

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/335421681>

آلية البؤر الزلزالية وتحديد اتجاهات حقل الإجهادات التكتونية الحالية باستخدام تسجيلات الشبكة الرقمية في المركز الوطني للزلازل في سورية Focal Mechanisms and Current Tectonic Stress...

Article · November 2016

CITATIONS

0

READS

599

2 authors, including:



Khaled Omar

2 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE

آلية البؤر الزلزالية وتحديد اتجاهات حقل الإجهادات التكتونية الحالية باستخدام تسجيلات الشبكة الرقمية في المركز الوطني للزلازل في سورية (NEC-Syria)

خالد عمر⁽¹⁾ نور كيكي خرسى⁽²⁾

الملخص

هَدَفَ هذا البحث إلى حساب آلية البؤر الزلزالية من خلال قطبيات الوصلات الأولية للموجة P، وتحديد اتجاهات حقل الإجهادات التكتونية الحالية بالاعتماد على الزلازل المسجلة بواسطة الشبكة الرقمية في المركز الوطني للزلازل في سورية من العام 2009 حتى العام 2011. وقد دُرِسَتْ في هذا البحث آلية البؤر الزلزالية لخمسة وثلاثين هزة قدرها المحلي $M_L \geq 2$ مسجلة في 6 محطات على الأقل، وكانت النتيجة الحصول على 16 آلية صدع عادي (46% من عدد الزلازل المستخدمة)، 13 آلية صدع عكسي (34%)، 7 آليات صدوع إزاحة جانبية (20%). كما حُدِّثَتْ خمس مجموعات زلزالية موزعة في المناطق الآتية: الجزء الشمالي الشرقي لصدع دمشق - شمال السلسلة التدمرية - مدينة حماه والمناطق المجاورة - شمال السلسلة الساحلية - جبال الأمانوس. وبناءً عليه حُدِّثَتْ اتجاهات حقل الإجهادات التكتونية الحديثة لهذه المجموعات، والحصول على اتجاهات مختلفة لمحاور الإجهادات بسبب وجود العديد من البنيات الجيولوجية والتكتونية المعقدة في سورية.

الكلمات المفتاحية: آلية البؤرة - زلازل - حقل الإجهادات التكتونية.

(1) باحث - المركز الوطني للزلازل - سورية

(2) جيوفيزيائية - المركز الوطني للزلازل - سورية

Focal Mechanisms and Current Tectonic Stress Field Orientations using records of the Digital Network in National Earthquake Center- Syria

K. Omar ⁽¹⁾

N. Kiki-Khersy ⁽²⁾

ABSTRACT

This work aims to identify seismic focal mechanism of initial polar P wave and determining the current tectonic stress field trends based on earthquakes recorded by digital network in Syria during the period from 2009 until 2011. 35 events ($ML \geq 2$) have been studied and analyzed, each of them was recorded at 6 stations at least. The analysis showed that 16 events (46% of the total events) are due to normal faulting mechanism, 12 events (34%) are due to reverse faulting mechanism, and 7 events (20%) are due to strike slip faulting mechanism. Five seismic activity groups have been identified in the following regions: north-eastern part of Damascus Fault, northern Palmyrid Fold Belt, Hama region, north Syrian Coastal ranges, Amanous Mountains. In addition, the present day stress fields in these regions were determined. They show different orientations of the stress axes due to the complexity of the geological structures dominated in these regions.

Key word: Focal Mechanism, Earthquake, Tectonic Stress Fields.

(1) Researcher - National Earthquake Center - Syria

(2) Geophysicist - National Earthquake Center - Syria

1- المقدمة:

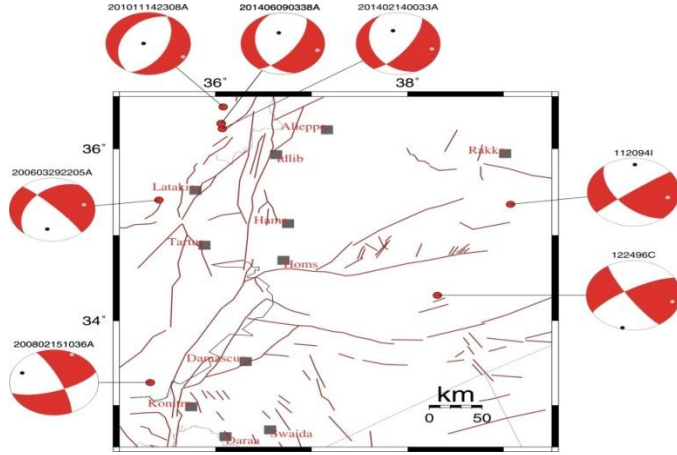
تقع سورية في الجزء الشمالي الغربي من الصفيحة العربية، وتتميز بمستوى متوسط إلى عالي الفعالية الزلزالية حسب المعطيات الزلزالية التاريخية. تشير المراجع إلى حدوث نحو 36 زلزالاً تاريخياً قوياً في سورية والمناطق المجاورة في المدة بين 37 قبل الميلاد والعام 1872 ميلادي. ويرأى قدر هذه الزلازل M_s من 5.8 حتى 7.7 تقريباً (إذ M_s هنا هي القدر المحسوب للزلازل التاريخية) وذلك حسب: [Ambraseys, Jackson, 1998; Sbeinati et al., 2005; Trifonov et al., 2010] أمّا في مدة النشاط الزلزالي الآلي (بعد عام 1900) فتعدّ سورية من المناطق متوسطة النشاط الزلزالي. ومن أقوى الزلازل المسجلة في هذه المدة زلزال 1994 شمال السلسلة التدمرية البالغ قدره $M_w=5.3$ (إذ M_w هي قدر العزم الزلزالي). وزلزال 1996 جنوب السلسلة التدمرية البالغ قدره $M_w=5.5$. وهي زلازل ذات حلول إزاحة جانبية لآلية البؤرة، كما تُبين معطيات الصدوع المتكشفة على السطح وجود نشاط زلزالي عالٍ في المدة التاريخية حسب [Ambraseys, Jackson, 1998]، أمّا في مدة النشاط الزلزالي الآلي فلا يوجد أي حدث زلزالي أحدث تشققات على سطح الأرض؛ وهذا يشير أيضاً إلى أن النشاط الزلزالي الآلي حتى أيامنا هذه منخفض الفاعلية.

