ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/335390042

Studying the seismic data for Al-Ghab fault and Cyprus Arc regions using Gutenberg_Richter parameters and Completeness Magnitude دراسة البيانات الزلزاليّة لمنطقة صدع الغاب والقوس...

Preprint · January 2019

CITATIONS
0

READS
240

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

All content following this page was uploaded by Ahlam Khalil on 18 May 2023.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

دراسة البيانات الزلزاليّة لمنطقة صدع الغاب والقوس القبرصي باستخدام معاملات غوتنبرغ_ريختر وقدر الاكتمال

د.أحلام خليل[1] د. رائد أحمد[2] د. محمد داود[3]

[1][2] المركز الوطني للزلازل

[3] قسم الجيولوجيا_ كلية العلوم_جامعة دمشق

الملخص

بالاعتماد على قاعدة البيانات الزلزالية المتوفرة في المركز الوطني للزلازل التي حدثت منذ عام 1365 ق.م وحتى 2016 م بالإضافة إلى الوضع التكتوني والجيولوجي تمَّ تحديد مصدرين زلزاليين مساحيين هما صدع الغاب والقوس القبرصي، ومن ثمَّ حساب قيم معاملات غوتنبرغ_ريختر وقدر الاكتمال باستخدام طرق مختلفة، تمَّ تقسيم السجل الزلزالي إلى ثلاث فترات زمنيّة: تاريخيّة وآليّة قديمة وآلية حديثة. أظهرت النتائج أنَّ قيم b تساوي 0,55، 0,76، 0،51، بينما قيم a تساوي 4,58، 4، 3,52، وقدر الاكتمال هو 4,9، 3,5، 2 للفترات الزمنيّة الثلاث لصدع الغاب على التوالي بحسب طريقة المنحني الأعظمي.

تبيَّن بالنتيجة أنَّ طريقة المنحني الأعظمي ومجال كامل_القدر تعطي نتائج جيدة. وأنَّ القيم المستنتجة مفيدة جداً عند إعداد خرائط الحذر الزلزالي لمنطقة الساحل والغاب.

الكلمات المفتاحية: معاملات غوتنبرغ_ريختر؛ قدر الاكتمال؛ صدع الغاب.

Studying the seismic data for Al-Ghab fault and Cyprus Arc regions using Gutenberg_Richter parameters and Completeness Magnitude

Dr. Ahlam Khalil[(1)] Dr. Raed Ahmad[(2)] Dr. Mohamad Daoud[(3)]

[(1)] [(2)] National Earthquake Center

[(3)] Faculty of Science, Geology Dept, Damascus University

Abstract

Based on the earthquake catalogue that available in the national earthquake center for the period 1365 BC to 2016 seismic data, tectonic and geology settings, two seismic sources were defined, these sources are Al-Ghab fault and Cyprus Arc. For the two sources, Gutenburg-Richter parameters and completeness magnitude were identified using several methods. The seismic catalogue has been divided into historical, old instrumental and recent instrumental parts.

The estimated results using MAXC show that "b" values are 0.55, 0.76, 0.51, while "a" are 4.58, 4, 3.52, and completeness magnitudes are 4.9, 3.5 and 2 for the three parts of seismic catalogue of Al-Ghab fault, respectively. It was found that the maximum curvature and the entire-magnitude range methods give good results. The estimated values are very important for seismic hazard mapping of coastal and Al-Ghab regions.

Keywords: Gutenberg-Richter parameters; completeness magnitude; Al-Ghab fault.

المقدمة

تشكِّل سورية الجزء الشمالي من الصفيحة العربية وتقع على حد التصادم القاري/ قاري الفاصل بين الصفيحة العربية والصفيحة الأوراسية، حيث تقترب الصفيحة العربية من الصفيحة الأوراسية بمعدل 18±2 مم/ سنة في الاتجاه شمال – شمال غرب (McClusky et al., 2000)، كما تقع على الحد الفاصل بين الصفيحة العربية وصفيحة ليفانتين الثانوية. يُعتبر صدع البحر الميت الانزياحي اليساري من أهم البنيات التكتونية في سورية حيث يمتد من خليج العقبة جنوباً إلى تركيا شمالاً، ويتقاطع مع صدع الأناضول الشرقي الانزياحي اليسارEAF وقوس الانغراس القبرصي مشكِّلاً تقاطع هاتاي الثلاثي the Hatay Triple Junction HTJ والحدود الصفيحية بين الصفيحة العربية والأفريقية والأناضولية في الجزء الشمالي الغربي من سورية (Jackson and McKenzie, 1988). قُدِّرت الحركة على الجزء الشمالي من صدع البحر الميت الواقع في الأراضي السورية بحوالي 0,7 مم/ سنة وفقاً لقياسات GPS (Alchalbi et al., 2009). أدَّت الحركة في الجزء الشمالي من صدع البحر الميت إلى تشكل منخفض صدع الغاب وهو بنية شد جانبي pull-apart تبلغ مساحته حوالي 900 كم2 (Brew et al., 2001). أما القوس القبرصي فهو عبارة عن نطاق معقّد تكتونياً واقع ضمن قعر البحر الأبيض المتوسط ناجم عن نطاق الانضغاط بين الصفيحة الأفريقيّة المتحركة باتجاه الشمال والصفيحة الأوراسيّة المتحركة باتجاه الجنوب، أظهر الجزء الجنوبي من القوس القبرصي حركة انضغاطية عرضيَّة transtensional من صفيحة هيكاتوس Hecataeus باتجاه غرب سورية (Mart and Ryan., 2002)، أي أن القوس القبرصي يجمع بين ثلاث حركات نسبيّة هي الانضغاطية والانغراس والانتقاليّة.

إنَّ لدراسة قاعدة البيانات الزلزالية وتحديد معاملات غوتنبرغ_ريختر a, b وقدر الاكتمال أهمية بالغة في إعداد خرائط الحذر الزلزالي seismic hazard (Ahmad., 2013). تساهم مثل هذه الدراسة في معرفة قيم كل من القدر الأعظمي M_{max} والأصغري M_{min}، والقيمة"b"، وبالتالي تحديد قيمة $\beta = Ln(10) * b$ وارتيابها، ومعدل الحدوث السنوي "λ" اللازم عند حساب الحذر الزلزالي بالطريقة الاحتماليّة. إنَّ تغيّر معاملات غوتنبرغ_ريختر a, b يدل على تغيّر النشاط الزلزالي في منطقة الدراسة، فكلّما نقصت قيمة b ازداد تراكم الاجهاد وبالتالي إمكانيّة حدوث زلزال كبير في المنطقة لاحقاً، لهذا فإن تحديد هذه المعاملات له أهمية كبيرة في الدراسات والبحوث الزلزالية ومعرفة وتقييم الخطر والحذر الزلزالي للمدن.

