# النشاط الزلزالي في الأردن
## (دراسة جغرافية تحليلية)

**د. علي حمدي أبو سليم** *

E.mail: alihamdaaaa@yahoo.com

* قسم الجغرافيا - كلية العلوم التربوية - جامعة الحسين بن طلال- الأردن

# النشاط الزلزالي في الأردن
# (دراسة جغرافية تحليلية)

د. علي حمدي أبو سليم

**الملخص:**

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل عوامل نشأة الهزات الأرضية الزلزالية في الأردن الناتجة عن نشاط الحركات الباطنية الأرضية، وربطها بالتغيّرات التي تطرأ على تكتونيّة المنطقة؛ نتيجة لحركة الصفيحة العربية واصطدامها بالصفائح المجاورة لها، كما تهدف الدراسة إلى تحديد البؤر الزلزالية النشطة على امتداد حفرة الانهدام الأردنية والفوالق الفرعية المحاذية لها. ولتحقيق أهداف الدراسة، فقد اعتمدت الدراسة في معالجتها وتحليلها للهزات الأرضية الزلزالية الخطوات المنهجية الآتية : 1) تحليل البيانات والسجلاّت الزلزالية في عشر محطّات زلزالية، تمثّل جميع مناطق المملكة الأردنية خلال الفترة (1983 – 2003). 2) تحليل الاختلاف المكاني لحركة النشاط الزلزالي في المحطّات العشر. 3) استقراء الاتجاه البياني للنشاط الزلزالي في الأردن خلال الفترة (1983 – 2006).

وقد دلّت نتائج الدراسة على وجود تباين ملحوظ في نشاط الهزات الأرضية الزلزالية وقوّتها على امتداد حفرة الانهدام الأردنية، ، فقد تراوح معامل الاختلاف ما بين (155٪) في محطة خليج العقبة و(83.78٪) في محطة اللسان. كما أظهرت نتائج الدراسة، أن النشاط الزلزالي في الأردن خلال الفترة (1995 – 2000) قد زادت شدته؛ نتيجة للنشاط المتتابع للحركات التكتونية الأرضية الداخلية على امتداد حفرة الانهدام الأردنية.

**مصطلحات أساسية:** الأردن، النشاط الزلزالي، الصفيحة العربية، حفرة الانهدام الأردنية.

# Seismic Activity in Jordan
# (Analytical Geographical Study)

Dr. Ali Hamdi Abu Saleem

**Abstract:**

This study aims to investigate the factors which are responsible for the seismic events in Jordan to relate to changes in plate tectonics which happen as a result of plate movement in the Arab area and their collision with adjacent plates with the formation factors in the area. It also aims to locate the active seismological zones along the Dead Sea rift valley and its minor faults. In order to achieve the previously and goals, the study uses the following methodological approaches :

1) Analyzing historical earthquake records obtained from (10) seismic stations in Jordan for the time period (1983 – 2003).
2) Calculating coefficient values of seismic activities for each year in the (10) stations in order to show the spatial variation in seismic activities.
3) Examining diagrams which show seismic activity for the period (1983 – 2006).

The results showed noticeable differences in seismic activities and strength along the rift valley in Jordan, where the coefficient of variation varies between (155%) in Gulf of Aqaba station and (83.78%) in Al-Lesan station. The results show an increase in the seismic activity strength for the period (1995 – 2000) caused by the geotectonic internal processes along the rift valley.

**Keywords:** Jordan, Seismic activity, Earthquake, Arab plate, Rift valley.

**المقدمة:**

تعدّ الزلازل أو الهزّات الأرضية من أخطر الظواهر الطبيعة Natural Phenomenon، وتنتج عن حركة أرضية تكتونيّة داخلية (باطنية)؛ نتيجة لتحرّر الطاقة المختزنة في صخور القشرة الأرضية، ضمن بؤر زلزالية أحدثتها الإزاحات والضغوط المستمرة على الطبقات الصخرية، بفعل نشاط تكتوني باطني تابع لنشاط العمليات الجيولوجية الخارجية (التعرية، والنقل، والترسيب). وتتراوح الفترة الزمنية التي يستغرقها تأثير الهزّة الأرضية – في الغالب – ما بين عدة ثوان إلى بضع دقائق، كما هو الحال في الزلازل العنيفة، وعلى الرغم من قصر هذه الفترة فإنّ الدمار يكون هائلاً.

وقد تمكّن العلماء – عن طريق مراقبتهم ورصدهم للموجات الزلزالية – من معرفة الكثير عن مكوّنات الأرض وخواصّها المختلفة، وتحليل ديناميكية Dynamic حدوث الهزّات الأرضية، والتوصّل إلى أهم الدلائل لتطوير مفهوم تكتونيّة الصفائح Plate Tectonics من خلال تحليل الأحزمة الزلزالية Seismic Belts التي تنشط عند التقاء حدود الصفائح Plate Boundaries ومناطق اصطدامها أو تباعد بعضها عن بعض Divergent or Collision.

ولا يقتصر تأثير الموجات الزلزالية على نطاق محدّد من الكرة الأرضية؛ لأنّ الزلازل ظاهرة ذات صفة شمولية، تؤثر على معظم أجزاء الكرة الأرضية، ومن بينها الصفيحة العربية والصفائح المجاورة لها، ويشكل الأردن من الناحية الجيولوجية جزءاً من الصفيحة العربية غير المستقرة تكتونيّاً، ويتعرّض الأردن لسلسلة متعاقبة من الهزّات الأرضية Earthquake Sequences الناجمة عن حركة الصفيحة العربية واصطدامها بالصفائح المجاورة لها، ممّا يتطلّب دراسة تأثيرها، وتحديد مناطق توزيعها الجغرافي.

وتشكّل البيانات والمعلومات التي يوفّرها جهاز التسجيل الزلزالي (ريختر) Seismograph مع السجلات الزلزالية التاريخية، المصدر الرئيسي للمعلومات التي تبنى عليها عملية تحليل الهزات الأرضية الزلزالية في الأردن وتحديد قوّتها[1] Magnitude ومناطق توزيعها الجغرافي.

**منطقة الدراسة:**

تقع المملكة الأردنية الهاشمية في الجزء الشمالي الغربي من الصفيحة العربية النشطة تكتونيّاً، وتمتدّ فكلياً بين خطي الطول 50´34° و20´39° شرقاً، ودرجتي العرض 29° و22 و33° شمالاً. وقد ارتبطت الهزات الأرضية الزلزالية في الأردن بحركة الصفيحة العربية واصطدامها بالصفائح المجاورة لها.

ويعّد الصدع التحويلي للبحر الميت وخليج العقبة (حفرة الانهدام الأردنية) أهم مناطق الضعف التكتوني التي تتأثّر بحركة الصفيحة حيث تشكل هذه المناطق بؤراً زلزالية نشطة (شكل 1).

**مسوغات الدراسة وأهمّيتها:**

1. قلّة الدراسات التي تناولت موضوع الزلازل في الأردن من قبل المتخصصين في مجال علوم البيئة والأرض والجغرافيا والدراسات الجيولوجية، على الرغم من أهميته في التخطيط لاستخدام الأراضي والأنشطة التنموية المختلفة، والتقليل من الأخطار الطبيعية Natural Hazard، بالإضافة إلى أهميته عند إعداد كودات البناء التي يتم من خلالها وضع تصاميم لمبان لديها قدرة على التكيّف وتحمّل الاهتزازات الأرضية والمخاطر الزلزالية Risk of Earthquake.
2. إن دراسة الهزات الأرضية الزلزالية من خلال تحليل البيانات والمعلومات التي توفّرها الشبكات الزلزالية الوطنية المنتشرة في جميع مناطق المملكة، تلقي الضوء على الظروف والعوامل الطبيعية التي ترتبط بنشأة الهزات الأرضية

الزلزالية وتطوّرها ، ومدى توافقها مع طبيعة الأنشطة الزلزالية في المنطقة.

3. تمثّل هذه الدراسة – بما توفره من بيانات وصفية وتحليلية عن النشاط الزلزالي في الأردن – رؤية واضحة، ومجالاً واسعاً أمام المسؤولين وأصحاب القرار؛ لاتّخاذ الخطوات والتدابير والوسائل اللازمة للحدّ من مخاطر الهزات الأرضية الزلزالية.
4. تمثّل هذه الدراسة خطوة أولية نحو تطوير دراسات مشابهة لها على المستوى المحلي والعربي، تأخذ بعين الاعتبار بعض المتغيّرات التي لم تتناولها الدراسة الحالية؛ نتيجة لضعف الإمكانات المادية المتاحة في هذه الدراسة.

**مشكلة الدراسة :**

تكّمن مشكلة البحث في دراسة الهزات الأرضية الزلزالية في المملكة الأردنية الهاشمية في ظل حالات عدم الاستقرار التكتوني المرتبط بحركة الصفيحة العربية، وما تتعرّض له من ضغوط؛ نتيجة لحركتها بالاتجاه الشمالي الشرقي، عبر سلسلتي جبال زاغروس غرب إيران وطوروس جنوب تركيا، وما يرافق هذه الحركة من نشاط ملحوظ للهزات الأرضية الزلزالية على امتداد حفرة الانهدام الأردنية والصدوع الجانبية المحاذية لها.

**أهداف الدراسة :**

1. تحليل عوامل نشأة الهزات الأرضية الزلزالية في الأردن، وربطها بالتغيّرات التي تطرأ على تكتونيّة المنطقة؛ نتيجة لحركة الصفيحة العربية واصطدامها بالصفائح المجاورة لها.
2. تحديد البؤر الزلزالية النشطة على امتداد حفرة الانهدام الأردنية والفوالق الفرعية المحاذية لها، وإعداد خرائط كارتوغرافية تبّين مناطق النشاط الزلزالي في المملكة.
3. تحليل التغيّرات التي تطرأ على النشاط الزلزالي في الأردن من خلال تحليل معامل الاختلاف السنوي للهزات الأرضية الزلزالية لعدد من المحطات الزلزالية في المملكة.
4. تحليل الاتّجاه البياني للنشاط الزلزالي في الأردن خلال الفترة (1983-2006) وتحليل فترات الرجوع لها.

