

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 11

1443 هـ . 2022 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
- طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
- إذا كان الباحث طالب دراسات عليا: يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.

• إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:

- يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
- إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث : يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.

• إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :

- يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث , وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):

عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

- 1- مقدمة
- 2- هدف البحث
- 3- مواد وطرق البحث
- 4- النتائج ومناقشتها .
- 5- الاستنتاجات والتوصيات .
- 6- المراجع.

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

1. مقدمة.
 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
 3. أهداف البحث و أسئلته.
 4. فرضيات البحث و حدوده.
 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
 7. منهج البحث و إجراءاته.
 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
 9. نتائج البحث.
 10. مقترحات البحث إن وجدت.
 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
- أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
- ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
- ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
- ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

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

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

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

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
24-11	محمد جهاد العيسى نضال شقير سامر زيزفون	علاقات تجريبية لاشتقاق قدر الطاقة (M_{pp}) للهزات الأرضية في سورية
52-25	أ.د.م. أمجد الحلواني محسن الحاج كنجو	مقارنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية-جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والترتبة (SSI)
76-53	محمد جهاد العيسى نضال شقير سامر زيزفون	السلوك التفاعلي لقوى الترابط في الجوائز البيتونية المسلحة المقواة بشرايح FRP بطريقة اللصق ضمن أخاديد

علاقات تجريبية لاشتقاق قدر الطاقة (M_W) للهزات الأرضية 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 الطاقة (M_W) من أهم المعلومات الكمية والمطلوب تحديدها من شبكات الرصد الزلزالي المحلية والعالمية والتي تساهم في تطوير الكود الزلزالي وتصميم المنشآت المقاومة للزلازل. ولكنه للأسف غير متوفر لجميع الهزات الأرضية التي حدثت في سورية وسجلتها الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي لذلك تم في هذا البحث اشتقاق علاقات تجريبية تربط بين قدر الطاقة (M_W) وبين مختلف أنواع القدر للهزات الأرضية في سورية والواردة في النشرات الزلزالية. وقد بلغ معامل الارتباط الخطي (R^2) قيمة جيدة مما يسمح بالاعتماد على هذه العلاقات تجريبية والحصول على نتائج موثوقة لقدر الطاقة (M_W). أظهرت النتائج أن الفروقات بين قدر الطاقة المحسوب بالعلاقات المشتقة والقدر الوارد في معطيات المركز الزلزالي الدولي (ISC) كانت صغيرة وضمن الحدود المقبولة في معظم الهزات.

الكلمات المفتاحية: مقاييس القدر، قدر الهزات المحلية (M_L)، قدر الطاقة (M_W)، سورية.

Empirical relationships for deriving the moment magnitude (M_w) for 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.alissa11985@gmail.com;

(2) National Earthquake Center (NEC).

Abstract

The moment magnitude is essentially required from the global and local seismic networks as quantitative information to develop the seismic codes, and to use it for design buildings to be more resistant to earthquakes. Unfortunately, the moment magnitude is not available for all seismic events happened in Syria and recorded by the Syrian seismic network. Therefore, the aim of this research is deriving empirical relationships between the moment magnitude (M_w) and the other magnitude scales for earthquakes in Syria, which have been published in the seismic bulletins. 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 results reveal that the residuals between the calculated M_w using these relationships and the observed one in the ISC data are minimal and within the acceptable limits for the majority of events.

Keywords: magnitude scales, local magnitude (M_L), moment magnitude (M_w), Syria.

1- المقدمة

يعتبر قدر الهزات المحلية (M_L) والمعروف بقدر ريختر من أقدم أنواع القدر الزلزالي المستخدمة حيث قام ريختر (Richter, 1935) بحسابه اعتماداً على قياس سعة الموجة الزلزالية المسجلة بجهاز الرصد الزلزالي (Wood-Anderson). لقد لاحظ ريختر وجود تفاوت كبير جداً في سعة الموجة الزلزالية في حالتي الهزات الأرضية الصغيرة جداً والزلازل العنيفة جداً لذلك استخدم المقياس اللوغاريتمي لسعة الموجة المسجلة في تعريف القدر الزلزالي (M_L). ومع مرور الزمن قام علماء الزلازل بتطوير أنواع أخرى من مقياس القدر الزلزالي مثل: قدر الأمواج السطحية (M_S)، قدر الأمواج الجسمية (M_B)، قدر المدة (M_D)، وقدر العزم الزلزالي (M_W) والمعروف بقدر الطاقة (Kanamori 1977; Hanks and Kanamori 1979). يتمتع كل نوع منها بمزايا إيجابية قد لا توفرها بقية الأنواع مثل إمكانية حسابه من التسجيلات المتوفرة أو ملاءمته لطبيعة النشاط الزلزالي أو لحساسية شبكة الرصد لذلك تتضمن النشرات الزلزالية واحداً أو أكثر من تلك الأنواع.

تعتمد الهندسة الزلزالية على المعلومات التي تردّها من مراكز الرصد الزلزالي إذ يتطلب تصميم المنشآت المقاومة للزلازل أن تنفذ دراسات كمية موثوقة لتقييم أخطار الزلزلة والحد من آثارها وبناء قاعدة بيانات تضم معلومات موثوقة عن الزلازل ولأطول فترة زمنية ممكنة ويعتبر القدر الزلزالي من أهم تلك المعلومات والتي تساهم في تطوير الكود الزلزالي. وفي هذا السياق يعتبر قدر الطاقة (M_W) من المعلومات الكمية الأساسية المطلوب تحديدها من شبكات الرصد الزلزالي المحلية والعالمية. تقوم شبكات الرصد الزلزالي المحلية بشكل منهجي باستنباط علاقات تجريبية تتلاءم مع خصائص أجهزة الرصد المستخدمة والخصائص المحلية للقشرة الأرضية وطبيعة النشاط الزلزالي المحلي. وعلى سبيل المثال قامت مجموعة من الباحثين المصريين (Abdulrahman et al., 2008; Hussein et al., 2003) بتطوير عدة علاقات تجريبية تسمح بتحويل قدر الهزات المحلية (M_L) إلى قدر الطاقة (M_W) وقارنوا نتائجها مع تلك المحسوبة في المركز الزلزالي الدولي (ISC). كما استخدم (Abd El-Aal et al., 2020) تسجيلات محطات الرصد عريضة الحزمة (Broad band)، والتي تم تنصيبها في مصر بعد

العام 2010، في تطوير تلك العلاقات بالاعتماد على تسجيلاتها ذات الجودة العالية والتي سمحت بحساب العزم الزلزالي للهزات المحلية. ما يزال قدر الهزات المحلية (M_L) متداولاً حتى الآن بين المراكز الزلزالية ومنها المركز الوطني للرصد الزلزالي في سورية وتقوم هذه المراكز بحسابه للهزات صغيرة القدر والهزات المحلية التي يتم تسجيلها ضمن دائرة لا يتجاوز نصف قطرها 400 كم. لكن استخدام قدر الهزات المحلية (M_L) في تقدير المخاطر الزلزالية (Seismic hazard) يُظهر سيئتان وهما: تأثره بظاهرة الإشباع السعوي للهزات العنيفة والتي يزيد قدرها على ($M_L > 6.0$) وأنه يأخذ قيماً سالبة في حالة الهزات الصغيرة جداً باعتباره مقياساً لوغارتمياً. لذلك يُفضل الكثير من علماء الزلازل والهندسة الزلزالية تجنب هاتين السيئتين واستخدام قدر الطاقة (M_w) والذي يتمتع بالعديد من الميزات التي سنتعرف عليها لاحقاً.

2- هدف البحث

يهدف هذا البحث إلى اشتقاق علاقات تجريبية تربط بين قدر الطاقة (M_w) وبين مختلف أنواع القدر للهزات الأرضية التي حدثت في سورية والواردة في النشرات الزلزالية. إذ توصي الهيئات العلمية الدولية والمراكز الزلزالية الدولية بحساب قدر الطاقة (M_w) كونه مقياساً مستقراً يمكن الاعتماد عليه في تقدير المخاطر الزلزالية وفي تطوير الكود الزلزالي (Hanks and Kanamori, 1979; Howell, 1981; Ottemoller and Havskov 2003).

3- مواد وطرق البحث

3-1 قدر الطاقة

شاع حديثاً استخدام قدر الطاقة (العزم) M_w والذي يبدي العديد من المزايا فهو أكثر تعبيراً عن الطاقة الزلزالية المتحررة ويمكن تقديره من ملاحظات جيولوجية حقلية وذلك بتحري طول الصدع (L) المولد للزلزال ومقدار الإزاحة الصدعية (D) ومعامل صلابة الصخور (μ) وبذلك تتمكن من حساب العزم الزلزالي باستخدام العلاقة:

$$M_0 = \mu.A.D \quad (1)$$

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

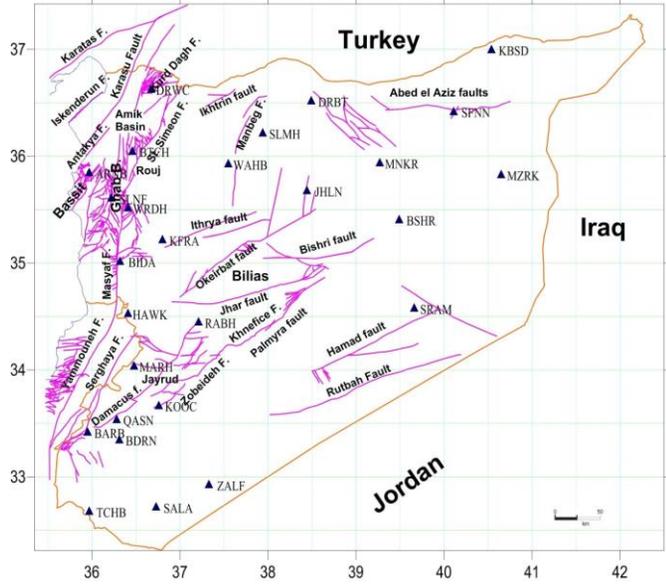
$$M_w = (2/3) \log(M_0) + 10.73 \quad (2)$$

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 يظهر سلبية بأنه غير متوفر لجميع الزلازل وخصوصاً الصغيرة منها لذلك بتطوير طرق حسابية تعتمد التسجيلات الزلزالية مثل طريقة قلب الشكل الموجة لإيجاد مصفوفة العزم الزلزالي التي تطبق على الهزات متوسطة القدر (Jost and Herrmann, 1989)، وطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة التي تطبق على الهزات الصغيرة القدر (Iwata and Irikura, 1988).

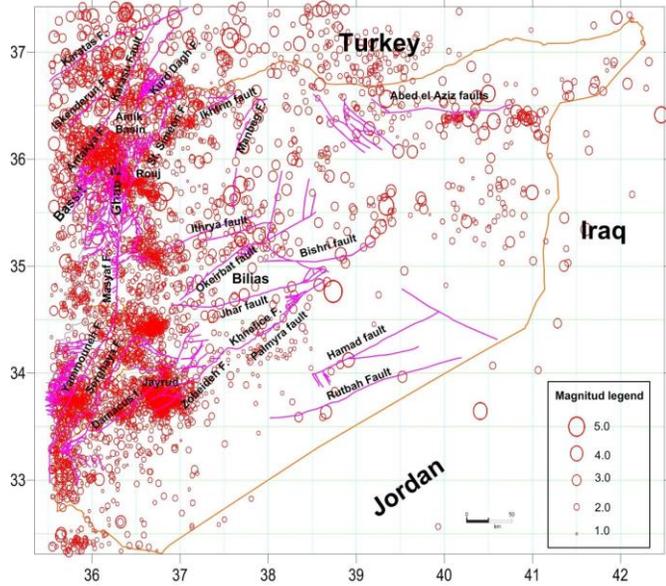
3-2 الوضع الزلزالي في سورية

سمح إنشاء الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي عام 1995 بدراسة النشاط الزلزالي الحديث في سورية. وتتألف هذه الشبكة من 27 محطة قصيرة الدور (1 Sec) كان الهدف التصميمي لهذه الشبكة 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) 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 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.,) حيث أظهرت تسجيلات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي أن هذا النشاط ينتج سنوياً عدداً قليلاً من هزات منخفضة القدر مقارنة مع الدول المجاورة (Abdul-Wahed and Al-Tahan, 2010; Abdul-Wahed et al., 2011).



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



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

3-3 حساب القدر الزلزالي في سورية

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

$$M_C = -3.0 + 2.6 * \log (T) + 0.001 * D \quad (3)$$

حيث تمثل (T) المدة الزمنية بين بداية وصول الموجة (P) وحتى تلاشي الاهتزاز الناتج عن الهزة الأرضية، أما (D) فتمثل المسافة بين محطة الرصد والبؤرة الزلزالية. أما في المرحلة الثانية فقد مكنت الشبكة الحديثة من حساب قدر الهزات المحلية (M_L) بدقة، بالإضافة لحساب القدر (M_C)، وذلك باستخدام العلاقة التي وضعها (Richter, 1935) هي:

$$M_L = \log(A_{WA}) - \log(A_0) + C \quad (4)$$

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 ($\log(A_0)$) منحني 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 منحني 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 (4).