درس كل من (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 Ssayedetal., 2012) و(Ahmad., 2013) الحذر الزلزالي في سورية باستخدام الطريقة الاحتمالية. بينما استخدم (Ahmad et al., 2017) قاعدة البيانات الزلزالية ومعاملات غوتنبرغ_ريختر والخرائط الطبوغرافيّة الرقميّة DEM ونظام المعلومات الجغرافي لإعداد خرائط الحذر الزلزالي بمنهج جديد.

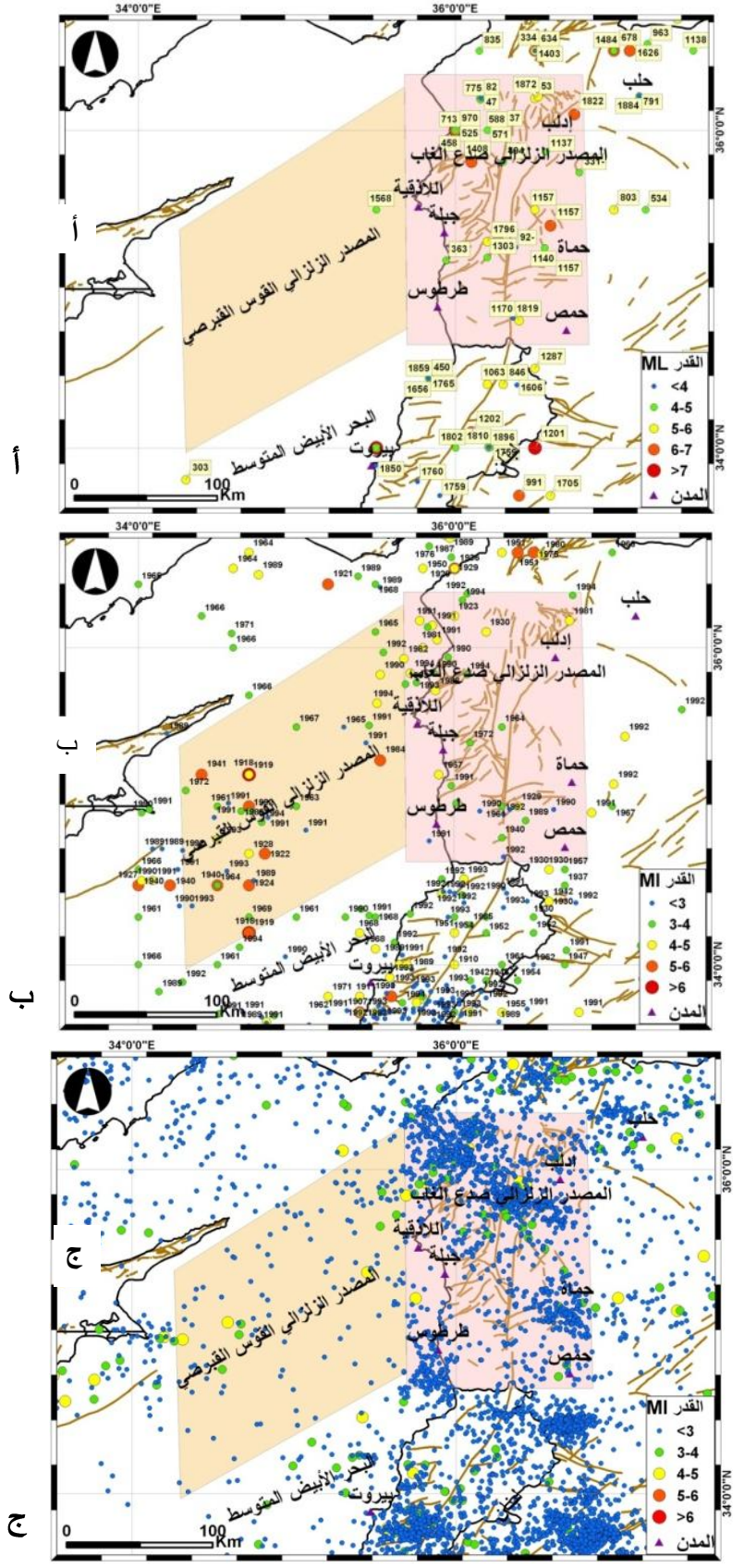
الوضع الزلزالي والتكتوني لمنطقة الدراسة

أُستُخدِمت في هذه الدراسة قاعدة البيانات الزلزالية المُعدّلة من قبل (أحمد وآخرون، 2013) والتي تحتوي على الزلازل الواقعة بين عام 1365 ق.م وعام 2012 م مضافاً إليها الزلازل الواقعة بين عام 2013 وعام 2016م. بالاعتماد على توزّع المراكز السطحيَّة للزلازل والوضع الجيولوجي والتكتوني ودراسات GPS التي تُظهِر معدل الانزلاق السنوي على البنيات التكتونيَّة الرئيسة في الصفيحة الأوراسيّة (Mahmoud et al., 2012) تمَّ اختيار

مصدرين زلزاليين من النمط المساحي هما: صدع الغاب والقوس القبرصي. ثمَّ حساب معاملات غوتنبرغ_ريختر وقدر الاكتمال لكل مصدر على حدى. حيث تبيَّن وجود تغيّر في قيم معاملات غوتنبرغ_ريختر وقدر الاكتمال مع الزمن والقدر.

إنَّ للزلازل التاريخية دوراً هاماً في دراسات الحذر الزلزالي لأنها تحتوي على الزلازل الكبيرة التي وقعت قبل عام 1900م، واعتُمِد في تحديدها على الوثائق المعاصرة لها والمتضمّنة آثارها التدميريَّة والظواهر المرافقة لها. بناءً على دراسة (أحمد وآخرون، 2013) تمَّت مكاملة الزلازل التاريخية المتوفرة في المركز الوطني للزلازل مع (Plassard, 1981) و(Ambraseys, 1989) و(Sbeinati et al., 2005)، حيث أضيفت الأحداث الزلزالية التاريخية المذكورة لدى (Sbeinati, 2005) إلى قاعدة البيانات المتوفرة في المركز مع تقدير إحداثيات كل حدث حسب الوصف المرافق له، ومن ثمَّ توحيد القدور وذلك من خلال تحويل الشدة الزلزالية إلى القدر Ms، ثمَّ تحويل قيمة القدور في الزلازل التاريخية والآلية القديمة من Ms إلى Ml. كما تمَّ تحويل قيمة القدور في الزلازل الآليّة الحديثة المسجلة بين عامي 1995–2009 من Mc إلى Ml. بالنسبة لتسجيلات الشبكة الرقمية من العام 2009 وحتى العام 2016 فقد تم تخزينها بقدر من نوع Ml، وبالتالي تم الحفاظ عليها دون تعديل. كما تمَّ حذف التفجيرات المقلعيّة بالاعتماد على نسبة عدد الزلازل المسجلة نهاراً إلى تلك المسجلة ليلاً (المعامل Rq).

