

أهمية أطياف فورييه للطاقة لتسجيلات السرعة في تحديد الخصائص الزلزالية جنوب غرب سورية وتأثير البنيات الجيولوجية في تلك الخصائص

وسيم الدروبي* د. نضال جوني** د. رندا محمد**

الملخص

درست في هذا البحث الخصائص الزلزالية في جنوب غرب سورية عن طريق تحليل التسجيلات الزلزالية لهزات أرضية تقع مراكزها في البحر الميت جنوباً وامتداده شمالاً في البقاع اللبناني والسلسلة التدمرية شمالاً وشرقاً، ومسجلة في محطات الرصد العائدة للشبكة الوطنية لرصد الزلزال، حيث قمنا بتحليل الشكل العام للتسجيل الزلزالي، وحساب أطياف فورييه للطاقة لكل تسجيل زلزالي، ومن ثم تحديد الأدوار المسيطرة والتي تكون فيها الطاقة بقيمتها الأعظمية، بعد ذلك حُدِّثت الأطوار الموجية المسجلة فيها، وحُسِبَت سرعات وصولها الظاهرية، وذلك لمقارنتها مع نتائج تحليل الأطياف لتحديد المجالات التي حصل فيها تلاشي للطاقة، وقد خلصت النتائج إلى وجود تقارب كبير في مجالات الأدوار التي تكون فيها الطاقة بقيمتها العظمى للمصادر الزلزالية المحيطة بمنطقة الدراسة، إضافة إلى ظهور بعض الدلالات عن وجود أحواض رسوبية، إضافة إلى وجود حالات انقطاع متعددة في الأطوار الموجية المسجلة، وحُدِّثت الأدوار المسيطرة لكل مصدر، والسرعة الظاهرية للأطوار PN-PG-SN-SG، ورُبطت النتائج بالجيولوجيا تحت السطحية لمنطقة الدراسة.

الكلمات المفتاحية: الأطوار الموجية، أطياف فورييه، تلاشي الطاقة.

* طالب دراسات عليا لنيل درجة الماجستير، قسم علم لزلزل، جامعة دمشق.

** المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية - جامعة دمشق.

The importance of Fourier Power Spectra for Velocity Recordings in Determining the Seismic Properties of Southwestern Syria and the Effects of Geological Structures on those Properties

W.Al-Droubi* Dr. N.Jouni** Dr. R. Muhammad**

Abstract

In this research we have studied the seismic characteristics in southwest Syria by analyzing the seismic records of earthquakes whose centers are located in the Dead Sea in the south and its extension in the north in the Lebanese Bekaa and the Palmyra chain in the north and east, and recorded in the monitoring stations belonging to the National Earthquake Monitoring Network, we analyzed the general shape For seismic recording, calculate Fourier power spectra for each record Then we determined the dominant periods in which the power is at its maximum value, after that we determined the wave phases recorded, and calculated their observed velocities, and compare them with the results of the spectra analysis to determine the areas in which the power faded, and the results concluded that there is a big convergence in the areas of the periods In which the power is at its greatest value for the seismic sources surrounding the study area in addition to some indications of the presence of sedimentary basins, and the presence of multiple discontinuities in the recorded wave phases, and the dominant periods of each source were determined, the observed velocities of the phases PN-PG-SN-SG, and the results were linked Subsurface geology of the study area.

Key words: wave phases, Fourier spectra, Power dissipation.

* Postgraduate student for a master's degree- Damascus University.

** Thesis supervisors - Department of Seismology - Higher Institute for Seismic Research and Studies - Damascus University.

مقدمة:

تعدُّ الزلازل من المصادر الغنية وقليلة التكلفة للحصول على معلومات حول باطن الأرض، وذلك عن طريق معالجة البيانات الناتجة عن الزلازل في محطات الرصد، يهدف البحث إلى إبراز أهمية أطياف فورييه في التعرف إلى الخصائص الزلزالية للبنى الجيولوجية تحت السطحية في جنوب غرب سورية بوساطة تحليل التسجيلات الزلزالية وحساب أطياف الطاقة للهزات التي تقع مراكزها على المصدر الزلزالي في البحر الميت وامتداده في البقاع اللبناني والسلسلة التدمرية والمسجلة في محطات الشبكة الوطنية للرصد الزلزالي الواقعة في منطقة الدراسة، تكمن أهمية هذا البحث في تحديد الأدوار المسيطرة على أطياف فورييه للطاقة للمصادر الزلزالية المحيطة بمنطقة الدراسة للتسجيل الزلزالي ككل، ولأطياف فورييه للسرعة الظاهرية المحسوبة للأطوار الموجية، مما يسهم في تطوير الكود الزلزالي وإعداد دراسات الخطورة الزلزالية.

تعتمد الدراسة أسلوباً تطبيقياً تحليلياً عن طريق تحليل التسجيلات المتوفرة في المركز الوطني للزلازل وحساب أطياف فورييه للطاقة، وذلك باستخدام الكثير من البرامج، وأهمها: SEISAN، View Wave، GeoDas.

