ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/330501076

Using the seismic focal mechanism to evaluate the neotectonic along the active faults in the coastal region, Syria

Article · December 2018

CITATION
1

READS
412

4 authors, including:

Mohammed Alissa
Higher Institute of Earthquake Studies and Research
7 PUBLICATIONS **9** CITATIONS

SEE PROFILE

Mohamad Khir Abdul-Wahed
Atomic Energy Commission of Syria
65 PUBLICATIONS **286** CITATIONS

SEE PROFILE

All content following this page was uploaded by Mohamad Khir Abdul-Wahed on 19 January 2019.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

استخدام آلية البؤرة الزلزالية لتقدير التكتونيك الحديث على امتداد الصدوع النشطة في المنطقة الساحلية في سوريا

محمد جهاد العيسى[1]، محمد خير عبد الواحد[2]، نضال شقير[1]، سامر زيزفون[3]

(1) المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق
(2) قسم الجيولوجيا– هيئة الطاقة الذرية السورية
(3) المركز الوطني للرصد الزلزالي، دمشق–سورية

ملخص

يهدف هذا البحث إلى إجراء تحديد أولي للنطاقات النشطة زلزالياً في المنطقة الساحلية باستخدام حلول آلية البؤرة الزلزالية لأكبر الهزات المسجلة بالشبكة الوطنية للرصد الزلزالي منذ تأسيسها في العام 1995. تم الحصول على حلول آلية البؤرة الزلزالية لحوالي 42 حدث زلزالي يملك كل منها خمس قطبيات (أول حركة) للموجة الطولية (P) على الأقل. كان لمعظم هذه الأحداث آلية التصدع العادي بتوافق مع تكوين البنيات المحلية المولدة للزلازل في المنطقة الساحلية. كانت آلية الإزاحة جانبية أكثر ندرة ومحصورة في بعض المناطق من الشريط الساحلي مثل الامتداد الشمالي لنظام صدع البحر الميت. أظهرت النتائج أنه رغم صغر قدر الأحداث الزلزالية المسجلة إلا أنها قد زودتنا بصورة مترابطة للتشوهات التي تحدث حالياً على طول الصدوع النشطة في تلك المنطقة لكن بالمقابل فإن صدوع أخرى قد ظهرت غير نشطة خلال فترة هذه الدراسة.

الكلمات المفتاحية: آلية البؤرة الزلزالية، التكتونيك الحديث، المنطقة الساحلية، سورية

Using the seismic focal mechanism to evaluate the neotectonic along the active faults in the coastal region, Syria

Mohammed.ALISSA[(1)], Mohamad Khir ABDUL-WAHED [(2)], Nidal SHOUKEIR[(1)], Samer ZEIZAFOUN [(3)]

(1) Higher Institute of Earthquake studies and Research, Damascus university E-mail: mohammed. alissa11985 @gmail.com, (2) Dept. of Geology, The Atomic Energy Commission of Syria, (3) National Earthquake Center (NEC).

Abstract

The aim of this study was to outline the seismologically active zones in the coastal region of Syria using the focal mechanisms of the largest events recorded by the Syrian National Seismological Network over the last decade. A dataset of fault-plane solutions was obtained for 42 events having at least 5 P-wave polarities. Most of these events had normal mechanisms in agreement with the local configurations of the seismogenic faults in the coastal region. Strike–slip mechanisms were more scarce and were restricted to certain areas, such as the northern extension of dead sea fault system. These data show that despite the relatively small magnitudes of the events studied, they provide a coherent picture of the deformation that has currently been taking place along the active faults. However, some other faults were inactive during the period of this study.

Keywords: seismic focal mechanism, neotectonic, coastal region, Syria.

1- مقدمة

تقع سورية في الطرف الشمالي من الصفيحة العربية (الشكل 1) ويحدها من الغرب الجزء الشمالي من نظام صدع البحر الميت. يتقاطع هذا النظام في شمال المنطقة الساحلية قرب مدينة أنطاكية مع نظام صدع الأناضول الشرقي واللذين يشكلان الحدود الشمالية الغربية للصفيحة العربية ويظهران بوضوح في خارطة التكتونيك الحديث لسورية (Rukieh et al. 2005). أظهرت الدراسات السابقة أن التشوهات التكتونية في سورية عموماً (e.g Barazangi et al. 1993) تتحكم بها عمليات تصادم–انفتاح متكررة وتحركات عند أطراف الصفيحة العربية (الشكل 1). وقد شرحت الدراسات السابقة لآلية البؤرة، للأحداث الزلزالية التي وقعت في سورية، أن التشوهات النشطة حالياً ذات مظهر إزاحة يسارية مع مركبة أصغرية للتصدع العادي ويرافق هذه التشوهات أحواض شدية تمزقية على طول نظام صدع البحر الميت (Garfunkel et al. 1981, Chaimov et al. 1990, Barazangi et al. 1993). بناء على ما سبق تعتبر المنطقة الساحلية من المناطق الأكثر نشاطاً في سورية من الناحيتين التكتونية والزلزالية وجديرة بالاهتمام لتنفيذ دراسات علمية تفصيلية لهذا النشاط وما يحمله من مخاطر.

يهدف هذا البحث إلى تحديد آلية البؤرة الزلزالية لأكبر الهزات التي سجلتها الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي في المنطقة الساحلية وصولاً إلى تقييم النشاط التكتوني الحديث على امتداد الصدوع النشطة في تلك المنطقة. وإذا أخذنا بالحسبان أن دورة تكرار الزلازل الكبيرة

(M≥5) في سورية والتي تُعتبر طويلة نسبياً حسب ما قدرها (Ambraseys and Barazangi, 1989) بحوالي 200–350 سنة لذلك فإن بعض الصدوع قد تبدو غير نشطة زلزالياً خلال فترة البحث. لقد تم التركيز في هذا البحث على حساب آلية البؤرة لعدد من الهزات الأرضية التي سجلتها الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي والتي يملك كل منها خمس قطبيات (أول حركة) للموجة الطولية (P) على الأقل وذلك بحيث تكون صالحة نسبياً لحساب آلية البؤرة وقابلة للمقارنة مع الصدوع الرئيسة في المنطقة الساحلية.

