

دور الإحصاء التطبيقي في الدراسات الزلزالية

الباحث: د.سامر زيزفون (المركز الوطني للزلازل) + محمد جهاد العيسى + أحمد منير محمد

ملخص:

يلعب علم الإحصاء الرياضي دورا كبيرا في الدراسات الزلزالية حيث بالاعتماد على مبادئ و فرضيات هذا العلم يتم بناء الكاتالوغ الزلزالي وحساب قدر الإكتمال كما يتم دراسة الزلزالية المتحرضة الناشئة عن استثمار السدود و المكامن النفطية والغازية وكذلك عن الضربات الجوية و التفجيرات . أهمية البحث والهدف منه هو دراسة تطور النشاط الزلزالي في منطقة اللاذقية 1995 - 2011 حيث أن فكرة دراسة تطور النشاط الزلزالي تقوم على دراسة المعطيات الزلزالية من زلازل تاريخية وآلية وحديثة والتي تعطينا فكرة عن الخلفية الزلزالية للمنطقة المدروسة بالإضافة إلى نظام الصدوع الموجود حول السدود و دراسة تغير النشاط الزلزالي مع الزمن لمعرفة هل هناك زيادة في نسبة النشاط الزلزالي وتغير النشاط الزلزالي مع العمق حيث نستطيع تحديد الأعماق المولدة للهزات و قدر الهزات و استخدام التقنيات الإحصائية كعلاقة غوتنبرغ - ريختر وذلك لحساب تغير العامل b مع الزمن حيث إننا من خلال هذه العلاقة نتمكن من اخذ فكرة عن الإجهادات التي تخضع لها منطقة الدراسة وتحديد احتمالية حدوث زلزال مولد في المنطقة المدروسة والقدر المحتمل لذلك الزلزال.

أن دراسة النشاط الزلزالي المتحرض في منطقة سد تتطلب دراسة عاملين رئيسيين:

1- السجل الزلزالي الإحصائي حيث يدرس عدد الهزات وأعماقها وقدرها وتوزعها وهنا نشير إلى انه بقدر ما يكون السجل الزلزالي مكتمل وذو امتداد زمني كبير بقدر ما تكون النتائج حقيقية و موثوقة

2- حجوم التخزين الإحصائية الدقيقة حسب اليوم والشهر والسنة

3-العلاقة الإحصائية بين درجة النشاط الزلزالي وتغير حجم التخزين في السد باستخدام طريقة الارتباط الخطي البسيط. وقد تم في هذه الدراسة تطبيق المبادئ الإحصائية وحساب قدر الإكتمال وحساب التكرارية الزلزالية وإجراء مضاهاة خطية بين حجوم التخزين المائي و السجل الزلزالي لمنطقة الدراسة وتم تطبيق طريقة ليبرسون لتأكيد وجود علاقة بين تغير الحجوم المئوية وتغير عدد الهزات الزلزالية في المنطقة.

كلمات مفتاحية: القدر، طريقة الانحناء الاعظمي، قيمة العامل b ، التكرارية.

The role of applied statistics in seismic studies

Abstract:

Today more than 90 dam around the world proved conclusively the induction of earthquakes under the influence of filling and emptying water reservoirs, the goal of this study to understand the effect of changing the size of the storage and loading cycle repeated water within

Lake Dam on the induction of tremors in the dam area by examining the case of stability October 16 actually 17 km northwest of the city of Latakia, which is the dam shelf biggest in the basin of the Syrian coast with a storage capacity of up to 225 million cubic meters, which is positioned within siesmotectonic active, using a series of seismic events between 1995-2011 with destiny ($5 > M_c > 0.2$) registered at seismic stations in the network in addition to the Syrian national records in the General Authority for Remote Sensing. Using the program zmap been studying the evolution of seismic activity for October 16 dam area within 50 km and the quake likely Determine the maximum amount ($4.5-5 MC =$). Through the MATLAB program was developed Histogram at represent the relationship between the change in the size of the storage dam and the number of tremors recorded during the period (1995- 2011) and using the statistical software (SPSS) was obtained on the coefficient of linear correlation (IPearson Correlation) where the largest value of 0.673 during the year 2011.

Key words: magnitude, maximum curvature, b value, repeatability.