الدراسات السابقة:

تنوعت الدراسات التي تستخدم المعطيات الزلزالية من أجل الحصول على معلومات حول باطن الأرض و سلوك الأمواج فيها، حيث قام (john et al...) في عام 1984 بوضع نموذج لشكل طيف سعة فورييه للتسارعات عند الترددات العالية، حيث حُسِبَت أطياف التسارع للموجات العرضية للمكونات الأفقية للحركات الأرضية القوية عن طريق 98 موقعاً حول زلزال سان فرناندو 1971م، وبعد ذلك اختيرت نوافذ زمنية لتتضمن الوصولات المباشرة لتلك الأمواج، وتوصلت الدراسة إلى أن الشكل الطيفي عموماً غير حساس إلى حد ما إلى طول النافذة الزمنية طالما اختيرت بشكل منطقي، كما أن قيم أطياف فورييه لم تبدِ أي تغير ملحوظ أو ارتباط بطول النافذة الزمنية في المحطات التي تبعد 40كم عن المركز السطحي للزلزال، حُسِبَت أطياف الترددات 0-20

هرتز، جميع الزلازل المستخدمة في الدراسة أنتجت السلوك الطيفي نفسه عند الترددات العالية، الأمر الذي يقدم معلومات عن البنية الداخلية للأرض عن طريق تغيرات الأطياف بين موقع وآخر، وذلك عند ربطها بالمعطيات الجيولوجية المتوفرة، فيما توجه باحثون آخرون لدراسة أطياف الاستجابة الزلزالية، وذلك لهدف تصميم المباني وتوقع سلوك الموقع في أثناء تعرضه لطاقة زلزالية كما فعل (Dr.Jagdish et al, 2015) وقدموا وصفاً موسعاً حول طيف الاستجابة، حيث عدَّ الباحثون أن الموقع يمثل نظاماً يملك درجة حرية واحدة، ومن ثمَّ فإن طيف الاستجابة يصف الحد الأقصى لاستجابة هذا النظام وذلك من أجل عدة اهتزازات ضمن فترات طبيعية مختلفة، كما عدُّوا أن تحليل أطياف الاستجابة هو أمر مفيد، لأنه يأخذ بالحسبان تأثيرات الترددات المختلفة وتوفر إشارة أفقية مناسبة لدراسة تصميم الهياكل، مع الأخذ بالحسبان مجموعة العوامل المؤثرة في طيف الاستجابة، والمتمثلة بألية تحرر الطاقة، المسافة من المركز السطحي للزلزال، العمق البؤري، حالة التربة، قدر الزلزال، والتخميد في نظام التسجيل، كما أشار الباحثون إلى أن مهندسي الزلازل يفضلون استخدام أطياف الاستجابة؛ لأنها تسمح بفهم أفضل لتأثير الاهتزازات المختلفة، الأمر الذي أسقط على الدراسة الحالية عن طريق معرفة تأثيرات الإشارة الزلزالية في الموقع عبر أطياف الاستجابة، حديثاً قُدِّمَت دراسة مفصلة عن تخادم الأمواج الزلزالية في سورية والمناطق المجاورة لها، حيث قامت (محمد، 2012) بدراسة خصائص انتشار الأمواج الزلزالية الإقليمية والمحلية في سورية بواسطة المعطيات الزلزالية التي قدمت وصفاً دقيقاً لسلوك انتشار الأطوار الموجية، وذلك عن طريق تطبيق تقنية التيموغرافيا السيزمية الأولية والدقيقة ثنائية البعد، حيث دُرِسَ الطور الموجي LG، وحُدِّدَت أيضاً المسارات الجيدة والمسارات التي تمنع مرور الطاقة، كما أظهرت الدراسة بواسطة حساب سرعة الطور الموجي Pn توزيع نقاط عدم التجانس للسرعة، والتي أظهرت ترابطاً جيداً مع البنيات التكتونية الرئيسية المعروفة، كما حددت نطاقي سرعة أحدهما منخفض والآخر مرتفع، ومن ثمَّ قامت بربط تغيرات المعاملات الزلزالية بالوضع الجيولوجي والتكتوني في المنطقة، وقدمت فرضية جديدة بخصوص التصور الجيولوجي للطبقات تحت السطحية بواسطة تطبيق

تقنية التيموغرافيا السيزمية، حديثاً قام (الشلبي، 2020) بدراسة تأثير الموقع المحلي في خصائص الأمواج الزلزالية عن طريق تسجيلات التسارعات الأرضية المسجلة في حوض دمشق الرسوبي لهزات متعددة، وذلك من أجل تحديد الدور السائد لاستجابة التربة السطحية ومقدار التضخيم على سعة الحركة الأرضية عند هذا التردد، والذي كان له أهمية في دراسة احتمالية حدوث ظاهرة الطنين بين التربة والمباني عند حصول الاهتزاز، قدمت هذه الدراسة معلومات مهمة حول الدور السائد وعلاقته بجيولوجية تربة الموقع ونوعها، الأمر الذي يؤدي دوراً مهماً في تخميد الإشارة الزلزالية أو تضخيمها.

1- تحليل الأحداث الزلزالية:

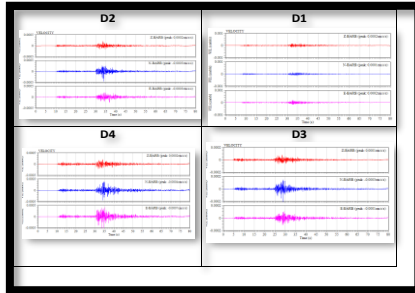
1-1 الأحداث المختارة ومواقعها: اختيرت عدة أحداث زلزالية تقع مراكزها السطحية المصادر الزلزالية المحيطة بمنطقة الدراسة.

الجدول (1) يوضح الأحداث المختارة للدراسة

الرمز	تاريخ الهزة	الوقت	المصدر	الإحداثيات	القدر	العمق كم
D1	2010-04-17	10:10	البحر الميت	31.79 35.734	2.4MI	20.9
D2	2011-09-15	01:35	البحر الميت	32.070 35.508	2.6MI	13.1
D3	2011-09-15	02:19	البحر الميت	32.065 35.510	2.2MI	17.3
D4	2011-09-17	20:01	البحر الميت	32.101 35.550	2.8MI	12
P1	2010/03/12	14:49	التدمرية	33.817 36.625	3.1ml	12.1
P2	2010/05/15	11:09	التدمرية	34.695 36.681	3.3ML	23.3
P3	2010/09/26	10:17	التدمرية	35.253 37.655	3.7ML	21.6
B1	2010/08/28	09:51	سهل البقاع	33.756 35.740	2ML	6.1
B2	2010/08/30	10:23	سهل البقاع	33.633 35.950	2ML	7.9
B3	2010/11/10	10:56	سهل البقاع	33.751 35.723	2.1ML	6.2
B4	2010/11/27	11:36	سهل البقاع	33.748 35.798	2.2ML	19.2

اختيرت الأحداث بين عامي 2009-2011 لعدم وجود تسجيلات رقمية كاملة على الشبكة السورية إلا في هذين العامين، واختيرت الأحداث بناءً على شرط تسجيلها ضمن محطات منطقة الدراسة.

