Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Vol. 40, No 2, pp.367-382, March 2012

LG PHASE EFFICIENCY PROPAGATION AND THE INTENSITY OF GROUND SHAKING IN THE NORTH *WESTERN PART OF SYRIA*

Randa Mohamad[1], Mohammad Al-Samara[2], and Eric Sandvol[3]

1- Syrian National Earthquake Centre, Damascus, SYRIA, phD student.
randam@scs-net.org
2- Higher Institute of Earthquake studies and research, University of Damascus, SYRIA.
3- Department of Geological Sciences, University of Missouri Colombia, Missouri, USA

(Received January 12, 2012 Accepted January31, 2012)

The high level of seismicity at the regional seismic sources around Syria and the good distribution of the 57 seismic network stations in Syria and surrounding areas (Turkey, Cyprus, Jordan) allowed a detailed characterization of regional Lg phase propagation and definition of the parts where this phase is clearly seen, well developed and zones of Lg blockage by determining the values of Lg Q0 (Q at 1 Hz) over these paths using the standard two-station method.
Since the Lg phase for distances larger than 150 km carries substantial energy for large events [1], and the differences in efficiency of propagation influences the intensity of ground shaking [2]. Thus, in this study, were correlated the good paths of lg phase with the intensity contours of the 1822, 1872 historical large determined, earthquake located at the north western part of Syria [3] and the pick ground acceleration recorded at Syrian strong motion stations of the recent event (22 June 1997) with magnitude 4.9 located in the same region of historical events [4],[5].
It is found that the trend of north east direction extended for the historical intensity contours and the high pick ground acceleration observed for the recent event (22 June 1997) are taking the same trend as Lg efficient propagation in that Area.

KEYWORDS: *LgQ0, North-west Syria, lg phase, PGA*

كفاءة انتشار الطور الموجي lg و شدة الحركات الأرضية في القسم الشمالي الغربي من سورية

رندة محمد[1] **محمد السمارة[2]** **إيريك ساندفول[3]**

1- المركز الوطني للدراسات والبحوث الزلزالية- دراسات عليا.
2- المعهد العالي للدراسات والبحوث الزلزالية. جامعة دمشق
3- قسم العلوم الزلزالية .جامعة ميزوروري- الولايات المتحدة الأمريكية

ملخص:

لقد سمح النشاط الزلزالي العالي في المصادر الزلزالية المحيطة بسورية والتغطية الجيدة لمحطات الرصد الزلزالي المستخدمة في هذه الدراسة والتي بلغ عددها 57 محطة موزعة في الشبكة الوطنية السورية ومحطات الرصد الزلزالي في الشبكات المجاورة في تركيا وقبرص والأردن بتوصيف جيد ودقيق لخصائص إنتشار وسلوك الطور الموجي lg وتحديد المسارات الجيدة والمسارات التي تمنع مرور هذه الأمواج وذلك عن طريق حساب معامل الجودة Q_0 باستخدام طريقة المحطتين، وحيث أن هذه الأمواج على المسافات التي تزيد عن 150 كيلومتر هي التي تنقل معظم الطاقة الصادرة عن الزلازل الكبيرة [1]، وتكون شدة الحركات الأرضية أكبر في النطاقات الجيدة لانتشار هذه الأمواج [2]. فقد تم في هذا البحث تحديد الممرات الجيدة للطور الموجي Lg وربطها بشدة الحركات التي نجمت عن الزلزالين التاريخيين (1822 و1872) [3] وتسجيلات التسارعات الأرضية للهزة الأرضية الحديثة التي وقعت بتاريخ 22 حزيران 1997 بقدر Mc=4.9 في شمال غرب سورية والمسجلة في الشبكة الوطنية السورية للحركات القوية [5],[4].

لقد وجدنا من خلال ربط ومقارنة النتائج بأن هناك توافق بين الممرات الجيدة للطور Lg في شمال غرب سورية والاتجاه العام لمنحنيات تساوي الشدات الزلزالية للزلزالين التاريخيين (1822 و1872) واتجاه تزايد قيم التسارعات الأرضية للهزة الأرضية بتاريخ 22 حزيران 1997 في شمال غرب سورية.

الكلمات المفتاحية:الطور lg ، Lg Q0، PGA

مقدمة:

تعتبر دراسة خصائص انتشار الأمواج الإقليمية في سورية حديثة بسبب عدم توفر سجلات زلزالية قبل إنشاء الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي في عام 1995 وبسبب أن الاهتمام منذ أن تم إنشاء الشبكة منصب بتحديد المواقع الدقيقة للمصادر الزلزالية في سورية بالاعتماد على الأمواج المحلية P,S بدلاً عن الأمواج اللاحقة كالطور Lg إلا أن وجود الكثير من الزلازل الضحلة في المصادر الزلزالية المحيطة بسورية والكثافة الجيدة لتوزع محطات الرصد الزلزالي في سورية أمكننا من الحصول على كمٍ من المعلومات التي تسمح بوضع تصور جيد عن خصائص انتشار الموجة الإقليمية Lg

الطور الموجي Lg: هو الطور السائد ضمن حقل الأمواج القادمة من المسافات الإقليمية التي تزيد عن 150 كم وتتشكل عن طريق الانعكاسات الجيدة المتكررة للموجة القصية S ضمن القشرة الأرضية المتجانسة على كل من السطح والحد الفاصل بين القشرة الأرضية والمعطف بسرعة طورية منخفضة لتتحول إلى الطور الموجي Lg ولتنتقل إلى مسافات طويلة. يمكن إعتبار الطور الموجي Lg من الأنماط العالية للأمواج السطحية [1]. إن طبيعة الموجة Lg ظاهرة متداخلة وبالتالي فإن سلوك القطار الموجي يمكن أن يتغير ويتعدل كثيراً وفقاً لنسبة المساهمات لهذه الظواهر المختلفة فيها، لذلك نجد أن السعات لهذا الطور الموجي يتأثر بالتغيرات الجانبية في بنية القشرة الأرضية على طول مسار الانتشار فينتقل في بعض المسارات بكامل طاقته وبفعالية جيدة وفي مسارات أخرى نجده محجوباً بشكل كامل ولايظهر في السجل الزلزالي أو يكون ظهوره ضعيفاً وغير فعال. وقد استخدمت التغيرات في سلوك انتشار هذا الطور في المسارات المختلفة في وضع خارطة التغيرات البنيوية في هضبة التيبت[6] وأسيا الوسطى [7] والصين [8] وجبال الألب الغربية [9] وحوض البحر الشمالي [10]. وإنه من المعروف جيداً أن سعة هذا الطور أيضا تكون حساسة جداً لتأثير المنطقة الانتقالية المحيطية القارية، حيث مسافة قليلة 100كم مسار محيطي كافية لمنع انتقال الطور Lg [11]. إضافة لذلك فقد عكست الاختلافات في كفاءة انتشار هذا الطور الموجي في اليابان شدة الحركات الأرضية حيث أظهرت خطوط تساوي الشدة الزلزالية العالية للزلزال الذي حدث في اليابان في عام 1995 في كوبي [2] امتداداً باتجاه غرب اليابان في المنطقة التي تتسم بكفاءة الانتشار الواضح و الجيد للطور Lg .

لهذا فان دراسة وتحديد الطور الموجي Lg وتحديد النطاقات التي يكون فيها انتشار هذا الطور فعالاً والنطاقات التي تحجب مرورها هاماً في تحديد خواص الطبقات التحت سطحية و عدم التجانس في القشرة الأرضية وفي تحديد النطاقات التي تكون فيها شدة الحركات الأرضية كبيرة.

هدف البحث : يهدف هذا البحث إلى ربط خصائص إنتشار وسلوك الطور الموجي Lg بتغيرات شدة الحركات الأرضية وتحديد مناطق الخطر الزلزالي الأكبر في منطقة الدراسة المختارة .

منطقة الدراسة :

تقع منطقة الدراسة في القسم الشمالي الغربي لسورية كما هو مبين في الشكل (1). تم اختيار هذه المنطقة بناءً على البيانات المتوفرة عنها والتي تمكننا من مقارنة نتائج قيم معامل الجودة المحسوب في هذه الدراسة مع الشدة الزلزالية المقدرة للزلزاليين التاريخيين [3] اللذان حدثا في العامين 1822 و1872 والتسارعات الأرضية المسجلة لعدد من الهزات الأرضية الحديثة في عام1997 في تلك المنطقة [5],[4].

