

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 17

1443 هـ . 2022 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

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

. 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 ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
40-11	م. لما قباقيبو د. معتز عبارة	الاتجاهات المعمارية لإعادة الإعمار بعد الحروب - حمص مثالا
68-41	م. نغم حيدر د. حسام صبوح د. هناء سلمان	تقييم جودة مياه سد المزينة في حمص للشرب وفق مؤشرات جودة المياه العالمية
100-69	محمد العيسى نضال شقير سامر زيزفون	تقدير النظام التكتوني باستخدام مستويات الحلول الصدعية في المنطقة الساحلية في سوريا
118-101	محمد العيسى نضال شقير سامر زيزفون	حساب قدر العزم الزلزالي (M_w) للهزات المحلية في سورية

الاتجاهات المعمارية لإعادة الإعمار بعد الحروب -

حمص مثالا

أ.د. معتز عبارة □ م. لما شعبان قباقيبو□□

ملخص البحث

في هذا البحث تم تسليط الضوء على أهمية إعادة الإعمار في استمرارية بقاء المباني السكنية بتفاصيلها المعمارية، واستمرار أدائها لوظيفتها في محيطها العمراني في الكثير من الأحيان. بحيث تعد هذه العمليات أو الإجراءات مختصة إما بأجزاء منهارة أو مدمرة، أو بأجزاء مفقودة في أزمان ليست ببعيدة .

فإعادة البناء (أو إعادة الإعمار) هي إعادة تجميع أجزاء المبنى أو تكوينه من جديد بشكل كامل أو جزئي (الجزء كبير منه).

كما إن عمليات إعادة الإعمار تنفذ عادة بعد الكوارث التي قد تحل بالمباني والتي تدمرها كلياً أو جزئياً كالزلازل والفيضانات والحرائق والحروب. وقد تعتمد هذه العمليات اعتماداً على دراسات عميقة ومخططات دقيقة لشكل المبنى ووظيفته وتفاصيله.

وبناء على ذلك، فقد جاءت هذه الورقة البحثية لتسلط الضوء على اتجاهات إعادة الإعمار بعد الحروب من خلال منهج نظري وتحليلي وتطبيقي يوضح الفكرة البحثية ويؤكدها.

الكلمات المفتاحية

إعادة البناء: Reconstruction ، الاتجاهات المعمارية: Architectural trends

* أ.د. معتز عبارة - كلية العمارة - جامعة البعث

** م. لما قباقيبو - طالبة دكتوراة في قسم التصميم المعماري - كلية العمارة - جامعة

البعث

Architectural trends for post – war reconstruction–Homs as an example

Research Summary

In this research, the importance of reconstruction has been shed on the continuity of residential buildings with their architectural details, and the continuity of their function in their urban surroundings in many cases. So that these processes or procedures are concerned with parts that have collapsed or destroyed, or parts that are missing in not so long ago.

Reconstruction (or reconstruction) is the reassembly of parts of the building or its composition again, in whole or in part (for a large part of it).

Also, reconstruction operations are usually carried out after disasters that may befall buildings and that destroy them in whole or in part, such as earthquakes, floods, fires and wars. These operations may depend on deep studies and accurate plans for the building's shape, function and details. Accordingly, this research paper came to shed light on the trends of post-war reconstruction through a theoretical, analytical and applied approach that clarifies and confirms the research idea.

مقدمة

إعادة الإعمار مصطلح شامل متعدد الوجوه والمعاني، فلإعادة الإعمار اتجاهات مختلفة، ولنجاح أي عمل يدور في فلك إعادة الإعمار يشترط اختيار الاتجاه المناسب. ومراعاة خصوصية كل تجربة على حدة، على حسب الظروف الملائمة لها.

بعد الكارثة أو الحرب وضمن مشاريع إعادة الإعمار هناك عدة اتجاهات للتعامل مع عمارة ما بعد الحرب أو الكارثة، بعض هذه التقنيات تركز على الناحية العملية الوظيفية، وبعضها أكثر رمزية تهتم بالذاكرة الجماعية والهوية الوطنية، وبالعوم فان كل حالة إعادة إعمار لها إستراتيجيتها الخاصة في التطبيق خصوصاً في التفاصيل.

مشكلة البحث

غياب الخطوط التوجيهية لإعادة إعمار المباني في ظل الظروف الحالية، وما تعرضت له المباني من عمليات تدمير واسعة وأضرار كبيرة، تتراوح بين هدم كلي إلى هدم جزئي. وضياح الهوية الحضارية والثقافية.

كان على المعماري وضع خطط مناسبة لإعادة إعمار هذه المباني واستخدام الاتجاه العماري الملائم لها من اتجاهات اعادة الاعمار تبعاً لوضعها الراهن، لتحقيق الانسجام بين النسيج العمراني القديم المدمر للمدينة والإنشاء الحديث بشكل لا يؤثر على البيئة الاجتماعية، وعلى العلاقات والاتصال الروحي بين المدينة وساكنيها.

هدف البحث

يهدف البحث إلى دراسة وتحليل اتجاهات إعادة الإعمار للمباني بعد الحروب لإيجاد الاتجاه المعماري المناسب لكل منطقة في مدينة حمص لإعادة إعمارها مع الأخذ بعين الاعتبار مراعاة الوضع الراهن لهذه المناطق.

منهجية البحث

تركز منهجية العمل في هذا البحث على وضع خطة مكونة من ثلاث مركبات أساسية:

- المركب النظري: القاعدة النظرية
- المركب التحليلي: تحليل مثال
- المركب التطبيقي: تطبيق اتجاهات إعادة الإعمار في حمص

1. إعادة الإعمار

يطلق مصطلح إعادة الإعمار كناية عن إعادة دائمة للمبنى أو استبدال العناصر المعمارية المصابة بأضرار فادحة أو إصلاح شامل في قطاع جميع الخدمات والبنية التحتية المحلية وإعادة تأهيل المباني السكنية المتضررة من الحروب حيث تدخل إعادة الإعمار في خطة إنمائية طويلة المدى تدخل في حسابها خطر التعرض للتدمير مرة أخرى مع إمكانية تخفيف هذا الخطر. وليس من الضروري أن تعود العناصر المتضررة إلى حالتها السابقة أو إلى مركزها بعد إصلاحها فيما يطلق عليه في مجال العمارة اسم عملية إعادة البناء. ويمكن التعامل مع العمارة المدمرة بعدة أنماط و ذلك تبعاً للظروف و حالات التدمير و الإمكانيات المتاحة كما يمكنها استبدال أية إجراءات مؤقتة اتخذت تجاوباً مع حالة الطوارئ أو عملية إعادة التأهيل، ففي أي وقت يمكن فيه تجاوز الفعل بفعل أكثر ملائمة، لكن لا بد من مراعاة أن يعتمد المعماربيون القائمون على إعادة الإعمار بعد الحرب على المجتمع المحلي [6] لأنه أكثر دراية باحتياجاته، وثقافته و متطلباته المادية، و المعنوية .

وبالتالي فإن إعادة الإعمار تعني البناء من جديد يمكن استخدام هذا المصطلح في الإشارة إلى الأعمال التي نفذت باستخدام المواد الحديثة أو القديمة أو كليهما وذلك بهدف إعادة بناء مكونات مفككة الأوصال أو مدمرة أو أجزاء منها ولا بد أن تستند عملية إعادة البناء إلى توثيق معماري دقيق وقرائن وليس إلى التخمين على الإطلاق. [4]

ويمكن تعريف إعادة الإعمار بأنها التعامل مع البيئة الفيزيائية من خلال ثلاث أركان (إما ابتكار بيئة فيزيائية مؤقتة أو إعادة إصلاح البيئة الفيزيائية المتضررة أو إنشاء بيئة فيزيائية وحضرية جديدة) ضمن مبادئ أساسية يتم تحديدها تضمن إعادة البناء نحو الأفضل بشكل متكامل وشامل على المستوى المعماري والحضري وتحقيق الاستدامة والبعد البيئي.

2. أساليب إعادة الإعمار بعد الكوارث والحروب:

لإعادة الإعمار وبالأخص إعادة بناء البنية الفيزيائية والحضرية ثلاث أساليب أساسية يجب الإلمام بها إما للعمل بها كافة أو لاختيار المناسب منها للظرف وشدة الدمار، وهي: [10]

1-2 أسلوب الابتكار (بيئة فيزيائية مؤقتة):

تعتبر أفضل عملية إعادة إعمار للمنازل أو البنية العمرانية بشكل عام، هي تلك التي تعمل على تحقيق انجازات اقتصادية واجتماعية وسياسية، إلى جانب إعادة إعمار البنية الفيزيائية، وتحقيق هذه الأهداف يؤثر على اختيار برامج إعادة الإعمار واتجاهات العمارة الواجب اتباعها، وليس هناك برنامج صحيح بشكل كامل أو آخر خاطئ، ولكن يتم اختيار البرنامج بناءً على الأهداف والاحتياجات المجتمعية. إن البيئة الفيزيائية المؤقتة هي عبارة عن البيئة التي يتم إنشائها في المناطق التي يحدث فيها أضرار كبيرة للمنازل والمباني والبنية التحتية وينتج عنها عدد كبير من المشردين.

• المنازل المؤقتة (منازل مؤقتة متنقلة أو ثابتة):

هي من أهم الاستجابات بعد الكارثة أو الحرب، وخصوصا في المناطق التي يحدث فيها أضرار كبيرة للمنازل والمباني، وينتج عنها عدد كبير من المشردين ويتم تصميم هذه المنازل للاستخدام خلال الفترة الأولى للكارثة، وقد تصل إلى عدة أشهر. الشكل (1). ويتم اختيار المسكن المؤقت حسب الظروف من أحد البدائل التالية:



الشكل (1) مخيمات اللاجئين بعد حصول الكارثة

- مباني عامة: كالمدارس أو المساجد أو أي مبنى آخر من الممكن أن يتم استخدامه كمأوى مؤقت، ويمكن تأخير استخدامه الأصلي إلى وقت آخر كالمدارس.
- مباني بسيطة: يتم بناؤها من مواد خفيفة كالشراشف البلاستيكية والقماش والاختشاب أو ألواح الزينكو أو أي مواد أخرى متوفرة وسهلة البناء والتركييب وقد تكون منظمة إذا كان هناك جهة مشرفة أو تكون عشوائية إذا ترك إعدادها للناس بدون مخطط. الشكل (2).



الشكل (2) أماكن إيواء مؤقتة في خزاعة، صورة بواسطة مكتب تنسيق الشؤون الإنسانية



- منازل جاهزة مسبقة الصنع: كالخيام التي يتم استيرادها وتخزينها بهدف استخدامها وقت الحاجة إليها أو المنازل مسبقة الصنع.¹ الشكل (3)

الشكل (3) بعض النماذج للبيوت المؤقتة المسبقة الصنع

- المصدر (دراصة حول مفهوم الوحدات المسبقة الصنع وتطبيقاتها في عملية إعادة الإعمار)
- السكن عند الآخرين: في بعض الأحيان يقوم السكان المشردين بالسكن عند أقاربهم أو جيرانهم أو عند الأصدقاء الذين لم تتأثر منازلهم بالكارثة، لكن لا

يمكن الاعتماد عليه في حالة الدمار الكبير والواسع ووجود أعداد كبيرة من المشردين والنازحين.

- المخيمات الجماعية: وتقيمها الدولة أو المؤسسات العالمية أو المؤسسات غير الحكومية أو الجهات المسؤولة عن إسكان النازحين كالدفاع المدني أو الهلال الأحمر أو مركز إدارة الكوارث في الدولة بهدف إيواء النازحين لأجل معين. [1]

2-2 أسلوب الإصلاح (إعادة إصلاح البيئة الفيزيائية المتضررة):

تعتبر عملية إصلاح البيئة الفيزيائية المتضررة أسرع طريقة لتوفير السكن الدائم بفعل الحرب، إضافة إلى أن كلفة إصلاح المباني أقل من كلفة إعادة بنائها ويعتمد ذلك على حجم ومقدار الأضرار في تلك المباني، وبشكل عام توجد عدة طرق تتم فيها عمليات إصلاح البيئة الفيزيائية (إعادة التأهيل - الدعم - التجديد - إعادة الإنشاء - الارتقاء)، يتم اللجوء عادة لهذا النوع في الفترات التالية تماما للحرب، وبشكل خاص فيما يتعلق بالمباني السكنية بغرض إحيائها ضمن فترة زمنية قصيرة، ومن أهم الأمثلة على ذلك يمكن أن نذكر حي موارنو في وارسو، الذي تم تدميره نتيجة انتهاء الحرب العالمية الثانية. فقد اقترح المعماري (Bohdan Lachert) أن يعتمد مبدأ التجديد على المباني الأصلية للحي وتجديدها وإعادة تأهيلها بأسرع وقت ممكن. الشكل (4).



الشكل (4) بعض المباني والساحات التي تم تجديدها في مدينة وارسو بعد الحرب

2-3 أسلوب التطوير (إنشاء بيئة جديدة):

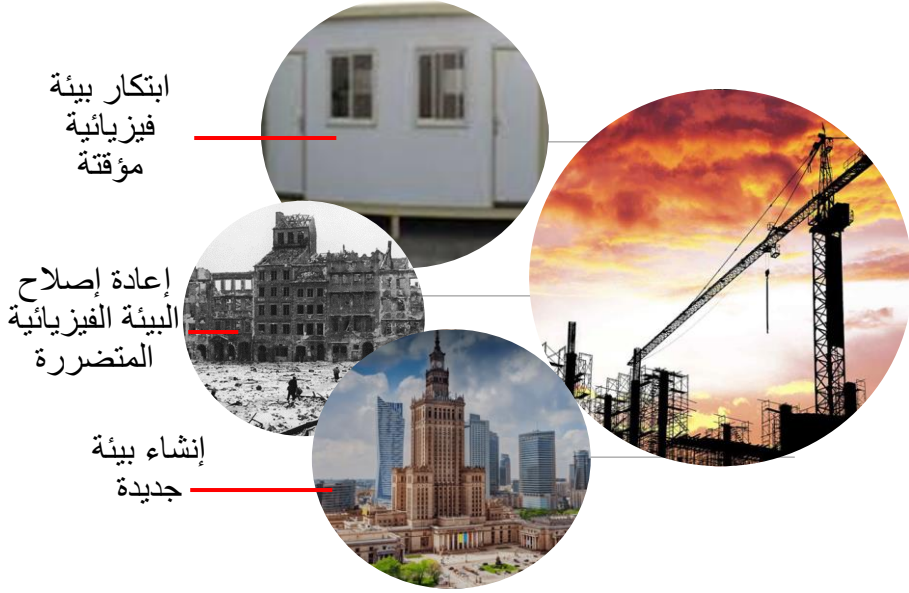
بعد الحرب وعند تدهم الكثير من المباني (السكنية- الخدمية - التجارية...) والبنى التحتية يتحتم إعادة بناء المبنى من جديد. وذلك لتلبية احتياجات الناس وإعادة دوران عجلة الحياة. وتعتبر هذه العملية خطوة متقدمة من مرحلة إعادة الإعمار، حيث تتطلب مدة زمنية طويلة مقارنة بعملية إعادة الإصلاح، ويعتمد على تطوير المناطق عن طريق إقامة مشاريع جديدة فيها. ويتطلب هذا النوع من إعادة الإعمار وجود رأس مال كبير بالإضافة إلى مساهمات من شركات القطاع الخاص بهدف تطوير البنية المعمارية للمنطقة المستهدفة.

ويمكن القول إن الهدف الرئيسي من هذه العملية تطوير وتحقيق الاكتفاء الذاتي للمناطق المطورة وذلك بالاعتماد على المشاريع المتعددة الوظائف التي تساعد في تخفيف الضغط عن مراكز المدن، وتزويد المناطق المطورة بكافة المستلزمات الخدمية والفعاليات (السكنية - الإدارية وتوفير وسائل النقل والمواصلات المختلفة من أجل تخديم هذه المناطق. تم استخدام مبدأ التطوير باستخدام الأبنية المتعدد الوظائف في وارسو في تسعينيات القرن العشرين بهدف تحويل غالبية مناطق وارسو إلى مناطق مكتفية ذاتيا، حيث تم إنشاء مجموعة من الأبنية البرجية تتضمن الفعاليات المختلفة (سكنية - إدارية تجارية-ترفيهية -خدمية الخ) بالإضافة إلى شبكة من الطرق، بغرض توفير خطوط سير لوسائل النقل العام وتخفيف اعتماد السكان على السيارات الفردية وبالتالي المساهمة في تقليل التلوث والحفاظ على البيئة. الشكل (5).



الشكل (5) اعتماد التطوير باستخدام الأبنية المتعددة الوظائف

مدينة وارسو



الشكل (6) مراحل إعادة الإعمار بعد الحروب والكوارث

عمل الباحث

3. مراحل إعادة إعمار المباني:

تمر عملية إعادة إعمار المباني بعدة مراحل رئيسية بدءا بالدراسة وجمع المعلومات وانتهاء بوضع المخططات والتنفيذ، هذه المراحل غير منفصلة وإنما هي متقاطعة ومتداخلة مع بعضها البعض ويمكن تخليصها فيما يلي:

- تجميع المعلومات من الوثائق المعمارية عن المبنى، (السجلات الحكومية، أي صور أو مخططات متوفرة عن المبنى وما حوله) لمعرفة القيمة المعمارية للمبنى والمدى المسموح فيه بالتغيير على المبنى.
- تقييم الحالة الإنشائية الحالية للمبنى مع وصف دقيق لنقاط الضعف في مواد البناء من شقوق وحرق أو انهيار جزئي أو كلي وغيرها.
- تقييم الحالة المعمارية والرمزية للمبنى: نقاط القوة، نقاط الضعف، المراحل التي مر بها البناء، الإضافات والعناصر المفقودة، وظيفة المبنى الأصلية والوظائف الأخرى التي مرت عليه.