1-2 مقارنة الشكل العام للتسجيل الزلزالي:

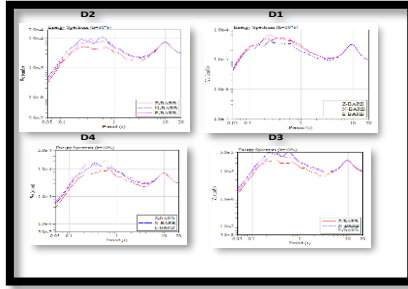


الشكل (1) يوضح الشكل العام للتسجيل الزلزالي للأحداث D1-D2-D3-D4 والمسجلة في محطة بربير (View Wave)

أُجريت مقارنة بين الشكل العام للتسجيل الزلزالي لكل حدث من الأحداث كما يوضح الشكل (1)، يلاحظ تشابه كبير بالشكل العام للتسجيلات الزلزالية للأحداث المدروسة، أوقات وصول الأطوار الموجية متقاربة جداً بين الأحداث D2-D3-D4 كونها تقع قريبة من بعضها بعضاً على الرغم من تفاوت أعماقها، ويكون هناك تأخر في وصول الأطوار الموجية في الحدث D1 والسبب هو بعده عن محطات التسجيل أكثر من الأحداث السابقة.

3-1 تحليل أطياف الطاقة للمحاور الثلاثة (Z-N-E):

حُسبت أطياف الطاقة لكل حدث من الأحداث، لكل محطة من المحطات، وأظهرت، كما في الشكل (2) الذي يوضح أطياف الطاقة لمجموعة من الأحداث في محطة بربز، الأطياف متشابهة من ناحية الشكل العام وتتنحصر قيم الطاقة العليا ضمن مجال الدور 0.2-0.8 ثا، تلاحظ قمة مرتفعة عند الدور 10 ثا مع تساوي في قيم الطاقة في جميع المحطات عند الدور نفسه، كُرِّرَ النموذج السابق على جميع المحطات لجميع الأحداث، وجمعت نتائج تحليل الأطياف للبحر الميت والسلسلة التدمرية في الجداول 2 و 3 والتي توضح الأدوار المسيطرة، قمة عند الدور 10 ثا، وحالة التجانس على المحاور عن طريق تطابق قيم الطاقة.



الشكل (2) يوضح أطياف الطاقة لأحداث البحر الميت في محطة بربز

الجدول(2) نتائج تحليل أطياف الطاقة لأحداث البحر الميت

المحطة	الحدث	مجال أدوار القيم العليا للطاقة ثا	التجانس على المحاور (مجال الدور)
BARB	D1	0.1-0.7	Z- E ضمن المجال 10-0.8 ثا
	D2	0.2-0.8	E-N كافة الأدوار
	D3		
	D4		
QASN	D1	0.8-0.1	E-N كافة الأدوار
	D2	0.8-0.2	N-E كافة الأدوار
	D3	0.8-0.2	
	D4	0.8-0.3	
SALA	D1	0.25-0.6	Z-E كافة الأدوار
	D2	0.2-0.8	N-E كافة الأدوار
	D3	0.8-0.2	كل المحاور ضمن المجال 0.1-0.05
	D4	0.8-0.2	كل المحاور ضمن المجال 0.1-0.05
TCHB	D1	0.8-0.1	N-E ضمن مجال الطاقة الأعلى
	D2	0.8-0.1	Z-N في كافة الأدوار
	D3	0.7-0.1	
	D4	0.7-0.2	Z-E في كافة الأدوار
TOTB	D1	1-0.15	كل المحاور خارج المجال الطاقة الأعلى
	D2	1-0.2	
	D3	1-0.15	
	D4	1.1-0.2	

الجدول(3) نتائج تحليل أطياف الطاقة لأحداث السلسلة التدمرية

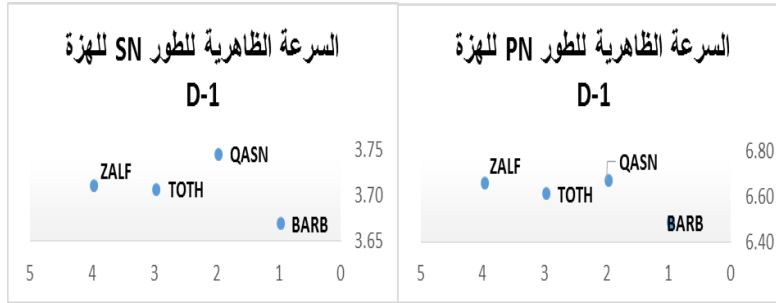
المحطة	الحدث	مجال أدوار القيم العليا للطاقة تا	حالة التجانس على المحاور	ملاحظات
BARB	P1	0.2-0.8	Z-N-E	ضمن المجال 0.2-0.05 تا
	P2	0.2-1	Z-N كافة الأدوار	
	P3		Z-E كافة الأدوار	
QASN	P1	0.2-0.8	Z-N كافة الأدوار	تلاشي للطاقة بدءا من 1 تا
	P2		-	تلاشي للطاقة بدءا من 8 تا
	P3		N-E كافة الأدوار	
SALA	P1	0.2-0.6	Z-E كافة الأدوار	تلاشي للطاقة بعد 1 تا
	P2	0.2-0.8	N-E كافة الأدوار	
	P3		Z-N كافة الأدوار	
TCHB	P1	0.15-0.7	N-E كافة الأدوار	قمة خفيفة على المحور Z
	P2	0.2-1	Z-E كافة الأدوار	قمة 10 تا، جميع المحاور
	P3		N-E كافة الأدوار	
TOTH	P1-P2-P3	0.15-2	كافة المحاور بعد 2 تا	قمة ال 10 تا في P2-P3
ZALF	P1-P2-P3	0.2-2	كافة المحاور بعد 2 تا	تظهر قمة ال 10 تا فقط في P2-P3

1-4 الأطوار الموجية المسجلة وسرعات وصولها الظاهرية:

بوساطة برنامج Siesan حُصِلَ على بيانات الأطوار الموجية المسجلة وتم عن طريقها حساب السرعات الظاهرية لها.

