درجة حرارة العينة المختبرة ومعرفة درجة حرارة المصدر الحراري أثناء مدة التجربة، تم استخدام نوعين من مقاييس درجة الحرارة كما هو موضح بالشكلين (12,13) وهي:

- مقياس درجة حرارة ليزري.

- مجس حراري.

أما بالنسبة لمقياس درجة الحرارة الليزري فقد تم استخدام المخصص منه للأعمال الصناعية، الشكل (12)، والتي يعطي درجة حرارة تصل حتى  $550^{\circ}\text{C}$ ، ومما يوفر لنا بقياس درجة حرارة أسطح العينة.



الشكل رقم (12) المقياس الليزري

وأما المجس الحراري موصول باستخدام كابلات كهربائية مع شاشة تعطي القراءات الحرارية، يوفر قياسات تصل حتى  $1200^{\circ}\text{C}$  الشكل رقم (13)، وقد استخدم لقياس درجة حرارة المصدر الحراري للهب النار والجو المحيط خلال فترة التجربة كاملةً.



الشكل رقم (13) المجس الحراري

بعد الانتهاء من تحضير كافة المتطلبات اللوجستية لإجراء التجربة، قمنا بتحديد الجوائز البيتونية التي سيتم إجراء تجارب لهب النار عليها وفق الجدول رقم (1) التالي:

الجدول رقم (1) متغيرات تجربة الحريق

رمز العنصر	نوع العنصر	مادة العنصر	مدة التعرض للهب النار	نوع التبريد
B6	جائز	بيتون مسلح تقليدي	0.5 h	تدرجي
B4	جائز	بيتون مسلح تقليدي	0.5 h	مفاجئ "مياه"
B3	جائز	بيتون مسلح تقليدي	1 h	تدرجي
B5	جائز	بيتون مسلح تقليدي	1 h	مفاجئ "مياه"

## 2-9 العناصر المعرضة للهب النار لمدة نصف ساعة 0.5h:

وضعت العناصر البيتونية ضمن نظام تطبيق للهب وتم اخضاع نقاط محددة من السطح السفلي (منطقة الانعطاف الصافي) للجائز للهب النار المباشر لمدة نصف ساعة بشكل موضعي دون تغيير نقاط تطبيق الלב خلال مدة التجربة كما هو موضح بالشكل رقم (14)، وهي النقاط التي تعطي الحالة الأخطر والحرارة لاستقرار العنصر، بحيث تقع على امتداد مناطق تطبيق القوى الخارجية على السطح العلوي للجائز.

