

خصائص الاستجابة الزلزالية لمواقع محطات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي باستخدام طريقة النسبة الطيفية للمركبات الأفقية إلى الشاقلوية (HVSr)

د. رائد أحمد***

د. محمد داود**

هبة قرمش*

الملخص

إن لخصائص الموقع المحلي تأثيراً قوياً في شدة الاهتزاز الأرضي، وهي إحدى العوامل الرئيسية التي تسبب الخسائر البشرية والاقتصادية. لذلك أصبحت دراسة الخصائص الزلزالية للموقع مهمة من أجل تصميم منشآت وأبنية أكثر أماناً. تختلف استجابة الموقع من مكان لآخر باختلاف الوضع الجيولوجي والهيدرولوجي وتبعاً لخصائص المصدر الزلزالي وكل من قدر الزلزال ومسار الأمواج الزلزالية. في الأدبيات العلمية، يوجد العديد من طرق تقدير استجابة الموقع منها الرقمية (الجيوتكنيك)، التجريبية (النسبة الطيفية وطيف فوربييه السعوي).

* طالبة ماجستير في المعهد العالي للدراسات والبحوث الزلزالية- دمشق.

** قسم الجيولوجيا_ كلية العلوم_ جامعة دمشق.

*** المركز الوطني للزلازل.

في هذه الدراسة، تم تحليل 56 حدث زلزالي مسجل في محطات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي المتمثلة بـ 24 محطة. لإجراء التحليل اختيرت الزلازل ذات القدر الأكبر من 3، والتي حدثت خلال السنوات: 2009 و 2010 و 2011. بنتيجة التحليل، تم الحصول على منحنيات النسبة الطيفية (HVSr) وتحديد كل من معاملات الدور المسيطر (T_0) والتضخيم (A_0) لكل موقع محطة. لاحقاً تمت مقارنة النتائج مع طريقة ناكامورا لجزء الضجيج الزلزالي السابق لوصول الإشارة الحقيقية للزلزال. القيم الناتجة متوافقة في 10 محطات في حين كانت مختلفة في الـ 14 محطة الباقية؛ إذ يكون التوافق كبيراً في المواقع ذات قيم تباين الممانعة العالية. تضمنت هذه الدراسة، أيضاً، رسم منحنيات الاستجابة التصميمية بالاستفادة من المعلومات الواردة في الكود العربي السوري 2012 ونتائج هذه الدراسة. بمقارنة منحنى الاستجابة المستنتج والوارد في الكود يتبين وجود فروقات في قيم التسارعات الطيفية، كما يلاحظ تقارب في عرض المجال المحدد بالدورين (T_0 و T_s) للمنحنيات المستنتجة من الدراسة. يتراوح التضخيم المحسوب لمواقع المحطات بين 1.12 و 2.36، ودور الاهتزاز بين 0.35 و 0.68 ثانية. تقع غالبية مواقع محطات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي على مواقع للتربة تعود للصنف B أو C. إن لنتائج هذه الدراسة أهمية عالية من حيث استكمال بيانات مواقع شبكة الرصد بالمعلومات الضرورية، كما يمكن اعتبار منحنيات الاستجابة المستنتجة منحنيات مرجعية صخرية لمواقع المدن الرئيسية السورية عند القيام بدراسات مستقبلية أوسع.

الكلمات المفتاحية: استجابة الموقع ، النسبة الطيفية H/V، الدور المسيطر ، التضخيم، منحنى الاستجابة التصميمي.

Seismic-site conditions of the national seismological network using spectral ratio method (HVSR)

Heba Karmash*

Dr. M. Daoud**

Dr. R. Ahmad***

Abstract

The characteristics of the local site have a strong influence on the intensity of the ground shaking, and it is one of the main reasons that cause human and economic losses. Therefore, studying the seismic site condition has become important for designing infrastructures that withstand seismic forces. The site response varies from place to another according to the geological and hydrological settings as well as the properties of seismotectonic source including; earthquake magnitude and path of seismic waves to the monitoring station. In the literature, there are many methods for estimating site response, including numerical (geotechnical), experimental (spectral ratio and Fourier spectrum) techniques.

In this study, 56 earthquakes were analyzed which recorded in the national seismological stations includes 24 stations. To perform the analysis, earthquakes with magnitude greater than 3 and occurred during the years: 2009, 2010 and 2011 were selected. Consequently, spectral ratio HVSR curves were obtained and the predominant period of soil (T_0) and amplification (A_0) were determined for each station site. Later on, the results were compared with the Nakamura method that applied on ambient noise portion of the actual earthquake signal.

* Master student- Department of Seismology, Higher Institute of Earthquakes Studies and Researches.

** Department of geology-Faculty of Science -Damascus university.

*** National Earthquake Center.

The estimated values are close to each other using the two methods of analysis for 10 stations, while they differ for the other 14 stations. The results indicate that this compatibility is greater in rocky sites where the variation in the acoustic impedance is great. The design response curves have been drawn using the information contained in the Syrian anti-seismic code 2012 and the results of this study. Comparing the inferred response curve in the code shows differences in the values and agreement in the period width (T_0 and T_s). Calculated amplification ranges from 1.12 to 2.36, while the predominant period is between 0.35 and 0.68 seconds. It was noted that the majority of stations-sites have a classification of B or C, and this is suitable for the deployment of seismological stations. The results of this study are of great importance in terms of supplementing the data of the national seismological network with the necessary information, and considering that the inferred response curves represent rocky reference curves for the sites of the main cities in Syria for the extended future studies.

Keywords: site response, spectral ratio h/v, amplification, predominant period factor, Design response curve.

المقدمة:

نظرا للدور الذي تلعبه تربة التأسيس، أصبح تقييم تأثير الموقع المحلي شائعا جدا في الدراسات الزلزالية، وأعطت الزلازل المدمرة الأخيرة أدلة إضافية على الأهمية الكبيرة لها لا سيما بعد زيادة حساسية أجهزة الحركات القوية التسارعية.

مع تزايد النشاط الزلزالي الملحوظ في المنطقة، تزداد التساؤلات حول قدرة تحمل الأبنية السكنية والمنشآت الهامة ودرجة الضرر التي قد تتعرض لها لذا من الضروري دراسة خصائص استجابة الموقع الزلزالية عند التصميم الإنشائي. تعد القياسات الجيوتكنيكية الأكثر شيوعا في هذه الدراسات ولكن تكلفتها عالية وتتطلب جهدا كبيرا، لذلك كانت التساؤلات حول إمكانية استخدام طرق بديلة تعطي نتائج جيدة في تقييم استجابة الموقع الزلزالية واعتماد منحني تصميمي مرجعي لكل مدينة بهدف تصميم أبنية مقاومة للزلازل.