الجدول (4) الأطوار الموجية المسجلة وسرعات وصولها الظاهرية للحدث D1

P/S	سرعة S Km/s	زمن الوصول ثًا	الطور	سرعة P Km/s	زمن الوصول ثًا	الطور	البعد عن الحدث Km	المحطات
1.77	3.67	49.33	SN	6.49	27.91	PN	181	BARB
1.78	3.75	53.39	SN	6.67	29.98	PN	200	QASN
1.80	3.52	39.45	SG	6.35	21.89	PG	139	SALA
1.80	3.43	29.18	SG	6.16	16.24	PG	100	TCHB
1.78	3.71	50.17	SN	6.61	28.13	PN	186	TOTH
1.79	3.71	52.82	SN	6.66	29.44	PN	196	ZALF



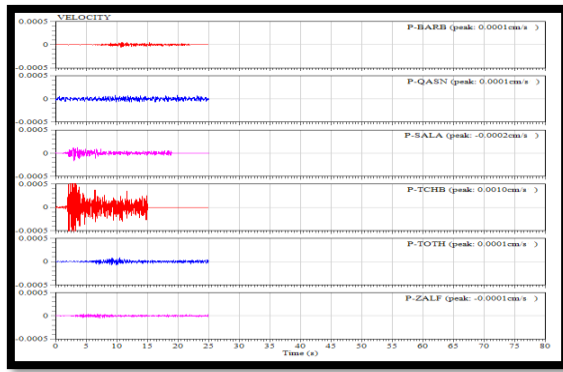
الشكل (3) مخطط بياني يوضح تفاوت السرعات الظاهرية للأطوار

الموجية PN-SN المسجلة للحدث D1

1-5 الموجة P وأطيافها:

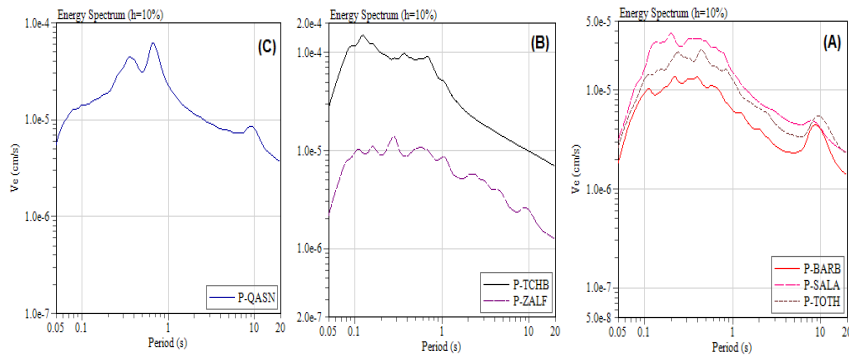
عن طريق العمل على برنامج View Wave حُدِّدَ الوصول الأولي للموجة P، ثم جُمِعَت أشكال التسجيل الزلزالي للموجة P المسجلة على جميع المحطات لكل حدث ضمن شكل واحد لسهولة المقارنة بينها من ناحية الشكل العام.

1-5-1 الشكل العام للوصول الأولي للموجة P للحدث D1:



الشكل (4) الوصول الأولي للموجة P للحدث D1.

1-5-2 أطياف الموجة P:



الشكل (5) أطياف الطاقة للموجة P في الحدث D1 مفروزة حسب التشابه بينها إلى A-B-C

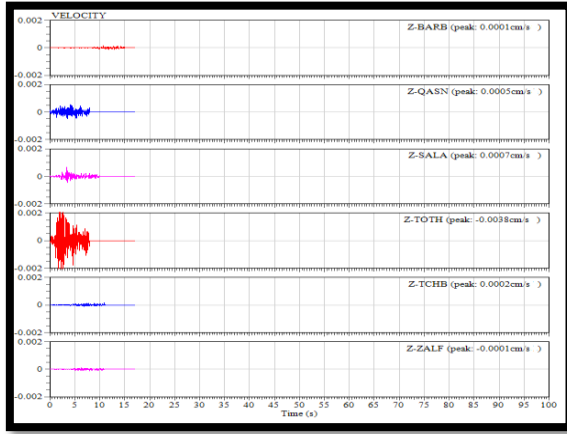
من أجل الوصولات الأولية التي حُدِّت في الشكل (4) حُسِبَت أطياف الطاقة للوصولات الأولية للموجة P وأُظهِرَت، وذلك من أجل مقارنة وتحديد مجالات الأدوار التي تنحصر ضمنها الطاقة.

-في الشكل A الأطياف تعود لمحطات بربر وسالة وطوطح، وهي متشابهة بشكل كبير من ناحية الشكل العام وقيم الارتباط المتبادل، وتقع القيم العليا للطاقة ضمن مجال الدور 0.2-0.8 ثا، والأكثر تميزاً في الشكل هو وجود قمة متأخرة عند الدور 10 ثا لجميع المحطات.

