

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/335389952>

تقييم الخطر الزلزالي للمنطقة الساحلية Seismic hazard assessment of the coastal area

Preprint · March 2019

CITATIONS

0

READS

523

3 authors:



AhlaM Khalil

18 PUBLICATIONS 76 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Raed Ahmad

39 PUBLICATIONS 111 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Mohamad Daoud

Damascus University

33 PUBLICATIONS 832 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

تقييم الخطر الزلزالي لمنطقة الساحلية

أحلام خليل¹ د. رائد أحمد² د. محمد داود³

1 طالبة دكتوراه في المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية

2 المركز الوطني للزلزال

3 قسم الجيولوجيا _ كلية العلوم _ جامعة دمشق

الملخص

إن دراسة الخطر الزلزالي والحصول على خرائط التسارعات الأرضية مفيدة لمهندسي التصميم والزلزال. يناقش هذا العمل استخدام الطريقة الاحتمالية لتقدير الخطر الزلزالي لمنطقة الساحلية من سوريا. تمت دراسة قاعدة البيانات الزلزالية المتوفرة لثلاثة مصادر زلزالية خطية هي صدع الغاب وصدع اللاذقية-كلس والقوس القبرصي وبالنتيجة تم إعداد خرائط الخطر الزلزالي لأعمار تكرارية 475 و 975 سنة أي احتمال تجاوز 10% و 55% على التوالي. تشير النتائج إلى أن التساع الأعظمي يتزايد شمالاً باتجاه صدع اللاذقية-كلس، وشرقاً باتجاه صدع الغاب بدءاً من الشريط الساحلي، إن أعلى قيمة للتسارع الأعظمي موافقة لموقع مدينة صللفة حيث تبلغ 633,85 gal دور 0.3 ثانية واحتمال تجاوز 5%. إن للخرائط المستندة أهمية بالغة في تخفيف الخطورة الزلزالية المحتملة حدوثها في منطقة الدراسة.



حقوق النشر: جامعة دمشق -
سوريا، يحتفظ المؤلفون بحقوق
النشر بموجب الترخيص
CC BY-NC-SA 04

الكلمات المفتاحية: الخطر الزلزالي، التساع الأعظمي، صدع الغاب، صدع اللاذقية-كلس، القوس القبرصي، الطريقة الاحتمالية.

Seismic hazard assessment of the coastal area

Ahlaam Khalil¹ Dr. Raed Ahmad² Dr. Mohamad Daoud³

¹ PhD student at the Higher Institute of Earthquake Studies & Research

² National Earthquake Center

³ Faculty of Science, Geology Dep., Damascus University

Abstract

Seismic hazard studies and mapping are useful for design and seismic engineers. This work discusses the use of the probabilistic seismic method to assess the seismic hazard of the coastal area of Syria. The available seismic database for three linear seismic sources, namely the Al-Ghab, Latakia-Killis and Cyprus arc faults, was studied. As a result, seismic hazard maps were prepared for the return periods of 475 and 975 years and the probability of exceeding 10% and 5%, respectively. The results show that the acceleration is increasing northward toward the Lattakia-Killis, and eastward toward the fault of Al-Ghab starting from the coastline. For structural period 0.3s and the probability of exceeding 5%, the highest acceleration value is 633.85 gal for Slenfeh city. The derived maps are very important to mitigate the potential seismic risk in the study area.



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Key words: Seismic Hazard, Peak Acceleration, Ghab Fault, Latakia-Killes Fault, Cyprus Arc, Probabilistic Method.

المقدمة:

بناء على المعلومات الزلالية والجيولوجية والتكتونية تم تحديد ثلاثة مصادر خطية للخطر الزلالي هي صدع الغاب وصدع اللاذقية-كلس والقوس القبرصي. في هذه الدراسة، تم إحصاء الزلزال الواقعة ضمن مجال هذه المصادر لتحديد المعاملات اللازمة لتطبيق الطريقة الاحتمالية باستخدام قاعدة البيانات الزلالية الموجودة في المركز الوطني للزلزال (أحمد وآخرون، 2013) والمبنية على الدراسات الزلالية التاريخية المذكورة لدى (Ambraseys and Barazangi., 1989; Plassard., 1981; Sbeinati., 2005) والزلزال الآلي المسجلة في سوريا منذ عام 1902-1994م بواسطة الشبكة العالمية للرصد الزلالي بالإضافة إلى الزلزال الحديثة التي حدثت خلال العمر الاستثماري للشبكة الوطنية للرصد الزلالي التابعة للمركز الوطني للزلزال، وتم لاحقاً تطبيق علاقة العمر التكراري-القدر لحساب عدد الأحداث ومعدل الحدوث السنوي لكل قدر، وبالتالي تحديد كل من المعاملات التالية: معاملات غوتبرغ-ريختن a و b و β وارتباتها σ_b و σ_β ، القيمة الحدية للقر M_0 ، والقدر الأعظمي M_{max} ، والحد الأدنى للقدر الأعظمي M_1 ، والحد الأعلى للقدر الأعظمي M_2 لكل مصدر زلالي. لاحقاً تم الحصول على خرائط الخطير الزلالي باستخدام المعاملات المستنيرة والطريقة الاحتمالية-توزيع بواسون وقانون تخامن مناسب للوضع التكتوني للمنطقة.

في الدراسات السابقة (El Hariri, 1991)، (Abdallah et al., 1994)، (Sobaih et al., 1995)، (Al-Khoubi et al., 1999)، (Ahmad., 2000)، (El Ssayed et al., 2012)، (Malkawi et al., 1995)، (Ahmad et al., 2013) تم إعداد خرائط الخطير الزلالي لسوريا باستخدام الطريقة الاحتمالية مع مصادر زلالية مساحية، حيث قام (Ahmad et al., 2017) بإعداد خرائط الخطير الزلالي بمنهجية جديدة تعتمد على قاعدة البيانات الزلالية ومعاملات غوتبرغ-ريختن والارتفاع الرقمي ونظام المعلومات الجغرافي. يقدم هذا العمل استخدام الطريقة الاحتمالية لأول مرة مع مصادر خطية لإعداد خرائط الخطير الزلالي للمنطقة الساحلية، يظهر في الشكل (1) موقع منطقة الدراسة من سوريا.