الوضع التكتوني والبنيوي لمنطقة الدراسة:

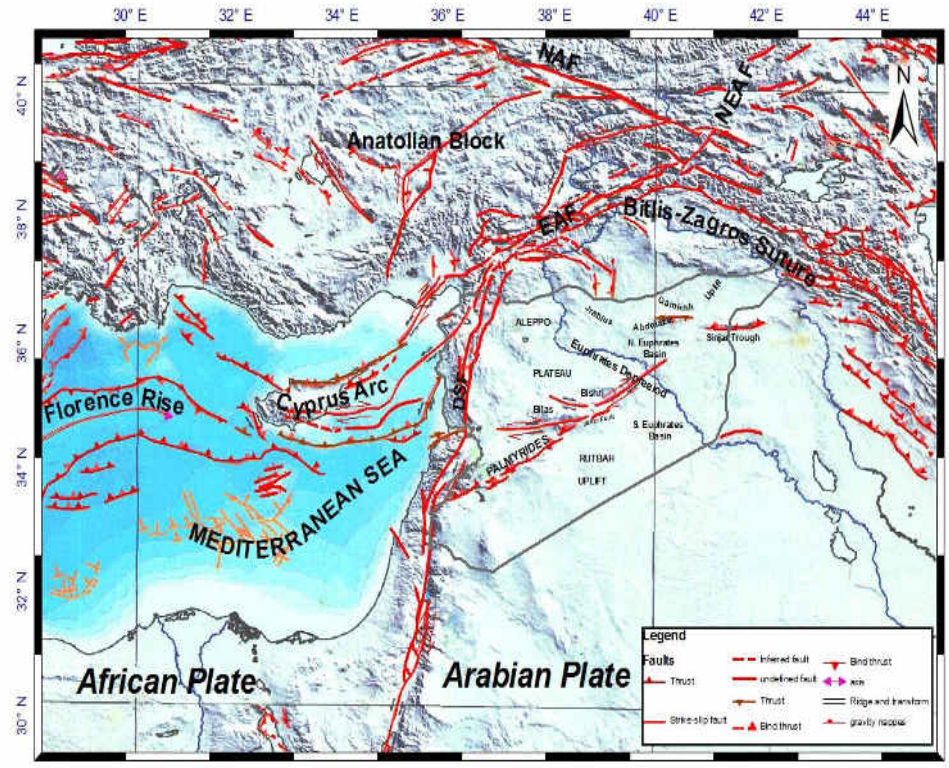
تقع منطقة الدراسة شمال غرب سورية ضمن الجزء الشمالي الغربي للصفيحة العربية، جنوب شرق منطقة الالتقاء للصفائح التكتونية الثلاث الأفريقية والعربية والأناضولية والمعروفة باسم (Maras Triple Junction) في جنوب وسط تركيا[12] حيث تلتقي في هذه المنطقة الصدوع الرئيسة التالية كما هو موضح في الشكل (1) الذي يبين الوضع البنيوي والتكتوني لسورية ومنطقة الدراسة:

1- **نظام صدع البحر الميت ذات الاتجاه شمال جنوب**: يمثل نظام صدع البحر الميت وفقاً للدراسات الزلزالية التاريخية والحديثة منطقة النشاط الزلزالي الأول في سورية والبلاد المجاورة لهذا الصدع. يمتد بطول 1000 كم تقريباً من خليج العقبة في الجنوب عبر لبنان وشمال غرب سورية، متبعاً مساراً منحرفاً (Restraining bend) واضحاً ضمن الأراضي اللبنانية إلى الملتقى الثلاثي للحدود الصفيحية في جنوب تركيا حيث تتقاطع مع صدع الأناضول الشرقي. وقد قدر الإنزياح الكلي على هذا الصدع بحوالي 105 كم منذ الميوسين [13] وقد تمت في فترتين بالتوافق مع مرحلتين من انفتاح البحر الأحمر انزلاق قدره 60-65 كم في الميوسين وآخر وقدره 40-45 كم حصل مابعد الميوسين[14].

2- **صدع الأناضول الشرقي**.(The East Anatolian Fault) : يعتبر صدع شرق الأناضول نطاق تصادم قاري حديث ذو توزع غير منتظم في شرق تركيا تشكلت في أواخر البليوسين. حيث يشكل الحدود التحولية بين الصفيحة الأناضولية والصفيحة العربية المتحركة شمالاً وتستوعب معظم التشوه النشط الحاصل نتيجة تقارب هاتين الصفيحتين. و تأخذ الاتجاه جنوب غرب–شمال شرق بإزاحة جانبية يسارية حوالي 15-17 كم وتزداد الازاحة الجانبية باتجاه شمال شرق و يمتد الصدع بطول 580 كم تقريباً من نقطة تلاقي الصفائح التكتونية الثلاث في جنوب تركيا وباتجاه شمال شرق وتتقاطع مع الحدود الشمالية لصدع البحر الميت ويبعد نحو 100كم عن الحدود السورية الشمالية مع تركيا.

3- **القوس القبرصي:** يعتبر القوس القبرصي حوض على هيئة قوس يبدأ من خليج أنطاليا، حيث ينضم إلى القوس الهيليني، ويلتف عند النهايات الجنوبية لقبرص في أقصى شرق البحر الأبيض المتوسط. ويمر غرب وجنوب قبرص ويمتد نحو خليج الاسكندرون في الشرق حيث ينضم إلى صدع الأناضول الشرقي و القسم الشمالي لصدع البحر الميت. يشكل قوس قبرص منطقة الطرح القاري لإنغراس الصفيحة الأفريقية تحت الصفيحة الأوروبية الأسيوية والنظام التكتوني المسيطر عليه عموما هو نتيجة للتصادم بين الصفيحة الأفريقية التي تتحرك شمالاً والصفيحة الأوراسية التي تتحرك جنوباً.

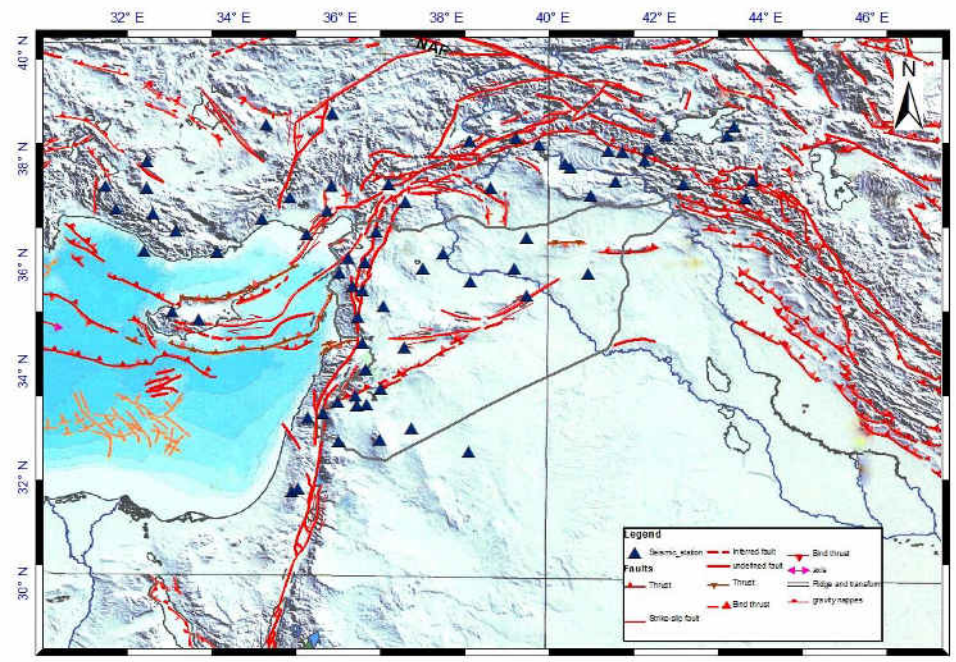
تشير الدراسات الزلزالية التاريخية والحديثة إلى أن جميع هذه الصدوع قادرة على توليد زلازل كبيرة وتشكل خطراً زلزالياً مهماً.



