

SEISMIC TOMOGRAPHY AND ITS IMPLICATION STRUCTURES USING REGIONAL SEISMIC PHASE RECORDED IN SYRIAN NATIONAL SEISMIC NETWORK AND SURROUNDING NETWORKS

Randa Mohamad¹, Mohammad Al-Samara², and Eric Sandvol³

¹ Syrian National Earthquake Center, Damascus, SYRIA, PhD student

² Higher Institute of Earthquake studies and research, University of Damascus, Damascus, SYRIA, Supervisor.

³ Department of Geological Sciences, University of Missouri Columbia, Missouri USA, Supervisor

(Received October 12, 2011 Accepted November 12, 2011)

Tomography or production of earth image using seismic waves similar to CAT scan stands for medicine computerized axial tomography using ultrasound, gama rays, or X-rays to produce a focused image of the structures across a specific depth within the body by sending signals through an object in different directions and add the signals to construct a cross section of the object.

In this study we focused on Lg attenuation in Syria using the waveforms data recorded at 57 stations for 340 events in Syria and surrounding areas to determine values of Lg Q_0 (Q at 1 Hz and its frequency dependence) by using the standard two-station method. These values are used to derive a tomographic model of laterally varying Q_0 for Syria and surrounding areas. The Lg Q_0 calculated values varies between 60 and 400. The lowest Q values are located in northwestern Syria beneath the triple junction of the Arabian, African, and Eurasian plates. We also observe high Lg attenuation along the northern segments of the Dead Sea fault system, Aleppo plateau, southwestern of Palmyra fold-and-thrust belt, and in eastern region of Syria beneath Rawda and Qamichli Uplifts. We found moderately high Q values along the North-South trending zone that cross the Palmyride fold and thrust belt through central Syria. There are two distinct high Q anomalies: one concentrated beneath Rutbah uplift, and the other in northwestern portion of the Palmyra fold-and-thrust belt and north Euphrates basin. We found that the Lg Q_0 tomographic model and its power-law frequency dependence Lg η correlate well with regional tectonic trends within Syria and the surrounding regions. Furthermore, we observe that Lg attenuation is sensitive to the upper crustal structure. As well as in this study we used the Pn Seismic phases velocity for all the enter two stations paths located in Syria and we divided the velocities into two groups of Pn velocity (6.65-7.7), (7.7-8.5) km/sec, and we determined the cross points represents the anisotropic boundaries. The alignments of those anisotropic boundaries in the uppermost part of the mantle showed well correlation with the main tectonic and main structures known in Syria as Palmyra fold-and-thrust belt and we found it limited with the higher

group velocity boundaries while the cross points with lower boundaries distributed alignment along Dead Sea fault system. Low velocity zone found trending north west-south east crossing the central Palmyra fold-and-thrust belt and dividing it into two parts the northeastern and the west southern part.

KEYWORDS: Tomography, LgQ

تقانة المسح الزلزالي التوموغرافي ثنائي الأبعاد (Seismic Tomography Technique) باستخدام الأطوار الموجية الزلزالية الإقليمية المسجلة في الشبكة الوطنية في سورية والشبكات المجاورة ومنعكساتها البنوية

إيريك ساندفول³

محمد السمارة²

رندة محمد¹

- 1- المركز الوطني للدراسات والبحوث الزلزالية- طالبة دراسات عليا.
- 2- المعهد العالي للدراسات والبحوث الزلزالية. جامعة دمشق - المشرف الأول.
- 3- قسم العلوم الزلزالية. جامعة ميزوري- الولايات المتحدة الأمريكية- المشرف الثاني.

الملخص:

يعتبر المسح الزلزالي أو إنتاج صورة للطبقات تحت السطحية للأرض باستخدام الموجات الزلزالية مشابهاً للتصوير المقطعي المستخدم في المجال الطبي المعتمد على المسح وفق محاور باستخدام الموجات فوق الصوتية وأشعة غاما أو الأشعة السينية، وذلك لإنتاج صورة مركزة عبر عمق محدد داخل الجسم عن طريق إرسال إشارات عبر الجسم في اتجاهات مختلفة، ومعالجة ودمج تلك الإشارات لبناء مقطع عرضي للجزء المراد تصويره بواسطة الحواسيب والبرمجيات الخاصة المناسبة وكذلك الحال بالنسبة لباطن الأرض، حيث يمكن أن نقوم بتطبيق أسلوب مشابه ولكن باستخدام الموجات الزلزالية.

تم في هذه الدراسة التركيز على تخامد الموجة الزلزالية Lg في سورية باستخدام البيانات الزلزالية المسجلة في 57 محطة رصد زلزالي لـ 340 هزة أرضية في سورية والمناطق المحيطة بها لتحديد قيم معامل الجودة $Lg Q_0$ عند التردد 1 هرتز على هذه المسارات باستخدام طريقة المحطتين. استخدمت هذه القيم للحصول على النموذج التوموغرافي ثنائي البعد لتغيرات قيم Q_0 لسورية والمناطق المجاورة. تراوحت القيم المحسوبة لـ Q_0 بين 60 و 400، وقد تركزت القيم المنخفضة في شمال غرب سورية في المنطقة الواقعة ضمن نطاق التلاقي الثلاثي للصفحة العربية والصفحة الأفريقية والصفحة الأوروبية الآسيوية، كما وجدنا أيضاً تخميد عالي في القسم الشمالي لمنظومة البحر الميت وهضبة حلب وفي جنوب غرب حزام الطي التدمري وفي المنطقة الشرقية من سورية تحت نهوض الروضة والقامشلي. بينما وجدنا قيم متوسطة إلى عالية تتوسط سورية وتقطع الطية التدمرية وتأخذ الاتجاه شمال جنوب إضافة الى ماذكر وجدنا منطقتين تميزتا بقيم عالية لـ Q إحداهما تتركز تحت نهوض الرطبة، والأخرى في الجزء الشمالي الغربي لحزام الطي التدمري وشمال حوض الفرات. لوحظ وجود توافق جيد بين كل من

النموذجين التيموغرافيين Lg Q0 و Lg η مع الاتجاهات التكتونية الإقليمية داخل سوريا والمناطق المحيطة بها، وعلاوة على ذلك لوحظ أن التوهين Lg Q0 حساس لبنية القشرة الأرضية.

كما تم في هذه الدراسة حساب سرعة الطور الموجي Pn لجميع المسارات بين المحطات الثنائية الواقعة في سورية وتحديد نطاقات عدم التجانس في السرعة في السويات العليا من المعطف العلوي بتقسيم سرعة الطور Pn لتلك المسارات إلى مجموعتين (6.65-7.7) و (7.7 و 8.5) كم/ثانية. وقد أظهرت توزع نقاط عدم التجانس تلك ترابطاً جيداً مع البنيات التكتونية الرئيسية المعروفة في سورية كحزام الطي التدمري حيث وجدنا أنها محاطة بنقاط ذات مجموعة السرعة الأعلى بينما كانت نقاط عدم التجانس التي توزعت على طول وبمحاذاة منظومة صدوع البحر الميت ذات سرعات أقل. إضافة إلى ذلك وجدنا نطاق محدد بسرعات منخفضة تتجه شمال غرب-جنوب شرق وتعبّر وسط حزام الطي التدمري وتقسّمه إلى جزئين القسم الشمالي الشرقي والقسم الجنوبي الغربي.

الكلمات المفتاحية: التيموغرافي، Lg Q، المسح الزلزالي

مقدمة :

تعتبر الزلازل من أكثر الظواهر الطبيعية حدوثاً، إذ تحدث أكثر من مليون هزة أرضية خلال العام الواحد يتم رصدها بواسطة شبكة واسعة من محطات الرصد الزلزالي المحلية والعالمية المنتشرة في كافة أنحاء العالم، حيث يتم من خلال معالجة تسجيلات هذه الشبكات وبالاستعانة بالبرمجيات الحاسوبية الخاصة المناسبة لتحديد مواقع وأعماق النشاطات الزلزالية بدقة عالية على المستويين المحلي والإقليمي، وتعتبر الأمواج الزلزالية الناتجة عن الهزات الأرضية أو الزلازل التي تحدث على مسافات إقليمية ذات أهمية في إستكشاف البنية الداخلية للأرض والقشرة الأرضية بالإضافة إلى أن دراسة خصائص انتشارها وسلوكها عبر المسارات التي تسلكها لها منعكسات كبيرة في تحديد الأخطار الزلزالية والتخفيف منها.

لقد أستخدمت الأمواج الزلزالية المسجلة في محطات الرصد الموزعة في كافة أنحاء العالم والشبكات المحلية بنجاح خلال العقود السابقة لإستدلال على بنية الأرض وتركيبها الداخلي (الشكل 1)، وإن معظم المعلومات المتوفرة عن الأرض والقشرة الأرضية أتت من دراسة الموجات الزلزالية وكيفية إنتشارها ضمن مواد الطبقات المختلفة للأرض، لهذا كانت دراسة خصائص إنتشار وسلوك الأطوار الموجية الزلزالية المختلفة التي تولدت عن الزلازل المحلية والإقليمية والمسجلة في الشبكتين الوطنية السورية للرصد الزلزالي والشبكات المجاورة أحد الأهداف الرئيسية لهذا البحث من أجل التعرف على بنية القشرة الأرضية في سورية والبنيات التحت سطحية والمخاطر الزلزالية التي يمكن أن تنجم عن المصادر الزلزالية النشطة في سورية والمصادر الزلزالي المحيطة بها.