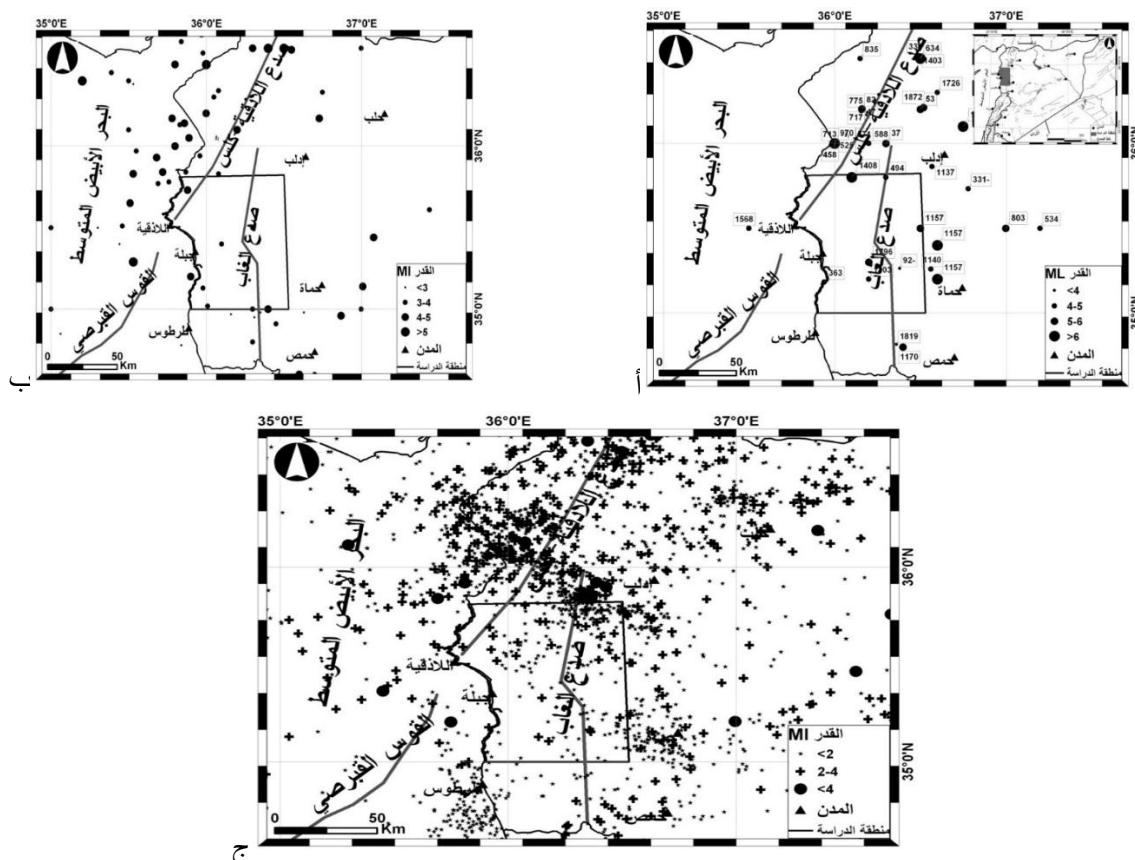
إن هذا العمل هو أحد الخطوات الرئيسية التي سيتم البناء عليها للحصول على خرائط الخطورة الزلالية Seismic risk لتوقع الأضرار الاقتصادية والاجتماعية الناجمة عن الخطير الزلالي Seismic Hazard.

الخطير الزلالي Seismic Hazard هو دراسة الظواهر الطبيعية المرافقة للزلزال والمولدة لها ويمكن تقييمها آلياً وتاريخياً وجيولوجياً. تستخدم الطريقة الاحتمالية Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) في تحديد معاملات الحركة الأرضية ground motion كالتسارع أو الشدة الزلالية لاحتمال تجاوز 2% أو 5% أو 10% (أي احتمال تكرار حدوث زلزال واحد على الأقل نو قدر أعظمي خلال 2475 و 975 و 475 سنة، على التوالي) لأي موقع يتطلب معرفة قيم هذه المعاملات (El-Hariri., 1991).

تم اختيار ثلاثة مصادر زلالية خطية مؤثرة على منطقة الدراسة بناء على البيانات الجيولوجية والتكتونية والزلالية المتوفرة عن منطقة الدراسة وهي صدع الغاب وصدع اللاذقية-كلس والقوس القبرصي كما يظهر في الشكل (1)، أما الصدوع الأخرى الموجودة في المنطقة فهي غير مدروسة ولا يوجد دليل على نشاطها الزلالي وذلك بحسب الزلزال التاريخية والآلية والحديثة المنشورة.

يشكل صدع الغاب جزءاً من منظومة صدع البحر الميت الانزاحي اليساري، وهو بنية شد جانبية pull-apart تبلغ مساحته حوالي 900 km^2 لا يظهر فيه نهوض طبوغرافي، يمتد لحوالي 100 كم باتجاه حوض العمق. يحد حوض الغاب من الغرب سلسلة الجبال الساحلية التي يصل ارتفاعها لحوالي 1300 م وتمتد بطول 4 كم (Brew et al., 2001)، سجلت العديد من الزلزال التاريخية القوية على صدع الغاب منها حوالي 11 زلزال قدرها $ML > 6$ (Ambraseys and Barazangi., 1989; Sbeinati., 2005). يمثل صدع اللاذقية-كلس الحد الفاصل بين منخفض النهر الكبير الشمالي وكثلة البسيط، يمتد الصدع من مدينة اللاذقية باتجاه الحدود مع تركيا بزاوية 40° ليصل إلى حوض بحيرة العمق، من ثم يمتد على طول المنحدر الجنوبي الشرقي لكرد-داغ (Ponikarov., 1966b)، يبلغ طوله حوالي 70 كم، وهو صدع عكسي يسارى عائد لسينوزي المتأخر اتجاهه شمال شرق-جنوب غرب (Trifonov et al., 2014). بلغ عدد الزلزال التاريخية التي تجاوز قدرها $ML = 6$ حوالي 8 زلزال (Ambraseys and Barazangi., 1989; Sbeinati., 2005).