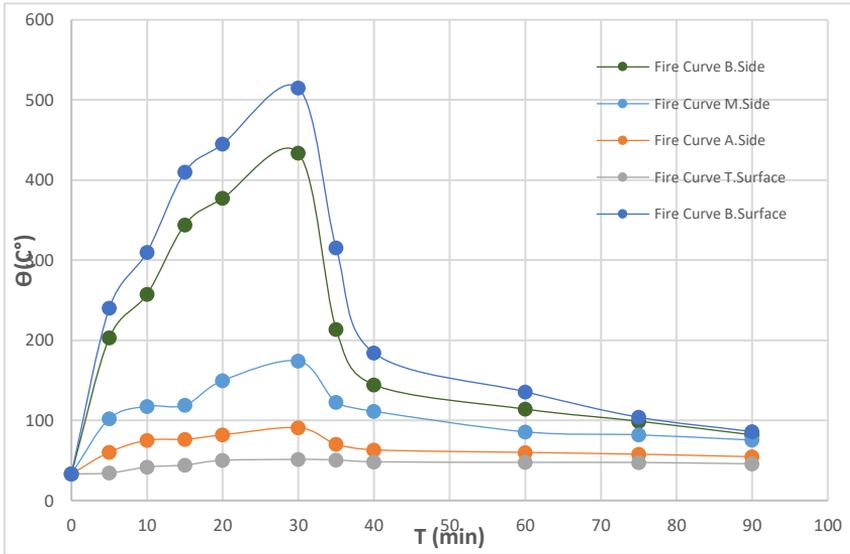


الشكل رقم (14) تعرض الجائز البيتوني للهب النار

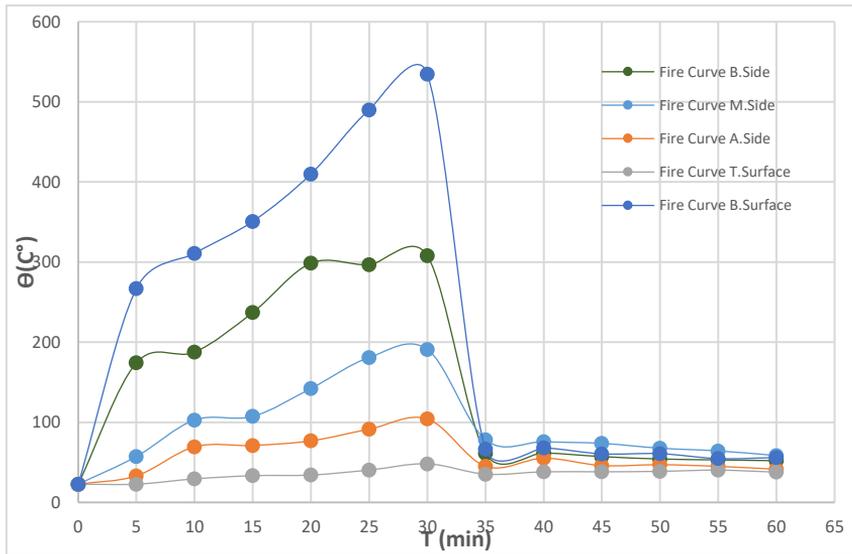
أثناء التجربة قمنا بإعداد تقرير يوضح معلومات ومراحل إجراء التجربة وأهم الملاحظات وفق التالي:

- المدة الزمنية للتجربة 30 دقيقة، وقطر انتشار لهب النار 20 سم عند ملامسته للسطح السفلي الجائز البيتوني.
- مراقبة تعرض الجائز للهب النار وتسجيل درجة الحرارة مع تغير الزمن.

- تسجيل درجة حرارة الجو المحيط وحرارة السطح السفلي والجانبى والعلوي للعينة في عدة نقاط من الجائز (عند مصدري اللهب ونقطة بينهم).
  - تمثيل سجلات درجة الحرارة-الزمن بيانياً لجميع الأسطح والنقاط المعرضة للهب.
  - تمثيل سجلات درجة الحرارة-ارتفاع العنصر لجميع النقاط المعرضة للهب.
  - إختيار نوع التبريد (تدرجي أم مفاجئ).
- يوضح الشكلان رقم (15,16) سجلات درجة الحرارة-الزمن لجميع الأسطح عند أحد مصدري اللهب بحالتي التبريد التدرجي والمفاجئ.