3-4 إعداد قاعدة المعطيات

نلاحظ مما سبق أن النشرات الزلزالية الصادرة عن المركز الوطني للرصد الزلزالي كانت تتضمن قدر نهاية التسجيل (M_C) فقط خلال الفترة 1995-2008 وأنها اشتملت على قدر الهزات المحلية (M_L) خلال الفترة 2008-2012. وبناء على ذلك كان لابد لنا من توسيع قاعدة معطياتنا لتشمل النتائج المنشورة في المركز الزلزالي الدولي (ISC) فوجدنا أن هناك حوالي 200 هزة أرضية وقعت ضمن الأراضي السورية خلال الفترة 1995-2012 وتم حساب مختلف أنواع القدر لها وبالتالي فإن هذه يمكننا من دراسة الارتباط المتصالب بين قدر الطاقة (M_w) وكل واحد من أنواع القدر الأخرى المحسوبة لتلك الهزات.

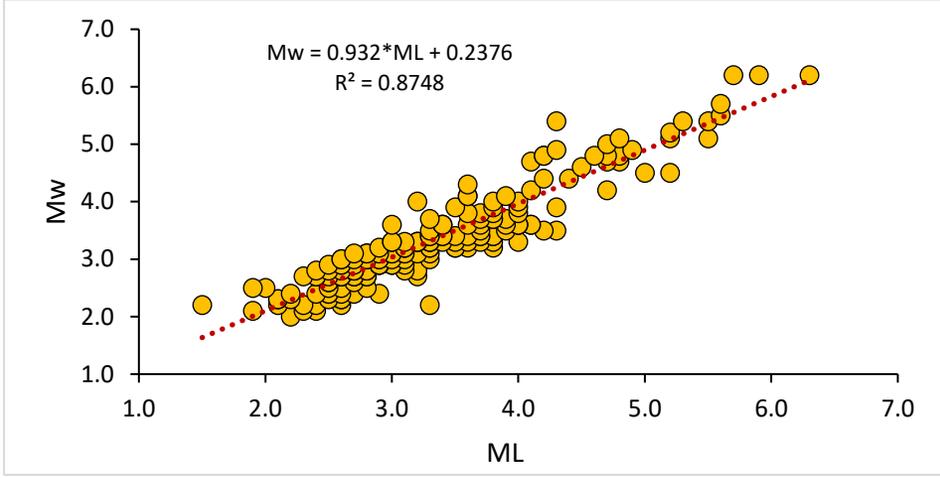
3-5 طريقة المعالجة

تزرخ الأدبيات العلمية المنشورة بالعديد من العلاقات التجريبية التي تربط بين مختلف أنواع القدر وهذه العلاقات تختلف من منطقة إلى أخرى من بقاع العالم وذلك تبعاً للظروف المحلية مثل خصائص القشرة الأرضية وغيرها. لكن الشكل العام لها هو شكل العلاقة الخطية: $(Y=a.X + c)$ حيث تُحدد الثوابت التجريبية (a, c) بطريقة الإرجاع الخطي (Linear regression). يحدد معامل الارتباط الخطي (R^2) جودة العلاقة المستنبطة ومدى تمثيلها للمعطيات المتوفرة وتتراوح قيمته بين الصفر في حالة عدم وجود أي ارتباط بين المتحولين (X, Y) وبين الواحد في حالة الارتباط الخطي التام. استخدمنا البرنامج (Microsoft Excel) لاشتقاق علاقات تجريبية بين قدر الطاقة (M_w) للهزات الأرضية في سورية وبين مختلف أنواع القدر المتوفرة في قاعدة المعطيات.

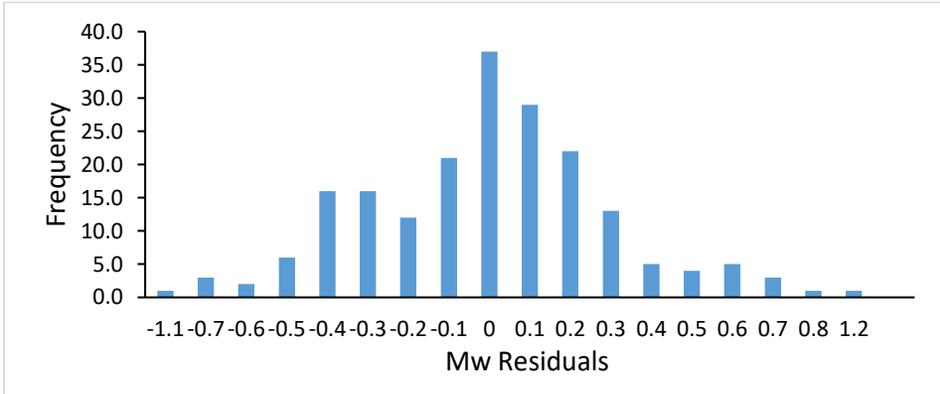
4- النتائج ومناقشتها

تم اشتقاق علاقات تجريبية بين قدر الطاقة (M_w) وبين ثلاثة أنواع رئيسية للقدر متوفرة في المركز الزلزالي الدولي (ISC) وهي: قدر الهزات المحلية (M_L) وقدر المدة (M_D) وقدر الأمواج السطحية (M_S) . ونظراً لكون قدر نهاية التسجيل (M_C) كان الوحيد في المركز الوطني خلال الفترة 1995-2008 فقد تم اشتقاق علاقات تجريبية بينه وبين قدر الهزات المحلية (M_L) بالاعتماد على تسجيلات الشبكة السورية خلال الفترة 2008-2012.

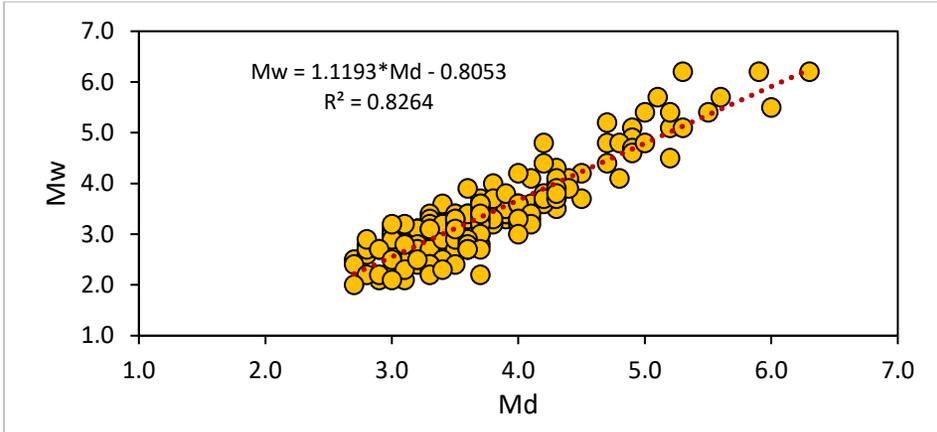
علاقات تجريبية لاشتقاق قدر الطاقة (M_w) للهزات الأرضية في سورية



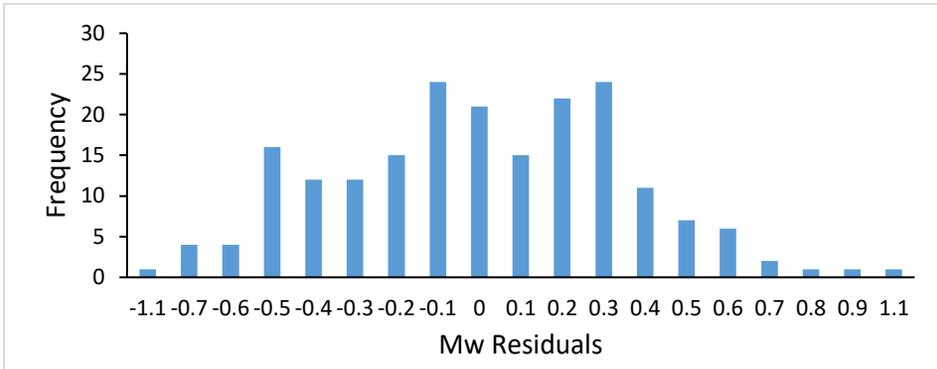
شكل 3. العلاقة التجريبية بين قدر الطاقة (M_w) وقدر الهزات المحلية (M_L).



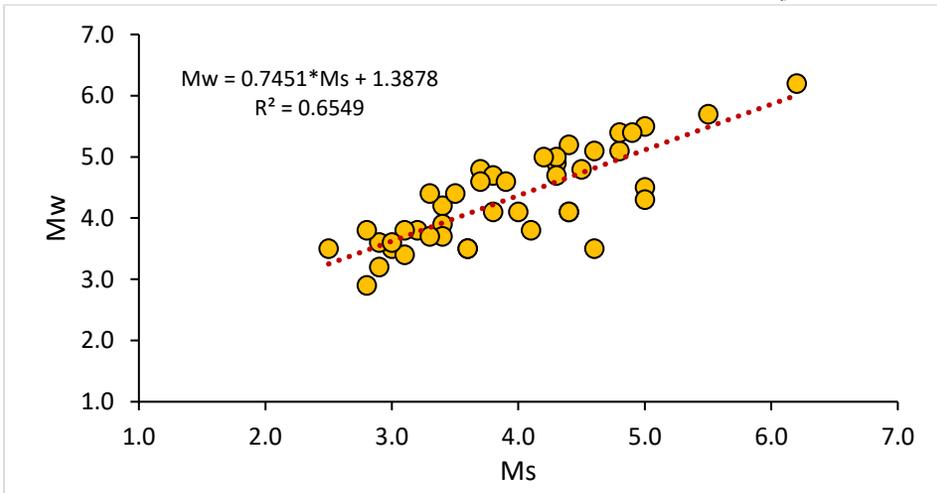
شكل 4. هيستوغرام الفروقات بين قدر الطاقة (M_w) المحسوب من العلاقة التجريبية بين قدر الطاقة (M_w) والملاحظ في قاعدة المعطيات قدر الهزات المحلية (M_L).



شكل 5. العلاقة التجريبية بين قدر الطاقة (M_w) وقدر المدة (M_D).

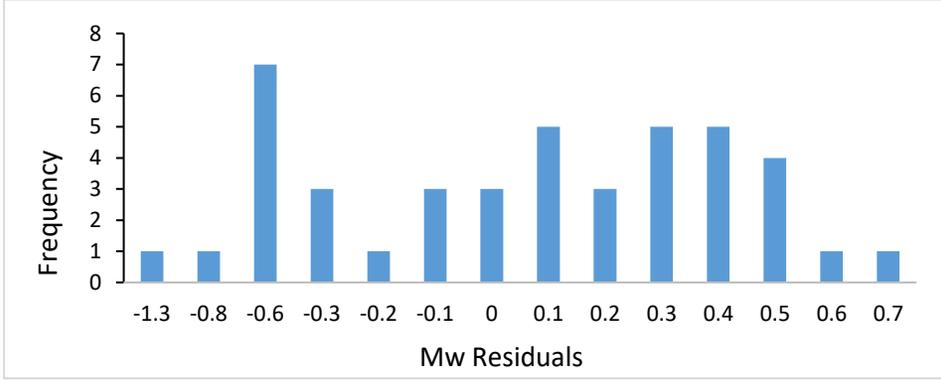


شكل 6. هيستوغرام الفروقات بين قدر الطاقة (M_w) المحسوب من العلاقة التجريبية بين قدر الطاقة (M_w) والملاحظ في قاعدة معطيات قدر المدة (M_D).

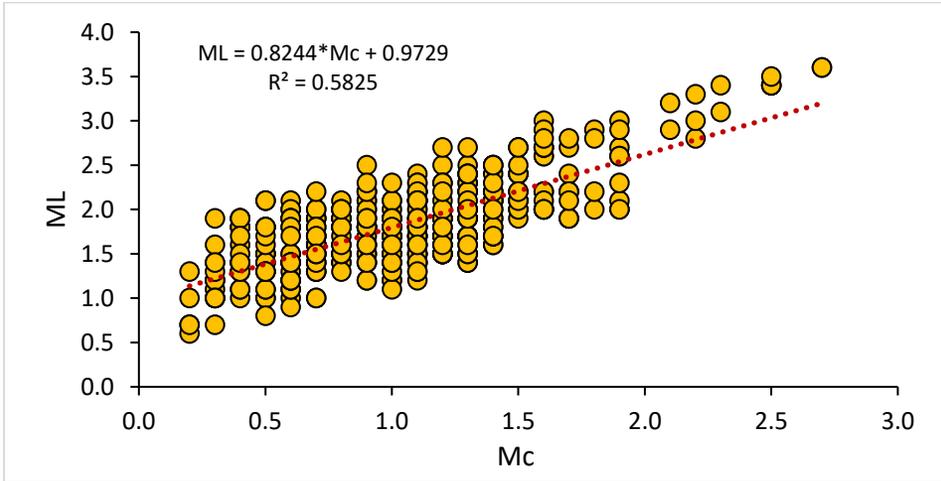


شكل 7. العلاقة التجريبية بين قدر الطاقة (M_w) وقدر الأمواج السطحية (M_s).