■ وضع مخطط إعادة الإعمار المقترح مع مراعاة الكود المحلي المستخدم في البلد أو أي قوانين وأنظمة تفرضها البلدية، ومراجعة المنشورات التي تحتوي القواعد والتوجيهات لكل حالة.

■ إجراء اختبارات ومراقبة النتائج قبل اتخاذ أي إجراء، ومن ثم تنفيذ المخطط

[1]

تتميز المراحل السابقة بأنها متغيرة ولا يمكن وضع أسس ثابتة لتقييم حالة المبنى الانشائية أو المعمارية أو الرمزية، إنما هي تعتمد بالدرجة الأولى على وجهة نظر الفريق المختص وتجاربه السابقة. مع ذلك فإن مخطط إعادة الإعمار يختلف عن المخطط المعماري للمباني الحديثة بأنه مقيد بالعديد من التوجيهات والقوانين العالمية والمحلية التي تضمن عدم المساس بالقيم التراثية والاجتماعية للمبنى عند إعادة الإعمار. [5]

4. أولويات التدخل:

تتدرج الأولويات في مسألة إعادة الإعمار بعد الكوارث وفق اعتبارات مختلفة، يمكن تصنيفها في احتمالات متعددة حسب وجهة نظر الجهة التي تقوم بالعمل، ولكن بشكل عام نجد الأولويات التالية تصب في إطار يجمع أغلب الآراء وذلك بعد إيجاد حل لموضوع الإسكان المؤقت.

1. الحفاظ على الأبقاض.

2. البدء بأعمال استرداد البنية التحتية.

3. هدم الأبنية الخطرة إنشائياً.

4. تخزين مواد البناء الأصلية بحرص في نقطة تجميع معينة حيث يتم تنظيفها وترقيمها لكي يكون بالإمكان استخدامها مرة أخرى.

5. مبادئ إعادة الإعمار:

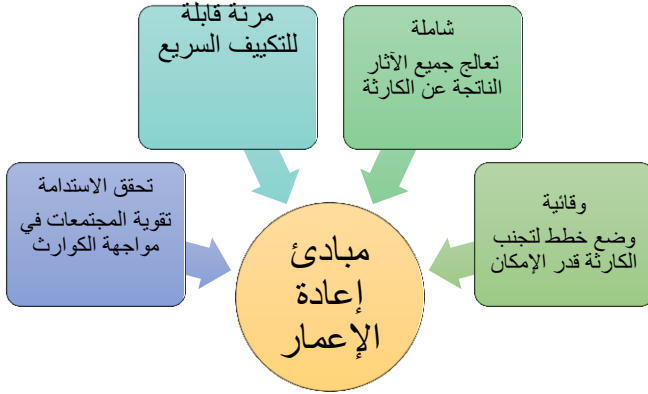
تفهم عمليات إعادة الإعمار بعد الكوارث على أنها عملية بناء ما تهدم من الهيكل العمراني (المباني) بفعل الكارثة أو الحرب، لكن يعتبر التعريف بهذا الشكل ناقص، لأنه يأخذ بعين الاعتبار إعادة ما تهدم من البنية الفيزيائية فقط ويهمل بقية مكونات النسيج

الحضري التي تشكل البنية الفيزيائية جزء منها، حيث أن البنية الفيزيائية هي في حقيقتها انعكاس لحياة الناس الثقافية والاجتماعية والاقتصادية.

وقد عرف الباحث (Baradan) إعادة الإعمار بعد الكوارث بأنها مجموعة من العمليات والسياسات التي توضع من أجل مواجهة الكوارث و الاستعداد لها قبل حدوثها من ثم تلبية الحاجة الملحة أثناء الكارثة و إعادة إعمار ما تضرر بفعل الكارثة بعد وقوعها، سواء أكان ذلك على المستوى قصير أو طويل الأمد، بحيث تكون هذه السياسات شاملة لكل نواحي الحياة و تهتم بإعادة بناء ما تهدم خلال الكوارث ضمن المحتويات الأخرى (الاجتماعية،الاقتصادية،الثقافية)، و هذه السياسات تختلف بطبيعتها عن تلك التي توضع في الأوضاع و الظروف العادية، وذلك لأنها تعني بتلبية الاحتياجات في ظروف غير طبيعية و غير مستقرة.[9]

تركز أي مبادئ إعادة الإعمار بعد الكوارث على أربعة بنود، تعتبر بمثابة محددات لها، وتعمل على توجيهها وهذه البنود هي:

- 1. وقائية:** لا تكفي بوضع الخطط لمعالجة آثار الكارثة فقط، بل تقوم بوضع الخطط لتجنب الكارثة قدر الإمكان، من خلال اتخاذ إجراءات وقائية مسبقة.
- 2. شاملة:** تعالج جميع الآثار الناتجة عن الكارثة، على مختلف المستويات ومختلف العناصر بالتوازي، سواء كانت اجتماعية أو ثقافية أو اقتصادية أو سياسية. تندمج ضمن خطط التطوير: فتكون هذه الاستراتيجية جزء من خطط التنمية والتطوير الحضري، حيث أن الكوارث هي شيء محتمل الحدوث في أي مكان، لذلك لا بد أن يتم وضعها في الاعتبار عند إعداد أي خطط للتنمية في المستقبل.
- 3. الاستدامة:** إذ بتحقيق مبدأ الاستدامة تكون قادرة على إعادة إدارة عجلة الحياة واستمراريتها بذاتها، وتعمل على تقوية المجتمعات في مواجهة الكوارث.
- 4. مرنة:** قابلة للتعديل والتكيف السريع مع المستجدات والمتغيرات على أرض الواقع. الشكل (7).



الشكل (7) مبادئ إعادة الإعمار

عمل الباحث

6. اتجاهات إعادة الإعمار بعد الحروب والكوارث:

في مشاريع إعادة الإعمار بعد الكارثة أو الحرب هناك عدة اتجاهات للتعامل مع عمارة ما بعد الحرب أو الكارثة، بعض هذه الاتجاهات تركز على الناحية العملية الوظيفية، وبعضها أكثر رمزية تهتم بالذاكرة الجماعية والهوية الوطنية، وبالعوم فإن كل حالة إعادة إعمار لها استراتيجيتها الخاصة في التطبيق خصوصا في التفاصيل.

6-1 اتجاه التحديث والتجديد - البناء الحديث ليس له علاقة بالقديم:

ويهتم هذا الاتجاه بإيجاد عمارة جديدة لم تكن موجودة من قبل، وليست ذات ارتباط وثيق مع تاريخ وهوية المجتمع وينتشر هذا النوع من المباني في أعقاب الحروب والكوارث لتلبية احتياجات السكن الفعال والسريع وقليل الكلفة وأحادي النمط بهدف إيواء المشردين.[3]

وقد انتشر هذا الاتجاه بشكل كبير بعد الحروب من أجل توفير مأوى، في الدول الأوروبية. الشكل (8).



الشكل (8) إعادة إعمار فرانكفورت

حيث تم إعادة إعمار المدينة بطابع وأسلوب جديد يتصف بالحدثة ليس له علاقة بالطابع المعماري القديم

2-6 اتجاه إحيائي-إعادة إحياء القديم:

يهتم هذا الاتجاه بإعادة بناء ما تهدم بفعل الكارثة أو الحرب من المباني التاريخية كما كانت في السابق بهدف المحافظة على وجودها (إعادة الإحياء الشكلي للعمارة التاريخية) وحفظ، ذاكرة وهوية المكان، وهذا النوع من إعادة الإعمار بحاجة إلى توثيق مسبق ودقيق للمباني التاريخية لإعادة البناء كما كان، ويتركز هذا الاتجاه بشكل أساسي في المناطق التاريخية والمناطق ذات القيمة الاعتبارية والرمزية الخاصة. والتي يمثل وجودها أهمية في ذاكرة الجماعة ويرتبط بهويتهم [3] الأشكال (9)(10)(11)(12).



الشكل (9) الساحة الرئيسية في البلدة القديمة- بولندا- وارسو

تم إعادة إعمار ساحة وارسو كما كانت في السابق والحفاظ على الطابع المعماري القديم



الشكل (10) الجسر المؤدي إلى مدين كولن عبر الراين-ألمانيا
مدينة كولن على نهر الراين قصفت بشدة من قبل الحلفاء وكان مبنى
الكاتدرائية الأثرية هو المبنى الوحيد الذي نجا.



الشكل (11) تدمير الجسر الواصل بين طرفي مدينة موستار-البوسنة
والهرسك
تم إعادة بناء الجسر كما كان في السابق، واستخدام المواد الأولية المحلية
ولا سيما الأحجار وطبقا للطرق التقليدية وأدواتها المعروفة [2]



الشكل (12) الجسر التاريخي في موستار بعد إعادة الإعمار

3-6 اتجاه متطور - المزج بين القديم والحديث:

هذا الاتجاه هو محاولة المزج بين هوية وتراث القديم مع إضافة بصمة الزمن المعاصر، وإضافة التطور الملائم الذي يوضح التطور الحادث في العمارة دون التأثير على الهوية وذاكرة المكان الفعلية. فمن غير المنطقي بناء عمارة في العصر الحديث بنفس أسلوب وتكنولوجيا وشكل العمارة القديمة فهذا يعد محوا وتخليًا عن فكر الإحياء الشكلي، فمن الصعب أن نؤمن بأنه هو الأصل بل يصبح أحيانا نسخة مشوهة منه وليس هو ذاته لذا ظهر هذا الاتجاه الذي يحاول حل هذه المعادلة الصعبة بتحقيق الفكر المتطور دون التخلي عن الهوية المحلية للمدينة من خلال عملية المزوجة في استخدام أساليب البناء القديمة وإحياء الطراز القديم إلى جانب استخدام أساليب البناء الحديثة، وذلك للمحافظة على العمارة التاريخية.[8] إضافة إلى مسايرة روح العصر وملائمة الاحتياجات السريعة والملحة والتطور الحاصل ولصعوبة استخدام الأساليب والأنماط القديمة بشكل مطلق. كما في الشكل (13).



الشكل (13) مبنى البرلمان الألماني - برلين-المزج بين الطابع القديم والقبة الزجاجية الحديثة

4-6 اتجاه رمزي شاهد على الأحداث- الإبقاء على المبنى المهدم كما هو وبناء مبنى حديث قربه:

يركز هذا الاتجاه على أهمية ورمزية الحدث أكثر من أهمية البناء، فهو يعمل على الإبقاء على حال المبنى كما هو شاهدا على الدمار الذي حصل لحفظ الذاكرة ولإظهار بشاعة ما ترتبه الحروب في حق القيمة الإنسانية والتاريخية. [3] ولا يصلح هذا الاتجاه للتطبيق إلا في مباني معينة ذات رمزية خاصة وسبب وجيه للمحافظة عليها كما هي، ويتم اختيارها بواسطة العديد من المختصين والخبراء من مختلف المجالات. [3] كما في كنيسة الذكريات في برلين، حيث تم الحفاظ على ما تبقى من الكنيسة منذ ذلك الحين كتذكارة للخراب الذي سببته الحرب. [7] الشكل (14)



الشكل (14) كنيسة الذكريات في مدينة برلين ألمانيا

بعد الحفاظ عليها كمعلم أثري

7. تحليل لبعض المشاريع التي استخدمت اتجاهات إعادة الإعمار:

1-7 المشروع الأول: مجمع سكني في فرنسا (Tour Bois le Prêtre) حسب اتجاه المزج بين القديم والحديث:

يلمع La Tour Bois-le-Prêtre في باريس ومغلف بعباءة جديدة من الشرفات الزجاجية وألواح الألمنيوم المموجة، الشكل (15)، يرتفع على حافة هذه المدينة وسط

منظر طبيعي بين الكتل السكنية المبنية من الأسمنت والطوب. تم بناء هذا المبنى الشاهق المكون من 16 طابقاً في أوائل الستينيات على طول الطريق الدائري لباريس، ويضم 100 شقة، هذا البرج المصمم على أيدي فريق إبداعي من المهندسين المعماريين المحليين - فريديريك دروت وأن لاکاتون وجان فيليب فاسال - دراسة تعبر حالة في الإبداع المعماري. بدلاً من استبدال البرج القديم بمبنى جديد تمامًا، رأى المصممون ما



هو

جدير بالاهتمام في الهندسة المعمارية الحالية وأضافوا إليه الهيكل الزجاجي.

الشكل (15) البرج السكني قبل إعادة تأهيله وإضافة الهيكل الزجاجي وبعد الإضافة

تعاون المهندس المعماري الفرنسي فريديريك دروت مع آن لاکاتون وجان فيليب فاسال في إعادة التصميم. شمل تجديدهم تمديد ألواح الأرضية إلى الخارج لزيادة حجم الغرف بالإضافة إلى إنشاء حدائق شتوية وشرفات جديدة. الشكل (16)



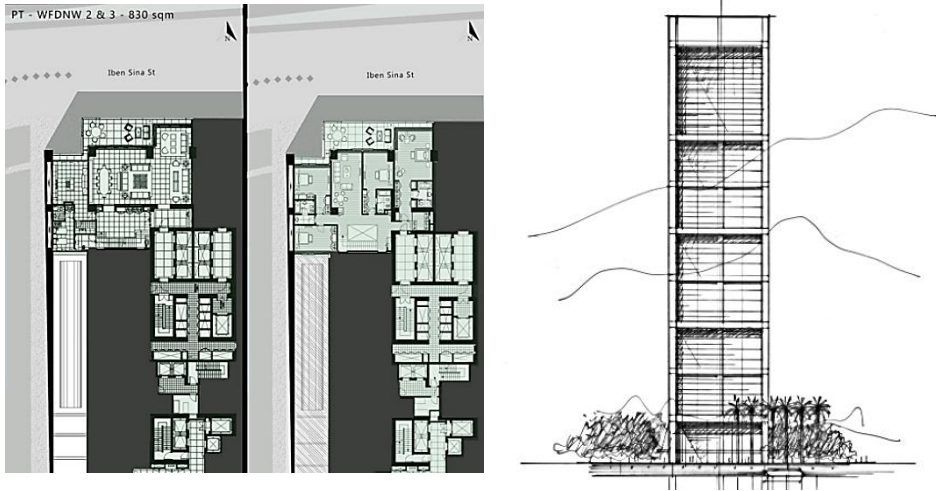
الشكل (16) الحدائق الشتوية والشرفات التي تم إضافتها للبرج

7-2 المشروع الثاني: البرج البلاتيني في بيروت على حسب اتجاه التحديث

والتجديد:

احتل البرج البلاتيني موقعاً مهماً على الواجهة البحرية في بيروت. بحيث يقع البرج بجوار العديد من الفنادق الفاخرة. كما أنه مجاور للعديد من المعالم بما في ذلك كاتدرائية القديس إلياس، وكورنيش بيروت، وكنيسة جميع القديسين، ومركز بيروت الدولي للمعارض والترفيه، وفندق هوليداي إن المليء بالرصاص، وهو أحد آخر شهود بيروت على الحرب الأهلية المدمرة، كما أنه يعتبر أيضاً مؤلماً للعين من قبل العديد من مواطني المدينة لأنه يمثل أيضاً لحظة التحسين المعاصرة للأحداث العنيفة.

يتكون البرج البلاتيني من مبنيين منفصلين، أحدهما أصغر على جانب البحر، والآخر يطل على منطقة وسط بيروت. الشكل (17) البرج يضيء المنزل ليلاً عند حوافه، وفوقه، بالإضافة إلى خطوط إضاءة أفقية. الشكل (18).



الشكل (17) المقطع والمساقط الأفقية للبرج



الشكل (18) نظام إضاءة البرج البلاتيني

8. الدراسة التطبيقية

1-8 إعادة إعمار مبنى سكني في حي القصور (حسب اتجاه التحديث والتجديد):
نسبة الدمار في الحي بعد الحرب كانت كبيرة جدا فتضرر النسيج السكني بالكامل، لذا فإنه يجب أن يتم إنشاء أبنية سكنية جديدة تلبى احتياجات السكان وتؤمن راحتهم. وتبعاً لنسبة الدمار الكبيرة في الحي فإن الاتجاه الأنسب لإعادة الإعمار هو اتجاه التجديد، حيث أن البناء الحديث ليس له علاقة بالقديم.

رؤية لتصميم برج سكني في حي القصور حسب اتجاه التحديث والتجديد:

تعتمد الفكرة التصميمية للبرج السكني على محاكاة العمارة للجوانب الاجتماعية للسكان ضمن الحي والاهتمام المتزايد في إيجاد مبنى سكني يوفر ظروف ملائمة للناس ومراعاة التنظيم الفراغي الذي يراعي العلاقات الاجتماعية والعادات والتقاليد وتأمين الخصوصية بالانتقال من الفراغ العام إلى الشبه العام ثم إلى الخاص.