توجد كثير من الدراسات الجيولوجية والتكتونية والزلزالية لسورية لكن قليلاً من الباحثين تطرق في دراسته لآلية البؤر الزلزالية في سورية. فقد وضع [Seber et al., 2000] خارطة آلية البؤر الزلزالية لمنطقة الشرق الأوسط للزلازل التي قدرها $M_b > 5.5$ (إذ M_b هي القدر المحسوب من الأمواج الجسمية) وخارطة لآلية البؤر الزلزالية للزلازل التي قدرها $M_b < 5.5$ ؛ وذلك بالاعتماد على الدراسات التي قامت بها جامعة هارفارد [Global CMT catalogue 1996]. وأشار [Brew, 2001] في الخارطة التكتونية لسورية إلى أربعة حلول لآلية البؤر الزلزالية في السلسلة التدمرية بالاعتماد على دراسات جامعة هارفارد أيضاً. أمّا [Abdul-Wahed et al., 2010] فقد درس آلية البؤر الزلزالية لتسع وأربعين هزة في سورية قدرها $M_L > 3.5$ مسجلة على الشبكة التماثلية في سورية من العام 1994 حتى العام 2003

وكانت غالبية البؤر الزلزالية المنتشرة على مساحة سورية ذات حلول إزاحة جانبية باستثناء بعض البؤر الزلزالية ذات الحلول العادية الموجودة في السلسلة الساحلية. وقد درس [Omar, 2013] آلية البؤر الزلزالية لخمسين هزة مسجلة في الشبكة الرقمية في سورية لبعض الأشهر من العام 2009 حتى 2011 وكان القدر المحلي لغالبية هذه الهزات $M_L \leq 2$. وكانت حلول آلية البؤر الزلزالية مختلفة لكن الغالبية العظمى كانت حلولاً عادية ونسبتها نحو 50% من عدد الزلازل المستخدمة. أما الحلول العكسية لآلية البؤرة الزلزالية فكانت نسبتها 36%، وحلول الإزاحة الجانبية نسبتها 14%. نشير هنا إلى أن النتائج في هذا البحث مختلفة عن النتائج الموجودة في دراسة [Abdul-Wahed et al., 2010] ودراسة [Omar, 2013] بسبب اختلاف مواقع الزلازل، ومن ثم اختلاف البنيات التي حدثت عليها.

وقد إطلع الباحث في هذه الدراسة على آليات البؤر الزلزالية في سورية والمناطق المجاورة والمحسوبة من قبل مركز الرصد الزلزالي في جامعة هارفارد CMT المسجلة من العام 1976 حتى العام 2014 [Global CMT catalogue, 2014]؛ وذلك لمعرفة أهم آليات البؤر الزلزالية التي تعرضت لها منطقة الدراسة، هذه الزلازل يراوح قدرها M_w من 4.8 حتى 5.5، وكما هو موضح في الشكل (1) فإن زلزال عام 1994 شمال شرق السلسلة التدمرية وزلزال 1996 جنوب السلسلة التدمرية آلية بؤرتها الزلزالية هي إزاحة جانبية يسارية، ويوجد في جبال الأمانوس في منطقة لواء اسكندرون ثلاثة زلازل آلية بؤرها الزلزالية ذات حلول عادية، كما وقع زلزال في البحر المتوسط بالقرب من الساحل السوري عام 2006 وآلية بؤرته ذات حل عادي مع مركبة إزاحة جانبية.

استُخدمت في هذا البحث معطيات الشبكة الرقمية في المركز الوطني للزلازل في سورية (NEC- Syria) من العام 2009 حتى 2011. وذلك بهدف دراسة آلية البؤر الزلزالية وتحديد توجهات مركبات حقل الإجهادات التكتونية الحالية في سورية للهزات التي قدرها المحلي $M_L \geq 2$ والمسجلة بواسطة 6 محطات على الأقل، حيث لاتزيد الفجوة السميتية (زاوية GAP) لتسجيل الهزة على 200 درجة.



(الشكل 1): آلية البؤر الزلزالية حسب معطيات جامعة هارفارد [Global CMT catalogue, 2014].

2- اختيار الهزات وإعادة تحليلها:

اختيرت مجموعة من الهزات المحلية بحيث تحقق الشروط الآتية:

1- أن تكون الهزات مسجلة في 6 محطات على الأقل.

2- ألا يقل القدر المحلي عن 2 ($M_L \geq 2$).

3- لا تزيد الفجوة السمتية (زاوية GAP) لتسجيل الهزة على 200 درجة.

وقد تم الحصول وفق هذه الشروط على نحو 200 هزة من قاعدة البيانات المتوفرة في المركز الوطني للزلازل. هذه الهزات كانت محللة بشكل أولي من قبل الجيوفيزيائيين المناوبين لكن دقتها لم تكن عالية، لذلك أُعيدَ تحليل هذه الهزات من أجل زيادة دقتها وتقليل الأخطاء في التحليل وفق المواصفات الآتية:

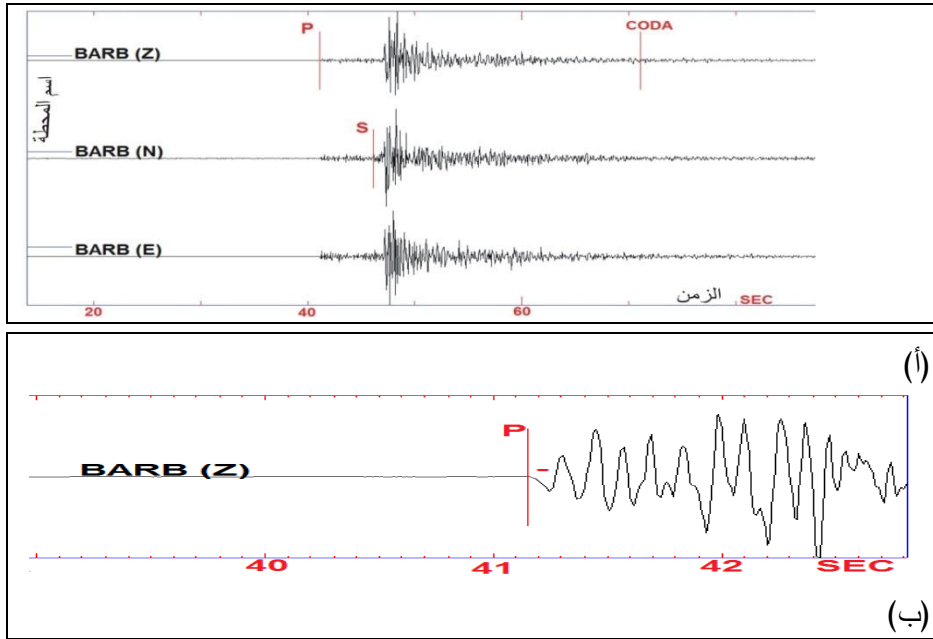
1- ألا تزيد الأخطاء في خطوط الطول والعرض والعمق لموقع الهزة على 5 كم.

2- ألا تزيد RMS على 0.5 (RMS هي قيمة عدم المطابقة الوسطية في تحليل الهزة).

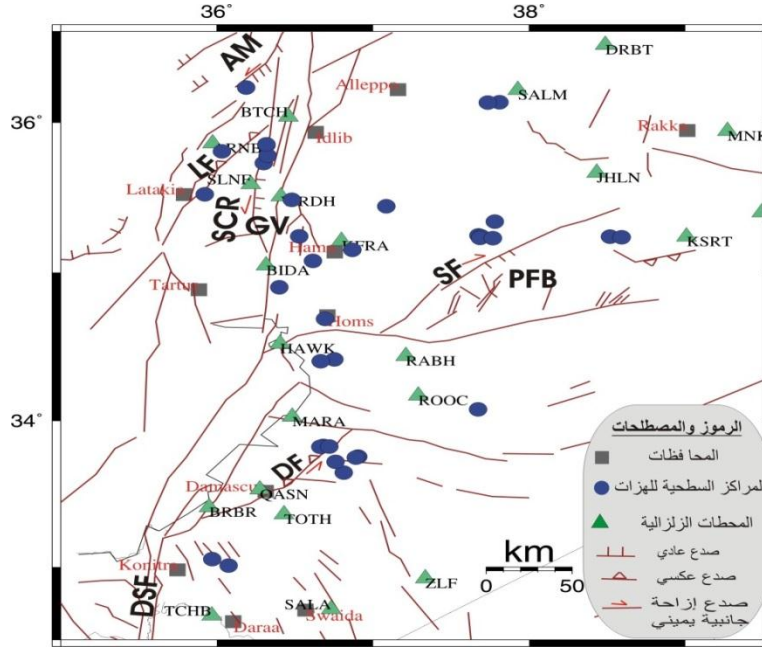
3- أن تكون قطبيات التوصلات الأولية للموجة P واضحة في 6 محطات على الأقل.

ونشير هنا إلى أن قيم هذه الأخطاء مقبولة عالمياً. وقد عُولِجَتِ التسجيلات الزلزالية باستخدام برنامج Seisan. وكمثال على معالجة المعطيات عُرِضَ تسجيل الهزة التي حصلت في 29/5/2011 الساعة 19:17 جنوب محطة بربر، وكان قدرها المحلي 3.3، المسجلة في محطة BARB، كما هو موضَّح بالشكل (2).

وقد تم نتيجة إعادة التحليل والتدقيق الحصول على 35 هزة محللة تحليلًا جيداً، وذات نسب أخطاء قليلة ويمكن حساب آلية بؤرتها الزلزالية (الشكل 3).



(الشكل 2): أ- تسجيل زلزال 29/5/2011 على محطة BARB وموضح فيه الأمواج P و S ونهاية الهزة (CODA) ب- قطبية الوصول الأولي للموجة P.



(الشكل 3): مواقع الهزات المستخدمة في حساب آلية البؤرة الزلزالية، الصدوع الأساسية حسب [Trifonov *et al.*, 2010]. DSE (Dead Sea Faults) - صدع البحر الميت، DF (Damascus Fault) - صدع دمشق، PFB (Palmyrides Fold Belt) - نطاق الطي التدمري، SF (AL-Saan Fault) - صدع السعن، BF (Bishri Fault) - صدع البشري، GV (Ghab Valley) - منخفض الغاب، LF (Lattaqieh Fault) - صدع اللاذقية، SCR (Syrian Coastal ranges) - السلسلة الساحلية السورية، AM (Amanous Mountains) - جبال الأمانوس.