المصادر الزلزالية الإقليمية المحيطة بسورية :

تقع سورية بجوار الحدود النشطة للصفائح المتقاربة والمحوّلة وإن الوضع البنوي والتكتوني السائد في سورية والمناطق المحيطة بها نجمت عن عمليات التشوه على الحدود الصفحية والتشوهات ضمن قارية بسبب التحركات الحاصلة على هذه الحدود والتي تمثلت بالظواهر الطبوغرافية الأساسية لسلاسل الأناضول وجبال زاغروس في شمال المنطقة نتيجة التصادم بين الصفحتين العربية والأوراسية والحدود المحولة المتمثلة بنظام صدع البحر

الميت الحدود بين الصفيحة العربية والصفيحة الأفريقية إضافة إلى التشوهات الداخلية ضمن القارية التي حصلت في سورية كحزام الطي التدمري و حزام الدفع و نظام صدوع الفرات و بنية جبل عبد العزيز-سنجار. (McClusky, 2000) (Graham, 2001).

إن النسبة العظمى من الزلازل المسجلة في الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي تقع على الحدود الفاصلة بين الصفائح التكتونية وتختلف آلية حدوث هذه الزلازل باختلاف آلية الحركة التي تحدث عند هذه الحدود. يبين (الشكل 2) موقع سورية بالنسبة لهذه الحدود وآلية الحركة المؤدية لحدوث هذه الزلازل والتي يمكن أن نلخصها بمايلي:

- تباعد صفيحتين عن بعضهما (التباعد بين الصفيحتين العربية (Ar) والأفريقية (النوبية Nu) على امتداد البحر الأحمر.
- اصطدام صفيحتين ببعضهما البعض و انغراز إحدى هاتين الصفيحتين تحت الصفيحة الأخرى في مناطق تدعى مناطق الانغراز (subduction_zones)، كما هو الحال في تصادم الصفيحة العربية (Ar) مع الصفيحة الأوراسية (Eu) شمال سورية والذي يؤدي بدوره الى انزلاق الكتلة الأناضولية (An) على طول صدعين رئيسيين: صدع شمال الأناضول (North Anatolian Fault) وصدع جنوب شرق الأناضول (East Anatolian Fault) الذي يبعد نحو 100 كم عن الحدود السورية الشمالية مع تركيا.
- تحرك صفيحتين بمحاذاة بعضهما البعض: تحرك الصفيحة العربية (Ar) بمحاذاة الصفيحة الأفريقية (النوبية Nu) في غرب بلاد الشام (غرب سورية) على طول نظام البحر الميت الصدعي ذو الانزياح الجانبي اليسار {DEAD SEA FAULT SYSTEM (DSFS)}، ويمتد هذا الصدع من خليج العقبة في الجنوب إلى الشمال حيث الملتقى الثلاثي (Triple_Junction) للصفيحة العربية والصفيحة الأفريقية والصفيحة الأوروبية الآسيوية في جنوب وسط تركيا.
- يضاف إلى ماسبق الزلازل التي تحدث ضمن الصفائح نتيجة للتشوهات ضمن قارية كالتالي تحدث ضمن طية تدمر وضمن نظام صدوع الفرات و ضمن بنية جبل عبد العزيز-سنجار.

الهدف من الدراسة:

يهدف هذا البحث إلى دراسة بنية القشرة الأرضية والسويات العليا للمعطف العلوي وتحديد خصائص انتشار الأطوار الموجية الزلزالية المختلفة وأشكال تفاعلها مع الجيولوجيا تحت السطحية التي يمكن ملاحظتها على السجلات الزلزالية، إذ أن لهذه الخصائص منعكسات هامة في دراسة الأخطار الزلزالية والتخفيف منها واستكشاف البنيات تحت سطحية وذلك بتطبيق تقانة المسح الزلزالي ثنائي الأبعاد Seismic Tomography Technique على السجلات الزلزالية المأخوذة من الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي والشبكات المجاورة لها.

الطرق والبيانات المستخدمة:

تقانة المسح الزلزالي التوموغرافي: (Seismic Tomography Technique):

تم في هذه الدراسة استخدام هذه التقانة بنوعيتها تقانة المسح الزلزالي الأولي لوضع خرائط للتغيرات الجانبية لسرعة إنتشار الأمواج الأولية p_n ، وذلك لإنتاج خارطة توزع حدود عدم التجانس في المعطف العلوي التي تعبرها تلك الأمواج ، وتقانة المسح الزلزالي الدقيق لوضع خارطة التغيرات الجانبية لتخامد الطور الموجي Lg وخارطة علاقة الطاقة $Lg\eta$ المعتمدة على التردد للتعرف من خلالها على البنيات التحت سطحية ضمن القشرة وتحديد النطاقات المتميزة بخواصها وذلك باستخدام حوالي 25300 سجل زلزالي لأكثر من 340 زلزال إقليمي مسجل في 57 محطة رصد زلزالي في الشبكة الوطنية السورية والشبكات المجاورة (التركية والأردنية والقيصرية والسعودية). يبين الشكلان 3 و4 مواقع محطات الرصد الزلزالي ومواقع الزلازل الاقليمية المستخدمة في هذه الدراسة.

مبدأ المسح الزلزالي المستخدم في هذه الدراسة:

يمكن توضيح مبدأ هذه الطريقة بشكل عام من خلال المثال التالي: إذا افترضنا بأنه لا توجد لدينا معلومة لتحديد موقع محافظة دمشق وريفها سوى مسارات الأقمار الصناعية التي تمر فوقها فنقوم بتمثيل المسارات المحققة للشرط بالخطوط الحمراء والمسارات الأخرى والتي لا تمر فوقها بالخطوط الزرقاء كما هو مبين في (الشكل 5-1) فسوف نجد أن الخطوط الحمراء ستتركز في جنوب غرب سورية مشيرة إلى أن الموقع المحتمل للمحافظة هي في جنوب غرب سورية بشكل أولي ولكن ومن أجل الوصول إلى دقة أكثر في تحديد الموقع نقوم بتحديد نقاط تقاطع المسارات التي تحقق شرط المرور (ممثلة بالنقاط الحمراء) ونقاط تقاطع المسارات التي لا تحقق هذا الشرط (ممثلة بالنقاط الزرقاء) (الشكل 5-2) ثم بعد ذلك نقوم بإستبعاد نقاط تقاطع جميع المسارات الغير محققة لشرط مرورها فوق المحافظة وريفها أي (الخطوط الزرق ونقاط تقاطعاتها الممثلة بالنقاط الزرقاء) كذلك أيضاً نستبعد النقاط ذات اللون الأحمر المبعثرة والواقعة خارج نطاق تجمع مثيلاتها والقريبة من النقاط الزرقاء والتي يمكن أن نعزو تواجدها إلى أخطاء صناعية في التحديد بسبب كون جميع النقاط القريبة من هذه النقاط المبعثرة زرقاء ونبقى فقط نقاط تقاطع المسارات المحققة للمعلومة ثم نقوم بتحديد حدود التجمع الرئيس للنقاط الحمر والممثلة بالبقعة الصفراء (الشكل 5-3)، والتي تمثل الحدود التقريبية للمحافظة وبمقارنتها مع الحدود الواقعية لمحافظة دمشق وريفها (الشكل 5-4) الممثلة باللون الوردى نجد أن التحديد جيد نوعاً ما ولكنه غير دقيق بعد.

ويمكن زيادة الدقة أكثر أيضاً من خلال المسح الزلزالي الدقيق باستخدام حزم من الاشارات المرسله وفق زوايا محددة عوضاً عن استخدام مسارات وحيدة للإشارات على غرار الصور الطبية CAT SCAN التي تستخدم الأمواج فوق الصوتية أو أمواج غاما أو أمواج إكس لإنتاج صورة مركزة للبنيات غير المرئية عبر عمق محدد ضمن جسم الانسان بواسطة إرسال تلك الأمواج باتجاهات مختلفة عبر الجسم وجمع وتحليل تلك الاشارات باستخدام البرامج الحاسوبية المناسبة للحصول على مقطع عرضي ضمن الجزء المراد دراسته إلا أنه في حال دراسة الأرض يمكن استخدام الطريقة نفسها لعمل صورة للأرض ثنائية البعد بدقة عالية باستخدام حزم إحدى أنواع الأمواج الزلزالية القادمة من المصادر

الزلزالية المختلفة الموجودة لإنتاج خارطة للتغيرات الجانبية، والتي تعكس التغيرات البنيوية والجيولوجية وحدود التغيرات الجيوفيزيائية تحت سطحية الموجودة ضمن مجال اختراق وانتشار هذه الأمواج مع التتويه هنا إلى أنه لا يمكننا التحكم بموقع المصدر الزلزالي وبنوعية الإشارات الزلزالية وبالتالي بالاتجاهات كما هو مطبق في المجال الطبي وإنما نستفيد مما هو موجود في الطبيعة.