وقد خلصت الدراسة إلى وجود 189 زلزال تاريخي (كبير)، و29 زلزال آلي قديم، و486 زلزال آلي حديث. يظهر في الشكل (1–أ) الزلازل التاريخية، والشكل (1–ب) الزلازل الآلية القديمة من عام 1900–1994، والشكل (1–ج) الزلازل الآلية الحديثة والمسجلة بواسطة شبكة المركز الوطني للزلازل.



الشكل (1): خارطة سورية موقع عليها المساحة المختارة لصدع الغاب والقوس القبرصي والزلازل، (أ) التاريخية، (ب) الآلية القديمة بين عامي 1900–1994، (ج) الآلية الحديثة المسجلة في شبكة المركز الوطني للزلازل بين عامي 1995–2016.

قدر اكتمال السجل الزلزالي Completeness Magnitude Mc

يُعرَّف قدر اكتمال السجل الزلزالي بأنَّه أصغر قيمة للقدر تكون عندها قاعدة البيانات الزلزالية مكتملة وذلك للقسم ذي القدر أكبر من قدر الاكتمال Mc وغير مكتمل لما دونها، وهي أيضاً نقطة انعطاف منحني أعداد الزلازل التراكمية مع قدروها وذلك حسب طريقة الانحناء الأعظمي Maximum Curvature. تعتمد الطرق المستخدمة لحساب قدر الاكتمال Mc للسجلات الزلزالية على فرضيتين مختلفتين جذرياً (Rydelek and Sacks., 1989، Taylor, 1990)، حيث تعتمد الفرضية الأولى على التماثل الذاتي self-similarity لمعالجة الزلازل، التي تتضمن توزعاً تلقائياً للزلازل في مجال القدر وفي مجال العزم الزلزالي وفقاً لتوزيع قانون القوّة power-law distribution. بينما تعتمد الفرضية الثانية على تأثر مصداقية السجل الزلزالي بنسبة عدد الزلازل المسجلة ليلاً إلى عدد الزلازل المسجلة نهاراً. استُخدِمَت في هذه الدراسة عدة طرق لدراسة قاعدة البيانات الزلزالية لكلا المصدرين الزلزاليين، وقد شرح Woessner وWiemer (2005) بعضاً من هذه الطرق المستخدمة في تحديد قدر الاكتمال Mc وهي:

أ – طريقة مجال كامل_القدر Entire-magnitude range (EMR).

ب –طريقة المنحني الأعظمي Maximum curvature (MAXC).

ت –اختبار الملاءمة الأفضل Goodness-of-fit test (GFT).

ث –حساب قدر الاكتمال Mc باستخدام استقرار b b-value Stability (MBS).

تحليل قاعدة البيانات

أُستخدِمَت قاعدة البيانات الزلزالية المتوفرة في المركز الوطني للزلازل والتي تمتد خلال الفترة الزمنية الواقعة بين عام 331 ق.م وحتى عام 2016 في تحديد معاملات

غوتنبرغ_ريختر وقدر الاكتمال، وذلك للزلازل الواقعة ضمن منطقة صدع الغاب والقوس القبرصي. يوضح الشكل (1) المصدرين المساحيين مع الزلازل التاريخية والآلية الواقعة ضمنهما.

1 -مصدرالغاب الزلزالي

يحتوي مصدر الغاب الزلزالي على 571 زلزالاً، يتراوح قدرها Ml بين 1 و 7,1. أظهر العدد التراكمي للزلازل أن الزلازل ذات القدر Ml=2 هي الأكثر عدداً حيث بلغ 205 زلازل خلال 21 سنة من عام 1995 حتى عام 2016. تمَّ تقسيم الكاتالوج الزلزالي لصدع الغاب إلى ثلاث فترات زمنيّة: تاريخيّة (<1900م) وآليّة قديمة (1900-1994م) وآلية حديثة (1995-2016م).

سجَّلت الزلازل التاريخية حدوث 4 زلازل بقدر Ml=7,1 هي زلزال عام 859 بالقرب من جبلة (بدون احداثيَّات)، 1404 في الغاب (بدون احداثيَّات)، 1408 في الغاب، وزلزال 1822 في جسر الشغور. من الملاحظ وجود عدد كبير من الزلازل الصغيرة القدر مع بدء استثمار شبكة المركز الوطني للزلازل عام 1995م مقارنة بالسجل الزلزالي التاريخي والآلي الممتد من عام 331 ق.م حتى عام 1995م وذلك بسبب زيادة حساسية الأجهزة المستخدمة واستخدام الأجهزة الرقمية في شبكة المركز الوطني للزلازل وبالتالي تناقص قدر الاكتمال مع مرور الزمن.

1 ‡ -حساب القيمة b

يُستخدَم السجل الزلزالي لحساب معاملات المصدر الزلزالي بتطبيق علاقة غوتنبرغ_ريختر (Ishimoto and Iida., 1939; Gutenburg and Richter., 1944) حيث يصف توزع

تكرارية القدر Frequency magnitude distribution FMD العلاقة بين تكرار حدوث الزلزال وقدره:

$$\text{Log } N(M) = a - bM$$

N(M): عدد الزلازل ذات القدر M. تعتمد علاقة التكرار مع القدر على معاملات غوتنبرغ_ريختر a, b، وهي ثوابت موجبة تعبّر عن مستوى وخصائص الزلزاليّة في المنطقة المدروسة. تُعتبَر قيمة a مؤشر للنشاط الزلزالي وترتبط بعدد الزلازل التي حدثت ضمن منطقة محدّدة خلال فترة زمنية محدّدة وبقيمة القدر الأعظمي بينها. أمّا القيمة b فهي ميل المنحني الممثّل للعلاقة بين القدر والعدد التراكمي، تتغيّر حسب زمان ومكان الدراسة.