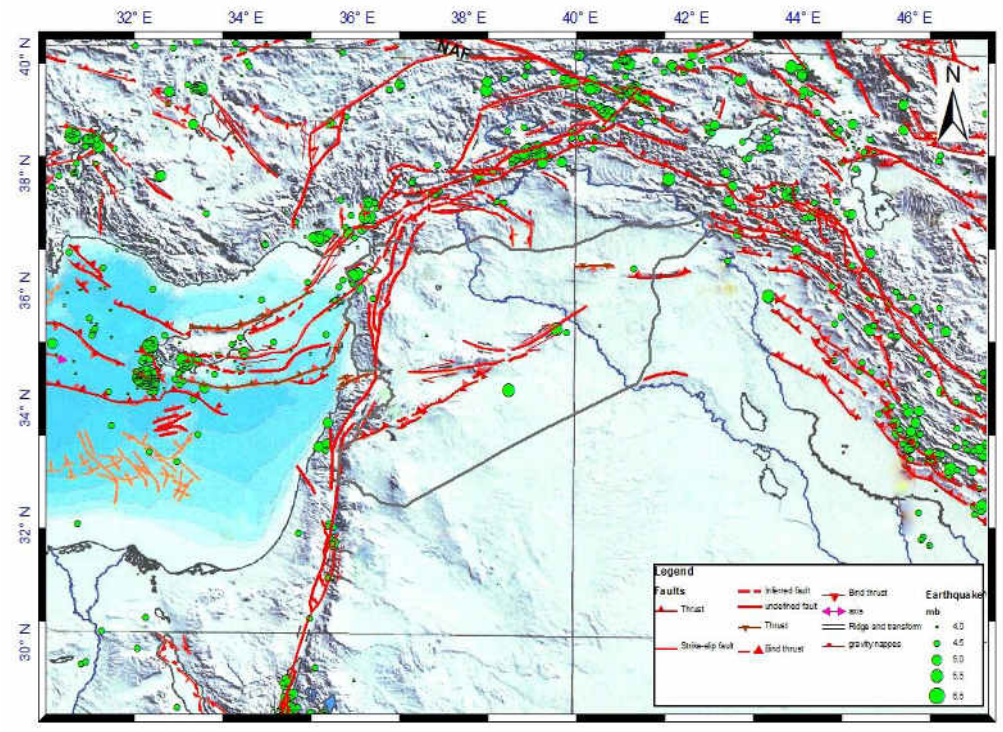
الشكل (1) الوضع البنيوي والتكتوني لسورية والمناطق المحيطة بها DSF : صدع البحر الميت، EAF : صدع الأناضول الشرقي، NAF : صدع الأناضول الشمالي ، NEAF: صدع الأناضول الشمالي الشرقي. يشير المستطيل ضمن الشكل إلى موقع منطقة الدراسة وتشير الأسهم في الشكل إلى نسبة التحرك السنوي وفقاً للخارطة المنشورة من قبل CGMW [15].

البيانات المستخدمة في هذا البحث:

- السجلات الزلزالية الرقمية للزلازل الاقليمية التي حدثت في الفترة من 1995 إلى 2008 المحققة للشروط التالية: سجلت في الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي والشبكات المجاورة لسورية الواقعة في تركيا والأردن والشبكات العالمية، ويزيد قدرها عن 3.5 ريختر، وأعماقها لاتتجاوز 40 كيلومتر وتقع مراكزها السطحية عن محطة التسجيل على مسافات تساوي أو أكبر من ثلاثة أضعاف عمق الموهو تقريباً أي لايقل عن 150 كيلومتر وذلك لضمان أن يكون الوصول الأولي على التسجيلات هو الطور الموجي Pn الذي ينتشر ضمن السويات العليا للمعطف العلوي، والطور الموجي الاقليمي Lg الذي ينتشر عبر المسارات القارية في القشرة الأرضية يظهر الشكل (2) والشكل (3) توزع المحطات والزلازل المستخدمة في هذه الدراسة.
- السجلات الزلزالية للتسارعات الأرضية للهزات التي حدثت بتاريخ 22 حزيران 1997 بقدر Mc=4.9 في شمال غرب سورية [4] , [5] والمسجلة في محطات الحركات القوية التابعة للشبكة الوطنية السورية.
- الدراسة التاريخية لتوزع الشدة الزلزالية للزلزالين التاريخيين في 13 آب عام 1822 والزلزال التاريخي في 3 نيسان 1872 في شمال غرب سورية [3].



الشكل (2) :توزع مواقع محطات الرصد الزلزالي المستخدمة في هذه الدراسة

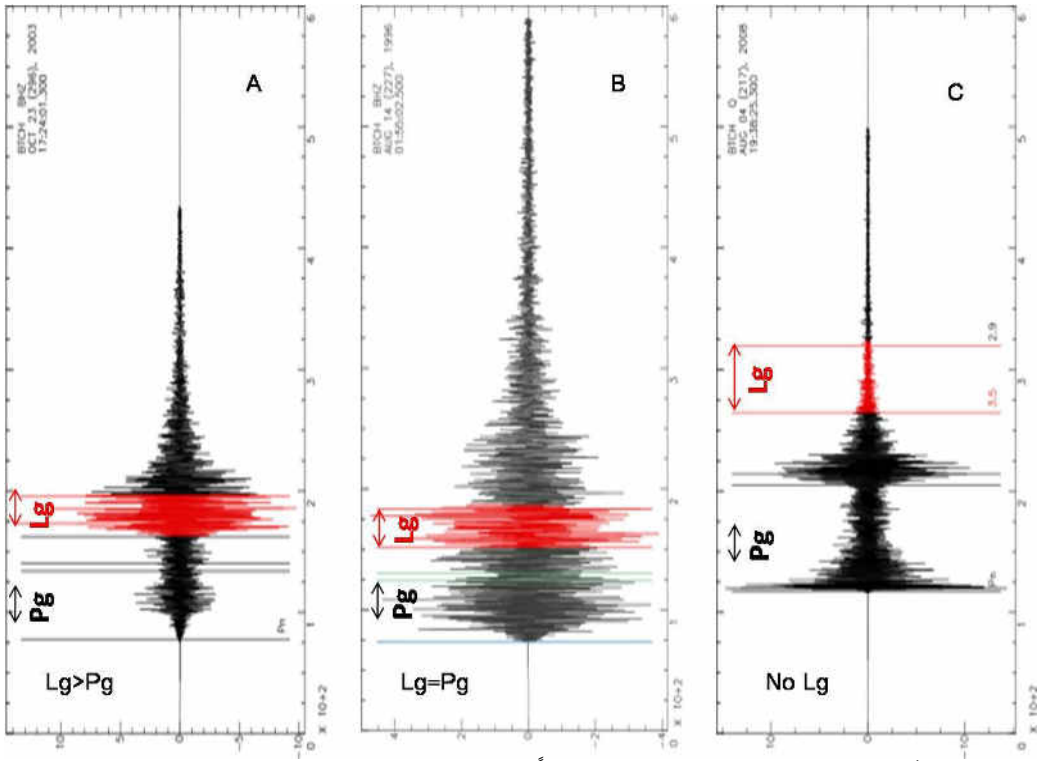


الشكل (3) توزع المراكز السطحية للهزات الأرضية المستخدمة في هذه الدراسة

معالجة البيانات:

تم اختيار السجلات الزلزالية للمركبات العمودية وتصنيف الأمواج حسب معيار كفاءة إنتشار الأطوار الموجية Lg وفق خصائص السعة لهذه الأطوار الموجية بالنسبة للأطوار الموجية الإنضغاطية Pg حيث أظهرت التحليلات أن الأمواج Lg المنتشرة بكفاءة ذو سعات مساوية أو أكبر من الأمواج الانضغاطية Pg، وعلى العكس فإن الانتشار غير الكفوء يتميز بوجود أمواج Lg ضعيفة أو معدومة. لقد اعتمد تمييز الطور الموجي على قيم السرعات الشائعة ضمن النافذة السرعية V_{Lg}=(2.9-3.5km/sec)، بالاضافة إلى أن أقصر مسافة لمراكز الهزات التي استخدمت هي 150 كم وذلك لتجنب التشويش الناتج عن طور القشرة في الأمواج الإقليمية وإن قيمة نسبة الإشارة إلى الضجيج في التسجيلات المستخدمة في هذه الدراسة سمحت بإستخدام طرق التحليل الكمي اضافة الى استخدام طرق التحليل النوعي كمعيار لوجود أو غياب الطور Lg على السجل الزلزالي، وقد تم التمييز بين ثلاث فئات من الإشارات ضمن الأمواج المدروسة كما هو مبين في الشكل (4):

A. إشارات جيدة تتميز بسعة للطور Lg أكبر من الطور pg. وتمثل النطاقات في القشرة الأرضية التي انتشرت فيها أطوارLg وتطورت فيها بكفاءة.
B. إشارات ضعيفة تتميز بسعة للطور Lg يساوي أو أقل من الطور pg. وتمثل النطاقات التي انتشرت فيها أمواج Lg بعدم كفاءة في القشرة الأرضية.
C. غياب أو ضعف كبير في إشارات الطور Lg وتمثل النطاقات في القشرة الأرضية لتي منعت انتشار هذا الطور الموجي.



الشكل (4) أمثلة على تصنيف السجلات الزلزالية وفقاً لكفاءة انتشار الطور الموجي Lg ضمن المعايير السابقة.

تم تطبيق طريقة المحطتين المعيارية في معاملة المعطيات لحساب معامل الجودة LgQ_0 عند التردد 1 هرتز باستخدام المعادلة المعطاة من قبل الباحث Xie.J [16] .

$$ln\left|\frac{v_{lg}}{\pi\Delta_{i,j}}ln(R(f))\right| = (1-\eta)lnf - lnQ_0$$

$$R(f) = (\sqrt{\Delta_i}|\sqrt{\Delta_j})\left(A_i(f)\middle|A_j(f)\right)$$

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.