خطوات العمل وتحضير البيانات:

- لقد تم اختيار الزلازل التي حدثت في الفترة من 1995 إلى 2008، والتي حققت الشروط التالية: أن تكون مسجلة في الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي والشبكات المجاورة لسورية الواقعة في تركيا والأردن والشبكات العالمية، ويزيد قدرها عن 3.5 ريختر، وأعماقها لا تتجاوز 40 كيلومتر وتقع مراكزها السطحية على مسافات تزيد عن 200 كيلومتر (المسافة الفاصلة بين بؤرة الزلزال ومحطة التسجيل ثلاثة أضعاف عمق الموهو تقريباً) بحيث نضمن أن يكون الوصول الأولي على التسجيلات ضمن هذه المسافات هو الطور Pn الذي ينتشر ضمن السويات العليا للمعطف العلوي. وضمان وجود الأطوار الموجية الإقليمية وخاصة الطور Lg الذي ينتشر عبر المسارات القارية في القشرة الأرضية يظهر (الشكلين 3 و 4) توزع المحطات والزلازل المستخدمة في هذه الدراسة.
- إزالة تأثير استجابة أجهزة الرصد الزلزالي لكل محطة (تأثيرات السعة والطور للحساس) وقد تم التأكد من دقة هذا الإجراء باختبار عدد من المسارات للمحطات الثنائية المسجل فيهما باتجاهين متعاكسين والحصول على نتائج متطابقة حيث أنه وباستخدام هذه المسارات يمكن إيجاد علاقة استجابة محطة واقعة بين المحطتين وفقاً لدراسة باو (باو وآخرون 2007) وعندما يتم إزالة استجابة المحطة بنجاح تكون علاقة الاستجابة واحدة على كامل الترددات.
- اعتماد الاحداثيات لمواقع توزع المراكز السطحية للزلازل التي حققت الشروط السابقة من النشرات الزلزالية الصادرة عن المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS نظراً لدقتها حيث تقوم هذه المراكز بإعادة تحديد مواقعها النهائية بدقة بتجميع كافة الوصولات الأولية للموجات الزلزالية المسجلة في شبكات الرصد الزلزالي.
- تحديد أزمدة الوصول الأولي والنافذة الزمنية المناسبة للطور الموجي Lg آلياً باستخدام أزمدة الوصول النظرية ضمن المجال السري 2.9-3.5 كيلومتر/ثانية باعتماد مواقع المراكز السطحية المحددة في الفقرة السابقة بإستخدام برنامج التحليل الزلزالي SAC
- إعادة تحديد أزمدة الوصول الأولي Pn بدقة على كافة السجلات الزلزالية في الشبكة السورية لهذه الزلازل على المركبة الشاقولية لحساس التسجيل بإستخدام برنامج التحليل الزلزالي SAC. ومن ثم مراجعة جميع السجلات والتأكد من دقة النافذة المختارة وتصحيحها لكل سجل زلزالي على حدة .
- حساب النموذج الأولي للبنية السريعة من منحنى علاقة الزمن بالمسافة وإيجاد منحنى الترابط الخطي لجميع النقاط $Y=0.22X+7.89$ الشكل (7) وقد تم حساب السرعة الوسطية لإنتشار الأمواج الأولية في المعطف العلوي في سورية من العلاقة السابقة وبلغت 8.19 كم/ثا.

- اختيار جميع المحطات المسجلة للحدث الزلزالي والتي تشكل ثنائيات تقع على استقامة واحدة مع المركز السطحي لبؤرة الهزة ان القيمة العظمى للزاوية التي على أساسها يتم إختيار الثنائيات التي على استقامة واحدة مع الزلزال يساوي 15 درجة.

المسح الزلزالي الأولي:

- حساب سرعة إنتقال الأمواج الأولية Pn للمسارات بين هذه الثنائيات الواقعة في سورية، وقد تراوحت القيم المحسوبة للسرع بين 6.65 و 8.5.
- تم تصنيف المسارات وفقاً للسرع المحسوبة إلى مجموعتين المجموعة الأولى السرعات التي تتراوح بين (7.7-6.65) كم/ثا والمجموعة الثانية السرعات التي تتراوح بين (8.5 - 7.7) كم/ثا. ومن ثم إيجاد نقاط التقاطع بين مسارات كل مجموعة بواسطة برنامج نظام المعلومات الجغرافي GIS، وقد بلغت عدد نقاط التقاطع بين مسارات المجموعتين 14298 نقطة تقاطع.
- تطبيق طريقة المسح الزلزالي الأولي ورسم خارطة توزع نقاط التقاطع وفق التصنيف المعتمد سابقاً وإعطاء لونين مختلفين بواسطة برنامج نظام المعلومات الجغرافي GIS لكل مجموعة وتمثيل نقاط التقاطع للمجموعة الأولى ذات السرعات الأخفض باللون الأزرق ونقاط التقاطع للمجموعة الثانية ذات السرعات الأعلى باللون الأحمر يبين (الشكل 8) نتائج المسح الأولي.

المسح الزلزالي الدقيق:

- تم تطبيق طريقة المحطتين المعيارية في معاملة المعطيات لحساب معامل الجودة LgQ_0 عند التردد 1 هرتز وعلاقة الطاقة $Lg \eta$ لها المعتمدة على التردد باستخدام المعادلة المعطاة من قبل (Xie.J.1990b)

$$\ln \left[\frac{v_{lg}}{\pi \Delta_{i,j}} \ln(R(f)) \right] = (1 - \eta) \ln f - \ln Q_0 \quad (1)$$

$$R(f) = (\sqrt{\Delta_i} | \sqrt{\Delta_j}) (A_i(f) | A_j(f)) \quad (2)$$

حيث:

v_{lg} : هي السرعة النموذجية لمجموع الأطوار الموجية Lg 3.5 بالكيلومتر/ثانية.

Δ_i و Δ_j : بعدا المحطتين عن المركز السطحي للزلزال.

$A_i(f)$ و $A_j(f)$: سعة الطيف للطور Lg من أجل كل محطة.

$\Delta_{i,j}$: المسافة بين المحطتين.

وفي هذه الطريقة يتم ازالة تأثير المصدر الزلزالي بأخذ النسبة لطيف الطور الموجي Lg للمحطتين اللتين تقعان على استقامة واحدة مع موقع المركز السطحي للهزة، و إزالة تأثير الانفراج الهندسي أحادي البعد بأخذ الجذر التربيعي لنسبة بعدي المحطتين عن موقع المركز السطحي لتلك الهزة (Xie et al;2004) و القيمة العظمى للزاوية $\delta\theta^\circ$ التي على أساسها يتم إختيار الثنائيات التي

على استقامة واحدة مع المركز السطحي يساوي 15 درجة. وتم تحديد الخطأ المتعلق بالمسافة بين المحطتين $\Delta_{i,j}$ المرتبط بشكل كبير بقيمة Q_0 المقدرة من أجل المسار المطلوب باستخدام المعادلة

الموضوعة من قبل (Xie,J.R,2004) $\frac{\delta Q_0}{Q_0} \approx 1.1 \frac{Q_0}{\Delta_{i,j}} \delta x$ ومن أجل الحفاظ على هذا الخطأ

بنسبة أقل من 35% مع قيمة خطأ النمذجة المعينة 0.2 فإن النسبة $\frac{Q_0}{\Delta_{i,j}}$ يجب أن لا تتجاوز 1.6.

تم القيام بالنمذجة ثنائية البعد عن طريق حل المسألة العكسية لقياسات LgQ بين الثنائيات (Xie,1990) ووضع خارطة التغيرات الجانبية لمعامل الجودة LgQ₀ لسورية والمناطق المحيطة بها ضمن شبكة مربعات بالأبعاد 1°x1° و خارطة علاقة الطاقة Lgη لها المعتمدة على التردد ضمن شبكة المربعات بالأبعاد 0.5°x0.5° كما هو موضح في الشكلين (9 و 10).

النتائج والمناقشة:

نتائج المسح الزلزالي الأولي:

لقد تم في هذه الدراسة ولأول مرة تطبيق الفكرة الأساسية لطريقة المسح الزلزالي الأولي على سرعة إنتقال الأمواج الأولية للطور الموجي Pn الذي ينتقل ضمن السويات العليا للمعطف العلوي من خلال مراقبة أزمنة الوصولات الأولية على السجلات الزلزالية في الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي وحساب السرعة ضمن المسارات بين المحطات الثنائية الواقعة في سورية، وحاولنا ربط نتائج المسح الزلزالي الأولي الموضح في (الشكل 8) الذي يظهر توزع نقاط عدم تجانس سرعة إنتقال الأمواج الأولية للطور Pn ضمن السويات العليا للمعطف العلوي بالبنية

الداخلية للمعطف العلوي والقشرة الأرضية في سورية وذلك بالاعتماد على حقيقة أن السرعة المختلفة لانتقال الأمواج الزلزالية تعتمد على اختلاف الخصائص الفيزيائية للمواد التي تنتقل عبرها.

وفيما يلي النتائج والملاحظات التي تم الحصول عليها من المسح الأولي (الشكل 8):

- تأخذ توزع نقاط عدم التجانس للمجموعتين الأولى والثانية لسرع الموجة الأولية Pn المظهر الخطي بشكل عام.

- يغلب على توزع المجموعة الأولى للنقاط ذات السرعة المنخفضة للموجة الأولية Pn والممثلة في الشكل السابق بإشارة الجمع باللون الأزرق الاتجاهين شمال-جنوب في غرب سورية والاتجاه شرق-غرب وأحياناً الاتجاه جنوب شرق-شمال غرب.

- يغلب على توزع المجموعة الثانية للنقاط ذات السرعة العالية للموجة الأولية Pn والممثلة في الشكل بإشارة الجمع ذات اللون الأحمر الإتجاه شمال شرق-جنوب غرب. باستثناء بعض التوزعات في شمال نهوض حلب التي تأخذ الإتجاه شمال غرب-جنوب شرق.

- نلاحظ بشكل عام تقارب خطوط حدود عدم التجانس بإتجاه الشرق للمجموعتين الأولى والثانية للسرع المنخفضة والعالية والتي تأخذ الاتجاهات شمال شرق-جنوب غرب أو جنوب شرق-شمال غرب ويكون التباعد بينهم باتجاه الغرب أكبر من التباعد بينهم باتجاه الشرق. يمكن أن يعزى هذا التقارب إلى اتجاهات الحركة المسيطرة في سورية لحركة الصفيحة العربية بإتجاه الشمال مع الدوران بعكس إتجاه عقارب الساعة فتؤدي هذه الحركة إلى تقارب هذه الحدود باتجاه الشرق بينما تؤدي إلى تباعدها أو إبقائها على وضعها باتجاه الغرب.