4- حساب آلية البؤرة الزلزالية

5- حُسِبَتْ آلية البؤرة الزلزالية لخمس وثلاثين هزة مسجلة في 6 محطات على الأقل باستخدام برنامج FA [Lander, 2004]. تُدْخَلُ في هذا البرنامج إحداثيات شبكة الرصد الزلزالي والارتفاع الطبوغرافي للمحطات ونموذج السرعة لمنطقة الدراسة، ثم تُدْخَلُ إحداثيات الهزة وقدرها وعمق البؤرة وقطبية الوصول الأولي للموجة P لكل محطة على حدة فضلاً عن عدة معاملات أخرى، وبالنتيجة نحصل على عدة حلول لآلية البؤرة الزلزالية، ثم يُعْتَمَدُ الحل الأفضل (Best Solution). يوضح الشكل (4) آلية البؤرة الزلزالية المحسوبة باستخدام معطيات الشبكة الرقمية في سورية من العام 2009 حتى 2011، وقد صُنِّفَ نوع الحركة استناداً إلى زاوية تغربة، محاور الاحهاد الرئيسية، إذ توجد ثلاثة أنواع رئيسية للحركة حسب تصنيف [Simpson, 1997; Anderson, 1951] (انظر الجدول 1). وقد تم الحصول على

16 حلاً عادياً لآلية البؤرة الزلزالية (46% من عدد الزلازل المستخدمة)، 12 حلاً عكسياً لآلية البؤرة (34%)، و 7 حلول إزاحة جانبية (20%)، انظر الملحق (1) الذي يبين جدول معاملات الزلازل المعالجة.

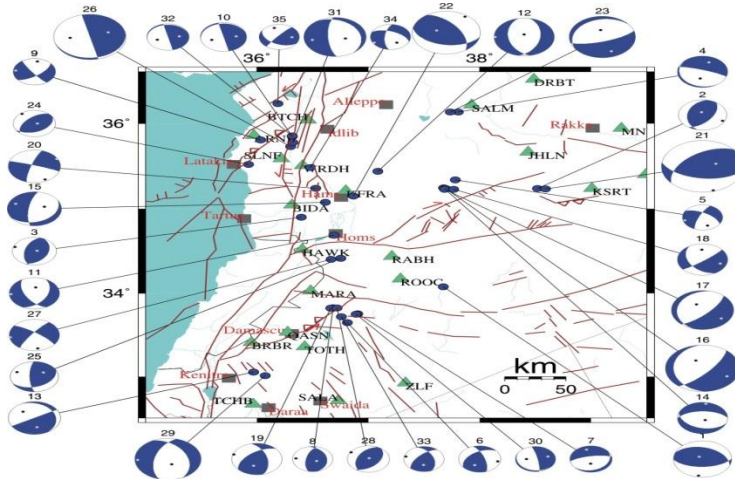
يوضح الشكل (4) أن الهزات في شمال شرق صدع دمشق (الحلول 19,8,28,33,6) ذات حلول عكسية لآلية البؤر الزلزالية. أما شمال السلسلة التدمرية في شمال صدع السعن فإن الهزات ذات حلول عادية لآلية البؤرة (الحلول 5,18,17,16,14)، وإلى الغرب من محطة كسرة (KSRT) توجد هزتان ذات حلول عكسية لآلية البؤرة الزلزالية (الحلول 2,21).

تظهر آليات البؤرة للهزات الواقعة في مدينة حماه والمناطق المجاورة حلولاً متنوعة لآلية البؤر الزلزالية لكن غالبيتها حلول عادية (الحلول 15,34,12,11)، أما على امتداد صدع الغاب الغربي فإن آلية البؤر الزلزالية ذات حلول عادية (الحلول 26,32,10,31)، والصدوع شديدة الميل أي تقريباً شاقولية، وبالقرب من صدع اللاذقية توجد هزتان: الأولى تقع شرق مدينة اللاذقية (الحل رقم 24) وآلية بؤرتها ذات حل عكسي، والثانية تقع شمال شرق اللاذقية (الحل رقم 9) وآلية بؤرتها إزاحة جانبية يسارية.

توجد في جبال الأمانوس هزة واحدة فقط تقع على السطح الجنوبي الشرقي آلية بؤرتها إزاحة جانبية يسارية (الحل رقم 35).

الجدول (1): نوع آلية البؤرة الزلزالية على أساس زوايا تغريق محاور الإجهاد الرئيسية .

حل عادي	حل عكسي	حل إزاحة جانبية
$\geq 45^\circ$	$\leq 45^\circ$	$< 45^\circ$
$\leq 45^\circ$	$\geq 45^\circ$	$< 45^\circ$
زاوية تغريق محور الضغط P		
زاوية تغريق محور الشد T		



(الشكل 4): آلية البؤر الزلزالية المحسوبة باستخدام معطيات الشبكة الرقمية في سورية من العام 2009 حتى 2011 (اللون الأبيض في آلية البؤرة هو منطقة الضغط، واللون الأسود هو منطقة الشد، والنقطة السوداء هي محور الضغط الأعظمي أما النقطة البيضاء فهي محور الشد الأعظمي).

يبين الجدول (2) أنواع آليات بعض البؤر الزلزالية ذات الحول العكسية، وكيفية توزع قطبيات الوصلات الأولية للأمواج P.

الجدول (2): أنواع آليات بعض البؤر الزلزالية في سورية، الدوائر البيضاء هي إشارة سالبة، والدوائر السوداء هي إشارة موجب، P و T هي محاور الشد والضغط.

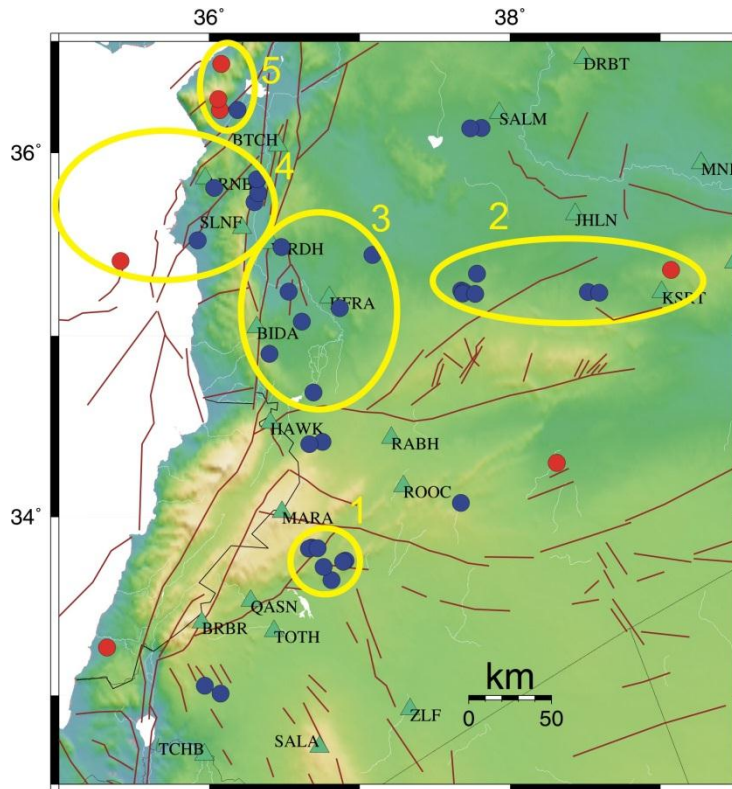
رقم البؤرة No	Date-Time التاريخ والوقت	ML القدر المحلي	آلية البؤرة	نوع الصدع
1	4/3/2009 03:08	2.9		عكسي
3	4/8/2009 12:15	2.2		عكسي
25	13/3/2011 10:34	2.4		عكسي