ناتج عن نطاق الانصاعات بين الصفيحة الأفريقيّة المتحرّكة باتجاه الشمال والصفيحة الأوّراسيّة المتحرّكة باتجاه الجنوب، تتعرّس الطبقة الصخريّة من القشرة المحيطية (ليثوسيفير) للبحر المتوسط شمالاً تحت الصفيحة الأناضوليّة مؤدياً إلى تشكّل جبل إراتوسيثينيس البحري Eratosthenes seamount ونهوض كتلة ترودوس Troodos uplift، وقد أظهر الجزء الجنوبي من القوس القبرصي حركة انضغاطيّة (شديدة) عرضيّة transtensional من صفيحة هيكاتوس Hecataeus باتجاه غرب سوريا (Mart and Ryan., 2002)، أي أن القوس القبرصي يجمع بين ثلاّث حركات نسبية هي الانضغاطيّة والانغرس والانقلاليّة، وبشكل حدود صفيحيّة. بسبب وقوع القوس القبرصي في البحر لم تتوفر دراسات زلزالية تاريخيّة له، باستثناء زلزال واحد حدث عام 1918 قدره $ML=6.32$.



الشكل (1): خارطة منطقة الدراسة والمصادر الزلزالية المختار (صدع الغاب واللاذقية-كس والقوس القبرصي) والزلزال: (أ) التاريخية، (ب) الآلية بين عامي 1995-1900، (ج) الحديثة المسجلة في شبكة المركز الوطني للزلزال بين عامي 1995-2016.

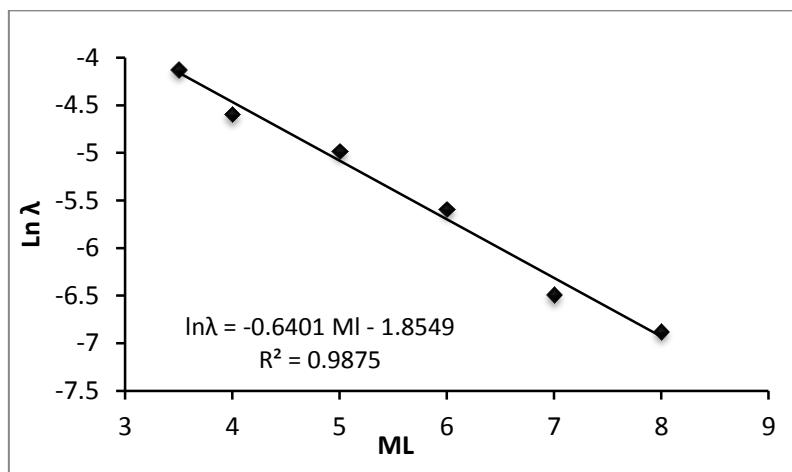
حساب معاملات الخطر الزلزالي

يستخدم السجل الزلزالي لحساب معاملات المصدر الزلزالي بتطبيق علاقـة غوتيرغ_ريختـر (Ishimoto and Iida., 1939; Frequency magnitude distribution FMD Gutenberg and Richter., 1944) حيث يصف توزـع تكراريـة القدر $N(M)$ العـلاقة بيـن تـكرار حـدوث الـزلـزال وـقـدرـه:

$$\log N(M) = a - bM$$

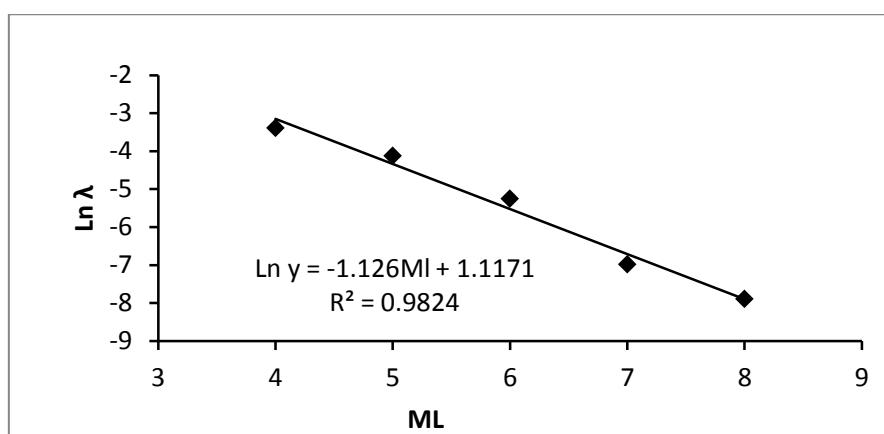
$N(M)$: عدد الزلزال ذات القدر M . تعتمد عـلاقـة التـكرـار عـلـى معـامـلات غـوتـيرـغ _ رـيـختـر a وـهـي ثـوابـت مـوجـةـاتـ عـلـى مـسـطـوى وـخـاصـائـص الـزلـزالـيـة فـي الـمـنـطـقـة الـمـدـرـوـسـةـ. كما تم حـساب عـدـد الـأـحـادـاث لـكـل قـدرـ ثم مـعـدـل الـحدـوث λ وـمـنـ ثـمـ معـامـلات غـوتـيرـغ _ رـيـختـر b لـكـل مـن الصـدـوـع الـخـطـيـةـ الـثـلـاثـةـ.

تبين من السجل الزلالي المتوفر في المركز الوطني للزلازل أن عدد الزلازل الواقعه على صدع الغاب هي 34 زلزاً أكبر من القدر $ML=3.5$, الجدول (1-الملحق), حدثت خلال 1975 سنة, حيث كان زلزال عام 860 هو الأعلى قدرًا ($ML=7.12$), بناء على قاعدة البيانات الزلالية المستخدمة تم استنتاج معاملات غوتبرغ_ريختر $\beta = \ln(10) * b$ وتحديد قيمة β (الذي يمثل عدد أحداث قدر محدد خلال فترة زمنية محددة), كما يظهر في المنحني وارتباطها ومن ثم حساب معدل الحدوث λ (الذي يمثل عدد أحداث قدر محدد خلال سنة واحدة)، كما يوضح في الشكل (2) الذي يمثل معدل الحدوث للفدور ML التي تتراوح بين 3-8، مثلاً: معدل حدوث القدر $ML=7$ على صدع الغاب هو $\lambda=0.001772$ خلال سنة واحدة.