- لوحظ وجود توافق بين حدود عدم التجانس لمجموعة نقاط السرعة المنخفضة ومجموعة نقاط السرعة الأعلى للموجة Pn والممثلة لحدود عدم التجانس في الأقسام السطحية للمعطف والموضحة في الشكل (8) مع معظم المظاهر البنيوية والتكتونية الرئيسية المعروفة في سورية و تكون مسابرة لاتجاه هذه البنيات الرئيسية بشكل عام كما يلي:

• أن حدود عدم التجانس الممثلة بإشارات الجمع ذات اللون الأحمر لمجموعة السرعة للموجة الأولية Pn التي تتراوح بين 7.7 إلى 8.5 كم/ثا تأخذ الإتجاه شمال شرق-جنوب غرب وتساير اتجاه الطية التدمرية الواقعة في وسط سورية وتتموضع هذه النقاط على حديها الجنوبي والشمالي بينما حدود عدم التجانس لمجموعة السرعة للموجة الأولية Pn التي تتراوح بين 6.65 إلى 7.7 كم/ثا والممثلة بإشارات الجمع ذات اللون الأزرق تأخذ الاتجاه شمال-جنوب بشكل عام وتوزع في غرب سورية بتوافق مع اتجاه صدع البحر الميت.

• أن حدي عدم التجانس اللذان يأخذان الاتجاه جنوب شرق -شمال غرب والممثلان للمجموعة الأولى لسرع الموجة الأولية Pn التي تتراوح بين 6.65 إلى 7.7 كم/ثا يكونان متباعدين في الاتجاه شمال غرب ويتلاقيان في الاتجاه جنوب شرق ويقطعان الطية التدمرية في منتصفها تقريباً ويتموضعان ضمن المنطقة المعروفة التي تفصل الطية التدمرية إلى قسميها الشمالي الشرقي والجنوبي الغربي وتسايران صدع جحار بشكل عام. قد يشكل هذا النطاق منطقة نشاط اندفاعات

- مواد ذات حرارة عالية من المعطف العلوي أو أن هذه المنطقة تتعرض إلى اجهادات كبيرة تؤدي إلى تحول المواد إلى صخور لدنة تكون فيها سرعة إنتقال الطور Pn منخفضة.
- أن نقاط حدود عدم التجانس لسرعة إنتشار الموجة الزلزالية Pn تشير إلى وجود نطاقات مختلفة الخواص الفيزيائية للمواد الممثلة للمعطف العلوي الناجم ربما عن إختلاف في درجات حرارة أو كثافة هذه المواد المشكلة للسويات العليا للمعطف العلوي والقشرة الأرضية وبالتالي فالمناطق التي تكون فيها السرعة منخفضة في غرب سورية تعكس الخواص الفيزيائية للمواد المتوضعة في الحد الصفيحي ضمن نطاق التحرك بين الصفيحة العربية والصفيحة الأفريقية على طول نظام البحر الميت الصدعي، من المحتمل أن انخفاض السرعة في هذه النطاق هو بسبب وجود اندفاعات للمواد من المعطف تؤدي إلى ارتفاع في درجة الحرارة بالإضافة إلى أنه أيضاً يمكن أن يكون هناك تأثير للحركة الانفتاحية التي تحدث في الجزء الغربي من سورية بسبب الحركة الدورانية باتجاه عكس عقارب الساعة للصفيحة العربية التي تؤدي إلى تصدعات باتجاع شمال جنوب وتخلع في تلك المناطق مما يؤدي إلى انخفاض في السرعة أيضاً.
 - أن نقاط حدود عدم التجانس للمجموعة الثانية ذات السرعات الأعلى والتي تتوضع على حدود الطي التدمري ربما نجمت عن إزدياد الكثافة في المواد المشكلة لهذا الطي بسبب الاجهاد الذي تتعرض له نتيجة كونه محور الدوران بالإضافة إلى أن المواد المندفعة من المعطف في هذه المناطق قد تكون بردت وبالتالي تكون السرعة المتوقعة أعلى.

نتائج المسح الزلزالي الدقيق:

لقد تم في هذه الدراسة تطبيق المسح الزلزالي الدقيق على خاصتي تخامد الطور الموجي Lg عند التردد 1 هرتز وعلاقة الطاقة $Lg\eta$ لها المعتمدة على التردد أيضاً نظراً لأهمية دراسة تخامد الموجة الزلزالية في فهم بنية القشرة الأرضية والتطور التكتوني لشمال الصفيحة العربية، وكذلك من أجل فهم الخطر الزلزالي الناجم عن المصادر الزلزالية الاقليمية.

لقد استخدمت خصائص إنتشار الموجات الزلزالية Lg نظراً لكونها هي الموجة الأكثر وضوحاً ضمن المسارات القارية المستقرة و تعتبر الموجة السيزمية القصيرة الدور عالية التردد ذات السعة الأكبر بين الأطوار الموجية الإقليمية التي يلاحظ وجودها في السجلات الزلزالية للزلازل الاقليمية بشكل دائم تقريباً، و يلاحظ وجودها بشكل سائد على المسارات القارية وتنتقل عبر القشرة القارية وتكون هي المسؤولة عن الدمار الناجم عن الزلازل الكبيرة التي يمكن أن تحدث على هذه المصادر الاقليمية كونها الموجة ذات الترددات العالية والطاقة الكبيرة التي تصل من هذه المسافات البعيدة. ويمكن نمذجتها على أنها مجموع الأمواج السطحية ذات الترددات العالية (higher mode) أو أنها ناتجة عن الانعكاسات المضاعفة الحرجة جداً للموجة القصية S ضمن القشرة الأرضية (Herrin, E, T 1960, Buchon, M, 1983). تنتشر هذه الأمواج ضمن القشرة الأرضية بترددات تتراوح بين 0.2 و 5 هيرتز وبسرعة تتراوح بين 3.0 و 3.6 كم/ثانية ولا تظهر هذه الموجة أو يكون ظهورها ضعيفاً في المسارات ضمن القشرة المحيطية أو القشرة القارية الرقيقة وضمن الأحواض الرسوبية العميقة وعندما تواجه

مساراتها بتغيرات مفاجئة في سماكة القشرة الأرضية وفي المناطق اللدنة المنصهرة جزئياً في القشرة الأرضية (Mitchell,1995).

لقد استخدمت خصائص إنتشار الموجات الزلزالية Lg نظراً لكونها هي الموجة الأكثر وضوحاً ضمن المسارات القارية المستقرة وهذا ما يدعو إلى أهمية فهم سلوك انتشار هذا الطور الموجي في سورية. تشير النتائج التي تم الحصول عليها لخارطة التغيرات الجانبية لقيم LgQ_0 الممثلة للنموذج ثنائي البعد المحسوب المعتمد على التردد للطور الموجي Lg إلى تغيرات واضحة لهذه القيم تراوحت بين 60 إلى 500. كما هو مبين في الشكل (9) حيث نلاحظ ان قيم التخماد الأعلى لطور الموجي Lg تتركز في منطقة البحر المتوسط، حيث تواجه مسارات هذه الموجة بالقشرة المحيطية و القشرة القارية الرقيقة التي تقوم هذه الأوساط بحجب مرورها أو بإضعافها فلا تظهر أو يكون ظهورها ضعيفاً في السجلات الزلزالية تتوافق هذه النتائج وتؤكد ماتوصل إليه الباحثان Mitchell و Bouchon (1982; Mitchell,1995) أن الطور الموجي Lg لايمكنه الانتشار ضمن القشرة المحيطية.

وجدنا تخامد عالي لهذا الطور الموجي على طول نظام صدع البحر الميت الذي يأخذ الاتجاه شمال- جنوب و على طول صدع الأناضول الشمالي ذو الانزياح الجانبي اليميني الميوسيني البليوسيني وصدع الأناضول الشرقي ذو الانزياح اليساري المترافق مع تحرك الصفيحة الأناضولية. يمكن أن يكون السبب لعمليات التخماد العالية التي تعرضت لها الموجة الزلزالية Lg في غرب وشمال غرب سورية التعقيد التكتوني والتشوه التكتوني الذي يعمل على تشنيت وإضعاف الطور الموجي Lg . الموجود على طول هذه البنيات.

وجدت القيم التي تراوحت بين 150-225 لمعامل الجودة LgQ_0 في الجزء الجنوبي الغربي من سورية ولبنان وتعتبر هذه القيم منخفضة نسبياً وترتبط بشكل كبير بالمنطقة الواقعة في القسم الأوسط من منظومة صدع البحر الميت وعلى الرغم من أن هذه القيم ليست منخفضة مقارنة بالقيم التي وجدناها في الجزء الشمالي من هذه المنظومة إلا أننا لاحظنا انخفاض كبيراً في تخامد القشرة على المسافة 100 كيلومتر تقريباً عن حدود الصفيحة العربية وصفيحة سيناء ويمكن أن نعزو هذه القيم المنخفضة لمعامل الجودة في هذه المنطقة أيضاً إلى تعرض الأمواج Lg لعمليات التشنيت بسبب التغيرات المفاجئة في سماكة القشرة الأرضية الناجمة عن انحراف نظام صدع البحر الميت باتجاه شمال شرق والذي أدى إلى تغيرات كبيرة في سماكة القشرة الأرضية والذي ظهر بالتغيرات الطبوغرافية العالية لسلسلة لبنان وكذلك أيضاً بسبب عمليات التشوه المرتبطة بالحدود الصفيحية الناتجة عن التحرك بين الصفيحة العربية وصفيحة سيناء والتي تؤدي إلى ارتفاع في درجات حرارة القشرة الأرضية وتحول بعض أجزاء في القشرة الأرضية إلى صخور لدنة ومنصهرة جزئياً تؤدي إلى إضعاف أو عدم مرور هذه الأمواج.

