

تقييم الخطر الزلزالي للمنطقة الساحلية

أحلام خليل¹ د. رائد أحمد² د. محمد داود³

1 طالبة دكتوراه في المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية

2 المركز الوطني للزلازل

3 قسم الجيولوجيا_ كلية العلوم_ جامعة دمشق

الملخص

إن دراسة الخطر الزلزالي والحصول على خرائط التسارعات الأرضية مفيدة لمهندسي التصميم والزلازل. يناقش هذا العمل استخدام الطريقة الاحتمالية لتقييم الخطر الزلزالي للمنطقة الساحلية من سورية. 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 5%، على التوالي. تشير النتائج إلى أن التسارع الأعظمي يتزايد شمالا باتجاه صدع اللاذقية-كلس، وشرقا باتجاه صدع الغاب بدءا من الشريط الساحلي، إن أعلى قيمة للتسارع الأعظمي موافقة لموقع مدينة صلفندة حيث تبلغ 633,85 gal لدور 0.3 ثانية واحتمال تجاوز 5%. إن للخرائط المستنتجة أهمية بالغة في تخفيف الخطورة الزلزالية المحتمل حدوثها في منطقة الدراسة.



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

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

Seismic hazard assessment of the coastal area

Ahlam 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 Latakia-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 الزلزالية والجيولوجية والتكتونية تم تحديد ثلاثة مصادر خطية للخطر الزلزالي هي صدع الغاب وصدع اللاذقية-كلس والقوس القبرصي. في هذه الدراسة، تم إحصاء الزلازل الواقعة ضمن مجال هذه المصادر لتحديد المعاملات اللازمة لتطبيق الطريقة الاحتمالية باستخدام قاعدة البيانات الزلزالية الموجودة في المركز الوطني للزلازل (أحمد وآخرون، 2013) والمبنية على الدراسات الزلزالية التاريخية المذكورة لدى (Ambraseys and Barazangi., 1989; Plassard., 1981; Sbeinati., 2005) والزلازل الآلية المسجلة في سورية منذ عام 1902-1994م بواسطة الشبكة العالمية للرصد الزلزالي بالإضافة إلى الزلازل الحديثة التي حدثت خلال العمر الاستثنائي للشبكة الوطنية للرصد الزلزالي التابعة للمركز الوطني للزلازل، وتم لاحقاً تطبيق علاقة العمر التكراري-القدر لحساب عدد الأحداث ومعدل الحدوث السنوي لكل قدر، وبالنتيجة تحديد كل من المعاملات التالية: معاملات غوتنبرغ-ريختر a و b و β وارتباطاتها σ_b و σ_β ، القيمة الحدية للقدر M_0 ، والقدر الأعظمي M_{max} ، والحد الأدنى للقدر الأعظمي M_1 ، والحد الأعلى للقدر الأعظمي M_2 لكل مصدر زلزالي. لاحقاً تم الحصول على خرائط الخطر الزلزالي باستخدام المعاملات المستنتجة والطريقة الاحتمالية-توزع بواسون وقانون تخامد مناسب للوضع التكتوني للمنطقة.

في الدراسات السابقة (El Hariri, 1991)، (Sobaih et al., 1994)، (Abdallah et al., 1995)، (Grünthal et al., 1999)، (Al-Khoubi et al., 2000)، (Malkawi et al., 1995)، (El Ssayed et al., 2012)، (Ahmad., 2013) تم إعداد خرائط الخطر الزلزالي لسورية باستخدام الطريقة الاحتمالية مع مصادر زلزالية مساحية، حديثاً قام (Ahmad et al., 2017) بإعداد خرائط الخطر الزلزالي بمنهجية جديدة تعتمد على قاعدة البيانات الزلزالية ومعاملات غوتنبرغ-ريختر والارتفاع الرقمي ونظام المعلومات الجغرافي. يقدم هذا العمل استخدام الطريقة الاحتمالية لأول مرة مع مصادر خطية لإعداد خرائط الخطر الزلزالي للمنطقة الساحلية، يظهر في الشكل (1) موقع منطقة الدراسة من سورية.