1- المعطيات الزلزالية :

1-1- الزلزالية التاريخية

هزة أرضية حدثت قبل عام 1900 م ولم تسجل بمحطات الرصد الزلزالي لعدم توفرها قبل ذلك العام ، ولكنها وصفت وذكرت في مصادر ووثائق تاريخية(مثل الرسائل وأرشيف القنصليات والسفارات ومذكرات الرحالة) والتي يمكن أن تحتوي على نصوص وصفية للهزات التاريخية ، تجمع نتائج دراسة الزلازل في ما يسمى سجل الزلازل التاريخي (Catalogue of Historical Earthquakes) وقد قام الباحثون بجمع الوثائق المتوفرة في السجلات المحفوظة في المكتبات الأوروبية والعربية والسورية المركزية حيث ورد أكثر من 181 زلزال وقع بين عامي 1365 قبل الميلاد و 1900 م في سوريا والمناطق المجاورة لها، لقد تم توثيق هذه الزلازل باللغة العربية واللاتينية والبيزنطية والسريانية كما تبين من خلال دراسة هذه الوثائق وتحليلها أن بعض هذه الزلازل كان كبير مما سبب دمارا هائلا في سوريا بالنسبة لمنطقة سد 16 تشرين فهي مميزة بزلزال مدمرة استعنا في دراستها على عدد من الدراسات السابقة

Sbeinati,1989,Barazangi,& Ambrasey (2005) بالإضافة لمعطيات دراسة الهيئة العامة للاستشعار عن بعد وذلك في دراسة جيوديناميكية للجزء الغربي من سوريا بالتعاون مع المعهد الجيولوجي التابع لأكاديمية العلوم الروسية (RECENT GEODYNAMICS OF WESTERN SYRIA) الشكل (1-4) يوضح الزلازل التاريخية الكبيرة والمحيطة بسد 16 تشرين مع قدر تلك الزلازل في الجدول(1-4) أدرجت أهم الزلازل التاريخية المسجلة في المنطقة المحيطة بسد 16 تشرين مع شدتها واحداثيات الزلازل حيث تم توثيق 33 زلزال بين الفترة (1365 ق.م - 1896) حيث M من 3 وحتى 7.1 درجة وأعماقها تتراوح بين 3 وحتى 40 كم أكبر الزلازل المسجلة إلى الشمال من سد 16 تشرين حيث حدث عدة زلازل مدمرة كزلزال (M=7.1 عام 155) و زلزال (M=7.1 عام 1404) وحول السد ضمن نطاق 20 كم تم توثيق عدد من الزلازل (M=6.3 عام 1365 قبل الميلاد) و (M=6 عام 1484) و (M=6.2 عام 1802) و الجدول (1) يظهر الزلازل التاريخية الخاصة بمنطقة سد 16 تشرين

جدول (1) يوضح الزلازل التاريخية الكبيرة والمحيطة بسد 16 تشرين ضمن نطاق 50 كم مع

قدور تلك الزلازل

id	LON	LAT	YEAR	MAGN
1	35.785	35.602	-1365	6.3
2	36.16	36.203	-148	4.7
3	36.16	36.203	-65	3
4	36.156	36.192	-37	4
5	36.297	35.7045	37	6.7
6	36.3029	35.6995	47	6.7
8	36	36	115	7.1
9	36	36	155	5.5
10	36	36	245	7.1
11	36	36	342	6
12	35.9049	35.2955	492	6.6
13	36	36	525	6.7
14	36.3	36	588	6.5
15	36.2977	35.696	860	6.5
16	36	36	970	6
17	36	36	1002	6
18	36	35	1063	5.5
19	36	36	1091	6
20	36.2995	35.9045	1094	6
21	36	35	1150	4
22	36.5	35.5	1157	6
23	36.6	35.2	1157	6.6
24	36.6	35.4	1157	7
25	36.295	35.9951	1190	6.1
26	36.2	35.2	1306	5
27	36	36	1404	7.1
28	36.0956	35.7971	1484	6
29	36.2996	35.7981	1540	6.1
30	36.4951	35.5016	1577	6.5
31	36.4042	35.1971	1652	6.2
32	36.4015	35.5955	1795	5.7
33	35.9978	35.5018	1802	6.2

1-2- الزلازل الآلية

يعرف الزلزال الآلي بأنه هزة أرضية حدثت بعد عام 1900 وسجلتها محطات الرصد الزلزالي العالمية تلعب التسجيلات الزلزالية دورا هاما في تحديد الصدوع النشطة اعتمادا على توزيع مراكزها السطحية وتقدير نشاطها الزلزالي بدقة لتعطينا فكرة اوضح عن الظروف السيسموتكتونية الإقليمية وقد سجل العديد من الأحداث الزلزالية بالقرب من منطقة الدراسة ويظهر في الجدول (2) مواقع الأحداث الزلزالية المسجلة بالشبكة العالمية للرصد الزلزالي وذلك بين العامي 1900 وحتى 1994 وذلك ضمن نطاق 50 كم حول سد 16 تشرين