ومن النتائج الهامة التي تمت ملاحظتها في هذه الدراسة أن معظم المسارات العمودية على إتجاه السلاسل الجبلية أظهرت تخامد عالي بينما المسارات الموازية أظهرت تخامداً منخفضاً ربما يعود ذلك إلى أن المسارات العمودية على السلاسل الجبلية تصادف بتغيرات مفاجئة في سماكة الرسوبيات على عكس المسارات الموازية لهذه الزلازل. ومن النتائج الهامة أيضاً أن التخماد الملحوظ في القسم الجنوبي الغربي من سورية شرق هذه المنطقة (حيث الانتشار الواسع للتوضعات البركانية) يمكن أن يترافق بارتفاع في درجات الحرارة في القشرة وإلى إنصهار

المواد وتحولها إلى مواد لدنة وبالتالي وسط غير مناسب لممرور الطور الموجي Lg مما يؤدي إلى انخفاض قيم LgQ ولكن هذه القيم مع أنها منخفضة نوعاً ما إلا أنها مرتفعة عن التخماد المتوقع مما يشير إلى أن الانصهار للقشرة الأرضية ضعيف في هذه المنطقة التي شهدت سابقاً نشاطاً بركانياً واسعاً. أما بالنسبة للتخماد الملحوظ في الجزء الشرقي من سورية والتي تركزت تحت نهوض الروضة وجنوب حوض الفرات حيث السماكات الكبيرة لرسوبيات السينوزويك التي تغلب فيها التوضعات الهيدروكربونية، يمكن أن يعود سبب هذا الانخفاض على الأغلب إلى علاقة هذه القيم بالمحتوى السائلي (Mitchell, 1995) وتأثيرها بانخفاض سرعة الأمواج القصية S في رسوبيات هذا الحوض.

وجدت القيم المتوسطة لمعامل الجودة التي تراوحت بين (225-300) في وسط سورية أخذة الاتجاه شمال-جنوب وتفصل المنطقة الشرقية عن المنطقة الغربية لسورية وتركزت تحت المناطق التالية : مرتفع ماردين في تركيا - شمال حوض الفرات - تحت الجزء الشمالي الغربي من الطي التدمري وحزام الدفع، مما يشير إلى عدم وجود تغيرات كبيرة في سماكة الرسوبيات في هذه المنطقة، أما القيم المرتفعة لمعامل الجودة LgQ والأعلى من 300 فقد تركزت في جنوب سورية تحت نهوض الرطبة وشرق الأردن حيث تكون فيها القشرة الأرضية مستقرة نسبياً ومن المهم ملاحظة أن هذه القيم قريبة من القيم المتوسطة العالمية لـ LgQ مما يشير إلى استقرارية القشرة نسبياً في هذه المنطقة.

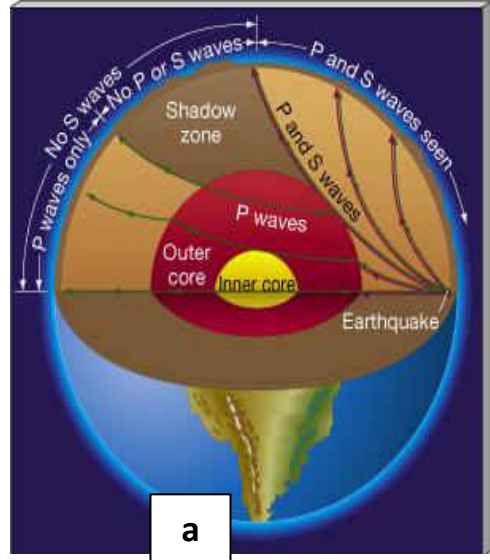
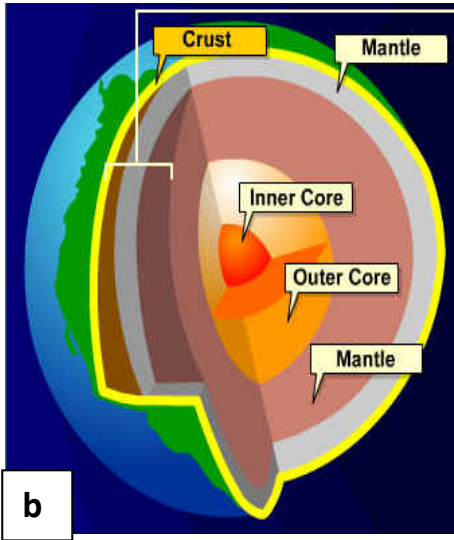
أظهرت خارطة التغيرات لقيم LgQ المبينة في الشكل (9) توافقاً جيداً مع المظاهر البنيوية والتكتونية الرئيسية في سورية حيث نجد فيها أن قيم التخماد العالي يأخذ الاتجاه شمال - جنوب متوافقاً مع الحدود الصفحية الممتدة بنظام صدوع البحر الميت وأن القيم المنخفضة إلى المتوسطة للتخماد تأخذ الاتجاه شمال شرق - جنوب غرب بتوافق جيد مع إتجاه الطي التدمري في وسط سورية وأخيراً القيم المتوسطة التي تأخذ اتجاه شمال - جنوب تتوافق أيضاً مع إتجاه منظومة صدوع الفرات.

لقد تم في هذه الدراسة بالإضافة إلى وضع خارطة تغيرات LgQ المحسوبة باستخدام طريقة المسح الدقيق وضع خارطة التغيرات الجانبية لقيم $Lg\eta$ المحسوبة أيضاً (علاقة الطاقة المعتمدة على التردد لـ Lg) لسورية والمناطق المجاورة الشكل (10) فوجدنا بشكل عام أن هناك توافقاً عكسياً بين قيم $Lg\eta$ و قيم LgQ فقد تركزت القيم المرتفعة لـ $Lg\eta$ في شمال غرب وغرب سورية بينما القيم المنخفضة لها تركزت في الجنوب وشمال سورية. لقد عكست التغيرات الجانبية لقيم $Lg\eta$ التأثير الواضح جداً بالوضع البنيوي وزيادة سماكة الرسوبيات للطفية التدمرية بسبب التقصير المعبر في القشرة الشكل (11) إن هذا التوافق يشير إلى أن التغيرات الجانبية المحسوبة لقيم $Lg\eta$ تعكس بدقة الوضع البنيوي تحت السطحي الرئيسي والسماكات الكبيرة للرسوبيات التي سيطرت في هذه المنطقة خلال فترة الميزوزويك والسينوزويك.

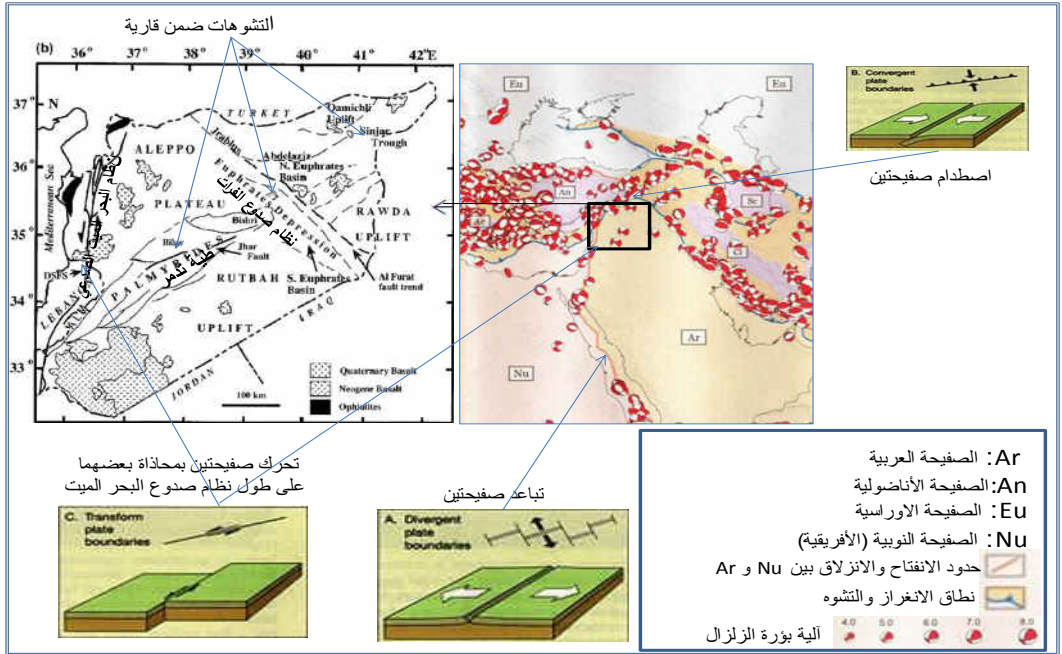
قائمة الأشكال:

الشكل 1- (a) : إنتشار الأمواج الزلزالية المختلفة من المصدر الزلزالي عبر طبقات الأرض، الشكل 1- (b) يظهر بنية الأرض الداخلية المحددة والمكونة من (النواة الداخلية- Inner Core) والنواة

- الخارجية (Outer Core) - المعطف - Mantle وينقسم إلى المعطف السفلي -
 Asthenosphere والمعطف العلوي- Lithosphere) والقشرة الأرضية- Crust.
- الشكل (2): خارطة النشاط الزلزالي وآليات الحركة في بؤر الزلازل في المصادر الزلزالية المحيطة بسورية
 (Rilenger2006) الخارطة مأخوذة من الموقع الإلكتروني
http://ccgm.free.fr/mediterranean_geodyn_gb.html
- الشكل (3): يبين مواقع محطات الرصد الزلزالي المستخدمة في هذه الدراسة.
- الشكل (4): يبين مواقع الزلازل الإقليمية المستخدمة في هذه الدراسة.
- الشكل 5: (1,2,3,4) مبدأ المسح الزلزالي وفق مسارات عشوائية.
- الشكل (6): العلاقة الخطية بين زمن وصول الموجات الأولية Pn مع البعد عن المصدر الزلزالي
- الشكل (7): خارطة توزع نقاط عدم التجانس لسرعة إنتقال الموجة الأولية Pn في سورية.
- الشكل (8): خارطة التغيرات الجانبية لمعامل الجودة LgQ عند التردد 1 هرتز لسورية والمناطق المجاورة التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة.
- الشكل (9-a): خارطة التغيرات الجانبية لقيم Lgn علاقة الطاقة المعتمدة على التردد لسورية والمناطق المجاورة
 خارطة التغيرات الجانبية التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة. الشكل 9-b خرائط تساوي
 سماكات الترياسي في سورية (مأخوذ من دراسة غراهام 2001) Tectonic and Geologic Evolution of Syria