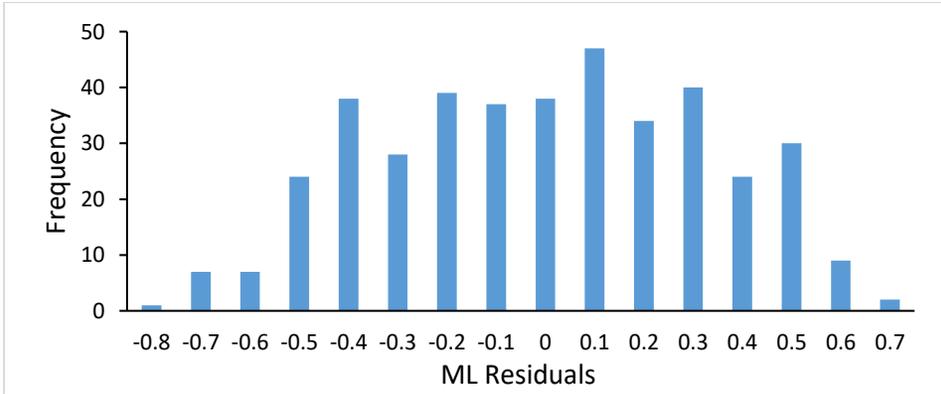
علاقات تجريبية لاشتقاق قدر الطاقة (M_w) للهزات الأرضية في سورية



شكل 8. هيستوغرام الفروقات بين قدر الطاقة (M_w) المحسوب من العلاقة التجريبية بين قدر الطاقة (M_w) والملاحظ في قاعدة معطيات قدر الأمواج السطحية (M_s).



شكل 9. العلاقة التجريبية بين قدر الهزات المحلية (M_L) وقدر نهاية التسجيل (M_c).



شكل 10. هيستوغرام الفروقات بين قدر الهزات المحلية (M_L) المحسوب من العلاقة التجريبية بين قدر الهزات المحلية (M_L) الملاحظ في قاعدة معطيات قدر نهاية التسجيل (M_C).

5- الاستنتاجات والتوصيات

أظهر تحليل معطيات المركز الزلزالي الدولي (ISC) وجود علاقات خطية واضحة بين قدر الطاقة (M_W) وبين كل من قدر الهزات المحلية (M_L) وقدر المدة (M_D) وقدر الأمواج السطحية (M_S) حيث كانت النقاط التجريبية ذات توزع خطي (الأشكال 3، 5، 7) وقد بلغ معامل الارتباط الخطي (R^2) قيمة جيدة جداً فكان 0.87، 0.82 مع قدر الهزات المحلية (M_L) وقدر المدة (M_D) على التسلسل وبلغ قيمة جيدة فكان 0.65 مع قدر الأمواج السطحية (M_S) مما يسمح بالاعتماد على هذه العلاقات تجريبية والحصول على نتائج موثوقة لقدر الطاقة (M_W). تُظهر الأشكال (4، 6، 8) أن الفروقات بين قدر الطاقة المحسوب بالعلاقات المشتقة وقدر الطاقة الوارد في معطيات المركز الزلزالي الدولي (ISC) كانت صغيرة وضمن الحدود المقبولة في معظم الهزات. أما بالنسبة للعلاقة التجريبية بين قدر نهاية التسجيل (M_C) وبين قدر الهزات المحلية (M_L) فكانت خطية مع وجود بعض التبعر للنقاط التجريبية (الشكل 9) وقد بلغ معامل الارتباط الخطي (R^2) قيمة مقبولة نسبياً فكان حوالي 0.58. يمكن تفسير التبعر الملاحظ للنقاط التجريبية بتأثير العامل الشخصي إذ أن قدر نهاية التسجيل (M_C) يعتمد على الدقة في تحديد لحظة تلاشي الأمواج الزلزالية واختفائها ضمن الضجيج الطبيعي وهذا التحديد قد لا يكون سهلاً في بعض الأحيان ويحتاج إلى بعض الخبرة لذلك من المتوقع أن يختلف من شخص لآخر. عموماً يُظهر الشكل (10) أن الفروقات بين قدر الهزات المحلية (M_L) المحسوب من العلاقة التجريبية المشتقة بالاعتماد على قدر نهاية التسجيل (M_C) بين قدر الهزات المحلية (M_L) الملاحظ في قاعدة معطيات الشبكة السورية خلال الفترة 2008-2012 كانت ضمن الحدود المقبولة، وبالتالي يمكن الاعتماد على تلك العلاقة التجريبية والحصول على نتائج مقبولة لقدر الهزات المحلية (M_L) ومن ثم لقدر الطاقة (M_W) من النتائج المنشورة عن المركز الوطني خلال الفترة 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.
- Abd El-Aal A. K., H.E. AbdelHafiez, Hamada Saadalla & M. Sami Soliman (2020) A homogenous moment magnitude and local magnitude scaling relation for earthquakes in Egypt, *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 9:1, 532-538, DOI: 10.1080/20909977.2020.1794445
- Abdulrahman EM, Dessoky MM, Hussein HH, Abd-El Wahed MF. 2003. Estimation of seismic moments from local magnitudes and coda durations for Cairo earthquake aftershocks recorded at Kottamiya (KEG) broadband station. *Ann Geophys.* 46(6):39-46.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Kanamori H. 1977. Energy-release in great earthquakes. *J Geophys Res.* 82:2981-2987. doi: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.
- Richter CF. 1935. An instrumental earthquake magnitude scale. *Bull Seismol Soc Am.* 25:1-32.

مقارنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية □ جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة (SSI)

م. محسن الحاج كنجو¹ د.م. أمجد الحلواني²

الملخص

يقدم البحث دراسة تحليلية لسلوك منشأ بيتوني مسلح من ثمانية طوابق لنوعين من الجمل الإنشائية جملة إطارية وجملة ثنائية مع اختلاف طبيعة الاستناد (موثوق-استناد مرن) تحت تأثير حمل ديناميكي (سبع هزات زلزالية)، تم بدايةً نمذجة المنشأ الإطاري باستناد موثوق وتمثيل حالة الاستناد المرن وفق حالتين (حالة نوابض وينكلر (BNWF) - حالة عناصر محدودة) وذلك وفق التحليل الديناميكي اللاخطي (السجل الزمني) بالاستعانة ببرنامج ABAQUS 2019، عند دراسة تطابق النموذج مع الدراسة المرجعية كانت النتائج متقاربة تحت تأثير الحمولات المطبقة، تم نمذجة منشأ الجملة الثنائية بإضافة جدار مسلح بالفتحة الثانية، وأخيراً المقارنة بين الجملتين الإطارية والثنائية. حيث إن إضافة الجدار أدى إلى تغيير أنماط استجابة المنشأ وكان أثر الاختلاف في قيم القص والدور والانتقالات وباختلاف طبيعة الأستناد في حالة الجملة الثنائية اكبر مما هو عليه في حالة الجملة الإطارية.

الكلمات المفتاحية: الاستناد المرن، طريقة العناصر المحدودة FEM، الجملة الثنائية الجملة الإطارية، نوابض وينكلر (BNWF).

¹ طالب ماجستير - قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية - المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية - جامعة دمشق - سورية.

² مدرس في قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية - المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية - جامعة دمشق - سورية.

Comparison of the seismic response of reinforced concrete structures (Framed system-Dual system) Taking into soil - structure interaction (SSI)

Muhsen Alhaj Kanjo¹

Amjad ALHlwani²

Abstract.

This research presents analytical study of two eight stories reinforced concrete Building. The first one is framed building and the other is wall-frame dual system with the consideration of different types of supports (fixed- flexible supports). Fixed-supported Framed building was modeled then the flexibly-supported building using two techniques (Winkler, and Finite Element Method) with the help of ABAQUS 2019 software to achieve models with considerable similarities to actual conditions under applied loads. After that, Dual system building was modeled by adding shear wall in the second bay. Finally, the comparison between framed and dual system buildings was considered. As result, the addition of the shear wall altered the modes of vibration of the model. The different support types made bigger effect for the dual system than that of the frame system in the values of base shear, period and displacements.

Keywords: flexible repose, Finite Element Method (FEM), Dual System, Framed System.

¹ *Master student in the Structural Earthquake Engineering Department at Higher Institute of Earthquake Studies and Research (HIESR) - University of Damascus– Syria.*

² *Assistant Prof. in the Structural Earthquake Engineering Department at Higher Institute of Earthquake Studies and Research (HIESR) - University of Damascus– Syria.*

مقرنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية-جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة (SSI)

1-مقدمة البحث:

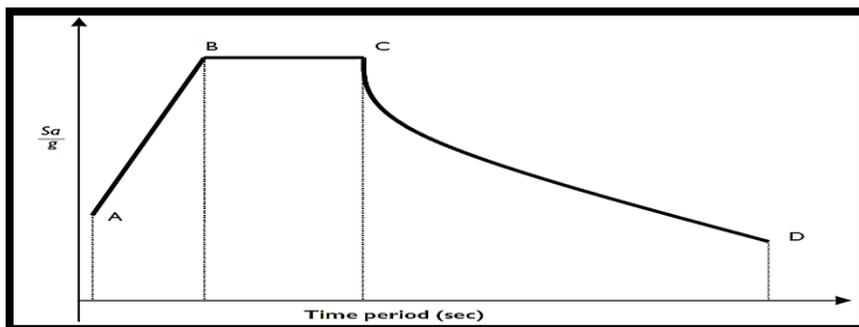
يهدف المصممين عادة لتصميم المنشآت ليكون هناك مجال للأمان قبل الإنهيار، الإستفادة من لاختطية المادة في العناصر الإنشائية بحيث تسلك سلوك لدن لاختطي [1]، حيث إن هذا السلوك يختلف بشكل واضح باختلاف الجملة الإنشائية، وأهم مايميز الجمل الثنائية بأنها تبرز أهمية الدور الذي تقوم به الجملة الإنشائية سواءً إطارات أو جدران قص كلٍ على حدا، حيث يبرز دور الجملة الجدارية بشكل واضح في المجال المرن بينما يبرز دور الجملة الأطارية في المجال اللدن [2]، ومما سبق ولمعرفة السلوك الحقيقي للمنشآت لابد من أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة بعين الاعتبار، وفعل المنشأ على الاهتزازات الزلزالية يتأثر بالتفاعل المتبادل بين مكونات الجملة الثلاثة (التربة والأساس والمنشأ) [1]، ومن الممكن تلخيص العوامل الأساسية المؤثرة في التفاعل الديناميكي المتبادل بين المنشأ و التربة بالعوامل التالية: (خصائص الحمولة الديناميكية أو الهزة الأرضية، مواصفات التربة، مواصفات المنشأ وسلوك السطح البيني الفاصل بين التربة و الأساسات [3]. ومع التقدم العلمي وتطور الحاسوب أصبح ممكناً أخذ موضوع التفاعل المتبادل بين المنشأ والتربة بالحسبان حيث تبين أن إستجابة المنشأ تعتمد على شروط الإستناد وعلاقة المنشأ والتربة المراد التأسيس عليها، أصبح ضروريا إستخدام نماذج أكثر دقة في تمثيل هذا الإستناد [1]، حيث تبرز مدى أهمية تأثير التربة على المنشأ من خلال الشكل (1) والذي يبين منحني الاستجابة المستخدم في تصميم المنشآت على الزلازل حيث إن التسارعات الداخلة إلى المنشآت قد يحدث لها تضخيم او انخفاض مما يؤدي لتصميم خاطئ منذ

مقارنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية-جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة (SSI)

البداية (قد يحدث انهيار أو نحصل على وفرة اقتصادية) وذلك حسب نوع الترب المدروس ودور المنشأ المدروس، فمثلاً عند تصميم المنشأ على اعتباره موثوق نصادف حالتين: الحالة الاولى قد ينهار عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة لأن دور المنشأ سوف يزداد وبالتالي ستزداد قيمة التسارع الخاضع له المنشأ في الأبنية ذات الدور القصير (الواقع ضمن المجال A-B على المخطط ادناه)، بينما الحالة الثانية يكون هناك هدر اقتصادي في المقاطع الإنشائية المصممة عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة لأن دور المنشأ سوف يزداد وبالتالي ستخفص قيمة التسارع الخاضع له المنشأ في الأبنية ذات الدور الطويل (الواقع ضمن المجال C-D على المخطط ادناه) [3].