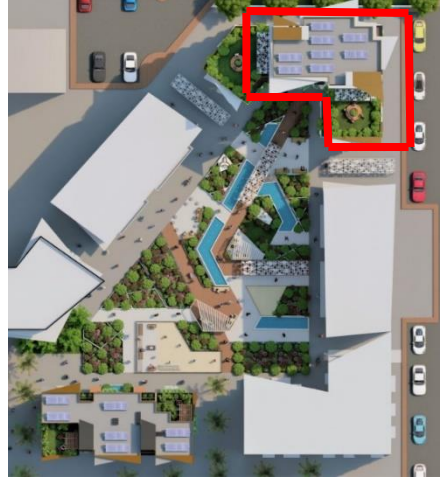
يمتد هذا البرج بشكل طولاني على محور شرق غرب، بحيث تكون واجهاته الطويلة باتجاه شمال جنوب، ويحتضن بواجهته ذات الشرفات البارزة الوسط الجنوبي الشمس للحي مشكلا فراغا تعائشياً لسكانه. الشكل (19)(20)(21)(22)(23)(24)



الشكل (19) المخطط التنظيمي للحي قبل الحرب



الشكل (20) المخطط التنظيمي المقترح لإعادة إعمار الحي



الشكل (21) الموقع العام الذي يظهر التصميم الجديد للشريحة والذي ليس له علاقة بالتصميم القديم



الشكل (22) المساقط الأفقية للبرج



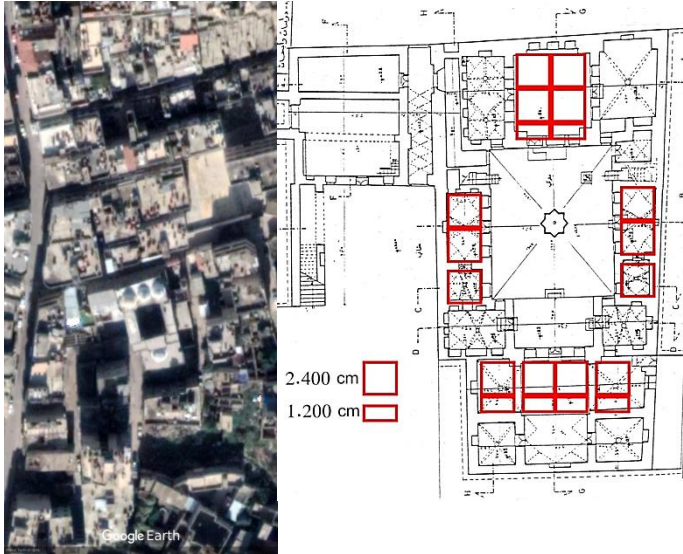
الشكل (23) المقاطع الشاقولية في البرج



الشكل (24) الواجهات العامة للبرج

2-8 رؤية لإعادة إعمار قصر الزهراوي في حمص حسب اتجاه المزج بين القديم والحديث. (الشكل (25))

لابد لنا من وقفة حقيقية لإنقاذ هذا المبنى ووقف التدهور والاهتراء الحاصل فيه والحفاظ على ما تبقى منه وإعادة تأهيله... والتأكيد على الحفاظ على القيم الكامنة فيه والمساعدة على النهوض بالنسيج العمراني المهترئ وإحياءه من جديد.



الشكل (25) مخطط القصر ولقطة من السماء

الأضرار التي لحقت بقصر الزهراوي:

تعرض قصر الزهراوي للكثير من الأضرار الفيزيائية نتيجة للحرب التي دارت في المنطقة ومن أبرز الأثار الحاصلة

1. تهدم شبه كامل للقبة الواقعة في القسم الشمالي الشرقي للكتلة المملوكية.
2. انهدام جزء من سقف الشرفة العلوية في القسم العثماني.
3. تخريب جزئي في القبوات المغطية للمرات في القسم المملوكي نتيجة اصابتها بأعيرة نارية مختلفة.

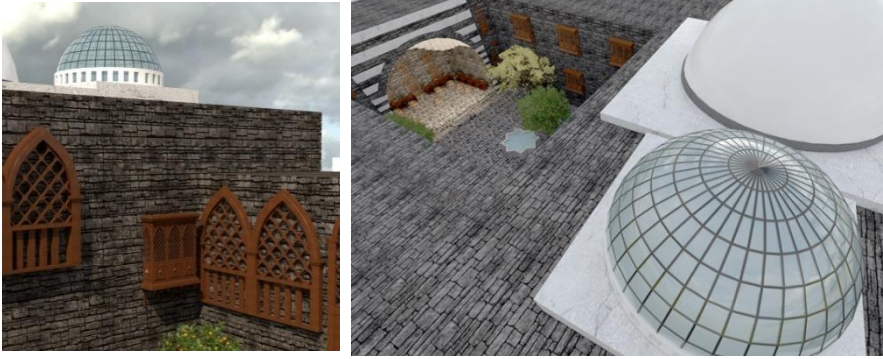
4. تخريب معظم الاعمال الخشبية التي كانت تغطي الدرج المكشوف في القسم العثماني بالإضافة للزينات الخشبية في الشرفة العلوية. الشكل (26)



الشكل (26) الدمار الحاصل في أسقف القصر وجدرانه

اتجاه المزج بين القديم والحديث: وفي هذا الاتجاه يوجد عملية مزاجية في استخدام أساليب البناء القديمة وإحياء الطراز القديم إلى جانب استخدام أساليب البناء الحديثة. هو الاتجاه الذي سوف نقوم بتطبيقه في تجربة إعادة إعمار قصر الزهراوي. والاعتماد على استخدام التقنيات والمواد الحديثة في إعادة البناء حيث إن الأصل في إعادة البناء هو محاولة إعادة الأجزاء المفقودة إلى ما كانت عليه بقدر الإمكان، مع مراعاة التمسك بنفس مادة المبنى. وعدم إدخال أي تجديدات من شأنها تزييف أو تشويه للمبنى. ولكن عندما يصبح أحد العناصر من المبنى الأثري - وخاصة السقف -

في حالة من القدم والضعف بحيث لم يعد قادراً على حمل أي أحمال، في نفس الوقت الذي تحتفظ فيه بقيمة تاريخية وفنية مما يجعل الحرص والإبقاء عليها أمراً ضرورياً، يتم اللجوء إلى استخدام وسائل وعناصر واجراءات جديدة .وبالرغم من أن هذه الإجراءات تحمل في طياتها معنى التقوية التي من شأنها المحافظة على الأسقف، إلا أنها في نفس الوقت تسهل إجراءات إعادة البناء والاستكمال للأجزاء المهدمة أو الناقصة، حيث يصبح الجزء المضاف عندها بعيداً عن أي أحمال قد تتسبب في تلفه فيما بعد . وقد شاع استخدام هذه المواد الحديثة - بعد الحرب العالمية الثانية - في ترميم أسقف المباني والكنائس التي دمرتها الحرب في أوروبا. إذ لجأ المرممون إلى ذلك لعدة أسباب، منها عدم توفر الكميات المطلوبة والكافية من الأخشاب بعد الحرب لاسيما القطع البالغة



الشكل (27) القبة الزجاجية التي تم استبدالها بقية القصر المهدمة الطول التي يتكون منها السقف. وقد أخذوا بعين الاعتبار أيضاً تعرض تلك الأسقف الخشبية للحريق. وهكذا، أعيد بناء أسقف أكثر المباني والكنائس في أوروبا.



الشكل (28) لقطة داخلية للفراغ الداخلي في القصر

▪ النتائج العامة:

1. توزيع جديد للفراغات بحيث تتلاءم مع وظيفة المبنى والعصر الحديث؛ حيث أن نجاح مشروع إعادة الإعمار مرتبط بالاختيار الدقيق للاتجاه المستخدم، ويكون ذلك من خلال عمل دراسة لموقع المبنى والمحيط الاجتماعي له.
2. في المناطق التاريخية في مدينة حمص يمكن استخدام أسلوبين: اتجاه إحيائي أو اتجاه متطور حسب حالة البناء المراد إعادة إعماره.
3. في المناطق الحديثة والمدمرة في مدينة حمص يمكن إعادة الإعمار باتجاه التحديث والتطوير.
4. الاتجاه الرمزي في مدينة حمص لا يمكن استخدامه لأنه لا يوجد بناء له أثر كحبير لمدينة حمص وقد تم تدميره بشكل جزئي.
5. أعمال إعادة الإعمار تتضمن مرونة تمكن متخذي القرار من التصرف بموجبها.
6. تطبيق اتجاه إعادة الإعمار المناسب ضمن عمليات إعادة الإعمار على حسب الوضع الراهن للمباني المتضررة بعد الحرب.
7. إعادة استخدام المواد الأصلية للأبنية المتهدمة هو أمر ضروري للدلالة على أصالتها.
8. اختيار النماذج التي يمكن إحيائها في المنطقة وإعادتها كما كانت وإهمال مظاهر معمارية تعثرها الأخطاء.
9. إعمار الحجر هو نشاط متكامل مع عملية إعمار البشر ليس نقيضا أو بديلا.
10. لا بد أن تتصف المباني التي سيتم إعمارها بتحقيق متطلبات العصر الحديث، وتأمين الراحة لقاطنيها.

11. الاعتماد على مقاربات بسيطة وسهلة الاستخدام في التخطيط، لتصبح إمكانية التعامل مع المخطط الجديد سهلة وبسيطة.
12. تحسين نوعية الفراغات العامة وتوفير الأماكن العامة كحق للجماعة وكحاجة ملحة في محيط كل الأسر بفارق مستوياتها.
13. الحفاظ على القيم الرمزية والجمالية للمباني حيث يجب أن تحافظ عملية إعادة الإعمار على القيم المعمارية الجمالية والتي تتمثل في التفاصيل المعمارية وتوزيع الفراغات.

▪ المراجع

1. الطاهر، معاذ بشير محمد، 2011 - استراتيجيات إعادة الإعمار بعد الحروب والكوارث في فلسطين، جامعة النجاح الوطنية كلية الدراسات العليا
2. حربلي، لميس، 2014- أولويات التدخل وأساليبه، دورة منهجيات التعامل مع المدينة القديمة، معهد التراث العلمي العربي، جامعة حلب.
3. عكاشة، عالية، 2004- عمارة ما بعد الحرب - حالة دراسية مدينة نابلس، رسالة ماجستير جامعة غير منشورة، القاهرة.
4. قاسم، تميم، 2014- المعايير الدولية للحفاظ على المناطق التاريخية، دورة منهجيات التعامل مع المدينة القديمة، معهد التراث العلمي العربي، جامعة حلب.
5. كتاب ترجمة 2 وارسو
6. لمعي مصطفى، صالح، 2010- أسس ترميم المعالم الأثرية طبقا للمواثيق الدولية، مجلة شادروان العدد الأول.
7. مصطفى، د. مهندس، بسام محمد - دور عمليات إعادة البناء في الحفاظ على المباني الأثرية والمواقع التاريخية .
8. ناهض / مودة الدهدار، حمودة، 2010، أثر الحروب في إعادة تشكيل المباني ذات القيمة دراسة حالة: مبنى المجلس التشريعي-فلسطين-غزة، رسالة ماجستير، كلية الهندسة المعمارية، جامعة القاهرة.

المراجع الأجنبية

9. Baradan, berna,2004-analysis of the post disaster reconstruction process following Turkish earthquakes, izmir institute of technology, turkey.
10. Barakat,2003- Sultan, Housing reconstruction after conflict and disaster, published by the Humanitarian Practice Network at ODI, UK>
11. The Aga Khan.2004- Trust for Culture, Conservation and Revitalisation of Historic Mostar, Historic Cities Support Programmer.

المواقع الإلكترونية

12. <http://ar.wikipedia.org>,

تقييم جودة مياه سد المزينة في حمص للشرب وفق مؤشرات جودة المياه العالمية

نغم نزار حيدر¹ د.م. حسام صبوح² د.م. هناء سلمان³

الملخص

يهدف البحث إلى تقييم نوعية مياه بحيرة سد المزينة لأغراض الشرب والري باستخدام مؤشر جودة المياه العالمي (NSFWQI) ومؤشر جودة المياه المعدل (NEWWQI) ومؤشر جودة المياه الكندي (CCMEWQI)، ولتحقيق ذلك تم إجراء تحاليل دورية فيزيائية - كيميائية وجراثومية لمياه البحيرة، حيث تم أخذ العينات من خمسة مواقع على كامل محيط البحيرة على مدى دورة هيدرولوجية كاملة.

بينت الدراسة أنه عند تصنيف مياه البحيرة وفق مؤشر جودة المياه العالمي (NSFWQI) أن العينات المأخوذة من المواقع (S1,S3,S4) صنفت تحت الدرجة (C) والوصف متوسط، أما باقي العينات (S2,S5) فقد صنفت تحت الدرجة (D) والوصف سيء، وبالتالي مياه البحيرة غير صالحة للشرب وتحتاج إلى معالجة.

وباستخدام مؤشر جودة المياه العالمي المعدل (NEWWQI) لوحظ أن المياه منخفضة الجودة في مواقع العينات (S1,S2,S5) والوصف هو أن المياه غير صالحة للشرب والاستجمام وأن واحد أو اثنين من البارامترات يتراجع ويحتاج إلى معالجة مناسبة، أما نوعية مياه البحيرة فهي مقبولة الجودة في باقي العينات (S3,S4) والوصف أن المياه تستخدم للشرب في الحد الأعلى وللاستجمام في الحد الأدنى.

كما تبين عند تصنيف مياه البحيرة وفق مؤشر جودة المياه الكندي (CCMEWQI) أن نوعية المياه سيئة جداً في جميع مواقع العينات، وهذا يعني أن نوعية المياه في معظم الأوقات أو دائماً متدهورة، باستثناء موقع العينة (S3) الذي صنف المياه تحت الدرجة السيئة، وهذا يعني أن نوعية المياه كثيراً ما تضعف أو تتدهور، أي بشكل متكرر تحيد عن المستويات المرغوب بها.

الكلمات المفتاحية: مؤشر جودة المياه، CCMEWQI، NEWWQI، NSFWQI.

¹ م.نغم نزار حيدر - طالب ماجستير - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

E-mail: nagham.7edr@gmail.com

² د.م. حسام صبوح - أستاذ مساعد - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية

– سورية E-mail: hossamsab1959@gmail.com

³ د.م. هناء سلمان - أستاذ مساعد - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

E-mail: hanaksalman@gmail.com

Water Quality Assessment of Al-Mzeina Dam, Homs For Drinking Water According to International Water Quality Indexes

Nagham Nizar Haidr¹ Dr. Hosam Sabbouh² Dr.Hana Slaman³

Abstract

The research aims to assess the water quality of Lake Al-Mazina Dam for drinking purposes using the International Water Quality Index (NSFWQI), the Modified Water Quality Index (NEWWQI), the Canadian Water Quality Index (CCMEWQI), To achieve this, periodic physical - chemical and microbial analyzes of the lake water were carried out, as samples were taken from five locations on the entire circumference of the lake over a complete hydrological cycle.

The study results showed that, classifying the lake water according to the international water quality index (NSFWQI) was found that it was classified below grade (C) in the samples sites (S1,S3,S4) and the description is medium, while the rest of the samples (S2,S5) were classified under the grade (D) and description Bad, so the lake water is not potable and needs treatment.

And, when using the adjusted global water quality index (NEWWQI), it was noted that the water is of low quality in the sampling sites (S1,S2,S5) and the description is that the water is not suitable for drinking and recreation, and that one or two parameters is deteriorating and needs appropriate treatment. As for the quality of the lake water They are of acceptable quality in the rest of the samples (S3,S4) and the description is that the water is used for drinking at the highest level and for recreation at the minimum.

It was also found when classifying the lake water according to the Canadian Water Quality Index (CCMEWQI) that the water quality is very poor in all sampling sites, which means that the water quality is most of the time or always deteriorating. Except for the sample site (S3), which rated the water below the bad grade, this means that the water quality often weakens or deteriorates, i.e. frequently deviates from the desired levels.

Keywords: Water Quality Index, NSFWQI, NEWWQI, CCMEWQI.

¹ Master student- Department of Environmental Engineering- Civil Engineering Faculty- Tishreen University – Lattakia – Syria E-mail: nagham.7edr@gmail.com

² Associate Professor - Department of Environmental Engineering- Civil Engineering Faculty- Tishreen University – Lattakia – Syria E-mail: hossamsab1959@gmail.com

³ Associate Professor - Department of Environmental Engineering- Civil Engineering Faculty- Tishreen University – Lattakia – Syria E-mail: hanaksalman@gmail.com

1- مقدمة

تعتبر الجمهورية العربية السورية بلداً جافاً وشبه جافاً، تتعرض موارده المائية لكثير من الضغوطات الكمية والنوعية نتيجة لندرة هذه الموارد وعدم انسجامها مع التوزيع الإقليمي للسكان، فالموارد المائية المتاحة في سوريا جعلتها تصنّف في مجموعة البلاد الفقيرة بالماء اعتباراً من عام (2000).

وتتميز محافظة حمص بموقعها الجغرافي الذي جعلها تحتضن أجزاء من ثلاثة أحواض مائية رئيسية مهمة هي حوض العاصي والساحل والبادية، غير أن مياه معظم السدود فيها تعاني من التلوث الناجم عن زيادة النشاطات البشرية في أحواضها، وتستخدم مياهها لأغراض مختلفة دون التطرق لتقييم مدى ملاءمتها لهذه الأغراض [1].

ويعتبر سد المزينة من أهم المشاريع المائية القائمة حالياً في حوض الساحل بحجمه التخزيني 19.2 مليون متر مكعب ويؤمن هذا السد إضافة إلى واردات نبع الناصرية المياه اللازمة لري مساحة تقارب أربعة آلاف هكتار من سهل البقعة، والدراسة الحالية شملت تقييم جودة مياه السد لأغراض مياه الشرب مستقبلاً، فسد المزينة يعتبر من النوع الركامي، بوشر بإنشائه عام (1993) واكتمل المشروع ليوضع بالاستثمار الفعلي عام (2003) [1].