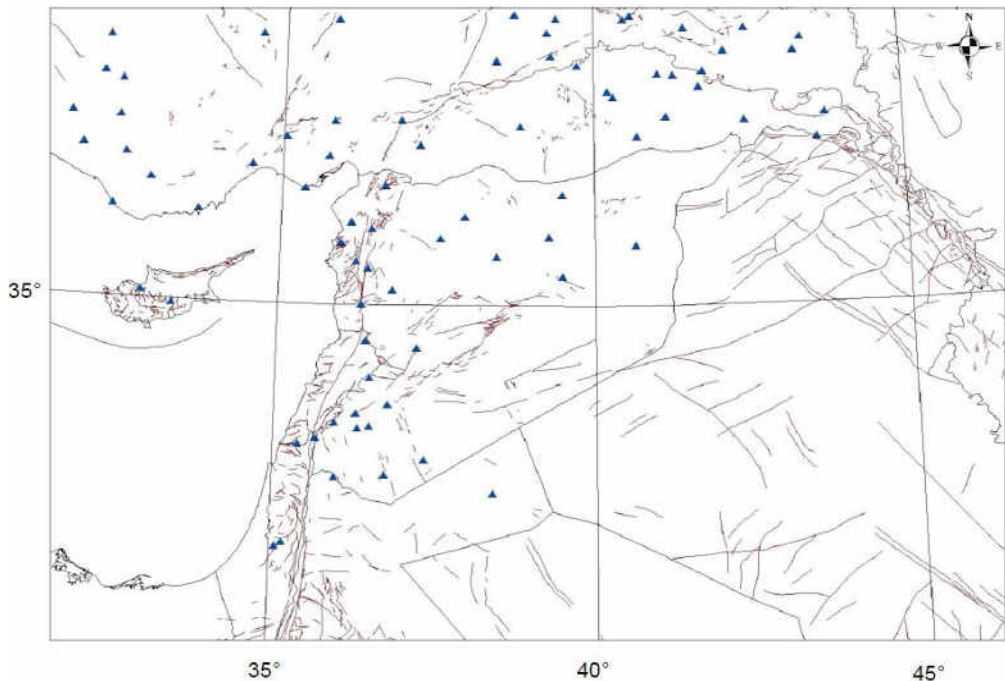


الشكل 1: (a) : إنتشار الأمواج الزلزالية المختلفة من المصدر الزلزالي عبر طبقات الأرض (b) يظهر بنية الأرض الداخلية المحددة والمكونة من (النواة الداخلية- Inner Core) والنواة الخارجية (Outer Core) - المعطف - Mantle وينقسم إلى المعطف السفلي - Asthenosphere والمعطف العلوي- Lithosphere) والقشرة الأرضية- Crust

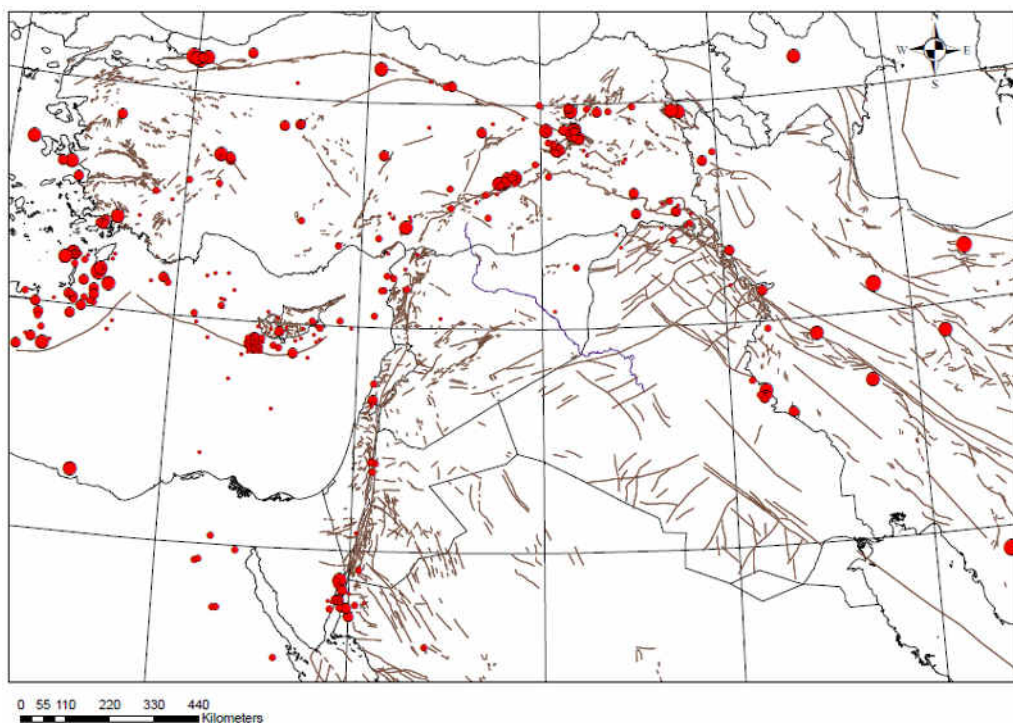


الشكل (2) خارطة النشاط الزلزالي وآليات الحركة في بؤر الزلازل في المصادر الزلزالية المحيطة بسورية (Rilenger 2006)

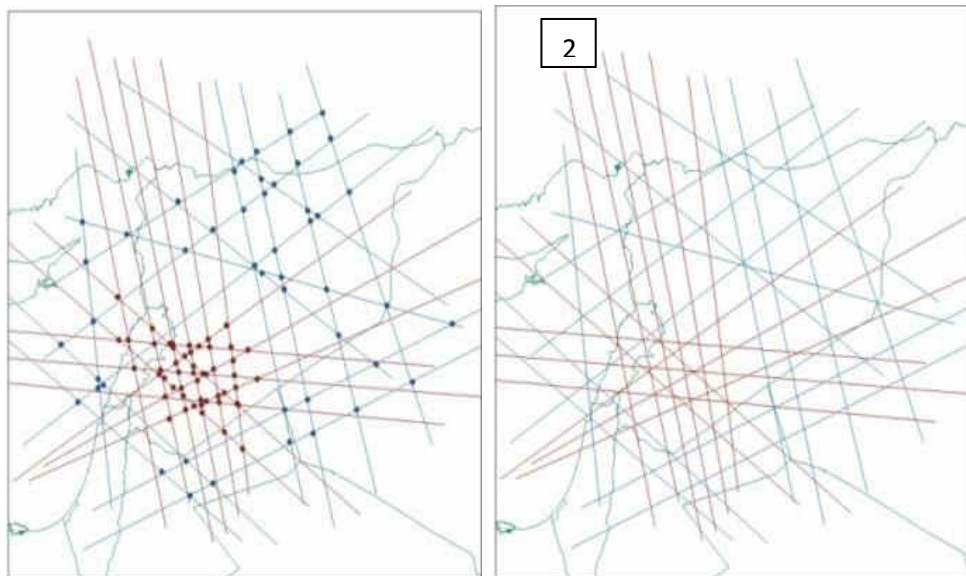
الخارطة مأخوذة من الموقع الإلكتروني http://ccgm.free.fr/mediterr_a_geodyn_gb.html