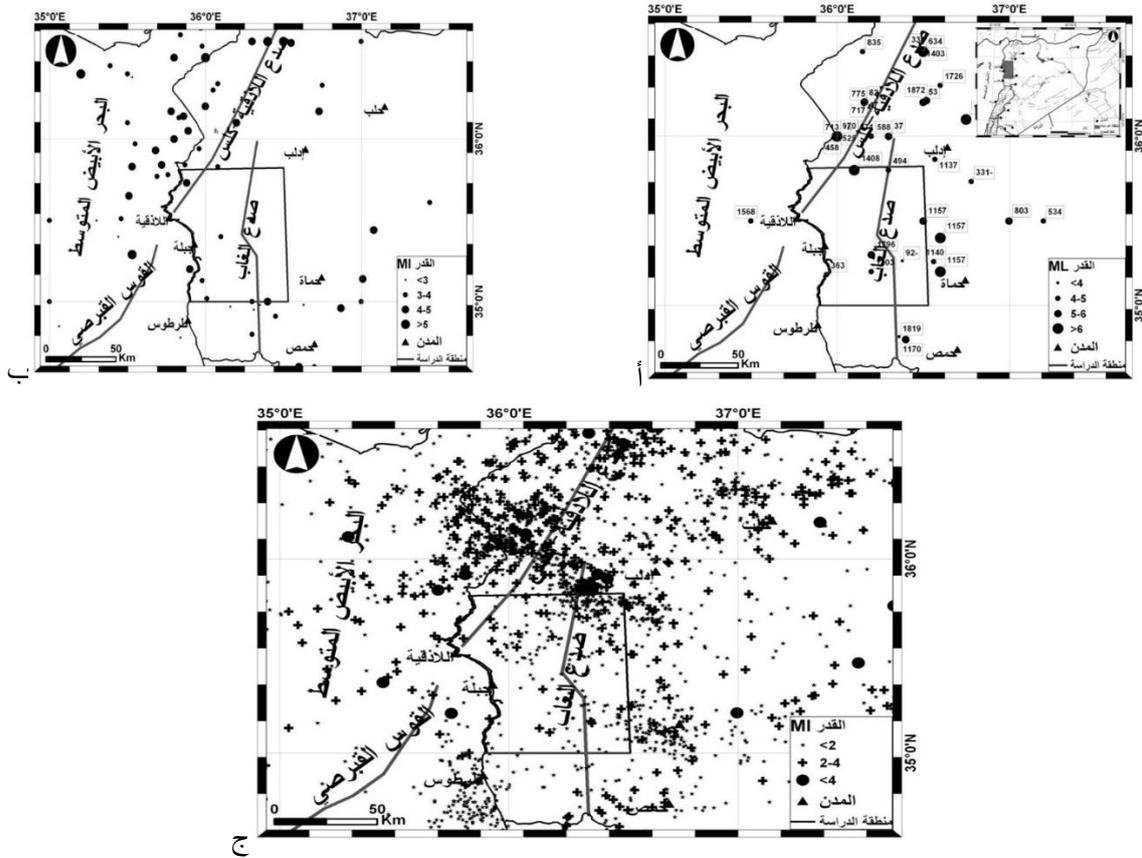
إن هذا العمل هو أحد الخطوات الرئيسية التي سيتم البناء عليها للحصول على خرائط الخطورة الزلزالية Seismic risk لتوقع الأضرار الاقتصادية والاجتماعية الناجمة عن الخطر الزلزالي Seismic Hazard .