2- النشاط الزلزالي الحديث في سورية

تأسست الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي وبدأت عملها في 14 كانون الثاني 1995 حسب (Dakkak et al. 2005). تتألف هذه الشبكة من 27 محطة قصيرة الدور (1 Sec) وقد زودتنا بمعطيات الزلزالية الآلية المحلية لأول مرة في سورية. كان الهدف التصميمي لهذه الشبكة رصد كل نشاط زلزالي قابل للتمييز على طول نظام صدع البحر الميت وفروعه في سورية ولبنان (الشكل 2). ويمكن أن نجد معلومات تفصيلية حول هذه الشبكة مثل نظام التحصيل والنقل والمعالجة والتسجيل في المرجع (Dakkak et al. 2005). سجلت الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي حوالي 5000 حدث محلي منذ تأسيسها في كانون الثاني 1995 ولغاية 2011 (Abdul-Wahed and Asfahani, 2018) وتتركز الزلزالية الآلية الرئيسة (الشكل 3) على طول نظام صدع الأناضول الشرقي والامتداد الشمالي لنظام صدع البحر الميت وخصوصاً في لبنان من خلال عدة زلازل معتدلة ($5<M_S<6$). وتتميز زلزالية الداخل السوري

بوجود تجمعات عديدة لأحداث ضعيفة ($M_L<4$) والتي تلاحظ في عدة مناطق مثل منطقة البسيط والشريط الساحلي (الشكل 3). وصفت العديد من الدراسات السابقة للنشاط الزلزالي في سورية (Garfunkel et al. 1981, Chaimov et al. 1990, Barazangi et al. 1993, Brew 2001) على أنه يتراوح بين المعتدل والضعيف حيث أظهرت تسجيلات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي أن هذا النشاط ينتج سنوياً عدداً قليلاً من هزات منخفضة القدر مقارنة مع الدول المجاورة. تبين الدراسات السابقة المتعلقة بآلية البؤرة للأحداث الزلزالية التي وقعت في سورية أن معظم التشوهات النشطة تكون ذات مظهر إزاحة يسارية مع مركبة أصغرية للتصدع العادي ويرافقها أحواض شدية تمزقية على طول نظام صدع البحر الميت (Abdul-Wahed and Al-Tahan 2010, Abdul-Wahed et al., 2011).

3- منطقة الدراسة

تم تحديد منطقة الدراسة بين خطي عرض 34.5 و 36.5 شمالاً وخطي الطول 35.5 و 36.5 شرقاً (الشكلان 3 و 4). تتضمن هذه المنطقة نظامين صدعيين إقليميين هما نظام صدع البحر الميت (DSFS: Dead Sea Fault System) ونظام صدع الأناضول الشرقي. وتتكون هذه

المنطقة بنيوياً من قسمين: القسم الشرقي ويشمل منخفضي الغاب ومصياف والتي بينت الدراسات الحديثة (Barazangi et al. 1993, Brew et al. 2001) أنها أحواض تمزقية (Pull apart)والقسم الغربي الذي يشمل سلسلة الجبال الساحلية. تطرقت الدراسات السابقة إلى دراسة البنيات التكتونية وحركتها تحت تأثير نظام صدع البحر الميت عليها (Al-abdalla, 2008). وتمّ وضع العديد من الخرائط الأساسية للمنطقة منها خريطة التوضعات الرباعية والخريطة الجيومورفولوجية وخريطة التكتونيك الحديث (Trifonov et al, 2012; Trifonov, 1991). وقام العبد الله (Al-abdalla, 2010) بدراسة التطور التكتوني للسلسلة الساحلية منذ الميزوزوي وحتى الوقت الحالي.

يعمل نظام صدع البحر الميت على احتواء الحركة التفاضلية للصفيحتين العربية والإفريقية حيث يبلغ مقدار الحركة النسبية على امتداد هذا الصدع حوالي (18±2 mm) تقريباً بالسنة حسب (McClusky et al., 2000). يدخل نظام صدع البحر الميت الأراضي السورية في جنوب منطقة الدراسة عبر صدع مصياف ذو الاتجاه شمال–جنوب والذي يتفرع إلى صدعين يتباعدان عن بعضهما كلما اتجهنا شمالاً ليشكلا حوض الغاب الذي ترتفع حافته الغربية إلى 1200م فوق قاعه وقد أظهرت الآبار المحفورة ونتائج الدراسات الجيوفيزيائية الإزاحة الشاقولية الأعظمية لصدع الغاب الغربي تصل إلى 2500م (Devyatkin et al. 1997). أما الحافة الشرقية لحوض الغاب فترتفع إلى 600م فوق قاعه وقد قدرت الدراسات السابقة أن الإزاحة الشاقولية الأعظمية لصدع الغاب الشرقي لا تزيد على 1500م (Devyatkin et al. 1997). ويرافق هذه الصدوع الضخمة مجموعة من الصدوع الجانبية والتي تنتشر على الحافة الغربية وتقطع

سلسلة الجبال الساحلية (الشكل 4). تتخامد الصدوع المشكلة لحوض الغاب في الشمال قرب بحيرة العمق. تمتد سلسلة الجبال الساحلية إلى الغرب من صدعي مصياف والغاب الغربي وهي عبارة عن بنية كتلية ناهضة مرتبطة بنظام صدوع البحر الميت الانزياحية حيث يتميز جناحها الشرقي بانحداره الشديد وبنيته السلمية. يقطع المناطق الناهضة من هذه السلسلة مجموعة من الصدوع الثانوية المتجهة نحو الجنوب الغربي وقد يمتد بعضها في البحر. أما نظام صدع الأناضول الشرقي فيقع في شمال منطقة الدراسة ويعتبر منطقة انتقالية بين الصفيحة العربية وبين نطاق الطي الألبي الممتد في شمال هذا النظام والمتمثل بسلسلة جبال طوروس ويحده من الجنوب الشرقي منظومة صدوع اللاذقية–كلس. ويختلف نظام صدع الأناضول الشرقي اختلافاً ملحوظاً في بنيته المعقدة وتاريخ تطوره عن بنيات المنحدر الشمالي للصفيحة العربية وتتكشف فيه الركيزة البلورية على السطح. تقسم امتدادات نظام صدع البحر الميت المتجهة بالاتجاه شمال–جنوب هذا النطاق إلى منطقتين البسيط والكرد–داغ.

تقع منطقة البسيط إلى الغرب من منظومة صدوع اللاذقية–كلس ويحدها من الشمال مجرى العاصي الأسفل أما من الجنوب الشرقي فيحدها منخفض الكبير الشمالي والمرتبط بنظام صدوع اللاذقية–كلس. يقطع منطقة البسيط العديد من الصدوع ذات الاتجاه العام شمال شرق–جنوب غرب ، وتنتمي إلى المنظومة اللاذقية–كلس بالإضافة إلى صدوع جانبية متقاطعة معها. يظهر النشاط الزلزالي بوضوح على امتداد تلك على الصدوع ونذكر منها صدع يمتد من جنوب أوردو

إلى جنوب البدروسية، ويستمر في البحر بالاتجاه الجنوب الغربي. وهناك محور ثان له نفس الاتجاه ويمتد من قرب دركوش، شمال بداما، الرابية، بلوران ويستمر في البحر بالاتجاه الجنوب الغربي. وثمة محور ثالث يوافق صدع عين البيضا ويستمر في البحر بالاتجاه الجنوب الغربي. يشكل صدع النهر الكبير الشمالي الحدود الجنوبية لمنطقة البسيط.

تأثرت منطقة الدراسة من الناحية التكتونية بفعل حركتين وهما: حركة التطور البنيوي للسلسلة الساحلية ممثلة بالمناطق الواقعة إلى الجنوب من نهر الكبير الشمالي وبعيداً عنه باتجاه الشرق والجنوب الشرقي، والحركات التكتونية الألبية ممثلة بالمناطق الواقعة إلى الشمال والشمال الغربي من نهر الكبير الشمالي، حيث تنفصل الحركتين بالمنخفض النيوجيني لنهر الكبير الشمالي وبنظام صدوع اللاذقية–كلس (Trifonov, 1991).