**الدراسات السابقة :**

لقد نال موضوع الهزات الأرضية الزلزالية اهتمام العديد من الباحثين على المستوى العالمي؛ لما يمثّله حدوث الزلازل من أخطار طبيعية تلحق الضرر بالمستوطنات البشرية وأنشطتها، وقد اقتصر هذا الاهتمام على التنبوء بالهزة الأرضية الزلزالية من خلال أجهزة الرصد الزلزالي، وإعداد تقارير رسمية عن الوضع الزلزالي في الدول المتأثّرة به، ووضع نماذج رياضية تقيس حجم الأخطار الزلزالية، بالإضافة إلى وضع التدابير والإجراءات للحدّ من أخطارها، لذلك فقد تميزت هذه الدراسة بنظرتها الشمولية في معالجتها لموضوع الزلازل في الأردن من حيث أسباب حدوثها، ومناطق توزيعها الجغرافي، والاتجاه البياني للنشاط الزلزالي في الأردن. وفيما يلي توضيح لبعض الدراسات العالمية التي أفادت الدراسة في بعض جوانبها، وهي :

أوضح كريم (Karim, 2007) في دراسته عن الهزات الأرضية الزلزالية في اليابان، أن القوّة الزلزالية Seismic Forces تعتمد على كميّة الطاقة المختزنة في الصخور والصهير الموجود في باطن الأرض ، وأن هذه الطاقة تزداد مع زيادة الضغوط على قاع البحار والمحيطات؛ نتيجة لعمليات الترسيب المستمرة في أحواض الترسيب الأرضية بفعل نشاط العمليات الجيولوجية الخارجية حيث يقل الضغط على مركز الأرض أعلى قمم الجبال ويزداد الضغط على مركز الأرض أسفل البحار والمحيطات، ونتيجة لعمليات الترسيب يخرج الصهير من أماكن الضغط المرتفع إلى أماكن الضغوط المنخفضة خلال مستويات الضعف في القشرة الأرضية، وتكون هذه

الحركة هائلة وقوية ينجم عنها ما يعرف بالهزات الأرضية الزلزالية، كما توصّل إلى أهمية دور الأنشطة البشرية في زيادة تأثير الهزات الأرضية الزلزالية على الجسور المقامة على الطرق السريعة .

وقد اعتمد ياشيما وآخرون (Yashima et al., 2007) في دراستهم للهزات الأرضية الزلزالية في مدينة كوبي Kobe عام 1995 على أسلوب التحليل الرقمي Numerical Analyses والمحاكاة Simulation وخلصت الدراسة إلى أن عملية التدمير Process of damage تزداد في حجمها مع زيادة شدة الزلازل التي تعتمد بدورها على استقرارية البناء الجيولوجي للقشرة الأرضية. وأكد مارتن (Martin, 2007) في دراسته للهزّات الأرضية في مدينة مكسيكو Mexico City ما توصّل إليه ياشيما وزملاؤه من حيث ان زيادة شدة الموجات الزلزالية تعتمد على مدى استقرارية البناء الجيولوجي للقشرة الأرضية، كما توصّلت الدراسة إلى إن الموجات السطحية التي ترافق الزلازل ويتراوح عمقها ما بين (2 - 45) كم تُعد من أكثر الموجات الزلزالية تدميراً.

وقد انصبّ اهتمام بارداكيس (Bardakis, 2007) على إجراء تقييم افتراضي Assumption Evaluation للآثار الزلزالية التي تحدث في اليونان، وتوصّل في دراسته إلى أهمية تصميم الأبنية بما يتناسب مع اتجاه الموجات الزلزالية، وافترض أن استمرارية بقاء الأبنية Building Existing أمام الهزات الأرضية الزلزالية تعتمد على طبيعة بنائها وقدرتها على تحمّل الموجات الزلزالية. كما قام دوقلاس و لي (Douglas and Lee, 2006) بتقييم أثر الهزات الأرضية الزلزالية Seismic Evaluation في تصميم الأبنية في كوريا Korea، وأكد الباحثان ضرورة توافق التصاميم الهندسية للأبنية مع المخاطر الزلزالية.

وأعدّ كارلو وريتا (Carlo and Rita, 2006) دراسة حول تقييم الآثار التدميرية Damage Assessment للهزات الأرضية الزلزالية في إيطاليا، وتوصّل الباحثان إلى أهمية تحليل تأثير الخصائص الميكانيكية للزلازل Effect of Mechanical characteristics وقياس كثافتها وشدتها، وتحليل الموجات الزلزالية في الحدّ من المخاطر الزلزالية.

وقد قدم شن وآخرون (Chen et al., 2004) نموذجاً لتقدير خسائر الكوارث Catastrophe loss model الناجمة عن الأخطار الطبيعية في مدينة سدني Sydney الاسترالية، وقد تضمّن النموذج أربع خطوات رئيسية، هي :

1. تحليل الأخطار Hazard Analysis من خلال قياس الخصائص الطبيعية للأخطار، وتتضمّن احتمالية حدوثها Probability Occurrence، وقوّتها Magnitude، والشدة Intensity، والموقع Location، والمؤثّرات الجيولوجية Geological effects، والعوامل الجوّيةMeteorological factors.
2. عرض البيانات Exposure Analysis المتعلّقة بعناصر الخطر وتحليلها، وتتضمّن عناصر البيئة، والعوامل الاجتماعية الاقتصاديةSocioeconomic factors، والسكّان Population، والأنشطة الاقتصادية Economic Activities.
3. تحليل قابلية العناصر Vulnerability Analysis البيئية للتعرّض لخطر الزلازل، وتتضمّن تقييم درجة قابلية Susceptibility العناصر للخطر من خلال تحليل السجلاّت التاريخية للأحداث المدمّرة؛ لتحديد العلاقة بين حجم الدمار وشدة الأخطار.
4. تحليل المخاطر الزلزالية Risk Analysis، من حيث فعاليتها وفترة رجوعها Return Period والخسائر الناجمة عنها.

وأخيراً قام لاي وآخرون (Lai et al., 2004) بتحليل الأخطار الزلزالية في ولاية كاليفورنيا California الأمريكية، ونوّه الباحثون في دراستهم بأهمّية توفير التكامل الجيولوجي Geological

Integration، والسجلات الزلزالية Records Seismological والجيوفيزيائية Geophysical في تحديد الأخطار الزلزالية في الولاية، وأكدت الدراسة أهمية تحديد المناطق التي تتعرّض لخطر الزلازل في الولاية، وتقدير حجم الكارثة الناجمة عن الهزّات الأرضية وكثافة توزيعها، وتوصّلت الدراسة إلى وجود توافق Corresponding بين مناطق الضعف التكتوني والتوزيع المكاني للزلازل في الولاية.

**منهجية الدراسة Methodology :**

اعتمدت الدراسة في معالجتها وتحليلها للهزات الأرضية الزلزالية في المملكة الأردنية الهاشمية على الخطوات المنهجية الآتية:

1. تحليل البيانات والسجلات الزلزالية المتوفّرة في عشر محطّات زلزالية Synoptic Station، تمثّل جميع مناطق المملكة خلال الفترة (1983 – 2003) (شكل 2).
2. تحليل الاختلاف المكاني Spatial Variation لحركة النشاط الزلزالي في المملكة من خلال حساب قيم معامل الاختلاف السنوي Coefficient of Variation للهزات الأرضية الزلزالية في المحطات العشر، ووفقاً للمعادلة الآتية[2]:

$$C_v = \frac{\delta}{\overline{X}} \quad \text{where} \quad :$$

$\delta$ = الانحراف المعياري Standard Deviation.

$\overline{X}$ = متوسط تكرار حدوث الهزات الأرضية الزلزالية Mean Frequency of Occurrence.

1. استقراء الاتجاه البياني للنشاط الزلزالي في المملكة خلال أربع فترات زمنية (1983 – 2006).
2. تحليل خرائط النشاط الزلزالي (1–50000) لمنطقة حفرة الانهدام الأردنية (البحر الميت– العقبة) والفوالق الجانبية المحاذية لها خلال الفترة (1900 – 2003).
3. تحليل فترات الرجوع Recurrence Interval للنشاط الزلزالي في المملكة خلال الفترة (1983-2003) وفقاً للمعادلة الآتية[3]:

$$T = (N+1)/R \quad \text{where:}$$

R= الرتبة Rank، وتُرتيب الأحداث الزلزالية خلال الفترة ( 1983 - 2003 ) من الأكبر قوّة إلى الأقل قوّة.

N= عدد سنوات الدراسة وتبلغ (21) سنة.

## النشاط الزلزالي في الأردن:

### عوامل نشأة الهزات الأرضية الزلزالية في الأردن:

يعتمد النشاط الزلزالي في الأردن، من حيث نشأته وتطوره وقوّة تأثيره، على حجم التغيّرات الجيومورفولوجية التي تطرأ على حركة الصفيحة العربية، نتيجة لتعرّضها لسلسلة من الضغوط التكتونيّة الناجمة عن حركة الصفائح المجاورة لها، وتؤدي هذه الضغوط إلى دفع الصفيحة باتجاه الشمال الشرقي في حركة دورانية باتجاه عكس عقارب الساعة، عبر سلسلتي جبال زاغروس غرب إيران، وطوروس جنوب تركيا، ويرافق هذه الحركة نشاط زلزالي، يتفاوت في قوّته على امتداد الصفيحة العربية، إذ يكون أكثرة قوّة وتأثيراً عند الحدّود الشمالية الشرقية والشمالية حيث يوجد نطاق التصادم بين الصفيحة العربية والصفيحة الفارسية (إيران) والصفيحة الأناضولية (تركيا)، ثم تقلّ حدّة تأثير النشاط الزلزالي على طول حفرة الانهدام الأردنية (الصدع التحويلي الأردني) حيث الحركة الانزلاقية الجانبية بالنسبة لصفيحة سيناء وفلسطين (شكل 3).

وتشكّل مناطق الضعف التكتوني على امتداد حفرة الانهدام الأردني عاملاً جيومورفولوجياً، يزيد من حدة تأثير الهزات الأرضية الزلزالية التي يتأثّر بها الأردن؛ نتيجة لحركة الصفيحة العربية.

وتتوزع مناطق الضعف التكتوني على طول الصدع الأردني، بدءاً بمنطقة وادي الأردن شمالاً، مروراً بالبحر الميت، وصولاً إلى خليج العقبة جنوباً. وتمثّل هذه المناطق بؤراً زلزالية تنشط فيها الهزات الأرضية الزلزالية، إذا ما تعرّضت تكويناتها الصخرية لاهتزازات عنيفة (شكل 4).

وتقدّم نظرية الارتداد المرن تفسيراً مقبولاً لنشأة الزلازل التكتونيّة في الأردن، إذ تشكل الضغوط التكتونيّة التي تتعرّض لها التكوينات الصخرية - على امتداد حفرة الانهدام - طاقة مختزنة تؤدّي إلى انحناء الطبقات الصخرية بمقدار درجة مرونتها[4]، وتتحرر هذه الطاقة عندما تفقد التكوينات الصخرية قوّتها بانكسارها أو انزلاقها عن موضعها؛ نتيجة لزيادة الضغوط التكتونيّة المؤثرة عليها، بحيث تؤدي هذه الضغوط إلى إحداث تغيّرات جيومورفولوجية في البناء الجيولوجي، وتحرّر الطاقة المختزنة على شكل موجات زلزالية[5].

ولا يقتصر نطاق النشاط الزلزالي في الأردن على حفرة الانهدام، إذ إن هنالك بؤراً زلزالية فرعية نشطة، تنتشر في جميع أنحاء المملكة، وتظهر هذه البؤر بوضوح على امتداد الفوالق الجانبية لحفرة الانهدام، ومنها: فالق القويرة، وفالق الفيحاء - الكرك، وفالق زرقاء ماعين، وفالق الحلبات – عمان، وفالق السرحان، وفالق زغيمات – الحسا[6].