تعد طريقة النسبة الطيفية من أبرز الطرائق المستخدمة في تحديد استجابة الموقع الزلزالية، وتقسّم إلى: طرائق تحتاج إلى تسجيل الإشارة في موقع مرجعي صخري نموذجي ومقارنة تسجيل الإشارات الزلزالية في مواقع عدة أخرى ولاحقا حساب متوسط النسب الطيفية بين مختلف مواقع الدراسة والموقع المرجعي، أما الطرائق الأخرى لا تحتاج إلى موقع مرجعي باستخدام محطة واحدة أو أكثر حيث يفترض بأن المركبة الشاقولية لا تخضع لتأثيرات الموقع بنفس الدرجة التي تعاني منها المركبات الأفقية كطريقة (Nakamura,1989). دلت الدراسات المرجعية أنه من الممكن استخدام هذه الطرائق لحساب الدور المسيطر وعامل التضخيم الذي يعد خطوة أساسية في العديد من الدراسات الهندسية والزلزالية. طبقت هذه الطريقة لأول مرة على جزء الموجة S من التسجيلات الزلزالية في ثلاثة مواقع مختلفة في المكسيك من قبل (Lermo and Chavez-

(Garcia, 1993) وأظهرت تشابهات مشجعة للغاية بينها وبين النسب الطيفية القياسية (SSR). اختبرت هذه الطريقة على مجموعات مختلفة من تسجيلات الحركات الخفيفة والقوية على كامل التسجيل الزلزالي في العديد من الدراسات (Anbazhagan et al, 2019 و Belvaux et al, 2015 و Layadi et al, 2014 و Barnaba et al, 2013 و Pilz et al, 2009) وأظهرت نتائج جيدة. كما تبين هذه الدراسات التأثير الكبير للجيولوجيا السطحية والخصائص الديناميكية للتربة على استجابة الموقع للحركات الأرضية وأن سعة كل من طيف فوربييه الأفقي والشاقولي تختلف من حدث لآخر، في حين نسبتها H/V مستقرة للأحداث المختلفة في كل موقع. كما تعد هذه الطريقة مؤشرا ملائما لتضخيم الموقع الذي يعد عاملا رئيسيا في تصميم المنشآت المقاومة للزلازل وتحديد منحنيات الاستجابة التصميمية.

زود (mucciarelli & Gallipoli, 2004) ببعض الملاحظات التجريبية والإحصائية اللازمة لتطبيق طريقة HVSR للتسجيلات الزلزالية والضجيج؛ قام بتحليل تسجيلات زلزالية من 608 حدث مسجل في 4 محطات مختلفة في إيطاليا و 1280 إشارة ضجيج. وقد أعطت النتائج تشابهات كبيرة في النتائج لمحطتين لكلا الطريقتين فيما ظهر الاختلاف الرئيسي عند المحطتين الآخرين، وذلك بسبب التوضع الجيولوجي المعقد للأولى في حين لم تتركب الثانية في بيئة سكنية ذات ضجيج عال، وهذا دعم الفرضية أن ساعات ضجيج أعلى تزود بتوافق جيد مع طريقة HVSR من تحليل الزلازل الحقيقية.

كما وصف (Ghofrani et al, 2012) استجابة مواقع محطات شبكة KiK_net اليابانية؛ إذ شملت الدراسة 687 محطة رصد حركات قوية موزعة على سطح الأرض وفي آبار عميقة. حسبت النسبة الطيفية باستخدام طريقة HVSR لمئات التسجيلات السطحية والبترية لزلزال

توهوكو 2011 (M9.0) وأحداث يابانية أخرى (258 زلازل الحركة القوية). كانت تأثيرات الموقع قوية عند الترددات العالية لزلازل توهوكو على الرغم من أن الإشارة التي لها استجابة تردد عالية قد تخمد بالتأثيرات اللاخطية. كما طور نماذج متعلقة بنسب H/V بوصفها مقياساً تمهيدياً لتضخيم الموقع للخصائص الفيزيائية للمواقع.

استخدم (Laouami et al, 2018) طريقة النسبة الطيفية H/V على 1391 تسجيل للحركة القوية لحساب الدور المسيطر ووضع معادلات التنبؤ بالحركة الأرضية (GMPEs) في إطار عمل يتضمن تقييم الخطر الزلزالي في الجزائر وبين اختلاف ساعات نسب H/V الطيفية وأشكالها لكل صف من صفوف الموقع بالاعتماد على البيانات المسجلة من قاعدة بيانات الحركات الأرضية القوية الجزائرية والأوروبية.

اقتصرت الدراسات في سورية على استخدام هذه الطريقة في تحليل تسجيلات الضجيج الزلزالي منها: (خليل، 2012) لدراسة تأثير التربة السطحية على استجابة الموقع في منطقة الغوطة الشرقية في دمشق و(يوسف، 2014) لوضع خريطة التمنطق الزلزالي لمدينة الرقة.

وبذلك، وبننتيجة الدراسات المرجعية، قيمت استجابة مواقع محطات الشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي من خلال تحليل 56 حدث زلزالي (13 حدث بعيد و 43 قريب) بقدر أكبر من 3 والتي حدثت خلال السنوات: 2009 و 2010 و 2011 باستخدام طريقة النسبة الطيفية H/V على تسجيلات الحركات القوية والخفيفة المسجلة في 24 محطة.

إن لنتائج هذه الدراسة أهمية عالية من حيث استكمال بيانات مواقع الشبكة بالمعلومات الضرورية وكون منحنيات الاستجابة المستنتجة تمثل منحنيات مرجعية صخرية لمواقع المدن الرئيسية السورية.

2. الوضع الجيولوجي والتكتوني والزلزالي لسورية

تنتشر محطات الشبكة السورية للرصد الزلزالي على مساحة أراضي الجمهورية العربية السورية البالغة 185180 كم² وتقع بين خطي العرض 32.30 و 37.40 شمالاً وخطي الطول 34.50 و 42.50 شرقاً بالقرب من نطاق التصادم الرئيسي الشمالي للصفحة العربية مع الصفحة الأوراسية. يبلغ معدل الحركة للصفحة العربية باتجاه الشمال والشمال الشرقي بمعدل 2±18 مم/سنة (McClasky et al, 2000).

تشتمل الأراضي السورية على بنى جيولوجية نشطة تكتونيا ومتنوعة في نمطها وطبيعتها حركتها؛ إذ أدى نشاطها الزلزالي عبر الزمن إلى التأثير المباشر في أهم المدن السورية بدرجات متفاوتة من التخريب الجزئي أحيانا كزلزال 13 أيلول 1563م (MI=4_4.5) الذي ضرب دمشق وسبب انهيار بعض المنازل وعدة تمزقات ظهرت على الجدران، وإلى التدمير الكلي أحيانا أخرى مثل زلزال 30 تشرين الأول 1759م (MI=7_7.5) الذي سبب تدمير كبير في دمشق وغرب الغاب (Sbeinati et al, 2005). دلت الدراسات المرجعية أنه يوجد أربعة مصادر زلزالية ممثلة بأربع وحدات سيسمو تكتونية رئيسية وهي: منطقة جبل عبد العزيز سنجار، ومنظومة صدوع البحر الميت، ومنظومة الطي التدمرية، ومنظومة صدوع الفرات (Brew et al, 2001).