اساليب نمذجة التربة مع المنشأ العلوي:

- 1- طريقة النوابض المكافئة للتربة أي نوابض ذات خصائص تحاكي التربة المدروسة وذلك في الاتجاهيين الأفقيين وفي الاتجاه الشاقولي ويتم ربطها مع الاساسات (تسمى نوابض وينكلر winkler).
- 2- طريقة العناصر المحدودة (FEM) حيث يتم تمثيل التربة بشكل كامل وفق طريقة العناصر المحدودة.
- 3- طريقة العناصر المحدودة (FEM) لحيز من التربة وطريقة العناصر المحيطة لأطراف التربة (بما يضمن عدم ارتداد الأمواج وبما يحقق الشروط المحيطة) وهذا المفهوم أصبح متداولاً بشكل تدريجي. يبقى النموذج الأول هو الأكثر شيوعاً في مسائل التصميم نظراً لبساطته والاقتصادية في عملية التحليل خصوصاً عند نمذجة المنشأ في وسط ثلاثي الأبعاد [3].



الشكل (1): منحنى التسارع المستخدم في تصميم المنشآت على الزلازل ويمكن تعميمه على كافة الكودات العالمية، [3].

2- هدف البحث:

يهدف هذا البحث لدراسة أثر التفاعل المتبادل بين المنشأ والتربة عند حدوث الزلازل على المنشآت البيتونية المسلحة ذات الجمل الإطارية والثنائية المصممة لمقاومة الزلازل، وذلك باستخدام طريقة العناصر المحدودة باعتماد برنامج ABAQUS 2019 ، ويهدف أيضاً للمقارنة بين تأثير طبيعة الاستناد على نوعي الجمل الإنشائية المذكورة آنفاً.

3- مواد وطرائق البحث:

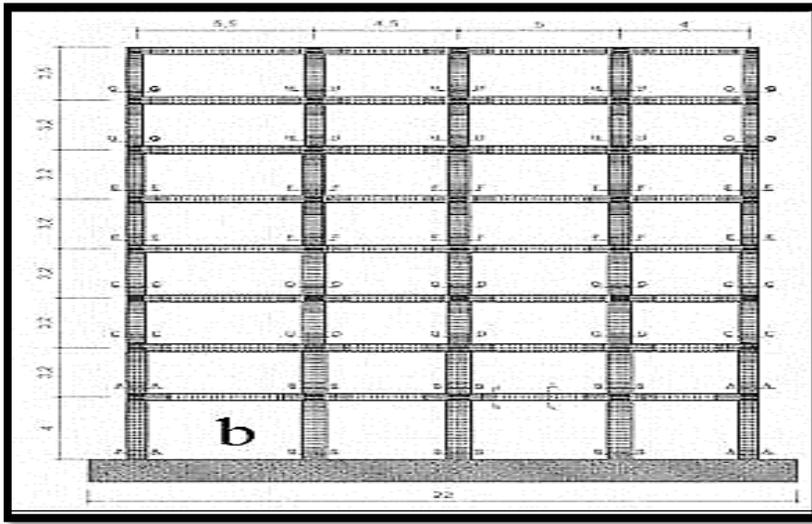
3-1: معايرة المنشأ الإطاري:

تم اختيار نموذج تحليلي من الدراسة المرجعية [4]، وفي هذا البحث تم عرض نتائج التحليلات الديناميكية للاخطية لإطارات خرسانية مقاومة للعزوم (RC MRF) آخذين بالاعتبار أثر التفاعل المتبادل بين المنشأ والتربة (SSI)، وتم التعبير عن المنشأ المدروس وفق عدة حالات: 1- قاعدة ثابتة (FIX) ، 2- قاعدة مرنة (نمذجة التربة - تمثيل التربة بنوابض وينكلر).

3-1-1: توصيف النموذج التحليلي:

حيث تمت نمذجة المنشأ باستخدام طريقة العناصر المحدودة FEM اعتماداً على برنامج ABAQUS 2019 [5]، يوضح الشكل (2) مقطعاً طولياً للمنشأ المدروس. وتمت معايرة نتائج النموذج التحليلي تحت تأثير الحمل الديناميكي المطبق، وبين الجدول (1) مواصفات المنشأ والجدول (2) أبعاد مقاطع الأعمدة والجوائز.

مقارنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية-جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة (SSI)



الشكل (2): مقطع طولي للمنشأ الإطاري المدروس.

الجدول (1): مواصفات المنشأ المدروس.

BUILDING	H (M)	TOTAL MASS (T)	ρ	Fc (mPa)	Fy (mPa)	E (mPa)	ν	EQ
8 FLOORS	26.7	692.8	$2.5 T/M^3$	25	450	28500	0.18	تم تطبيق 7 هزات زلزالية بالاتجاه (X)

الجدول(2): أبعاد مقاطع الأعمدة والجوائز .

SEC	ELEMENT	B (m)	H (m)	REINFORCEMENTS	
				LONGITUDINAL	TRANSVERSAL
A-A	COLUMN	0.5	0.65	16Ø20	Ø12/10 cm
B-B	COLUMN	0.5	0.8	18Ø20	Ø12/10 cm
C-C	COLUMN	0.5	0.6	14Ø18	Ø12/10 cm
D-D	COLUMN	0.5	0.75	18Ø18	Ø10/10 cm
E-E	COLUMN	0.5	0.55	14Ø16	Ø10/8 cm
F-F	COLUMN	0.5	0.7	18Ø16	Ø10/8 cm
G+G	COLUMN	0.5	0.5	12Ø16	Ø10/8 cm
H-H	COLUMN	0.5	0.65	16Ø16	Ø10/8 cm
I-I	BEAM	0.5	0.5	5Ø20 (M^-)	Ø8/8 cm
				3Ø20 (M^+)	
L-L	BEAM	0.5	0.5	3Ø20 (M^-)	Ø8/20 cm
				3Ø20 (M^+)	

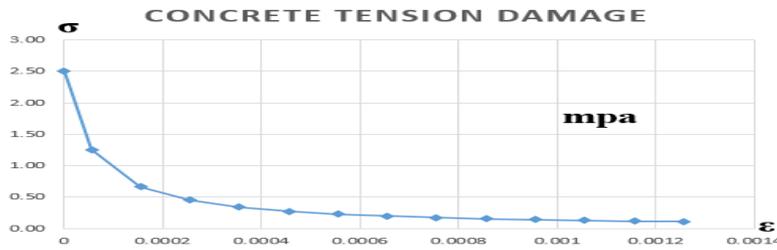
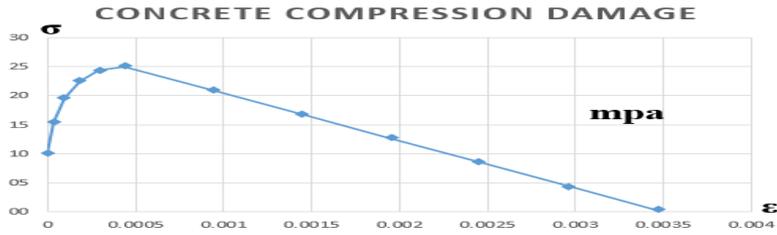
تمت نمذجة المبنى مع التربة باستخدام برنامج Abaqus 2019 حالة (- PLANE STRAIN) تشوهات مستوية، ونمذجة الجوائز والأعمدة كعناصر إطارية Frame

مقارنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية-جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة (SSI)

Beam element، والوحدات المستخدمة في النمذجة : N/m^2 وتم إجراء التحليل الديناميكي اللاخطي .

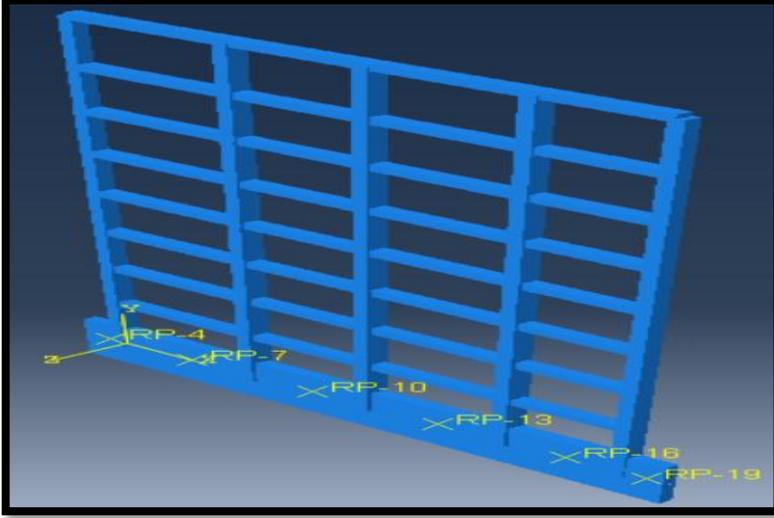
وكانت المواد المستخدمة في المنشأ كما هو موضح بالجدول (3) :

الجدول (3): خواص المواد المستخدمة.	
القيمة	خواص المواد
$f'_c = 25 \text{ Mpa}$	إجهاد ضغط البتوتون
$E_c = 28500 \text{ Mpa}$	معامل مرونة البتوتون
$\nu_{\text{Concret}} = 0.2$	معامل بواسون للبتوتون
$\gamma_c = 25 \text{ Kn/m}^3$	الوزن الحجمي للبتوتون
$f_y = 450 \text{ Mpa}$	حد السييلان لفولاذ التسليح الطولي
$f_{ys} = 250 \text{ Mpa}$	حد السييلان لفولاذ التسليح العرضي
$\text{Mpa}E_{St} = 210 \text{ Gpa}$	معامل مرونة الفولاذ
$\nu_{\text{Steel}} = 0.2$	معامل بواسون للفولاذ
$\gamma_{St} = 78.5 \text{ Kn/m}^3$	الوزن الحجمي للفولاذ



الشكل (3): سلوك مادة البتوتون.

تم استخدام اساس شريطي بأبعاد تحقق سلوك صلب للاساسات، موضح بالشكل (4) النموذج التحليلي للمنشأ الموثوق.

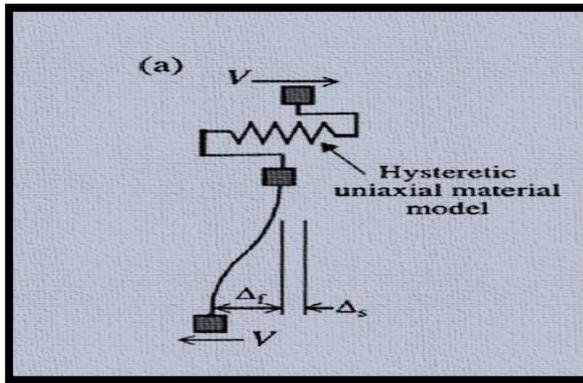


الشكل (4): النموذج التحليلي للمنشأ الموثوق.

تم تعريف سلوك نوابض وينكلر بواسطة connector [4]، كما هو موضح بالشكل (5)، حيث كانت قيم ثابت نابض التربة الأفقي والشاقولي كما يلي :

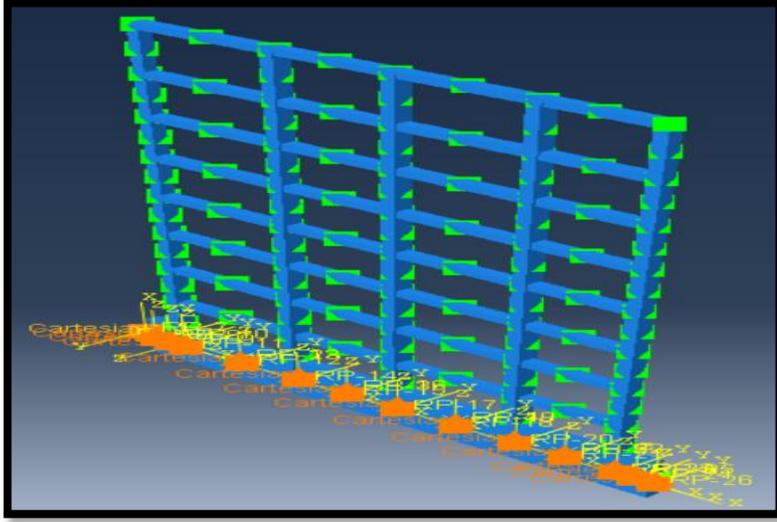
$$K_Y = 315000 \text{ kN/m} \quad K_X = 31500 \text{ kN/m}$$

موضح بالشكل (6) النموذج التحليلي للمنشأ مع نوابض وينكلر.