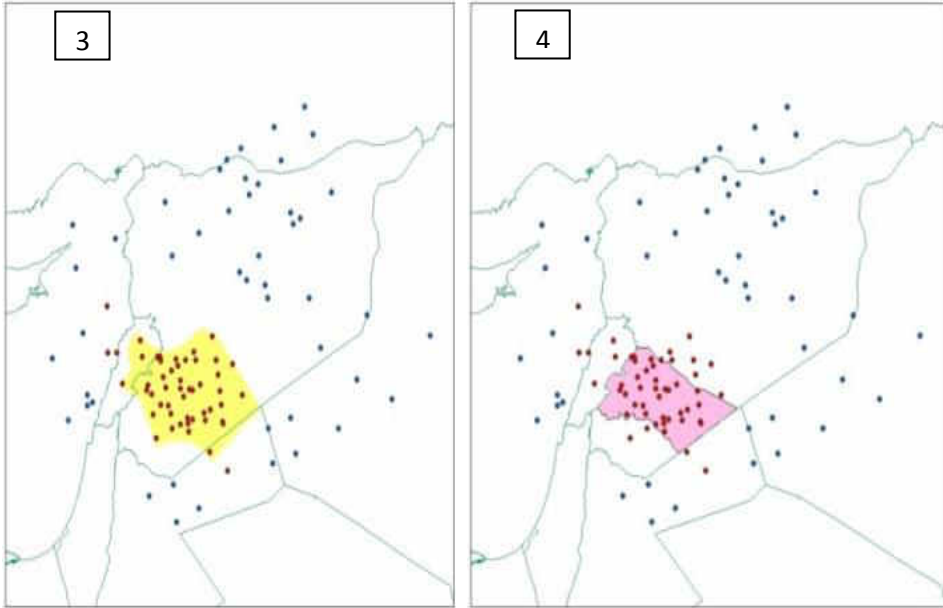


الشكل (3) يبين مواقع محطات الرصد الزلزالي المستخدمة في هذه الدراسة

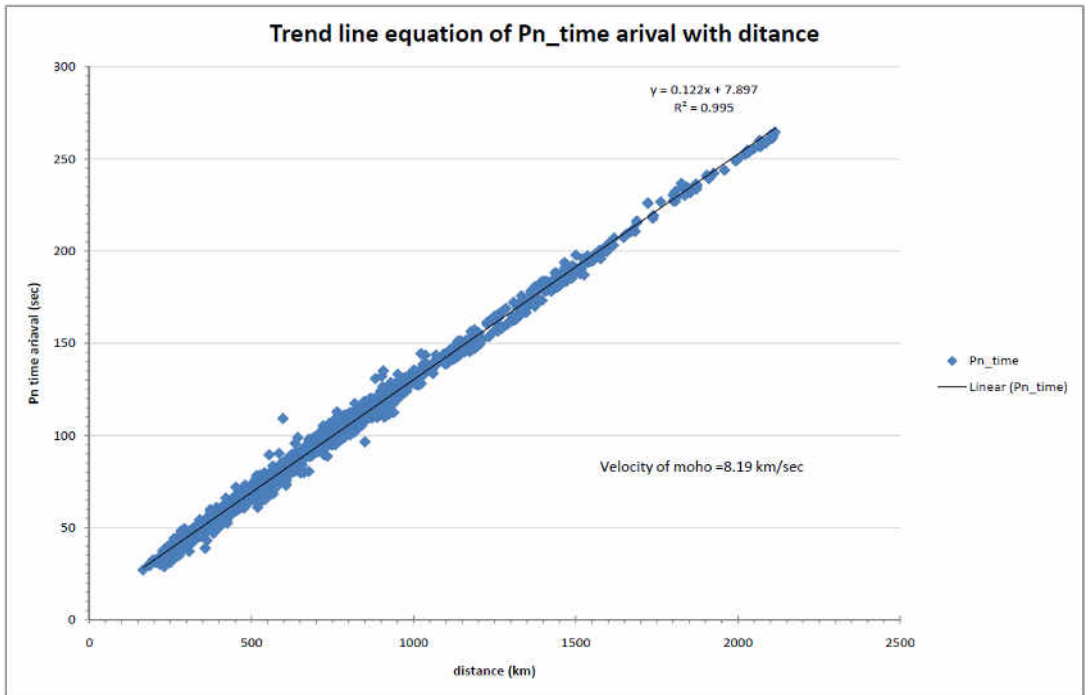


الشكل (4) يبين مواقع الزلازل الإقليمية المستخدمة في هذه الدراسة

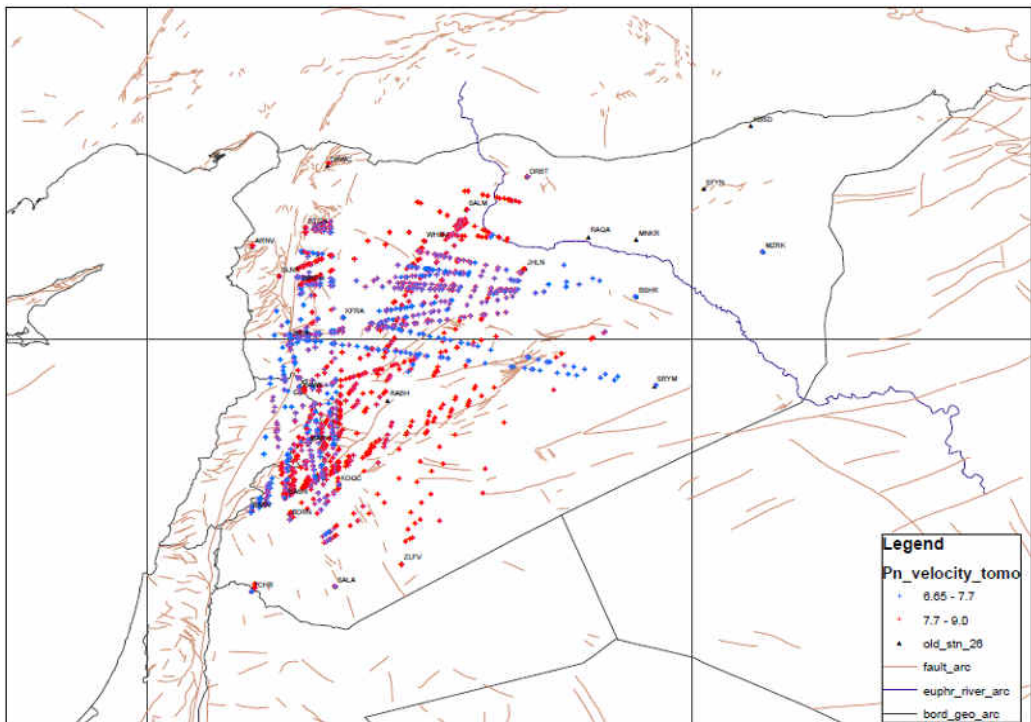




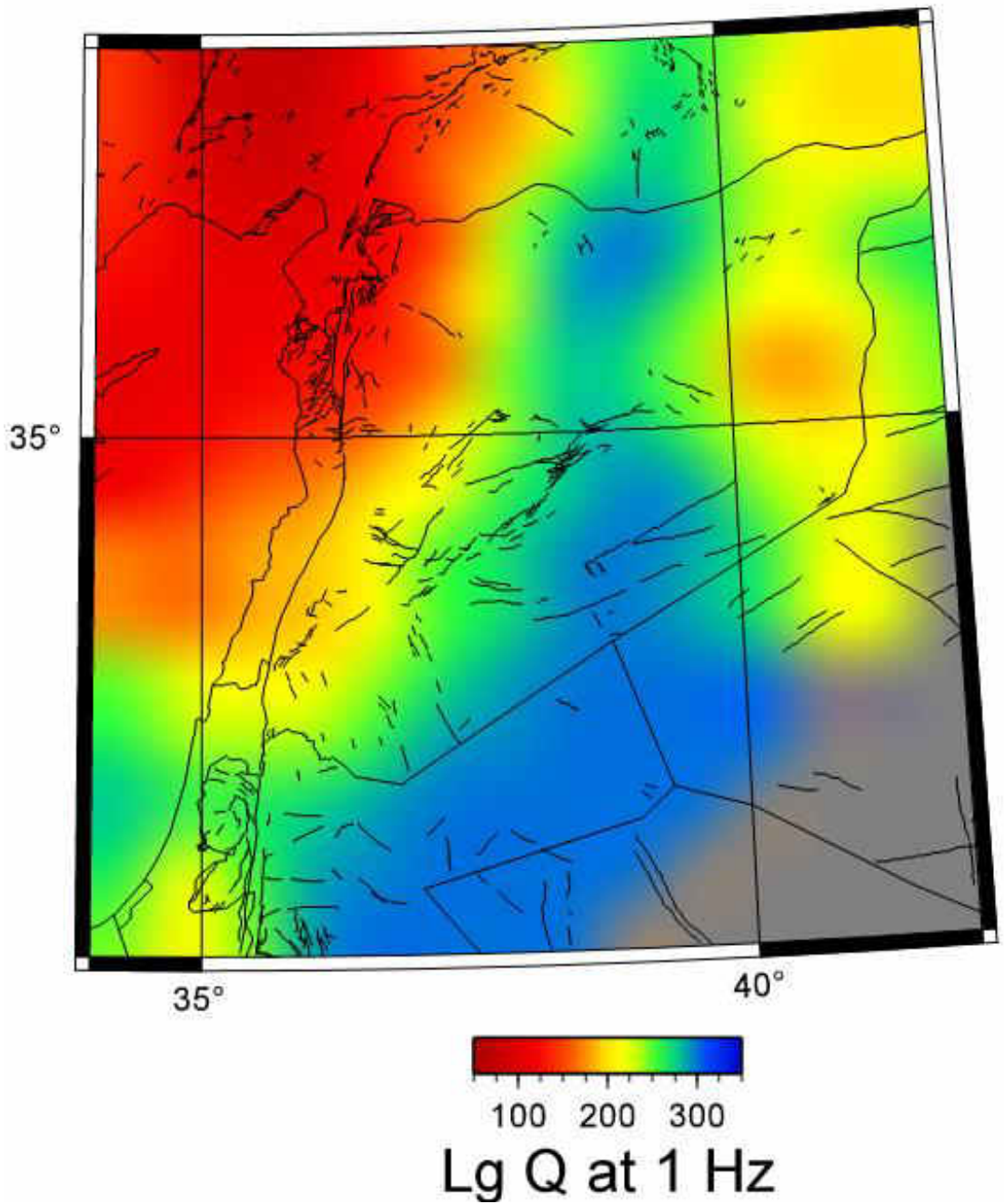
الشكل 5 (1,2,3,4) يوضح مبدأ المسح الزلزالي وفق مسارات عشوائية.