كما يلاحظ نشاط كبير وتزامن للهزات على طول امتداد نطاق فالق شرق الأناضول EAF على الصفحة الأناضولية مع الهزات التي تحدث بالقرب من الساحل السوري في منطقة شمال غرب سورية، وهي منطقة امتداد قوس قبرص الذي يرتبط به فالق اللاذقية، وتشكل هذه البنات نقطة تقاطع ثلاثية تتميز بحركات انزلاقية على طول امتدادها.

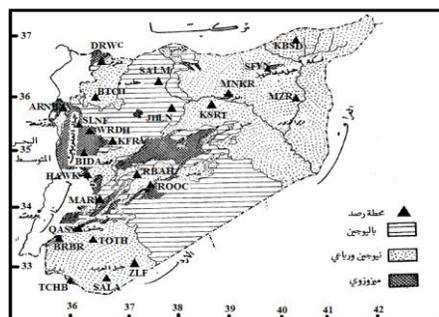
تشير الزلازل التاريخية الكبيرة وما قبل التاريخية إلى حدوث العديد من الأحداث الزلزالية ذات القدر الأكبر من 7 في آخر 2400 سنة (Ambraseys and Jackson, 1998) بما في ذلك الحدث الكبير

في أنطاكية عام 526م الذي سبب خسائر بشرية كبيرة، وزلزال 1408م في اللاذقية والذي ترافق بتسونامي. وعمامة إن أهم ما يلاحظ من ذلك النشاط التاريخي هو الهدوء الذي ساد في المنطقة لمدة زمنية لم يؤرخ فيها أي نشاط زلزالي شديد منذ زلزال أنطاكية عام 1872م حتى ضرب المنطقة زلزال كبير في خليج العقبة في 22 كانون الأول من عام 1995 بقدر 7.3. وبالتالي تمل الدراسات التاريخية أن احتمال حدوث زلزال كبير في سورية والمناطق المجاورة لها وارد.

بدأ التسجيل الآلي للأحداث الزلزالية في عام 1900م بواسطة الشبكة العالمية والإقليمية، وقد سجلت وقوع عدة زلازل قوية في المناطق المجاورة لسورية بقدر تتراوح بين 6 إلى 6.9 خلال أعوام 1905 و 1918 و 1927م على طول منظومة صدوع البحر الميت.

تم البدء بتركيب محطات الشبكة السورية للرصد الزلزالي في عام 1995م، وأظهرت التسجيلات المستمرة لمحطات الشبكة الوطنية نشاطا زلزاليا معاصرا متفاوت الشدة للنباتات السيسموتكتونية الرئيسية؛ إذ سجلت العديد من الزلازل ذات القدر أكبر من 5 خلال الأعوام 1995 و 2001 و 2007م التي حدثت في المناطق المجاورة لسورية (تقرير داخلي في المركز الوطني للزلازل أحمد وآخرون، 2013) و زلزال بقدر 5.6 في شرق مدينة تدمر عام 1996م، وآخر الزلازل الكبيرة التي أثرت في المنطقة زلزال Elazig في جنوب تركيا، في 24 كانون الثاني 2020م وبقدر 6.8 على صدع شرق الأناضول (خط العرض 38.37 شمالا وخط الطول 39.22 شرقا بالقرب من مدينة إيلازيغ التركية) مسببا 41 قتيل و 6540 مبنى متضررا والعديد من الإصابات (Lekkas et al, 2020).

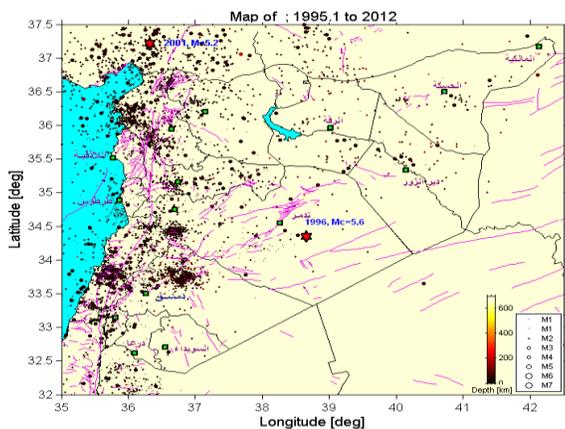
خصائص الاستجابة الزلزالية لمواقع محطات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي باستخدام طريقة النسبة الطيفية... قرمش، داود، أحمد



الشكل (1) مواقع محطات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي مسقطة على الخريطة الجيولوجية

بمقياس 1/500000 (Ponikarov,1969)

يظهر الشكل_2_الأحداث الزلزالية المسجلة من عام 1995 حتى 2012م باستخدام الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي.



الشكل (2) خارطة تبين أبرز الأحداث الزلزالية التي سجلت في سورية منذ عام 1995 حتى 2012م باستخدام

الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي (تقرير داخلي في المركز الوطني للزلازل_ أحمد وآخرون،2013)

في هذه الدراسة، أسقطت مواقع محطات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي على الخريطة الجيولوجية لسورية المعدة من قبل (Ponikarov,1969) كما يظهر في الشكل_1. جيلوجيا، تتكشف طبقات صخرية من الحجر الكلسي والدولوميت إيوسينية وكريتاسية في معظم مواقع المحطات المدروسة وفي بعضها الآخر؛ فالمحطات تتوضع على صبات بازلتية نيوجينية كمواقع محطات (ZALF و SALA و TOTH و KFRA) وبعضها على صبات بازلتية رباعية (MNKR و MZRK) (Kinematics, 1994).

3.البيانات المستخدمة:

في هذه الدراسة، تم تحليل 56 حدث زلزالي بقدر أعلى من 3 ، 13 منها بعيد (يبتعد عن المحطات مسافات أكثر من 500كم) و43 زلزال قريب (موضحة في الشكلين 4 و 5 و الجدول_1_ مع تحديد نوع التسجيل المستخدم في كل محطة)، مسجل في محطات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي خلال السنوات: 2009، 2010 و 2011 باستخدام أجهزة رصد الحركات الخفيفة والقوية المتوفرة في المركز الوطني للزلازل (CMG-40T و CMG-5 T).

تمركزت الزلازل المستخدمة في التحليل في سورية، شرقي البحر المتوسط، جنوب تركيا، قبرص وجنوب اليونان(الشكل_3_).

يوضح الجدول_1_رموز المحطات المدروسة ومواقعها ضمن الأراضي السورية مع ارتفاعها الطبوغرافي، بالإضافة إلى عدد التسجيلات السريعة والتسارعية المستخدمة في التحليل والوضع الجيولوجي للموقع من كل محطة. ركبت المحطات بناء على المعطيات الجيولوجية والزلزالية المتوفرة في سورية والوضع الطبوغرافي الذي يسمح بانتقال الإشارة اللاسلكية بين المحطات.