4 - تحديد اتجاهات حقل الإجهادات التكتونية الحالية

حُدِّثَتْ اتجاهات حقل الإجهادات التكتونية الحالية وزوايا تغريقها بواسطة برنامج STRESS_seism الذي يعتمد على طريقة التحليل الكاتاكلستيكية (MKA Cataclastic Analysis Method)؛ وذلك حسب [Rebetskiy, 2007]، وهذه الطريقة حديثة ومطبقة في أوروبا لكنها تُستخدم أول في سورية، إذ تُحَدَّفُ فيها آليات البؤر الشاذة أو غير المتوافقة مع البؤر الأخرى بشكل عام، ثم تُكَدَّسُ آليات البؤر الزلزالية المتوافقة لتحديد اتجاه وتغريق محاور الضغط والشد الأعظمية بدقة، وننوه هنا أن البؤر الشاذة وغير المتوافقة مع البؤر الأخرى للمنطقة نفسها قليلة جداً.

ونتيجة ذلك حُدِّثَتْ خمس مجموعات مختلفة بالمساحات وبعدد الأحداث المسجلة، كما هو موضح بالشكل (5). نشير هنا أن تحديد اتجاهات حقل الإجهادات التكتونية جرى بالاعتماد على تسجيلات الشبكة الرقمية في المركز الوطني للزلازل للمجموعات كلها باستثناء المجموعة الخامسة التي تقع في جبال الأمانوس حيث تُسْتخدَمُ معطيات جامعة هارفارد؛ وذلك لوجود ثلاث هزات في المنطقة نفسها في الأعوام 2010 و2014، وذلك بهدف الإفادة من هذه المعلومة التي قد تكون مفيدة في دراسات لاحقة، وخصوصاً أن البرنامج المستخدم (STRESS_seism) يسمح لنا بتحديد اتجاهات حقل الإجهادات التكتونية للزلازل الصغيرة والمتوسطة والقوية.

تقع المجموعة الأولى في الجزء الشمالي الشرقي لصدع دمشق، وتحتوي على 7 هزات تميز معظمها بآليات بؤرة ذات حلول عكسية. وتقع المجموعة الثانية شمال السلسلة التدمرية، وهي مؤلفة من 7 هزات آلية بؤرها متنوعة بين حلول عادية وحلول عكسية. أمّا المجموعة الثالثة فتقع في مدينة حماه والمناطق المجاورة، وتتألف من 7 هزات غالبية آلية بؤرها ذات حلول عادية. وتقع المجموعة الرابعة شمال السلسلة الساحلية السورية وشمالي صدع الغاب الغربي، وتتألف من 7 هزات آلية بؤرها متنوعة بين حلول عادية وعكسية وإزاحة جانبية. أمّا المجموعة الخامسة فهي تقع في جبال الأمانوس، وهي تحتوي على أربع هزات غالبية آلية بؤرها ذات حلول عادية.



(الشكل 5): نطاقات لخمس مجموعات زلزالية

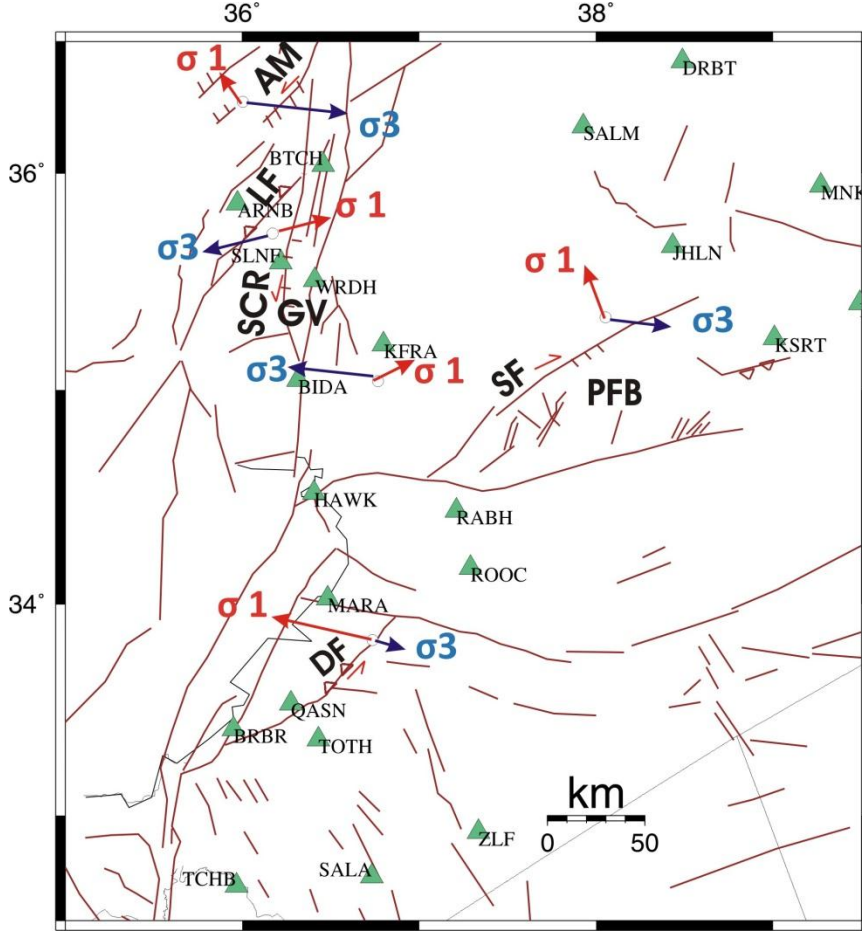
يبين الجدول (3) اتجاه وزاوية تغريق محاور الإجهاد الرئيسية σ_1 و σ_3 للمجموعات الخمس التي ذُكرت سابقاً، والتي حُسِبَتْ باستخدام برنامج STRESS_seism.