4- الطرائق المستخدمة

إن العديد من الملاحظات قد سمحت بالوصول إلى آلية البؤرة الزلزالية (Seismic focal mechanism) للهزات الأرضية اعتباراً من التسجيلات الزلزالية المتولدة عنها (Lay and Wallace 1995). وبشكل عام فإنه في حالة شبكات الرصد ذات الكثافة الكافية والتوزع الجغرافي المنتظم لمحطات الرصد حول المنبع الزلزالي والذي يضمن تغطية جميع زوايا السمت حول البؤرة الزلزالية فإن قطبية الموجة الطولية (P) تعتبر كافية لاستخلاص مميزات آلية الهزات الأرضية (الشكل 5). قد تكون قطبية الموجة الطولية (P) موجبة إذا كانت أول حركة نحو

الأعلى فتوصف بأنها انضغاطية ويرمز لها ب(C: compression) أو تكون قطبية الموجة الطولية (P) سالبة إذا كانت أول حركة نحو الأسفل فتوصف بأنها تمددية ويرمز لها ب(D: dilatation) (الشكل 5). قام (Snoke et al., 1984) بإعداد البرنامج (FOCMEC) لحساب آلية البؤرة الزلزالية بالاعتماد على قطبية الموجة الطولية (P) وعلى نسبة السعة (SV/P) (حيث يشير الرمز P لسعة الموجة P و يشير الرمز SV لسعة المركبة الشاقولية للموجة S) وقد طور (Hardebeck and Shearer, 2002, 2003) في برنامجهما (HASH) تلك التقنية فوسعاها لتستخدم نسبة السعة (S/P) ولتأخذ بعين الاعتبار جميع مصادر الخطأ المؤثرة بحيث تكون آلية البؤرة المحسوبة أكثر استقراراً. لكن (Reasenberg and Oppenheimer, 1985) استخدما قطبية الموجة الطولية (P) فقط في إعداد البرنامج الحاسوبي (FPFIT) والذي يجري بحثاً شبكياً لأفضل توافق بين المستويين العقدين والقطبيات الملاحظة. أما (Suetsugu, 1998) فقد اعتبر في برنامجه (PINV) أن قطبيات الموجة الطولية (P) إما +1 أو −1 كقيم سعوية عظمى وصغرى على التسلسل وقام بإجراء عملية قلب مصفوفة العزوم (Moment tensor inversion) لإيجاد مزدوجة القوى دون إعطاء أي تقدير للخطأ للحكم على مدى موثوقية حلول المستويات الصدعية (Fault plane solutions).

تفترض البرامج السابقة أن المنبع الزلزالي من النموذج النقطي وذو آلية ثنائية مزدوجة القوى وأن موقع البؤرة الزلزالية محدد بدقة وأن معاملات آلية البؤرة الزلزالية هي الاتجاهات الزاوية للصدع

(السمت والميل والانزلاق) حسب ما عرفها (Aki and Richards 1980) حيث تمثل مستويات الحلول بأخذ مسقط تقاطعها مع النصف السفلي للكرة البؤرية. قام (Salamon et al., 2003) بحساب آلية البؤرة للزلازل التي قدرها المحلي (ML ≥4) المسجلة في منطقة شرق المتوسط خلال القرن العشرين باستخدام البرنامج الحاسوبي (FPFIT) ووجد أن الحلول الشاذة تؤكد على مدى تعقد عمليات التشوه على طول نظام صدع البحر الميت. كذلك استخدم هذا البرنامج (Bräuer, 2011) لحساب آلية البؤرة الزلزالية لحوالي 30 حدث محلي وقعت في حوض البحر الميت.

5- جودة المعطيات

أدت الزلزالية المنخفضة في سورية وعدم كفاية تغطية محطات شبكة الرصد كما ورد في المرجع(Dakkak et al. 2005) إلى الحد من عدد حلول المستوي الصدعي التي يمكن الحصول عليها في منطقة الدراسة. لذلك فقد تفحصنا بدقة كل المعطيات المتوفرة وكذلك موثوقية الحلول بهدف الحصول على أكثر ما يمكن من المعلومات منها. بما أن غالبية الأحداث الزلزالية المسجلة في سورية كانت أحداث ضعيفة (Abdul-Wahed and Al-Tahan 2010, Abdul-Wahed et al., 2011; Abdul-Wahed and Asfahani, 2018) فقد اعتبرنا جميع الأحداث المحلية التي تمتلك خمسة قطبيات للموجة P كحد أدنى صالحة لحساب آلية البؤرة الزلزالية. طبقاً لذلك فإن مجموعة مختارة مكونة من 42 حدث وقعت

داخل منطقة الدراسة كانت معتبرة كأحداث رئيسة صالحة لتحليل قطبية الموجة الطولية (P). تمت معالجة هذه المجموعة المختارة باستخدام الأدوات البرمجية التي يقدمها البرنامج Seisan 10.3 بدءاً من عرض الشكل الموجي وتحديد أزمنة الوصول وحتى الحصول على آليات البؤرة الزلزالية.

يعتبر التحديد الدقيق لموقع البؤرة عاملاً حاسماً في التميز الموثوق لمعاملات التصدع وبهدف تحسين الدقة في الأحداث المختارة طبقنا التصفية الرقمية على التسجيلات لتحسين نسبة الإشارة إلى الضجيج وقمنا بتحديد جميع أطوار الموجتين P و S يدوياً. ونتيجة لذلك فقد زاد عدد قراءات أزمنة الوصول. ثم قمنا بإعادة تحديد مواقع البؤر باستخدام أزمنة الوصول الجديدة ونفس النموذج السرعي المستخدم في الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي. يعرض الشكل 6 توزع البؤر السطحية للأحداث الزلزالية المعتبرة صالحة لدراسة آلية البؤرة ضمن منطقة الدراسة.

6- النتائج

تم تطبيق برمجيات آلية البؤرة المذكورة أعلاه والتي يقدمها البرنامج Seisan 10.3 على الأحداث المختارة. كان لأغلب هذه الأحداث آلية التصدع العادي بتوافق مع البنيات الصدعية المحلية أما آلية الإزاحة الجانبية فكانت أكثر ندرة (بضعة أحداث فقط) ومحصورة في بعض

المناطق مثل الامتداد الشمالي لصدع الغاب. كما لوحظت آلية التصدع العكسي في حدثين فقط وقعا في البحر. يعرض الشكل 7 مظاهر آليات البؤرة الزلزالية المحسوبة من أجل المجموعة المختارة من الهزات المسجلة في المنطقة الساحلية من سورية. يعكس هذا المظهر البنيات المحلية المولدة للزلازل في تلك المنطقة.