-في الشكل B الأطياف تعود لمحطتي تل شهاب وزلف، يلاحظ ارتفاع كبير لقيم محطة تل شهاب مع وجود تلاشي للطاقة بدءاً من الدور 1 ثا وتتنحصر القيم العليا للطاقة ضمن مجال الدور 0.1-0.8 ثا، على عكس محطة زلف التي تنتزع فيها الطاقة على مجال طويل من الأدوار، وتظهر فيها قمة متأخرة خفيفة عند الدور 10 ثا. -في الشكل C الطيف يعود إلى محطة قاسيون وهو الشكل الأكثر اختلافاً عن باقي الأطياف، ويمتاز بثلاث قمم، الأولى والثانية ضمن المجال 0.2-0.8 ثا، وقمة متأخرة عند الدور 10 ثا.

1-6 الموجة S وأطيافها:

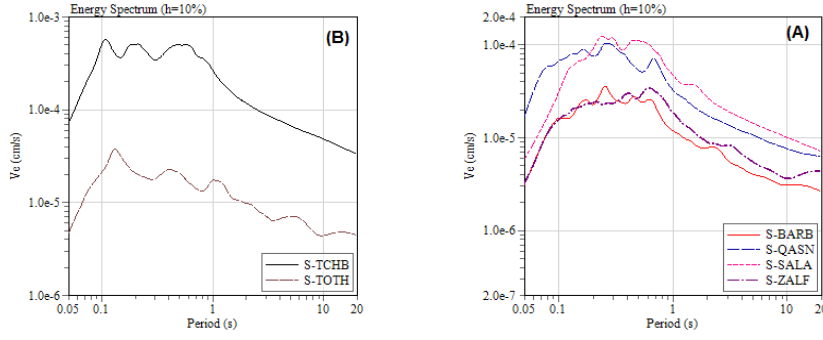
1-6-1 الشكل العام للوصول الأولي للموجة S من الحدث D1:



الشكل (6) الوصولات الأولية للموجة S للحدث D1 في جميع المحطات

من الشكل يكون الوصول الحاد للموجة S ظاهراً في تل شهاب وبشكل أقل في قاسيون وسالة، بينما يكون الوصول هادئاً في باقي المحطات وتسجل أعلى قيمة في محطة تل شهاب، تليها محطة سالة ثم قاسيون.

1-6-2 أطياف الطاقة للموجة S من الحدث D1:



الشكل (7) أطياف طاقة الموجة S المفروزة حسب تشابهها إلى A-B

في الشكل (7)، الشكل (A) يمثل أطياف بربر، قاسيون، سالة وزلف، تنحصر القيم العليا ضمن مجال الدور 0.2-0.8 ثا، يلاحظ تشتت للطاقة في محطة سالة بدءاً من الدور 1.5 ثا، وتشتت للطاقة في محطة قاسيون بدءاً من الدور 0.8 ثا، كما يلاحظ في كل من زلف وبربر قمة خارج مجال الأذوار المسيطرة عند الدورين 2 و3 على التوالي، الشكل (B) يمثل أطياف محطتي تل شهاب وطوطح، وتكون القيم العليا تنحصر ضمن مجال الدور 0.1-0.8 ثا، بعد هذا الدور تنخفض وترتفع قيم محطة طوطح بينما يحصل تلاشي للطاقة في محطة تل شهاب.

2_ مناقشة النتائج:

❖ الشكل العام للتسجيلات الزلزالية:

-في محطة قاسيون يحتوي التسجيل على ضجيج مرتفع ، إضافة إلى وصول الأطوار الموجية بشكل حاد، وتسجيل قيم مرتفعة على جميع المحاور ، والسبب وراء ذلك هو الطبيعية الرسوبية اللحية في حوض دمشق ، إضافة إلى طوبوغرافية منطقة المحطة من حيث الارتفاع وتنوع الطبقات الرسوبية ضمنها حسب التوصيف العام للمسار وموقع المحطة، إضافة لقربها من مدينة دمشق مما يسبب مزيداً من الضجيج الصناعي.

-في محطة سالة تكون الإشارة واضحة وأقل ضجيجاً، يعزى ذلك إلى طبيعة موقع المحطة من التشكيلات البازلتية العادية.

❖ أطياف الطاقة Power Spectrum:

▪ أحداث البحر الميت:

-في معظم المحطات تنحصر القيم العليا للطاقة ضمن مجال الدور 0.2-0.8 ثا، والأمر الأكثر تمييزاً هو وجود قمة عند الدور 10 ثا، حيث تتطابق قيم الطاقة على جميع المحاور، وذلك يدل على تجانس كبير في الحركة على المحاور الثلاثة، وهذا يدعم فرضية أن هذه القمة ناتجة عن تردد الطنين، وهي الحالة التي يتساوى فيها دور الطاقة مع الدور الطبيعي في منطقة المحطة.

-في محطة تل شهاب يختلف الأمر قليلاً، حيث تظهر قمة عند الدور 10 ثا في الحدين D2-D3 على المحاور الثلاثة مع تطابق بقيم الطاقة على المحورين Z-N وقيم أقل على المحور E، وفي الحدث D4 تظهر قمة عند الدور 10 ثا مع تطابق القيم على المحورين N-E وقيم أقل على المحور Z، وفي الحدث D1 في هذه المحطة يحصل تلاشي للطاقة بعد الدور 1 ثا، وهذا يدل على وجود خزان مائي جوفي أو صهارة بركانية نشطة، وذلك تبعاً للتوصيف الجيولوجي لمنطقة المحطة.

• أحداث السلسلة التدمرية:

-في الحدث P1 لا تظهر أي قمة شاذة على الأطياف، أما في P2 فإنها تبدأ القمة الشاذة بالظهور بدءاً من محطة TOTH، وتصبح حادة أكثر بالاتجاه نحو الجنوب والجنوب الغربي مع تساوي بالقيم على المحاور الثلاثة، مما يدل على حصول قمة طنين عند الدور 10 ثا، ومن ثم وجود أحواض رسوبية في المنطقة.