الخطر الزلزالي Seismic Hazard هو دراسة الظواهر الطبيعية المرافقة للزلازل والمولدة لها ويمكن تقييمها آلياً وتاريخياً وبيولوجياً. تستخدم الطريقة الاحتمالية Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) في تحديد معاملات الحركة الأرضية ground motion كالتسارع أو الشدة الزلزالية لاحتمال تجاوز 2% أو 5% أو 10% (أي احتمال تكرار حدوث زلزال واحد على الأقل ذو 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 زلزالية خطية مؤثرة على منطقة الدراسة بناء على البيانات الجيولوجية والتكتونية والزلزالية 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 الزلزالي وذلك بحسب الزلازل التاريخية والآلية والحديثة المنشورة.

يشكل صدع الغاب جزءاً من منظومة صدع البحر الميت الانزياحي اليساري، وهو بنية شد جانبي pull-apart تبلغ مساحته حوالي 900 كم² 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 الزلازل 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 وكتلة 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 يساري عائد للسينوزوي المتأخر اتجاهه شمال شرق-جنوب غرب (Trifonov et al., 2014). بلغ عدد الزلازل التاريخية التي تجاوز قدرها $ML = 6$ حوالي 8 زلازل (Ambraseys and Barazangi., 1989; Sbeinati., 2005) القوس القبرصي عبارة عن نطاق معقد تكتونيا يقع في البحر الأبيض المتوسط

ناجم عن نطاق الانضغاط بين الصفيحة الأفريقية المتحركة باتجاه الشمال والصفيحة الأوراسية المتحركة باتجاه الجنوب، تتعرض الطبقة الصخرية من القشرة المحيطية (الليثوسفير) للبحر المتوسط شمالاً تحت الصفيحة الأناضولية مؤدياً إلى تشكل جبل إراتوستينيس البحري Eratosthenes seamount ونهوض كتلة تروودوس Troodos uplift، وقد أظهر الجزء الجنوبي من القوس القبرصي حركة انضغاطية (شدية) عرضية transtensional من صفيحة هيكاتوس Hecataeus باتجاه غرب سورية (Mart and Ryan., 2002)، أي أن القوس القبرصي يجمع بين ثلاث حركات نسبية هي الانضغاطية والانغراس والانتقالية، ويشكل حدود صفيحية. بسبب وقوع القوس القبرصي في البحر لم تتوفر دراسات زلزالية تاريخية له، باستثناء زلزال واحد حدث عام 1918 قدره $ML=6.32$.



الشكل (1): خارطة منطقة الدراسة والمصادر الزلزالية المختارة (صدع الغاب واللاذقية-كلس والقوس القبرصي) والزلزال: (أ) التاريخية، (ب) الآلية بين عامي 1990-1995، (ج) الحديثة المسجلة في شبكة المركز الوطني للزلازل بين عامي 1995-2016.

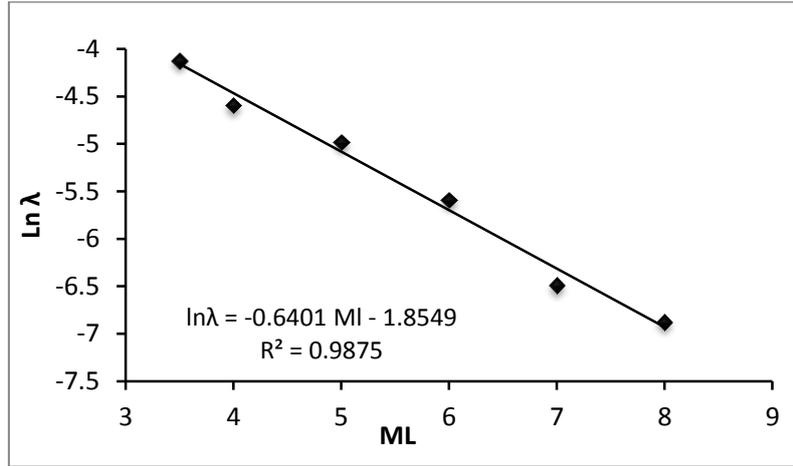
حساب معاملات الخطر الزلزالي

يستخدم السجل الزلزالي لحساب معاملات المصدر الزلزالي بتطبيق علاقة غوتنبرغ-ريختر (Ishimoto and Iida., 1939; Gutenberg and Richter., 1944) حيث يصف توزيع تكرارية القدر FMD Frequency magnitude distribution العلاقة بين تكرار حدوث الزلزال وقدره:

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

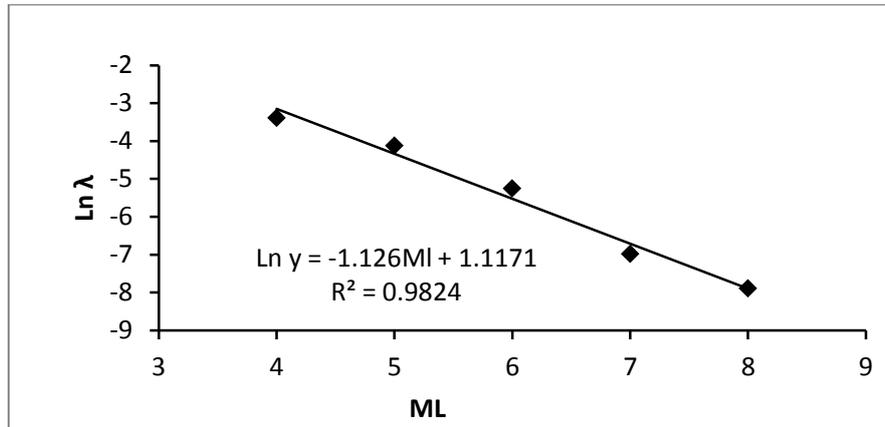
$N(M)$: عدد الزلازل ذات القدر M . تعتمد علاقة التكرار مع القدر على معاملات غوتنبرغ-ريختر a, b وهي ثوابت موجبة تعبر عن مستوى وخصائص الزلزالية في المنطقة المدروسة. كما تم حساب عدد الأحداث لكل قدر λ ثم معدل الحدوث λ ومن ثم معاملات غوتنبرغ-ريختر a, b لكل من الصدوع الخطية الثلاثة.

تبين من السجل الزلزالي المتوفر في المركز الوطني للزلازل أن عدد الزلازل الواقعة على صدع الغاب هي 34 زلزالا أكبر من القدر $ML=3.5$ ، الجدول (1-الملحق)، حدثت خلال 1975 سنة، حيث كان زلزال عام 860 هو الأعلى قدرا ($ML=7.12$)، بناء على قاعدة البيانات الزلزالية المستخدمة تم استنتاج معاملات غوتنبرغ-ريختر a, b وتحديد قيمة β ($\beta = \ln(10) * b$) وارتباطها ومن ثم حساب معدل الحدوث λ (الذي يمثل عدد أحداث قدر محدد خلال فترة زمنية محددة)، كما يظهر في المنحني البياني الموضح في الشكل (2) الذي يمثل معدل الحدوث للقدور ML التي تتراوح بين 3,5-8، مثال: معدل حدوث القدر $ML=7$ على صدع الغاب هو $\lambda=0.001772$ خلال سنة واحدة.



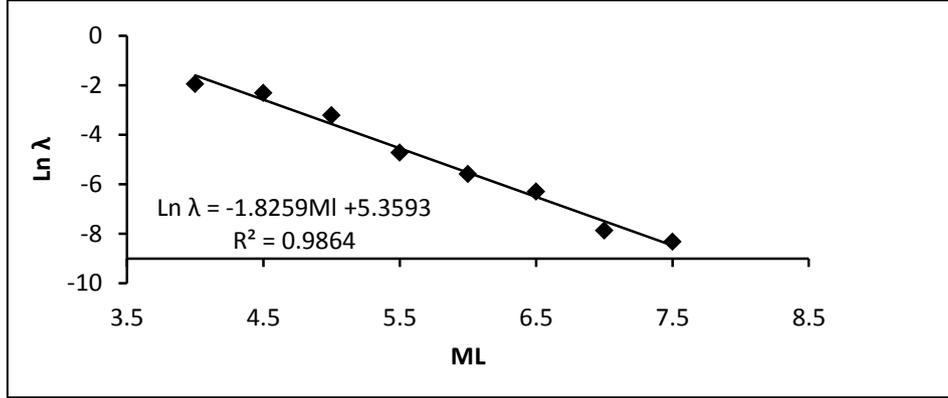
الشكل (2): العلاقة المستنتجة بين القدر ML ومعدل الحدوث λ لصدع الغاب.