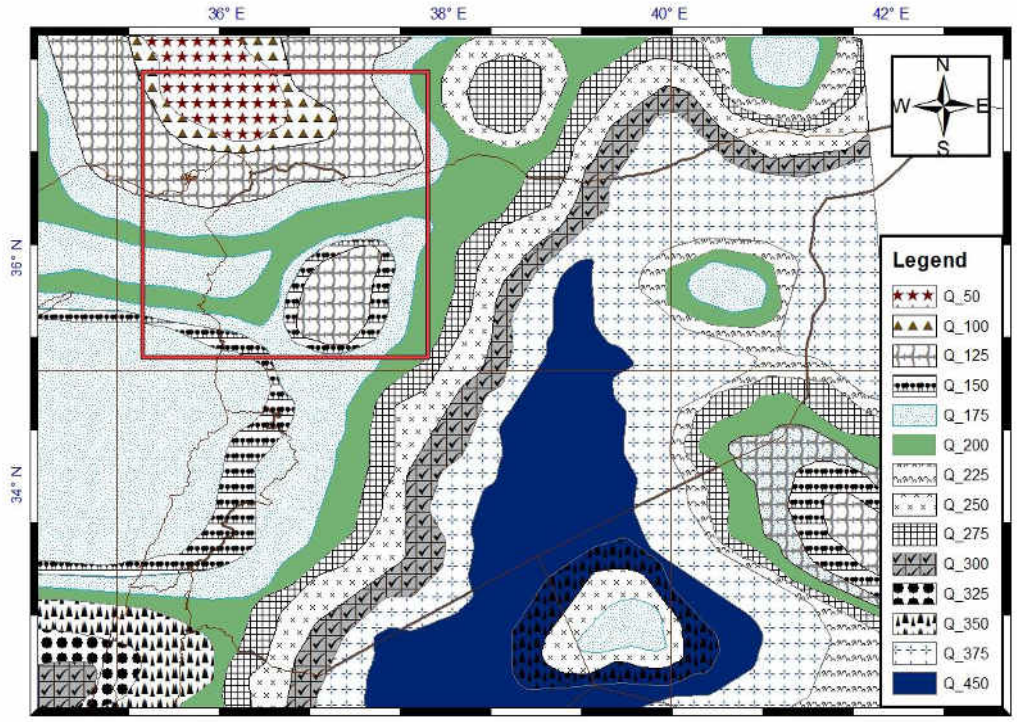
$A_i(f)$ و $A_j(f)$: سعة الطيف للطور Lg من أجل كل محطة.

$\Delta_{i,j}$: المسافة بين المحطتين.

النتائج ومناقشة النتائج:

خارطة التغيرات الجانبية لمعامل الجودة LgQ0 المحسوب عند التردد 1هرتز:

بتحليل أكثر من 2300 سجل زلزالي و لأكثر من 340 زلزال مسجل في 75 محطة رصد زلزالي في سورية والمناطق المجاورة تم القيام بالنمذجة ثنائية البعد عن طريق حل المسألة العكسية لقياسات LgQ_0 بين الثنائيات [16] تم وضع خارطة التغيرات الجانبية للنموذج التيموغرافي التفصيلي لمعامل الجودة LgQ0 المعتمد على التردد عند التردد 1 هرتز لسورية وذلك ضمن شبكة مربعات بالأبعاد 0.5ºx0.5º الشكل (5). يظهر خارطة التغيرات الجانبية المحسوبة لمعامل الجودة لسورية والمناطق المجاورة وحدود المنطقة المختارة للدراسة.



الشكل (5) خارطة التغيرات الجانبية لمعامل الجودة LgQ0 عند التردد 1هرتز لسورية والمناطق المجاورة التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة يشير المربع ذات الحدود المنقطة إلى حدود المنطقة المختارة للدراسة ويشير السهم الى الممر الجيد للطور الموجي Lg ضمن المنطقة المختارة

لقد تراوحت القيم المحسوبة لمعامل الجودة LgQ_0 بشكل عام كما هو مبين في الشكل السابق بين 60 و 475 وتركزت القيم المنخفضة التي تراوحت بين (50-150) أي التخامد العالي للطور الموجي Lg في منطقة البحر المتوسط، حيث تواجه مساراتها بالقشرة المحيطية والقشرة القارية الرقيقة التي تقوم بحجب مرورها أو اضعافها فلا تظهر أو يكون ظهورها ضعيفاً في السجلات الزلزالية، وكذلك كانت القيم منخفضة في شمال غرب سورية تحت المنطقة الواقعة لنقطة التلاقي الثلاثي للصفيحة العربية والصفيحة الأفريقية والصفيحة الأوروبية الآسيوية في جنوب وسط تركيا حيث الانتشار البركاني الواسع، وان إنخفاض القيم في هذه المنطقة ناتجة على الأغلب عن التخامد الحقيقي لهذه الأمواج بسبب وجود التوضعات البركانية الحديثة التي تشير إلى أوساط حارة وشبه مائعة تمنع أو تضعف مرورها وعن التعقيد التكتوني الذي يؤدي إلى تشتت هذه الأمواج. اضافة لما سبق فقد وجدنا أيضاً قيم منخفضة ولكنها أعلى مما سبق ضمن نطاق نظام صدع البحر الميت الذي يأخذ الاتجاه شمال-جنوب الذي يتميز بالتعقيد والتشوه التكتوني والذي يعمل على تشتيت وإضعاف الطور الموجي Lg بشكل عام، أما بالنسبة للتخامد الملحوظ في المنطقة الشرقية من سورية تحت نهوض الروضة والقامشلي فإن هذه القيم تعود على الأغلب إلى التغير المفاجئ في سماكة الرسوبيات والى علاقة المحتوى السائلي[17] بالاضافة الى تأثرها بانخفاض سرعة الأمواج القصية في رسوبيات هذا الحوض حيث توجد سماكات كبيرة لرسوبيات السينوزويك التي يغلب عليها التوضعات الهيدروكربوناتية، أما بالنسبة للقيم المنخفضة تحت نهوض حلب فالتغير المفاجئ في سماكة الرسوبيات على الأغلب هو الذي أدى إلى انخفاض هذه القيم. بينما القيم المتوسطة والمرتفعة نسبياً والتي تراوحت بين (250-450) فكانت في النطاقات التي تتوسط سورية وتقطع حزام الطي التدمرية وتأخذ الاتجاه شمال جنوب، وتبدأ من نهوض الرطبة في جنوب سورية، وباتجاه الجزء الشمالي الغربي لحزام الطي التدمري وشمال حوض الفرات وتفصل المنطقة الشرقية عن المنطقة الغربية لسورية وتشير هذه القيم إلى استقرار في سماكة القشرة الأرضية وعدم وجود تغيرات مفاجئة أو كبيرة في سماكة الرسوبيات في هذه المنطقة.

إن النتائج التي تم التوصل اليها في هذه الدراسة من خلال النموذج التيموغرافي لمعامل الجودة Lg Q0 المحسوب والتي تشير إلى تغيرات كفاءة انتشار هذا الطور الموجي تعكس بشكل جيد التغيرات البنيوية والتكتونية وتغيرات سماكة الرسوبيات وتتأثر بشكل كبير ببنية القشرة الأرضية العلوية التي تجتازها تلك الأمواج، وبالتالي فإن هذه القيم تعكس بشكل غير مباشر الحركات الأرضية التي يمكن أن تحدث نتيجة مرور هذه الأمواج في هذه الطبقات لهذا وفي هذا البحث قمنا بربط التغيرات في كفاءة انتشار هذه الأمواج مع شدة الحركات الأرضية لزلازل تاريخية وحديثة وقعت في سورية ضمن المنطقة التي توفرت فيها تلك البيانات والمينة في الشكل (5).

فعلى الرغم من التعقيد البنيوي والتكتوني التي تقع فيها هذه المنطقة إلا أننا وجدنا فيها ممرات جيدة للطور الموجي Lg حيث اتسمت هذه الممرات بارتفاع قيم معامل الجودة LgQ_o وتراوحت القيم بين 200 و 275 باتجاه شمال شرق – جنوب غرب كما هو مبين في الشكل (5).

نتائج تسجيلات التسارعات الأرضية لهزات أرضية حديثة : سجلت محطات رصد التسارعات الأرضية بتاريخ 22 كانون الثاني1997 عدد من الهزات الأرضية المتتالية في شمال غرب سورية في نفس الموقع تقريباً ثلاثة منهم تجاوزوا القدر 4 وبلغ قدر الزلزال الرئيسي 4.9 يبين الجدول رقم (1) معاملات وتاريخ وزمن واحداثيات والتسارع الأرضي الأعظمي المسجل لهذه الهزات. وقد شعر معظم المواطنين في المدن السورية كمدينة حلب وادلب واللاذقية بهذه الهزات وخرج الكثير من الأهالي من منازلهم خوفاً.