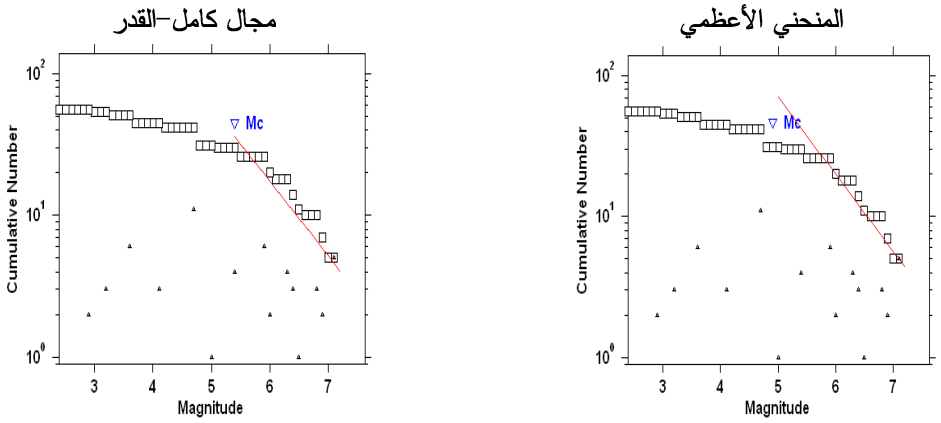
تمَّ حساب معاملات غوتنبرغ_ريختر a, b للزلازل الواقعة في مصدر الغاب الزلزالي وذلك باستخدام طرق حساب قدر الاكتمال التالية: 1-المنحني الأعظمي Maximum curvature MAXC، 2- القدر الأصغري Minimum magnitude MINC، 3- الاحتمالية 90%، 4- مجال كامل-القدر EMR، 4- استقرار القيمة b بحسب Shy and Bolt، 6- استقرار القيمة b باستخدام bootstrap uncertainty، 7- استقرار القيمة b بحسب Cao-criterion.

يظهر في الجدول (1) قيم معاملات غوتنبرغ_ريختر a, b والارتياب δb وقدر الاكتمال Mc والارتياب δMc المحسوبة من تحليل الزلازل التاريخية والآلية القديمة والحديثة على التوالي الواقعة على صدع الغاب باستخدام الطرق المذكورة سابقاً.

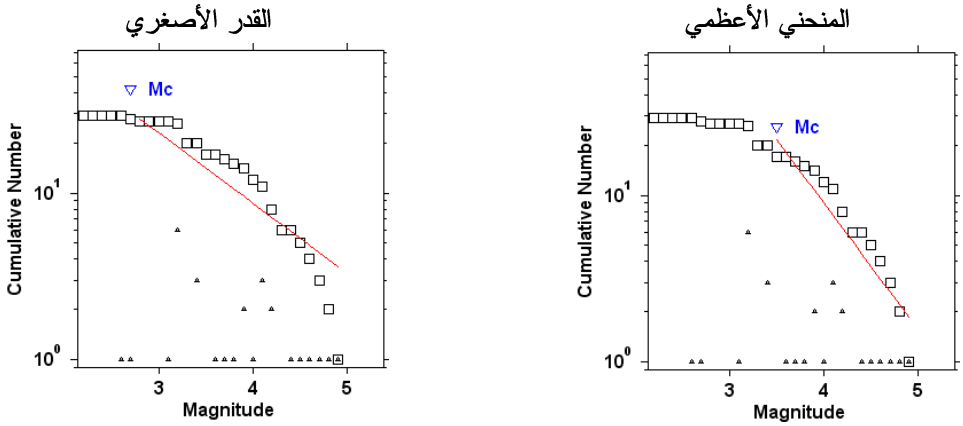
الجدول (1): قيم معاملات غوتنبرغ_ريختر **a, b** والارتياب **δb** وقدر الاكتمال **Mc** والارتياب **δMc** المحسوبة لصدع الغاب

طريقة التحليل	صدع الغاب – الزلازل التاريخية				
	b	**σb**	**a**	**Mc**	**σMc**
المنحني الأعظمي **MAXC**	0.55	0.88	4.58	4.90	0.64
القدر الأصغري **MINC**	0.18	0.02	2.28	2.90	0.11
مجال كامل– القدر **EMR**	0.53	0.01	4.39	5.40	0.50
استقرار القيمة **b** بحسب **Shy and Bolt**	0.20	0.02	2.39	3.00	0.08
استقرار القيمة **b** باستخدام **bootstrap uncertainty**	0.21	0.04	2.43	3.10	0.22
استقرار القيمة **b** بحسب **Cao-criterion**	0.21	0.01	2.40	3.00	0.12
طريقة التحليل	صدع الغاب – الزلازل الآلية القديمة **1990–1994**				
	b	**σb**	**a**	**Mc**	**σMc**
المنحني الأعظمي **MAXC**	0.76	0.17	4	3.50	0.47
القدر الأصغري **MINC**	0.42	0.08	2.63	2.70	0.17
طريقة التحليل	صدع الغاب – الزلازل الآلية الحديثة **1995–2016**				
	b	**σb**	**a**	**Mc**	**σMc**
المنحني الأعظمي **MAXC**	0.51	0.03	3.52	2.0	0.15
القدر الأصغري **MINC**	0.31	0.01	2.99	1.0	0.02
الاحتمالية **90%**	0.78	0.01	4.42	3	0.32
مجال كامل– القدر **EMR**	0.52	0.03	3.54	2.1	0.21
استقرار القيمة **b** بحسب **Shy and Bolt**	0.54	0.01	3.6	2	0.27
استقرار القيمة **b** باستخدام **bootstrap uncertainty**	0.59	0.02	3.77	2.2	0.49
استقرار القيمة **b** بحسب **Cao-criterion**	0.33	0.01	3.04	1.1	0.01

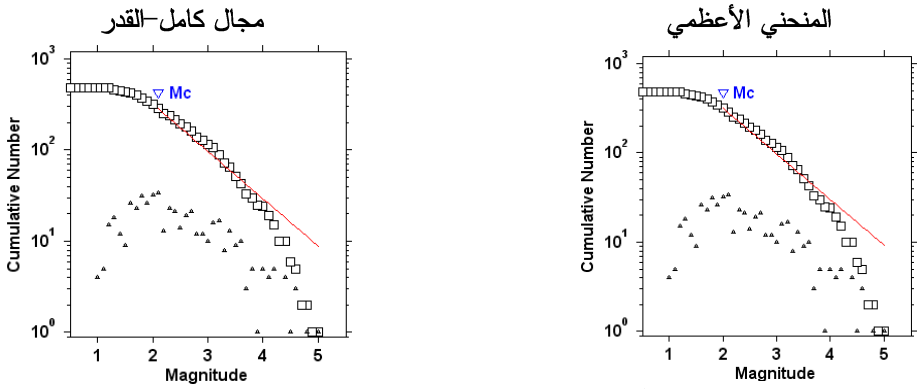
يظهر في الشكل (2، 3، 4) المنحنيات البيانيّة الممثّلة لطرق حساب معاملات غوتنبرغ–ريختر وقدر الاكتمال للزلازل التاريخيّة والآليّة القديمة والحديثة لصدع الغاب.