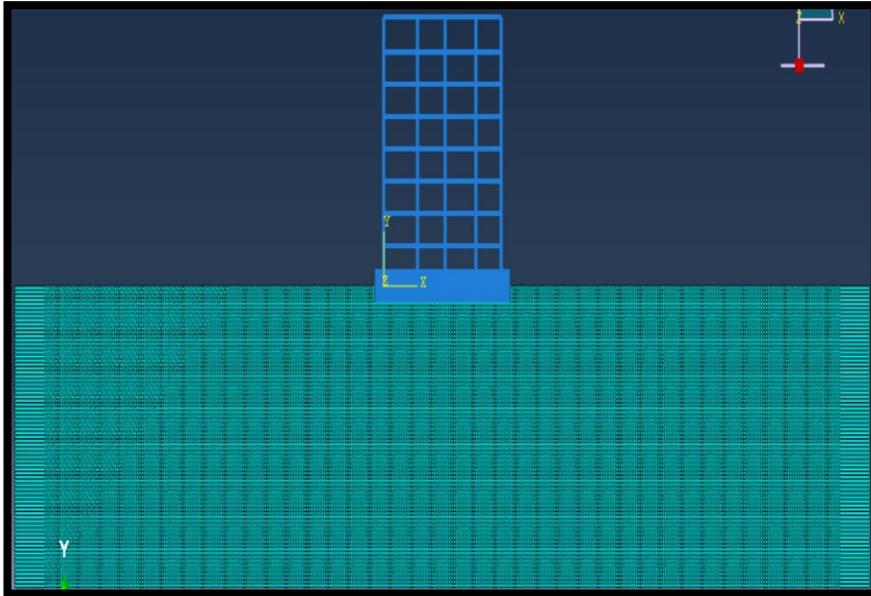
الشكل (5): نموذج نابض وينكلر، [4].

مقارنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية-جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والترربة (SSI)



الشكل (6): النموذج التحليلي مع نوابض وينكلر.

تم استخدام معيار انهيار مور- كولومب لتوصيف سلوك التربة، وافترض أن خصائص التربة نفسها على كامل العمق، موضحة بالجدول (4)، و الشكل (7) يبين النموذج التحليلي مع التربة.



الشكل (7): النموذج التحليلي مع التربة.

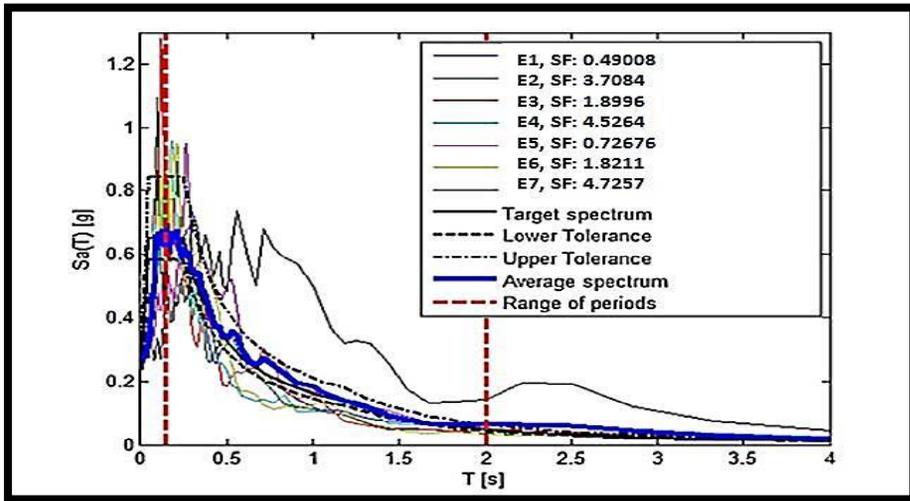
الجدول (4): مواصفات التربة.	
عمق التربة (H)	30 m
نوع التربة	تربة ذات خلائط بحصية غضارية
سرعة أمواج القص (V_{S0})	250 m/s
الكثافة (ρ)	2 T/m ³
التماسك (C)	65 kPa
معامل المرونة (E)	120 mPa
معامل القص الديناميكي (G_D)	127.4 mPa
معامل بواسون (ν)	0.3
دور التربة (T)	0.48 S
التردد الزاوي (ω)	13.1 RAD/s
أبعاد التربة (B * H)	142*30 (m)
زاوية الاحتكاك (ϕ)	35
زاوية التوسع (ψ)	12

تم تمثيل الشروط المحيطية وتطبيق الحمل الزلزالي بالاتجاه x للحالات الثلاث للمنشأ : موثوق - استناد مرن (تربة - نوابض وينكلر) أُجري تحليل ديناميكي لا خطي نوع السجل الزمني وفق برنامج Abaqus [5]، تم تطبيق 7 هزات مختلفة الشدة و أخذ الاستجابة الوسطية للحصول على نتائج المبنى، كما هو مبين بالجدول (5) والشكل (8)، كان الفرق في متوسط ال (PGA) بين هذه الهزات والهزات الموجودة ضمن الدراسة المرجعية (4%) حيث إن الهزات المستخدمة في المعايير

مقارنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية-جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة (SSI)

تختلف عن الهزات الموجودة ضمن الدراسة المرجعية، تم تجميع سبع هزات [6] بحيث تحقق تقارب في قيمة الوسطي لل (PGA) ويعود ذلك لعدم تجاوب الدارس في كثرة الطلب للحصول على الهزات.

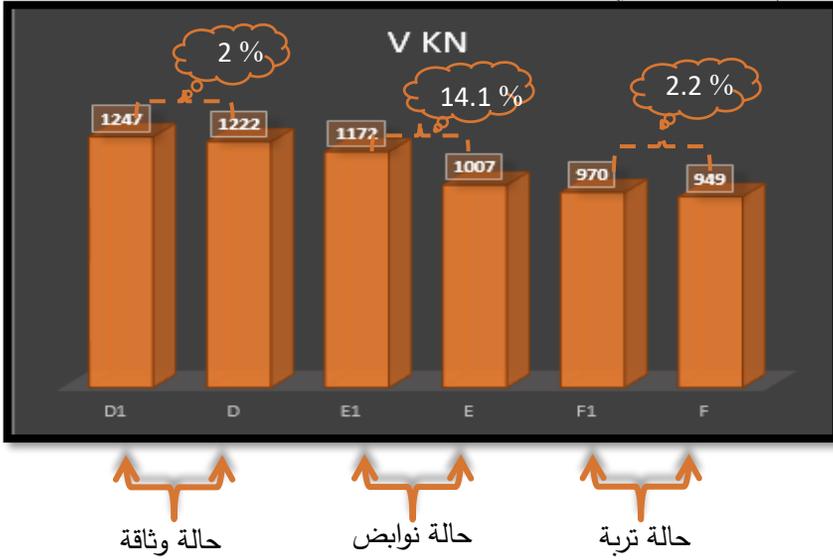
الجدول(5):الهزات المطبقة.				
رقم الهزة	اسم الهزة	PGA (G)	PGA(m/s^2)	زمن الهزة
E1	DUZCE	0.1 G	0.981	42.32
E2	HOLLISTER	0.05 G	0.491	39.995
E3	IMPERIAL VALLEY	0.21 G	2.06	39.365
E4	KERN COUNTY	0.18 G	1.77	54.36
E5	LIVERMORE	0.06 G	0.59	39.99
E6	LOMA PRIETA	0.18 G	1.77	39.99
E7	VICTORIA	0.63 G	6.18	24.61



الشكل(8): الهزات المدروسة.

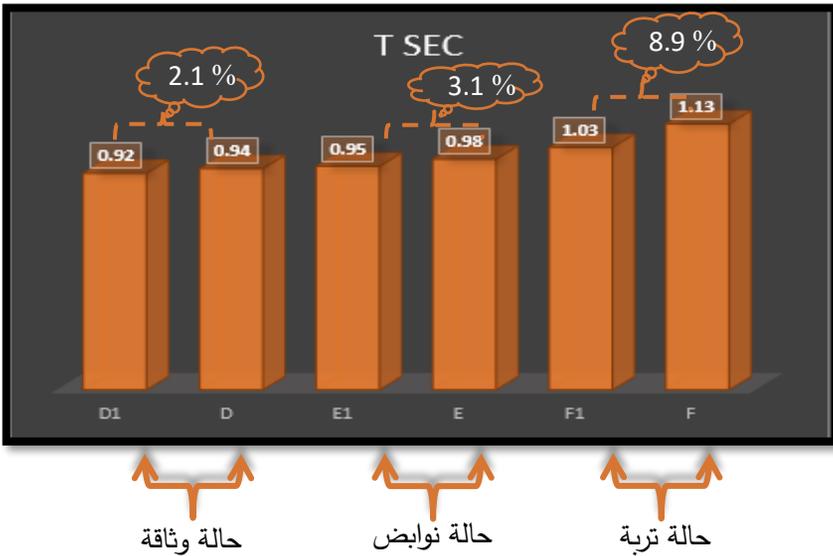
2-1-3: نتائج المعايرة ومناقشتها:

• قيم القص القاعدي:



الشكل (9): قيم القص القاعدي والفرق مع الدراسة المرجعية.

• قيم الدور:



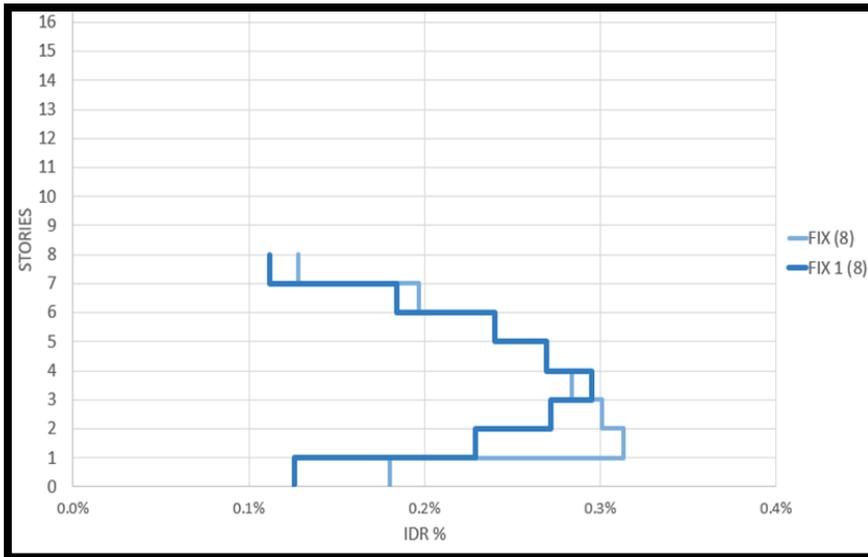
الشكل (10): قيم الدور والفرق مع الدراسة المرجعية.

مقارنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية-جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والترتبة (SSI)

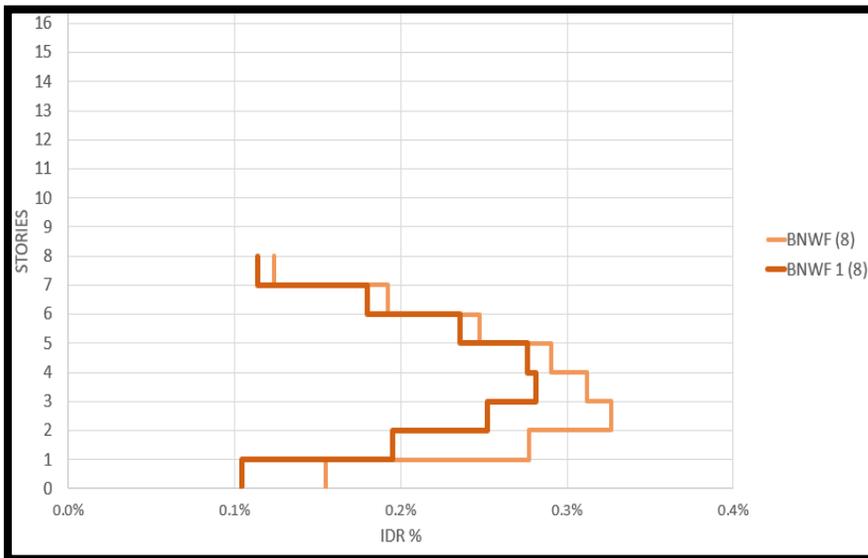
• الانزياح %IDR:

موضحة نسب الانزياح الداخلية والفرق بين الدراسة التحليلية والمرجعية بالجدول (6) والأشكال (1-11)، (2-11) و (3-11) لحالات الاستناد الثلاث.