7- المناقشة

تغطي منطقة الدراسة نطاقين تكتونيين رئيسين هما نظام صدع البحر الميت ونظام صدع الأناضول الشرقي. يتقاطع هذان النظامان في شمال-شرق أنطاكية حيث وقعت العديد من الهزات المختارة وقد امتدت بؤرها بالاتجاه جنوب-غرب حتى البحر. كما كانت بعض الأحداث واقعة على الصدوع الجانبية نظام صدع البحر الميت في سلسلة الجبال الساحلية. يتميز نظام صدع البحر الميت وفروعه (مثل صدع سرغايا في سورية وصدعي اليمونة في لبنان) بحركة إزاحة جانبية يسارية والتي تم التعرف عليها من خلال الأحواض التمزقية الشدية الصغيرة في الرسوبيات الحديثة (Garfunkel et al. 1981, Trifonov 1991, Brew et al. 2001)، ومن خلال قطع وإزاحة المجاري المائية والمنشآت التي بناها الإنسان (Brew et al. 2001, Gomez et al. 2001, Gomez et al. 2003, Meghraoui et al. 2003, Gomez et al. 2006). تدعم الزلزالية الحالية الملاحظة على طول الجزء الجنوبي من نظام صدع البحر الميت نتائج تلك الأبحاث (Salamon et al. 2003). لكن نتائج هذا البحث لم تُظهر تلك الإزاحة الجانبية اليسارية والمميزة للصدوع الإقليمية كآلية مسيطرة كما يتوقع الكثيرون بل كان

لأغلب الأحداث المعالجة آلية التصدع العادي. أشارت النتائج التي حصلنا عليها في هذا البحث إلى وجود مركبة إزاحية جانبية ترافق آلية التصدع العادي في معظم آليات البؤرة المحسوبة كما هو الحال في الحدثين الذين وقعا في حوض الغاب وكما هو الحال في الحدث الواقع في جنوب تل كلخ. يمكن أن تكون هذه الأحداث مرتبطة بصدوع شد–انتقالي محلية. أما في منطقة اسكندرون حيث يتقاطع نظام صدع البحر الميت مع نظام صدع الأناضول الشرقي (الشكلان 1، 3) فقد ظهرت آلية بؤرة واحدة على هيئة إزاحة جانبية يسارية المضرب ويمكن ربط هذا الحدث بامتداد هوامش نظام صدع البحر الميت. لقد كان لمعظم الأحداث الواقعة في تلك المنطقة آلية تصدع عادي مع غياب المركبة الإزاحية. إن معظم الآليات التي أمكن حسابها قد أتت من أحداث صغيرة القدر لذلك فإنها على الأرجح قد نتجت عن تحرك بعض الصدوع المحلية وبالتالي يمكن لها أن تمثل التغيرات المحلية بحقل الإجهاد. بالمقابل فإن غياب الأحداث الزلزالية كبيرة القدر يمكن أن يدفعنا للاعتقاد أن الصدوع الإقليمية الكبيرة تمر حالياً بفترة من الهدوء الزلزالي والذي بدأ منذ 850 سنة كما أشار (Meghraoui et al. 2003). يدعم هذا الاعتقاد عدم ظهور آليات الإزاحة الجانبية اليسارية المضرب والتي تميز الصدوع الإقليمية الكبيرة في منطقة الدراسة. لكن رغم ذلك فإن تنوع آليات البؤرة المحسوبة يسمح لنا بوضع تصور قيم عن مدى تعقد البنيات الممتدة على طوله نظام صدع البحر الميت. وطبقاً لنتائج هذا البحث فإن العديد من الأحداث الزلزالية الواقعة في هوامش نظام صدع البحر الميت كان لها

آلية بحتة تصدع عادي. من المحتمل أن تكون هذه الأحداث مرتبطة ببنيات محلية وبحركة جانبية ناتجة عن قوى الشد على طول هذا النظام.

8- الخاتمة

تم في هذا البحث تحليل قاعدة التسجيلات الزلزالية للشبكة الوطنية للرصد الزلزالية في المنطقة الساحلية بهدف اختيار الأحداث الصالحة لحساب آلية البؤرة الزلزالية. ونتيجة لذلك تبين أن هناك 42 حدث زلزالي وقعت خلال الفترة 1995–2011 كان لها خمس قطبيات للموجة (P) على الأقل وهو الحد الأدنى لحساب آلية البؤرة الزلزالية. بينت آليات البؤرة المحسوبة أن معظم تلك الأحداث الزلزالية قد نتجت عن آلية التصدع العادي ولم تكن لها آلية الإزاحة الجانبية والتي تميز الصدوع الإقليمية في منطقة الدراسة. إن آليات التصدع العادي الملاحظة في المنطقة الساحلية كانت لأحداث صغيرة القدر ويمكن لها أن ترتبط بالمظاهر المحلية للشد–انتقال على طول هوامش نظام صدع البحر الميت وبالتالي تعكس حقل الاجهاد المحلي. لكن على الرغم أن الأحداث المدروسة كانت نسبياً صغيرة القدر إلا أنها زودتنا بصورة متماسكة للتشوهات التي تحدث على طول الصدوع النشطة في المنطقة الساحلية من سورية. تبقى هذه النتائج أولية بالنظر لكون زمن العودة للزلازل الكبيرة ($M\geq5$) طويل نسبياً في سورية وبالتالي فمن المرجح أن بعض الصدوع التي لم تُظهر نشاطاً زلزالياً خلال فترة هذه الدراسة قد تكون نشطة خلال فترة زمنية أطول.

كلمة شكر

يتوجه مؤلفو هذا البحث بالشكر الجزيل إلى المركز الوطني للرصد الزلزالي لتزويدهم بالتسجيلات الزلزالية وبعض المعلومات والمعطيات الهامة وبشكل خاص الجيوفيزيائي نظير اليوسف كما يتقدمون بالشكر للأستاذ الدكتور إبراهيم عثمان المدير العام لهيئة الطاقة الذرية لدعمه هذا البحث.

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., 2012, The focal mechanism of recent largest seismic events in Syria. The 7th Gulf Seismic forum, Saudi Geological Survey; 22-25 January 2012, Jeddah, Saudi Arabia.

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.

Aki K. & Richards P. G. (1980), Quantitative Seismology, Theory and methode. San Fransisco : W. H. Freeman and Co.

Al-Abdalla, A. 2008. Evolution tectonique de la plateforme arabe en Syrie depuis le Me´sozoı ¨ que. PhD thesis, Me´moire de the`se de l'Universite´ de Paris 6, Paris, 302 (in French).

Al abdalla A., Barrier E., Matar A. & Muller C., (2010), Late Cretaceous to Cenozoic tectonic evolution of the NW Arabian platform in NW Syria, Geological Society, London, Special Publications 2010; v. 341; p. 305-327, doi:10.1144/SP341.15.

Ambraseys N. and Barazangi M., (1989), The 1759 earthquake in the Bekaa valley: implication for Earthquake Hazard Assessment in the Eastern Mediterranean Region. Geophys. Res. J., Vol. 94, PP. 4007-4013.

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 Seimicity of the Mediterranean Region, pp. 117-140, Kluwer Academic Publisher, the Netherlands.