الشكل (2): المنحنيات البيانيّة الممثّلة لطرق حساب معاملات غوتنبرغ–ريختر وقدر الاكتمال وهي: 1– المنحني الأعظمي، 2–مجال كامل_القدر، للزلازل التاريخيّة لصدع الغاب، يمثّل محور السينات قدر الزلزال ومحور العينات العدد التراكمي للقدور.

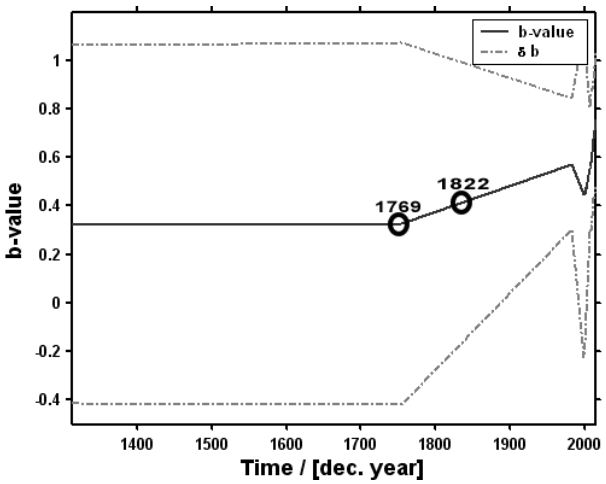


الشكل (3): المنحنيات البيانيّة الممثّلة لطرق حساب معاملات غوتنبرغ–ريختر وقدر الاكتمال وهي: 1– المنحني الأعظمي، 2– القدر الأصغري للزلازل الآليّة القديمة لصدع الغاب، يمثّل محور السينات قدر الزلزال ومحور العينات العدد التراكمي للقدور.



الشكل (4): المنحنيات البيانيّة الممثّلة لطرق حساب معاملات غوتنبرغ–ريختر وقدر الاكتمال وهي: 1– المنحني الأعظمي، 2–القدر الأصغري، 3–مجال كامل_القدر، 4–استقرار القيمة b للزلازل الآليّة الحديثة لصدع الغاب، يمثّل محور السينات قدر الزلزال ومحور العينات العدد التراكمي للقدور.

إنَّ قيمة b تتغيّر مع الزمن وذلك تبعاً لتغيّر حساسيّة أجهزة تسجيل الزلازل، إذ أنَّ الزلازل التاريخيّة مأخوذة من السجلات الوصفيّة أمّا الآليّة القديمة فهي مسجلة في الشبكات الاقليميّة المجاورة في حين أنَّ الزلازل الآليّة الحديثة مسجلة باستخدام الشبكة الوطنيّة للمركز الوطني للزلازل، والذي أدّى إلى زيادة عدد الزلازل المسجّلة وزيادة الدقة في تحليلها وحساب قدرها. يُظهِر الشكل (5) أنَّ b تساوي 0,35 من عام 331 ق.م حتى عام 1760م، ثم تبدأ في الزيادة حتى تصل إلى القيمة 0,58 عام 1980م، ومن ثم تتناقص إلى 0,49 عام 1995م وتعود للتزايد حتى 0,75 عام 2014م، وهذه التغيرات تترافق مع حدوث زلازل كبيرة كما حدث في الأعوام 1769 و1822.

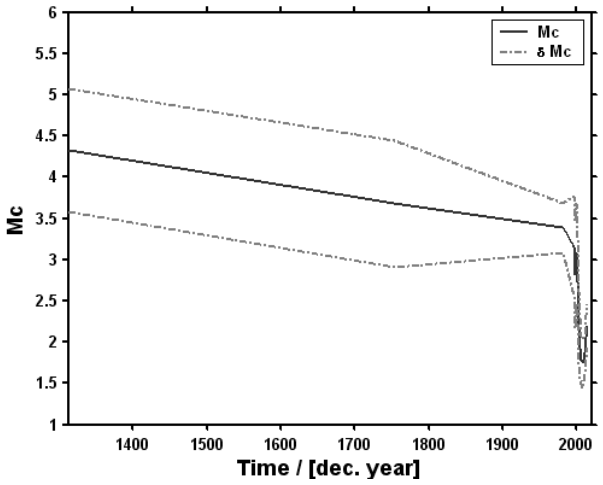


الشكل (5): تغيّر قيمة b مع الزمن للأحداث الزلزالية المسجلة في المصدر الغاب الزلزالي من عام 331 ق.م حتى 2016 يمثّل الخط المستقيم قيمة b والخط المتقطع قيمة الارتياب δb، أمّا الدوائر فتمثّل الزلازل.

1 2 -حساب قدر الاكتمال Mc

تمَّ استخدام الطرق المذكورة سابقاً وتطبيقها على الزلازل التاريخيّة والآليّة القديمة والحديثة لصدع الغاب وذلك لحساب قدر الاكتمال والارتياب لكلٍّ منها. يمثّل الشكل (2، 3، 4) المنحنيات البيانية الممثلة لقدر الاكتمال للزلازل المسجلة في مصدر الغاب الزلزالي للفترات الزمنيّة الثلاث على التوالي.

يظهر في الشكل (6) تغيّر قدر الاكتمال مع الزمن، حيث Mc يساوي 4,3 عام 1300، ويتناقص إلى 3,6 عام 1750، وفي عام 1980 يتناقص إلى 3,4، ثمَّ إلى 3,2 عام 1996، ويساوي 2,7 عام 1998. تبيَّن من المنحني البياني أنَّ قاعدة البيانات لمصدر الغاب الزلزالي تكتمل للقدر 4 خلال الفترة الزمنية من عام 331 ق.م حتى عام 1949، وللقدر 3 خلال الفترة الزمنية من عام 1950 حتى عام 2000.



الشكل (6): تغير قدر الاكتمال مع الزمن للأحداث الزلزالية المسجلة في مصدر الغاب الزلزالي من عام 331 ق.م حتى عام 2016 م، يمثِّل الخط المستقيم قدر الاكتمال Mc أما الخط المتقطع فيمثِّل الارتياب δMc.

2 – مصدر القوس القبرصي

يرتبط نطاق القوس القبرصي بنظام صدع عكسي اتجاهه شرق–غرب. وهو ناتج عن طي انضغاطي مرتبط بإجهاد انضغاطي. بلغ عدد الزلازل ضمن مساحة المصدر المختار 169 زلزالاً خلال الفترة الممتدة من العام 1567م وحتى عام 2016م، أصغر قدر مسجل 1,1=Ml، وأكبر قدر 6,3=Ml وهو زلزال واحد حدث عام 1918 مركزه السطحي (Eº34,7، Nº35,2). أظهر العدد التراكمي للقدور أن الأحداث ذات القدر 1,8 و2 و2,5 هي الأكثر حدوثاً وعدد كل منها يساوي 11.