ينتج تلوث بحيرة سد المزينة عن عدة مصادر منها تصريف مخلفات الصرف الصحي والنفايات الصلبة من التجمعات السكانية والأنشطة السياحية، كما أن مخلفات الصرف الزراعي المحملة بالعديد من الأسمدة العضوية، ومياه السيول المحملة بالمواد الذائبة العضوية والكيميائية تؤثر بشكلٍ سلبي مباشر على جودة مياه البحيرة وتجعلها عرضة لأخطر أنواع التلوث.

تستخدم مؤشرات جودة المياه (WQI: Water Quality Index) لتقييم صحة المصدر المائي بعدد وحيد تم الحصول عليه نتيجة لحل معادلة رياضية، ومتغيرات هذه المعادلة هي نتائج قياسات البارامترات الأكثر تأثيراً وخطورةً على المصدر المائي، حيث تم اختيار هذه البارامترات بعد دراسات طويلة والتوصل بأنها الأهم، ومن ثم تمت مقارنة

هذا العدد بمعايير تصنيف نظامية (Classification Criteria Standards) حسب كل مؤشر، حيث تكون هذه المعايير مقسمة إلى درجات من السيء جدا (Very Bad) حتى الممتاز (Excellent) أو عالي الجودة، وقد تم تطبيق تصنيفات متعددة في كافة أنحاء العالم وطرأت تطورات عديدة على تلك المعايير، حيث طورت العديد من مؤشرات جودة المياه ومن أهمها والتي تم استخدامها في هذه الدراسة:

- مؤشر جودة المياه العالمي (National Sanitation Foundation Water Quality Index - NSFQI)
- مؤشر جودة المياه العالمي المعدل (New Water Quality Index - NEWQI)
- مؤشر جودة المياه الكندي (Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index - CCMEWQI)

استخدمت هذه المؤشرات في العديد من الدراسات لتقييم جودة مياه المصادر المائية، حيث أجريت دراسة لتحديد نوعية مياه الشرب في مدينة Pogradec في ألبانيا في عام (2011) حيث أخذت العينات من ستة مواقع ثابتة في المدينة وتم تقييم نوعية المياه وفق المؤشر الكندي، إذ تم قياس البارامترات التالية: (الطعم-الرائحة-درجة الحرارة-درجة الحموضة-الناقلية الكهربائية-العكارة-النترات-النترت-الأمونيوم-الكلور-الحمل الميكروبي)، وكان تصنيف المياه من الدرجة الثانية (جيدة)، حيث كانت العكارة هي المشكلة الرئيسية في جودة المياه [2].

كما استخدم مؤشر جودة المياه العالمي (NSFWQI) في دراسة على بحيرة Zarivar في غرب مقاطعة كردستان إيران وهي بحيرة مياه عذبة، وقد أخذت العينات التي أجريت عليها الدراسة من سبعة مواقع مختلفة في البحيرة وكانت البارامترات المقاسة كالتالي: (TC-pH-DO-BOD₅-NO₃⁻-Turb-TP-TSS-F.C)، وقد أظهرت الدراسة أن قيمة مؤشر الجودة كانت مساوية (65.9)، أما نوعية المياه فتندرج تحت الدرجة (C) متوسطة الجودة وبالتالي المياه تحتاج لمعالجة قبل الشرب [3].

وأجريت دراسة لتقييم جودة مياه نهر Ruvu في تنزانيا باستخدام مؤشر جودة المياه العالمي (NSFWQI) خلال ثلاث سنوات (2014-2016-2017)، حيث تم قياس تسعة بارامترات وهي كالتالي: (TC-pH-DO-BOD₅-NO₃⁻-Turb-TP-TSS- F.C) تم جمعها من 14 نقطة اعتيان، حيث أظهرت النتائج بأن النتيجة الإجمالية للمؤشر العالمي كانت: (49.9-52.0-57.8) على مدار الأعوام (2014-2016-2017) وكانت قيمة المؤشر العالمي وسطيًا مساوية 53.2 وبالتالي جودة مياه النهر متوسطة [4].

كما تم استخدام مؤشرات الجودة لتقييم مصادر مائية في سوريا منها دراسة على سد بلوران في أربعة مواقع بالإضافة إلى عينتين إضافيتين على نهري قره جالة ورافد نهر وادي قنديل لمدة عام كامل يبدأ من نيسان (2010) وحتى آذار (2011)، وتم تحديد مستويات الجودة لأغراض مياه الشرب وفق المؤشرين (NSFWQI) و (NEWWQI) وقد تمت المقارنة بينهما وجاءت النتائج متشابهة حيث تبين أن البحيرة بعيناتها الأربعة قد اندرجت تحت الدرجة (D) والوصف سيء (Bad)، أما بالنسبة للعينتين الإضافيتين فقد كانتا تحت الدرجة (C) والوصف متوسط الجودة (Medium) وبالتالي فمياه البحيرة غير صالحة للشرب [5].

بالإضافة إلى دراسة أخرى أجريت على سد 16 تشرين في خمسة مواقع على طول البحيرة (2012/2013) تم من خلالها تصنيف مياه البحيرة وفق ثلاثة مؤشرات جودة عالمية وهي المؤشر الماليزي (DOEWQI)، ومؤشر جودة المياه العالمي (NSFWQI)، والمؤشر المعدل (NEWWQI)، وتم تصنيف مياه البحيرة من الدرجة الثالثة في جميع المواقع وفق المؤشر الماليزي ومن الدرجة الثانية في وسط البحيرة والدرجة الثالثة في باقي المواقع وفقاً للمؤشر (NSFWQI)، كما تم تصنيفها من الدرجة الثانية في جميع المواقع وفقاً للمؤشر المعدل (NEWWQI) وبالتالي فإنه لا يمكن استخدام مياه البحيرة للشرب قبل معالجتها [6].

2- هدف البحث

تأتي أهمية هذا البحث في أنه يلقي الضوء على دراسة جودة مياه البحيرة لأغراض الشرب وفق مؤشرات جودة المياه المذكورة سابقاً بهدف معرفة مدى صلاحية هذه المياه من حيث التركيب الشاردي والملوثات، حيث لا توجد دراسات سابقة عن صلاحية مياه هذه البحيرة،

وذلك من أجل التمكن من وضع الحلول والخطط المناسبة لتحقيق درجة الجودة المقبولة بيئياً، التي تساهم في جعلها أحد مصادر المياه العذبة في المنطقة، وفقاً للشروط المحلية وبما يتناسب مع المعايير الموضوعية لمستويات جودة مياه البحيرات والمسطحات المائية.

3- مواد وطرائق البحث

3-1- منطقة الدراسة

إن منطقة الدراسة المختارة هي بحيرة سد المزينة الواقعة في الحوض الساكب لنهر الكبير الجنوبي وروافده (الشكل 1)، والذي يعتبر جزءاً من حوض الساحل في محافظة حمص [1].

يقع سد المزينة في وادي النضاري بمنطقة تلكلخ على بعد حوالي 55 كم إلى الغرب من مدينة حمص، وهو سد ركامي تجميعي لمياه الأمطار والينابيع المتجمعة من منحدرات الجبال في تلك المنطقة، حيث يبلغ طول البحيرة 1122 م، وتبلغ مساحة سطح البحيرة 93 هكتار، أما مساحة الحوض الصباب 55 كم²، هذا ويبلغ طول جسم السد 696 متراً وعرض قاعدته 336 متراً وعرض قمته 8 أمتار، في حين يبلغ ارتفاعه 58 متراً ويمتد مفرغ المياه السفلي 282 متراً تنتقل المياه بعدها إلى شبكة ري لتروي حوالي 3000 هكتار من أراضي البقعة [1].



الشكل (1): صورة جوية توضح موقع بحيرة سد المزينة

3-2- البارامترات المدروسة

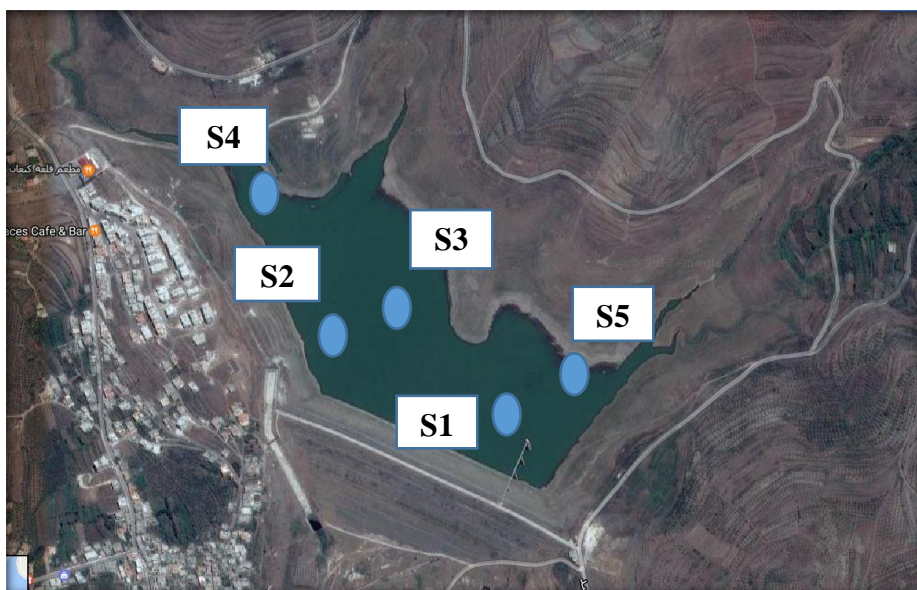
- أجريت القياسات للبارامترات التالية: تغيرات درجة الحرارة (TC) - العكارة (Turb) - الطلب الحيوي للأوكسجين (BOD_5) - الأوكسجين المنحل (DO) - الرقم الهيدروجيني (pH) - الناقلية الكهربائية (EC) - تعداد جراثيم الكوليفورم البرازي (F.C) - المواد الصلبة المعلقة الكلية (TSS) - القلوية الكلية (TA) - القلوية الفينولية (Phenol) (Alkalinity) - القساوة الكلية (TH) - القساوة الكلسية (مقدرة بكاربونات الكالسيوم) - القساوة المغنيزيومية - الأملاح المنحلة (TDS) - النترات (NO_3^-) - النتريت (NO_2^-) - الأمونيا (NH_4^+) - الفوسفات (PO_4^{3-}) - الكبريتات (SO_4^{2-}) - الصوديوم (Na^+) - البوتاسيوم (K^+) - الكالسيوم (Ca^{+2}) - المغنيزيوم (Mg^{+2}) - الكلورايد (Cl^-).

3-3- اختيار شبكة الاعتيان وقطف العينات

تم تحديد مواقع أخذ العينات المائية من سطح بحيرة السد المدروسة في نقاط مختلفة منها، بحيث كان توزيع نقاط الاعتيان على طول البحيرة على الشكل التالي:

- عند جسم السد (S_1).
- بالقرب من التجمعات السكانية (S_2).
- في منتصف سطح البحيرة تقريباً (S_3).
- عند رافد لنهر راويل الذي يغذي البحيرة (S_4).
- عند مصب مسيل مائي يغذي البحيرة (S_5).

وقد تم توضيح مواقع نقاط الاعتين المذكورة كما هو موضح على الشكل(2).



الشكل(2): صورة جوية توضح مواقع نقاط الاعتين المختارة في بحيرة سد المزينة

قطف وجمع العينات

تم قطف العينات (Sampling) لإجراء التحاليل الفيزيائية والكيميائية والجرثومية عليها بمعدل مرة واحدة في الشهر، ولفترة امتدت لدورة هيدرولوجية كاملة ابتداءً من شهر نيسان 2018 ولغاية شهر آذار 2019، وذلك في الفترة الواقعة ما بين الساعة التاسعة صباحاً والثانية عشرة ظهراً، حيث تم قطف العينات بالتعاون مع الكادر الفني لمديرية الموارد المائية في محافظة حمص.

جُمعت العينات في عبوات بلاستيكية نظيفة ومغسولة ومعدة لهذه الغاية، أما عينات التحليل الجرثومي، فتم جمعها في عبوات زجاجية نظيفة ومغسولة بالماء المقطر ومعقمة بالحرارة في فرن درجة حرارته (160 درجة مئوية) لمدة ساعتين ونصف، وقد أخذت العينات على عمق (10-15 سم) تحت سطح الماء، حيث تم اتباع كافة الإرشادات اللازمة والضرورية للقيام بالاعتيان، والتي تتلخص بما يلي [7]:

- 1- غسل عبوة العينة ثلاث مرات بماء العينة قبل ملئها بها.
- 2- الحفاظ على أجهزة الاعتيان نظيفة من الملوثات وذلك بغسلها وتغطيتها لمنع وصول الغبار إليها.
- 3- عدم ملء العبوات حتى أعلاها، من أجل ترك مجال صغير يسمح بمزج العينة أثناء تحليلها.
- 4- حفظ العينات الميكروبيولوجية وعينات الـ BOD5 قدر المستطاع بعد أخذها مباشرة في مكان مظلم وبدرجة حرارة أقل من (4 درجات مئوية)، ريثما يتم إيصالها إلى المختبر.
- 5- تعريف العينات بكود معين، وهو عبارة عن بطاقة توضع على كل عبوة، يكتب عليها رقم ومكان العينة وزمن أخذها، وقد تمت المحافظة على هذا الكود في المختبر الذي تم إجراء الاختبارات على العينات المقطوفة فيه، ويبين الشكل (3) نماذج العبوات البلاستيكية والزجاجية المستخدمة لجمع العينات.



الشكل (3): العبوات البلاستيكية والزجاجية المستخدمة لجمع العينات

3-4- مؤشر جودة المياه العالمي (NSFWQI):

لقد تعاون عدد من العلماء لتحديد البارامترات الأهم لتكون معياراً للقياس في المؤشر (NSFWQI) واعتمدوا البارامترات التالية [8]:

- الفوسفور الكلي (TP: Total Phosphate, mg/l)
- تغيرات درجة الحرارة (TC: Temperature Changes, °C)
- الرقم الهيدروجيني (pH)
- تعداد العصيات الجرثومية البرازية (F.C: Fecal Coliform) مقدره بـ (عصية في 100 ml)
- الأوكسجين المنحل (DO: Dissolved Oxygen, %)
- الطلب الحيوي للأوكسجين (BOD₅: Biochemical Oxygen Demand, mg/l)
- النترات (NO₃⁻, mg/l)
- العكارة (Turb: Turbidity, NTU)
- المواد الصلبة المعلقة الكلية (TSS: Total Suspended Solid, mg/l)

ويتم التعبير عن هذا المؤشر بالموديل الرياضي التالي [8]:

$$NSFWQI = \sum_{i=1}^p W_i Q_i$$

حيث أن:

P - عدد البارامترات الداخلة في الحساب وعددها تسعة بارامترات.

Q_i - مؤشر فرعي ويؤخذ من مخططات التقييم الخاصة بكل بارامتر [8].

W_i - وزن كل بارامتر بحسب أهميته وتأثيره على نوعية المياه [8].

ملاحظة 1: تراكيز الفوسفات الناتجة من التحاليل تساوي (80%) من تراكيز

الفوسفور الكلي [5].

$$PO_4^{-3} = 80\% TP$$

ملاحظة 2: قيمة الأوكسجين المنحل الداخلة في حساب هذا المؤشر مأخوذة كنسبة مئوية، لذلك قمنا بحسابها بالاعتماد على العلاقة التالية [9]:

$$DO(\%) = (DO / DO_{sat}) * 100$$

حيث أن:

DO: قيمة الأوكسجين المنحل الوسطية (كمعدل فصلي) في كل نقطة اعتيان (mg/l).

DO_{sat}: تركيز أوكسجين الإشباع في نقطة الاعتيان تبعاً لدرجة الحرارة في النقطة نفسها (mg/l)، وتؤخذ قيمته من جدول تراكيز أوكسجين الإشباع تبعاً لدرجة الحرارة [10].

ويتم التقييم بمقارنة قيم المؤشر مع المعايير النظامية للتصنيف والخاصة به وفق الجدول (2) [8].

الجدول (2): المعايير النظامية لتصنيف جودة المياه وفق مؤشر الجودة (NSFWQI)

Water Quality Index Legend		
المجال (Range)	الجودة (Quality)	الدرجة
90-100	ممتاز (Excellent)	A
70-90	جيد (Good)	B
50-70	متوسط (Medium)	C
25-50	سيء (Bad)	D
0-25	سيء جداً (Very Bad)	E

3-5- مؤشر جودة المياه المعدل (NEWWQI):

في العام (2010) ارتأى الباحثون ضرورة تطوير مؤشر جودة لتقييم نوعية المياه في المسطحات المائية بحيث يكون بسيطاً وسهل التطبيق والفهم، فقاموا بإصدار مؤشر جودة المياه المعدل (NEWWQI) والبارامترات الداخلة في حسابه هي:

(TP - F.C - EC - DO - Turb) ومعادلة حساب المؤشر هي كالتالي [11,12]:

$$NEWWQI = \log \left[\frac{(DO)^{1.5}}{(3.8)^{TP} * (turb)^{0.15} * (15)^{FC/10000} + 0.14(EC)^{0.5}} \right]$$

حيث أن:

TP - هو محتوى عينة المياه من الفوسفور الكلي (TP: Total Phosphate, mg/l)

FC - تعداد العصيات الجرثومية الغائطية (F.C: Fecal Coliform) مقدر بـ (عصية في 100 ml)

DO - الأوكسجين المنحل (DO: Dissolved Oxygen, %)

Turb - العكارة (Turb: Turbidity, NTU)

EC - الناقلية الكهربائية (EC: Electrical Conductivity, $\mu\text{S}/\text{cm}$).

ويتم التقييم بمقارنة قيم المؤشر مع المعايير النظامية للتصنيف والخاصة به وفق الجدول (3) [11].