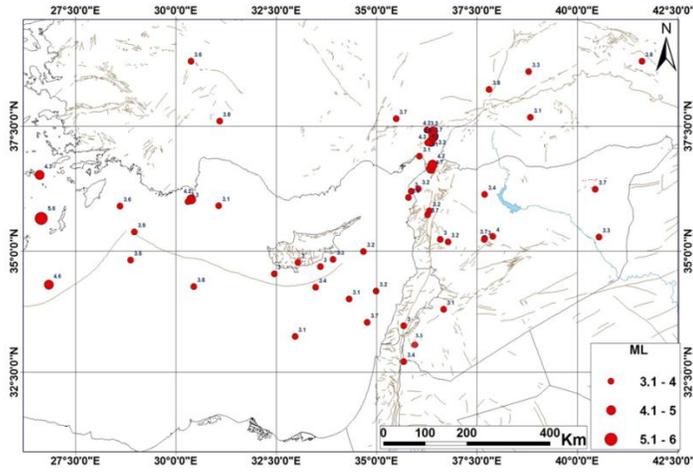
خصائص الاستجابة الزلزالية لمواقع محطات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي باستخدام طريقة النسبة الطيفية.... قورش، داود، أحمد

يوضح الشكلان 4 و 5 عدد الزلازل المستخدمة في التحليل في كل سنة وعدد الزلازل المقابلة لكل قدر كما وردت في النشرات الصادرة من المركز الوطني للزلازل.

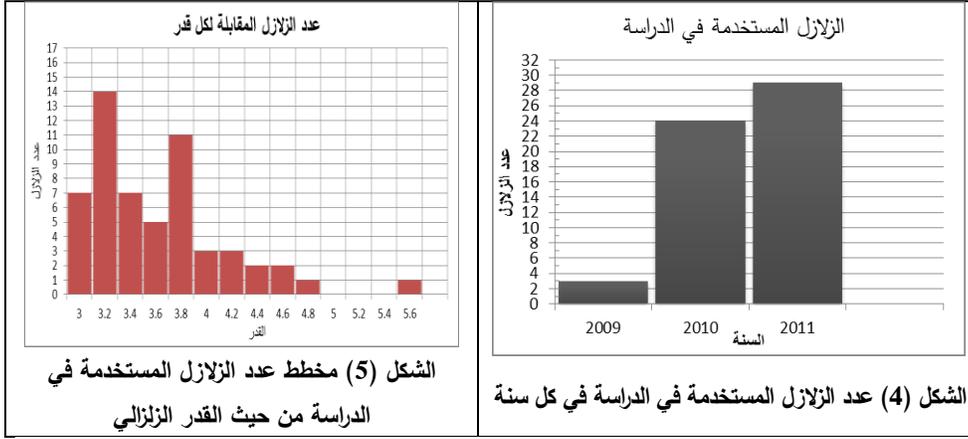
الجدول (1) توصيف محطات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي المدروسة

رمز المحطة	خط العرض (N)	خط الطول (E)	الارتفاع (م)	تسجيلات السرعة	تسجيلات التسارع	الوضع الجيولوجي للموقع
JHLN	35° 40' 20.0"	38° 26' 24.2"	372	20		حجر كلسي و مارل إيوسيني
ARNB	35° 51' 38.9"	35° 58' 19.9"	765	43		سلاسل أوفيوليت ميزوروي
BRBR	33° 24' 40.0"	35° 57' 04.9"	1742	41	6	حجر كلسي جوراسي
BTCH	36° 02' 13.9"	36° 27' 31.0"	780	45	21	حجر كلسي حواري لين (إيوسين أوسط) وحجر كلسي نومبوليتي قاسي
DRWC	36° 37' 16.0"	36° 39' 55.8"	940	32		طبقات كريتاسي علوي و سفلي
KFRA	35° 12' 39.7"	36° 47' 54.8"	620	28		بازلت ميوسين علوي
QASN	33° 31' 56.8"	36° 16' 35.7"	1161	24	11	حجر كلسي ودولوميت كريتاسي علوي
RBAH	34° 26' 16.1"	37° 12' 34.9"	890	22	4	حجر كلسي كريتاسي حواري
SALA	32° 42' 40.4"	36° 43' 59.0"	1768	40	5	تكتشات بازلتية بلويسينية
SALM	36° 12' 28.7"	37° 56' 05.4"	505	20	6	بحجر كلسي نومبوليتي حواري إيوسين
SLNF	35° 35' 19.0"	36° 13' 00.5"	1563	23		حجر كلسي جوراسي علوي
TCHB	32° 40' 08.5"	35° 58' 08.6"	449	34		تكتشات باليوسين وإيوسين سفلي حجر كلسي نومبوليتي
MARA	34° 01' 34.0"	36° 28' 54.1"	2620	44		حجر كلسي ودولوميت كريتاسي علوي
WRDH	35° 30' 26.1"	36° 24' 43.0"	641	20		حجر كلسي ودولوميت كريتاسي علوي
ZLF	32° 55' 20.1"	37° 20' 03.8"	624	36		منطقة بازلتية بلويسينية

دولوميت وحجر كلسي جوراسي علوي أو كريتاسي	11	36	910	36° 19' 16.9"	35° 00' 50.9"	BIDA	16
دولوميت وحجر كلسي (كريتاسي)		38	976	36° 24' 19.4"	34° 31' 11.7"	HAWK	17
صخور كلسية ورملية (ميوسين علوي)		21	526	40° 32' 34.8"	37° 00' 04.7"	KBSD	18
صنات بازلت تعود إلى الرباعي		22	376	39° 16' 14.9"	35° 56' 33.0"	MNKR	19
ميوسين علوي صخور كلسية		24	376	39° 00' 23.1"	35° 50' 13.4"	KSRT	20
بازلت (الرباعي أوسط)		19	318	40° 28' 31.1"	35° 53' 13.7"	MZRK	21
حجر كلسي ودولوميت نيوجيني		27	810	40° 06' 41.8"	36° 25' 04.8"	SFYN	22
بازلتيكية بلويسينية	10	42	681	36° 25' 43.8"	33° 21' 43.5"	TOTH	23
بالوجين	14	40	850	37° 17' 21.3"	34° 10' 10.7"	ROOC	24



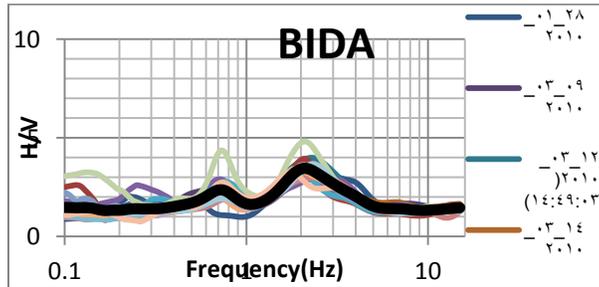
الشكل (3) توزع الزلازل المستخدمة في الدراسة موقعة على الخارطة التكتونية للمنطقة