جدول (2) يظهر الاحداث الزلزالية الآلية والمسجلة في الشبكة العالمية للرصد الزلزالي بين عامي 1900 – 1994 وذلك ضمن نطاق 50 كم حول سد 16 تشرين . حسب المركز الوطني للزلازل

id	YEAR	MONTH	DAY	HOUR	MINUTE	LAT	Lon	MAGNITUDE	DEPTH
1	1918	9	29	12	7	35.24	36.11	6.5	10
2	1929	5	28	23	0	35.04	36.44	4	10
3	1956	7	16	0	0	35.7	36	4.9	10
4	1964	6	28	16	8	35.46	35.3	4.1	10
5	1964	11	17	22	52	34.95	35.08	4.3	10
6	1966	6	23	18	15	35.64	35.27	4	10
7	1967	8	31	0	55	35.94	35.35	3.6	10
8	1976	2	28	11	13	35.47	35.24	3.6	10
9	1983	7	3	7	16	35.81	36.58	3.6	2
10	1983	7	22	14	44	35.93	36.98	3.6	2
11	1984	7	31	22	27	35.85	35.35	3.3	2

دور الإحصاء التطبيقي في الدراسات الزلزالية

12	1988	8	3	20	42	35.7	35.72	5	1
13	1990	11	6	15	22	35.83	35.53	4.4	18
14	1990	11	10	13	12	35.78	35.17	3.3	14
15	1991	5	16	8	24	35.13	35.98	3.3	15
16	1992	2	26	2	4	35.81	36.98	4.3	25
17	1993	6	9	2	49	35.77	35.69	3.3	10
18	1994	6	14	16	59	35.9	35.95	3.3	17
19	1994	8	21	14	42	35.74	35.7	4.2	5

3-1- النشاط الزلزالي الحديث

تم انشاء شبكة المركز الوطني للزلزالي عام 1995 م حيث تم تركيب وتشغيل 26 محطة أحادية المركبة ذات دور قصير وعشرون محطة لرصد الحركات الارضية القوية ثلاثية المركبات، يتم الربط بينهما أما لاسلكيا او بواسطة دارات هاتفية وهي موزعة في جميع انحاء القطر بحيث تغطي المناطق الهامة التي تعرضت لزلزلات تاريخية مدمرة مع تغطية كاملة للجزء الرئيسي من الانهدام الواقع في غرب سوريا والممتد من الجنوب إلى الشمال وذلك بهدف تخفيف الخطر الزلزالي في سوريا ضمن مشروع باميرار لتخفيف الخطر الزلزالي في الشرق الأوسط الذي بدأ من قبل منظمة اليونيسكو عام 1986 م تبث المحطات الواقعة في القسم الجنوبي من سوريا التسجيلات التي تلتقطها لاسلكيا إلى محطة التسجيل المركزية بدمشق بينما تبث المحطات الواقعة في القسم الشمالي وعددها 11 محطة إلى حماة لاسلكيا ومنها إلى محطة التسجيل المركزية بدمشق وقد تم توسيع شبكة المركز الوطني للزلزلات في بداية عام 2003 بتركيب وتشغيل سبع محطات في القسم الشمالي الشرقي من سوريا

وتركيب شبكة رصد زلزالي رقمية متطورة في عام 2007 مؤلفة من اربع وعشرون محطة رصد للحركات الخفيفة وعشر محطات للحركات القوية وثلاث محطات واسعة الطيف. بالإضافة لمعطيات الهيئة العامة للاستشعار عن بعد والتي قدمت دراسة للتكتونيك الحديث للجزء الغربي من سوريا وذلك في عام 2007 والتي لديها كتلوك للتسجيلات الزلزالية العائدة للشبكات الإقليمية المحيطة بمنطقة الدراسة

2- تطور النشاط الزلزالي

لدراسة تطورالنشاط السيزمي نستخدم التقنيات الاحصائية لتحليل تطور النشاط الزلزالي ويعتبر برنامج zmap لدراسة تطور النشاط الزلزالي وتغييرها مع القدر والزمن والعمق وتحديد قيم العامل b وتغييرها مع الزمن والقدر والعمق وتحديد الزلزال المحتمل الاعظمي وقدر ذلك الزلزال