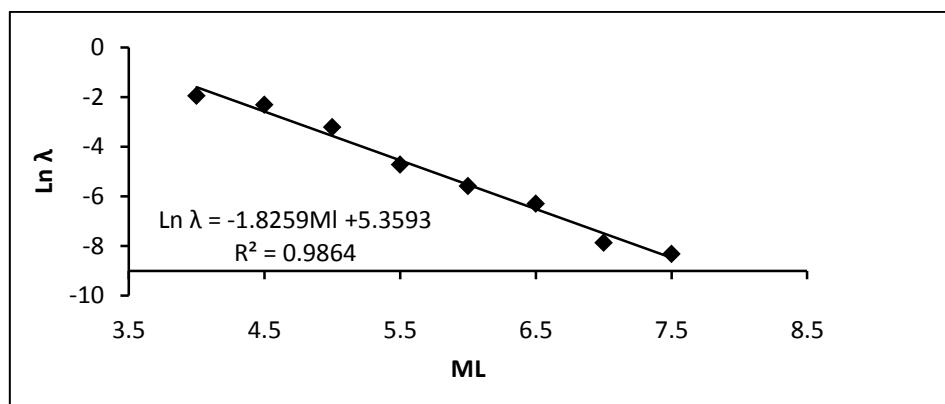
الشكل (2): العلاقة المستنيرة بين القدر ML ومعدل الحدوث λ لصدع الغاب.

عدد الزلازل الواقعه على صدع اللاذقية-كليس الخطوي 42 زلزاً أكبر من القدر $ML=4$, الجدول (2-الملحق), وقعت خلال 2162 سنة، وكان زلزال عام 115 هو الأعلى قدرًا ($ML=7.1$), تم حساب معاملات غوتبرغ_ريختر β , ومن ثم حساب معدل الحدوث λ , كما يظهر في المنحني البياني الموضح في الشكل (3) الذي يمثل معدل الحدوث للفدور ML التي تتراوح بين 3-8.4.



الشكل (3): العلاقة المستنيرة بين القدر ML ومعدل الحدوث λ لصدع اللاذقية-كليس.

بلغ عدد الزلازل الواقعه على القوس القبصي 22 زلزاً أكبر من القدر $ML=4$ وقعت خلال 439 سنة، وكان زلزال عام 1918 هو الأعلى قدرًا ($ML=6.3$), تم حساب معاملات غوتبرغ_ريختر β , ومن ثم حساب معدل الحدوث λ , كما يظهر في المنحني البياني الموضح في الشكل (4) الذي يمثل معدل الحدوث للفدور ML التي تتراوح بين 4-7.5.



الشكل (4): العلاقة المستنيرة بين القدر ML ومعدل الحدوث λ لقوس القبرصي.

يوجد العديد من الطرق المستخدمة لحساب القدر الأعظمي M_{max} ، منها طرق تعتمد على الخصائص السيسموتكتونية للصدع وطول التمزق كطريقة Well and Coppersmith (1994) حيث يتم تقدير العزم الزلالي للصدع الخطى $= \log(SRL) = 0.57M_W - 2.33$.

وهناك طرق تستخدم قاعدة البيانات الزلالية لحساب القدر الأعظمي كطريقة Kijko and sellevoll (1989) التي يتم تطبيقها عندما تكون قيمة المعامل الزلالي b للمنطقة معروفة:

$$M_{max} = M_{max}^{obs} + \frac{E_1(n_2) - E_1(n_1)}{\beta \exp(-n_2)} + M_{min} \exp(-n)$$

حيث، M_{max} القدر الأعظمي الأعلى، M_{max}^{obs} القدر الأعظمي المسجل للصدع، n المجموع الكلى للزلزال ذات القدر ($M_W > M_{min}$).

$$n_2 = n_1 \{ \exp[-\beta(m_{max} - m_{min})] \}, n_1 = \frac{n}{\{1 - \exp[-\beta(m_{max} - m_{min})]\}}$$

$$E_1(n) = \frac{n^2 + a_1 n + a_2}{n(n^2 + b_1 n + b_2)} \exp(-n)$$

$E_1(n_i)$ تابع التكامل الأسوي، a_1, a_2, b_1, b_2 ثوابت.

وطريقة (Gupta., 2002) في حساب القدر الأعظمي والتي تتم بإضافة القيمة ± 0.5 إلى أعلى قدر زلالي مسجل، يبين الجدول (1) المعاملات المستنيرة للمصادر الخطية المعتمدة في الدراسة.

الجدول (1): معاملات غوتبرغ-ريختر a و b و β وارتباطاتها σ_b و σ_β ، القدر الأصغرى M_0 ، القدر الأعظمى M_{max} ، الحد الأدنى للقدر الأعظمى M_{min} ، الحد الأعلى للقدر الأعظمى M_2 ، والارتباط الخطى R لكل من المصادر الزلالية الخطية: الغاب واللاذقية-كلس والقوس القبرصي.

R	M2	M1	Mmax	M0	σ_β	β	σ_b	b	a	num	الصدى الخطى
0.9875	8.4	7.4	7.9	3.5	0.0921	0.64	0.04	0.278	2.49	34	الغاب
0.9824	8.3	7.3	7.8	4	0.1612	1.126	0.07	0.489	3.82	42	اللاذقية
0.9864	6.77	5.77	6.27	4	0.46	1.826	0.2	0.793	4.97	22	القوس القبرصى

علاقات التخادم Attenuation relationship

هو التناقص التدريجي في قيمة التسارع الأعظمي PGA مع البعد عن البؤرة الزلالية، يعود إلى تشتت الطاقة بسبب الخصائص الفيزيائية لوسط الانتقال (Esteva., 1974).

تتضمن علاقات التخادم بشكل عام ثلاثة عوامل هي: خصائص المصدر الزلالي (القدر، ونمط الصدع). خصائص الموقع (نوع التربة: صخرية أو رخوة، سماكة التربة: تربة سطحية قليلة السماكة أو عميقه كبيرة السماكة، السرعة القصوى Vs). مسار انتشار الأمواج (كمودج المسافة المستخدم، والكتلة العلوية للصدع). لا يوجد علاقات تخادم خاصة بسوريا بسبب الزلالية المتوسطة الحالية، تشير قاعدة البيانات إلى أن آخر زلزال مدمر حدث عام 1759، أما خلال العمر الاستثماري لشبكة المركز الوطني للزلازل فلم يتم تسجيل زلزال كبير، يتطلب اشتقاء علاقات التخادم للمصادر الزلالية في سوريا:

1. توفر تسجيلات آلية للزلازل الكبيرة بقدر مختلفة مرصودة ضمن مساحات هذه المصادر.
2. معرفة استجابة التربة لمواقع جيولوجية مختلفة مرتبطة بالأحداث الزلالية الكبيرة.
3. دراسة مسار الأمواج الزلالية بالتزامن مع الزلازل الكبيرة.
4. العمل على تدقيق الزلالية التاريخية وتحسين قاعدة البيانات الزلالية بالاعتماد على الدراسات الزلالية القديمة للمصادر الزلالية وتحديد خصائصها السيسموتكتونية.