- يحصل تلاشٍ للطاقة في محطة QASN بدءاً من الدور 1 ثا وبخاصة في الحدين P1-P2، وبحسب جهة ورود الأحداث يعود الانقطاع لوجود توضعات كبيرة من الغاز الطبيعي شمال وشمال شرق دمشق، إضافة إلى غنى التشكيلات الرسوبية بالمياه الجوفية.

-في الحدث P3 تظهر قمة خفيفة على المحور Z لكنها تصبح واضحة وذات قيم أكبر على باقي المحطات عند الدور 10ثا في جميع المحاور مع تساوي بقيم الطاقة مما يدل على حصول قمة طنين عند الدور المذكور .

▪ أحداث البقاع:

-في محطة بربر تنحصر القيم العليا للطاقة ضمن مجال الدور 0.2-0.8 ثا، خارج هذا الدور تتلاشى الطاقة، وتظهر قمة عند الدور 10 ثا على جميع المحاور في الهزتين B1-B2، وتكون ذات قيمة أكبر على المحور Z، أما في محطة قاسيون، فإنها تظهر القمة بشكل أوضح وأكبر في الهزات B1-B3-B4، ويلاحظ تجانس كبير في الحركة على المحورين N-Z، فيما تنحصر الطاقة أيضاً ضمن مجال الدور 0.2-0.8 ثا، أما في سالة وتل شهاب، فإنها تظهر قمة على الأحداث الأربعة عند الدور 10ثا ومع أن مجال الطاقة ينحصر ضمن المجال 0.2-0.8 ثا، إلا أن قيمتها تكون مرتفعة ويرافقها تجانس كبير بالحركة على المحاور الثلاثة، مما يشير هنا إلى حصول تردد الطنين، الذي غالباً ما ينشأ بسبب مرور الإشارة بأحواض رسوبية مغلقة، يلاحظ بشكل عام تسجيل قمة شاذة عند الدور 10 ثا، وذلك في معظم المحطات، حيث يتمثل هذا الدور بسعة مرتفعة عند الدور 10ثا تتوافق بتجانس للحركة على المحاور الثلاثة (وذلك واضح من الشكل ومن القيم المسجلة)، ويذكر أن تردد الطنين يحصل عندما يتوافق الدور الطبيعي للأرض أو البناء مع الدور الطبيعي للهزة.

❖ الأطوار الموجية المسجلة:

• في أحداث البحر الميت:

-تنخفض السرعة الظاهرية للأطوار الموجية المسجلة في محطتي سالة وتل شهاب سواء كان الطور المسجل هو PN-SN OR PG-SG، يشير انخفاض سرعة الموجة S إلى وجود أوساط لدنة، فيما يخص الطور الموجي PN تشير السرعات العالية لهذه الأمواج إلى استقرارية في المعطف وتجانس في الخواص ضمن الأوساط التي تقع فيها مسارات هذه الأمواج على عكس السرعات المنخفضة والتي يمكن أن تشير إلى عدم استقرارية في المعطف وإلى احتمال وجود اندفاعات للمواد

من المعطف، وتمتاز بحرارة عالية تؤدي إلى اختلاف الخواص الفيزيائية وبخاصة عند حدود الصفائح، حيث تؤدي إلى انخفاض السرعة على عكس المناطق القديمة التي بردت كالتطبيقات أسفل القارات" (محمد، 2012) ص 91.

• في أحداث السلسلة التدمرية:

تكون السرعات المحسوبة للطور الموجي PN مرتفعة وتتراوح بين 6.40 كم/ثا في BARB و6.60 كم/ثا في ZALF ويبلغ الوسطي العام 6.5 كم/ثا، كما لوحظ أيضاً بأن السرعات الظاهرية المحسوبة للطور Sn أيضاً مرتفعة عن سابقتها ويبلغ الوسطي العام 3.77 كم / ثا، وتتنخفض سرعة الطور الموجي Pg بشكل ملحوظ في المحطات الثلاث المسجل بها (-BARB QASN-TOTH)، وتبلغ وسطياً 5.65 كم / ثا أما سرعة الطور الموجي Sg فإنها تبلغ وسطياً 3.34 كم / ثا بشكل متقارب فيما بينها.

• في أحداث سهل البقاع اللبناني:

-في الهزة B1 تنخفض السرعة الظاهرية للأطوار الموجية المسجلة في محطتي قاسيون وبربر بشكل كبير وملحوظ، وفي الهزة B2 تنخفض سرعة PG بشكل كبير في طوطح، فيما يحصل انخفاض حاداً بسرعة SG في قاسيون وبربر، حيث تصبح النسبة $P/S \geq 2$ ، وهو ما يعني حصول انقطاع كبير في الموجة S في النطاق المحصور بين قاسيون وإلى الغرب حتى سلسلة جبال لبنان الشرقية، تبعاً لجيولوجية المنطقة يفسر الأمر على وجود شقوق وكسور خازنة للمياه حيث إن تشكيلات الكريتاسي الموجودة تكون خازنة بشكل جيد للمياه، (Charideh et al 2016A-AL)، في الهزة B3 يلاحظ انخفاض كبير في سرعة الطور PN في تل شهاب، وانخفاض كبير في سرعة SN وتصبح $P/S=2$ مما يدل على وجود انقطاع كبير للموجة S، في الهزة B4 يلاحظ انخفاض في سرعة الطور PG في قاسيون، وفي بربر تنخفض السرعة الظاهرية للطور SG إلى 2.99 كم/ثا، مع وصول النسبة P/S إلى 2.06، مما يشير أيضاً إلى حصول انقطاع كبير.