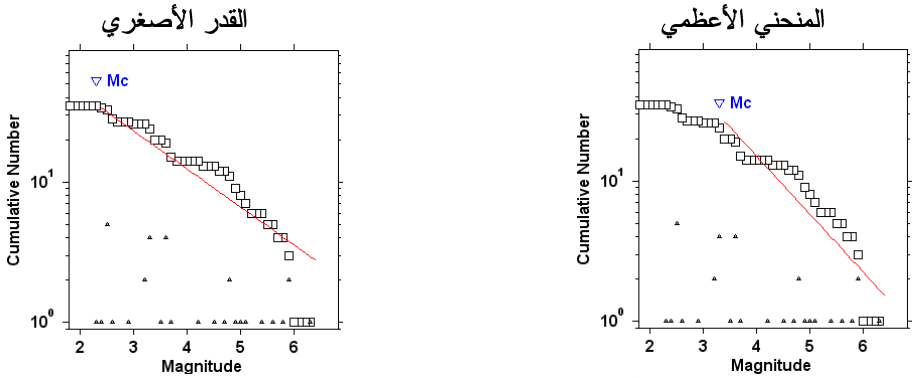
2 ǂ –حساب القيمة b

تمَّ حساب معاملات غوتنبرغ_ريختر a, b لمساحة مصدر القوس القبرصي الزلزالي المختار للزلازل الآلية القديمة قبل عام 1994، والحديثة بين عامي 1995–2016، أمّا الزلازل التاريخيّة فعددها واحد فقط، باستخدام طرق حساب قدر الاكتمال المذكورة سابقاً. يظهر في الجدول (2) قيم معاملات غوتنبرغ_ريختر a, b والارتياب δb وقدر الاكتمال Mc والارتياب δMc المحسوبة للقوس القبرصي.

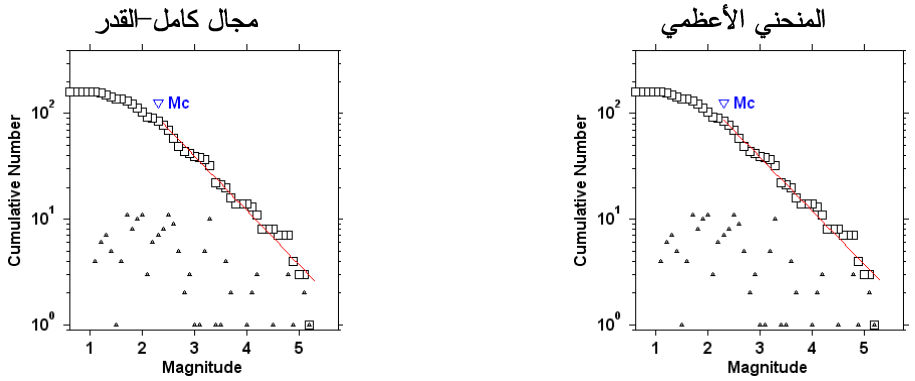
الجدول (2): قيم معاملات غوتنبرغ_ريختر **a, b** والارتياب **δb** وقدر الاكتمال **Mc** والارتياب **δMc** لزلازل القوس القبرصي.

طريقة التحليل	القوس القبرصي– الزلازل الآليّة القديمة **(1900–1994)**				
	b	**σb**	**a**	**Mc**	**σMc**
المنحني الأعظمي **MAXC**	0.40	0.18	2.83	3.30	0.81
القدر الأصغري **MINC**	0.27	0.03	2.18	2.30	0.07
طريقة التحليل	القوس القبرصي– الزلازل الآليّة الحديثة **(1994–2016)**				
	b	**σb**	**a**	**Mc**	**σMc**
المنحني الأعظمي **MAXC**	0.55	0.09	3.00	2.00	0.36
القدر الأصغري **MINC**	0.36	0.02	2.52	1.10	0.02
الاحتمالية **90%**	0.5	0.01	2.89	1.7	0.17
مجال كامل– القدر **EMR**	0.55	0.06	3.00	2.00	0.28
استقرار القيمة **b** بحسب **Shy and Bolt**	0.49	0.01	2.85	1.70	0.14
استقرار القيمة **b** باستخدام **bootstrap uncertainty**	0.45	0.06	2.91	1.75	0.21
استقرار القيمة **b** بحسب **Cao-criterion**	0.38	0.02	2.57	1.20	0.02

يظهر في الشكل (7، 8) المنحنيات البيانيّة الممثّلة لطرق حساب معاملات غوتنبرغ–ريختر وقدر الاكتمال لزلازل القوس القبرصي الآليّة القديمة والحديثة.



الشكل (7): المنحنيات البيانيّة الممثّلة لطرق حساب معاملات غوتنبرغ–ريختر وقدر الاكتمال وهي: 1– المنحني الأعظمي، 2– القدر الأصغري للزلازل الآليّة القديمة للقوس القبرصي، يمثّل محور السينات قدر الزلزال ومحور العينات العدد التراكمي للقدور.



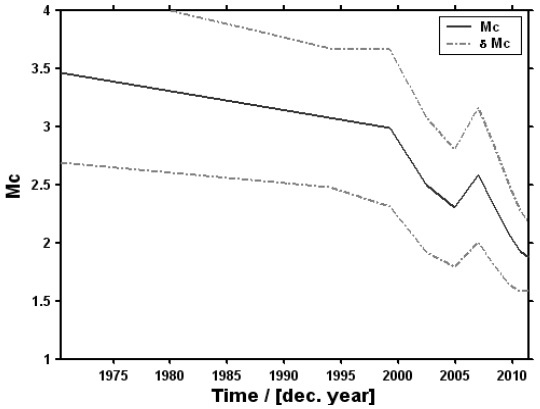
الشكل (8): المنحنيات البيانيّة الممثّلة لطرق حساب معاملات غوتنبرغ–ريختر وقدر الاكتمال وهي: 1– المنحني الأعظمي، 2–القدر الأصغري، 3–مجال كامل_القدر، 4–استقرار القيمة b للزلازل الآليّة الحديثة للقوس القبرصي، يمثّل محور السينات قدر الزلزال ومحور العينات العدد التراكمي للقدور.

تُبيّن القيم الواردة في الجدول (2) والمخططات المبيّنة في الشكل (7، 8) أنَّ قيم b للزلازل الآليّة القديمة بلغت 0,27 بحسب طريقة القدر الأصغري MINC و0,4 بطريقة المنحني الأعظمي MAXC. وأنَّ b تساوي 0,55 عند تطبيق طريقة المنحني الأعظمي MAXC وطريقة مجال كامل–القدر EMR على الزلازل الآليّة الحديثة.