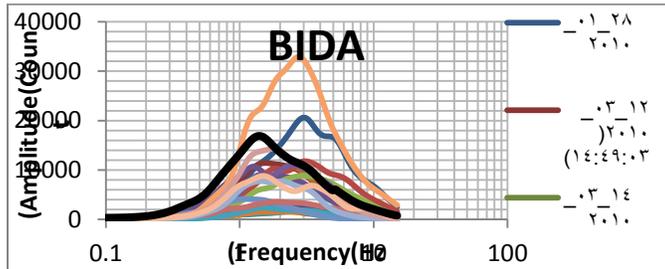
مناقشة النتائج:

اختيرت نافذة التحليل بحيث تحتوي الإشارة الزلزالية كاملة منذ وصول الموجة الطولية حتى نهاية الإشارة الزلزالية وفقاً للدراسات المرجعية المذكورة آنفاً. لاحقاً لذلك حسب النسبة الطيفية H/V باستخدام برنامج التحليل Sesarray-Geopsy وفق طريقة وسطي المربع (Squared average) لتحصيل المركبتين الأفقيتين. للمقارنة حسب طيف فوربييه السعودي لكل نافذة من المركبات (N و E و Z). كل هذه الإجراءات بغية حساب الدور المسيطر للتربة (T_0)، والتضخيم (A_0)، وتحديد منحنيات النسب الطيفية H/V الوسطية، ومنحنيات طيف سعة فوربييه الوسطية لكل محطة. عند إجراء التحليل استخدمت طريقة الصقل المتبعة من قبل (Konno & Ohmachi, 1998) بحيث تكون قيمة ثابت الصقل مساوية لـ 15. تم تطبيق هذا المنهج على التسجيلات كافة للحصول على الأهداف الغرضية للدراسة. يبين الشكل 6_6 منحنيات النسبة الطيفية لمحطة بيضا (BIDA)

التي تقع في مصياف بالقرب من صدع البحر الميت. استجابة للعديد من الأحداث الزلزالية التي وقعت خلال 2010 و2011م. يظهر الشكل أن H/V مساوية لـ 2.3 للتردد المسيطر 0.7 و3.4 للتردد 2 هرتز. ويشير الشكل_7 لمنحنيات طيف فورييه السعوية والمنحني الوسطي للمحطة (BIDA) نفسها؛ إذ إن المنحنيات تظهر سيطرة التردد 1.25 هرتز، وذلك استجابة للأحداث الزلزالية المشار إليها.



الشكل (6) منحنيات النسب الطيفية H/V والمنحني الوسطي لمحطة بيضا (BIDA)



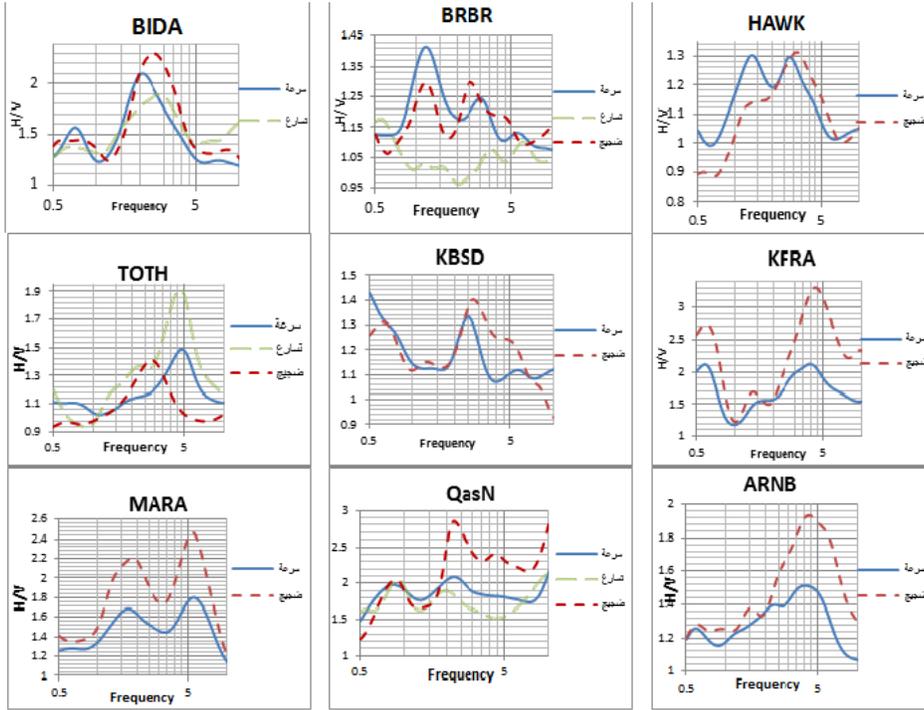
الشكل (7) منحنيات طيف سعة فورييه والمنحني الوسطي لمحطة بيضا (BIDA)

تم خلال هذه الدراسة اقتطاع الضجيج الزلزالي الذي يسبق وصول الإشارة الزلزالية الحقيقية وتحليله بشكل منفرد (طريقة ناكامورا)، وتمت مقارنة نتائج تحليل التسجيلات السريعة والتسارعية والضجيج الزلزالي لبعض المحطات مع بعضها كما يظهر في الشكل_8_ .
أعطى تحليل الضجيج الزلزالي (طريقة ناكامورا) نتائج مشابهة لنتائج تحليل الإشارات الزلزالية الحقيقية في 10 محطات، وهي: ZLF، MZRK، MARA، BRBR، SLNF، TCHB، SALA، ARNB، BTCH و BIDA. في حين أعطت نتيجة مختلفة في الـ 14 محطة الباقية. الاختلاف ناتج عن اختلاف المحتوى الترددي من لزلزال لآخر ولوحظ أن قيم الدور كانت أقرب بين التحليلين في المواقع ذات السماكة الصخرية الكبيرة مع وجود قيم تباين ممانعة عالية. كما تبين من المنحنيات الوسطية H/V لكل محطة أن المحطات تتميز بتضخيم مختلف حسب الوضع الجيولوجي الخاص بالموقع (قيم التضخيم لمعظم المحطات قريب من الواحد؛ أي لا يعد تضخيماً مهماً مما يشير إلى أن المواقع صخرية). تتراوح قيم كل من التضخيم والدور المسيطر ضمن المجالين (1.12_2.36) و (0.35_0.68 ثانية) على التوالي. يتضمن الجدول_2_ قيم الدور المسيطر والتضخيم لكل موقع محطة. لوحظ تضخيم أكبر من 2 في محطات: BTCH=2.2، BIDA=2.08، QASN=2.15، SLNF=2.36 و MNKR=2.29. قد يعود السبب إلى الوضع الجيولوجي المحلي أو الوضع الطبوغرافي، لا سيما في محطتي قاسيون وصلنفة، الذي تقع عليه هذه المحطات حيث تتوضع محطة بطرش على سماكة رمليّة وحصى وعلى ارتفاع طبوغرافي يبلغ 780م. ركبت محطة قاسيون على ارتفاع 1161م وطبقة صخرية كلسية تحتوي على تكهفات، في حين يؤثر الوضع التكتوني المعقد للمنطقة المحيطة بمحطة صلنفة في قيمة

التضخيم. في جميع المحطات المدروسة تعكس قيم التضخيم والدور المسيطر وضعية الطبقات الجيولوجية القابعة تحتها وهي غالبا شبه صخرية في مواقع أغلب المحطات المدروسة.