Bräuer B., (2011), The structure of the southern Dead Sea basin revealed from

local earthquake data, Dissertation, am Fachbereich Geowissenschaften, der Freien Universität Berlin, Potsdam, Mai 2011.

Brew G., Barazangi M., Al-Maleh A. K., Sawaf T.(2001), Tectonic and geologic evolution of Syria, GeoArabia, Vol. 6, PP 573-616.

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.

Devyatkin, E. V., Dodonov, A. E., Sharkov, E. V., Zykin, V. S., Simakova, A. N., Khatib, K. and H. Nseir, H., (1997). The El-Ghab Rift Depression in Syria: Its Structure, Stratigraphy, and History of Development. Stratigraphy and Geological Correlation, Vol. 5, No. 4, 1997, pp. 362–374.

Garfunkel Z., Zak Y. & Freund R., (1981), Active faulting in the Dead Sea rift, Tectonophysics, Vol. 80, PP. 1-26.

Gomez F., Meghraoui M., Darkal A. N., Sbeinati R., Darawcheh R., Tabet C., Khawlie M., Charabe M., Khair K. & Barazangi M., (2001), Coseismic displacements along the Serghaya fault : an active branch of the Dead Sea Fault System in Syria and Lebanon, J. Geol. Soc. Lond., Vol 158, PP. 405-408.

Gomez F., Meghraoui M., Darkal A. N., Hijazi F., Mouty M., Suleiman Y., Sbeinati R., Darawcheh R., Al-Gazzi R. & Barazangi M., (2003), Holocene faulting and earthquake recurrence along the Serghaya branch of the Dead Sea Fault System in Syria and Lebanon, Geophysical J. Int.., Vol 153, PP. 658-674.

Gomez F., Khawlie M., Tabet C., Darkal A. N., Khair K. & Barazangi M., (2006), Late Cenozoic uplift along the northern Dead Sea transform in Lebanon and Syria, Erth and Planetry Science Letters, Vol. 241, PP. 913-931.

Hardebeck, J. L. and Shearer, P. M. (2003). Using S/P Amplitude Ratios to Constrain the Focal Mechanisms of Small Earthquakes. Bull. Seismol. Soc. Am., 93:2434{2444.

Hardebeck, J. L. and Shearer, P. M. (2002). A new method for determining first motion focal mechanisms. Bull. Seismol. Soc. Am., 92:2264{2276.

Lay C. & Wallace T. C., (1995), Modern global seismology, San Diego ; Academic Press.

McClusky, S.C., Balassanian, S., Barka, A., Ergintav, S., Georgie, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidse, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmout, S., Mishin, A., Nadaria, M., Ouzounis, A., Paradisissis, D., Peter, Y., Pirilepin, M., Reilinger, R.E., Sanli, I., Seeger, H., Teableb, A., Toksöz, N., Veis, V., 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean Caucasus. Journal of Geophysical Research 105, 5695–5719.

Meghraoui M., Gomez F., Sbeinati R., Van der Woerd J., Mouty M., Darkal A. N., Radwan Y., Layyous I., Al-Najjar H., Darawcheh R., Hijazi F. & Barazangi M., (2003), Evidence for 830 years of seismic quiescence from palaeoseismology, archaeo seismology and historical seismicity along the Dead Sea Fault System, Erth and Planetry Science Letters, Vol. 210, PP. 35-52.

Ponikarov, V.P. 1966. The Geology of Syria. Explanatory Notes on the Geological Map of Syria, Scale 1:200,000. Ministry of Industry, Damascus, Syrian Arab Republic.

Reasenberg, P. and Oppenheimer, D. (1985). Fpfit, fpplot, and fppage: Fortran computer programs for calculating and displaying

earthquake fault plane solutions. Technical report, U.S. Geol. Survey.

Reilinger, R., et al. (2006), GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, J. Geophys. Res., 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.

Rukieh, M., Trifonov, V. G., Dodonov, A. E., Minini, H., Ammar, O., Ivanova, T. P., Taza, T., Yusef, A., Al-Shara, M., Jobaili, Y., 2005. Neotectonic map of Syria and some aspects of Late Cenozoic evolution of the northwestern boundary zone of the Arabian plate. Journal of Geodynamics, 40, 235-256.

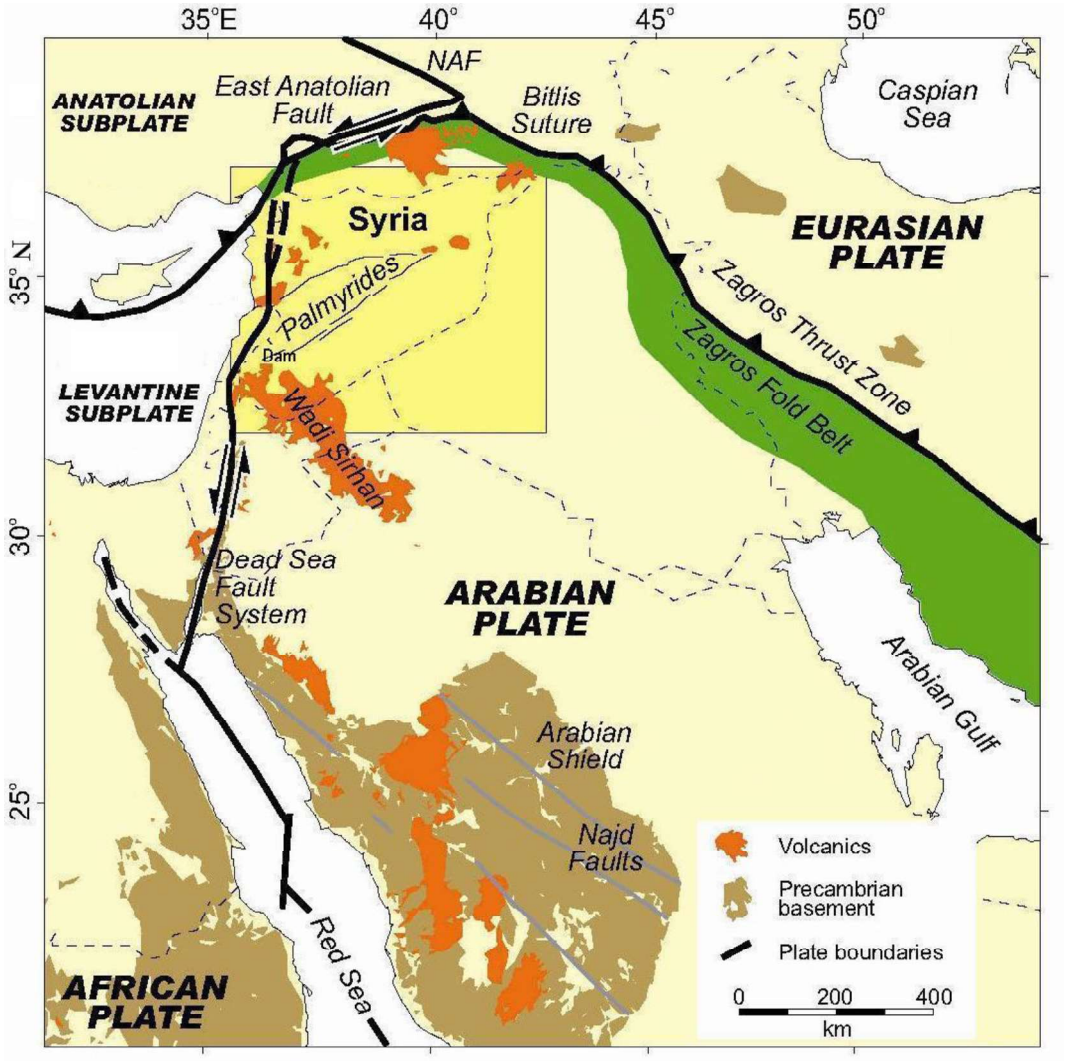
Salamon A., Hofstetter, A., Garfunkel Z., Ron H. (2003), Seismotectonics of the Sinai subplate – the eastern Mediterranean region, Geophys. J. Int., Vol. 155, PP 149-173.