2-2- حساب قدر الاكتمال

تمَّ تطبيق طرق حساب قدر الاكتمال المذكورة سابقاً للحصول على قدر الاكتمال للمساحة المختارة من القوس القبرصي، وتبيّن أنَّ قيمة قدر الاكتمال باستخدام طريقة القدر الأصغري MINC والمنحني الأعظمي MAXC هي 2,3 و3,3 على التوالي، وأنَّ طريقة المنحني الأعظمي MAXC ومجال كامل- القدر EMR أظهرت أعلى قيمة لقدر الاكتمال Mc يساوي 2 للزلازل الآليّة الحديثة، تظهر النتائج في الجدول (2) والمنحنيات البيانيّة في الشكل (7، 8).

يظهر في الشكل (9) تغيّر قدر الاكتمال مع الزمن حيث نلاحظ أنّ Mc يساوي 3,4 في عام 1970، وتتناقص حتى 2,9 عام 1998، ثمَّ تستقر القيمة حتى عام 2003، بعدها تتناقص قيمة Mc إلى 2,3 عام 2005 بينما بلغت 1,9 في عام 2012. تكتمل قاعدة البيانات للقوس القبرصي عند القدر 3 خلال الفترة من عام 1970 حتى عام 2000.



الشكل (9): تغيّر قدر الاكتمال مع الزمن للمساحة الزلزالية المختارة من القوس القبرصي خلال الفترة الزمنية من 1567 إلى 2016، يمثّل الخط المستقيم قدر الاكتمال Mc أما الخط المتقطع فيمثّل الارتياب δMc.

النتائج

أظهرت دراسة قاعدة البيانات الزلزالية لمنطقة صدع الغاب والقوس القبرصي اختلافاً في القيم المستنتجة بما يتناسب مع الوضع التكتوني والزلزالي لكلا المصدرين الزلزاليين.

تراوحت قيم b في مصدر الغاب الزلزالي بين قيمة صغرى 0,18 وقيمة عظمى 0,55 للزلازل التاريخيّة، بالنسبة للزلازل الآليّة القديمة تراوحت بين 0,42، و0,76، أما الزلازل الآليّة الحديثة فقد تراوحت بين 0,31 و0,78. إنَّ قيمة b تتغيِّر مع الزمن حيث تأخذ قيمة ثابتة 0,35 من عام 331 ق.م حتى عام 1760، ثم تزداد قيمة b لتساوي 0,58 من عام 1761 حتى عام 1980م، ثم تتناقص إلى 0,49 من عام 1981 إلى عام 1995م وتعود للزيادة مرة أخرى حتى 0,75 بين عامي 1996 و2014م. أما قيم a فتتراوح بين 2,39 و4,58 للزلازل التاريخيّة، وتساوي 2,63 و4 للزلازل الآليّة القديمة، وبين 2.99 و4,42 للزلازل الآليّة الحديثة.

هذا وقد تراوحت قيمة قدر الاكتمال بين قيمة صغرى 2,9، وقيمة عظمى 5,4 للزلازل التاريخيّة، وكانت 2,7 و3,5 للزلازل الآليّة القديمة، وتراوحت بين 1 إلى 3 للزلازل الآليّة الحديثة بحسب طرق حساب قدر الاكتمال المستخدمة.

تشير النتائج إلى أن قدر الاكتمال يتغير مع الزمن، حيث Mc يساوي 4,3 في عام 1300، ويتناقص إلى 3,6 عام 1750، وفي عام 1980 يتناقص إلى 3,4، ثم يساوي 3,2 عام 1996، ويساوي 2,7 عام 1998، ويساوي 3 عام 2000.

تراوحت قيمة b في الزلازل الآليّة القديمة لمساحة مصدر القوس القبرصي بين 0,27، و0,4، وتراوحت في الزلازل الآليّة الحديثة بين قيمة صغرى 0,36 وقيمة عظمى 0,55.

قيمة المعامل a تراوحت بين 2,18 و2,83 للزلازل الآليّة القديمة، وتتغيّر بين قيمة صغرى 2,52 وقيمة عظمى 3 للزلازل الآليّة الحديثة.

قيمة قدر الاكتمال تساوي 2,3 و3,3 للزلازل الآليّة القديمة، وتتراوح بين قيمة صغرى 1,1 وقيمة عظمى 2 للزلازل الآليّة الحديثة بحسب طرق حساب قدر الاكتمال المستخدمة. وقد

لوحظ تغيِّر في قدر الاكتمال مع الزمن حيث نلاحظ أنّ Mc يساوي 3,4 في عام 1970، ويتناقص إلى 2,9 من عام 1971 حتى عام 1998، ثمَّ يستقر حتى عام 2003، بعدها يتناقص إلى 2,3 عام 2005، ويساوي 1,9 في عام 2012.

تتغيّر قيم a وفقاً لعدد الزلازل الواقعة ضمن مساحة محددة خلال فترة زمنيّة محددة بالإضافة إلى القدر الأعظمي ضمن الزلازل المدروسة، ترتبط قيمة b المنخفضة بعدد الزلازل ذات القدر الكبير، وقيمتها المرتفعة بعدد الزلازل ذات القدر الصغير في قاعدة البيانات والتي تحدث عادةً في المناطق ذات الاجهادات المنخفضة وغير المتجانسة (Talukdar, P., 2013)، وبالتالي يعكس تغيّرهما تطور حساسيّة الأجهزة المستخدمة في تسجيل الزلازل.

المناقشة

بيَّنت النتائج أنَّ مساحة مصدر الغاب الزلزالي كان أكثر نشاطاً مقارنةً بالمساحة المعتمدة لمصدر القوس القبرصي وهذا يتوافق مع الاختلاف في الطبيعة التكتونية لكلا المصدرين ومع عدم توفر بيانات زلزاليّة تاريخيّة للقوس القبرصي.

تمَّت دراسة قاعدة البيانات الزلزالية للمساحات المختارة وتحديد معاملاتها باستخدام طرق حساب قدر الاكتمال التالية: 1-المنحني الأعظمي MAXC، 2- القدر الأصغري MINC، 3- الاحتمالية 90%، 4- مجال كامل_القدر EMR، 4- استقرار القيمة b بحسب Shy and Bolt، 6- استقرار القيمة b باستخدام bootstrap uncertainty، 7- استقرار القيمة b بحسب Cao-criterion.

إنَّ استخدام طرائق مختلفة لدراسة قدر الاكتمال أعطى قيم مختلفة لمعاملات غوتنبرغ_ريختر a, b وقدر الاكتمال. كما أثّر عدد الزلازل وقدرها في المصادر المدروسة على النتائج، حيث قيم b لصدع الغاب تساوي 0,55، 0,76، 0،51، بينما قيم a تساوي 4,58، 4، 3,52، وقدر

الاكتمال يساوي 4,9، 3,5، 2 للفترات الزمنيّة الثلاث على التوالي بحسب طريقة المنحني الأعظمي.