الجدول (3): المعايير النظامية لتصنيف جودة المياه وفق مؤشر الجودة (NEWWQI)

الدرجة (NEWWQI)	نوع الماء	الوصف
3	مثالي الجودة	DO بنسبة 100 %، لا يوجد TP-F.C، العكارة أقل من 1 NTU، الناقلية الكهربائية أقل من $5 \mu\text{S}/\text{cm}$
> 3-2	مقبول الجودة	يستخدم للشرب في الحد الأعلى وللاستجمام في الحد الأدنى
< 2-1	منخفض الجودة	الماء لا يستخدم للشرب والاستجمام، واحد أو اثنين من البارامترات يتراجع ويحتاج لمعالجة معينة
< 1-0	سيء الجودة	يحتاج لمعالجة لتحسين نوعية الماء بالنسبة لكافة البارامترات

3-6- مؤشر جودة المياه الكندي (CCMEWQI):

في العام (2001) أصدر مجلس الوزراء الكندي مؤشر جودة المياه الكندي (CCMEWQI)، والذي يحسب بالاعتماد على البارامترات التالية: (pH - NO₃⁻ - DO - BOD₅ - SO₄⁻ - F.C - PO₄⁻ - TSS - EC) وتُقارن قيمة المؤشر بالميزان التالي (ممتاز - جيد - معتدل - ضعيف - فقير) [13].
يتم تطبيق المؤشر وفق المعادلة التالية:

$$CCMEWQI = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732}$$

حيث أن:

F1 - (المجال) النسبة المئوية لعدد البارامترات غير المطابقة للمواصفات المعيارية إلى عدد البارامترات الكلية المقاسة، أي أن:

$$F1 = \left(\frac{\text{Number of failed variables}}{\text{Total number of variables}} \right) * 100$$

F2 - (التواتر) النسبة المئوية لعدد القياسات غير المطابقة للمواصفات المعيارية إلى عدد القياسات الكلية المقاسة، أي أن:

$$F2 = \left(\frac{\text{Number of failed tests}}{\text{Total number of tests}} \right) * 100$$

F3 - (المدى) انحراف البارامتر عن القيمة المسموح بها بمقدار زيادة أو نقصان. ويتم حسابه وفق ثلاث خطوات، أي أن:

$$F3 = \left(\frac{nse}{0.01nse + 0.01} \right)$$

الانحراف (Excursion) = (قيمة القيمة الغير مطابقة إلى القيمة المعيارية) - 1 ،
بمعنى أن:

$$\text{Excursion} = \left(\frac{\text{FailedTestValue}}{\text{Objective}} \right) - 1$$

مجموع الانحرافات (nse) = مجموع الانحرافات إلى عدد القياسات الكلية المقاسة.

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excursion}}{\text{number of tests}}$$

يتم التقييم بمقارنة قيم المؤشر مع المعايير النظامية للتصنيف والخاصة به وفق الجدول (4) [13].

الجدول(4): المعايير النظامية لتصنيف جودة المياه وفق مؤشر الجودة (CCMEWQI)

Canadian Environmental Quality Guidelines		
المجال (Range)	الجودة (Quality)	الدرجة
95-100	ممتاز (Excellent)	A
80-94	جيد (Good)	B
65-79	معتدل (Fair)	C
45-64	ضعيف (Marginal)	D
0-44	فقير (Poor)	E

4- النتائج ومناقشتها:

4-1- تطبيق مؤشر الجودة (NSFWQI):

حددت قيم المعدلات الفصلية للبارامترات الداخلة في حساب المؤشر

(NSFWQI) كما هو موضح في الجدول (5).

الجدول (5): قيم المعدلات الفصلية للبارامترات الداخلة في حساب المؤشر (NSFWQI)

F.C	TSS	TP	NO ₃	BOD ₅	DO	DO _{SAT}	DO	Tur	pH	T	الفصول	مواقع العينات
عصية في 100 ml	mg/l				%	mg/l		NTU	---	C°		
173	20.0	0.10	8.3	7.8	68.2	9.6	6.5	12.3	8.1	17.7	ربيع	S1
105	7.7	0.04	6.0	10.3	63.2	7.9	5.0	5.1	8.6	28.6	صيف	
132	17.7	0.08	10.0	8.7	81.4	8.7	7.0	11.9	8.1	23.0	خريف	
257	23.8	0.18	9.1	6.1	85.3	10.7	9.1	24.8	7.8	12.5	شتاء	
213	39.0	0.20	10.1	10.8	58.3	9.3	5.4	26.5	8.2	19.2	ربيع	S2
172	22.5	0.12	6.8	15.8	35.6	7.9	2.8	15.5	8.7	27.9	صيف	
220	37.5	0.17	8.4	15.2	63.7	8.7	5.6	25.4	8.0	22.6	خريف	
292	63.5	0.30	11.8	10.3	75.1	10.4	7.8	42.7	7.7	13.7	شتاء	
82	21.2	0.08	4.1	6.5	76.2	9.5	7.2	14.6	8.2	18.5	ربيع	S3
62	12.1	0.02	2.9	7.6	70.5	7.8	5.5	4.9	8.5	29.1	صيف	
98	24.6	0.05	3.8	7.5	86.7	8.4	7.3	12.5	8.1	25.1	خريف	
193	31.7	0.11	5.7	6.5	89.2	10.8	9.7	23.2	7.5	11.8	شتاء	
280	23.7	0.13	4.8	4.9	78.9	9.5	7.5	15.7	7.9	18.4	ربيع	S4
115	7.3	0.06	3.4	7.1	72.7	8.3	6.0	8.1	8.4	25.6	صيف	
267	18.8	0.11	4.6	7.0	87.5	8.6	7.5	16.4	8.1	23.5	خريف	
430	34.9	0.24	6.9	4.4	95.9	10.9	10.5	21.3	7.4	11.5	شتاء	
337	92.5	0.15	12.6	9.0	70.1	9.2	6.5	21.6	8.2	19.8	ربيع	S5
145	15.6	0.11	8.2	12.1	58.2	8.1	4.7	12.1	8.6	26.9	صيف	
397	26.6	0.19	9.8	12.4	83.4	8.4	7.0	19.1	8.0	25.0	خريف	
580	42.1	0.28	14.7	8.8	83.7	10.8	9.0	31.3	7.6	12.4	شتاء	

أخذت القيم العظمى للمعدلات الفصلية لكل بارامتر كما هو موضح في الجدول (6).

الجدول (6): القيم الحرجة للبارامترات الداخلة في حساب مؤشر الجودة (NSFWQI)

F.C	TSS	TP	NO ₃ ⁻	BOD ₅	DO	DO _{SAT}	DO	Tur	pH	T	مواقع العينات
عصية في 100 ml	mg/l				%	mg/l		NTU	---	C°	
257	23.6	0.18	10.0	10.3	85.3	10.7	9.1	24.8	8.6	28.5	S1
292	63.5	0.17	11.8	15.8	75.1	10.4	7.8	42.7	8.7	27.9	S2
193	31.7	0.11	5.7	7.6	89.2	10.8	9.7	23.2	8.5	29.1	S3
430	34.9	0.20	6.9	7.1	95.9	11.0	10.5	21.3	8.4	25.6	S4
580	92.5	0.28	14.7	12.4	83.7	10.8	9.0	31.3	8.6	26.9	S5

كما تم تحديد الوزن المرتبط بكل بارامتر (Wi) حسب أهميته وتأثيره على نوعية المياه

[8]، وحددت المؤشرات الفرعية لكل بارامتر (Q-value) وفقاً للقيمة الفصلية الحرجة

للبارامتر المعني كما هو موضح في الجدول (7).

الجدول (7): قيم المؤشر الفرعي والوزن للبارامترات الداخلة في حساب المؤشر (NSFWQI)

F.C	TSS	TP	NO ₃ ⁻	BOD ₅	DO	DO _{SAT}	DO	Tur	pH	T	مواقع العينات
عصية في 100 ml	mg/l				%	mg/l		NTU	---	C°	
64	12	35	83	85	58	32	70	56	64	12	S1
58	12	32	88	80	48	18	23	42	58	12	S2
66	10	36	85	95	70	42	75	58	66	10	S3
70	17	28	86	89	65	42	78	59	70	17	S4
64	15	25	87	80	45	25	53	50	64	15	S5
0.11	0.10	0.16	0.07	0.10	0.10	0.11	0.17	0.08	0.11	0.10	Wi (وزن كل بارامتر)

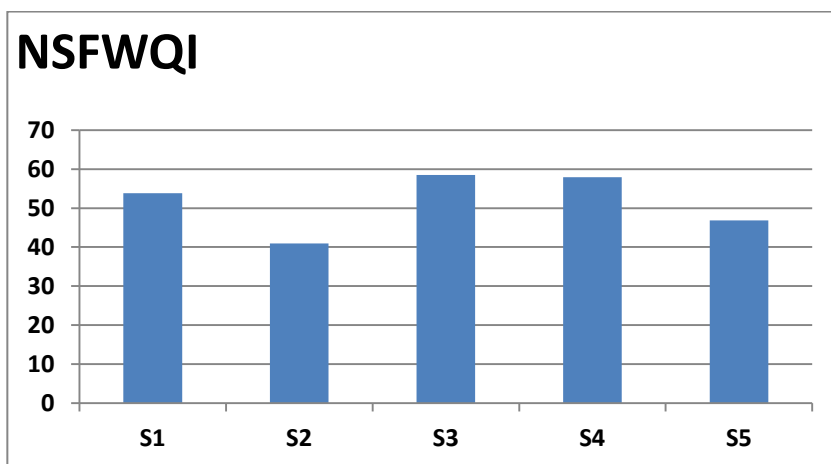
وبناء عليه تم حساب قيم (NSFWQI) في كل موقع اعتيان مع تحديد الوصف والدرجة المناسبين بالمقارنة مع المعايير النظامية للتصنيف وفق مؤشر الجودة (NSFWQI)، والموضحة في الجدول (8).

الجدول (8): قيم مؤشر الجودة (NSFWQI) مع التوصيف والدرجة المناسبين

الدرجة	الوصف	NSFWQI	مواقع العينات
C	متوسط	53.85	S1
D	سيء	40.91	S2
C	متوسط	58.48	S3
C	متوسط	57.9	S4
D	سيء	46.89	S5

كما تم تمثيل قيم المؤشر (NSFWQI) في كافة نقاط الاعتيان وفق ما هو وارد على المخطط المبين في الشكل (4).

من المخطط البياني الوارد أدناه نجد أن البحيرة قد صنفت تحت الدرجة (C) في مواقع العينات (S1,S3,S4) والوصف متوسط، أما باقي العينات (S2,S5) قد صنفت تحت الدرجة (D) والوصف سيء، وبالتالي مياه البحيرة غير صالحة للشرب وتحتاج إلى معالجة.



الشكل (4): مخطط يبين قيم مؤشر الجودة (NSFWQI) في مختلف نقاط الاعتيان

4-2- تطبيق مؤشر الجودة (NEWWQI):

تم حساب المعدلات الفصلية للبارامترات الداخلة في حساب هذا المؤشر وفق الجدول (9) ومن ثم دراسته في الحالة الأسوأ للبحيرة، والتي تكون فيها أشد تلوثاً (أخذ القيم الحرجة للبارامترات في حالات الارتفاع أو الانخفاض حسب مساهمة كل بارامتر في التلوث) ومن ثم تطبيقها في حساب هذا المؤشر.

تم أخذ القيم الحرجة للبارامترات الداخلة في حساب مؤشر الجودة المعدل (في حالات الارتفاع أو الانخفاض حسب مساهمة كل بارامتر في التلوث) من الجدول (9)، وعرضها وفق الجدول (10)، ومن ثم التعويض في علاقة حساب مؤشر الجودة (NEWWQI) مباشرةً.

الجدول (9): قيم المعدلات الفصلية للبارامترات الداخلة في حساب مؤشر الجودة (NEWWQI)

F.C	EC	TP	DO	DO _{SAT}	DO	العكارة	الفصول	مواقع العينات
عصية في 100 ml	µs/cm	mg/l	%	mg/l		NTU		
173	253.0	0.10	68.2	9.6	6.5	16.3	ربيع	S1
105	275.0	0.04	63.2	7.9	5.0	5.1	صيف	
132	266.7	0.08	81.4	8.7	7.1	11.9	خريف	
257	226.7	0.18	85.3	10.7	9.1	24.8	شتاء	
213	255.0	0.20	58.3	9.3	5.4	26.5	ربيع	S2
172	291.7	0.12	35.6	7.9	2.8	15.5	صيف	
220	275.0	0.17	63.7	8.7	5.6	25.4	خريف	
292	250.0	0.30	75.1	10.4	7.8	42.7	شتاء	
82	250.0	0.08	76.2	9.5	7.2	14.6	ربيع	S3
62	243.3	0.02	70.5	7.8	5.5	15.5	صيف	
98	258.3	0.05	86.7	8.4	7.3	25.4	خريف	
193	235.0	0.11	89.2	10.9	9.7	42.7	شتاء	
280	245.0	0.13	78.9	9.5	7.5	15.7	ربيع	S4
115	258.3	0.06	72.7	8.3	6.0	8.1	صيف	
267	255.3	0.11	87.5	8.6	7.5	16.4	خريف	
430	221.7	0.24	95.9	10.9	10.5	21.3	شتاء	
337	245.0	0.15	70.1	9.2	6.5	21.6	ربيع	S5
145	288.3	0.11	58.2	8.1	4.7	12.1	صيف	
397	270.0	0.19	83.6	8.4	7.0	19.1	خريف	
580	231.7	0.28	83.7	10.8	9.0	31.3	شتاء	

الجدول (10): القيم الحرجة للبارامترات الداخلة في حساب مؤشر الجودة (NEWWQI)

F.C	EC	TP	DO	DO_{SAT}	DO	العكارة	مواقع العينات
عصية في 100 ml	$\mu\text{s/cm}$	mg/l	%	mg/l		NTU	
257	275.0	0.18	63.2	7.9	5.0	24.8	S1
292	291.7	0.30	35.6	7.9	2.8	42.7	S2
193	258.3	0.11	70.5	7.8	5.5	23.2	S3
430	258.3	0.24	72.7	8.3	6.0	21.3	S4
580	288.3	0.28	58.2	8.1	4.7	31.3	S5

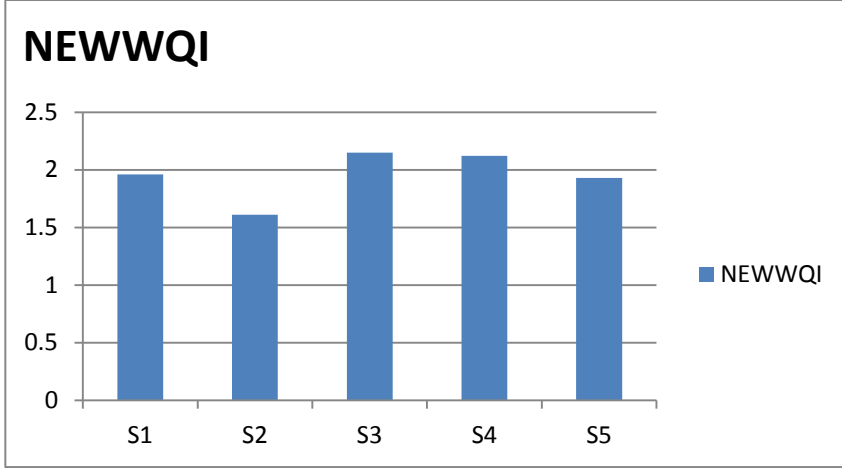
تم حساب قيم مؤشر الجودة (NEWWQI) في مواقع الاعتيان وتم عرضها في الجدول (11) مع الوصف المناسب لها بالمقارنة مع المعايير النظامية الخاصة بالمؤشر (NEWWQI).

الجدول (11): قيم مؤشر الجودة (NEWWQI) مع الوصف المناسب لها

الوصف	NEWWQI	مواقع العينات
منخفض الجودة	1.96	S1
منخفض الجودة	1.61	S2
مقبول الجودة	2.15	S3
مقبول الجودة	2.12	S4
منخفض الجودة	1.93	S5

كما تم تمثيل قيم مؤشر الجودة (NEWWQI) وفق الشكل (5) المبين على الشكل أدناه.

وواضح من المخطط البياني أدناه أن نوعية مياه البحيرة منخفضة الجودة في مواقع العينات (S1,S2,S5) والوصف أن المياه غير صالحة للشرب والاستجمام وأن واحد أو اثنين من البارامترات يحتاج إلى معالجة مناسبة، أما نوعية مياه البحيرة مقبولة الجودة في باقي العينات (S3,S4) والوصف أن المياه تستخدم للشرب في الحد الأعلى وللاستجمام في الحد الأدنى.



الشكل (5): قيم مؤشر الجودة (NEWWQI) في مختلف مواقع الاعتيان

4-3- تطبيق مؤشر الجودة (CCMEWQI):

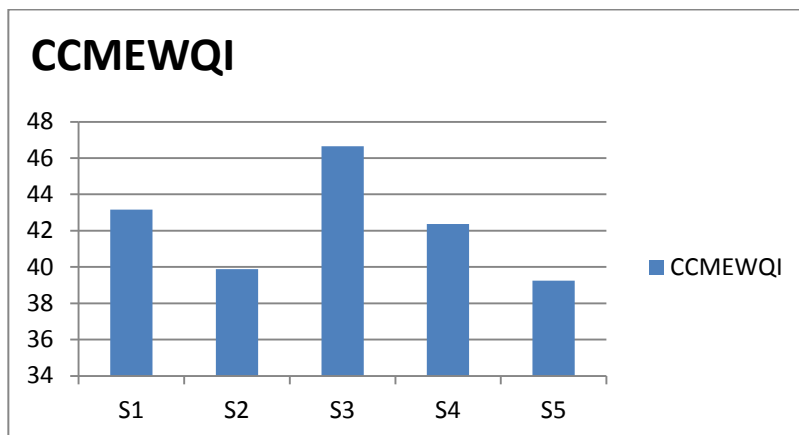
تم تطبيق المؤشر الكندي على 21 بارامتر من البارامترات المدروسة، وذلك لجميع نقاط الاعتيان المعتمدة، ويوضح الجدول (12) نتائج حساب المؤشر (CCMEWQI) لجميع نقاط الاعتيان.

