

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

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

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

Mohammed.ALISSA⁽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 (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 طوله بالعمق التقديري للدورة. ثم تستخدم العلاقة التجريبية التي وضعها (Hanks and Kanamori, 1979) لمنطقة شرق المتوسط في حساب قدر الطاقة:

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

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

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

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

(5)

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

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

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

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

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

3-4 إعداد قاعدة المعطيات

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

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

3-5 برنامج المعالجة

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

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

المحسوب للنافذة الزمنية الحاوية للموجة القصية (S) والمحددة بالخططين الأخضرين. يحدد الرمز (+) الجزأين المنبسط والمنحدر من الطيف. وتشير الرموز: (M₀) إلى لوغاريتم العزم الزلزالي مقدراً بنيوتن متر، (OM) إلى لوغاريتم المستوى الطيفي المنبسط عند الترددات المنخفضة مقدراً بنانومتر بالثانية، (F₀) 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:

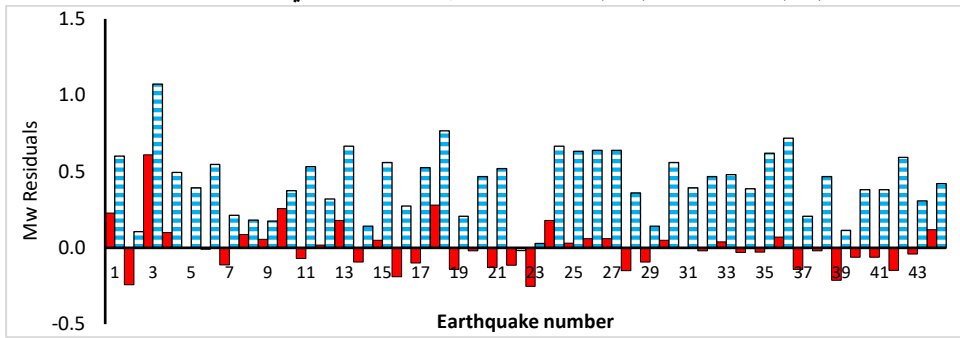
$$M_w = 0.7 * M_L + 1.4 \quad (8)$$

تظهر نتائج حساب قدر الطاقة (M_w) وجود علاقة خطية واضحة مع قدر الهزات المحلية (M_L) وقد بلغ معامل الارتباط الخطي (R²) 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.



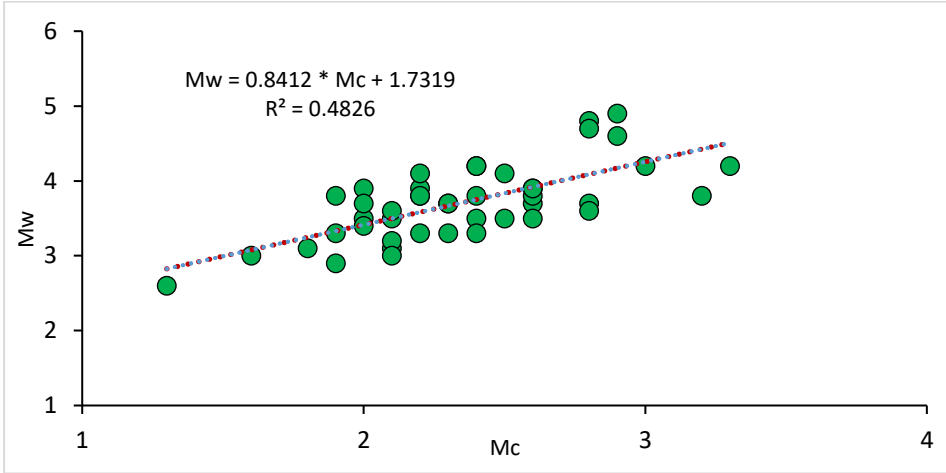
شكل 8. مقارنة بين هيستوغرام فروقات قدر الطاقة (M_W) المحسوب من العلاقة التجريبية لهذا البحث باللون الأحمر مع هيستوغرام فروقات قدر الطاقة (M_W) المحسوب من العلاقة التجريبية التي توصل إليها (Alissa et al., 2020) باللون الأزرق المخطط.

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:

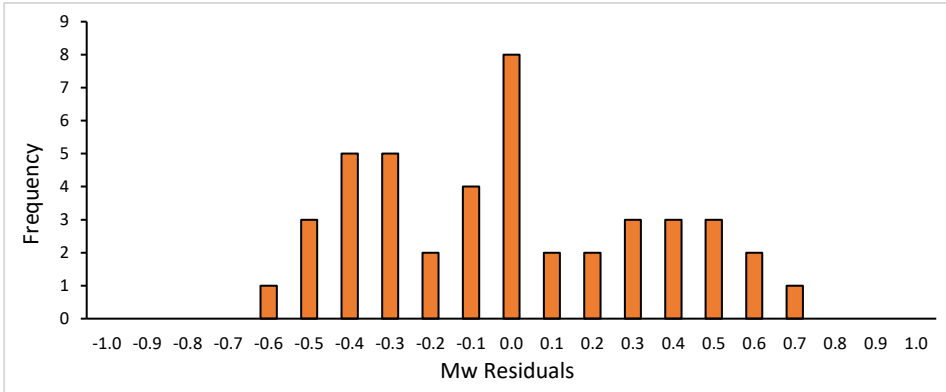
$$M_W = 0.84 * M_C + 1.73 \quad (9)$$

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)

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.