عدد الزلازل الواقعة على صدع اللاذقية-كلس الخطي 42 زلزالا أكبر من القدر $ML=4$ ، الجدول (2-الملحق)، وقعت خلال 2162 سنة، وكان زلزال عام 115 هو الأعلى قدرا ($ML=7.1$)، تم حساب معاملات غوتنبرغ-ريختر a, b, β ومن ثم حساب معدل الحدوث λ ، كما يظهر في المنحني البياني الموضح في الشكل (3) الذي يمثل معدل الحدوث للقدور ML التي تتراوح بين 4-8.



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

بلغ عدد الزلازل الواقعة على القوس القبرصي 22 زلزالا أكبر من القدر $ML=4$ وقعت خلال 439 سنة، وكان زلزال عام 1918 هو الأعلى قدرا ($ML=6.3$)، تم حساب معاملات غوتنبرغ-ريختر a, b, β ، ومن ثم حساب معدل الحدوث λ ، كما يظهر في المنحني البياني الموضح في الشكل (4) الذي يمثل معدل الحدوث للقدور ML التي تتراوح بين 4-7,5.



الشكل (4): العلاقة المستنتجة بين القدر ML ومعدل الحدوث λ للقوس 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 الزلزالي للصدع الخطي: $\log(SRL) = 0.57M_W - 2.33$ وهناك طرق تستخدم قاعدة البيانات الزلزالية لحساب القدر الأعظمي كطريقة Kijko and sellevoll (1989) التي يتم تطبيقها عندما تكون قيمة المعامل الزلزالي b للمنطقة معروف:

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

حيث، M_{max} القدر الأعظمي الأعلى، M_{max}^{obs} القدر الأعظمي المسجل للصدع، n المجموع الكلي للزلازل 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 الأسّي، a_1, a_2, b_1, b_2 ثوابت.

وطريقة (Gupta., 2002) في حساب القدر الأعظمي والتي تتم بإضافة القيمة $\pm 0,5$ إلى أعلى قدر زلزالي مسجل، يبين الجدول (1) المعاملات المستنتجة للمصادر الخطية المعتمدة في الدراسة.

الجدول (1): معاملات غوتنبرغ-ريختر a و b و β وارتباطاتها σb و $\sigma \beta$ ، القدر الأصغري M_0 ، القدر الأعظمي M_{max} ، الحد الأدنى للقدر الأعظمي M_1 ، الحد الأعلى للقدر الأعظمي M_2 ، والارتباط الخطي R لكل من المصادر الزلزالية الخطية: الغاب واللاذقية-كلس والقوس القبرصي.

R	M2	M1	Mmax	M0	$\sigma\beta$	β	σb	b	a	num	الصدع الخطي
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 القبرصي

علاقات التخامد Attenuation relationship

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

تتضمن علاقات التخامد بشكل عام ثلاث معاملات هي: خصائص المصدر الزلزالي (كالقدر، ونمط الصدع). خصائص الموقع (نوع التربة: صخرية أو رخوة، سماكة التربة: تربة سطحية قليلة السماكة أو عميقة كبيرة السماكة، السرعة القصية V_s). مسار انتشار الأمواج (كنموذج المسافة المستخدم، والكتلة العلوية للصدع). لا يوجد علاقات تخامد خاصة بسورية بسبب الزلزالية المتوسطة الحالية، تشير قاعدة البيانات إلى أن آخر زلزال مدمر حدث عام 1759، أما خلال العمر الاستثماري لشبكة المركز الوطني للزلازل فلم يتم تسجيل زلازل كبيرة، يتطلب اشتقاق علاقات التخامد للمصادر الزلزالية في سورية:

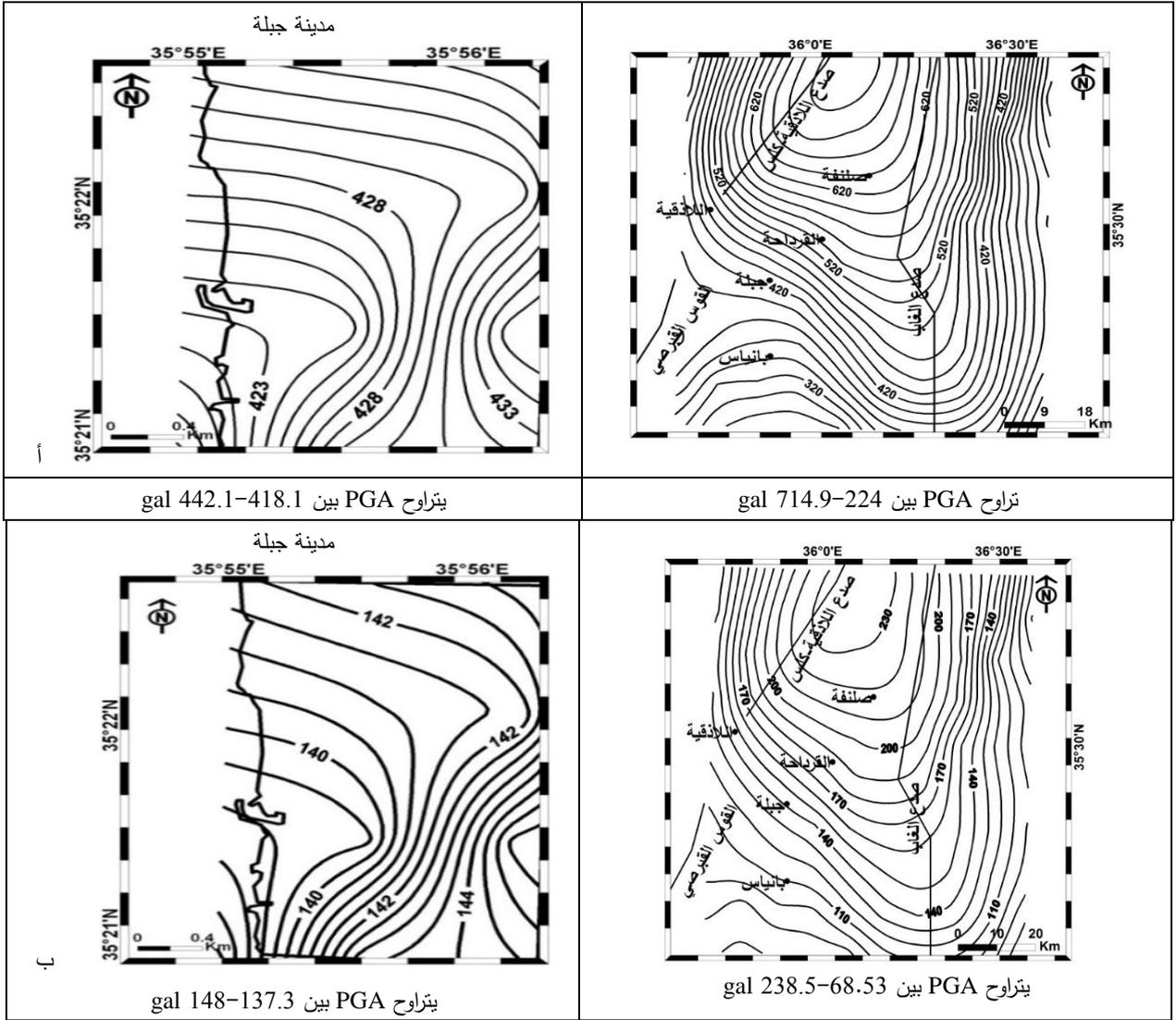
1. توفر تسجيلات آلية للزلازل الكبيرة بقدر مختلف مرصودة ضمن مساحات هذه المصادر.
 2. معرفة استجابة التربة لمواقع جيولوجية مختلفة مرتبطة بالأحداث الزلزالية الكبيرة.
 3. دراسة مسار الأمواج الزلزالية بالتزامن مع الزلازل الكبيرة.
 4. العمل على تدقيق الزلزالية التاريخية وتحسين قاعدة البيانات الزلزالية بالاعتماد على الدراسات الزلزالية القديمة للمصادر الزلزالية وتحديد خصائصها السيسموكتونية.
- الصيغة العامة لعلاقات التخامد المستخدمة في هذه الدراسة:

$$\log(\text{PGA}) = b_1 + b_2(M - M_0) + b_3(M - M_0)^2 + b_4D + b_5\log D + b_6C_B + b_7C_c + \varepsilon$$

حيث: PGA (g) peak ground acceleration قمة التسارع الأرضي، M قدر الزلزال، $D = \sqrt{r_{jb}^2 + h^2}$ ؛ r_{jb} : البعد عن مركز الزلزال بحسب Joyner-Boore distance (Joyner and Boor., 1993).
 $C = 0$ للصخور، $C = 1$ للتربة السطحية قليلة السماكة، $C = 6$ للتربة العميقة. $b_1, b_2, b_3, \dots, b_6$ معاملات المضاهاة regression coefficients التي تعتمد على دور الاهتزاز.
 تم اختيار الثوابت لتتوافق مع معاملات الصدوع ونوع التربة عند إدخال علاقة التخامد وحساب التسارع بما يتوافق والخصائص السيسموكتونية للصدوع والخصائص الجيولوجية لمنطقة الدراسة.

خرائط الخطر الزلزالي

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



بالشكل (6): خارطة الخطر الزلزالي المعدة للمنطقة الساحلية المختارة ومدينة جبلة وفقا لعمر تكراري 975 سنة،

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

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

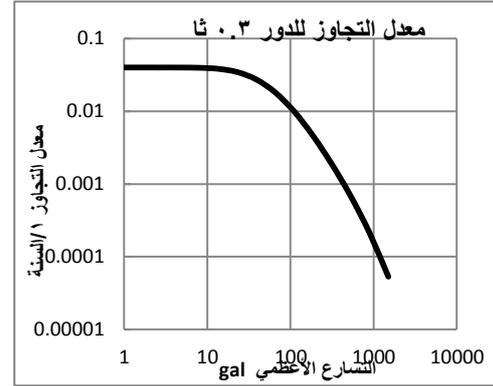
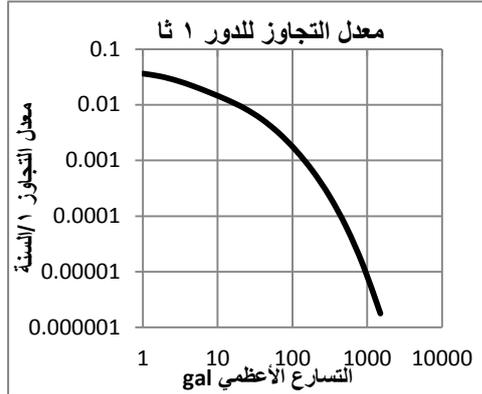
يظهر الجدول (2) قيم التسارع الأعظمي المستنتجة والناجمة عن المصادر الزلزالية الخطية للغاب واللاذقية-كلس والقوس القبرصي لكل من المدن: اللاذقية وجبلة والقرداحة وصلنفة وبنابياس والمحسوبة على أساس احتمال تجاوز 10% و5%، لأدوار الاهتزاز 0,3 و1 ثانية. بالإضافة إلى قيم التسارع الأعظمي المذكورة لنفس المدن في الكود السوري 2015 والمحسوبة على الطبقة الصخرية خلال خمسون عاما مع احتمالية عدم تجاوز 90% (عمر تكراري 475) ودور 0,2 و1 ثانية.