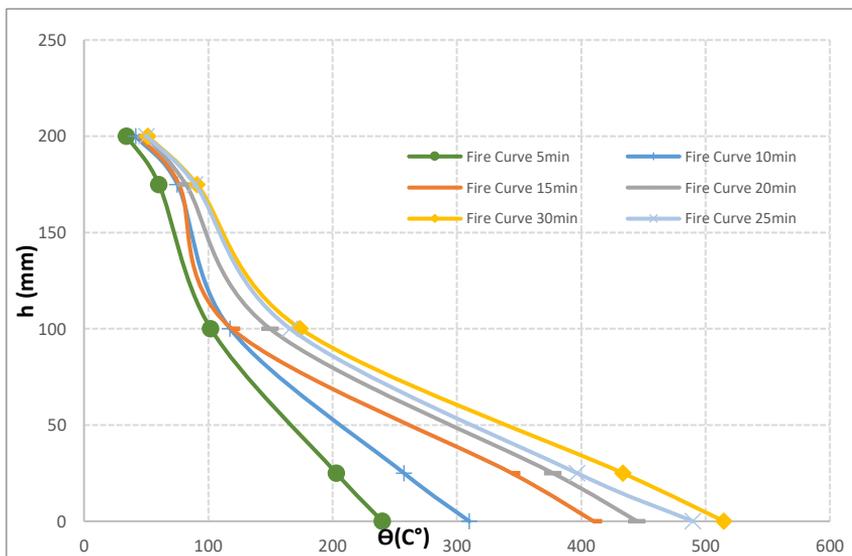


الشكل رقم (15) سجلات درجة الحرارة-الزمن بحالة التبريد التدرجي لمدة 0.5h

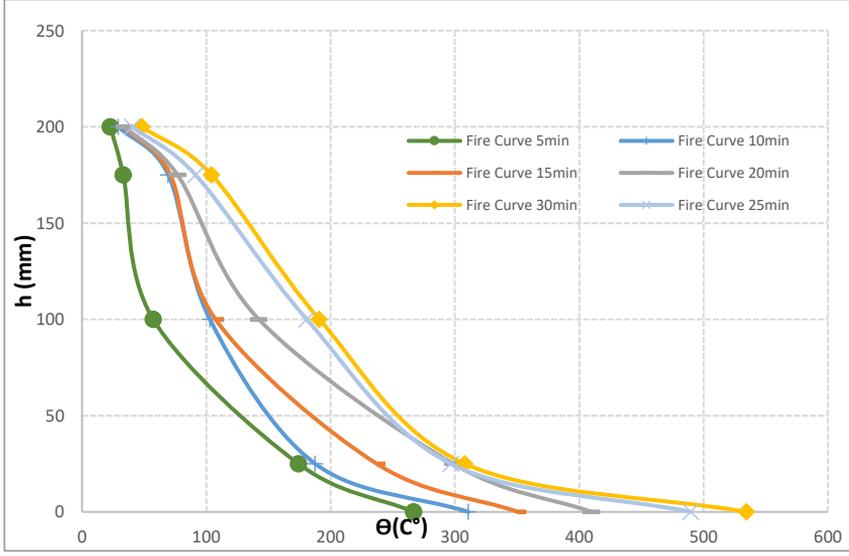


الشكل رقم (16) سجلات درجة الحرارة-الزمن بحالة التبريد المفاجئ لمدة 0.5h

كما تم تمثيل سجلات درجة الحرارة-ارتفاع العنصر لجميع الأسطح عند مصدر اللهب بحالتي التبريد التدريجي والمفاجئ كما هو موضح بالشكلين رقم (17,18) أدناه:



الشكل رقم (17) سجلات درجة الحرارة-ارتفاع العنصر بحالة التبريد التدريجي لمدة 0.5h

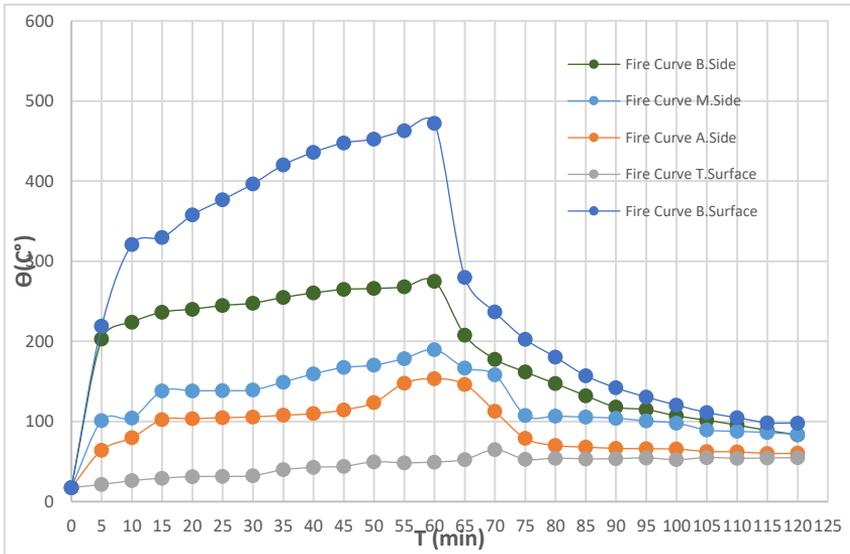


الشكل رقم (18) سجلات درجة الحرارة- ارتفاع العنصر بحالة التبريد المفاجئ لمدة 0.5h

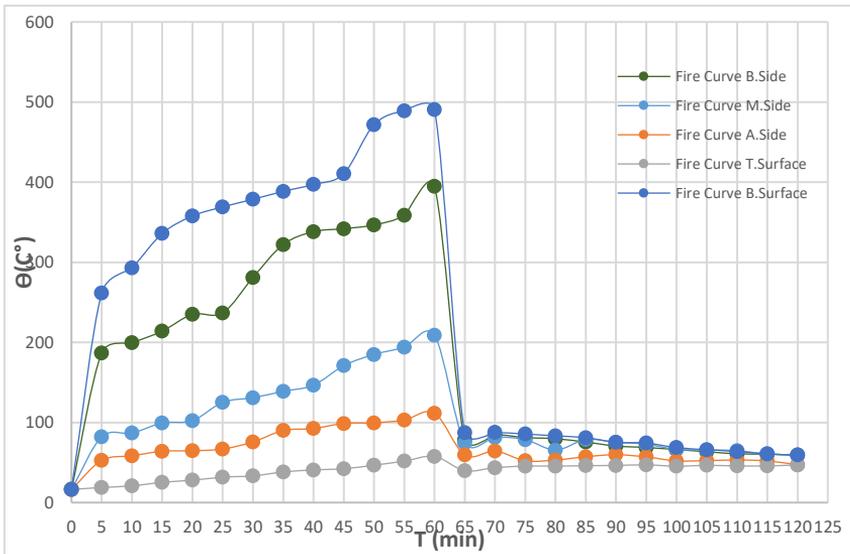
المناقشة: نلاحظ تقارب بقيم الجزء الصاعد من منحنيات درجة الحرارة- الزمن بحالتي التبريد التدريجي والمفاجئ، إلا أن التغيير يكون واضح بالجزء الهابط منه، حيث تنخفض درجة الحرارة بحالة التبريد المفاجئ حتى نسبة (25%) من قيمة التبريد التدريجي خلال الخمس دقائق الأولى من التبريد، كما أن توزع درجات الحرارة على ارتفاع المقطع البيتوني يبقى متناسق بفارق لا يزيد عن (10%) أثناء التعرض للهب.