جدول (6): نسب الانزياحات الطابقية %IDR									
الفرق النسبي %			الدراسة التحليلية			الدراسة المرجعية			الطابق
حالة تربة (ΔF)	حالة نوابض (ΔE)	حالة وثاقة (ΔD)	طبيعة الاستناد تربة حالة (F)	طبيعة الاستناد نوابض حالة (E)	طبيعة الاستناد وثاقة حالة (D)	طبيعة الاستناد تربة حالة (F1)	طبيعة الاستناد نوابض حالة (E1)	طبيعة الاستناد وثاقة حالة (D1)	
40 %	48 %	43 %	% 0.16	% 0.15	% 0.18	% 0.12	% 0.10	% 0.13	1
35 %	42 %	37 %	% 0.26	% 0.28	% 0.31	% 0.19	% 0.19	% 0.23	2
6 %	29.7 %	10.8 %	% 0.24	% 0.33	% 0.30	% 0.23	% 0.25	% 0.27	3
0 %	10.9 %	4 %	% 0.23	% 0.31	% 0.28	% 0.23	% 0.28	% 0.29	4
0 %	5 %	0 %	% 0.22	% 0.29	% 0.27	% 0.22	% 0.28	% 0.27	5
3 %	5 %	0 %	% 0.19	% 0.25	% 0.24	% 0.19	% 0.24	% 0.24	6
7 %	7 %	7 %	% 0.16	% 0.19	% 0.2	% 0.15	% 0.18	% 0.18	7
14 %	9 %	14 %	% 0.10	% 0.12	% 0.13	% 0.09	% 0.11	% 0.11	8

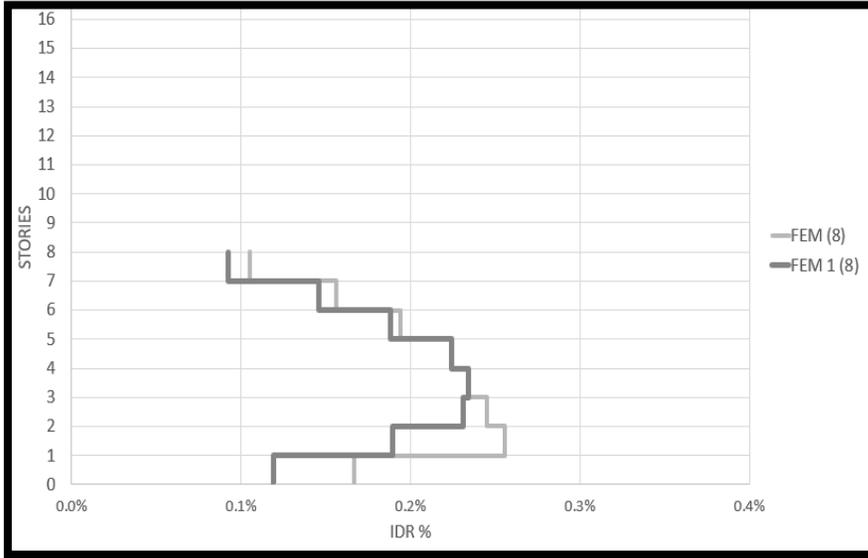


الشكل (1-11): مخطط الانزياحات لحالة الوثيقة.



الشكل (2-11): مخطط الانزياحات لحالة النوابض.

مقارنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية-جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة (SSI)



الشكل (11-3): مخطط الانزياحات لحالة التربة.

نتائج المعايرة:

- 1- الدور : بلغت أكبر زيادة لقيمة الدور في الدراسة التحليلية بمقدار (8.85 %) عن الدراسة المرجعية بحالة أخذ التربة.
- 2- القص القاعدي : بلغ أكبر انخفاض لقيمة القص القاعدي في الدراسة التحليلية بمقدار (14.1%) عن الدراسة المرجعية بحالة النوابض.
- 3- نسبة الانزياح (IDR %) : بلغ أكبر ازدياد لقيمة الانزياح الطائفي في الدراسة التحليلية بمقدار (48%) عن الدراسة المرجعية بحالة النوابض عند الطابق الأول.

2-3: دراسة منشأ الجملة الثنائية:

1-2-3: توصيف النموذج:

تم اعتماد النموذج السابق بعد التأكد من المعايرة وإضافة جدار قص في الفتحة الثانية بسماكة 30cm، ودراسة النماذج التالية على ثلاث أنواع من الاستناد: (وثاقه، نوابض و تربة ذات خلأط بحصية غضارية)، حيث تم تطبيق نفس الهزات المعتمدة في المعايرة (سبع هزات بالاتجاه X)، ومن ثم حساب معاملات التخמיד للبيتون من العلاقة (2):

$$\alpha + \beta \omega_i^2 = 2\omega_i D_i \dots \dots (2)$$

حيث إن α و β معاملات ريليه المتعلقة بكتلة وقساوة المنشأ ويتم حسابهما من أجل اطوار مختلفة، ω_i تعبر عن قيم تردد البناء وفق أنماط الاهتزاز ، D_i تعبر عن قيم التخميد النسبي وتم فرضها (5 %)

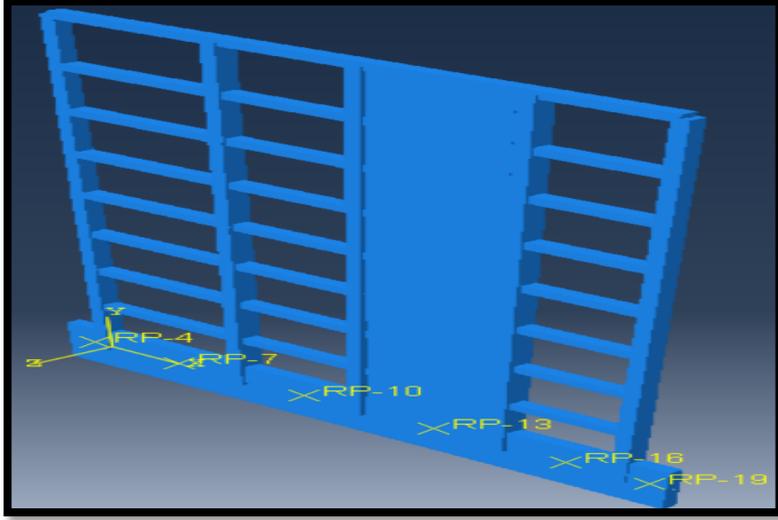
تم حساب معاملات التخميد للتربة من العلاقات (3) و(4):

$$\alpha = \frac{2\omega_1\omega_2(D_1\omega_2 - D_2\omega_1)}{(\omega_2^2 - \omega_1^2)} \dots \dots (3)$$

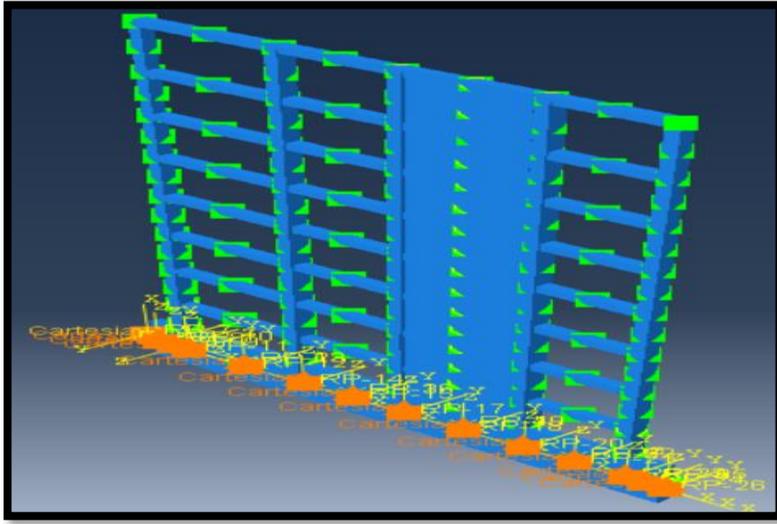
$$\beta = \frac{(D_2\omega_1 - D_1\omega_2)}{\pi(\omega_2^2 - \omega_1^2)} \dots \dots (4)$$

حيث إن ω_1, ω_2 تعبر عن قيم تردد التربة والهزة الزلزالية على الترتيب.

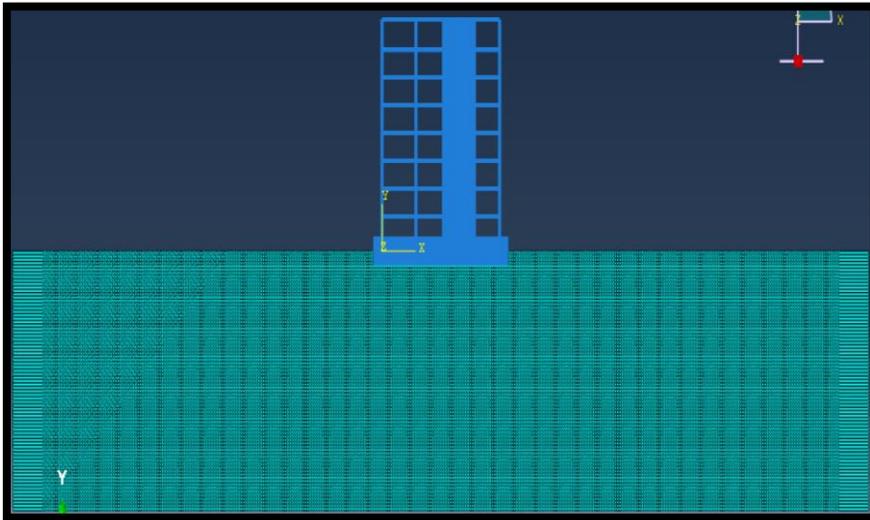
حيث إن D_1, D_2 تعبر عن قيم تخامد التربة والهزة الزلزالية على الترتيب، حيث تم فرض $D_1 = D_2 = 5\%$ ، تبين الأشكال (1-12)، (2-12) و(3-12) النموذج التحليلي لمنشأ الجملة الثنائية بحالات الاستناد الثلاث.



الشكل (1-12): نموذج الجملة الثنائية باستناد موثوق.



الشكل (2-12): نموذج الجملة الثنائية باستناد نوابض.

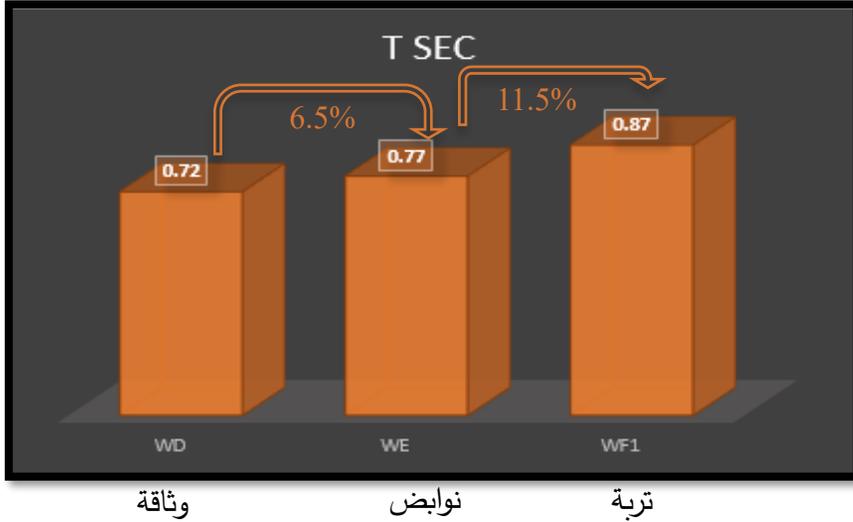


الشكل (3-12): نموذج الجملة الثنائية باستناد ترربة.

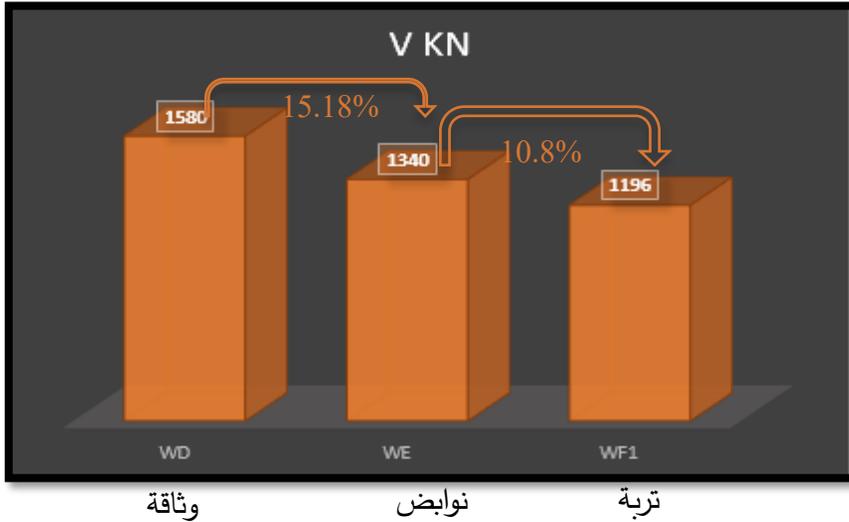
3-2-2: نتائج دراسة نموذج الجملة الثنائية:

بما يتعلق بقيمة الدور زادت قيمته بنسبة (6.5%) بحالة النوابض عن حالة الوثاقة وبنسبة (11.5%) بحالة التربة ذات الخلائط البحصية الغضارية عن حالة النوابض، موضحة بالشكل (13)، بينما القص القاعدي انخفضت قيمته بنسبة (15.2%) بحالة النوابض عن حالة الوثاقة وبنسبة (10.8%) بحالة التربة ذات الخلائط البحصية الغضارية عن حالة

النوابض، كما هو مبين بالشكل (14)، ومن أجل قيم الانزياح $IDR\%$ موضح بالجدول (7) والشكل (15).