الجدول (3): اتجاه وزاوية تغريق محاور الإجهاد الرئيسية σ_1 و σ_3 للمجموعات

المدرسة.

اسم المنطقة	زاوية تغريق σ_3	اتجاه σ_3	زاوية تغريق σ_1	اتجاه σ_1
شمال شرق صدع دمشق	73	106	17	289
شمال السلسلة التدمرية	29	104	29	354
مدينة حماه والمناطق المجاورة	28	277	56	57
شمال السلسلة الساحلية	42	258	46	55
جبال الأمانوس	20	101	57	338

ويوضح الشكل (6) المسقط الأفقي لمحاور الإجهاد الرئيسية، وهي σ_1 محور الضغط (محور الإجهاد الرئيسي الأكبر)، σ_3 محور الشد (محور الإجهاد الرئيسي الأصغر). من الجدير بالذكر هنا أن محاور الإجهاد الرئيسية جميعها تكون متعامدة مع بعضها، لكن في الشكل (6) رُسم المسقط الأفقي لمحاور الإجهاد الرئيسية.



(الشكل 6): المساقط الأفقية لمحاور الإجهاد الرئيسية: σ_1 محور الضغط (محور الإجهاد الرئيسي الأكبر)، σ_3 محور الشد (محور الإجهاد الرئيسي الأصغر).

5- المناقشة:

تم التوصل في هذا البحث إلى فرز خمس مجموعات زلزالية رئيسية (الشكل 5)، تقع المجموعة الأولى في الجزء الشمالي الشرقي لصدع دمشق، وهي مؤلفة من 7 هزات، معظم آلية بؤرها الزلزالية ذات حلول عكسية، واتجاه الصدوع شمال شرق - جنوب غرب. وهذا يتوافق مع الدراسات التكتونية لصدع دمشق التي أجراها العديد من الباحثين مثل: [Rukieh et al., 2005]، [Gomez et al., 2006]، [Trifonov et al., 2012]، [Abou Romieh et al., 2012]، والتي تؤكد أن صدع دمشق هو صدع عكسي، وقد تبين أن تغريق (σ1) هو 17 درجة باتجاه الشمال الغربي، وتغريق (σ3) 73 درجة باتجاه الجنوب الشرقي (الشكل 6). وتتوافق المحاور المستنتجة هنا مع المبادئ النظرية لحقول الإجهاد والتي تبين أن (σ1) في الصدوع العكسية أفقي و (σ3) شاقولي. إن هذه الهزات الحادثة في الجزء الشمالي الشرقي لصدع دمشق ذات الحلول العكسية لآلية البؤر الزلزالية تُعد دليلاً مباشراً على نشاط صدع دمشق في الرباعي، ويجب أخذ هذا الموضوع بالحسبان في دراسات الخطر الزلزالي.

أمّا المجموعة الثانية التي تقع شمال السلسلة التدمرية فهي مؤلفة من 7 هزات، يوجد منها 5 هزات شمال صدع السعن آلية بؤرها ذات حلول عادية، واتجاه الصدوع شمال شرق - جنوب غرب، وهزتان غرب محطة KSRT آلية بؤرتها ذات حلول عكسية، وتتوافق آلية هذه البؤر مع الدراسات التي قام بها [Omar, 2013] والتي توضح أن غالبية البؤر الزلزالية شمال السلسلة التدمرية ذات حلول عادية لآلية البؤرة، وهذه الحلول لآلية البؤر الزلزالية متوافقة مع الدراسات التكتونية التي قام بها [Rukieh et al., 2005] و [Trifonov et al., 2012]. وتبين أن تغريق (σ1) 29 درجة باتجاه الشمال الغربي، وتغريق (σ3) 29 درجة باتجاه الشرق (الشكل 6)، وهنا أيضاً توافقت الاتجاهات المستنتجة للمحاور مع الدراسات التي قام بها [Zanchi et al., 2002] عن محاور الإجهادات التكتونية القديمة.

تقع المجموعة الثالثة في مدينة حماه والمناطق المجاورة وتتألف من 7 هزات آلية بؤرها متنوعة لكن غالبيتها ذات حلول عادية، واتجاهات الصدوع هنا متنوعة أيضاً، وهذا يتوافق مع دراسات آلية البؤر الزلزالية التي قام بها [Abdul-Wahed et al., 2010]، و [Brew et al., 2001]، ومع الدراسات التكتونية [Trifonov et al., 2012]. وقد تبين أن تغريق (σ1) 56 درجة باتجاه الشمال الشرقي، وتغريق (σ3) 28 درجة باتجاه الغرب (الشكل 6)، وقد توافقت هذه الاتجاهات مع اتجاهات الإجهادات القديمة التي استنتجها [Zanchi et al., 2002] في دراسته.