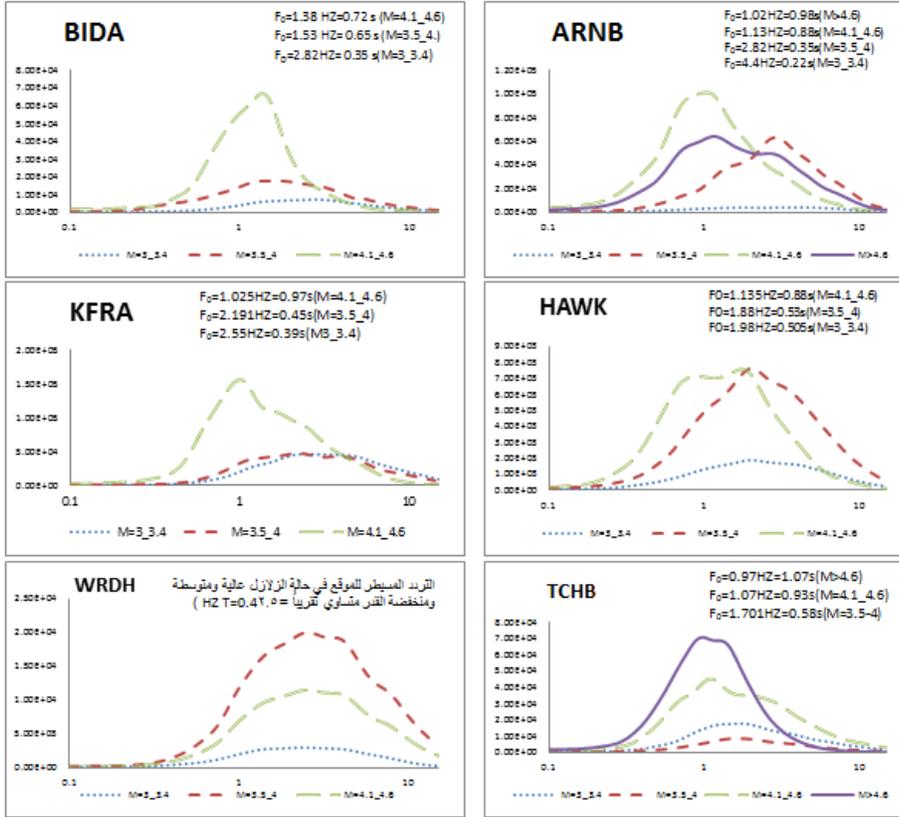
الجدول (2) قيم الدور المسيطر والتضخيم لكل محطة

التضخيم A_0	الدور المسيطر T_0 (s)	المحطة	
1.32	0.416	جحلان (JHLN)	1
1.6	0.403	كيس داغ (KBSD)	2
1.6	0.38	كفراع (KFRA)	3
1.22	0.47	مزاربخ (MZRK)	4
2.15	0.404	قاسيون (QASN)	5
1.18	0.47	صالمة (SALM)	6
1.45	0.52	تل شهاب (TCHB)	7
1.13	0.5	طوطح (TOTH)	8
1.32	0.44	حاويك (HAWK)	9
1.12	0.43	روس (ROOC)	10
1.19	0.515	سالة (SALA)	11
1.28	0.43	سفيان (SFYN)	12
1.32	0.45	وريدة (WRDH)	13
1.2	0.68	زلف (ZLF)	14
1.31	0.4	كسرة على (KSRT)	15
1.12	0.406	رياح (RBAH)	16
2.29	0.384	منخر (MNKR)	17
2.36	0.42	صلنفة (SLNF)	18
1.6	0.35	أرنب (ARNB)	19
2.2	0.5	بطرش (BTCH)	20
1.8	0.52	رأس المعرة (MARA)	21
2.08	0.45	بيضا (BIDA)	22
1.44	0.52	بربر (BRBR)	23
1.6	0.4	درويش (DRWC)	24



الشكل (8) منحنيات النسب الطيفية H/V الوسطية لبعض محطات الرصد المدروسة للضجيج الزلزالي وللتسجيلات السريعة والتسارعية

لمعرفة تأثير قدر الزلازل والبعد عن محطة التسجيل رسمت منحنيات فوربييه الوسطية وفقا لتغير القدر كما يظهر في الشكل_9. تظهر النتائج استجابات مختلفة للمحطات تبعا لاختلاف القدر (حيث تختلف استجابة الموقع للزلازل القوية عنها للزلازل الضعيفة مما يعطي قيم مختلفة لـ F_0 في كل مجال محدد للقدر) واحداثيات مركز حدوثه وللمسافة عن محطة التسجيل.



الشكل (9) منحنيات طيف سعة فورييه الوسطية وفرزها بحسب القدر

بعد تحديد كل من التضخيم ودور الاهتزاز المسيطر حدد صنف مواقع المحطات. تتوضع أغلب محطات الرصد المدروسة على مواقع من الصنف B وC، في حين تتوضع محطتي

ZALF و MNKR على الصنف D، وذلك بالاعتماد على الدور المسيطر المحسوب من طريقة HVSF وفق تصنيف (Zhao et al,2006).
 لرسم أطياف الاستجابة التصميمية، تمت الاستعانة بقيم التسارعات الأرضية العظمى PGA المحتملة على الطبقة الصخرية الصلبة خلال خمسين عاما مع احتمالية عدم تجاوز 90% الواردة في الكود العربي السوري 2012 (الموضحة في الجدول_3_3) ونتائج الدور المسيطر والتضخيم لهذه الدراسة.