معاملات غوتنبرغ–ريختر للمصدر القوس القبرصي هي: b تساوي 0,4 و0,55، a تساوي 2,83 و3، وقدر الاكتمال يساوي 3,3 و2 للزلازل الآليّة القديمة والحديثة على التوالي. وهذا يعكس عدد الزلازل الكبيرة والصغيرة في قاعدة البيانات الزلزاليّة. إذ كلما تطورت الشبكات المستخدمة في الرصد الزلزالي كلّما زاد عدد الزلازل الصغيرة في قاعدة البيانات الزلزاليّة. بالنتيجة قاعدة البيانات الزلزاليّة المتوفرة في المركز الوطني للزلازل جيدة وتخدم الدراسات الزلزاليّة المختلفة.

الخلاصة

تقدِّم هذه الدراسة عدة طرق لاستنتاج معاملات غوتنبرغ_ريختر a, b وقدر الاكتمال Mc، وقد تبيَّن وجود تغيّر في قيم معاملات غوتنبرغ_ريختر a, b وقدر الاكتمال مع الزمن والقدر لكل من مصدر الغاب الزلزالي والقوس القبرصي.

أظهرت النتائج أنَّ طريقة القدر الأصغري تعطي دائماً قيماً أصغرية، وأنَّ طريقة المنحني الأعظمي MAXC ومجال كامل_القدر EMR تعطي نتائج جيدة لأنّها متوافقة مع الوضع التكتوني في سورية، إذ أنَّ الزلازل المدروسة تقع ضمن الصفيحة العربيّة intraplate، حيث تتراوح قيم b في البنيات ضمن الصفيحيّة بين 0,4 و0,7.

إنَّ القيم المستنتجة مفيدة جداً لحساب وإعداد خرائط الحذر الزلزالي لمنطقة الساحل والغاب حيث يمكن استخدامها ضمن موديل توزع بواسون الاحتمالي لتقدير قيمة التسارعات القصيّة. بالنتيجة قاعدة البيانات الزلزاليّة المتوفرة في المركز الوطني للزلازل جيّدة وتخدم العمل العلمي.

المراجع

(1) رائد أحمد، سامر زيزفون، أحلام خليل، عمار حمود. (2013). دراسة قاعدة البيانات الزلزالية المتوفرة في المركز، تقرير داخلي، المركز الوطني للزلازل. 1-13.

(2) 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.

(3) Ahmad, R. (2013). Seismic Hazard Assessment of Syria. Journal of seismology and earthquake engineering. 15(1), 1-13.

(4) Ahmad, R., Singh, R., Adris,A. (2017). Seismic hazard assessment of Syria using seismicity, DEM, slope, active faults and GIS. Elsevier, Remote Sensing Applications: Society and environment, 6, 59-70.

(5) Al-Khoubi, I., Stephen, H., John, A. (2000). Probabilistic Seismic Hazard Maps for Syria, National Earthquake Hazards Program (EAST), Geological Survey of Canada.

(6) Alchalbi, A., Daoud, M., Gomez, F., McClusky, S., Reilinger, R., Abu Romeyeh, M., Alsouod, A., Yassminh, R., Ballani, B., Darawcheh, R., Sbeinati, R., Radwan, Y., AlMasri, R., Bayerly, M., Al Ghazzi, R., Barazangi, M. (2009). Crustal deformation in northwestern Arabia from GPS measurements in Syria: Slow slip rate along the northern Dead Sea Fault. Geophysical Journal International, 180(1), 125-135.

(7) 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.

(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) Cao, A, M., and Gao, S, S. (2002). Temporal variation of seismic *b*-values beneath northeastern Japan island arc, Geophys. Res. Lett. 29, no. 9, doi 10.1029/2001GL013775.

(10) 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.

(11) El Ssayed, H., Zaineh, H., Dojcinovski, D., Mihailov, V. (2012). Re-Evaluations of Seismic Hazard of Syria. International Journal of Geosciences, 3, 847-855.

(12) Grünthal, G., Bosse, C., Sellami, S., Mayer-Rosa, D., Giardini, D. (1999). Global seismic hazard assessment program GSHAP Compilation of the GSHAP regional seismic hazard for Europe. Africa and the Middle East.

(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) Jackson, J., McKenzie, D., (1988). The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East. Geophysical Journal, 93, 45–73.

(16) Mahmoud, Y., Masson, F., Meghraoui, M., Cakir, Z., Alchalbi. A., Yavasoglu, H.,Yönlü, O., Daoud, M., Ergintav, S., Inan, S. (2012). Kinematic study at the junction of the East Anatolian fault and the Dead Sea fault from GPS measurements. Journal of Geodynamics, 67, 30-39.

(17) Malkawi, A., Liang, R., Nusairat, J., Al-Homoud, A. (1995). Probabilistic seismic hazard zonation of Syria. Natural Hazards, 12, 139-151.

(18) 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.

(19) McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M., Veis, G. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus [Journal] // Journal of Geophysical Research, 105(B3), 5695–5719.

(20) Ogata, Y., and K. Katsura (1993). Analysis of temporal and spatial heterogeneity of magnitude frequency distribution inferred from earthquake catalogs, Geophys. J. Int. 113, 727–738.

(21) Plassard, S. J. (1981). Seismic du Liban, Catalogue des Séismesressentis, 3e édition.

(22) Rydelek, P. A., and I. S. Sacks (1989). Testing the completeness of earthquake catalogs and the hypothesis of self-similarity, Nature337, 251–253.

(23) 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.

(24) Sobaih, M., Badawi, S., Ahmad, K. (1994). Probabilistic Estimates of the Seismic Ground Motion Hazard in Syria, the first Cairo earthquake symposium, Cairo, ESEE.

(25) Talukdar, P. (2013). Seismic study and spatial variation of b-value in northeast India. IOSR Journal of applied physics. 4(3), 31-40.

(26) Taylor, D. W. A., J. A. Snoke, I. S. Sacks, and T. Takanami (1990). Nonlinear frequency-magnitude relationship for the Hokkaido corner, Japan, Bull. Seism. Soc. Am. 80, 340–353.

(27) Wiemer, S., and M. Wyss (2000). Minimum magnitude of complete reporting in earthquake catalogs: examples from Alaska, the Western United States, and Japan, Bull. Seism. Soc. Am. 90,859–869.

(28) Woessner, J and Wiemer, S. (2005). Assessing the Quality of Earthquake Catalogues: Estimating the Magnitude of Completeness and Its Uncertainty, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 95, No. 2, pp. 684–698, April 2005, doi: 10.1785/0120040007.

View publication stats