### 3-9 العناصر المعرضة للهب النار لمدة ساعة 1h:

بنفس شروط التجربة السابقة تم إخضاع الجوائز البيتونية لمدة زمنية أطول وهي ساعة واحدة، ومن ثم اجراء مراحل التجربة المذكورة بالفقرة السابقة ومن ثم تمثيل السجلات بيانياً رقم (19,20) وفق التالي:

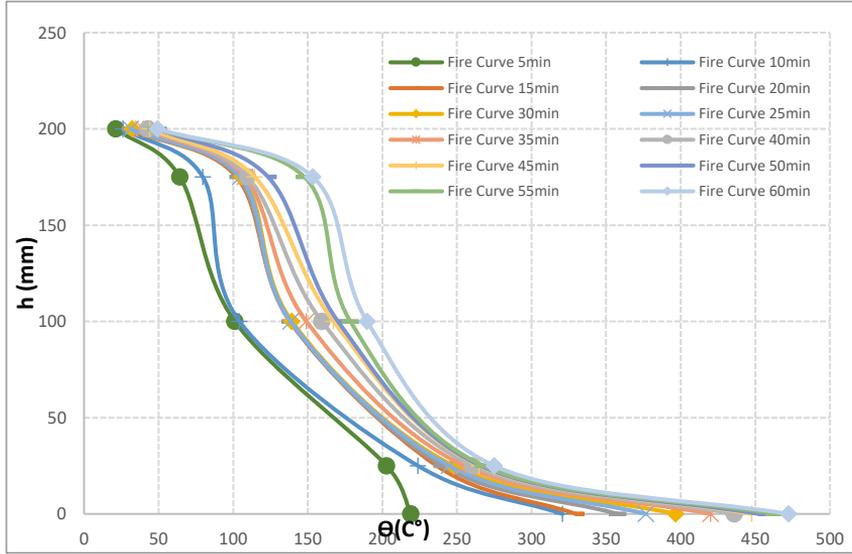


الشكل رقم (19) سجلات درجة الحرارة-الزمن بحالة التبريد التدريجي لمدة 1h



الشكل رقم (20) سجلات درجة الحرارة-الزمن بحالة التبريد المفاجئ لمدة 1h

كما تم تمثيل سجلات درجة الحرارة-ارتفاع العنصر لجميع الأسطح عند مصدر اللهب بحالتي التبريد التدريجي والمفاجئ لمدة 1h كما هو موضح بالأشكال رقم (21,22)

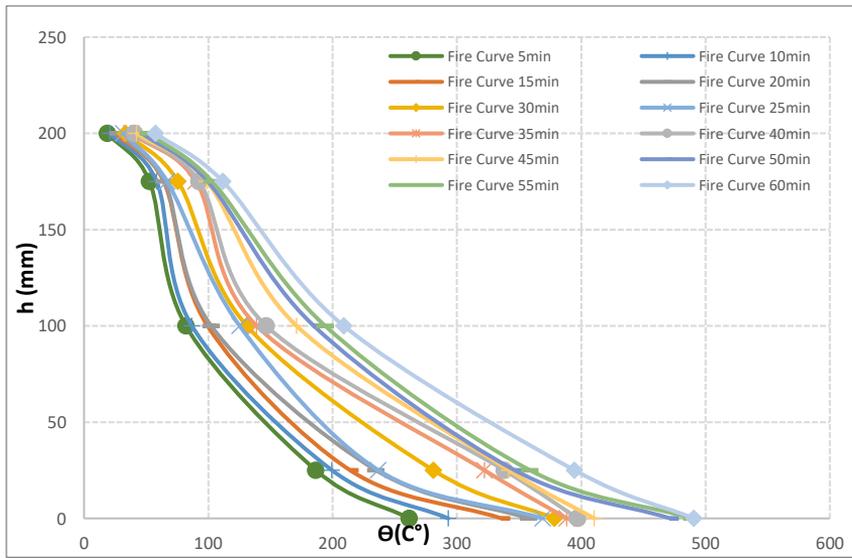


أدناه:

الشكل رقم (21) سجلات درجة الحرارة-ارتفاع العنصر بحالة التبريد التدريجي لمدة 1h  
الشكل رقم (22) سجلات درجة الحرارة-ارتفاع العنصر بحالة التبريد المفاجئ لمدة 1h

## 10- المناقشة والاستنتاجات:

- ملاحظة تغيير لون سطح البيتون المعرض للهب النار المباشر وتجمره وازدياد درجة حرارته بشدة أكبر من باقي النقاط، وبقاء هذا التغيير باللون دائم الى



مابعد انتهاء التجربة.

- سماع أصوات انفجارات داخلية ليست بكثيرة، تحصل في العينة المعرضة للهب النار عبارة عن غليان المياه وخروجه من سطح العينة.
- نتح المياه وخروجها من سطح العينة عند اماكن تواجد الشقوق الاستثمارية وبشكل أوضح وأكبر عند نقاط تطبيق لهب النار المباشر على العينة، حيث سلك المياه الطريق الأسهل وهي أماكن تواجد الشقوق الاستثمارية الدقيقة كما موضح بالشكل رقم (23).



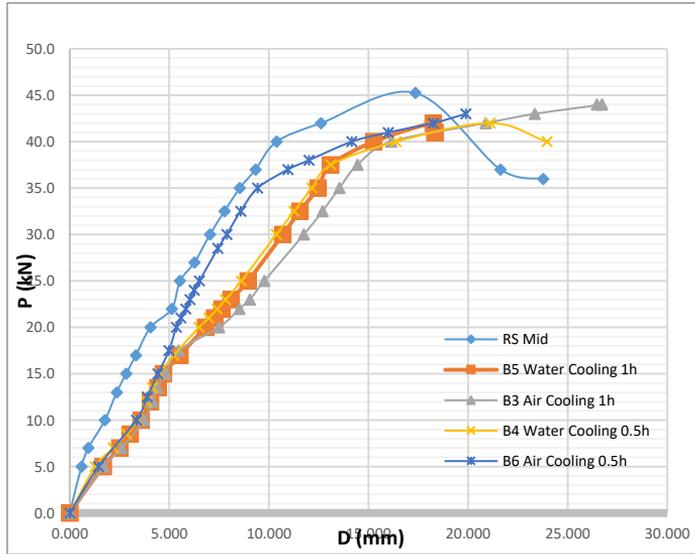
الشكل رقم (23) نتح المياه من سطح الجائز وتبخره

- إن خروج المياه أثناء التعرض للهب النار عند الشقوق الاستثمارية الدقيقة في السطوح الجانبية والسطح السفلي للعينة المختبرة أدى لتوسع عرض الشقوق حتى أصبح بإمكانية رؤيته بالعين المجردة.
- درجة حرارة العينة المختبرة بقيت مرتفعة لفترة زمنية جيدة بعد نهاية مدة التجربة بحالة التبريد التدريجي بالهواء، بينما انخفضت بشكلٍ حادٍ وكبير بحالة التبريد المفاجئ بنسبة تصل حتى (25%) من حالة التبريد التدريجي.
- الفارق بتغيير درجة الحرارة على ارتفاع المقطع البيتوني تتراوح بين (10-30%) بحالتي التبريد التدريجي والمفاجئ.

11- دراسة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة المستثمرة والمعرضة للهب النار المباشر:

من أجل التحقق من السلوك الإجهادي-التشوهي للجوائز المختبرة، تم إجراء مقارنة سلوكية تتمثل بمنحنيات قوة-انتقال ( $P, \Delta$ )، للجوائز بعد التعرض للهب النار المباشر ومقارنتها مع العينات المرجعية، ودراسة التغير بالمقاومة والاختلاف بسلوك المادة التشوهي.

المنحني الوارد أدناه رقم (24) يبين سلوك الجوائز البيتونية بمرحلة التحميل الكلي للجوائز حتى حدوث الانهيار، المرجعية والمعرضة للهب النار لمدتين زمنييتين  $(0.5, 1)h$  والتي تم تبريدها بالحالتين التدريجي والمفاجئ.