وتعدّ هذه الفوالق أحد أهم العوامل الجيومورفولوجية التي تعمل على تقسيم صخور القشرة الأرضية إلى وحدات صخرية غير مستقرة ذات أحجام مختلفة، تنشط عليها الانزلاقات العمودية والأفقية ،وهي تمثل مستويات الضعف في القشرة الأرضية والمخارج الأساسية للصهير الموجود في باطن الأرض. وتنتظم الفوالق الجانبية على امتداد الصدع الأردني في أربعة اتجاهات مختلفة ، هي:

1- فوالق ذات اتجاه (شمال - جنوب) وتشمل فالق القويرة، وفالق البتراء، وفالق أذرح، وبئر خداد، وتكثر الاندفاعات البازلتية على امتداد بعض هذه الفوالق، كما هو الحال في منطقة جرف الدراويش، ومعان، وشرق البحر الميت.

2- فوالق ذات اتجاه (شمال غرب - جنوب شرق). وتشمل فالق الكرك - الفيحاء، وفوالق السرحان، وتوازي هذه الفوالق حفرة انهدام البحر الأحمر، وتخترق القشرة الأرضية لتصل إلى الوشاح، ويدّل على ذلك الاندفاعات البركانية التي تنتشر على جوانبها.

3- فوالق ذات الاتجاه (شرق – غرب)، تتميز فوالق هذا النظام بأنها ذات امتدادات مختلفة، يظهر بعضها على سطح الأرض، والبعض الآخر يصل إلى أعماق كبيرة كما هو الحال في فالق زرقاء ماعين، وفالق ضانا.

4- فوالق ذات الاتجاه (شمال شرق - جنوب غرب). تتعامد هذه الفوالق مع حفرة انهدام البحر الأحمر، وهي ذات امتداد محدود وبخاصّة في المنطقة القريبة من حفرة الانهدام في وادي عربة، وتتميز فوالق هذا النظام بوجودها على شكل نطاقات تحتوي على طيّات محدّبة ومقعّرة.

وتعتمد الزلازل في شدتها وتأثيرها على سمك القشرة الأرضية، وسرعة انتقال الموجات الزلزالية عبر القشرة الأرضية (7)، وقد بينت الدراسات التي أجرتها إحدى الجامعات الألمانية، أن سمك القشرة الأرضية في الأردن يزداد تدريجياً باتجاه الشمال بدءاً من العقبة جنوباً حيث يبلغ حوالي (32 كم)، ويصل إلى (35) كم في منطقة عمان، وينتهي إلى (37) كم تقريباً شمال شرق الأردن[8].

ويشير الشكل رقم (5) إلى العلاقة بين سرعة الأمواج الزلزالية والعمق، إذ يتضح من الشكل أن سرعة انتقال الموجات الزلزالية تختلف باختلاف العمق، ونجد أن معدّل سرعة الأمواج الطولية في طبقة الرسوبيات العليا Upper Sedimentary سماكة (1.5) كم بحدود (3.5) كم / ثانية، تليها طبقة قشرية أخرى تمتد من عمق (1.5-18) كم تزداد فيها

السرعة من (6.05 - 6.32) كم/ ثانية ،تليها طبقة أخرى تمتد من (18 – 20) كم يكون معدّل السرعة فيها (6.50) كم/ ثانية، ثم تليها طبقة أخرى (20 – 28) كم تكون السرعة فيها (6.65) كم/ثانية، وتلي هذه الطبقة طبقة انتقالية سمكاتها (5) كم تزداد السرعة فيها إلى (7.38) كم/ ثانية.

**التوزيع المكاني للنشاط الزلزالي في الأردن :**

تشير خارطة النشاط الزلزالي في الأردن خلال الفترة (1900-2003) إلى ارتباط التوزيع المكاني للهزات الأرضية الزلزالية بمناطق الضعف التكتوني التي تعرّضت خلال هذه الفترة لسلسة متعاقبة من الاهتزازات الأرضية، امتدّ تأثيرها إلى معظم أجزاء المنطقة (شكل 6). وعلى الرغم من تأثير تلك الاهتزازات على استقرارية المنطقة فإن درجة قوّتها وحدّتها تتفاوت مكانياً؛ تبعاً لمدى قربها أو بعدها عن مركز البؤرة الزلزالية، ويتضح من تحليل خارطة النشاط الزلزالي خلال الفترة المذكورة التوزيع المكاني للبؤر الزلزالية وتركّزها على امتداد حفرة الانهدام الأردنية والفوالق الجانبية المحاذية لها، وفيما يلي توضيح لمناطق النشاط الزلزالي في الأردن:

**1- منطقة خليج العقبة :**

تعّد منطقة خليج العقبة الجزء الأكثر نشاطاً واستمرارية في الهزات الأرضية الزلزالية ضمن حفرة الانهدام الأردنية، ويتميز النشاط الزلزالي في منطقة العقبة بأنه يحدث على شكل عواصف زلزالية، تتفاوت في قوّتها وحجم تأثيرها. ويتضح من تحليل الجدول رقم (1) المتعلّق بالنشاط الزلزالي في منطقة خليج العقبة خلال الفترة (1993-2003) الحقائق التالية:

1- بلغ المجموع السنوي للهزات الأرضية الزلزالية التي تأثّرت بها المنطقة خلال الفترة (1993 – 2003) حوالي (8401) حدثاً زلزالياً، ويدل هذا الرقم على وجود نشاط متزايد للهزات الأرضية الزلزالية في منطقة العقبة خلال هذه الفترة، وقد أدى هذا النشاط إلى تحرير كميّات هائلة من الطاقة على شكل أمواج زلزالية تخزنت مرة ثانية في صخور القشرة الأرضية على امتداد حفرة الانهدام، وهذا التخزين التراكمي للطاقة سيكون له الأثر السلبي على نشاط المنطقة الزلزالي المستقبلي وبخاصّة أن منطقة البحر الميت ووادي الأردن تمرّ حالياً بفترة جمود زلزالي مقارنة بنشاطها الطبيعي من حيث عدد الهزّات التي تعرّضت لها المنطقة قبل عام 1995.

2- تتباين الهزات الأرضية الزلزالية في عددها وقوّتها وحجم طاقتها المتحرّرة خلال الفترة (1993 - 2003)، إذ سجلت الهزات الأرضية الزلزالية زيادة ملحوظة في عددها وقوّتها في عامي (199، 1996)، فقد بلغ مجموع الزلازل التي تأثّرت بها منطقة العقبة خلال هذين العامين (2414، 3328) حدثاً زلزالياً على التوالي، وشكّلت ما نسبته (68.34٪) من مجموع الهزات الأرضية الزلزالية التي تأثّرت بها منطقة العقبة خلال فترة الدراسة، فيما بلغت أكبر قوّة لها في هذين العامين (6.2، 5.5) درجة حسب مقياس ريختر؛ وتفسر الزيادة الملحوظة في عدد الزلازل وقوّتها خلال هذين العامين إلى عدم استقرارية البناء الجيولوجي للطبقات الصخرية على امتداد حفرة الانهدام، وما ينجم عنها من زيادة تابعة في الطاقة المتحررة من الطبقات الصخرية غير المستقرّة مقارنة بالسنوات السابقة.

3- انخفاض نسبة الهزات الأرضية الزلزالية التي تأثّرت بها منطقة العقبة بعد عام 1996، إذ شكّلت ما نسبته (27.8٪) من مجموع الهزات الأرضية التي تأثّرت بها منطقة العقبة خلال فترة الدراسة؛ ويعود هذا الانخفاض إلى وجود استقرار نسبي في حركة القشرة الأرضية خلال هذه الفترة.

جدول رقم (1): الهزات الأرضية الزلزالية في منطقة خليج العقبة خلال الفترة 1993-2003.

| السنة | عدد الزلازل المجموع السنوي | النسبة المئوية % | النسبة المئوية التراكميّة % | قوّة الزلزال حسب مقياس ريختر | موقع أكبر قوّة |
|---|---|---|---|---|---|
| 1993 | 272 | 3.24 | 3.24 | 5.3 | وسط خليج العقبة |
| 1994 | 52 | 0.62 | 3.86 | 3.9 | وسط خليج العقبة |
| 1995 | 2414 | 28.73 | 32.59 | 6.2 | وسط خليج العقبة |
| 1996 | 3328 | 39.61 | 72.2 | 5.5 | وسط خليج العقبة |
| 1997 | 948 | 11.28 | 83.48 | 4.8 | وسط خليج العقبة |
| 1998 | 109 | 1.30 | 84.78 | 4.3 | وسط خليج العقبة |
| 1999 | 142 | 1.69 | 86.47 | 4.9 | وسط خليج العقبة |
| 2000 | 277 | 3.30 | 89.77 | 4.9 | وسط خليج العقبة |
| 2001 | 165 | 1.96 | 91.73 | 4.3 | وسط خليج العقبة |
| 2002 | 149 | 1.77 | 93.50 | 4.3 | وسط خليج العقبة |
| 2003 | 545 | 6.49 | 99.99 | 4 | وسط خليج العقبة |
| المجموع الكلي | 8401 | 100 | | 52.2 | |
| المتوسط | 764 | | | 4.76 | |

المصدر: إعداد الباحث بناءً على بيانات سلطة المصادر الطبيعية، 2006 .

**2-منطقة البحر الميت- وادي الأردن:**

يمتد نظام صدع البحر الميت – وادي الأردن باتجاه شمالي جنوبي، وقد تشكل هذا الصدع على مراحل جيولوجية متعددة في العصر الحدّيث الأوسط (سينوزويك Cenozoic)؛ نتيجة لانفصال الصفيحة العربية عن الصفيحة الإفريقية (شكل 7)، لقد أظهرت الدراسات الجيولوجية والجيوفيزيائية الحدّيثة دلائل جوهرية على وجود انزلاق جانبي للصفيحة العربية مقارنة مع صفيحة فلسطين – سيناء بطول (105) كم تقريباً على امتداد صدع البحر الميت، وبمعدّل (1 مليمتر) إلى (2 سنتيمتر) في العام (9)، وينتج عن هذه الحركة تنشيط للعمليات الجيومورفولوجية التكتونيّة على امتداد منطقة البحر الميت – وادي الأردن لتشكل منطقة البحر الميت ووادي الأردن والفوالق الجانبية على امتداد فالق البحر الميت بؤراً زلزالية تنشط عليها الهزات الأرضية الزلزالية، وتبلغ الأعماق البؤرية للزلازل التي تحدث على امتداد المنطقة ما بين (5 - 30) كم أي أنها تحدث ضمن صخور القاعدة والقشرة الأرضية.

ويتبين من تحليل الجدول رقم (2) للهزات الأرضية الزلزالية في منطقة البحر الميت ووادي الأردن والفوالق الفرعية خلال الفترة (1983 – 2003) الحقائق الآتية:

1. بلغ المجموع السنوي للهزات الأرضية الزلزالية التي أثرت على منطقة البحر الميت ووادي الأردن خلال فترة الدراسة (795) حدثاً زلزالياً، ويشير هذا الرقم إلى وجود نشاط ملحوظ للهزات الأرضية الزلزالية في منطقة البحر الميت ووادي الأردن؛ نتيجة لعدم استقرارية البناء الجيولوجي للمنطقة، وتأثّرها بسلسلة من عمليات الهبوط التكتوني في منطقة البحر الميت.