Snoke, J. A., Munsey, J. W., Teague, A. G., and Bollinger, G. A. (1984). A program for focal mechanism determination by combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data. Earthquake notes, 55.

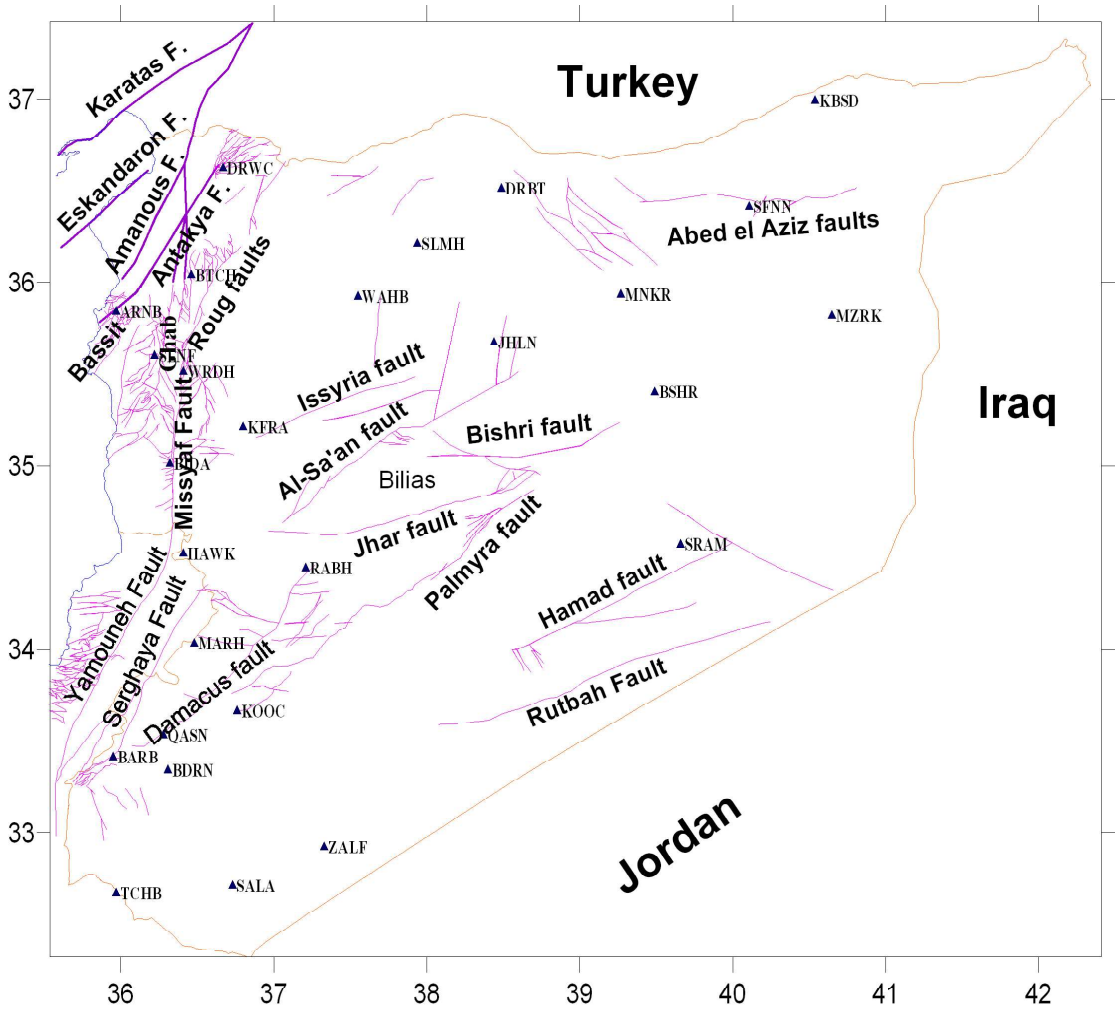
Suetsugu, D. (1998). Practice on source mechanism, iisee lecture note. Technical report, Tsukuba, Japan.

Trifonov et al., (2012), Neotectonics, recent geodynamics and seismic hazard of Syria. In: Transactions of the geological institute, vol 598. GEOS, Moscow, 204 pp