دُرست في المجموعة الرابعة في الجزء الشمالي من السلسلة الساحلية 7 هزات ذات حلول مختلفة، ففي الجزء الشمالي من صدع الغاب الغربي توجد أربع هزات آلية بؤرها ذات حلول عادية، واتجاه الصدوع تقريباً شمال - جنوب، وبالقرب من صدع اللاذقية توجد هزتان، الأولى تقع شرق مدينة اللاذقية وآلية بؤرتها ذات حل عكسي والثانية تقع شمال شرق

اللاذقية وآلية بؤرتها إزاحة جانبية يسارية، وعموماً آلية هذه البؤر تتوافق مع دراسات آلية البؤر الزلزالية التي أجراها [Seber et al., 2000] و [Brew et al., 2001] و [Salamon et al., 2003]، ومع الدراسات التكتونية التي قام بها [Rukieh et al., 2005] و [Trifonov et al., 2012]. وتبين أن تغريق (σ1) 46 درجة باتجاه الشمال الشرقي، وتغريق (σ3) 42 درجة باتجاه الغرب (الشكل 6)، وهنا أيضاً تتوافق محاور الإجهادات التكتونية الحديثة مع القديمة الموجودة في دراسة [Zanchi et al. 2002].

تحتوي المجموعة الخامسة التي تقع في جبال الأمانوس على أربعة زلازل، ثلاثة زلازل آلية بؤرها ذات حلول عادية وهزة آلية بؤرتها إزاحة جانبية يساري، واتجاه الصدوع هنا شمال شرق - جنوب غرب، وعموماً آلية هذه البؤر تتوافق مع دراسات آلية البؤر الزلزالية التي قام بها كل من [Seber et al. 2000] و [Brew et al. 2001]، ومع الدراسات التكتونية التي قام بها [Trifonov et al., 2012]، وقد تبين أن تغريق (σ1) 57 درجة باتجاه الشمال الغربي، وتغريق (σ3) 20 درجة باتجاه الشرق (الشكل 6). اتجاه محاور الإجهادات التكتونية الحديثة هنا يتوافق مع المبادئ النظرية لحقول الإجهاد التي تبين أن (σ1) في الصدوع العادية يكون شاقولياً و (σ3) أفقياً.

6- النتائج:

- 1- تكون آلية البؤر الزلزالية في الجزء الشمالي الشرقي لصدع دمشق ذات حلول عكسية، وتغريق (σ1) 17 درجة باتجاه الشمال الغربي، وتغريق (σ3) 73 درجة باتجاه الجنوب الشرقي، وهذه البؤر الزلزالية دليل مباشر على نشاط صدع دمشق في الرباعي، ويجب أخذ هذا الموضوع بالحسبان في دراسات الخطر الزلزالي.
- 2- تكون معظم آليات البؤر الزلزالية في شمال السلسلة التدمرية ذات حلول عادية، وتغريق (σ1) 29 درجة باتجاه الشمال الغربي، وتغريق (σ3) 29 درجة باتجاه الشرق.
- 3- تكون آليات البؤر الزلزالية في مدينة حماه والمناطق المجاورة مختلفة، وتغريق (σ1) 56 درجة باتجاه الشمال الشرقي، وتغريق (σ3) 28 درجة باتجاه الغرب.
- 4- يوجد في الجزء الشمالي من السلسلة الساحلية صدوع مختلفة، وتغريق (σ1) 46 درجة باتجاه الشمال الشرقي، وتغريق (σ3) 42 درجة باتجاه الغرب.
- 5- إن آليات البؤر الزلزالية في الجزء الجنوبي الغربي من جبال الأمانوس ذات حلول عادية، وتغريق (σ1) 57 درجة باتجاه الشمال الغربي، وتغريق (σ3) 20 درجة باتجاه الشرق.
- 6- وجود أنواع مختلفة من آليات البؤر الزلزالية في سورية يدل على أن الوضع الجيولوجي والتكتوني معقد، وهو بحاجة إلى دراسات مفصلة بشكل أكثر.
- 7- إن حلول آليات بؤر الزلازل الصغيرة في هذا البحث متنوعة بين حلول عادية وعكسية وإزاحة جانبية، ويعود سبب ذلك على الأرجح إلى الزلازل الصغيرة المرتبطة بالصدوع الصغيرة متعددة الاتجاهات، أما الزلازل القوية فتربط على الأغلب بالصدوع الرئيسية.

8- الملحق (1)

جدول يبين معاملات الزلازل التي حُسِبَتْ أَلَة بُورْتَهَا من معطيات الشبكة الرقمية في سورية.