الصيغة العامة لعلاقات التخادم المستخدمة في هذه الدراسة:

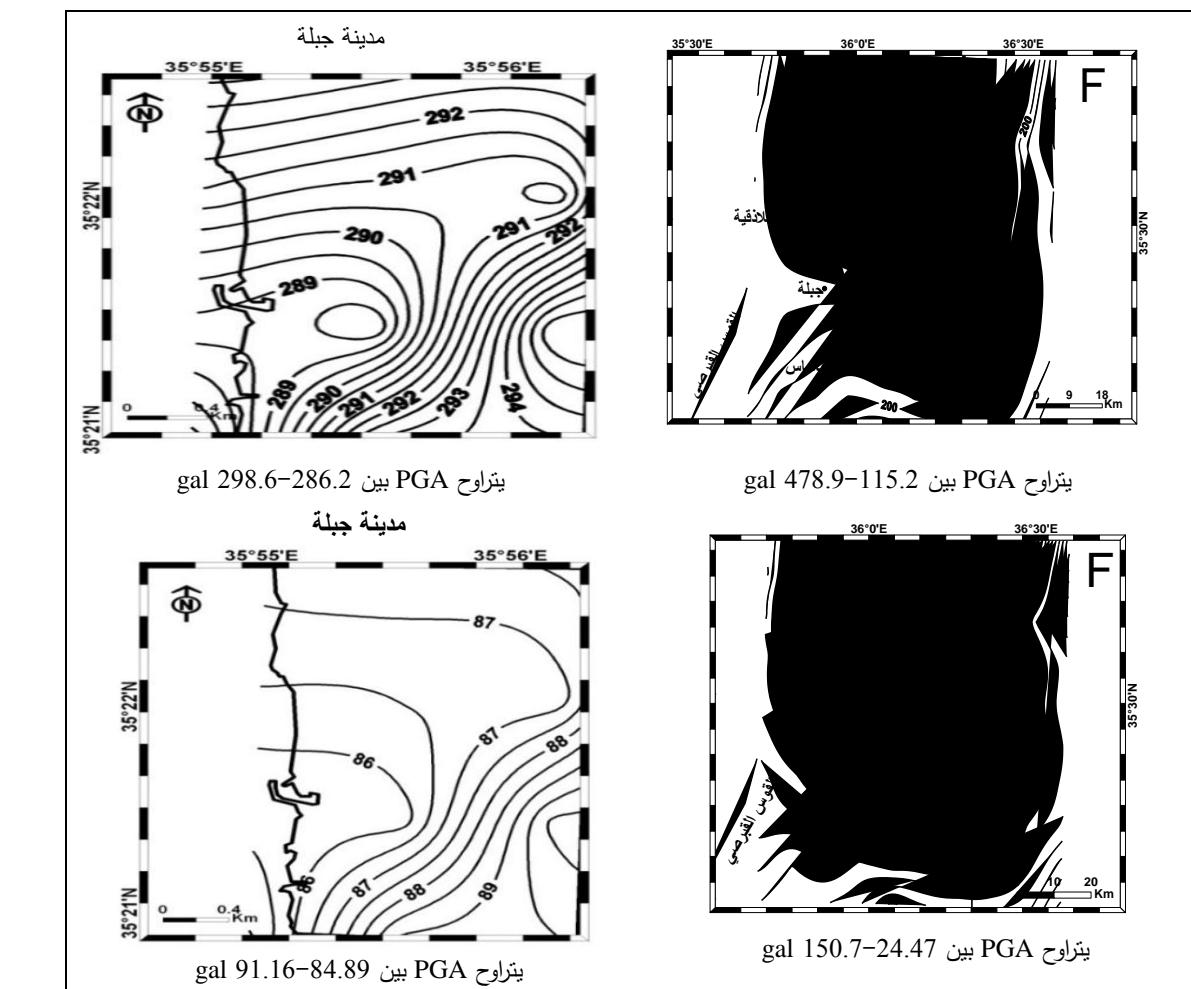
$$\log(\text{PGA}) = b_1 + b_2(M - M_0) + b_3(M - M_0)^2 + b_4D + b_5 \log D + b_6 C_B + b_7 C_c + \epsilon$$

حيث: PGA = peak ground acceleration (g) قمة التسارع الأرضي، M = قدر الزلزال، $D = \sqrt{r_{jb}^2 + h^2}$ ؛ r_{jb} : البعد عن مركز الزلزال بحسب Joyner and Boore distance (Joyner and Boore, 1993) بحسب regression coefficients التي تعتمد على دور الاهتزاز.