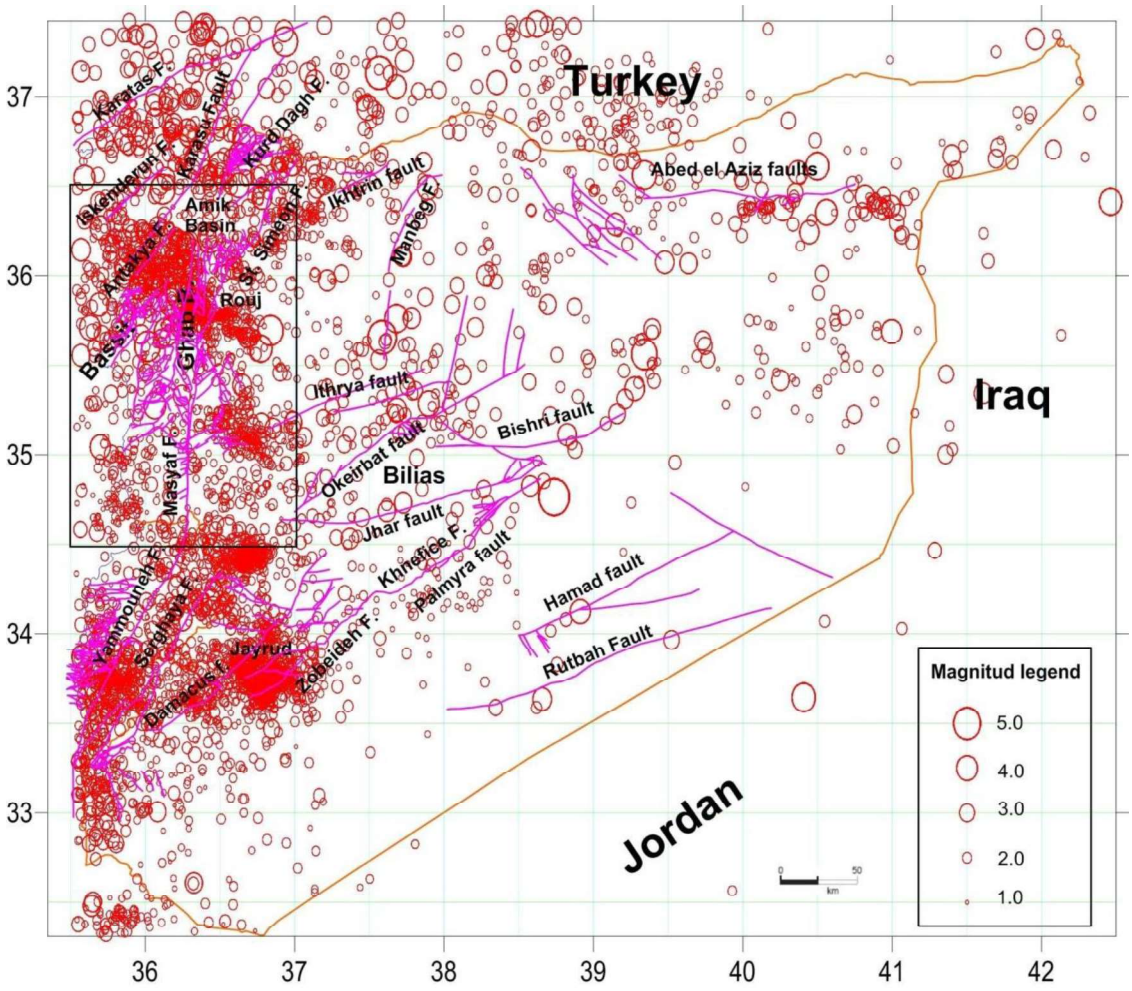
Trifonov V. G. (1991), Levent fault zone in the northwest Syria, Geotectonics, Vol. 25, PP 145-154.



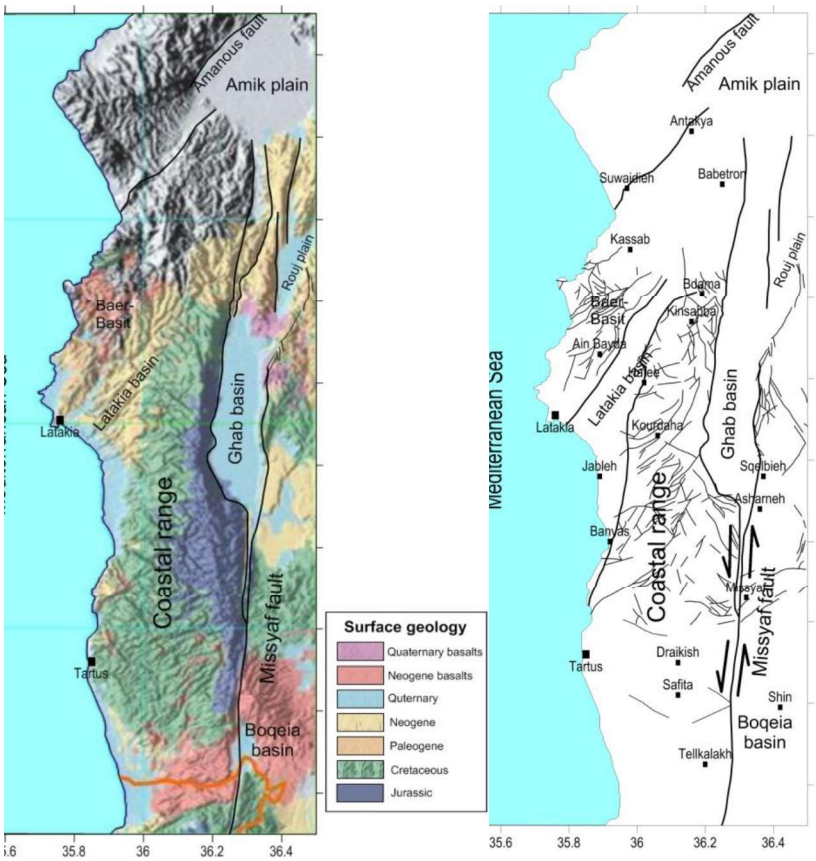
شكل.1: خريطة تكتونية إقليمية لشمال الصفيحة العربية وجوارها تظهر قُرب سورية من عدة حدود صفائحية نشطة. Dam ترمز لدمشق، NAF ترمز لصدع الأناضول الشمالي (معدلة عن Brew et al. 2001). يعرض المربع الأصفر موقع الأشكال 2 و 3.



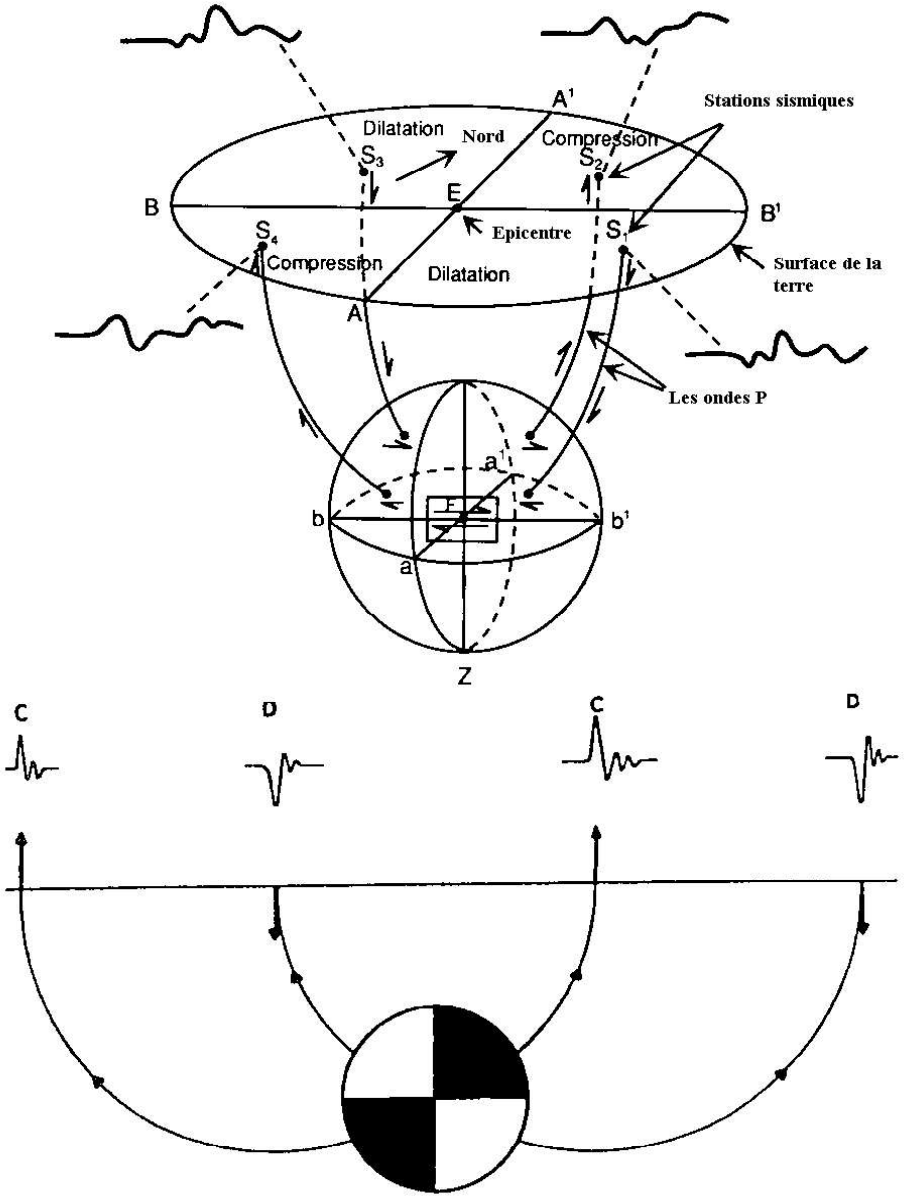
شكل.2: خريطة للتوزع الجغرافي للشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي (▲) وأهم الصدوع في سورية.