2. تميّز النشاط الزلزالي في منطقة البحر الميت ووادي الأردن خلال الفترة (1983 – 1994) بالتزايد الملحوظ في قوّة هزّاته الأرضية، وقد كان أقوى هذه الهزّات الهزّة الأرضية المحسوسة التي تعرّضت لها المنطقة في عام 1984 وبقوّة (5.3) درجة حسب مقياس ريختر، وقد أثّرت على الأغوار، والكرك، ومادبا، وعمّان، والبلقاء، وعجلون، وإربد، إلا أنه بعد زلزال خليج العقبة عام 1995 توقف النشاط المحسوس للزلازل في منطقة البحر الميت ووادي الأردن.

3. تميّز النشاط الزلزالي في منطقة البحر الميت ووادي الأردن خلال الفترة (1995 – 2003) بالانخفاض الملحوظ في قوة هزّاته الأرضية إذ بلغت أكبر قوة للزلازل في منطقة وادي الأردن خلال هذه الفترة حوالي (3.8) درجة في عام 2001، فيما بلغت أكبر قوّة للزلازل في منطقة البحر الميت خلال هذه الفترة (3.8) درجة في عام 2003؛ ويفسر هذا الانخفاض في القوى الزلزالية خلال هذه الفترة بأنّه نتيجة لتحرّر الطاقة الكامنة في التكوينات الصخرية غير المستقرة في منطقة البحر الميت ووادي الأردن في السنوات السابقة لهذه الفترة حيث شكلت الهزات الأرضية الزلزالية التي تأثّرت بها المنطقة بعد عام 1995 ما نسبته (17.61٪) من مجموع الهزات الأرضية الزلزالية التي تأثّرت بها المنطقة خلال فترة الدراسة.

**جدول (2): الهزات الأرضية الزلزالية على امتداد صدع البحر الميت - وادي الأردن.**

| السنة | عدد الزلازل | النسبة المئوية % | النسبة المئوية التراكميّة % | أكبر قوّة - ريختر | منطقة أكبر قوّة |
|---|---|---|---|---|---|
| 1983 | 21 | 2.64 | 2.64 | 4.3 | وادي الأردن |
| 1984 | 70 | 8.81 | 11.45 | 5.3 | وادي الأردن |
| 1985 | 92 | 11.57 | 23.02 | 4.8 | وادي الأردن |
| 1986 | 52 | 6.54 | 29.56 | 3.9 | وادي الأردن |
| 1987 | 50 | 6.29 | 35.85 | 4.6 | وادي الأردن |
| 1988 | 23 | 2.89 | 38.74 | 4.2 | وادي الأردن |
| 1989 | 124 | 15.60 | 54.34 | 5.2 | شرق المملكة |
| 1990 | 40 | 5.03 | 59.37 | 3.8 | البحر الميت |
| 1991 | 40 | 5.03 | 64.4 | 4.0 | البحر الميت |
| 1992 | 55 | 6.92 | 71.32 | 3.3 | البحر الميت |
| 1993 | 19 | 2.39 | 73.71 | 4.0 | البحر الميت |
| 1994 | 8 | 1.01 | 74.72 | 4.0 | وادي الأردن |
| 1995 | 61 | 7.67 | 82.39 | 3.2 | وادي الأردن |
| 1996 | 54 | 6.79 | 89.18 | 3.5 | البحر الميت |
| 1997 | 13 | 1.64 | 90.82 | 3.7 | شرق المملكة |
| 1998 | 9 | 1.13 | 91.95 | 3.7 | وادي الأردن |
| 1999 | 16 | 2.01 | 93.96 | 4.5 | وادي عربة |
| 2000 | 19 | 2.39 | 96.35 | 3.9 | شمال فلسطين |
| 2001 | 8 | 1.01 | 97.36 | 3.8 | وادي الأردن |
| 2002 | 14 | 1.76 | 99.12 | 3.6 | البحر الميت |
| 2003 | 7 | 0.88 | 100 | 3.8 | البحر الميت |
| المجموع الكلي | 795 | 100 | | 84.9 | |
| المتوسط | 37.86 | | | 4.05 | |

المصدر: إعداد الباحث بناءً على بيانات من سلطة المصادر الطبيعية، 2006.

**3-منطقة وادي عربة:**

تأثّرت منطقة وادي عربة بسلسلة عن الأحداث الزلزالية خلال فترة الدراسة تجاوز عددها (1000) حدث زلزالي، إلا أن هذه الزلازل لم يكن لها تأثير كبير على المنطقة؛ لضعف قوّتها التي لم تتجاوز (4) درجات حسب مقياس ريختر، باستثناء الهزّة الأرضية التي تأثّرت بها المنطقة في عام 1999 وبلغت قوّتها (4.5) درجة حسب مقياس ريختر ؛ وتعود الزيادة في قوّة الزلازل في منطقة وادي عربة خلال هذا العام لقربها من مركز البؤرة الزلزالية النشطة في خليج العقبة.

**4-الفوالق الجانبية المحاذية للصدع الأردني التحويلي:**

أثرّت الفوالق الجانبية المحاذية للصدع الأردني التحويلي في حركتها التكتونيّة بشكل رئيسي على تكتونيّة المناطق الشرقية واستقراريتها، إذ تأثّرت المناطق الشرقية خلال فترة الدراسة بسلسة من الهزّات الأرضية، أبرزها الهزّة الأرضية التي ضربت منطقة السرحان ضمن أراضي الحرّة البازلتية في عام 1989، إلاّ أن تأثير النشاط الزلزالي في هذه المناطق خلال فترة الدراسة كانت أضعف من المناطق الأخرى، ويعود ذلك إلى بُعد هذه المناطق عن البؤر الزلزالية الرئيسة على امتداد حفرة الانهدام الأردنية.

ولتحديد مدى الاختلاف المكاني للنشاط الزلزالي في الأردن تم حساب قيم معامل الاختلاف السنوي لتكرار الهزات الأرضية الزلزالية لعدد من محطّات الرصد الزلزالي في الأردن خلال الفترة (1983-2003)، ويتضح من تحليل قيم المعامل في جدول رقم (3) الحقائق الآتية:

1. تزايد قيم معامل الاختلاف السنوي للهزات الأرضية الزلزالية في الأردن تدريجياً بالاتجاه جنوباً، إذ بلغ قيم المعامل في محطتي خليج العقبة، ومدينة العقبة (155٪، 142٪) على التوالي، فيما بلغ الانحراف المعياري لهاتين المحطتين (1192، 1085) على التوالي، وقد بلغ المتوسط السنوي لتكرار حدوث الهزات الأرضية الزلزالية في منطقة خليج العقبة ومدينة العقبة (767، 724) حدثاً زلزالياً على التوالي. وتشير قيم معامل الاختلاف إلى وجود تقلب واضح Variability في تكرار حدوث الهزات الأرضية الزلزالية لانحرافها عن معدّلها الطبيعي؛ ويعزى التزايد في قيم المعامل في هذه المناطق لتجدد نشاط الهزات الأرضية الزلزالية خلال فترة الدراسة؛ نتيجة لعدم استقرارية بنائها الجيولوجي، وتعرّضه لسلسة من الاهتزازات الأرضية الناجمة عن حركة الصفيحة العربية وتصادمها مع الصفيحة الأوراسية.
2. تميّزت منطقة البحر الميت ووادي الأردن – التي تمثّلها محطة اللسان ومكاور والكرامة – بأنها أقل تقلباً Variability Low في تكرار حدوث الهزات الأرضية الزلزالية مقارنة مع منطقة خليج العقبة ووادي عربة، إذ بلغ قيم معامل الاختلاف السنوي في محطّة اللسان ومكاور والكرامة (84.36٪، 83.78٪، 83٪) على التوالي، فيما بلغ المتوسط الحسابي والانحراف المعياري للهزات الأرضية الزلزالية في هذه المحطّات (48.6،37,35)، (41,31,29) على التوالي؛ ويعزى هذا الانخفاض قي قيم معامل الاختلاف إلى انخفاض حدّة النشاط الزلزالي في هذه المناطق، واقترابها من معدّلها الطبيعي خلال فترة الدراسة.
3. يدّل الانخفاض الملحوظ في قيم معامل الاختلاف للمناطق الشمالية- التي تمثّلها محطّة عجلون وسحم- على تميّزها باستقرارية بنائها الجيولوجي، وأن معدّل الزلازل التي سجلتها محطّات الرصد الزلزالي في هذه المناطق تقترب من معدّلها السنوي مقارنة مع المناطق الأخرى، إذ بلغ معامل الاختلاف والانحراف المعياري لهذه المناطق (56.3٪، 52.3٪) (15.6, 16) على التوالي، فيما تراوح المتوسط السنوي لتكرار

حدوث الزلازل في هذه المناطق ما بين (28.4 - 29.8 ) حدثاً زلزالياً.

4. تميّزت المناطق الشرقية من الأردن- التي تمثّلها محطة باير والأشقف – بأنها أقلّ تقلّباً في تكرار الهزات الأرضية الزلزالية مقارنة مع المناطق الغربية، إذ تراوح معامل الاختلاف في هذه المناطق ما بين (67٪ - 74٪)؛ ويعزى هذا الانخفاض في قيم المعامل لابتعاد هذه المناطق عن نطاق الضعف التكتوني الرئيسي على امتداد حفرة الانهدام الأردنية.

**جدول رقم (3): معامل الاختلاف السنوي الهزات الأرضية الزلزالية في عدد من المحطات الرصد الزلزالي في الأردن**

| رمز المحطة | اسم المحطة | خط درجة العرض | خط درجة الطول | الارتفاع فوق مستوى سطح البحر / م | المتوسط السنوي | الانحراف المعياري | النسبة المئوية لمعامل الاختلاف % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AJLJ | عجلون | 32َ 32° | 73َ 35° | 11 75 | 28.4 | 16 | 56.3 |
| SHMJ | سحم | 72َ 32° | 76َ 35° | 3 63 | 29.8 | 15.6 | 52.34 |
| MKRJ | مكاور | 55َ 31° | 64َ 35° | 815 | 37 | 31 | 83.78 |
| LISJ | اللسان | 24َ 31° | 48َ 35° | 327- | 48.6 | 41 | 84.36 |
| GLFJ | خليج العقبة | 50َ 29° | 35° | 25 | 767 | 1192 | 155 |
| AQBJ | مدينة العقبة | 72َ 29° | 05َ 35° | 170 | 724 | 1085 | 142 |
| BYRJ | باير | 64َ 30° | 50َ 36° | 1030 | 31.2 | 21 | 67 |
| ASHJ | الأشقف | 34َ 32° | 61َ 37° | 1010 | 32.4 | 24 | 74 |
| KARJ | الكرامة | 32° | 58َ 35° | 124- | 35 | 29 | 83 |
| JRSJ | جنوب الريشة | 26َ 30° | 23َ 35° | 357 | 58.8 | 53 | 90.41 |

المصدر: إعداد الباحث.