الجدول (1)

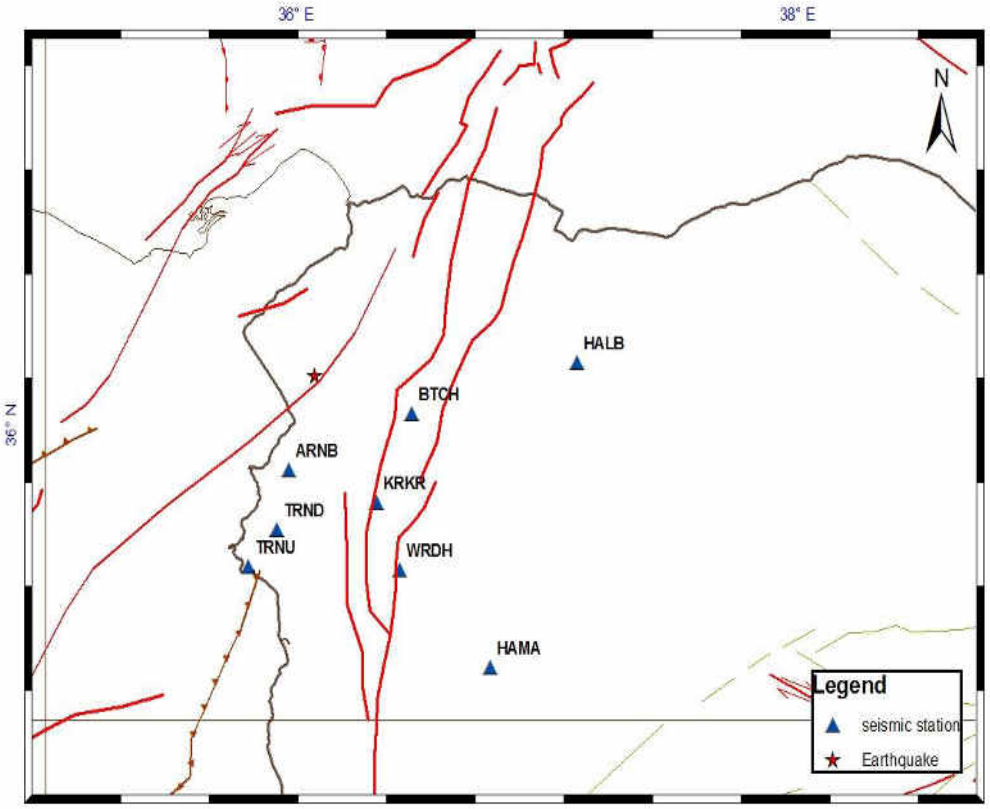
Year	Month	Day	Origin time	Lat (Deg)	Long (Deg)	Depth (km)	Coda Magnitude	No. of Station	PGA Cm/s2
1997	Jan	22	17:57:20	36.16	36.08	1.4	4.9	9	15.7
1997	Jan	22	18:24:52	36.15	36.27	4.8	4.3	8	10.2
1997	Jan	22	18:27:32	36.17	36.07	4.3	4.0	8	8.9

سجلت هذه الهزات في محطات الحركات القوية في الشبكة الوطنية السورية (محطات رصد التسارعات الأرضية) [5] من نوع " FBA23 triaxial sensor trigger thresholds are in range 0.002g to 0.004g" من شركة كينيمتركس الأمريكية، وقد تراوحت أبعاد هذه المحطات عن مركز الهزة السطحي بين 35 وحتى 220 كم. تتوضع معظم المحطات على صخر الأساس مع محطات الحركات الخفيفة ضمن مواقع المحطات

الحقلية المخصصة للشبكة الوطنية السورية وبعض منها وضعت في المدن الهامة والسدود يبين الجدول رقم (2) والشكل (6) مواقع وتوزع هذه المحطات.

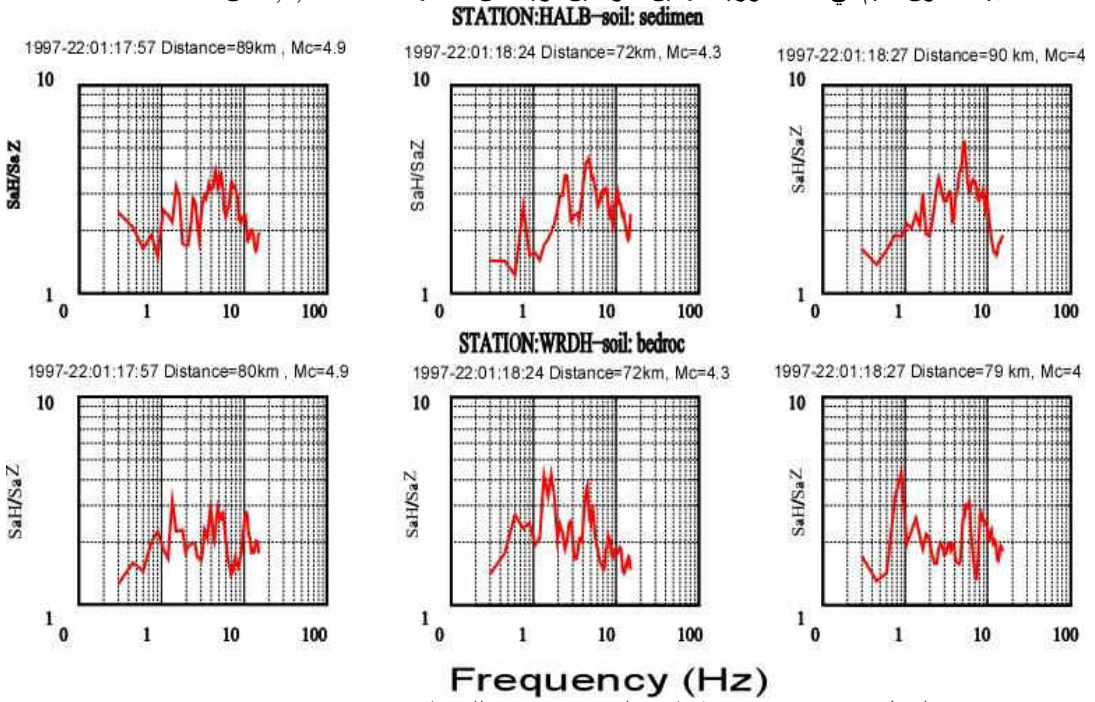
الجدول رقم (2): يبين احداثيات محطات الرصد الزلزالي للتسارعات الأرضية وقيم طيف التسارع الأعظمي المسجل في كل محطة

Station	latitude	longitude	Elevation (m)	Distance (km)	Distance (km)	PGA V component	PGA N–S component	PGA E–W component	PGA Total H component
KRKR	35.74	36.32	350	80.1	54	9.6	13.13	15.32	20.18
TRND	35.64	35.92	375	97.7	60	1.47	2.05	1.63	2.62
HALB	36.21	37.12	400	89.5	94	3.49	10.51	9.02	13.85
WRDH	35.51	36.41	695	78.1	80	3.01	4.56	5.12	6.86
TRNU	35.64	35.92	375	97.7	77	1.72	2.66	2.44	3.61
BTCH	36.04	36.46	795	36.8	38	4.74	9.22	6.59	11.33
ARNB	35.84	35.97	765	36.1	37	2.26	4.74	3.32	5.79
HALB	36.21	37.12	400	89.5	94	3.49	10.51	9.02	13.85
HAMA	35.18	36.77	305	121.8	126	2.76	7.47	6.15	9.68
EPHD	35.83	38.65	308	221.4	236	0.93	1.38	1.04	1.73



الشكل (6) تظهر توزع محطات التسارعات الأرضية تدل عليها المثلثات وموقع الهزة الرئيس الممثلة بالنجمة

حدد أثر الموقع على السجلات الزلزالية بتطبيق الطريقة البسيطة [18] التي تأخذ نسبة طيف استجابة محصلة تسجيلات المركبات الأفقية على طيف استجابة المركبة الشاقولية H/V يوضح الشكل (7) نتائج المقارنة بين المحطتين HALB المتوضعة في مدينة حلب ثاني أكبر المدن في سورية الواقعة في الجزء الشمالي الغربي لسورية ضمن بناء في جامعة حلب فوق منطقة سهلية وعلى توضعات رسوبية و محطة WRDH التي تتوضع فوق تلة وعلى صخر أساس. وقد أظهرت نتائج التحليل للهزات الثلاث أن القيم المرتفعة بشكل عام تتزواح حول الترددين 1هرتز و 5 هرتز فتكون القيم الأعلى عند التردد 5 هرتز بالنسبة لمحطة حلب الأشكال a,b,c من الشكل 7 بينما تكون القيم في محطة وريدة لهذين الترددين قريبة من بعضهما الأشكال d,e,f من الشكل 7.