الجدول (12): نتائج تطبيق مؤشر جودة المياه الكندي (CCMEWQI) مع الوصف

المناسب لها

التصنيف	CCMEWQI	F3	nse	Σ excursion	F2	F1	مواقع العينات
سيء جداً	43.16	89.31	8.35	2105.866	24.6	33.3	S1
سيء جداً	39.89	92.06	11.59	2921.416	30.16	38.09	S2
سيء	46.65	84.81	5.58	1406.002	23.03	28.57	S3
سيء جداً	42.36	93.03	13.36	3365.924	22.22	28.57	S4
سيء جداً	39.25	94.73	17.996	4534.992	25.39	38.09	S5

كما تم تمثيل قيم مؤشر الجودة (CCMEWQI) على الشكل (6).



الشكل (6): قيم مؤشر الجودة (CCMEWQI) في مختلف مواقع الاعتيان

نلاحظ من المخطط البياني الوارد أعلاه أن مياه البحيرة سيئة جداً في مواقع العينات (S1,S2,S4,S5) وهذا يعني أن نوعية المياه في معظم الأوقات أو دائماً متدهورة، أما العينة (S3) صنفت تحت الدرجة سيئة (قريب من الحد الأدنى)، وهذا يعني أن نوعية المياه كثيراً ما تضعف أو تتدهور أي بشكلٍ متكرر تحيد عن المستويات المرغوب بها.

5- نتائج البحث :

- تبين عند تصنيف مياه البحيرة وفق مؤشر جودة المياه العالمي (NSFWQI) أنها قد صنفت تحت الدرجة (C) في مواقع العينات (S1,S3,S4) والوصف متوسط، أما باقي العينات (S2,S5) قد صنفت تحت الدرجة (D) والوصف سيء، وبالتالي مياه البحيرة غير صالحة للشرب وتحتاج إلى معالجة.
- تبين عند تصنيف مياه البحيرة وفق مؤشر جودة المياه العالمي المعدل (NEWWQI) أن المياه منخفضة الجودة في مواقع العينات (S1,S2,S5) والوصف أن المياه غير صالحة للشرب والاستجمام وأن واحد أو اثنين من البارامترات يتراجع ويحتاج إلى معالجة مناسبة، أما نوعية مياه البحيرة مقبولة الجودة في باقي العينات (S3,S4) والوصف أن المياه تستخدم للشرب في الحد الأعلى وللاستجمام في الحد الأدنى.
- تبين عند تصنيف مياه البحيرة وفق مؤشر جودة المياه الكندي (CCMEWQI) أن نوعية المياه سيئة جداً في جميع مواقع العينات، وهذا يعني أن نوعية المياه في معظم الأوقات أو دائماً متدهورة، باستثناء موقع العينة (S3) الذي صنف تحت الدرجة سيئة وهذا يعني أن نوعية المياه كثيراً ما تضعف أو تتدهور أي بشكل متكرر تحيد عن المستويات المرغوب بها.
- بالمقارنة بين مؤشرات الجودة المستخدمة في البحث وجدنا أن مؤشري الجودة العالمي (NSFWQI) والعالمي المعدل (NEWWQI) كانا الأفضل لدراسة حالة مياه البحيرة، وذلك لأنهم أعطوا الوصف الأدق لنوعية المياه في مختلف المواقع من خلال تباين درجات التصنيف، أما مؤشر الجودة الكندي (CCMEWQI) فقد صنف البحيرة في الدرجة نفسها في جميع مواقع العينات.

6- المقترحات والتوصيات:

- إجراء تقييم دائم للتحاليل الدورية التي تقوم بها المؤسسات الحكومية شهرياً في مواقع مختلفة من البحيرة، وخاصة للبارامترات المؤثرة بشكل واضح على نوعية مياه تلك البحيرة، وذلك للتعويض بالمخاطر الناجمة عنها.
- العمل على إنشاء منظومات للصرف الصحي للتجمعات السكانية القريبة من محيط البحيرة
- ترشيد استخدام الأسمدة الكيميائية المختلفة والتي تستخدم في عمليات التسميد.
- استكمال دراسة تأثير العناصر الثقيلة والمواد الكيميائية الأخرى (في الطمي والأحياء الدقيقة) على نوعية مياه البحيرة، وذلك لتحديد فيما إذا كانت مياه البحيرة متأثرة بها.
- العمل على إقامة محطة تنقية ملائمة ومستوفية لكافة الشروط طبقاً للنتائج التي تم التوصل إليها، والتي تجعل من مياه بحيرة سد المزينة صالحة للشرب.

6- المراجع

- 1- تقارير مديرية الموارد المائية - فرع حمص.
- 2- Damo, R; Icka, P. Evaluation of Water Quality Index for Drinking Water. Pol. J. Environ. Stud. Vol. 22, No. 4 (2013), 1045-1051.
- 3- Sharifinia, M; Ramezanzpour, Z; Rahmani, T. Water quality assessment of the Zarivar Lake using physico-chemical parameters and NSF-WQI indicator, Kurdistan Province-Iran. Volume 1, Issue 3, 2013: 302-312 Available online at <http://www.ijabbr.com>.
- 4- Alphayo, M .S ; Sharma, P .M . Water Quality Assessment of Ruvu River in Tanzania Using NSF-WQI. October 2018. Journal of Scientific Research and Reports 20(3):1-9.
- 5- مجبور، عبلة مصطفى. تحديد مستويات جودة المياه لمياه بحيرة سد بلوران لأغراض الشرب، رسالة ماجستير في الهندسة المدنية، قسم البيئة، إشراف أ.د. عادل عوض، أ.د. هيثم جناد. جامعة تشرين، اللاذقية، 2011؛ 109.
- 6- جناد، هيثم؛ حربا، كوكب؛ مناع، رنيم. دراسة جودة مياه بحيرة سد 16 تشرين. مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية- سلسلة العلوم الهندسية. المجلد (35)، العدد (9)، 2013؛ 129-149.
- 7- EPA Guidelines: Regulatory monitoring and testing, Water and wastewater sampling, June 2007.
- 8- BRIAN ORAM, PG, B.F. Environmental Consultants Inc. the Water Quality Index, Monitoring the Quality of Surface water, 2014, 15 June. Available at: <http://www.water-research.net/watrqualindex/waterqualityindex.html>.
- 9- Quality Criteria for Water, U.S. Environmental Protection Agency, EPA 440/50-86-001, 1986.

- 10-Water, Waste Everywhere: Water Quality Factors Reference Unit, HACH Inc. Percent Saturation of Dissolved Oxygen.
- 11-SAID, A; STEVENS, D. K; SEHLKE, G. Environmental Assessment An Innovative index for Evaluating Water Quality In Streams. Environmental Management. Vol.34, No.3, 2004, 406-414.
- 12-BAKAN, G; OZKO, H.B; TuLEK, S; CUCE, H. Integrated Environmental Quality Assessment of Kizilirmak River and it Coastal Environment, Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2010, 453-462.
- 13-Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian water Quality. Guidelines for the protection of aquatic life. CCME water quality index 1.0, Users' manual in Canadian Environment quality Guidelines.

تقدير النظام التكتوني باستخدام مستويات الجلول الصدعية في المنطقة الساحلية في سوريا

محمد جهاد العيسى⁽¹⁾، نضال شقير⁽¹⁾، سامر زيزفون⁽²⁾

(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 الجلول 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 تتبأت أن إجهاد التصدع العكسي يجب يكون مسيطراً.

الكلمات المفتاحية: مستويات الجلول الصدعية، النظام التكتوني، المنطقة الساحلية،

سورية

using the fault plan Tectonic regime outlining

¹Mohammed.ALISSA⁽¹⁾, Nidal SHOUKEIR⁽¹⁾, Samer ZEIZAFOUN⁽²⁾

(1)Higher Institute of Earthquake studies and Research, Damascus university E-mail: mohammed.alissa1985@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.

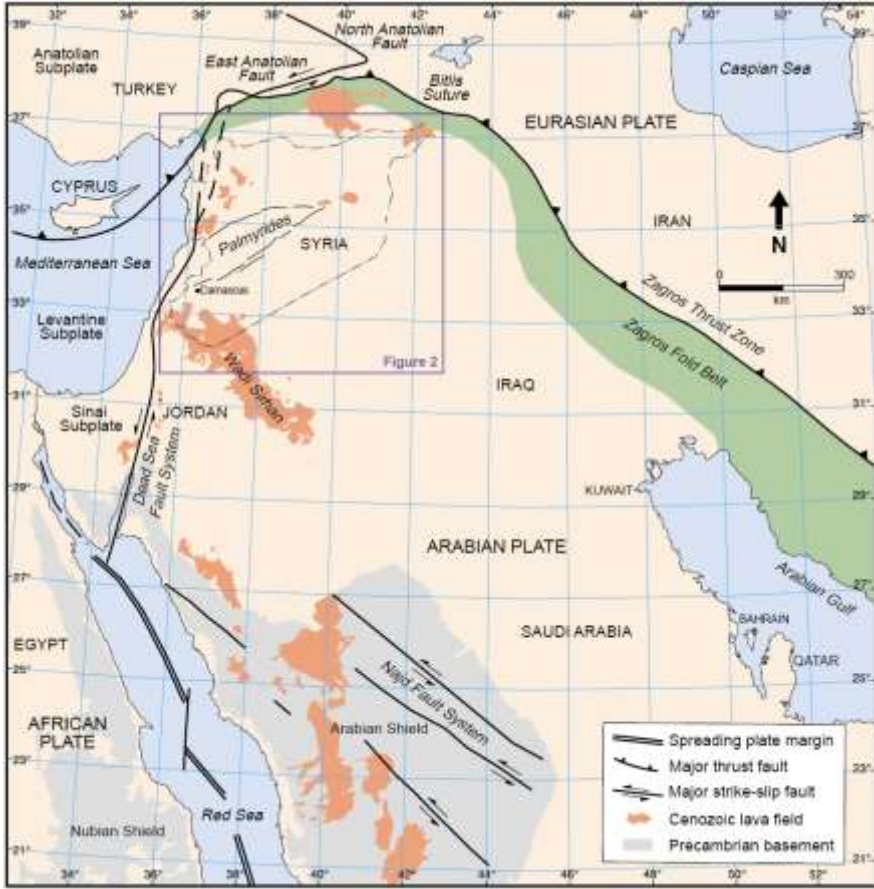
Keywords: fault plan solutions, tectonic regime, coastal region, Syria.

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.

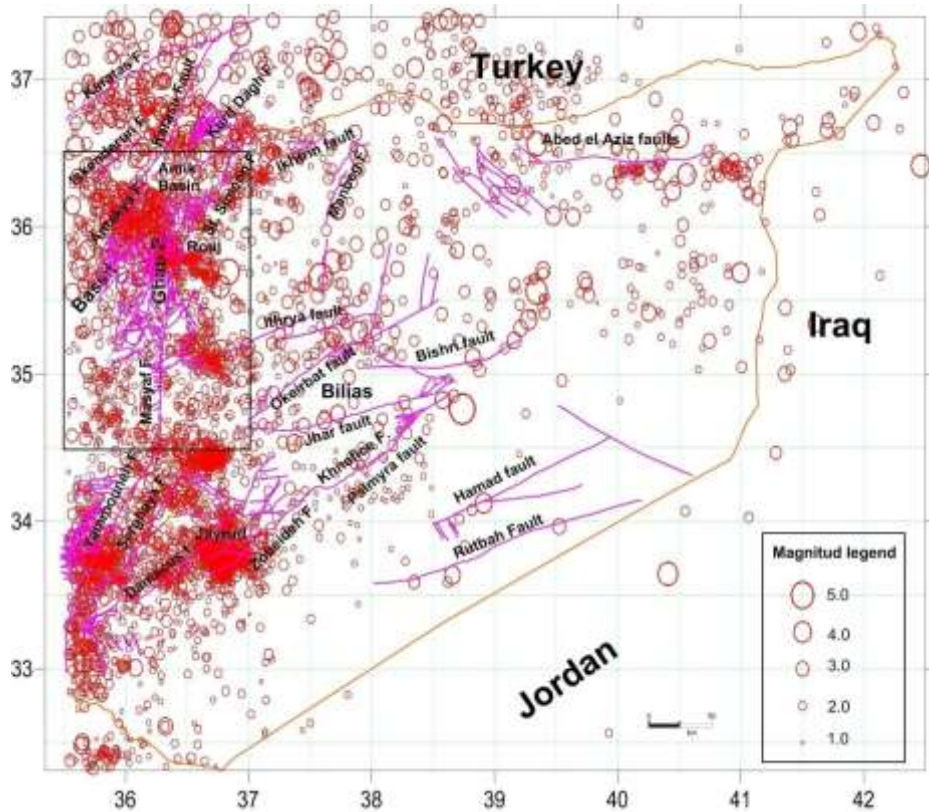


شكل 1. خريطة تكتونية إقليمية لشمال الصفيحة العربية وجوارها تظهر فُرب سورية من عدة حدود صفائحية نشطة. (معدلة عن Brew et al. 2001). يعرض المربع موقع الشكل 2.

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 ويراافقها 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

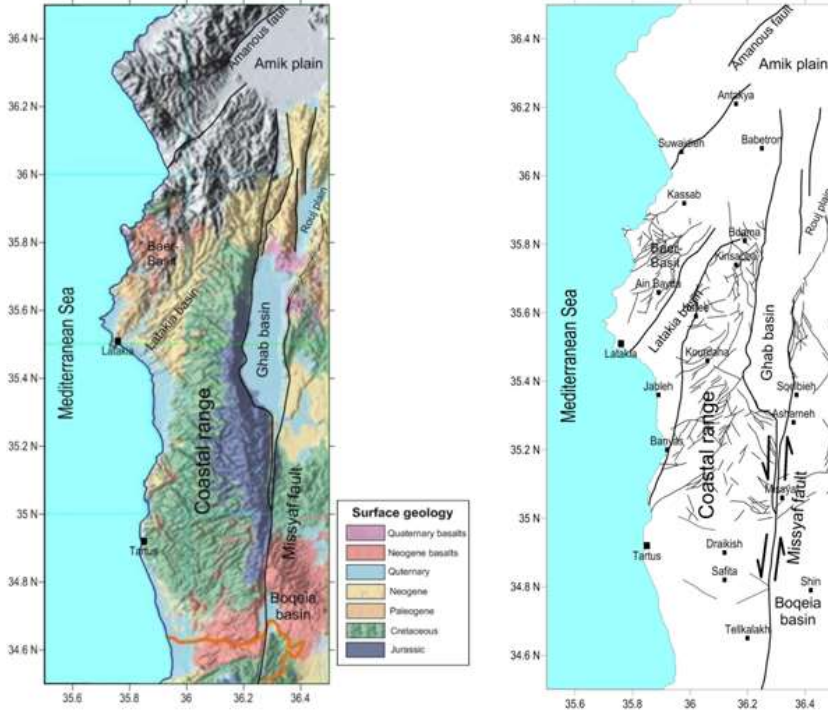
تم تحديد منطقة الدراسة بين خطي عرض 34.5 و 36.5 شمالاً وخطي الطول 35.5 و 36.5 شرقاً (الشكلان 2 و 3). تتضمن هذه المنطقة نظامين صدعيين إقليميين هما نظام صدع البحر الميت (DSFS: Dead Sea Fault System) ونظام صدع الأناضول الشرقي. وتتكون هذه المنطقة بنيوياً من قسمين: القسم الشرقي ويشمل منخفض الغاب ومصيف والتي 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, 1991; Trifonov et al., 2012). 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 $(18 \pm 2 \text{ mm})$ 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 للصفيحة 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 اللادقية-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، الزابية، 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.

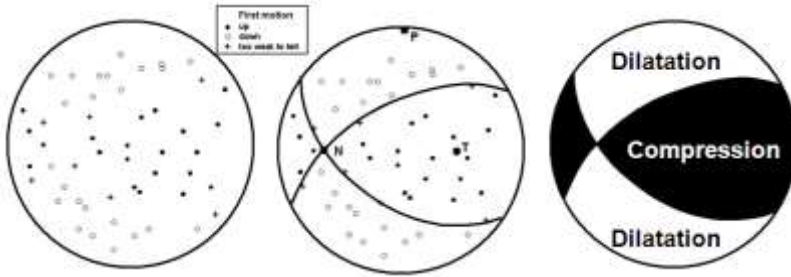


شكل 3: خارطة جيولوجية مبسطة لمنطقة الدراسة (على اليسار) وخارطة لأهم الصدوع والمدن (على اليمين).