No	Date التاريخ	Time الوقت	Latitude خط العرض	Longitude خط الطول	Depth العمق (كم)	ML القدر المحلي	First Plane المستوى الأول			Second Plane المستوى الثاني		
							Strike	Dip	Slip	Strike	Dip	Slip
1	04/03/2009	03:08	34.077	37.672	4	2.9	89	55	77	290	37	107
2	09/04/2009	19:13	35.239	38.518	22.4	2.4	35	55	104	191	38	71
3	04/08/2009	12:15	34.901	36.399	1.2	2.2	194	54	83	26	36	100
4	07/09/2009	00:49	36.133	37.809	19.8	2.5	288	81	-96	141	11	-57
5	24/09/2009	20:56	35.34	37.78	2.7	2	203	76	-30	301	61	-164
6	25/11/2009	11:05	33.648	36.812	7.2	2.1	342	70	47	231	47	151
7	27/12/2009	10:00	33.755	36.906	11.4	2.1	260	72	-81	53	20	-116
8	17/01/2010	13:07	33.828	36.682	5.4	2	192	63	102	347	29	68
9	20/02/2010	19:23	35.808	36.033	1.9	2.1	145	82	-155	52	66	-9
10	21/03/2010	11:32	35.849	36.318	2.1	2.3	347	90	-98	257	8	0
11	15/05/2010	11:09	34.688	36.693	12.7	2.5	152	59	-126	26	46	-46
12	21/06/2010	19:17	35.442	37.084	9.7	3	11	46	-75	169	46	-105
13	20/08/2010	02:39	33.055	35.970	4.2	2.6	60	90	-110	330	20	0
14	04/09/2010	10:00	35.248	37.676	5.6	2.5	268	54	-102	110	37	73
15	08/09/2010	01:31	35.078	36.614	6.7	2.7	188	73	-110	59	26	-42
16	26/09/2010	10:16	35.242	37.692	6.1	3.7	40	73	-74	177	23	-131
17	26/09/2010	10:24	35.231	37.684	23.8	3.1	43	72	-81	196	20	-116
18	27/11/2010	23:20	35.23	37.767	11.7	2.5	51	83	-47	148	44	-170
19	04/12/2010	10:02	33.822	36.663	7.6	2.5	229	56	137	347	56	43
20	19/12/2010	19:51	35.241	36.527	16.4	2.6	288	85	-170	198	80	-5
21	20/12/2010	21:31	35.236	38.592	12	4.1	229	51	53	99	51	127
22	13/01/2011	00:31	35.152	36.867	3.4	3.4	326	57	118	102	42	54
23	10/02/2011	03:56	36.132	37.736	2.7	3.3	73	72	-84	234	19	-108
24	18/02/2011	21:00	35.523	35.923	13.8	2.1	223	54	79	61	37	104
25	13/03/2011	10:34	34.415	36.753	7.4	2.4	179	74	59	65	35	152
26	17/03/2011	18:54	35.73	36.3	6.7	3.6	167	90	81	77	8	180
27	24/03/2011	10:13	34.403	36.666	2.8	2.5	215	81	-13	307	77	-170
28	15/05/2011	03:17	33.824	36.719	2.3	2.1	38	45	99	206	45	81
29	29/05/2011	19:17	33.012	36.075	1	3.3	195	57	-65	334	41	-123
30	31/07/2011	08:40	33.75	36.889	2.2	2	349	81	-81	124	12	-134
31	20/08/2011	12:25	35.779	36.324	2.8	3.1	177	72	-79	21	21	-121
32	28/09/2011	00:28	35.854	36.318	6	2.1	347	90	-99	257	9	0
33	02/10/2011	10:15	33.72	36.759	5.4	2	222	62	133	339	50	38
34	17/10/2011	04:47	35.486	36.48	13.5	2	185	66	-39	294	55	-150
35	25/11/2011	13:19	36.231	36.187	1.6	2	219	83	47	122	44	170

References

1. Abou Romieh M., Westaway R., Daoud M., Bridgland D., 2012. First indications of high slip rates on active reverse faults NW of Damascus, Syria, from observations of deformed Quaternary sediments: Implications for the partitioning of crustal deformation in the Middle Eastern region. *Tectonophysics* 538-540 (2012) 86-104.
2. Abdul-Wahed M.K., Al-Tahhan I., 2010. Preliminary outline of the seismologically active zones in Syria. *Annals of Geophysics*, 53, 4; doi: 10.4401/ag-4683.
3. Ambraseys N.N., Jackson J.A., 1998, Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean. *Geophys. Jour. Intern.* Vol. 133, N 2. P. 390-406.
4. Anderson E.M., 1995. The dynamics of faulting. *Trans. Edinburgh, Geol., Sec(8)*. P. 387-402.
5. Brew G., Barazangi M., Al-Maleh A.K., Sawaf T., 2001. Tectonic and Geologic Evolution of Syria. *GioArabia*, V. 6, no. 4, p. 573-616.
6. Global CMT catalogue (2014) <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>.
7. 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. *Earth and Planetary Science Letters* 241. P.913-931.
8. Lander A.V., 2004. Complex programs determination of earthquake focal mechanisms, and their graphic representation. Report: Integrated seismic and geophysical studies of Kamchatka and the Commander Islands. RAS HS OMSP Kamchatka, Petropavlovsk-Kamchatsky, (In Rus).
9. Omar K.M., 2013. Spatial and temporal variation of seismicity and earthquake focal mechanisms Syria. Candidate of Physical and Mathematical Sciences. Russian Academy of Sciences, 120c. (In Rus).
10. Rebetskiy Y.L., 2007. Tectonic stress and the strength of mountain ranges. M.: Akademkniga. 406. (In Rus).
11. Rukieh M., Trifonov V.G., Dodonov A.E., Minini H., Ammar O., Ivanova T.P., Zaza T., Yusef A., Al-Shara M., Jobaili Y., 2005. Neotectonic Map of Syria and some aspects of Late Cenozoic evolution of the north-western boundary zone of the Arabian plate. *J. Geodyn.* Vol. 40. P. 235-256.
12. 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.
13. Sbeinati M.R., Darawcheh R., Mouty M., 2005. The historical earthquakes of Syria: an analysis of large and moderate earthquakes from 1365 B.C. to 1900 A.D. *Ann. Geophys.* Vol. 48, N 3. P. 347-435.

14. Seber D., Steer D., Sandvol E., Sandvol C., Brindisi C., Barazangi M., 2000. Design and Development of information systems for geosciences: An Application to the Middle East. *GioArabia*, V. 5, no. 2, p. 269-296.
15. Simpson R. W., 1997. Quantifying Anderson's fault types. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, No. B8, PP. 17,909-17,919.
16. Trifonov V.G., Dodonov A.E., Bachmanov D.M. et al. 2012. Neotectonic, recent geodynamics and seismic hazard of Syria. *Transaction of the Geological Institute*. ISSN 0002-3272.
17. Trifonov V.G., Bachman D.M., Ivanova T.P., Imayev V.S., 2010. The principles and technology of using geological data for the evaluation of seismic hazards (for example, Syria). *Engineering survey*. № 4. P. 44-51. (In Rus).
18. Zanchi A., Crosta G.B., Darkal A.N., 2002. Paleostress analyses in NW Syria: constrains on the Cenozoic evolution of the northwestern margin of the Arabian plate. *Tectonophysics* 357 (2002) 255-278.