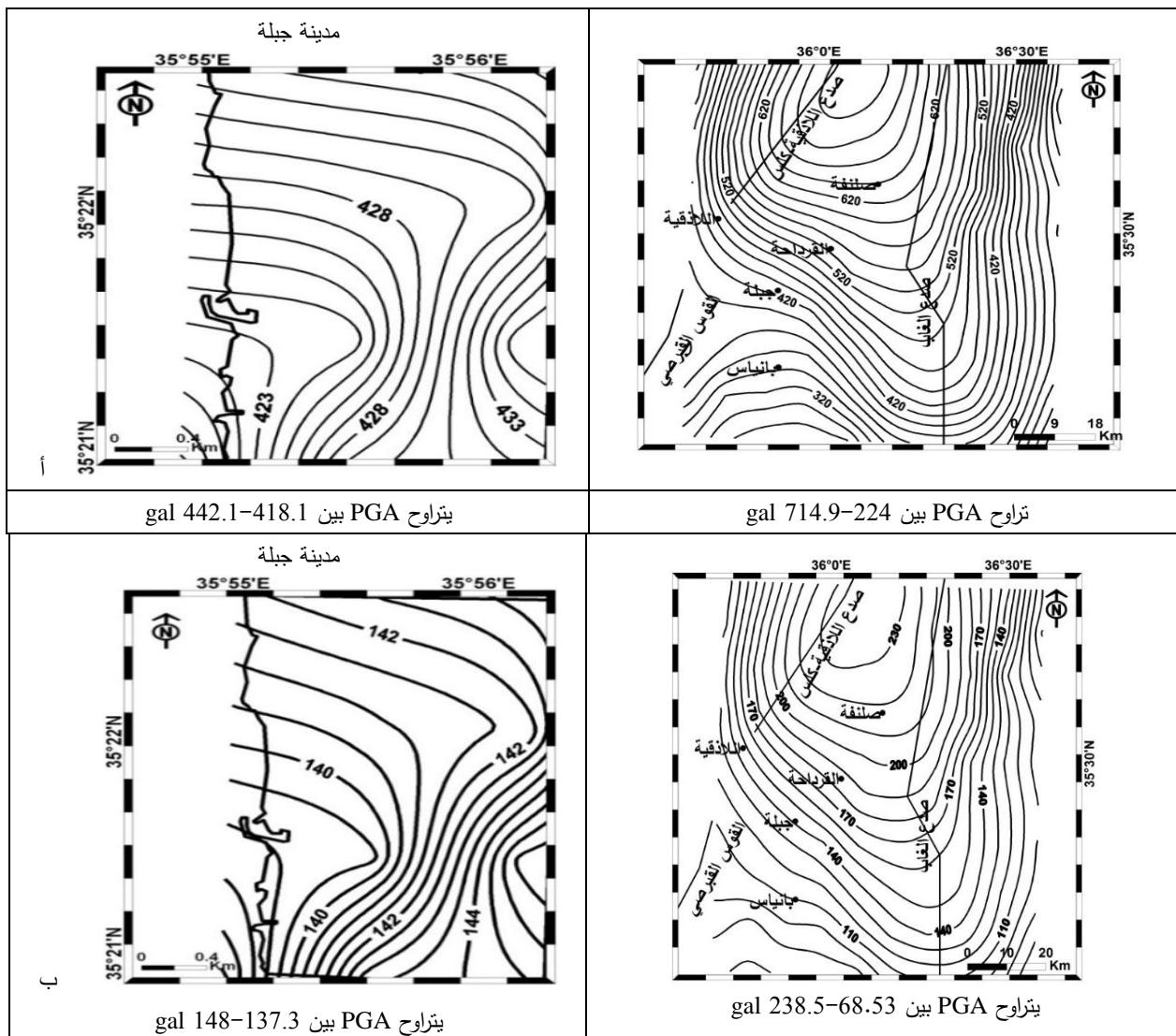
$C = 0$ للصخور، $C = 1$ للتربة السطحية القليلة السماكة، $C = 6$ للتربة العميقه. $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ و h عوامل المضاهاة تم اختيار الثوابت لتتوافق مع عوامل الصدوع ونوع التربة عند إدخال علاقة التخادم وحساب التسارع بما يتوافق والخصائص السيسموتكتونية للصدوع والخصائص الجيولوجية لمنطقة الدراسة.

خرائط الخطير الزلالي

تم إعداد خرائط الخطير الزلالي لكل من المصادر الزلالية الخطية صدع الغاب واللاذقية-كلس والقوس القبرصي لعمر تكراري 475 سنة أي احتمال تجاوز 10% و5%， على التوالي، ودور اهتزاز 0,3 و 1 ثانية باستخدام عواملات الصدوع المذكورة سابقا، يوضح الشكل (5-أ) خرائط الخطير الزلالي المستخرجة للمنطقة الساحلية المختارة ومدينة جبلة وفقاً لعمر تكراري 475 سنة، أي احتمال تجاوز 10%， موافق دور اهتزاز 0,3 ثانية (فأصل منحنيات التسارع الأعظمي هو 20 gal للمنطقة الساحلية و 0,5 gal لمدينة جبلة). بينما يوضح الشكل (5-ب) خرائط الخطير الزلالي المستخرجة للمنطقة الساحلية المختارة ومدينة جبلة لعمر تكراري 475 سنة، أي احتمال تجاوز 10%， موافق دور اهتزاز 1 ثانية (فأصل منحنيات التسارع الأعظمي 5 gal للمنطقة الساحلية و 0,5 gal لمدينة جبلة). يظهر الشكل (6-أ) خرائط الخطير الزلالي المستخرجة للمنطقة الساحلية ومدينة جبلة وفقاً لعمر تكراري 975 سنة، أي احتمال تجاوز 5%， ودور اهتزاز 0,3 ثانية (فأصل منحنيات التسارع الأعظمي 20 gal للمنطقة الساحلية و 1 gal لمدينة جبلة). بينما يوضح الشكل (6-ب) خرائط الخطير الزلالي المستخرجة للمنطقة الساحلية المختارة ومدينة جبلة لعمر تكراري 975 سنة، أي احتمال تجاوز 5%， ودور اهتزاز 1 ثانية (فأصل التسارع الأعظمي 10 gal للمنطقة الساحلية و 0,5 gal لمدينة جبلة).



الشكل (5): خارطة الخطير الزلزالي المعدة للمنطقة الساحلية المختارة ومدينة جبلة وفقاً لعمر تكراري 475 سنة، احتمال تجاوز 10%， والدور (أ) 0,3 ثا و(ب) 1 ثانية.



بالشكل (6): خارطة الخطير الزلالي المعدة للمنطقة الساحلية المختارة ومدينه جبله وفقاً لعمر تكراري 975 سنة،

احتمال تجاوز 5%، والدور (أ) 0,3 ثا و(ب) 1 ثانية.

يلاحظ من الأشكال (5-6) أن التساعر الأرضي يتزايد باتجاه الشرق والشمال أي باتجاه صدع الغاب واللاذقية_كلس، وذلك بسبب قريهما من منطقة الدراسة. إن قيمة التساعر في الشكل (6) أكبر منها في الشكل (5) أي أنها تزداد بزيادة العمر التكراري المدروس، بينما تكون أقل لنفس العمر التكراري دور أكبر.