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 اللانقية-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 والتوزع 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 التمددية 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

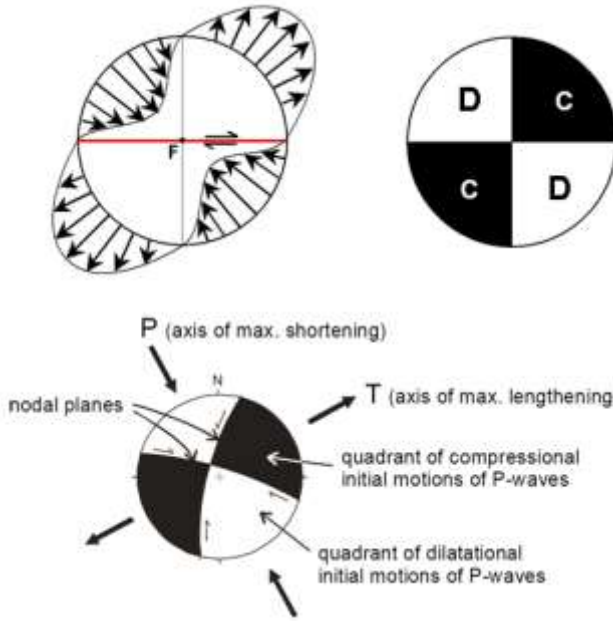
المستويات الصدعية (Fault plane solutions). قام (Abdul-wahed, 2018b) بإعداد البرنامج (MECA3) باستخدام الطريقة الاحتمالية (Zollo and Bernard, 1991) لحل المسألة العكسية بشكل غير خطي للوصول لآلية البؤرة الزلزالية. تحسب احتمالية معاملات المستويات الصدعية بالاعتماد على مجموعة المعطيات الملاحظة (مثل قطبية الموجة 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 لحلول 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).

تقتضى 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: فمحور الانضغاط الأعظمي (موجب) يقع في منتصف الربع التمددي ويسمى محور الضغط (P: compression axis) ويظهر وفقه تشوه التقصير الأعظمي (max shortening) ومحور التمدد الأعظمي (سالب يعبر عن الشد) يقع في منتصف الربع الانضغاطي ويسمى محور الشد (T: tension axis) ويظهر وفقه تشوه التناول 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) هو ($S_H \min, S_H \max$) فقد قاد ذلك (Anderson, 1951) إلى أن المحور الشاقولي (S_V) هو 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 حيادياً (B) فسيكون هذا النظام تمزقياً شديداً وسمي (wrench)

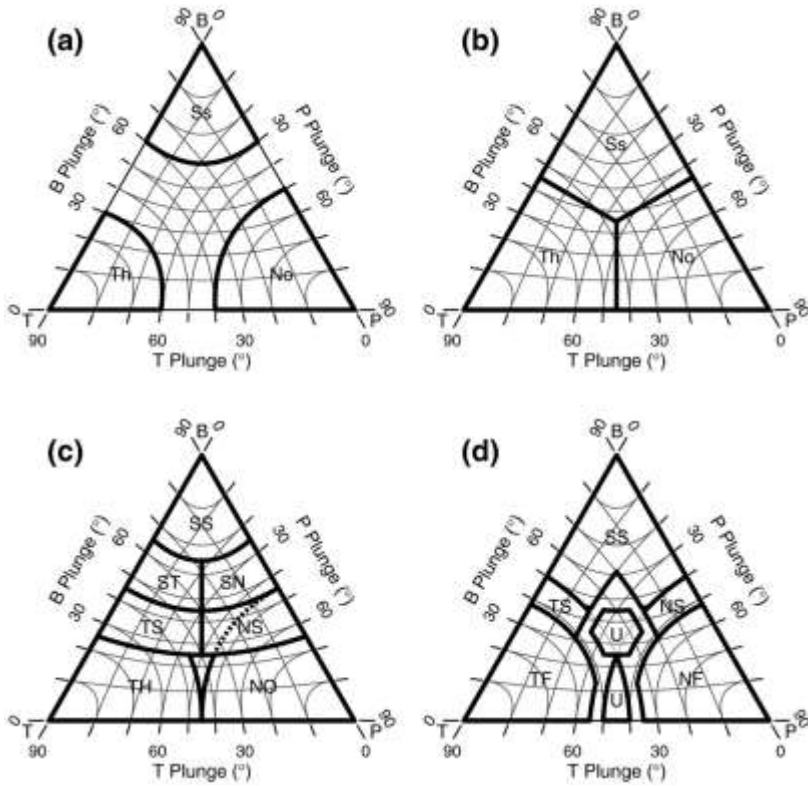
وسيطرت فيه آلية الإزاحة الجانبية الأفقية وتحققت العلاقة $(S_H \max > S_V > S_H \min)$.
يعتبر تصنيف (Anderson, 1951) للنظام التكتوني بسيطاً ولا يغطي جميع الحالات
ولكنه مفيد من أجل التصنيف الأولي لهذا النظام (Simpson, 1997; Hardebeck)
(and Michael, 2006).

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

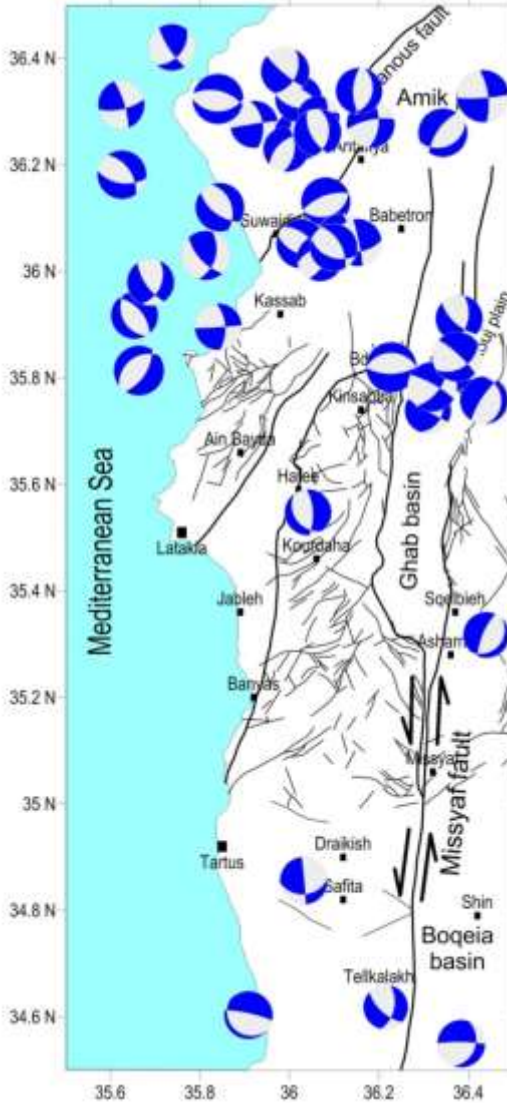
and -slip (NS), and normal faulting (NF) regimes as defined by Zoback (1992) and used in the World Stress Map.

تمت معالجة المجموعة المختارة من الهزات باستخدام الأدوات البرمجية التي يقدمها البرنامج Seisan 10.3 بدءاً من عرض الشكل الموجي وتحديد أزمنا 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 أزمنا الوصول. ثم قمنا بإعادة تحديد مواقع البؤر باستخدام أزمنا الوصول الجديدة ونفس النموذج السريع 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

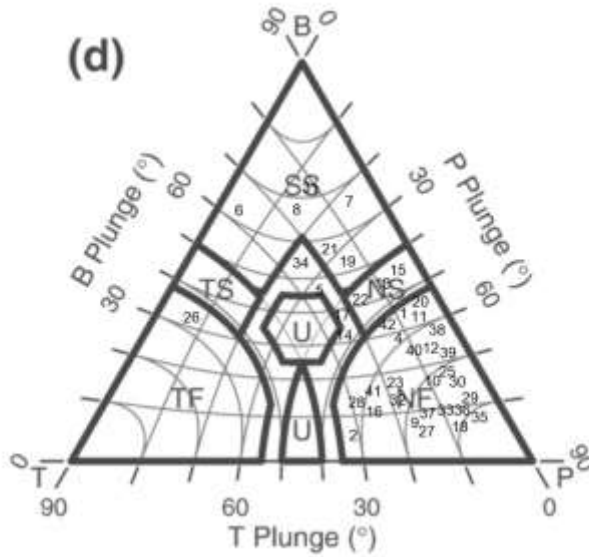
تم تطبيق برمجيات آلية البؤرة المذكورة أعلاه والتي يقدمها البرنامج Seisan 10.3 على الأحداث المختارة. كان لأغلب هذه الأحداث آلية التصدع العادي بتوافق مع البنيات الصدعية المحلية أما آلية الإزاحة الجانبية فكانت أكثر ندرة (بضعة أحداث فقط) ومحصورة في بعض المناطق مثل الامتداد الشمالي لصدع الغاب. كما لوحظت آلية 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.



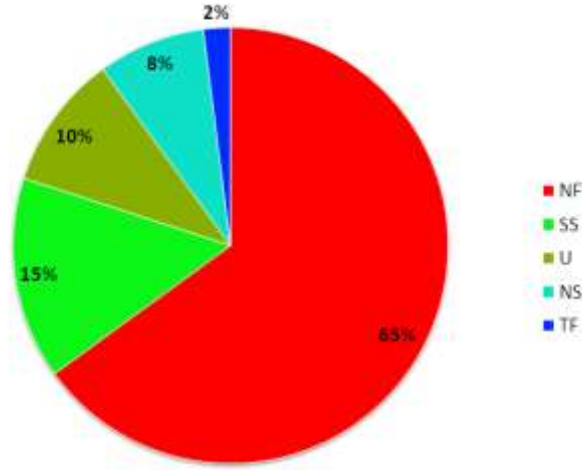
شكل 8: آليات البؤرة المحسوبة في منطقة الدراسة حيث تم تمثيل مستويات الحلول الصدعية بمسقط متساوي المساحة للنصف السفلي من الكرة البؤرية: الربع الأبيض يمثل نطاق التمدد والأزرق يمثل نطاق الانضغاط.

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 بياني ثلاثي الأبعاد 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 نقيماً (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

يمر 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 كألية 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 وناجئة 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 الحدثن 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 والبالوجين أما التشوهات الانضغاطية فلم تظهر إلا في نهاية الأوليغوسين في شمال منطقة البايير- 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 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. 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 Mésozoïque. PhD thesis, Mémoire de thèse de l'Université 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., Kekelidse, 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 region. *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 العزم الزلزالي (M_w) للهزات المحلية في سورية

محمد جهاد العيسى⁽¹⁾، نضال شقير⁽¹⁾، سامر زيزفون⁽²⁾
(1) المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق
(2) المركز الوطني للرصد الزلزالي، دمشق-سورية

الملخص

يعتبر قدر العزم (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 العزم (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 العزم (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 قيماً جيدة مما يسمح بالاعتماد على هذه العلاقات تجريبية والحصول على نتائج موثوقة لقدر العزم (M_w). كما كانت الفروقات المتبقية بين قدر العزم المحسوب بالعلاقات المشتقة وقدر العزم المحسوب بطريقة التحليل الطيفي صغيرة وضمن الحدود المقبولة في معظم الهزات.

الكلمات المفتاحية: قدر الهزات المحلية (M_L)، قدر العزم (M_w)، طريقة التحليل الطيفي، سورية.

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

Mohammed.ALISSA⁽¹⁾, Nidal SHOUKEIR⁽¹⁾, Samer ZEIZAFOUN⁽²⁾

(1)Higher Institute of Earthquake studies and Research, Damascus university E-mail: mohammed.alissa1985@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 العزم (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 العزم (M_W) كونه مقياساً مستقراً يمكن الاعتماد عليه في تقدير الخطر الزلزالي (Seismic hazard) وفي تطوير الكود الزلزالي (Hanks and Kanamori, 1979; Howell, 1981; Ottemoller and Havskov 2003). علاوة على ذلك فإن قدر العزم (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 منحنى 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 العزم (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 العزم (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

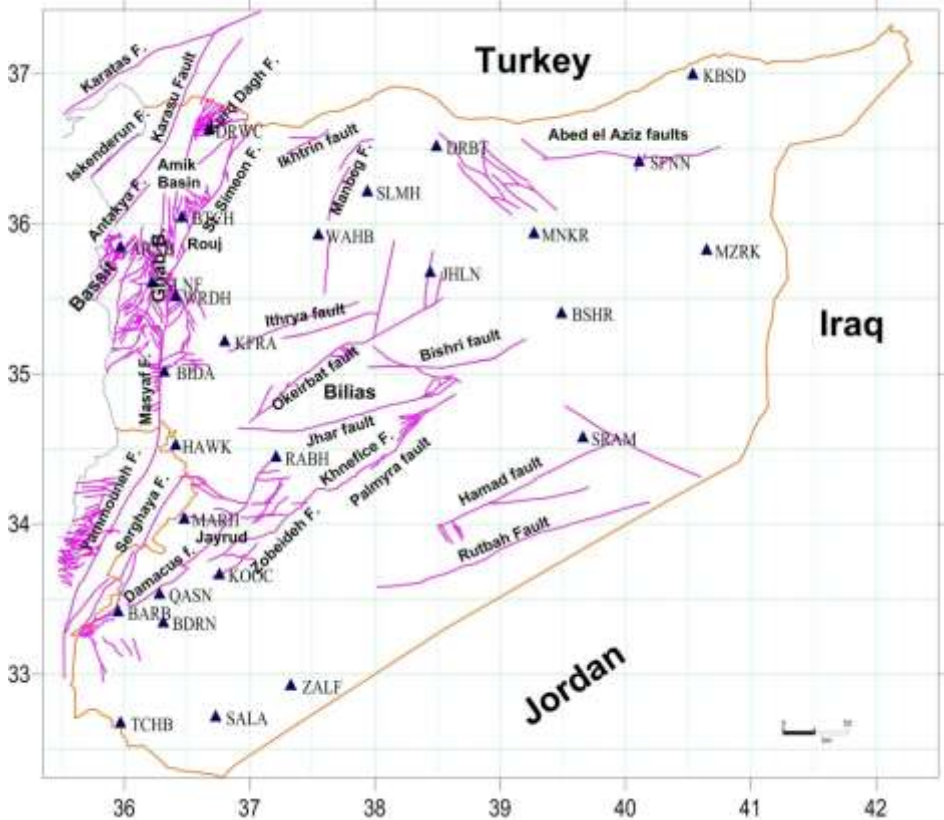
يهدف هذا البحث إلى حساب قدر العزم (M_w) للهزات الأرضية المحلية التي حدثت في سورية بالاعتماد على معالجة تسجيلات الشبكة الرقمية الحديثة للرصد الزلزالي في سورية وذلك بتطبيق طريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة. كما يهدف إلى مقارنة النتائج المحسوبة مع نتائج العلاقات التجريبية تربط بين قدر العزم (M_w) وبين مختلف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

3- مواد وطرق البحث

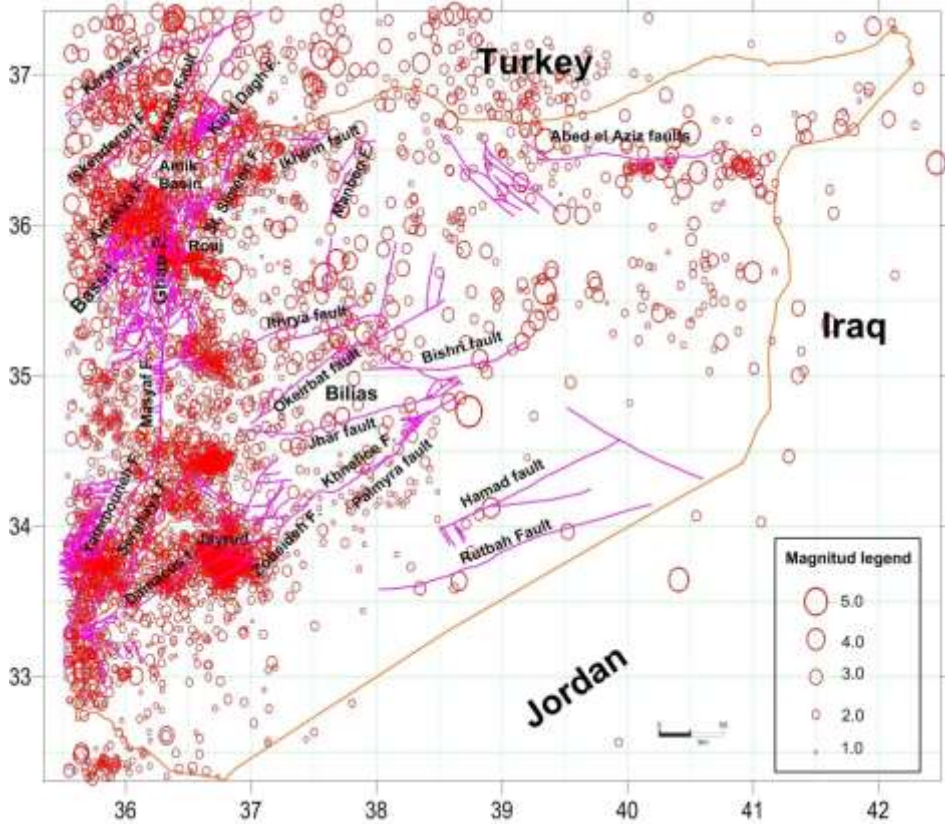
3-1 الوضع الزلزالي في سورية

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 للسورية للرصد الزلزالي من 1995 وحتى 2012 (Abdul-Wahed and Asfahani , 2018).