الشكل (7): منحنيات نسبة طيف التسارع H/V للمحطتين HALB, WRDH

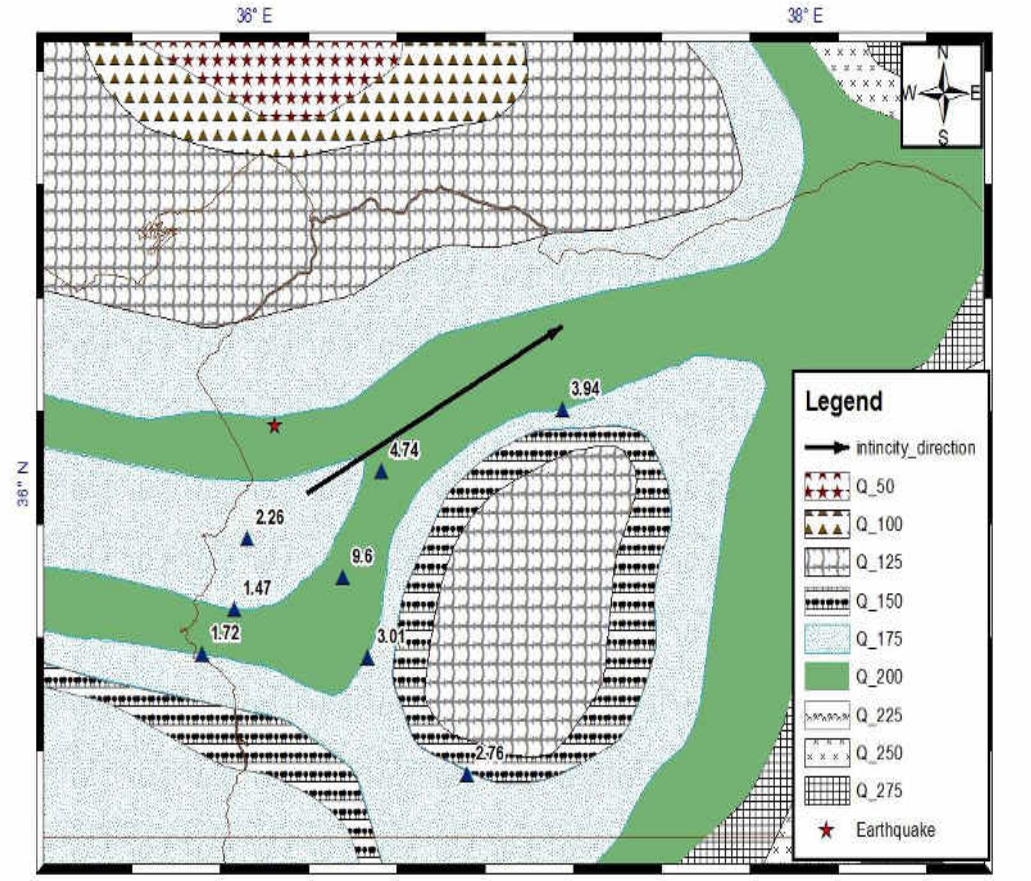
وحيث أن أثر الموقع لايكون كبيراً على السجلات الزلزالية للمركبات العامودية[18] فسنقوم بمقارنة التسارعات الأرضية الأعظمية المسجلة للهزة الرئيسة للمركبة الشاقولية للمحطات التي لها أبعاد متقاربة عن مركز الهزة السطحي كما سنقوم أيضاً بمقارنة بقية التسجيلات على المركبات الأخرى وفيما يلي يظهر الجدول رقم (3) هذه المقارنات:

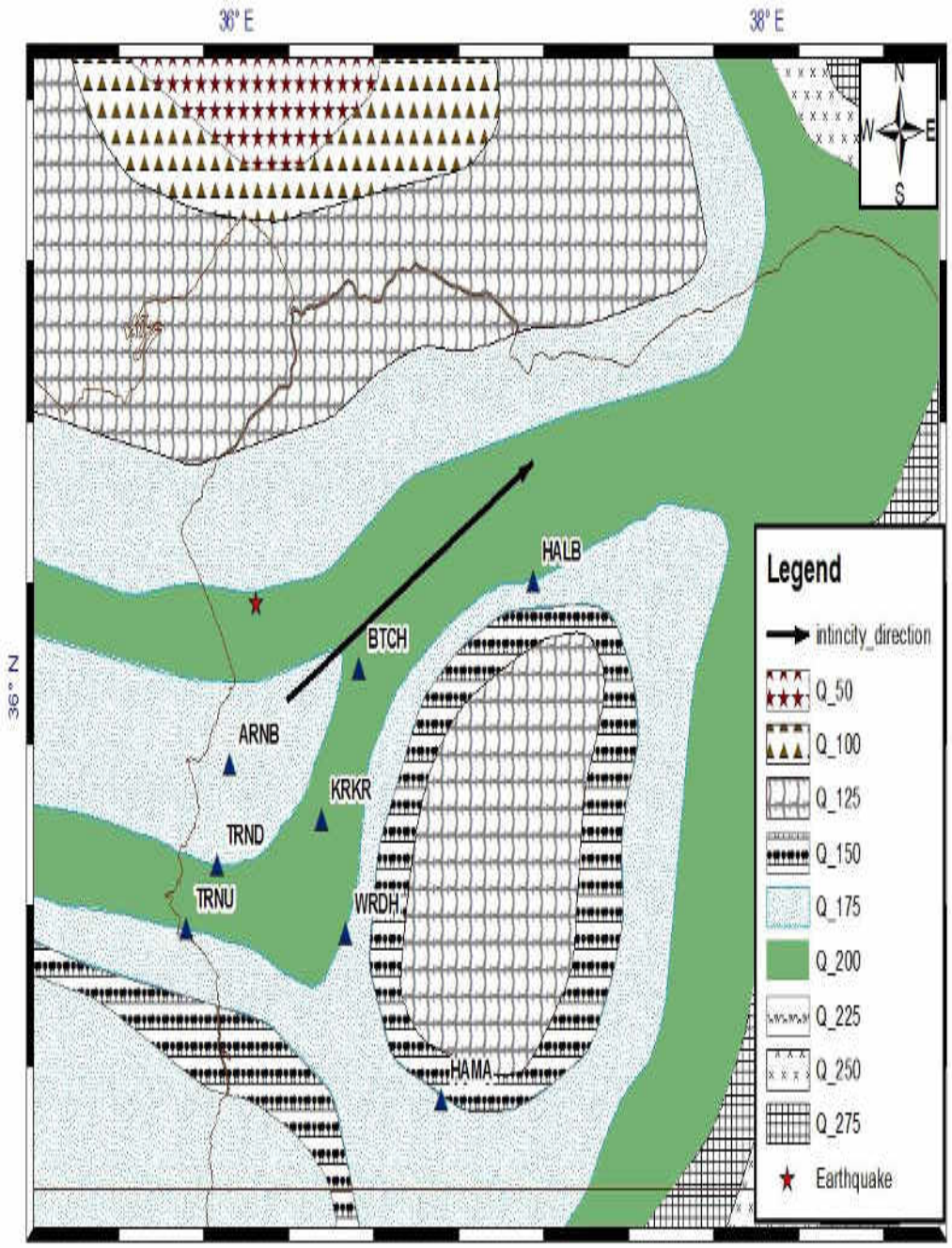
الجدول (3)

المحطة الأولى	المحطة الثانية	البعد الوسطي عن الهزة	نسبة التسارع الأعظمي للمحطة الأولى إلى التسارع الأعظمي للمحطة الثانية			
			المركبة الشاقولية	المركبة شمال جنوب	المركبة شرق غرب	المحصلة الأفقية
		km	V	N–S	E–W	Total H
KRKR	TRND	57	6.5	6.4	9.39	7.7
HALB	WRDH	87	1.15	2.3	1.7	2
HALB	TRNU	85	2.37	5.12	5.5	5.2
WRDH	TRNU	78	2.04	2.2	3.1	2.6
BTCH	ARNB	38	2	1.94	1.98	1.95
HALB	HAMA	110	1.26	1.4	1.46	1.4

نلاحظ في الجدول (3) أن محطة KRKR قد سجلت القيمة الأعلى للتسارع الأرضي. تتوضع هذه المحطة في سهل الغاب وبمقارنتها مع محطة TRND التي تبعد بنفس المسافة تقريباًعن المركز السطحي للهزة الأرضية والتي تتوضع على سد تشرين نجد أن قيمة التسارع الأرضي المسجل فيها بالنسبة للمركبة الشاقولية أكبر بحوالي ست مرات من القيمة المسجلة في محطة TRND. وتكون النسبة تقريباً 2 بالنسبة للمحطات ذات المسافات المتقاربة أيضاً: HALB-TRNU, WRDH-TRNU, BTCH-ARNB ، تتوضع محطتي BTCH و ARNB اللتان تبعدان مسافة حوالي 37 كم عن مركز الهزة السطحي على صخر الأساس. أما النسبة أكبر من 1 بقليل فهي للمحطات HALB-WRDH, HALB-HAMA .