الجدول (3) قيم التسارعات الأرضية لأهم البلدات والمدن القريبة من مواقع المحطات المدروسة مقدرة بـ Cm/Sec^2

المدينة أو البلدة	PGA	المدينة أو البلدة	PGA
دمشق	250	زلف	200
بيروت	250	السويداء	250
كسوة	250	القرينتين	200
طرطوس	250	القصير	300
مصياف	300-400	حمص	250
دير الزور	75	الرقعة	75
حمّاه	300	الحسكة	75
منبج	150	كسب	300-400
راجو	300-400	اللاذقية	300
حلب	250	ادلب	300-400
درعا	250		

وفقا للكود الهندسي السوري، يرسم طيف الاستجابة التصميمي بعد حساب عامل طيف الاستجابة التصميمي S_a للدور كما يأتي:

$$\begin{array}{lll}
 S_a = S_{DS}(0.4 + 0.6 * T/T_0) & T < T_0 & \dots\dots\dots(5) & S_{MS} = F_a * S_s & \dots\dots\dots(1) \\
 S_a = S_{DS} & T_0 \leq T \leq T_s & \dots\dots\dots(6) & S_{M1} = F_v * S_1 & \dots\dots\dots(2) \\
 S_a = S_{D1}/T & T_s < T \leq T_L & \dots\dots\dots(7) & S_{DS} = 2/3 * S_{MS} & \dots\dots\dots(3) \\
 S_a = T_L * S_{D1}/T^2 & T > T_L & \dots\dots\dots(8) & S_{D1} = 2/3 * S_{M1} & \dots\dots\dots(4)
 \end{array}$$

الأدوار المسيطرة لمنحني الاستجابة التصميمية حسبت وفق ما يأتي:

$$T_0 = 0.2 * S_{D1}/S_{DS} \qquad T_s = S_{D1}/S_{DS} \qquad T_L = 8 \text{sec}$$

حيث: S_{DS} التسارع الأعظمي المعتمد لطيف الاستجابة الزلزالي للدور القصير 0.2 ثانية، S_{D1} التسارع الأعظمي المعتمد لطيف الاستجابة الزلزالي للدور 1 ثانية.

S_{MS} ، S_{M1} : قيم التسارع التصميمي الأعظمية لدور الاهتزاز القصير 1 ثانية و 0.2 ثانية.

S_1 و S_s : قيمة التسارع التصميمي للدور القصير 0.2 ثانية و 1 ثانية للموقع التي تحدد من خرائط

التسارع التصميمي المعدة لسورية. T_L : دور الانتقال طويل الدور وتساوي 8 ثانية كما ورد في

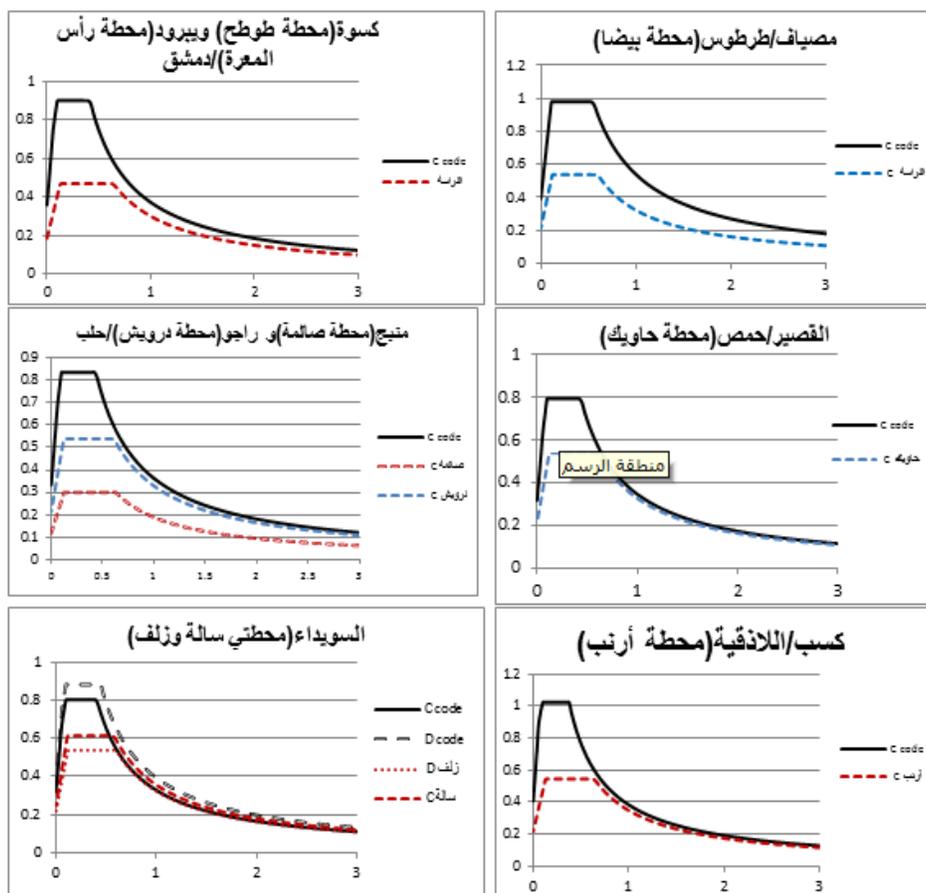
الكود العربي السوري 2012.

T_0 ، T_s : الأدوار الأساسية للبناء و F_a ، F_v : معاملات تضخيم الموقع.

في هذه الدراسة، حسب قيم S_s و S_1 بالاعتماد على قيمة PGA الابتدائية الواردة في الكود العربي السوري 2012 للمواقع المدروسة، وذلك بتطبيق المعادلات المفروضة التالية (NEHRP,1997):

$$S_s=PGA*2.5 \quad \text{و} \quad S_1=PGA*1.25$$

يمكن استخدام منحنيات الاستجابة التصميمية الناتجة من الدراسة لكل من مواقع المحطات بوصفها منحنيًا ممثلًا أوليًا للمدينة في حال وجود المحطة قريبة منها، ومقارنتها مع القيم الواردة في الكود المحددة من خرائط S_s و S_1 وذلك بعد تحديد معاملات تضخيم الموقع للأدوار المنخفضة والمتوسطة (F_a و F_v) التي تستخدم في منحنيات التصميم وكودات البناء الحديثة. يوضح الشكل 10_10 منحنيات الاستجابة التصميمية المستنتجة من الدراسة لـ 6 مدن رئيسية في سورية ومقارنتها مع المنحنيات الواردة في الكود العربي السوري 2012 لكل صنف موقع وفقا للقيم المستنتجة في الدراسة من المحطات المدروسة الواقعة بالقرب من كل مدينة.



الشكل (10) منحنيات الاستجابة التصميمية المستنتجة من الدراسة ومقارنتها مع المنحنيات الواردة في الكود العربي السوري 2012 لكل صنف موقع

5. الاستنتاجات:

تكمل هذه الدراسة توصيف مواقع محطات شبكة الرصد الوطنية؛ إذ تقدم إضافة للمعلومات الواردة في سجلات المحطات من الجيولوجيا والطبوغرافيا كل من الدور المسيطر والتضخيم وصنف الموقع لكل محطة كما توضح استجابة مواقع هذه المحطات للزلازل المدروسة القريبة والبعيدة وكذلك الضجيج الزلزالي.