2-3 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) 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) فتتمثل المسافة بين محطة الرصد والبؤرة 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 العزم (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 العزم (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 العزم

عادة ما يتم تحديد قدر العزم (M_w) بالاعتماد على تحريات جيولوجية حقلية للصدع المولد للزلزال وذلك بتحري طول الصدع (L) ومقدار الإزاحة الصدعية (D) ومعامل صلابة الصخور (μ) 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 طولها بالعمق التقديري للبقعة. ثم تستخدم العلاقة التجريبية التي وضعها (Hanks and Kanamori, 1979) لمنطقة شرق المتوسط في حساب قدر العزم:

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

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 للزلزال أثراً على سطح الأرض وغالباً ما تخفي ذلك طبقة اللحيات والتربة 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:

$$M_0 = \frac{4\pi \cdot \rho \cdot r \cdot V_S^3 \cdot \Omega_0}{F_S \cdot \mathcal{R}(\theta, \phi)} \quad (5)$$

حيث أن (ρ) هي الكثافة الوسطية للصخور في المنطقة المنبعية و (V_S) سرعة الأمواج القصية فيها و (r) المسافة بين المنبع ومحطة الرصد الزلزالي. أما (Ω_0) فهو المستوى الطيفي المنبسط عند الترددات المنخفضة من طيف الإزاحة الناتج عن الموجة القصية (S) وتمثل الدالة $(\mathcal{R}(\theta, \phi))$ 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 $(F_0: \text{corner frequency})$ على طيف الإزاحة الناتج عن الموجة القصية (S) والذي يُستخدم في حساب نصف قطر المنبع (R_S) :

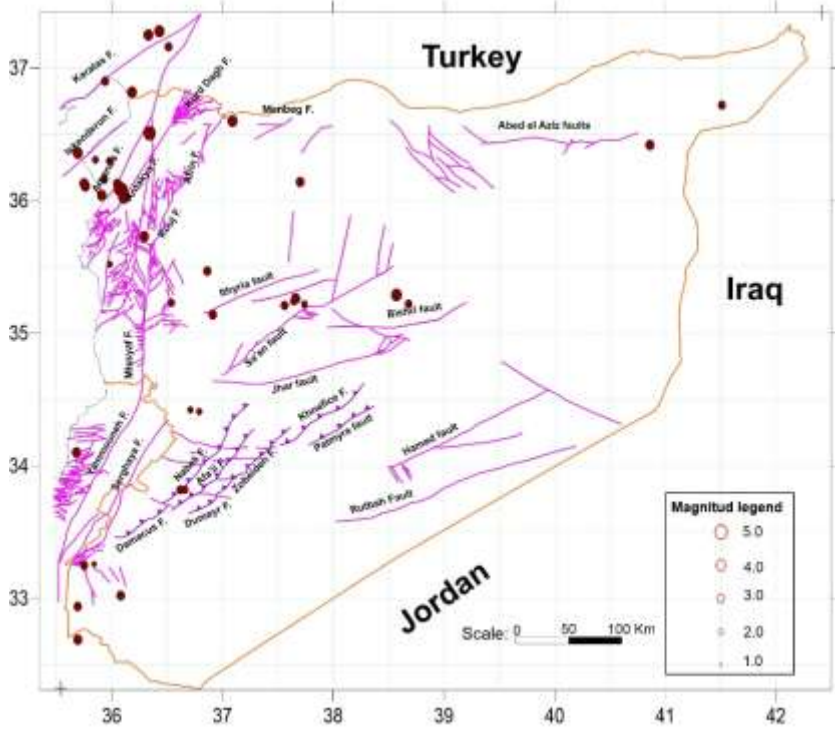
$$R_S = 0.37 * V_S / f_0 \quad (6)$$

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 العزم (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 العزم (M_W) لها. تبين الخارطة الواردة في الشكل (3) التوزع الجغرافي للهزات المختارة.

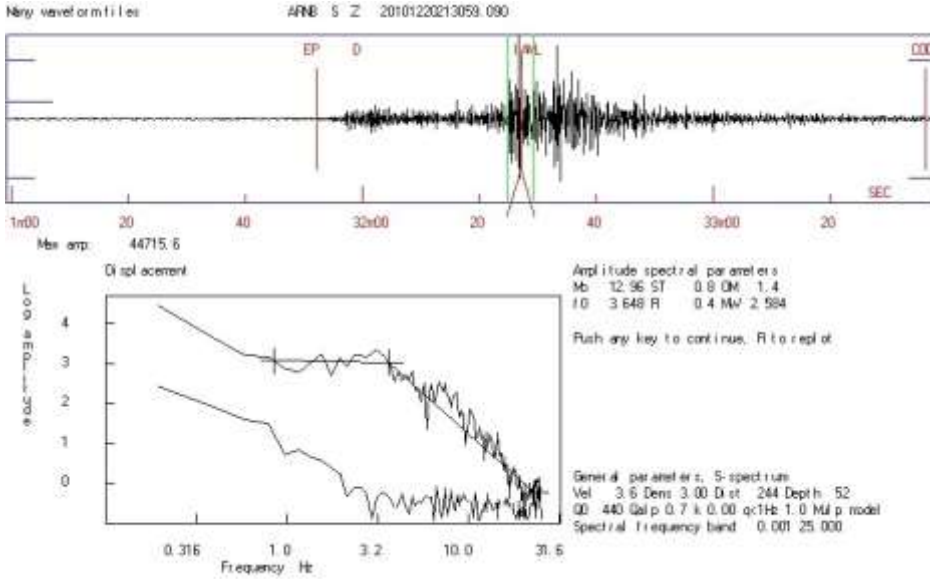


شكل 3. خارطة البؤر الزلزالية للهزات المختارة وتمثل حجمها قدر الهزات المحلية (M_L) المحسوب في المركز الوطني للرصد الزلزالي.

3-5 برنامج المعالجة

استخدمنا في هذا البحث برنامج معالجة التسجيلات الزلزالية سايزن (Seisan) بشكل أساسي لتمتعه بالعديد من الميزات الإيجابية. فهذا البرنامج معتمد 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

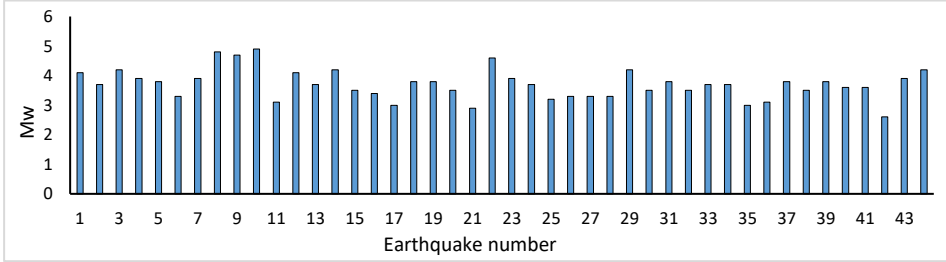
هذا البحث، يسمح البرنامج (Seisan) بعرض الشكل الموجي لكل مركبة من مركبات محطة الرصد على حدة وبالتالي تطبيق طريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة حيث نعرض المركبة الشاقولية فقط من كل محطة رصد ثم نحدد عليها نافذة زمنية تحوي الموجة القصية (S) فقط. ثم نختار عرض طيف الإزاحة الذي نحدد عليه يدوياً أو آلياً المستوى الطيفي المنبسط عند الترددات المنخفضة (Ω_0) 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 العزم (M_W). باستخدام البرنامج (Seisan). تظهر في الأعلى الإشارة الزلزالية المسجلة بالمركبة الشاقولية (Z) لمحطة الرصد أرنية (ARNB) وفي الأسفل طيف الإزاحة المحسوب للنافذة الزمنية الحاوية للموجة القصية (S) والمحددة بالخطين الأخضرين. يحدد الرمز (+) الجزئين المنبسط والمنحدر من الطيف. وتشير الرموز: (M_0) إلى لوغاريتم العزم الزلزالي مقدراً بنيوتن متر، (OM) إلى لوغاريتم المستوى الطيفي المنبسط عند الترددات المنخفضة مقدراً بنانومتر بالثانية، (F_0) إلى التردد الزاوي مقدراً بالهرتز، (R) إلى نصف قطر المنبع مقدراً بالكيلومتر، (ST) إلى هبوط الإجهاد مقدراً بالبار، (MW) إلى قدر العزم المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة.

4- النتائج ومناقشتها

تم حساب قدر العزم (M_w) 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).

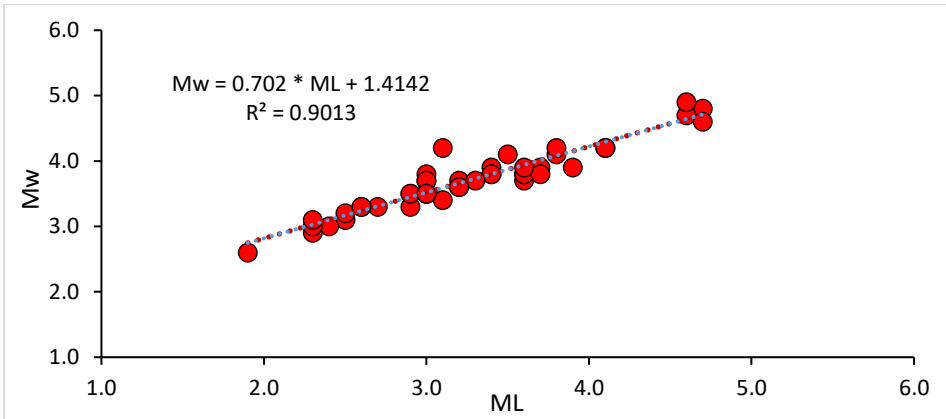


شكل 5. نتائج حساب قدر العزم (M_w) بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة.

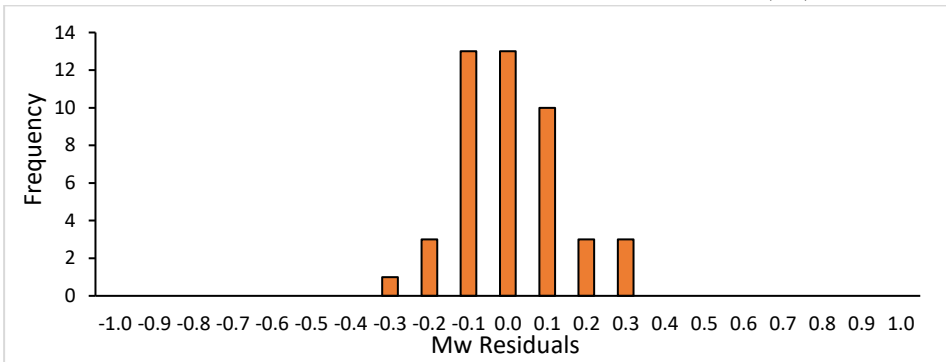
كما تم اشتقاق العلاقة التجريبية بين قدر العزم (M_w) وبين قدر الهزات المحلية (M_L) المحسوب في المركز الوطني للرصد الزلزالي لنفس الهزات الأرضية وحصلنا على العلاقة:

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

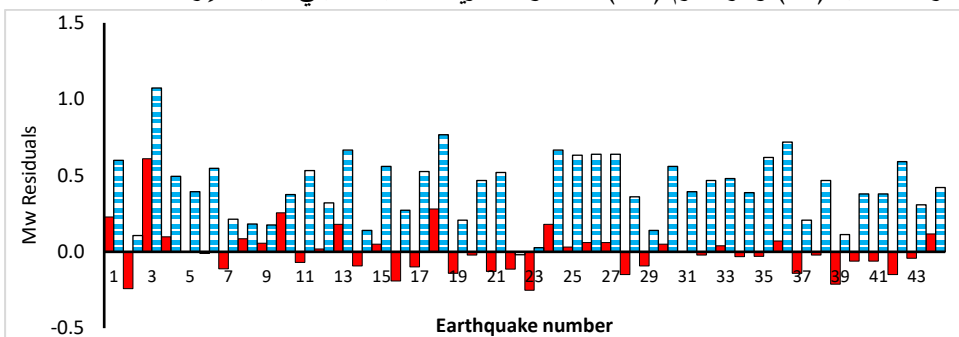
تظهر نتائج حساب قدر العزم (M_w) وجود علاقة خطية واضحة مع قدر الهزات المحلية (M_L) وقد بلغ معامل الارتباط الخطي (R^2) قيمة جيدة جداً فكان حوالي 0.90 (الشكل 6) مما يسمح بالاعتماد على هذه العلاقة التجريبية والحصول على نتائج موثوقة لحساب قدر العزم (M_w) للهزات الأصغر. يظهر هيستوغرام الفروقات المتبقية بين قدر العزم (M_w) المحسوب من العلاقة التجريبية (8) بالاعتماد على قدر الهزات المحلية (M_L) وقدر العزم (M_w) 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 العزم (M_w) المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة وقدر الهزات المحلية (M_L).



شكل 7. هيستوغرام الفروقات بين قدر العزم (M_w) المحسوب من العلاقة التجريبية بالاعتماد على قدر الهزات المحلية (M_L) وقدر العزم (M_w) المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة.

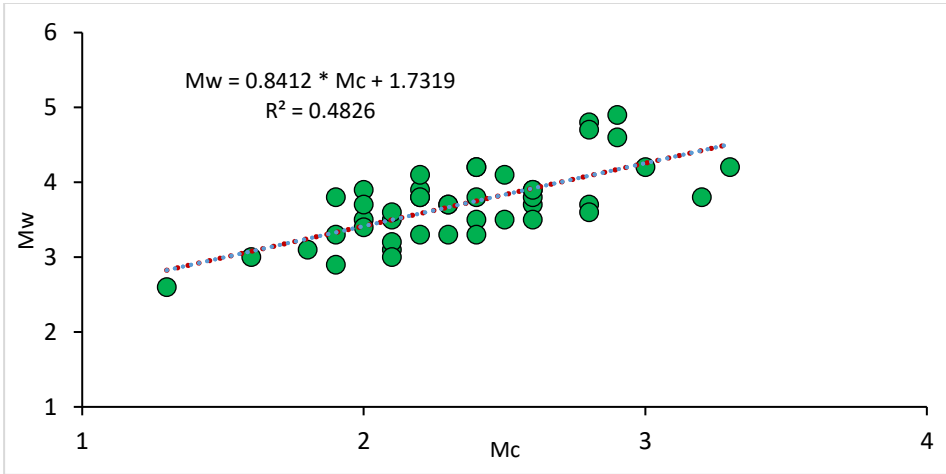


شكل 8. مقارنة بين هيستوغرام فروقات قدر العزم (M_w) المحسوب من العلاقة التجريبية لهذا البحث باللون الأحمر مع هيستوغرام فروقات قدر العزم (M_w) المحسوب من العلاقة التجريبية التي توصل إليها (Alissa et al., 2020) باللون الأزرق المخطط.

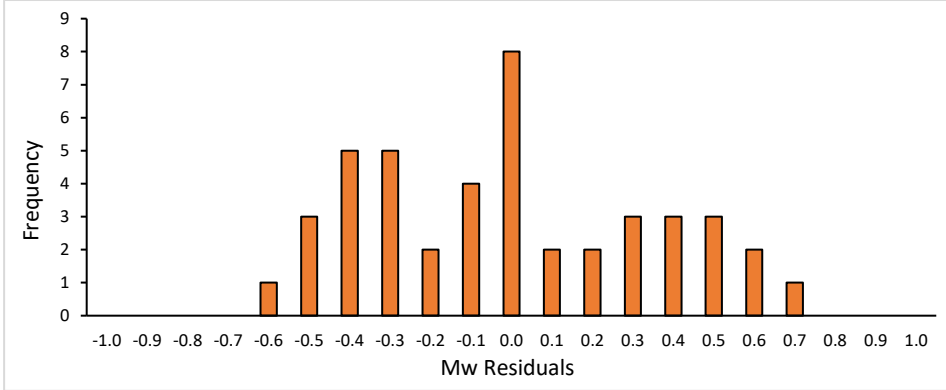
كما تم اشتقاق العلاقة التجريبية بين قدر العزم (M_w) وبين قدر نهاية التسجيل (M_c) المحسوب في المركز الوطني للرصد الزلزالي لنفس الهزات الأرضية وحصلنا على العلاقة:

$$M_w = 0.84 * M_c + 1.73 \quad (9)$$

تظهر نتائج حساب قدر العزم (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 العزم (M_w) في حال عدم إمكانية تطبيق الطرق الأخرى. يظهر هيستوغرام الفروقات المتبقية بين قدر العزم (M_w) المحسوب من العلاقة التجريبية (9) بالاعتماد على قدر نهاية التسجيل (M_c) وقدر العزم (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 العزم (M_w) المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة وقدر نهاية التسجيل (M_c).



شكل 10. هيستوغرام الفروقات المتبقية بين قدر العزم (M_w) المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة قدر وبين قدر العزم (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 العزم (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 العزم (M_w) وبين قدر الهزات المحلية (M_L) وقدر نهاية التسجيل (M_c) واللذين تتضمنهما النشرات الزلزالية الصادرة عن المركز الوطني للرصد الزلزالي.

أظهرت النتائج وجود علاقات خطية واضحة بين قدر العزم (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 العزم (M_w). تُظهر الفروقات المتبقية بين قدر العزم المحسوب بالعلاقة المشتقة وقدر العزم المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة أنها كانت صغيرة جداً في معظم الهزات. أما بالنسبة للعلاقة التجريبية بين قدر العزم (M_w) وبين قدر نهاية التسجيل (M_c) فكانت خطية مع وجود بعض التبثر للنقاط التجريبية وقد بلغ معامل الارتباط الخطي (R^2) قيمة ضعيفة نسبياً فكان حوالي 0.48.

يمكن تفسير التبعثر الملاحظ للنقاط التجريبية بتأثير العامل الشخصي إذ أن قدر نهاية التسجيل (M_C) يعتمد على الدقة في تحديد لحظة تلاشي الأمواج الزلزالية واختلافها 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 العزم (M_w) المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة وبين قدر العزم 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 العزم (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 العزم (M_w) سواء للهزات الصغيرة المسجلة بالشبكة الرقمية الحديثة أو لجميع الهزات المسجلة بالشبكة التشابهيّة 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.