نلاحظ أن القيم العالية للتسارعات الأرضية تكون في المحطات التي تقع باتجاه شمال شرق يبين الشكل (8)خارطة توزع قيم معامل الجودة المحسوب وكذلك قيم التسارعات الأرضية المسجلة في المحطات المذكورة سابقاً ويظهر في الشكل أن القيم الأعلى المسجلة لهذه الهزة تتوضع ضمن الممرات الجيدة للطور Lg والتي تأخذ الاتجاه شمال شرق أيضاً

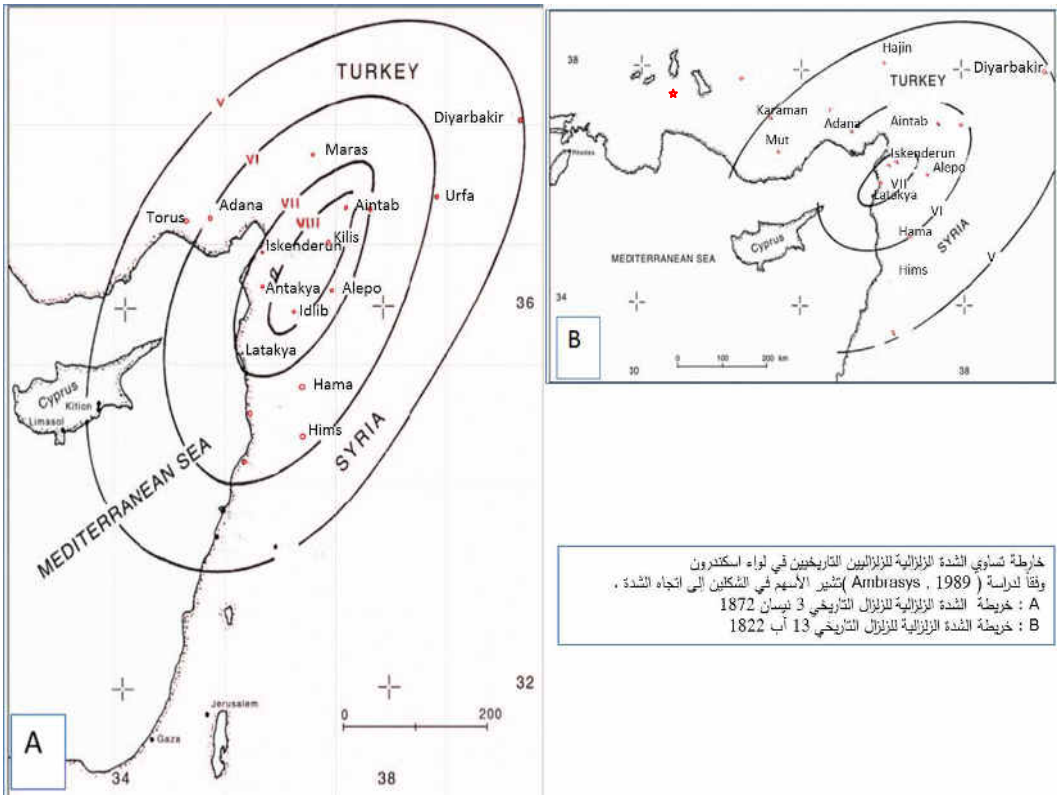




الشكل (8) يظهر خارطة تساوي قيم معامل الجودة Q0 مع مواقع المحطات وقيم التسارعات الأعظمية المسجلة في هذه المحطات

نتائج الشدة الزلزالية للزلزالين التاريخيين في 13 آب عام 1822 و 3 نيسان 1872 في شمال غرب سورية. من الدراسة التي قام بها الباحث Ambrasys [3]

لقد حظيت الدراسات الزلزالية التاريخية في منطقة شرق المتوسط بتدوين الفعالية الزلزالية نظراً لاستيطانها وبشكل متواصل من قبل الانسان منذ الأزل البعيد ولغاية عصرنا الحالي وإن معظم الصدوع المذكورة في فقرة الوضع التكتوني لسورية قادرة على توليد زلازل كبيرة تشكل خطراً زلزالياً مهماً، ويبين الشكل (9) خارطة توزع الشدة الزلزالية للزلزاليين التاريخيين المدروسين من قبل الباحث Ambrasyeys,1989. وقد تم تحديد موقع الزلزاليين في شمال غرب سورية ضمن القسم الشمالي لصدع البحر الميت.



خارطة تساوي الشدة الزلزالية للزلزاليين التاريخيين في لواء اسكندرون
وفقاً لدراسة (Ambrasys , 1989)تشير الأسهم في الشكلين إلى اتجاه الشدة .
A : خريطة الشدة الزلزالية للزلزال التاريخي 3 نيسان 1872
B : خريطة الشدة الزلزالية للزلزال التاريخي 13 آب 1822

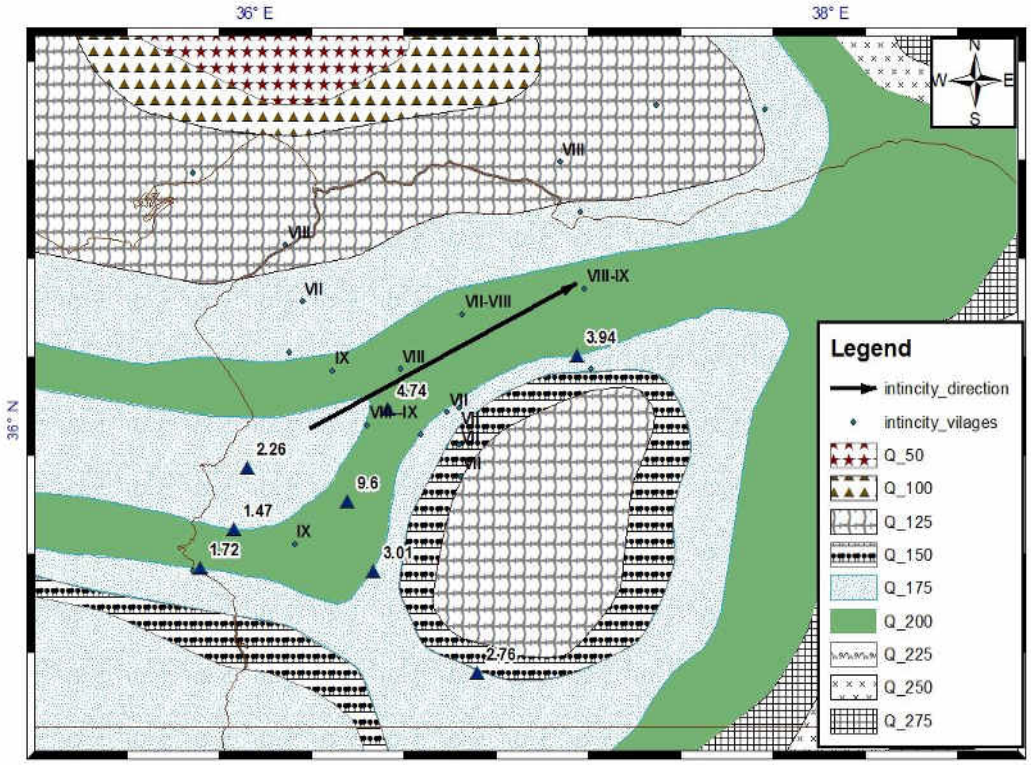
الشكل 9A,B خرائط تساوي الشدة الزلزالية للزلزاليين التاريخيين، تم أخذ هذه الأشكال من المرجع [19]

حدث الزلزال الأول بتاريخ **13آب/1822** في الساعة 20:40 بالتوقيت المحلي وتم تحديد موقعه ضمن الاحداثيات 36.7 شمال و 36.9 شرق وبقدر Ms= 7.4 و شدة $I_0(MSK)=X$ (يعتبر هذا الزلزال هو الأكبر في المنطقة الحدودية خلال الخمسة قرون الماضية وفقاً لدراسة Ambrasyeys,1989، وقد شعر بها المواطنون من حدود البحر الأسود في تركيا إلى غزة في فلسطين وتبعها زلازل ارتدادية بقيت لمدة عامين ونصف العام وقامت بتدمير المنطقة بين Gaziantep وأنطاكية في تركيا وحلب وخان شيخون في شمال غرب سورية. وأدت الى خسائر بشرية كبيرة وتم رسم خطوط تساوي الشدة الزلزالية وفقاً للدراسة المذكورة كما هو مبين في الشكل (9B) ويلاحظ بوضوح أن اتجاه الاهتزاز الأرضي القوي يأخذ شمال شرق- جنوب غرب.