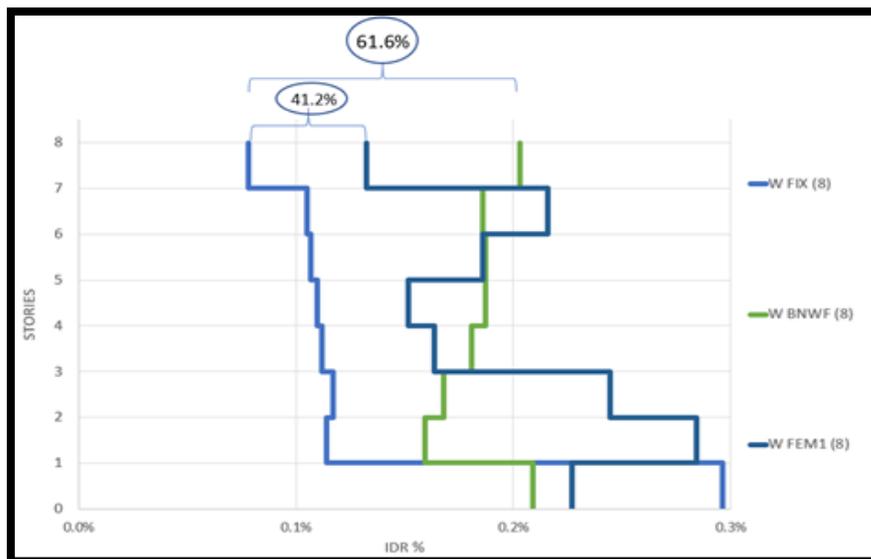
الشكل (13): قيم الدور لنموذج الجملة الثنائية.



الشكل (14): قيم القص القاعدي لنموذج الجملة الثنائية.

مقارنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية-جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة (SSI)

الجدول (7): نسب الانزياحات الطابقية %IDR						
الفرق النسبي %			طبيعة الاستناد تربة ذات خلانط غضارية بحصية حالة (WF1)	طبيعة الاستناد نوابض حالة (WE)	طبيعة الاستناد وثاقة حالة (WD)	الطابق
$\Delta WE - \Delta WD$	$\Delta WF1 - \Delta WD$	$\Delta WF1 - \Delta WE$				
41.54 %	30.51 %	7.79 %	0.227 %	0.209 %	0.296 %	1
28.52 %	59.91 %	43.92 %	0.284 %	0.159 %	0.114 %	2
30.27 %	52.13 %	31.35 %	0.244 %	0.168 %	0.117 %	3
38.01 %	31.61 %	10.33 %	0.164 %	0.181 %	0.112 %	4
41.24 %	27.42 %	23.52 %	0.152 %	0.187 %	0.110 %	5
42.87 %	42.5 %	0.65 %	0.186 %	0.187 %	0.107 %	6
43.48 %	51.37 %	13.96 %	0.216 %	0.186 %	0.105 %	7
61.59 %	41.16 %	53.18 %	0.133 %	0.203 %	0.078 %	8



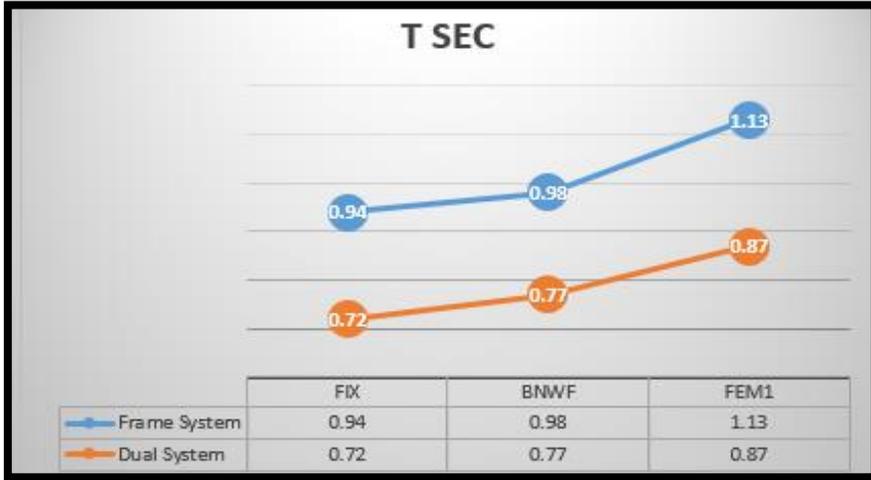
الشكل (15):نسب الانزياح IDR%.

كان الفرق في نسبة الإزاحة الطابقية للطابق الأخير بين حالة وثاقه وحالة تربة ذات خلائط بحصية غضارية بمقدار (41.2 %) وبين حالة وثاقه وحالة النوايض بمقدار (61.6 %).

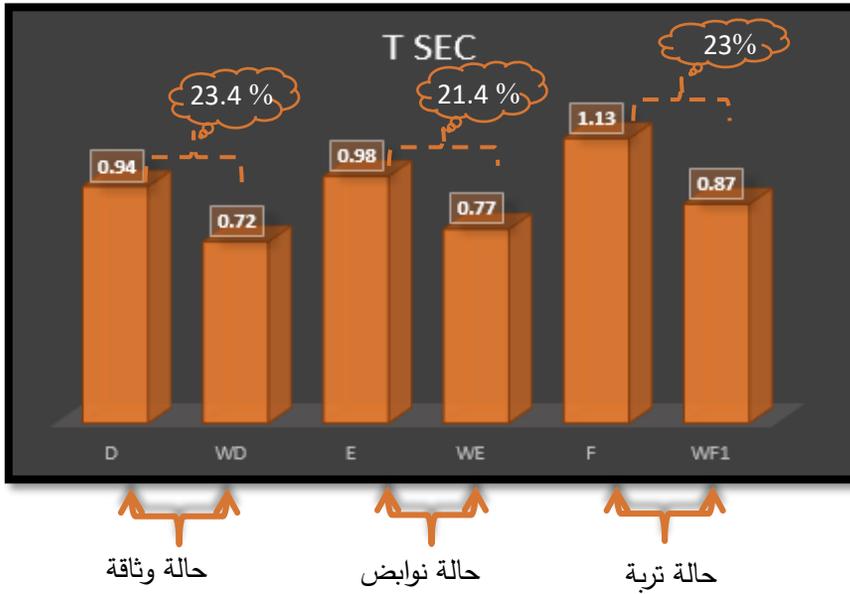
3-3: استجابة نموذجي المنشأ باختلاف الجمل الإنشائية:

تمت مقارنة النتائج بين المنشأ الإطاري ومنشأ الجملة الثنائية من حيث قيم الدور والقص القاعدي ونسبة الانزياح الطابقية، انخفضت قيمة الدور في الجملة الثنائية عن الجملة الإطارية بنسب مختلفة باختلاف طبيعة الاستناد كانت أكبرها بمقدار (23.4%) في حالة الاستناد الموثوق، بينما زادت قيمة القص القاعدي في الجملة الثنائية عن الجملة الإطارية بنسب مختلفة باختلاف طبيعة الاستناد كانت أكبرها بمقدار (25%) في حالة الاستناد على نوايض، وانخفضت قيمة الانزياح الطائقي في الجملة الثنائية عن الجملة الإطارية بنسب مختلفة باختلاف طبيعة الاستناد كانت أكبرها بمقدار (64%) في حالة الاستناد على نوايض عند الطابق الأخير، كما هو مبين بالاشكال (1-16)، (1-17)، (1-18)، (2-17)، (2-18).

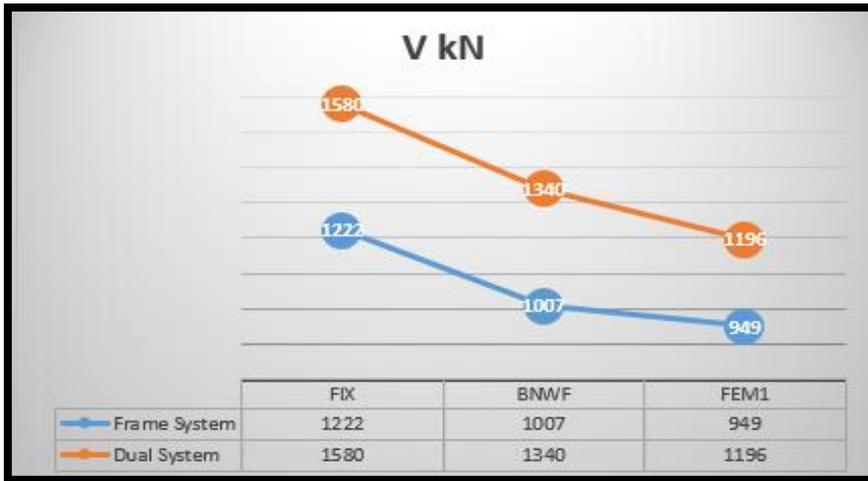
مقارنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية-جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والترتبة (SSI)



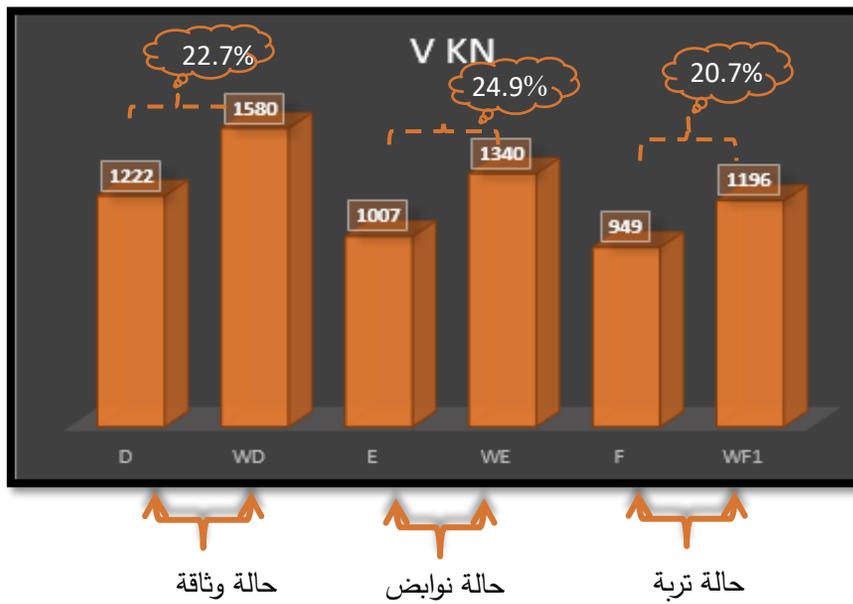
الشكل (1-16): قيم الدور باختلاف الجملة الإنشائية.



الشكل (2-16): الفرق النسبي لقيم الدور بالنموذجين.

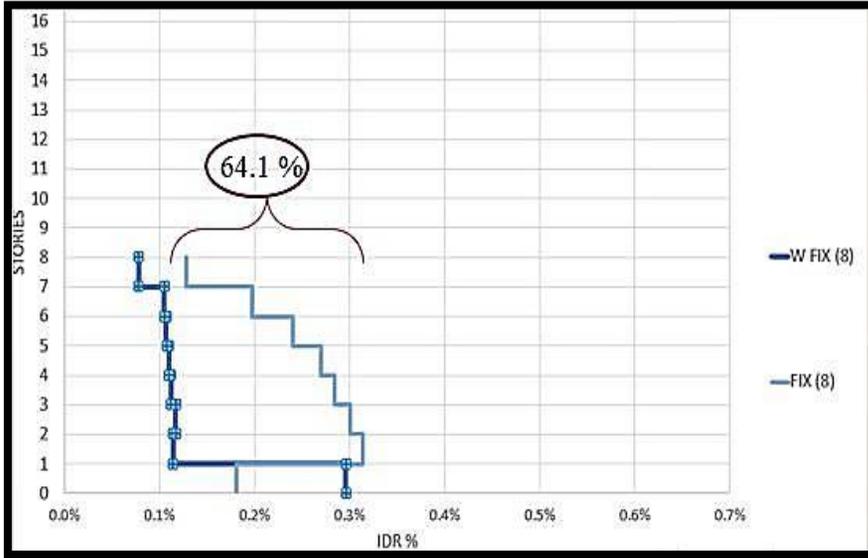


الشكل (1-17): قيم القص القاعدي باختلاف الجملة الإنشائية.

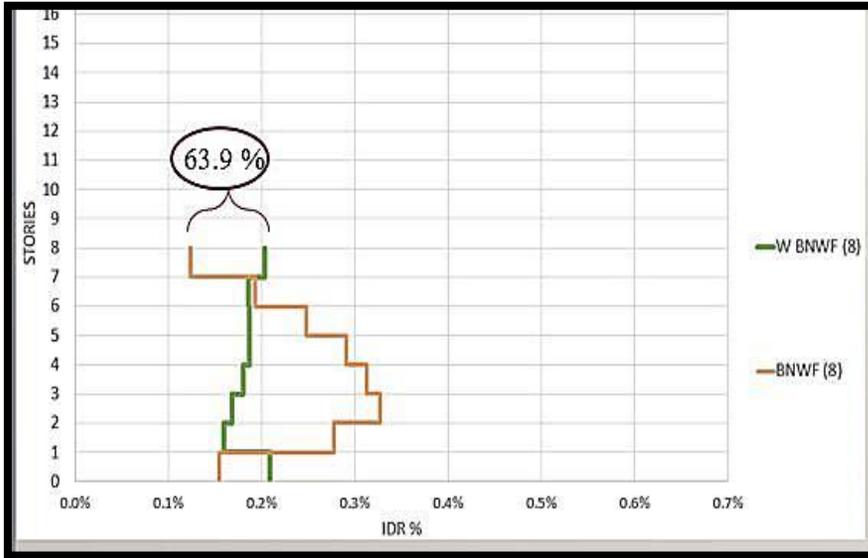


الشكل (2-17): الفرق النسبي لقيم القص القاعدي بالنموذجين.