أطياف الموجة P:

• في أحداث البحر الميت:

في الحدث D1 تظهر قمة شاذة لجميع المحطات عند الدور 10 ثا، باستثناء محطة تل شهاب والتي يحصل فيها تلاشٍ للطاقة، والذي يمكن أن يعود سببه إلى وجود حرارة عالية، ربما أدت إلى ذلك ينابيع حارة أو اندفاعات بركانية حديثة، تنحصر قيم الطاقة ضمن مجال الدور $0.2-0.8$ ثا وتظهر قمة عند الدور 10 ثا، وتكون قيم محطتي سالة وتل شهاب منخفضة عموماً، ويمكن أن يعود السبب إلى وجود عوامل حرارية أدت لذلك.

• في أحداث السلسلة التدمرية: تتشابه الأطياف عموماً فيما بينها من ناحية الشكل العام، والأدوار المسيطرة ضمن المجال $0.1-1.1$ ثا لجميع أحداث التدمرية مع عدم وجود حالات شاذة فيها.

• في أحداث سهل البقاع: في B1 تتوزع الطاقة على مجالات أدوار متنوعة وتنحصر القيم العليا للطاقة ضمن مجال الدور $0.15-0.8$ ثا، مع تسجيل قمم متتالية عند الدورين 8-9 ثا، و من ثمّ الطاقة الزلزالية تمر ضمن أوساط مختلفة متعددة، أما في B2 فإنها تنحصر القيم العليا للطاقة ضمن مجال الدور $0.1-0.6$ ثا، وفي B3 يلاحظ تجانس كبير وتطابق بالقيم في بربر وقاسيون مع ظهور قمة خارج مجال الأدوار المسيطرة عند الدور 5-6 ثا، في تل شهاب تنحصر القيم العليا بعد الدور 0.8 ثا بشكل متعرج، وكأنّ الطاقة يحصل لها نوع من التذبذب بين ارتفاع وهبوط والذي يدل على حصول عدة انعكاسات وانكسارات للطاقة ضمن هذا المجال، وفي B4 تنحصر القيم العليا ضمن مجال الدور $0.2-0.7$ ثا ويلاحظ تلاشٍ عام للطاقة في بربر، طوطح، قاسيون وظهور قمة في سالة عند 2 ثا.

❖ أطياف الموجة S:

• أحداث البحر الميت:

في الحدث D1 يحصل تلاشٍ واضح للطاقة في محطة سالمة بدءاً من الدور 1.5 ثا، وبحسب جيولوجية موقع المحطة فهي بأغلبها عبارة عن توضعات بازلتية تحوي ظواهر مميزة من ناحية تواجد جروف بازلتية وبتوات صخرية وطبيعة وعرة جداً ، إضافة إلى وجود عدد كبير من البراكين

" الخامدة " ضمن المسار إلى المحطة التي تقع ضمن طبيعة جبلية غنية بالوديان والمياه بسبب كثرة الأمطار فيها، و بما أن الموجة S تعبر جميع الأوساط باستثناء الأوساط اللدنة أو السائلة (Stein,2003)، و من ثمّ هنا يوجد وسط سائل أو لدن يمنع مرور الإشارة، قد يكون بحيرة أو خزاناً جوفياً كبيراً أو مياه حارة عميقة أو مفرزات بركانية لدنة، في محطة تل شهاب ضمن الحدث D1 يحصل تلاشٍ للطاقة بدءاً من الدور 0.9 ثا، ومن المعروف عن منطقة تل شهاب أنها تحوي الكثير من الأودية الكبيرة والغنية بالمياه والينابيع والأنهار والسدود المائية، وجميعها أسباب لتلاشي الطاقة للموجة S، أما في الأحداث D1-D2-D3-D4 فيحصل تلاشٍ للطاقة في محطة قاسيون بدءاً من الدور اثا و سطياً، وهي تتوضع على ارتفاع 145م عن سطح البحر ضمن بيئة رسوبية يميزها توضعات السينومانيان تورونيان، أسفل جبل قاسيون يكون عبارة عن سهل فيضي ناتج عن نهر بردى، إضافة إلى غنى المنطقة الكبير بالينابيع والمياه الجوفية، والتوضعات اللحقية، ومن ثمّ يكون سبب الانقطاع أو التلاشي هنا هو وجود طبقات خازنة للمياه بشكل كبير نسبياً إلى الجنوب والجنوب الغربي من المحطة، تبعاً لجهة ورود الأحداث.

• أحداث السلسلة التدمرية:

في الحدث P1 تتشابه أطياف محطات بربر وقاسيون وطوطح من حيث الشكل العام، وتتحصر القيم العليا للطاقة ضمن المجال 0.2-0.7 ثا، في قاسيون يحصل تلاشٍ للطاقة بدءاً من الدور 1.5 ثا بينما تسجل باقي المحطات قيماً منخفضة متفاوتة الأذوار، وفي الحدث P2 يتشابه الشكل

العام لمحطات بربر وقاسيون وطوطح، تتحصر القيم العليا للطاقة ضمن مجال الدور 0.15-1، مع تقارب كبير بقيم محطات بربر وطوطح، ويتشابه الشكل العام لمحطات سالة وتل شهاب وزلف، ويحصل تطابق بالقيم لجميع المحطات ضمن مجال الدور 0.05-2، لتتخفف القيم لاحقاً بقيم منخفضة متفاوتة الأدوار، أما في الحدث P3 فإنها تتشابه أطياف محطات بربر وقاسيون وطوطح، وتتحصر القيم العليا ضمن مجال الدور 0.2-1.5، يلاحظ تلاشٍ للطاقة في محطة قاسيون بدءاً من الدور 1.5، وبربر بدءاً من الدور 1.2، تتشابه أطياف محطات سالة وتل شهاب وزلف من حيث الشكل العام، تتحصر القيم العليا للطاقة ضمن مجال الدور 0.2-0.7، يحصل تطابق بالقيم في محطتي سالة وتل شهاب ضمن مجال الدور 0.05-2 مع ملاحظة حصول تلاشٍ للطاقة بدءاً من الدور 1.2.