**الاتجاه البياني للنشاط الزلزالي في الأردن خلال الفترة (1983 – 2006):**

بالنظر إلى الشكل رقم (8) يتضح من تحليل الاتجاهات البيانية للهزات الأرضية الزلزالية التي سجلها المرصد الزلزالي الأردني خلال أربع فترات زمنية (1983 – 2006) بعض الدلائل الجيومورفولوجية المرتبطة بالنشاط الزلزالي،هي:

1. اقتراب النشاط الزلزالي من معدّله الطبيعي خلال فترتين متتاليتين (1983-1988) و(1989-1994) إذ بلغ متوسط عدد الزلازل خلال هاتين الفترتين (197.16، 210.5) على التوالي، وبانحراف معياري بلغ (148.48، 86.67) على التوالي، ويعزى الاستقرار النسبي في عدد الزلازل لفترتين متتاليتين إلى ضعف الإجهادات المؤثّرة على التكوينات الصخرية المحاذية لحفرة الانهدام الأردنية.

2. تزايد حدّة النشاط الزلزالي في الأردن خلال الفترة (1995 - 2000 ) حيث بلغ متوسط عدد الزلزال خلال هذه الفترة ما يقرب من (1000) حدثاً زلزالياً، وبمتوسط انحراف معياري بلغ (1039)، وقد بلغ النشاط الزلزالي ذروته في عام 1995 إذ بلغ الحد الأعلى لعدد الزلازل التي رصدها المرصد الزلزالي الأردني في هذه الفترة (2791) حدثاً زلزالياً، فيما بلغ أقصى قوى للزلازل في هذه الفترة (6.2) درجة حسب مقياس ريختر؛ ويعزى هذا النشاط الزلزالي خلال هذه الفترة إلى النشاط المتتابع للحركات التكتونيّة الأرضية الداخلية Geotectonic

internal processes على امتداد صدع حفرة الانهدام الأردنية. وتتمثّل هذه العمليات في انزلاق التكوينات الصخرية، وتحرّر الطاقة المختزنة على شكل سلسلة من الموجات الاهتزازية السريعة التي أثّرت تأثيرًا مباشرًا على استقرارية القشرة الأرضية.

وقد أدت زيادة شدة النشاط الزلزالي في هذه الفترة إلى إحداث تغيّرات في جيولوجية المناطق التي تعرضت لاهتزازات أرضية، ويظهر ذلك من خلال زيادة كثافة الشقوق في تكويناتها الصخرية وعدم استقرارها ، ممّا يعرضها لخطر الانهيار إذا ما تعرضت لاهتزازات قوية ، كما أثرت زيادة النشاط الزلزالي في منطقة العقبة خلال هذه الفترة بشكل مباشر على نشاط السكان وممتلكاتهم ؛نتيجة لحدوث تصدعات في المباني السكنيّة والمنشآت الاقتصادية ، وتعرضها لخطر الانهيار والسقوط.

3. انخفاض حدّة وتكرار النشاط الزلزالي في الفترة الزمنية (2001-2006) إذ بلغ متوسط عدد الهزات الأرضية الزلزالية في هذه الفترة (173.5) حدثاً زلزالياً وبانحراف معياري (48.65). وقد بلغ النشاط الزلزالي ذروته في هذه الفترة في عام (2001) فقد سجل (216) حدثاً زلزالياً؛ ويعزى الانخفاض في النشاط الزلزالي خلال هذه الفترة إلى تحرر الطاقة المختزنة في التكوينات الصخرية المحاذية لحفرة الانهدام في الفترات السابقة، وميلها إلى الاستقرار الموضعي، وضعف الإجهادات المؤثّرة عليها.

4. يشير الشكل رقم (8) إلى مقدار التباين في قيم معامل الاختلاف السنوي لتكرار الهزات الأرضية الزلزالية في الأردن لأربع فترات زمنية، إذ تراوحت قيم المعامل مابين (28٪) للفترة (2000 – 2006) و(113) للفترة (1995 - 2000)، وتدل قيم معامل الاختلاف على أن الفترة الزمنية (1995 – 2000) التي يزيد فيها المعامل عن (100٪) تتميز بتقلّب واضح في تكرار حدوث الهزات الأرضية الزلزالية؛ لانحرافها عن معدّلها الطبيعي، بينما تتميّز الفترات الزمنية الأخرى بأنها أقلّ تقلّباً في تكرار حدوث الهزات الأرضية الزلزالية؛ لاقترابها من معدّلها الطبيعي، وهي الفترات التي يقلّ فيها معامل الاختلاف عن (100٪).

**فترات الرجوع للنشاط الزلزالي في الأردن:**

يقصد بفترة الرجوع للنشاط الزلزالي، الفترة الزمنية اللازمة لتكرار حدوث نشاط زلزالي ذي قوّة زلزالية محدّدة[10] . ويشير الشكلان رقم (9، 10) إلى فترات الرجوع للهزات الأرضية الزلزالية تبعاً لقوّتها خلال الفترة (1983 - 2003)، إذيتضح من تحليل الشكلين تزايد فترة الرجوع بزيادة قوّة وشدة الزلزال، فالزلازل التي يزيد قوّتها عن (6.2) درجة وفقاً لمقياس ريختر، كما هو الحال في عام 1995 تحتاج إلى فترة رجوع تقدر بحوالي (22) عاماً، فيما تقلّ فترة الرجوع بانخفاض قوّة وشدة الزلزال، فالزلازل التي تقل قوّتها عن (3.8) درجة وفقاً لمقياس ريختر، كما هو الحال في عام 1998 تحتاج إلى فترة رجوع تقدر بعام فقط، وعليه فإن وجود تفاوت في الفترات الزمنية اللازمة لحدوث نشاط زلزالي تبعاً لقوته ومقدار تأثيره يعطي صورة واضحة عن حجم الأخطار الزلزالية التي يمكن أن تتعرّض لها المنطقة في المستقبل.

**الخلاصة Conclusion:**

تتعرّض المملكة الأردنية الهاشمية على امتداد حفرة الانهدام الأردنية والفوالق المحاذية لها سنوياً لسلسلة من الهزّات الأرضية، التي ارتبطت بعدم استقرارية بنائها الجيولوجي، وحركة الصفيحة العربية باتجاه الشمال الشرقي، وقد تباينت هذه الهزّات في قوّتها وحجم تأثيرها تبعاً لاختلاف كميّة الطاقة المتحرّرة من التكوينات الصخرية نتيجة تعرّضها لضغوطات تكتونيّة رافقت حركة الصفيحة العربية واصطدامها بالصفائح المجاورة لها.

وتُظهر قيم معامل الاختلاف السنوي للهزات الأرضية الزلزالية في الأردن مدى التقلب في تكرار حدوث الهزات الأرضية وانحرافها في معدّلها الطبيعي ضمن البؤرة الزلزالية الرئيسية، إذ تزداد قيم المعامل بالاتجاه نحو خليج العقبة فقد بلغت قيم المعامل في محطتي مدينة العقبة وخليج العقبة (142٪، 155٪) على التوالي، فيما بلغ المتوسط السنوي والانحراف المعياري للهزات الأرضية الزلزالية في هاتين المحطتين (724، 1085)، (767، 1192) على التوالي؛ ويعزى التزايد في قيم المعامل في هذه المناطق، إلى تجدد نشاط الهزات الأرضية الزلزالية خلال فترة الدراسة؛ نتيجة لعدم استقرارية بنائها الجيولوجي، وتعرّضها لسلسلة من الاهتزازات الأرضية الناتجة عن حركة الصفيحة العربية واصطدامها بالصفيحة الأوراسية.

أما منطقة البحر الميت ووادي الأردن، فقد تميّزت بأنها أقلّ تقلّباً في تكرار حدوث الهزات الأرضية الزلزالية مقارنة مع منطقة العقبة، إذ بلغت قيم معامل الاختلاف السنوي في محطة اللسان ومكاور والكرامة (84.36٪، 83.78٪، 83٪) على التوالي، فيما بلغ المتوسط الحسابي والانحراف المعياري لهذه المحطات (48.6، 37، 35)، (29، 31، 41) على التوالي؛ ويعزى هذا الانخفاض في قيم معامل الاختلاف إلى انخفاض حدة النشاط الزلزالي في هذه المناطق واقترابها من معدّلها الطبيعي خلال فترة الدراسة.

وقد أظهرت نتائج الدراسة أن الاتجاه البياني للنشاط الزلزالي في الأردن خلال الفترة (1983 – 2006)، قد تميّز بعدم الاستقرارية، فقد اقترب النشاط الزلزالي من معدّله الطبيعي خلال فترتين متتاليتين (1983 – 1988)، (1989 – 1994) إذ بلغ متوسط عدد الزلازل خلال هاتين الفترتين (197.6، 5، 210) حدثاً زلزالياً على التوالي؛ ويعزى هذا الاستقرار النسبي إلى ضعف الإجهادات المؤثّرة على التكوينات الصخرية المحاذية لحفرة الانهدام، بينما زادت حدّة النشاط الزلزالي خلال الفترة (1995-2000) فقد بلغ المتوسط السنوي لعدد الزلازل خلال هذه الفترة ما يقرب من (1000) حدثاً زلزالياً؛ ويعزى هذا التزايد إلى النشاط المتتابع للحركات التكتونية الأرضية الباطنية على امتداد حفرة الانهدام، وتتمثّل هذه العمليات في انزلاق التكوينات الصخرية، وتحرّر الطاقة المختزنة فيها على شكل سلسلة من الموجات الاهتزازية السريعة.

**التوصيات Recommendations**:

تتمثّل أهم التوصيات التي يمكن استخلاصها من البحث فيما يلي:

1. إعداد خرائط تفصيلية، تّبين تفصيليًا توزيع البؤر الزلزالية في الأردن، والتخطيط لاستعمالات الأراضي على امتداد حفرة الانهدام بما يتناسب مع المخاطر الزلزالية.
2. توطيد التعاون بين المؤسسّات والمنظّمات الحكومية والأهلية المعنية بالكوارث الزلزالية على المستوى المحلّي والإقليمي والعالمي.
3. القيام بدراسات بحثية شاملة عن الوضع الزلزالي في الأردن، بحيث تصبح تلك الدراسات جزءاً من الإستراتيجية الأردنية للتعامل مع المخاطر الزلزالية.
4. توفير قاعدة بيانات وطنية متطوّرة عن النشاط الزلزالي في الأردن، لتشكل هذه القاعدة مرجعاً علمياً للباحثين والمخطّطين في مجال البيئة والأنشطة الاقتصادية والتخطيط للخدمات.

## الهوامش:

(1) القوة الزلزالية هي كميّة الطاقة المتحرّرة عن الزلازل، أما الشدة الزلزالية فتشير إلى كمية الدمار الناتج عن الزلازل في منطقة معينة.

- Vose, D. Risk analysis: A quantitative guide (2nd ed), London: John Wiley & Sons, Chichester, 2000.

(2) Bendimerad, F. «Loss estimation: a powerful tool for risk assessment and mitigation.» Soil Dynamics and Earthquake Engineering 21 5(2001): 467 -472.

(3) Bendimerad, F. «Loss estimation: a powerful tool for risk assessment and mitigation.» 467 -47 2.