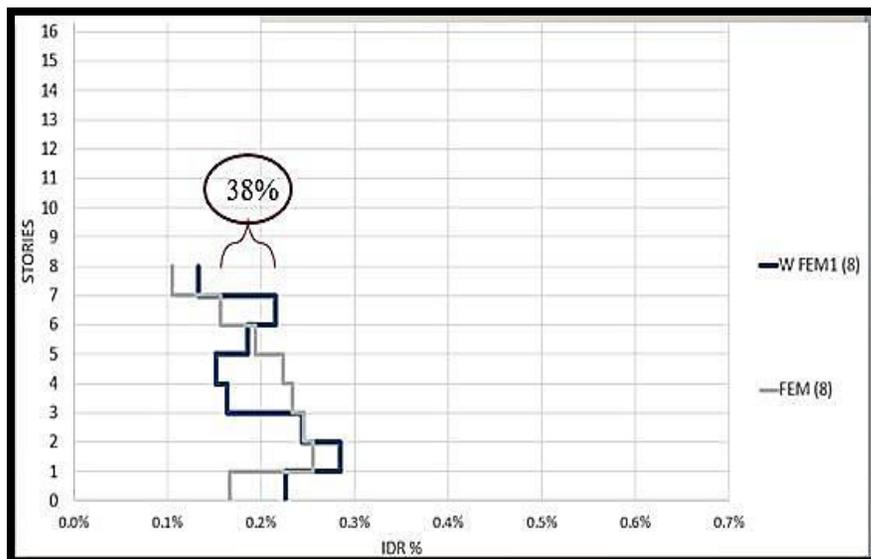
مقارنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية-جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة (SSI)



الشكل (1-18): الفرق النسبي للانزياح الطائفي بالنموذجين بحالة استناد وثيقة.



الشكل (2-18): الفرق النسبي للانزياح الطائفي بالنموذجين بحالة استناد نوابض.



الشكل (18-3): الفرق النسبي للانزياح الطائفي بالنموذجين بحالة استناد تربة.

4- نتائج البحث:

تم في هذا البحث دراسة سلوك منشأ بيتوني مسلح بثمانية طوابق (بجملة إطارية وجملة ثنائية) مع أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة، حيث تم إجراء التحليل الديناميكي باستخدام طريقة العناصر المحدودة FEM ، كذلك تمت المقارنة بين سلوكي الجملتين باختلاف طبيعة الاستناد ، تم التوصل إلى النتائج التالية:

1- يمكن أن يتم تمثيل التربة عن طريق النوابض في حالة الجملة الإطارية ولكن في الجمل الثنائية لا يمكن أن يتم الاستعاضة عن التربة بالنوابض لأنها لاتعبر عن السلوك الحقيقي الحاصل ويتم تمثيل تربة وفق العناصر المحدودة.

2- إن الاختلاف في قيم القص والدور والانتقالات في حالة الجمل الثنائية أكبر مما هو عليه في حالة الجمل الإطارية وذلك عند المقارنة بين حالتي الاستناد (وثافة - ترب ذات خلائط بحصية غضارية).

3- تختلف الاستجابة الزلزالية للأبنية البيتونية (الجملة الإطارية - الجملة الثنائية) عند اعتبارها مستندة كوئافة تامة عن استجابتها على اعتبارها مستندة استناد مرن (الحالة المدروسة ترب ذات خلائط بحصية غضارية) حيث تتغير الحالة الإجهادية للتربة

مقارنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية-جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والترربة (SSI)

بسبب تغير حالة التربة (كحقل حر أو تحت المبنى) المختلف بتغير مواصفات التربة مما يؤثر على السلوك الفعلي للمنشأ لذلك يجب دراسة التربة تحت المنشأ، مما يؤكد ضرورة أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والترربة.

5- المراجع:

[1] فرح، بشار. (2012). دراسة التفاعل بين المنشآت الهيكلية والترتبة في المجال اللاخطي تحت تأثير الأحمال الزلزالية بطريقة البرمجة الرياضية. رسالة ماجستير. الهندسة الإنشائية الزلزالية. المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية. جامعة دمشق. سوريا. ص:178.

[2] Sigmund, V., Guljas, I. and Hadzima-Nyarko, M., 2008, October. **Base shear redistribution between the R/C dual system structural components**. In the 14th World conference on earthquake engineering.

[3] عفاش، مهند. (2015). محاضرات في التأثير الديناميكي المتبادل بين المنشآت وترتب التأسيس. جامعة دمشق/المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية. دمشق.

[4] Tomeo, R., Pitilakis, D., Bilotta, A. and Nigro, E., 2018. **SSI effects on seismic demand of reinforced concrete moment resisting frames**. Engineering Structures, 173, pp.559–572.

[5] Getting Started with Abaqus, Version 6.14. (2014). **The Abaqus Software is a product of Dassault Systèmes Simulia Corp**. USA. 693p.

[6] <http://www.eng.ucy.ac.cy/petros/Earthquakes>, for seismic records.

مقارنة الاستجابة الزلزالية للمنشآت البيتونية المسلحة (جملة إطارية-جملة ثنائية) عند أخذ التأثير المتبادل بين المنشأ والتربة (SSI)

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

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

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

Mohammed.ALISSA⁽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 الطاقة (Kanamori 1977; Hanks and Kanamori 1979) لتجنب السلبيات التي تظهرها الأنواع الأخرى للقدر مثل تأثرها بظاهرة الإشباع السعوي للهزات العنيفة. كما توصي الهيئات العلمية الدولية والمراكز الزلزالية الدولية بحساب قدر الطاقة (M_W) كونه مقياساً مستقراً يمكن الاعتماد عليه في تقدير الخطر الزلزالي (Seismic hazard) وفي تطوير الكود الزلزالي (Hanks and Kanamori, 1979; Howell, 1981; Ottemoller and Havskov 2003). علاوة على ذلك فإن قدر الطاقة (M_W) أكثر تعبيراً عن الطاقة الزلزالية المتحررة ويمكن تقديره من ملاحظات جيولوجية حقلية.

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

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

2- هدف البحث

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

3- مواد وطرق البحث

3-1 الوضع الزلزالي في سورية

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

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

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

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

3-2 حساب القدر الزلزالي في سورية

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

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

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

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

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

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

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

3-3 طريقة حساب قدر الطاقة

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

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

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

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

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

(5)

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

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

$$R_s = 0.37 * V_s / f_0 \quad (6)$$

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

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

3-4 إعداد قاعدة المعطيات

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

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

3-5 برنامج المعالجة

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

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

المحسوب للنافذة الزمنية الحاوية للموجة القصية (S) والمحددة بالخططين الأخضرين. يحدد الرمز (+) الجزأين المنبسط والمنحدر من الطيف. وتشير الرموز: (M_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 الطاقة المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة.

4- النتائج ومناقشتها

تم حساب قدر الطاقة (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 الطاقة (M_w) بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة.

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

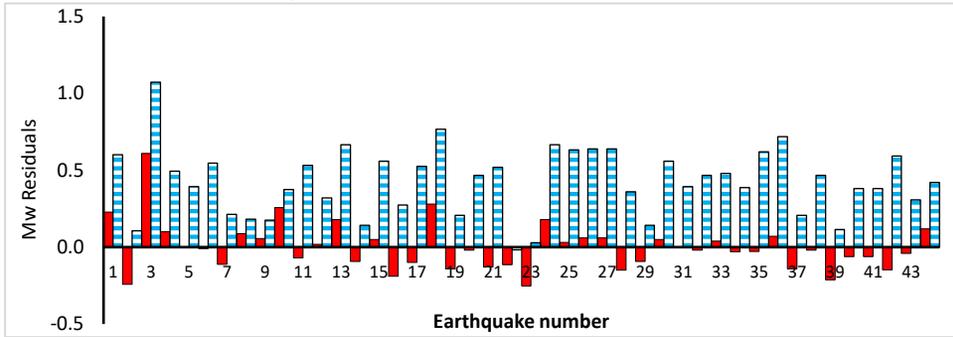
$$M_w = 0.7 * M_L + 1.4 \quad (8)$$

تظهر نتائج حساب قدر الطاقة (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 الطاقة (M_w) للهزات الأصغر. يظهر هيستوغرام الفروقات المتبقية بين قدر الطاقة (M_w) المحسوب من العلاقة التجريبية (8) بالاعتماد على قدر الهزات المحلية (M_L) وقدر الطاقة (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 الطاقة (M_W) المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة و قدر الهزات المحلية (M_L).

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



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

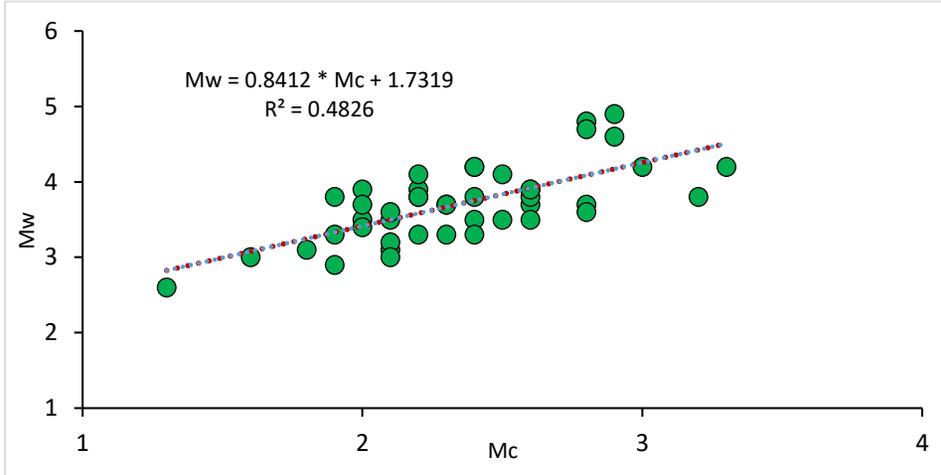
كما تم اشتقاق العلاقة التجريبية بين قدر الطاقة (M_W) وبين قدر نهاية التسجيل (M_C) المحسوب في المركز الوطني للرصد الزلزالي لنفس الهزات الأرضية وحصلنا على العلاقة:

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

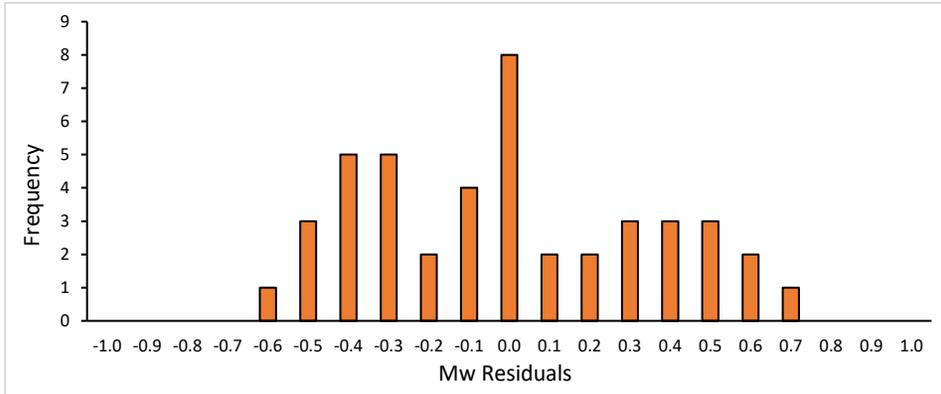
تظهر نتائج حساب قدر الطاقة (M_W) وجود علاقة خطية مقبولة مع قدر نهاية التسجيل (M_C) حيث كان معامل الارتباط الخطي (R^2) ضعيفاً نسبياً ولم يتجاوز 0.48 (الشكل 9) وبالتالي يمكن الاعتماد على هذه العلاقة التجريبية والحصول على نتائج مقبولة لحساب قدر الطاقة (M_W) في حال عدم إمكانية تطبيق الطرق الأخرى. يظهر هيستوغرام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

حساب قدر الطاقة (M_w) للهزات المحلية في سورية

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



شكل 9. العلاقة التجريبية بين قدر الطاقة (M_w) المحسوب بطريقة التحليل الطيفي لطيف الإزاحة وقدر نهاية التسجيل (M_c).



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

5- الاستنتاجات والتوصيات

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

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

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

References

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

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