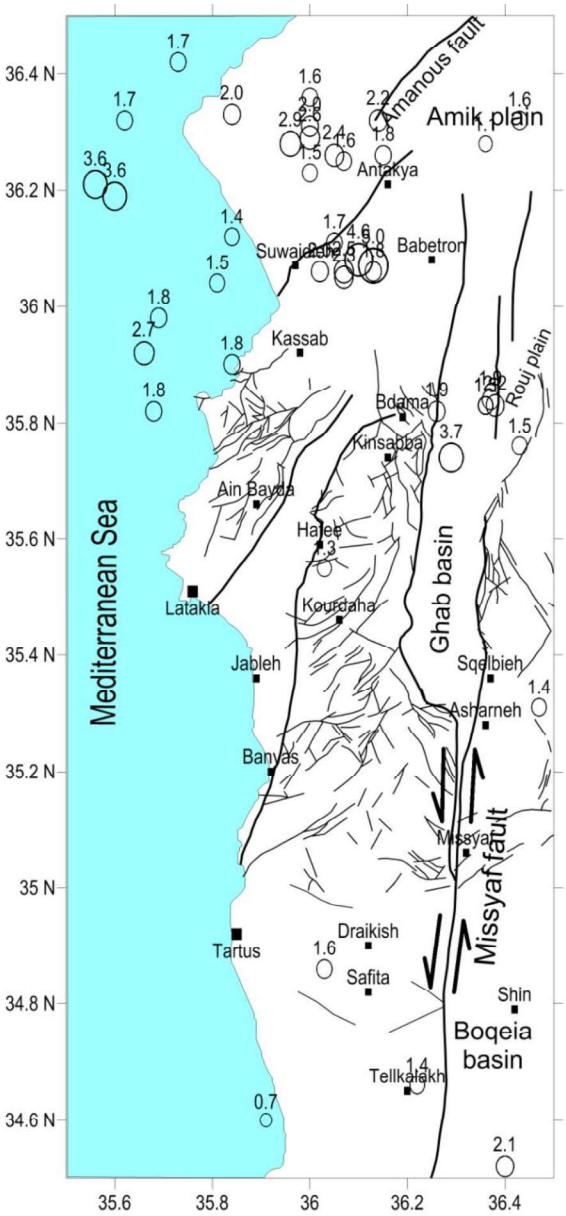
شكل.3: النشاط الزلزالي في سورية وجوارها كما وثقته الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي من 1995 وحتى 2012 (Abdul-Wahed and Asfahani , 2018). يشير المستطيل إلى حدود منطقة الدراسة.



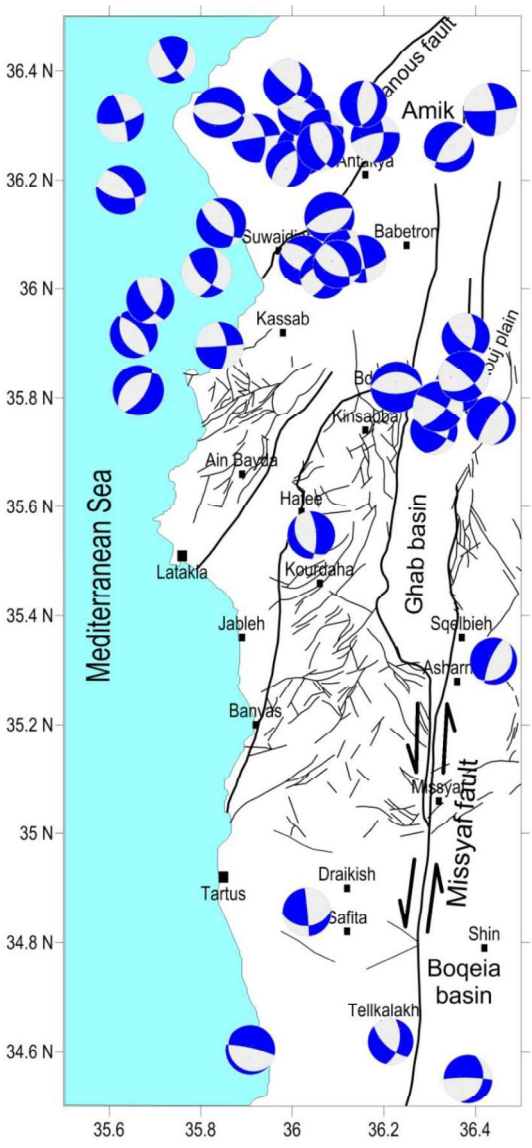
شكل.4: خارطة جيولوجية مبسطة لمنطقة الدراسة (على اليسار) وخارطة لأهم الصدوع والمدن (على اليمين).



شكل 5: توزع قطبيات الموجة الطولية (P) حول البؤرة السطحية لهزة أرضية



شكل 6: توزع البؤر السطحية للأحداث الزلزالية المعتبرة صالحة لدراسة آلية البؤرة ضمن منطقة الدراسة وتشير الأرقام إلى قدر كل منها.


Amik
Antakya
Babetron
Suwaidiah
Kassab
Kinsabba
Ain Bayda
Hajeb
Latakia
Kourdaha
Jableh
Sqelbieh
Ashara
Banyas
Missyaf
Draikish
Tartus
Safita
Shin
Boqeia basin
Tellkalakh
Ghab basin
Missyaf fault
Mediterranean Sea
36.4 N
36.2 N
36 N
35.8 N
35.6 N
35.4 N
35.2 N
35 N
34.8 N
34.6 N
35.6
35.8
36
36.2
36.4

شكل.7: آليات البؤرة المحسوبة في منطقة الدراسة حيث تم تمثيل مستويي الحلول الصدعي بمسقط متساوي المساحة للنصف السفلي من الكرة البؤرية: الربع الأبيض يمثل نطاق التمدد والأزرق يمثل نطاق الانضغاط.