(4) Blong, R.J. «A geography of natural perils.» Australian Geographer 28. 1 (1997): 7 -27. Chen, K. Blong, R. and Jacobson, C. «Towards and integrated approach to natural hazards risk assessment: with reference to bushfires using GIS.» Environmental Management 31.4(2003): 546 -560. 5) Gaull, B. Michael-Leiba, M and Rynn, J.M. «Probabilistic earthquake risk maps of Australia.» Australian Journal of Earth Sciences 37(1990): 169 -187. Cutter, S. L. Holm, D. and Clark, L.» The role of geographic scale in monitoring environmental justice.» Risk Analysis 16.4 (1996): 517 -526. Clark, K. «The use of computer modeling in estimating and managing future catastrophe losses.» The Geneva Papers on Risk and Insurance 27 .2 (2002): 181 -195.

(6) Quennell, A. M. «the Structural and geomorphic evolution of the Dead Sea Rift.» Quarterly Journal of the Geological Society of London, 114 (1958): 1 -24. El – Isa, Z and Mustafa, H. «Earthquake deformations in the Lisan deposits and Seism tectonic implications – Geophysics.» J. R. Astro – Soc, 86(1986): 86 – 413.

(7) Cochrance, S. W. and Schaad, W. H. Assessment of earthquake exposure of building. In: Proceedings of the 10th world conference on Earthquake Engineering 1, Balkema, Rotterdam, Netherlands, 1992: 497 -502.

(8) سلطة المصادر الطبيعية، النشاط الزلزالي في الأردن، عمان: ط: 1، 2006.

(9) Amrat, A. «Empirical relations characterizing earthquake ground motion attenuation in Jordan.» Bulletin of Jordan Seismological Observatory, NRA, Amman, Jordan. 28 (1996): 37- 45. Al-Qaryouti, M. Earthquake strong motion data analysis of the Gulf of Aqaba activity for 19932001- and engineering seismology implications in Aqaba area, Jordan. Ph.D thesis, University of Jordan, 2002.

(10) Dowrick, J. «The modified mercalli intensity scale-revisions arising from recent studies of New Zealand earthquakes.» Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering 29.2(1996):92 -106.

## المصادر والمراجع:

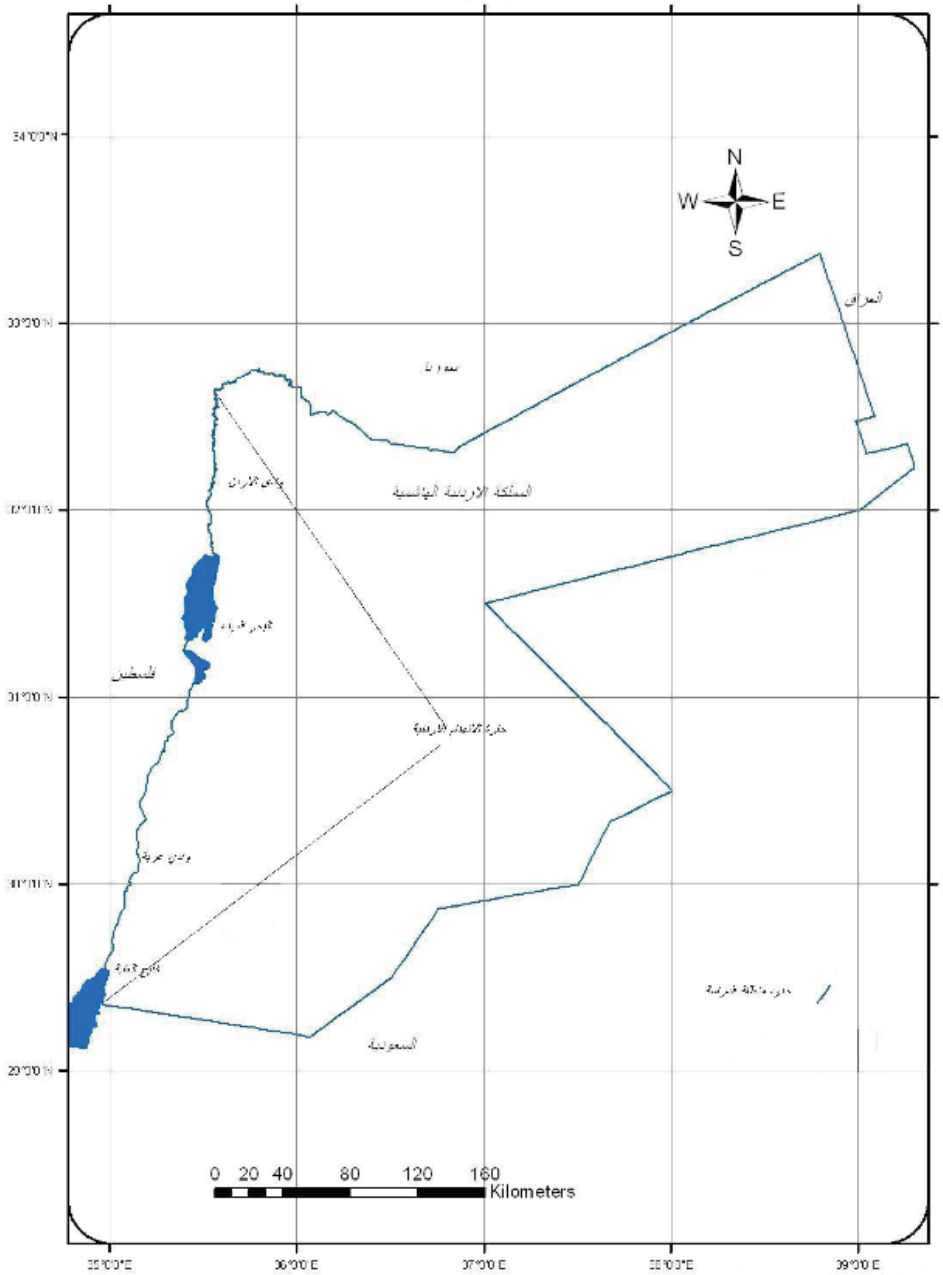
### المراجع العربية:

- سلطة المصادر الطبيعية، النشاط الزلزالي في الأردن، عمان: ط: 1، 2006.

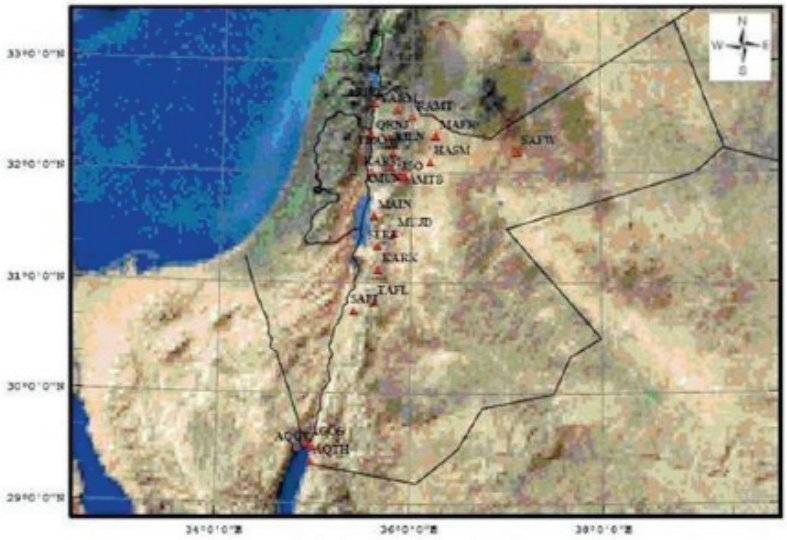
### المراجع الأجنبية:

- Al-Qaryouti, M. Earthquake strong motion data analysis of the Gulf of Aqaba activity for 19932001- and engineering seismology implications in Aqaba area, Jordan. Ph.D thesis, University of Jordan, 2002.
- Amrat, A. «Empirical relations characterizing earthquake ground motion attenuation in Jordan.» Bulletin of Jordan Seismological Observatory, NRA, Amman, Jordan. 28 (1996): 37 -45.
- Bardakis, V «Evaluating assumptions for seismic assessment of existing buildings.» Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27.3(2007) : 223 -233.
- Bendimerad, F «Loss estimation: a powerful tool for risk assessment and mitigation.» Soil Dynamics and Earthquake Engineering 21 5(2001): 467- 472.
- Blong, R.J «A geography of natural perils.» Australian Geographer 28 . 1 (1997): 7 -27.
- Carlo, G. and Rita, G «Damage and Ductility Demand spectra Assessment of Hysteretic Degrading systems subject to stochastic seismic loads.» Journal of Earthquake Engineering 10.5 (2006): 615 -640.
- Chen, K. Blong, R. and Jacobson, C «Towards and integrated approach to natural hazards risk assessment: with reference to bushfires using GIS.» Environmental Management 31.4(2003): 546 -560.
- Chen, K. Mcaneney, J and magill, C. «Defining area at risk and its effect in catastrophe loss estimation: a dissymmetric mapping approach.» Applied Geography 2 .4(2004):97 -120.
- Clark, K «The use of computer modeling in estimating and managing future catastrophe losses.» The Geneva Papers on Risk and Insurance 27 .2 (2002): 181 -195.
- Cochrance, S. W. and Schaad, W. H. Assessment of earthquake exposure of building. In: Proceedings of the 10th world conference on Earthquake Engineering 1, Balkema, Rotterdam, Netherlands, 1992: 497 -502.

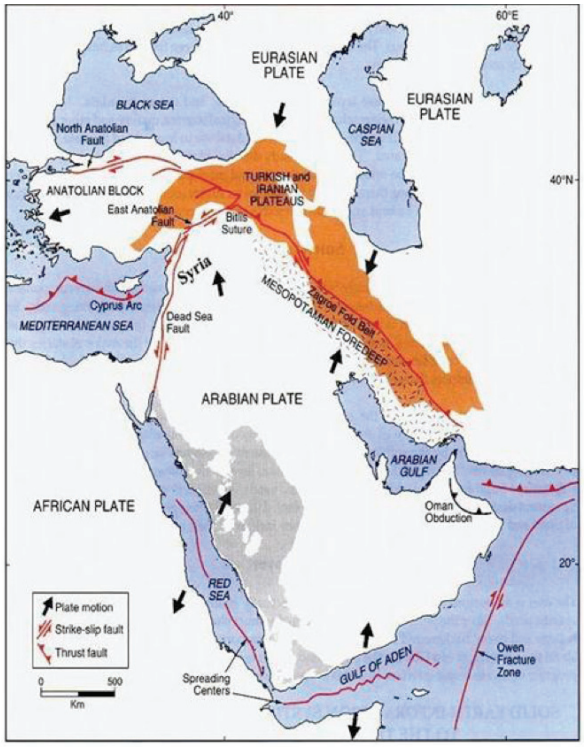
- Cutter, S. L. Holm, D. and Clark, L» The role of geographic scale in monitoring environmental justice.» Risk Analysis 16.4 (1996): 517 -526.
- Douglas, F and Lee «seismic Evaluation of steel moment frame Buildings Designed using Different R- Values.» Journal of structural Engineering. 132 .4(2006): 1461 -1472.
- Dowrick, J «The modified mercalli intensity scale-revisions arising from recent studies of New Zealand earthquakes.» Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering 29.2(1996): 92 -106.
- El – Isa, Z and Mustafa, H «Earthquake deformations in the Lisan deposits and Seism tectonic implications – Geophysics.» J. R.
- Astro – Soc., 86(1986): 86 - 413.
- Gaull, B.A. Michael-Leiba, M.O. and Rynn, J «Probabilistic earthquake risk maps of Australia.» Australian Journal of Earth Sciences 37(1990): 169 -187.
- Karim, k «Effect of isolation. on Fragility curves of highway bridges based on simplified approach.» Soil Dynamics and Earthquake Engineering 27. 5(2007): 414- 426.
- Lai, T. park, S. and Heuze, f «Estimating site- specific strong earthquake motions.» Soil Dynamics and Earthquake Engineering 23 . 3 (2004): 199- 250.
- Martin, C. «Earthquake ground motion in Mexico City: An analysis of data record at Roma array.» Soil Dynamics and Earthquake Engineering 27 .5(2007) : 475 -486.
- Quennell, A. M. «the Structural and geomorphic evolution of the Dead Sea Rift.» Quarterly Journal of the Geological Society of London, 114(1958) -: 1 -24.
- Vose, D. Risk analysis: A quantitative guide (2nd ed), London: John Wiley & Sons, Chichester, 2000.
- Yashima, A. Zhang, F. and uzuoka, R «Three- dimensional numerical simulation of earthquake damage to group-piles in a liquefied ground.» Soil Dynamics and Earthquake 27. 5 (2007):395 -413.