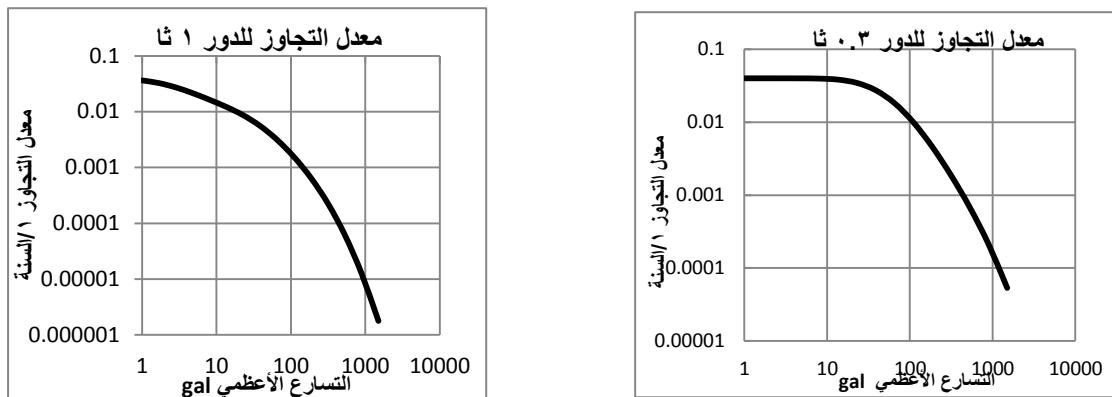
يظهر الجدول (2) قيمة التساعر الأعظمي المستنجة والناجمة عن المصادر الزلالية الخطية للغاب واللاذقية_كلس والقوس القبرصي لكل من المدن: اللاذقية وجبلة والقرداحة وصلفنة وبانياس والمحسوبة على أساس احتمال تجاوز 10% و5%， لأدوار الاهتزاز 0,3 و 1 ثانية. بالإضافة إلى قيمة التساعر الأعظمي المذكورة لنفس المدن في الكود السوري 2015 والمحسوبة على الطبقة الصخرية خلال خمسون عاماً مع احتمالية عدم تجاوز 90% (عمر تكراري 475) ودور 0,2 1 ثانية.

يتبيّن من الجدول (2) أن قيمة التساعر الأرضي لكل مدينة تزداد بزيادة العمر التكراري وتتفاوت الدور المدروس، كما تتوافق أعلى قيمة له مع مدينة صلفنة وهي الأقرب مسافة لصدوعي الغاب واللاذقية_كلس والأكثر خطورة.

الجدول (2): قيم التسارع الأعظمي (gal) المستنيرة لبعض المدن والمعدة على أساس احتمال تجاوز 10% و5%， لأدوار الاهتزاز 0.3 و 1 ثانية. والقيم المذكورة لنفس المدن في الكود السوري 2015.

التسارع الأعظمي في الكود السوري 2015		التسارع الأعظمي في هذه الدراسة		العمر التكراري (سنة)	المدينة
ثا	ثا	ثا	ثا		
376	1507	89.99	314.16	475	اللاذقية
		146.66	465.6	975	
369	1308	87.56	292.97	475	جبلة
		141.6	428.2	975	
400-500	1500-2000	112.02	351.1	475	القرداحة
		185.79	545.75	975	
400-500	1500-2000	131.47	407.13	475	صلنفة
		216.18	633.85	975	
369	1308	67.6	238.7	475	بانIAS
		110.3	345.86	975	

تم الحصول على منحنيات معدل تجاوز Exceedence rate (معدل حدوث تسارع معين في السنة) الحركة الأرضية في مدينة جبلة، حيث بين الشكل (7) المنحني البياني الممثل للعلاقة بين التسارع الأعظمي (gal) ومعدل التجاوز (1/السنة) في مدينة جبلة وفقاً لأدوار الاهتزاز 0,3 و 1 ثانية.



الشكل (7): المنحني البياني الممثل للعلاقة بين التسارع الأعظمي (gal) ومعدل التجاوز (1/السنة) في مدينة جبلة لأدوار الاهتزاز 0,3 و 1 ثانية.

النتائج والمناقشة:

تبين الخرائط المستنيرة أن قيم التسارع الأعظمي الناجمة عن تأثير صدع الغاب واللاذقية-كلس والقوس القبرصي الخطية للمنطقة الساحلية المختلفة تتراوح بين 115,1 إلى 478,9 gal لاحتمال تجاوز 10%， ولدور 0,3 ثانية. كما يتراوح التسارع الأعظمي بين 23,22 إلى 150,7 gal لاحتمال تجاوز 10% ولدور 1 ثانية.

وبالنسبة لمدينة جبلة تتراوح القيم بين 286,2 إلى 298,6 gal لاحتمال تجاوز 10%， ولدور 0,3 ثانية. أما بالنسبة لاحتمال تجاوز 10% ولدور 1 ثانية فيتراوح التسارع الأعظمي بين 84,89 إلى 91,16 gal.

تتراوح قيم التسارع الأعظمي للمنطقة الساحلية بين 224 إلى 714,9 gal لاحتمال تجاوز 5% ولدور اهتزاز 0,3 ثانية. كما تتراوح قيمه بين 68,14 إلى 238,5 gal لاحتمال تجاوز 5% وللدور 1 ثانية.

في حين تقع مدينة جبلة ضمن المجال 418,1 إلى 442,1 gal لاحتمال تجاوز 5%， ولدور 0,3 ثانية. أما بالنسبة لاحتمال تجاوز 5% ولدور 1 ثانية فإن قيم التسارع الناتجة تتراوح بين 137,3 إلى 148 gal.

تبين من الدراسة أن التسارع الأعظمي يتزايد شمالاً باتجاه صدع اللاذقية-كلس، وشرقاً باتجاه صدع الغاب وذلك بدءاً من الشريط الساحلي، كذلك الأمر بالنسبة لمدينة جبلة حيث تتزايد قيمه بالاقرابة من صدع الغاب وصدع اللاذقية-كلس لكن بشكل طفيف. إن الفارق بين أصغر قيمة وأعلى قيمة للتسارع الأعظمي ضمن مدينة جبلة، يقدر بحوالي 12 و 7 gal للدور 0,3 و 1 ثانية على التوالي لاحتمال تجاوز 10%， وحوالي 24 و 11 gal للدور 0,3 و 1 ثانية على التوالي لاحتمال تجاوز 5%. وبالتالي فإن هذا الفارق سوف يكون له تأثير أكبر على المدينة كلما نقص احتمال التجاوز وبالتالي زيادة في الأضرار الناجمة، وهذا الفارق صغير نسبياً لصغر مساحة مدينة جبلة.

بناءً على النتائج سيتأثر القسم الجنوبي الشرقي من مدينة جبلة بقيم تسارات على أعلى مما هي عليه في الجزء الأوسط والغربي منها. إن تأثير صدع اللاذقية-كلس على المنطقة الساحلية أكبر نسبياً وبالتالي الخطورة المتوقعة منه أعلى، أما القوس القبرصي فتأثيره مهم لبعده عن منطقة الدراسة.