في هذه الدراسة، تم تحليل 56 حدث مسجل بقدر أعلى من 3 في محطات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي (24 محطة) خلال السنوات: 2009 و2010 و2011 باستخدام برنامج التحليل Sesarray-Geopsy ومقارنتها مع نتائج تحليل الضجيج الزلزالي السابق لوصول الإشارة الحقيقية (طريقة ناكامورا)، وذلك باستخدام طريقة النسبة الطيفية للمركبتين الأفقيتين إلى الشاقولية (HVSr) وتحليل فورييه لحساب الدور المسيطر للتربة (T_0) والتضخيم (A_0).

وقد توافقت نتائج التحليلين في 10 محطات، في حين أعطت قيم مختلفة في الـ 14 محطة الباقية، وذلك بسبب اختلاف المحتوى الترددي من زلزال لآخر. وقد أظهرت النتائج أن التوافق يكون أكبر كلما كان الموقع ذا سماكة صخرية كبيرة وقيم تباين الممانعة عالية، وبالتالي فإنه لا يوجد تضخيم معتبر في الموقع والدور المسيطر يكون أصغرياً.

تم حساب ورسم المنحنيات الوسطية لطيف فورييه السعوي وكذلك للنسب الطيفية لكل محطة؛ إذ لوحظ الاختلاف بين المحطات. من نتائج هذه الدراسة نلاحظ تأثير الطبوغرافيا والجيولوجيا المحلية لمواقع المحطات على القيم المستنتجة لاسيما في محطتي MNKR وQASN.

تقدم هذه الدراسة منحنيات الاستجابة التصميمية لكل موقع محطة بناء على قيم التضخيم والدور المسيطر وبالاستعانة بقيم التسارع الصخري الواردة في الكود الهندسي للبناء. لاحقاً تمت المقارنة

بين كل من منحنيات الاستجابة التصميمية لكل موقع من المنحنيات النموذجية لـ B و C و D و الواردة في الكود الهندسي السوري 2012. من الضروري نشر العديد من المحطات في مواقع المدن، وذلك لزيادة المعرفة باستجابة المواقع للزلازل الحقيقية، وليس الاكتفاء بدراسة الضحيج الزلزالي. كما أنه من الأفضل استخدام المعلومات الجيولوجية والجيوتكنيكية المتاحة جميعها، وتطبيق الطرق العددية والتجريبية لتكمل بعضها بعضا في مشاريع التمنطق للمدن الهامة.

المراجع:

1. Ambraseys, N., & Jackson, J. (1998). Faluling associated with historical and recent earthquake in eastern mediterranean region. *Geophys.J.Int*(133), 390-406.
2. Anbazhagana, P., Srilakshmia, K., Bajaja, K., Moustafab, S., & Al-Arifib, N. (2019). Determination of seismic site classification of seismic recording stations in Himalayan region using HVSR method. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*(116), 304_316.
3. Barnaba, C., laurenzano, G., moratto, L., vuan, A., Romanelli, M., pesaresil, M., et al. (2013). *Site effects in the eastern po plain by mean of weak and strong earthquakes*. Project S2.
4. Belvaux, M., Macau, A., Figueras, S., Goula, X., & Susagna, T. (2015). Recorded ground motion and estimated soil amplification for the 11 may 2011 lorca earthquake. *Earthquake spectra*(31).
5. Brew, G., Sawaf, T., Al_Maleh, K., & Barazangi, M. (2001). Tectonic and geologic evaluation of syria. *GeoArabia*(6), 573_615.
6. Ghofrani, H., Goda, K., & Atkinson, G. (2011). Ground motions and site effects from the 2011, M9.0 Tohoku, Japan Earthquake.
7. Kinematics. (1994). *Site selection and field strength study for the syrian national seismic network*. report.
8. Konno, K., & Ohmachi, T. (1998). Ground motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. *Bull.Seism.Soc.Am*.
9. Laouami, N., Slimani, A., & Larbes, S. (2018). Ground motion prediction equations for Algeria and surrounding region using site classification based on H/V spectral ratios. *Bull Earthquake Eng*.
10. Layadi, K., Semmane, F., & Yelles-Chaouche, A. (2014). Study of site effects in the downtown of Chlef (formerly El-Asnam),Algeria. *Second European Conference on earthquake engineering and seismology*. Istanbul, Turkey.

11. Lekkas, E., Carydis, P., & Mavoroulis, S. (2020). The January 24,2020 Mw 6.8 Elazig (Turkey)Earthquake.
12. Lermo, J., & Chavez-Garcia, F. (1993). Site effect evaluation using spectral ratios with only one station. *Bull.Seism.Soc.Am*(83), 1574_1594.
13. McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Ergintav, S., Georgie, I., Gurkan, O., et al. (2000). Global positioning system constraints on plate kinematicsand dynamics in the eastern mediterranean and caucasus. *J.Geophys.Res*(105), 5695-5719.
14. mucciarelli, m., & Gallipoli, M. (2004). The HVSR technique from microtremor to strong motion: Empirical and Statistical consideration. *13th world conference on earthquake engineering*, (p. Paper No.45). Vancouver,B.C,Canada.
15. Nakamura, Y. (1989). *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*. Quarterly report, Railway Technical research institute .
16. NEHRP. (1997). *Guidlines for the seismic rehabilitation of buildings*. Building seismic safety council, Washington,D.C.
17. Pilz, M., Parolai, S., Leyton, F., Campos, J., & Zschau, J. (2009). A comparison of site response techniques using earthquake data and ambient seismic noise analysis in the large urban areas of Santiago de Chile. *Geophys.J.Int*(178), 713-728.
18. Ponikarov, e. (1964). *Geological map of syria*. Damascus,syria: The general establishment of geology and mineral resources.
19. Sbeinati, R., Darawcheh, R., & Mouty, M. (2005). The historical earthquakes of syria: an analysis of large and moderate earthquake from 1365 B.C to 1900 A.D. *Annals of Geophysics*(48).
20. Zhao, J., Irikura, K., & Zhang, J. (2006). An empirical site classification method foe strong motion stations in japan using H/V response ratio. *Bull Seism Soc Ame*(96), 914_925.
21. Zonno, G., & Montaldo, V. (2002). Analysis of strong ground motions to evalute regional attenuation relationships. *Annals of Geophysics*, 45(3/4).

22. الكود العربي السوري. (2012).
23. أحمد، رائد، زيزفون، سامر، خليل، أحلام. وحمود، عمار. (2013). دراسة قاعدة البيانات الزلزالية للفترة مابين 1365ق.م وحتى العام 2013م. تقرير داخلي، المركز الوطني للزلازل، دمشق.
24. خليل، أحلام. (2012). دراسة تأثير الجيولوجيا السطحية على التجاوب الأرضي بالاعتماد على تقنية ناكامورا: دراسة حالة الغوطة الشرقية. رسالة ماجستير، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، علم الزلازل.
25. يوسف، نظير. (2014). الخصائص الديناميكية لتربة التأسيس والتمنطق الزلزالي في مدينة الرقة. رسالة ماجستير، المعهد العالي للبحوث و الدراسات الزلزالية، علم الزلازل، دمشق.