شكل (1) حدود منطقة الدراسة مبيناً عليها امتداد حفرة الانهدام الأردنية

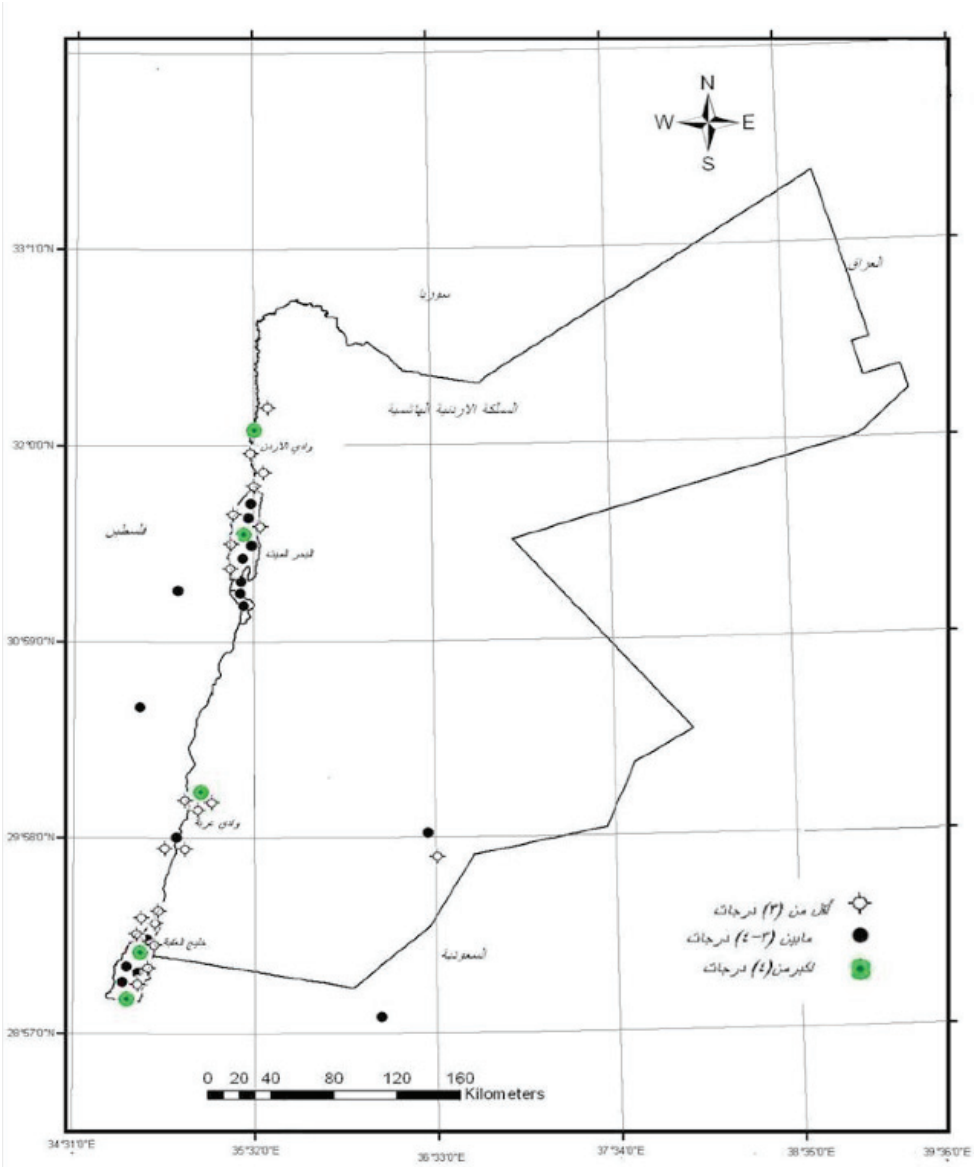



شكل (2) التوزيع الجغرافي لمحطات الرصد في الأردن

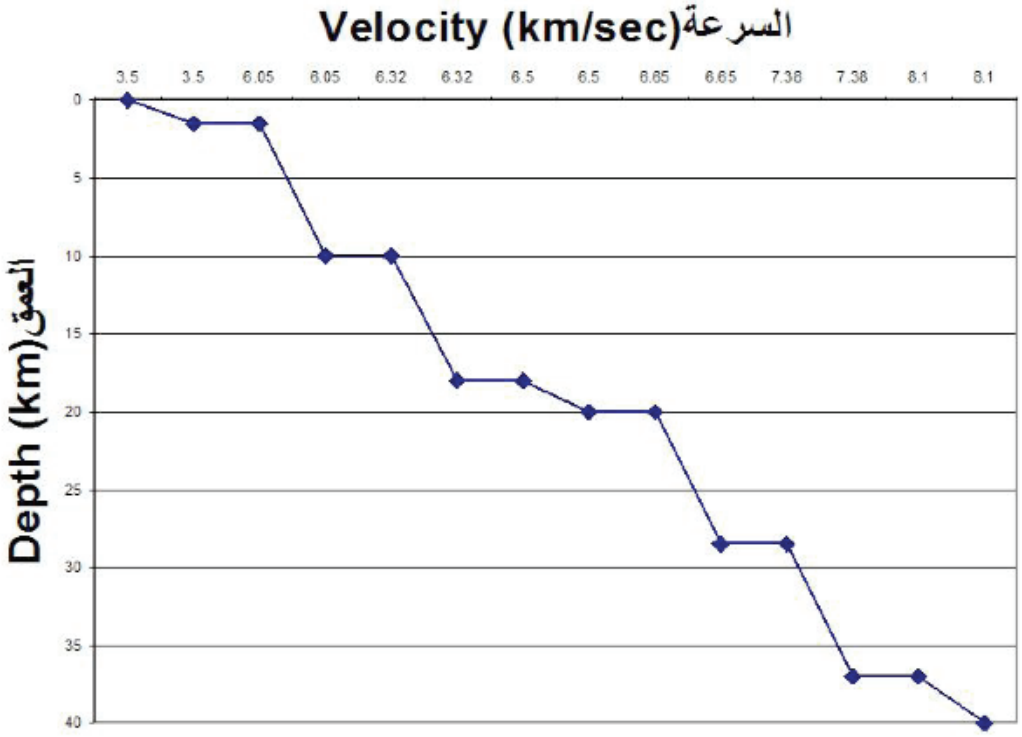



شكل (3) حركة الصفيحة العربية بالاتجاه الشمالي الشرقي

المصدر: سلطة المصادر الطبيعية

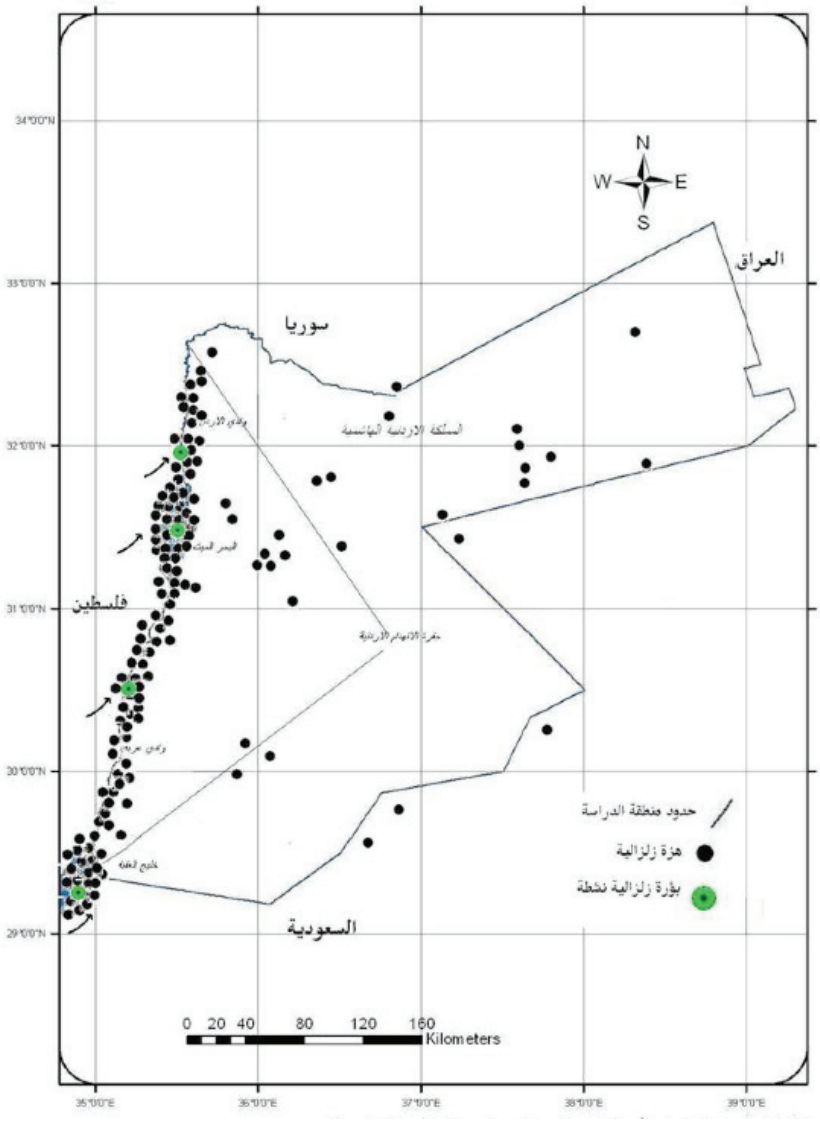



شكل (4) النشاط الزلزالي في الأردن لعام (2006) حسب مقياس ريختر

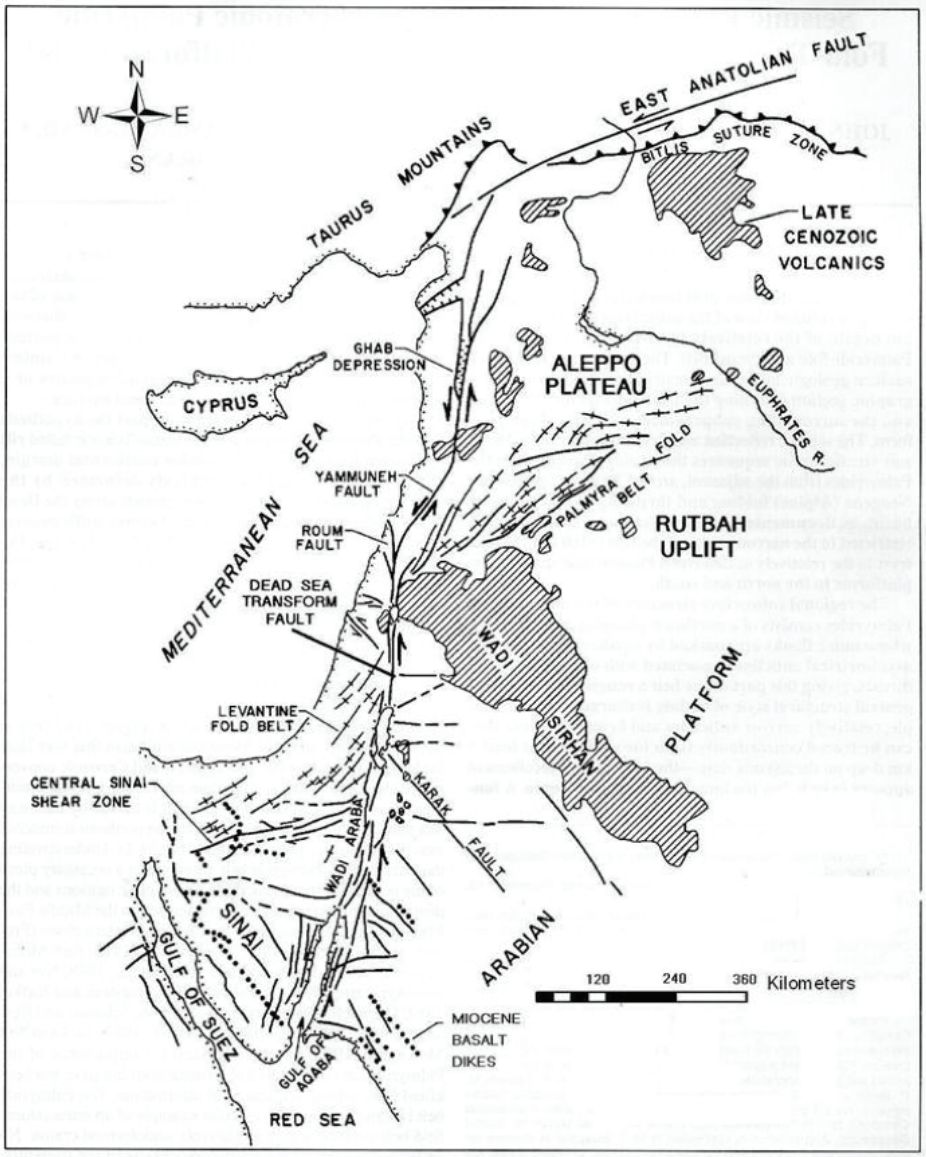



شكل (5) يبين سرعة انتقال الموجات الزلزالية على أعماق مختلفة من سطح الأرض

المصدر: إعداد الباحث اعتماداً على بيانات سلطة المصدر الطبيعية

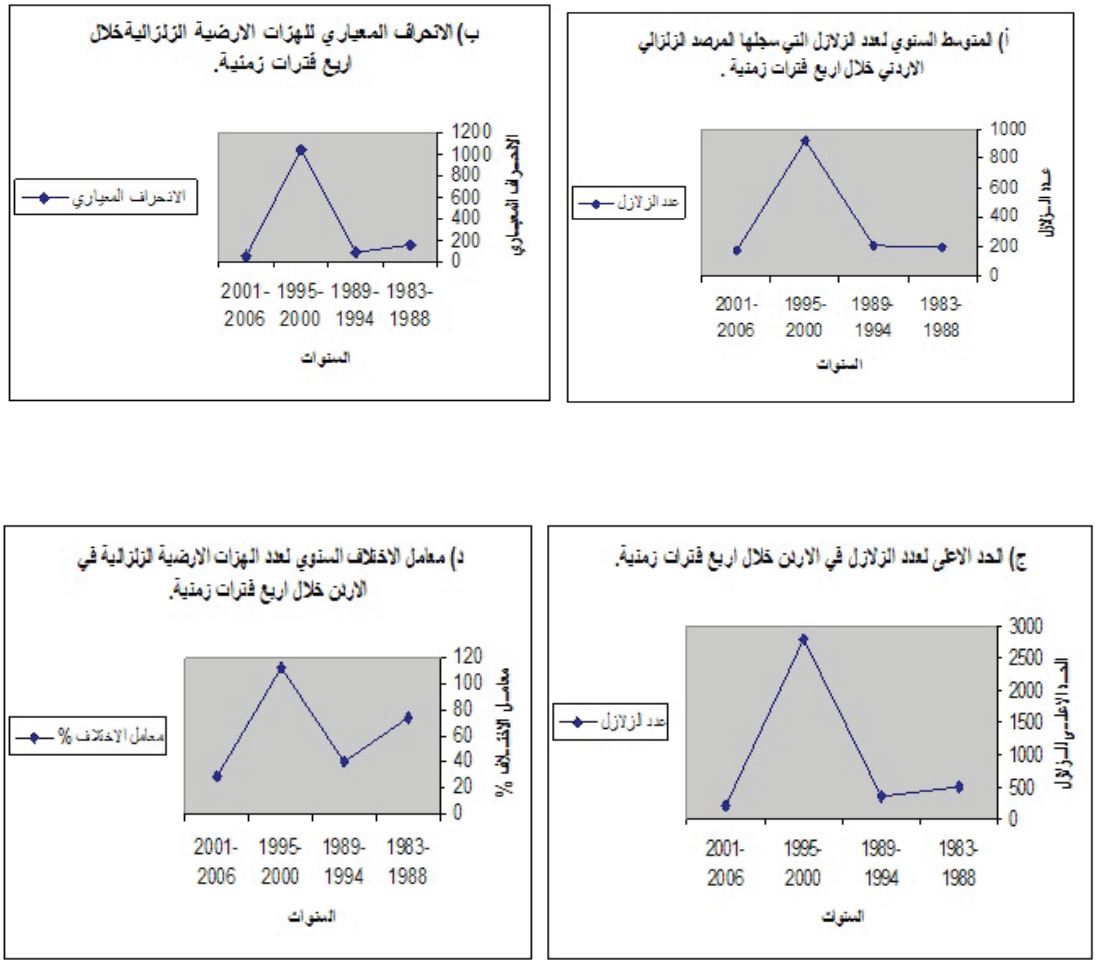



شكل (6) التوزيع الجغرافي لأهم الهزات الأرضية في الأردن لفترة (1900-2003)