3-النتائج:

- 1- تظهر القمة الشاذة في معظم أطياف الطاقة لتسجيلات الهزات الأرضية الواقعة في الجنوب (هزات البحر الميت) والهزات الأرضية الواقعة في الغرب من منطقة الدراسة (هزات البقاع)، بينما تظهر بشكل أقل في الهزات الأرضية الأبعد مسافة في الشمال والشمال الشرقي (هزات السلسلة التدمرية). والذي يمكن أن نعزیه لوجود حوض رسوبي.
- 2- تكون حالات الانقطاع قليلة وغير ظاهرة على سرعة الأطوار الموجية في هزات السلسلة التدمرية على عكس هزات البحر الميت وهزات البقاع، ومن ثمّ يمكن القول هنا إنه لدينا مرور كبير للطاقة باستثناء حالات التلاشي الظاهرة على أطياف الموجة S في محطة قاسيون من جهة شمال وشمال شرق المحطة، وهذه المنطقة عموماً غنية بالمياه الجوفية من جهة وبالتوضعات النفطية (الغاز) من جهة أخرى في مناطق القلمون الشرقي.
- 3- تحصل انقطاعات كبيرة في أطياف الطاقة للموجة S والموجة P في المنطقة بين دمشق وسلسلة جبال لبنان الشرقية والذي يمكن أن يعزى إلى وجود طبقات خازنة للمياه ضمن تشكيلات الكريتاسي المنتشرة فيها، إضافة إلى احتمال وجود كسور كبيرة وصدوع تؤدي لهذه الانقطاعات.

4- تؤثر البنيات الجيولوجية وبخاصة الأحواض الرسوبية المغلقة في مرور الموجات الزلزالية بكامل طاقتها، وأحياناً تؤدي الى حصول ترددات الطنين كما هو الحال في حوض دمشق الرسوبي، مما يعني تأثير أكبر للطاقة الزلزالية في منطقة مكتظة بالسكان والمنشآت الحساسة.

5- بناءً على ما سبق من الممكن عدّ أن الأحداث القادمة من الشمال والشمال الشرقي لمنطقة الدراسة يحصل فيها مرور أكبر للطاقة من الأحداث القادمة من الجنوب والغرب، ومن ثمّ تكون محسوسة بشكل أكبر، ولذا فهي أخطر.

قائمة المراجع الأجنبية:

1. Bayrak, Nergis, 2008 ,Fault slip velocities inferred from the spectra of ground motion, A thesis submitted of Master of Science, Iowa State University.
2. Best, J.A., Barazangi, M., Al-Saad,D., Sawaf, T., and Gebran, A. (1993). Continental Margin Evolution of the North Arabian Platform in Syria. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v.77,no.2, p.173-193.
3. Brew, G. Barazangi, M. Al-Maleh, Khaled. Al-Imam,A. and Zaza,T.(2001).., Tectonic and geologic Evolution of Syria. GeoArabia vol.6, No,4. P, 573. Gulf Petrolink, Bahrain.
4. Brew, G., J. Lupa, M. Barazangi, T. Sawaf, A. Al-Imam and T. Zaza 2001. Structure and tectonic development of the Dead Sea Fault System and Ghab Basin in Syria. Journal of the Geological Society, London, v. 158, p. 665–674.
5. Dubertret, L. (1970). Review of the structural geology of the red sea and surrounding areas, Royal Society of London philosophical transaction, Series A 267, p: 9-20.
6. G,John Anderson and e. Hough,Susan, (1984) A model for the shape of the Fourier amplitude spectrum of acceleration at high frequencies, , Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 74, No. 5, pp. 1969-1993,:
7. Graizer V and kalkan E.(2009)Prediction of Response Spectral Acceleration Ordinates based on PGA Attenuation,Earthquake Spectra.vol25,No1,2009,pp.36-69
8. Hempton, Mark.(1985). Structure and deformation history of the Bitlis suture near Lake Hazar, southeastern Turkey. GSA Bulletin.vol,96. No,2,pp,233-243.
9. Jagadish, Dr, Kori , G Seismic response spectrum, sginstitute.in , 16/12/2015, http://www.sginstitute.in/activities/Civil/Day_6_1.pdf.
10. Stein, Seth. and Wyssession,Michael.(2003). an introduction to seismology, earthquakes , andearth structure, UK , BlackWell, P: 498.

قائمة المراجع العربية:

- 1- الخارطة الجيولوجية 1/1000000 لسورية، المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية.
- 2- الخارطة التكتونية 1/200000 لسورية، المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية.
- 3- الخارطة الجيولوجية لرقعة دمشق بيروت 1/200000 والمذكرة الإيضاحية لها، المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية.
- 4- الشلبي عبد المطلب، 2020، دراسة التأثير الديناميكي للتسارعات الأرضية المنمذجة في مدينة دمشق على الأبنية البيتونية المسلحة دراسة حالة تحليل ديناميكي لمبنى وزارة النفط في العدوي، أطروحة دكتوراه، قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق، دمشق سورية، ص: 163.
- 5- محمد، رنده. (2012). تخامد الأمواج الزلزالية المحلية والإقليمية في سورية والمناطق المجاورة. أطروحة دكتوراه، قسم علم الزلازل، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية، جامعة دمشق، دمشق سورية، ص: 186.
- 6- المركز الوطني للزلازل، السجلات الزلزالية والنشرات الدورية للشبكة الوطنية السورية للرصد الزلزالي من عام 2009 إلى عام 2011.
- 7- المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية، الخارطة الجيولوجية لجنوب غرب سورية (رقعة دمشق بيروت) بمقياس 1:1000000.
- 8- المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية، المذكرة الإيضاحية لرقعة دمشق بيروت والخارطة الجيولوجية لها بمقياس 1:1000000.
- 9- المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية، خارطة الوحدات البنيوية الرئيسية في سورية، بمقياس 1/1000000.