يتبين من الجدول (2) أن قيمة التسارع الأرضي لكل مدينة تزداد بزيادة العمر التكراري وتناقص الدور المدروس، كما تتوافق أعلى قيمة له مع مدينة صلنفة وهي الأقرب مسافة لصدعي الغاب واللاذقية-كلس والأكثر خطورة.

الجدول (2): قيم التسارع الأعظمي (gal) المستنتجة لبعض المدن والمعدة على أساس احتمال تجاوز 10% و5%،
لأدوار الاهتزاز 0.3 و1 ثانية. والقيم المذكورة لنفس المدن في الكود السوري 2015.

المدينة	العمر التكراري (سنة)	التسارع الأعظمي في هذه الدراسة		التسارع الأعظمي في الكود السوري 2015	
		0.3 ثا	1 ثا	0.2 ثا	1 ثا
اللاذقية	475	314.16	89.99	1507	376
	975	465.6	146.66		
جبلة	475	292.97	87.56	1308	369
	975	428.2	141.6		
القرداحة	475	351.1	112.02	1500-2000	400-500
	975	545.75	185.79		
صلنفة	475	407.13	131.47	1500-2000	400-500
	975	633.85	216.18		
بانياس	475	238.7	67.6	1308	369
	975	345.86	110.3		

تم الحصول على منحنيات معدل تجاوز Exceedence rate (معدل حدوث تسارع معين في السنة) الحركة الأرضية في مدينة جبلة، حيث يبين الشكل (7) المنحني البياني الممثل للعلاقة بين التسارع الأعظمي (gal) ومعدل التجاوز (1/السنة) في مدينة جبلة وفقاً لأدوار الاهتزاز 0,3 و1 ثانية.



الشكل (7): المنحني البياني الممثل للعلاقة بين التسارع الأعظمي (gal) ومعدل التجاوز (1/السنة) في مدينة جبلة لأدوار الاهتزاز 0,3 و1 ثانية.

النتائج والمناقشة:

تبين الخرائط المستنتجة أن قيم التسارع الأعظمي الناجمة عن تأثير صدع الغاب واللاذقية-كلس والقوس القبرصي الخطية للمنطقة الساحلية المختارة 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%، ودور 0,3 ثانية. أما بالنسبة لاحتمال تجاوز 10% ودور 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% ودور اهتزاز 0,3 ثانية. كما تتراوح قيمه بين 68,14 إلى 238,5 gal لاحتمال تجاوز 5% ولدور 1 ثانية. في حين تقع مدينة جبلة ضمن المجال 418,1 إلى 442,1 gal لاحتمال تجاوز 5%، والدور 0,3 ثانية. أما بالنسبة لاحتمال تجاوز 5% ودور 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 بالاقتراب 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 تسارعات 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 مهمل لبعده عن منطقة الدراسة.

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

الخلاصة:

يتبين من خرائط الخطر الزلزالي المستنتجة 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، و714,9 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، و442,1 gal لاحتمال تجاوز 5% وعمر تكراري 975 سنة.

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

تم لأول مرة في سورية حساب التسارعات الأرضية لأعمار تكرارية مختلفة وأدوار مختلفة بشكل تفصيلي لمنطقة محدودة وباستخدام مصادر زلزالية خطية.

إن لنتائج هذه الدراسة أهمية كبيرة في إعداد خرائط الخطورة الزلزالية Seismic risk وذلك لقدرتها على إعطاء تغيرات في قيم التسارع الأعظمي ضمن مساحة محلية، وبالتالي العمل على تخفيف الأضرار أثناء حدوث الزلازل 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 للزلازل. 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