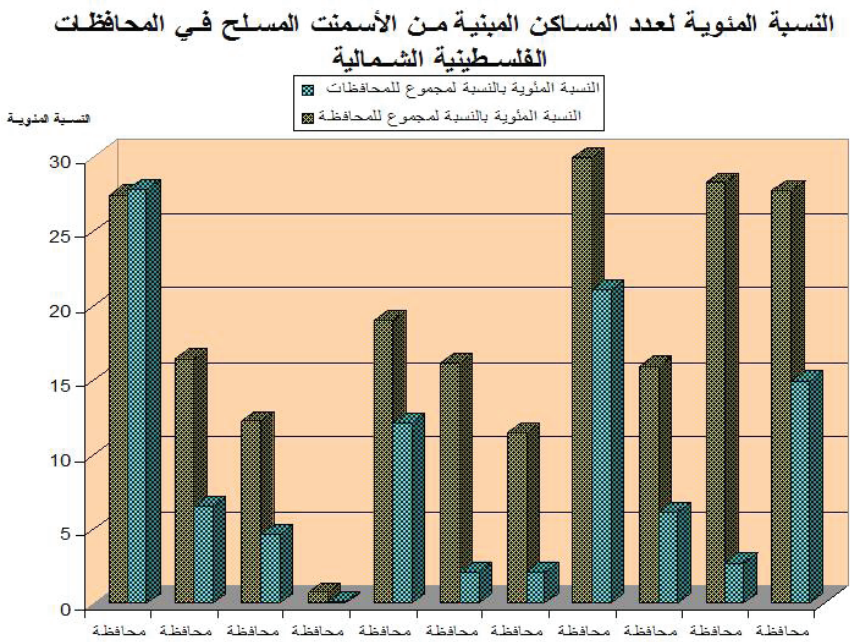

شكل (7) تكتونية نظام صدع البحر الميت – وادي الأردن

مصدر: سلطة المصادر الطبيعية، 2006



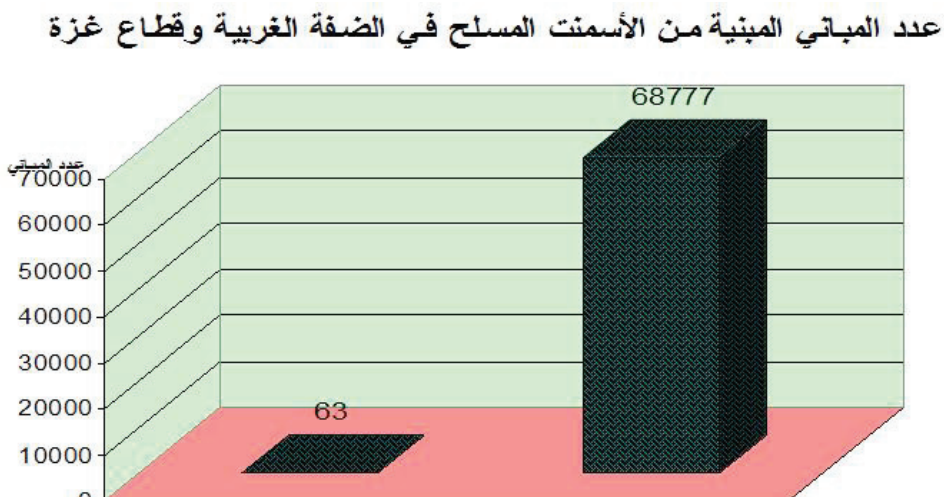

شكل (8) أ) المستوى السنوي، ب) الانحراف المعياري، ج) الحد الأعلى لعدد الزلازل ، د) معامل الاختلاف السنوي للهزات الأرضية الزلزالية في الأردن خلال أربع فترات زمنية (1983-2006)

المصدر: إعداد الباحث




شكل (9) القوى العظمى للهزات الأرضية الزلزالية في الأردن خلال الفترة (1983-2003) حسب مقياس ريختر

مصدر: إعداد الباحث بناء على بيانات سلطة المصادر الطبيعية.




شكل (10) فترات الرجوع للهزات الأرضية الزلزالية العظمى في الأردن خلال الفترة (1983-2003) حسب مقياس ريختر

المصدر: إعداد الباحث