بالمقارنة مع نتائج الكود السوري عام 2014، تبين أن قيم التسارع الأرضي المحسوبة للمدن في هذا البحث أقل من التسارات الأرضية الأعظمية المحتملة المذكورة في الكود والمحسوبة على الطبقة الصخرية خلال خمسون عاماً مع احتمالية عدم تجاوز 90% (عمر تكراري 475) دور 0,2 و 1 ثانية. وهي أقرب لنتائج الكود الصادر عام 2004، يعود هذا الاختلاف لآلية استبطاط الخرائط واختلاف نوعية المصادر الزلالية (مساحية أو خطية).

الخلاصة:

يتبيّن من خرائط الخطير الزلالي المستنيرة للمنطقة الساحلية المختارة أن التسارع الأعظمي يتزايد شمالاً باتجاه صدع اللاذقية-كلس وشرقاً باتجاه صدع الغاب بدءاً من الشريط الساحلي، وكذلك بالنسبة لمدينة جبلة ولكن بشكل طفيف. أعلى قيمة للتسارع الأعظمي هي 478,9 gal لاحتمال تجاوز 10% وعمر تكراري 475 سنة، و 714,9 gal لاحتمال تجاوز 5% وعمر تكراري 975 سنة بالنسبة للمنطقة الساحلية.

أعلى قيمة للتسارع الأعظمي بالنسبة لمدينة جبلة تبلغ 298,6 gal لاحتمال تجاوز 10% وعمر تكراري 475 سنة، و 442,1 gal لاحتمال تجاوز 5% وعمر تكراري 975 سنة.

التسارات الأرضية الأعظمية PGA المذكورة في الكود السوري عام 2015 لعمر تكراري 475 سنة ودور 1 ثانية أعلى من القيم المستنيرة في هذا البحث.

تم لأول مرة في سوريا حساب التسارات الأرضية لأعمار تكرارية مختلفة وأدوار مختلفة بشكل تفصيلي لمنطقة محدودة وباستخدام مصادر زلالية خطية.

إن لنتائج هذه الدراسة أهمية كبيرة في إعداد خرائط الخطورة الزلالية Seismic risk وذلك لقدرتها على إعطاء تغييرات في قيم التسارع الأعظمي ضمن مساحة محلية، وبالتالي العمل على تخفيف الأضرار أثناء حدوث الزلزال في المستقبل.

المراجع

1. الكود العربي السوري عام 2015.
2. رائد أحمد، سامر زيزفون، أحلام خليل، عمار حمود. (2013). دراسة قاعدة البيانات الزلزالية المتوفرة في المركز، تقرير داخلي، المركز الوطني للزلزال. 1-13.
3. Abdallah, I., Malkawi, H., Liang, R., Jamal, H., Al-Homoud, N., Al-Homoud, A. (1995). Probabilistic seismic hazard zonation of Syria. *Natural Hazards*, 12(2), 139-151.
4. Ahmad, R. (2013). Seismic Hazard Assessment of Syria. *JSEE*. 15(1), 1-13.
5. Ahmad, R., Singh, R., Adris,A. (2017). Seismic hazard assessment of Syria using seismicity, DEM, slope, active faults and GIS. *Remote Sensing Applications*, 6, 59-70.
6. Ambraseys, N. N., and Barazangi, M. (1989, April). The 1759 Earthquake in the Bekka Valley, Implications for Earthquake Hazard Assessment in the Eastern Mediterranean Region. *Journal of Geophysical Research*, 94(4), 4007-4013.
7. Al-Khoubi, I., Stephen, H., John, A. (2000). Probabilistic Seismic Hazard Maps for Syria, National Earthquake Hazards Program (EAST), Geological Survey of Canada.
8. Brew, G., Lupa, J., Barazangi, M., Sawaf, T., Al-Imam A., Zaza, T.(2001). Structure and tectonic development of the Dead Sea Fault System and Ghab Basin in Syria. *Journal of the Geological Society, London*, 158, 665–674.
9. El Hariri, A. (1991). Seismotectonic study, seismic hazard assessment and zonation of the Syrian Arab Republic. Thesis, Submitted to the Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Engineering Seismology, Skopje, 73, 122-176.
10. El Ssayed, H., Zaineh, H., Dojcinovski, D., Mihailov, V. (2012). Re-Evaluations of Seismic Hazard of Syria. *International Journal of Geosciences*, 3, 847-855.
11. Esteva, L. (1974). Geology and probability in the assessment of seismic risk, Proc. 2nd Int. Cong. Int. Assoc. Engineering Geologist, Sao Paolo, p. 14.
12. Gupta, H.K. (2002). A review of recent studies of triggered earthquakes by artificial water reservoirs with special emphasis on earthquakes in Koyna, India. *Earth Sci. Rev.*, 58: 279-310.
13. Gutenberg, B., Richter, CF. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bull Seismol Soc Am* 34:185–188.
14. Ishimoto, M., Iida, K. (1939). Observations of earthquakes registered with the microseismograph constructed recently. *Bull Earthq Res Inst* 17:443–478.
15. Joyner, W.B., Boore, D.M. (1993). Methods for Regression-Analysis of Strong-Motion Data, *Bulletin of Seismological Society of America*, 83, 469-487.
16. Kijko, A and Sellevoll, M. A., (1989). Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part I, Utilization of extreme and complete catalogues with different threshold magnitudes, *Bulletin of Seismological Society of America*, 79, 645-654.
17. Mart, Y., Ryan, W. (2002). The complex tectonic regime of the Cyprus Arc: A short review. ResearchGate, doi: 10.1560/DCF4-08Q2-UFIU-6QK5, 51: 117-134.
18. Plassard S. J. (1981). Seismic du Liban, Catalogue des Séismes ressentis, 3e édition.
19. Ponikarov, V. P. (1966b). Explanatory Notes on the Geological Map of Syria, Scale 1:200,000. Ministry of Industry, Damascus, Syrian Arab Republic. Sheets I-37-XIX, I-36-XXIV (Latakia).
20. Sbeinati, R. M., Darawcheh, R., and Mouty, M. (2005, June). The historical earthquakes of Syria, an analysis of large and moderate earthquakes from 1365 B.C to 1900 A.D. *ANNALS OF GEOPHYSICS*, 48(3), 347-435.
21. Trifonov, V. G., Bachmanov, D. M., Simakova, A. N., Trikhunkov, Ya. I., Ali, O., Tesakov, A. S., Belyaeva, E. V., Lyubin, V. P., Veselovsky, R. V., Al-Kafri, A. M. (2014). Dating and correlation of the Quaternary fluvial terraces in Syria, applied to tectonic deformation in the region. *Quaternary International*, 328-329. 74-93.

22. Wells, D.L. and Coppersmith, K.J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 97 – 1002