الشكل رقم (24) منحنيات قوة-انتقال ( $P, \Delta$ ) للعينات المعرضة للهب النار والمرجعية

المناقشة: مما سبق نلاحظ بأن النسبة المئوية لإنخفاض المقاومة على الانعطاف الصافي تصل حتى %2.48 بحالة التبريد التدريجي، إلى %7.70 بحالة التبريد المفاجئ للعينات المعرضة لمدة نص ساعة، وانخفاض بقيمة المقاومة تصل حتى %5.23 بحالة التبريد التدريجي، ويصل حتى %7.74 بحالة التبريد المفاجئ للعينات المعرضة لمدة ساعة، ومن الملاحظ تغيير المقاومة ضئيل بحالة التبريد المفاجئ، يمكن أن يعود ذلك بمساهمة المياه بتقليل درجة حرارة العنصر بشكل أسرع، والحد من

تأثير الإجهادات الحرارية على تدهور التركيب الداخلي للعنصر ومما ينعكس على قدرة تحمله.

ومن ناحية الانتقالات فإن النسبة المئوية للزيادة بقيمتها تصل حتى (25.22%) للجائز B6 و (44.1%) للجائز B4 و (70.3%) للجائز B3 و (35.1%) للجائز B5.

## 12- النتائج:

- التغيير بالخواص الفيزيائية وبالتركيب الجزيئي لمادة البيتون المعرض للهب النار المباشر متمثلة بنتج المياه منه والأثر المستمر له على سطح العنصر.
- تشكل شقوق حرارية دقيقة على سطح العينة وذلك نتيجة للإجهادات الحرارية الإضافية المتولدة ضمن المقطع البيتوني وبالتالي توسع بعرض الشقوق الاستثمارية.
- الانخفاض بقيمة قدرة التحمل على الانعطاف للجوائز البيتونية المسلحة والمعرضة للهب النار المباشر تصل وسطياً حتى (3.85%) بحالة التبريد التدريجي، وحتى (7.72%) بحالة التبريد المفاجئ.
- الحد من أثر لهب النار على العنصر بحالة التبريد المفاجئ، مما يفسر الفرق الضئيل في انخفاض قدرة التحمل على الانعطاف للجوائز البيتونية المسلحة عند التعرض للهب النار لمديتين زمنيتين (0.5,1)h عند تبريده بالمياه.
- التغيير بسلوك المادة على حدود الاستثمار متمثلة بزيادة ملحوظة بقيم السهوم تصل وسطياً حتى (34.66%) عند التعرض للهب لمدة نصف ساعة، وحتى (52.7%) عند التعرض لمدة ساعة.

- [1] ASTM, 2001a-**Standard Terminology of Fire Standards**, ASTM E176, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, United States.
- [2] ASTM. 2000, **Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials**, ASTM E119, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, United States.
- [3] Bilow N.D. and Kamara M.E. 2008-**Fire and Concrete Structures**, Engineered Structures, Portland Cement Association 5420, Old Orchard Road, Skokie, United States, 2008 ASCE.
- [4] CEMBUREAU, BIBM and ERMCO, 2007-**Comprehensive fire protection and safety with concrete**, The Irish Concrete Federation, Ireland, p:1-29.
- [5] Izzet. A. F. and AL-Dulffy. Z. H., 2018-Effect of High Temperature (Fire Flame) on the Behavior of Post-tensioned Concrete Beams, **Association of Arab Universities Journal of Engineering Sciences**, Iraq, Vol. 25, NO. 3 (2018), P:49-68.
- [6] Kadhum. M. M., 2013-Effect of Burning by Fire Flame on the Behavior of Reinforced Concrete Beam Models, **Journal of Babylon University, Engineering Sciences**, Iraq, Vol. 21, NO. 5 (2013), P:1486-1506.
- [7] PETRU. M, 2008-**DESIGN OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS UNDER FIRE**, Gheorghe Asachi, Technical University, Jassy, Romania, Fasc. 3, 10p.
- [8] Taerwe. L.R, 2008-**Fire Design of Concrete Structures According to the Eurocodes: A Review**, Ghent University, Ghent, Belgium, p:75-95.
- [9] The Syrian Arab Code, 2012-**The design and implementation the construction by reinforced concrete**, Syrian Engineers Association, Fourth Edition, Damascus, Syria, 402p. (In Arabic)