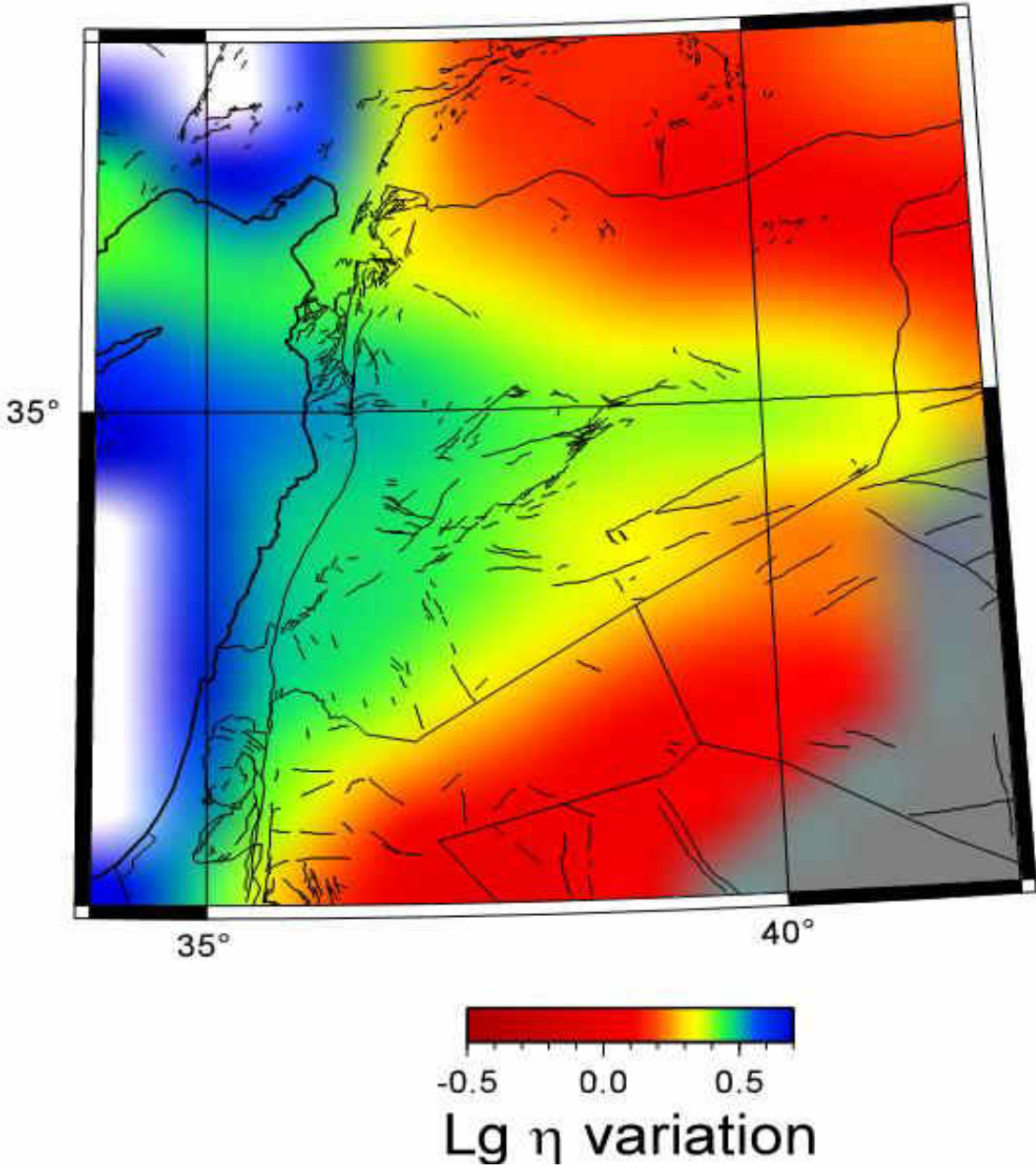
الشكل (6) العلاقة الخطية بين زمن وصول الموجات الأولية Pn مع البعد عن المصدر الزلزالي



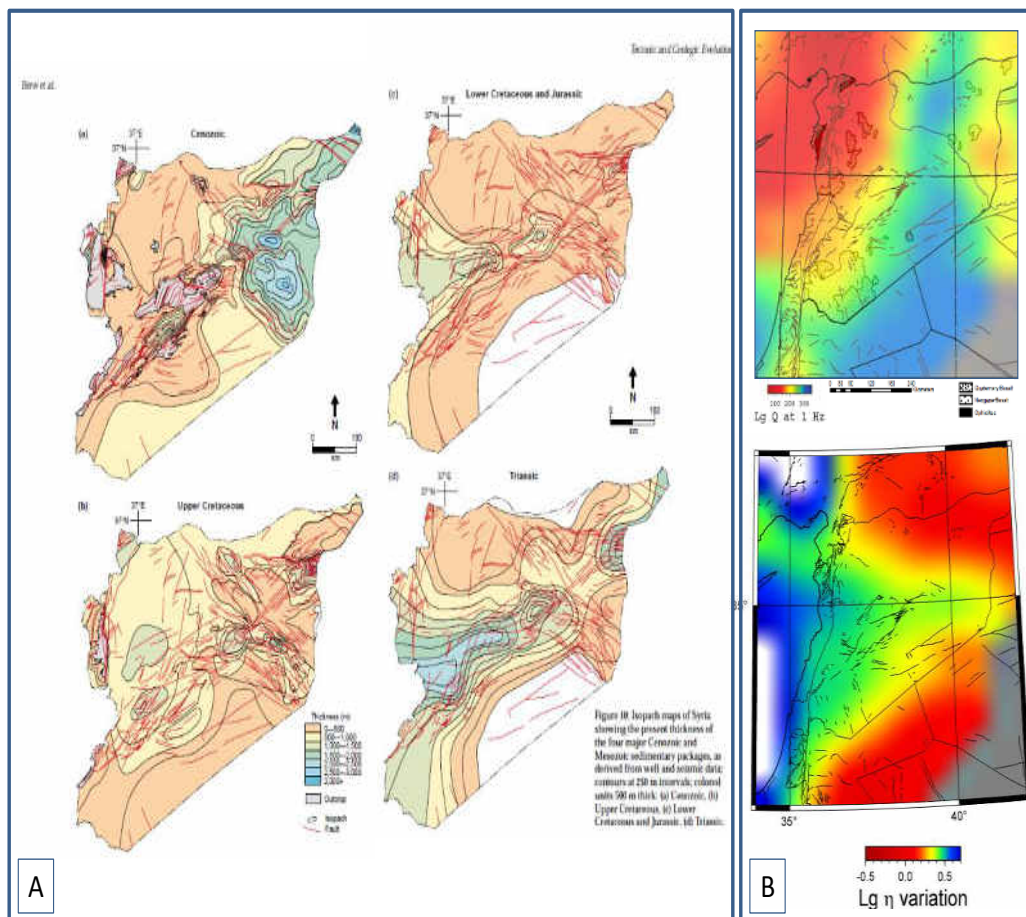
الشكل (7): خارطة توزع نقاط عدم التجانس في سرعة إنتقال الموجة الأولية Pn



الشكل (8): خارطة التغيرات الجانبية لمعامل الجودة LgQ_0 عند التردد 1 هرتز لسورية والمناطق المجاورة التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة.



الشكل (9): خارطة التغيرات الجانبية لقيم $Lg \eta$ علاقة الطاقة المعتمدة على التردد لسورية والمناطق المجاورة خارطة التغيرات الجانبية التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة.



الشكل (10) مقارنة نتائج خارطة التغيرات الجانبية لمعامل الجودة (B) عند التردد 1 هرتز و خارطة التغيرات الجانبية لقيم $Lg \eta$ علاقة الطاقة لها المعتمدة على التردد لسورية والمناطق المجاورة التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة مع (A) خرائط تساوي السماكات لرسوبيات السينوزويك والميزوزويك مأخوذة من دراسة (.Graham 2001)

REFERENCES

1. Bouchon M Complete synthesis of seismic crustal phases at regional distances [Journal] // J. Geophys. Res. 87. - 1982. - pp. 1735-1741..
2. Graham B, M. Barazangi, A. Al-Maleh, and T. Sawaf, Tectonic and Geologic Evolution of Syria [Journal] // GeoArabia, Vol. 6, No. 4 . - 2001.
3. Herrin E.T., and J. Richmond On the propagation of the Lg phase [Journal] // Bull. of the Seismol. Soc. Am., 50. - 1960. - pp. 197-210.
4. J. Xie Z. Wu, R. Liu, D. Scha, Y. Liu, and J. Liang Tomographic Regionalization of Crustal Lg Q in Eastern Eurasia GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS [Journal]// GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. ???, XXXX, DOI:10.. - 2005. - p. Tomographic

- Regiona1029.
5. McClusky S., S. Balassanian, A. Barka, C. Demir, S. Ergintav, I. Georgiev, O. Gurkan, M. Hamburger, K. Hurst, H. Kahle, K. Kastens, G. Kekelidze, R. King, V. Kotzev, O. Lenk, S. Mahmoud, A. Mishin, M. Nadariya, A. Ouzounis, D. Paradissis, Y. Peter, M. Prilepin, R. Reilinger, I. Sanli, H. Seeger, and A. Tealeb M.N. Toksöz, and G. Veis Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus [Journal] // *Journal of Geophysical Research*, v. 105, no. B3. - 2000. - pp. 5695_5719.
 6. Mellors R., F. Vernon, V. Camp, A. Al-Amri, A. Ghalib, M. Al-Dail Regional wave propagation in the Saudi Arabian peninsula [Journal] // *Geophys. Res. Lett.* 104. - 1999. - pp. 20221-20235.
 7. Mitchell B.J., Anelastic structure and evolution of the continental crust and upper mantle from seismic surface wave attenuation, *Rev. Geophys.* 33, no. 4, 441-461.
 8. Mitchell B.J., Y. Pan, J. Xie, and L. Cong, Lg coda Q variation across Eurasia and its relation to crustal evolution [Journal] // *J. Geophys. Res.* 102., - 1997. - pp. 22767-22779..
 9. Xie J. and B.J. Mitchell Attenuation of multiphase surface waves in the Basin and Range province I, Lg and Lg coda [Journal] // *Geophys. J. Int.* 102. - 1990b. - pp. 121-137.
 10. Xie J. Mitchell, B.J., A back projection method for imaging large scale lateral variation in Lg coda Q with application to continental Africa [Journal] // *Geophys. J. Int.* 100. - 1990a. - pp. 161-181.
 11. Xie J. R. Gok, J. Ni, J. and Y. Aoki Lateral variations of crustal seismic attenuation along the INDEPTH Profiles in Tibet from Lg Q inversion [Journal] // *J. Geophys. Res.* - 2004. - pp. 109, B10308, doi:10.1029/2004JB002988..
 12. Zor E., E. Sandvol, J. Xie, N. Türkelli, B. Mitchell, A. Gasanov, and G. Yetirmishli Crustal attenuation within the Turkish plateau and surrounding regions [Journal] // *Bull. Seism. Soc. Am.* 97. - 2007. - pp. 151-161.
 13. Xueyang B, Eric S, Ekrem Z, Sakir S, Randa M, Rengin G, Robert M, Tea G, Gurban Y, and Niyazi T Pg Attenuation Tomography within the Northern Middle East *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 101, No. 4, pp. 1496_1506, August 2011, doi: 10.1785/0120100316