أما الزلزال الثاني فقد حدث بتاريخ 3 نيسان/1872 في الساعة 07:40 بالتوقيت المحلي وضمن الاحداثيات 36.4 شمال و 36.5 شرق وبقدر Ms= 7.2 و شدة $I_0(MSK)=X$ وقد أثرت على جميع المناطق الواقعة حول نهر العاصي من منبعه حتى مصبه في البحر المتوسط وقد دمرت على نحو كامل مدينة Antioch كما دمرت السويدية الخليج البحري في لهذه المدينة وقد استمرت الهزة لمدة 40 ثانية وقتلت 500 شخص وجرحت مثلهم بالعدد ودمرت بشكل كامل 1960 منزلاً من أصل 3003 منزل وتضرر 894 منزلاً منهم ومن أصل 1331 أنواع الأبنية المختلفة كالجوامع و الكنائس والحلات التجارية إلى غير ذلك بقي منهم 349 محل تجاري وجامع وحيد

ومعمل صابون وحيد أي أن مجمل الأبنية من كافة الأنواع بلغت 4334 بناء بقي منهم فقط 500 بناء يشير الشكل (9A) الى خطوط تساوي الشدة الزلزالية والتي تأخذ الامتداد البيضوي باتجاه شمال شرق- جنوب غرب أيضاً.

وقد قمنا بمقارنة الشدات الزلزالية المحددة للمدن والقرى وفق الدراسة الزلزالية السابقة للزلزاليين التاريخيين مع معامل الجودة المحسوب في هذه الدراسة كما هو مبين في الشكل (10) فوجدنا أن الاتجاه العام للشدات الزلزالية لهذين الزلزالين تتوافق مع الممرات الجيدة للطور Lg ومع قيم التسارعات الأرضية الأعظمية المسجلة في محطات الشبكة السورية..



الشكل (10) خارطة تساوي معامل الجودة $Lg\ Q_0$ مع قيم الشدات الزلزالية التاريخية وقيم التسارعات الأرضية العظمى المسجلة في محطات الشبكة السورية

خلاصة النتائج:

إن خصائص انتشار الأطوار الموجية الاقليمية تتغير بشكل كبير استناداً على عوامل كثيرة كموقع المصدر الزلزالي ومحطات الرصد الزلزالي وآلية الحركة في المصدر الزلزالي وتغير مسارات انتشار هذه الأمواج اضافة إلى التعقيدات البنيوية والتغيرات المورفولوجية التي تصادفها تلك الأمواج ضمن مسارات إنتشارها، وبافإن الخطر الزلزالي وشدة الدمار الناجم لدى حوث زلزال كبير لاسمح الله يتعلق بتلك العوامل وللمساهمة في تخفيف هذا الخطر لابد من الفهم الجيد والدراسات الدقيقة لتلك العوامل وفهم بنية القشرة الأرضية وتوصيف انتشار الأمواج الزلزالية المختلفة بشكل جيد، لذا و في هذا البحث قمنا بالتركيز على توصيف الطور الموجي الاقليمي Lg، الذي ينتشر ضمن القشرة الأرضية للتعرف على الوضع البنيوي والتكتوني للقشرة الأرضية، وذلك من خلال حساب معامل الجودة LgQ_0 الذي يحدد المناطق والممرات الجيدة لإنتقال هذا الطور الموجي إضافة إلى المواقع والممرات التي تحجب مرور هذه الأمواج.

وبمقارنة وربط خارطة تغيرات معامل الجودة LgQ0 بالسجلات للتسارعات الأرضية لبعض الهزات الأرضي الحديثة المسجلة في شبكة الحركات القوية وشدة الحركات الأرضية المقدرة لزلازل تاريخية وفق مقياس ميركلي وجدنا بأن هناك توافقاً جيداً بين هذه الممرات الجيدة التي ينتقل فيها الطور الموجي Lg بكفاءة عالية وبمعظم طاقته وشدة الحركات الأرضية.

لهذا فإنه من المفيد جداً وضع خرائط تفصيلية لتغيرات معامل الجودة LgQ0 لما لها من أهمية في فهم الوضع البنيوي والتكتوني للقشرة الأرضية، وتحديد النطاقات الجيدة التي تكون فيها معامل الجودة أو النوعية مرتفعاً والتخميد منخفضاً نظراً لارتباطه بشدة الحركات الأرضية وبالتالي تقدير مناطق الخطر الزلزالية، للاستفادة منها في المساهمة في تخفيف المخاطر الزلزالية.

REFERENCES

[1] Herrin E.T., and J.Richmond, (1960) On the propagation of the Lg phase [Journal] // Bull. Of the Seismol. Soc. Am., 50. – pp. 197-210.

[2] T.Furumura, B.L.N Kennett, (2001) Variations in Regional Phase Propagation in the Area around Japan.

[3] Ambrasys,N.N, (1989) Temporary seismic quiescence: SE Turkey, Geophs. J, pp 311-331.

[4] Al-Chalabi .A and G.Costa, P.Suhadolc (August 26-29, 2003) Strong Motion Records from Syria: Apreliminary Analysis, International Conference on Earthquake Engineering, SE-40EEE, Skopje & Ohrid, Republic of Macedonia.

[5] Bulletin of the Syrian National Seismological Networks (SNSN), No. 1 and No. 2, (1996-1997).

[6] Ni, J., and M. Barazangi (1983). High frequency seismic wave propagation beneath the Indian shield, Himalayan Arc, Tibetan Plateau, and surrounding regions: high uppermost mantle velocities and efficient Sn propagation beneath Tibet, Geophys. J. R. Astr. Soc. 72, 655–689.

[7] Kadinsky-Cade, K., M. Barazangi, J. Oliver, and B. Isacks (1981). Lateral variations of high-frequency seismic wave propagation at regional distances across the Turkish and Iranian Plateaus, J. Geophys. Res. 86, 9377–9396.

[8] Rapine, R. R., Ni, J., and T. M. Hearn (1997). Regional wave propagation in China and its surrounding region, Bull. Seism. Soc. Am. 87, 1522–1636.

[9] Campillo, M., B. Feignier, M. Bouchon, and N. Bethoux (1993). Attenuation of crustal waves across the alpine range, J. Geophys. Res. 98, 1987–1996.

[10] Kennett, B. L. N., S. Gregersen, S. Mykkeltveit, R. Newmark (1985). Mapping of crustal heterogeneity in the North Sea basin via the propagation of Lg waves, Geophys. J. R. Astr. Soc. 83, 299–306.

[11] Press, F., and M. Ewing (1952). Two slow surface waves across North America, Bull. Seism. Soc. Am. 42, 219–228.

[12] Dubertret, L., (1970) Review of the structural geology of the Red Sea and Surounding areas, Royal Socity of London philosophical transactions, Series A 267, 9-20.

[13] Quennel, (1984) Quennell, A.M. (1984). The western Arabia rift system. In, J.E. Dixon and A.H.F. Robertson (Eds.), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Geological Society, London, Special Publication no. 17, p. 775–788.

[14] Freund, Freund, R., Z. Garfunkel, I. Zak, M. Goldberg, T. Weissbrod and B. Derin (1970). The shear along the Dead Sea rift. Philosophical Transactions of the Royal Society, London, v. 267, no. 1, p. 107–130.

[15] Tectonics and kinematics (2004) map published by CGMW with the support of UNICCO, ROMA III and INGV (ROME).

[16] Xie J. and B.J. Mitchell (1990b) Attenuation of multiphase surface waves in the Basin and Range province I, Lg and Lg coda [Journal] // Geophys. J. Int. 102.pp. 121-137.

[17] Mitchell B.J., Y. Pan, J. Xie, and L. Cong (1997), Lg coda Q variation across Eurasia and its relation to crustal evolution [Journal] // J. Geophys. Res. 102,- pp. 22767-22779.

[18] Langston, C. A., (1979). Structure under Mount Ranier, Washington, inferred from teleseismic body waves. J.Geoph. Res., 84, b9, 4749-4762.

[19] M.Reda Sbenati, R. Darawcheh and M. Mouty (2005); The historical earthquakes of Syria: an analysis of large and moderate earthquakes from 1365 B.C. to 1900 A.D , ANNALS OF GEOPHYSICS, Vol. 48, N. 3, pp. 347-435.