2-1 تغير النشاط الزلزالي مع القدر

حيث انه خلال الفترة بين 1995 وحتى 2011 تم تسجيل 915 حدث زلزالي ($5 \geq M_c \geq 0.2$) والشكل (1) يوضح خريطة لمنطقة سد 16 تشرين يظهر فيها توزع الهزات الزلزالية المسجلة وذلك ضمن نطاق 50 كم حول جسم السد بالإضافة إلى القدر المحتمل لتلك الهزات

➤ 713 هزة ($2 \geq M_c \geq 0.2$)

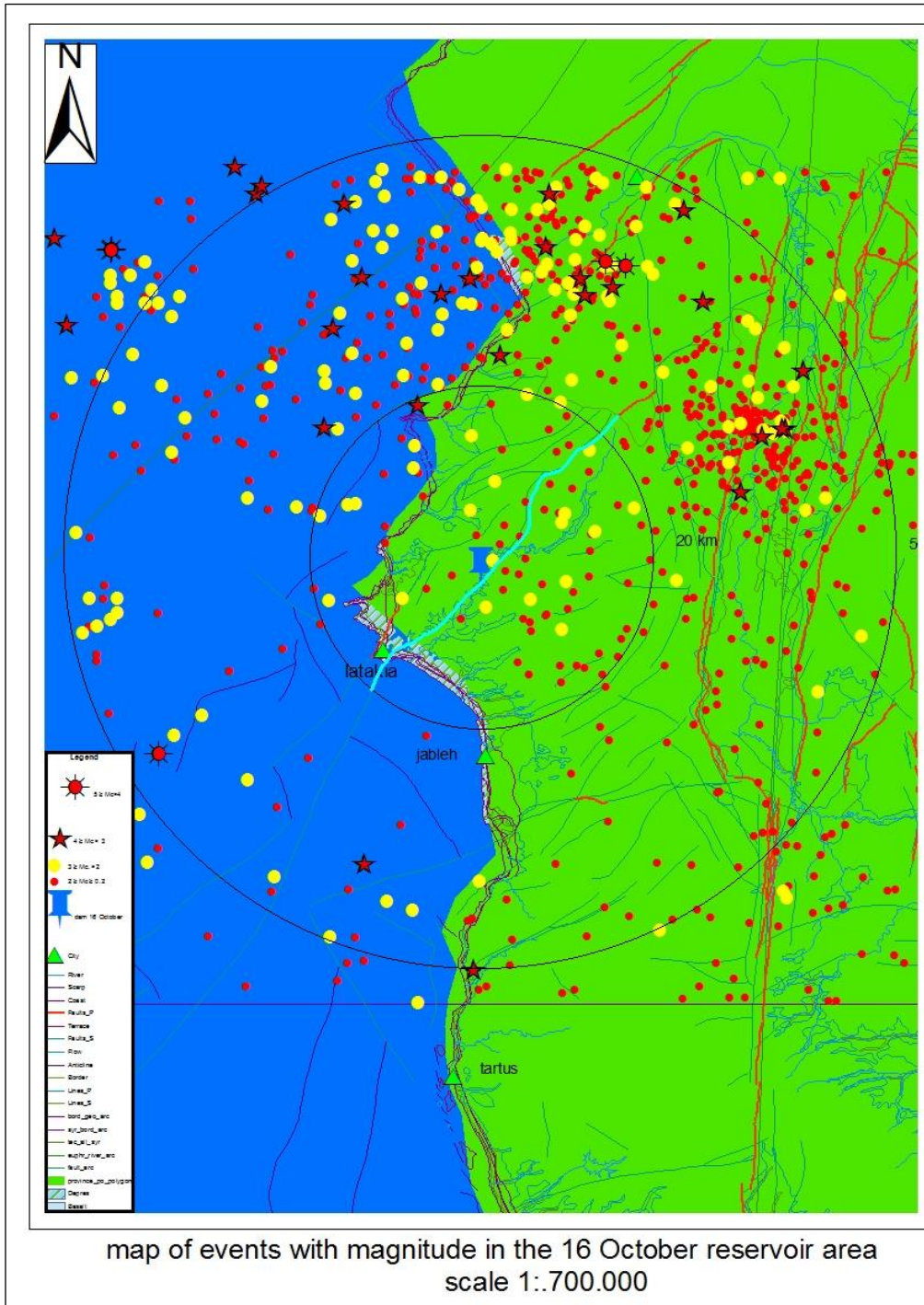
➤ 169 هزة ($3 \geq M_c > 2$)

➤ 28 هزة ($4 \geq M_c > 3$)

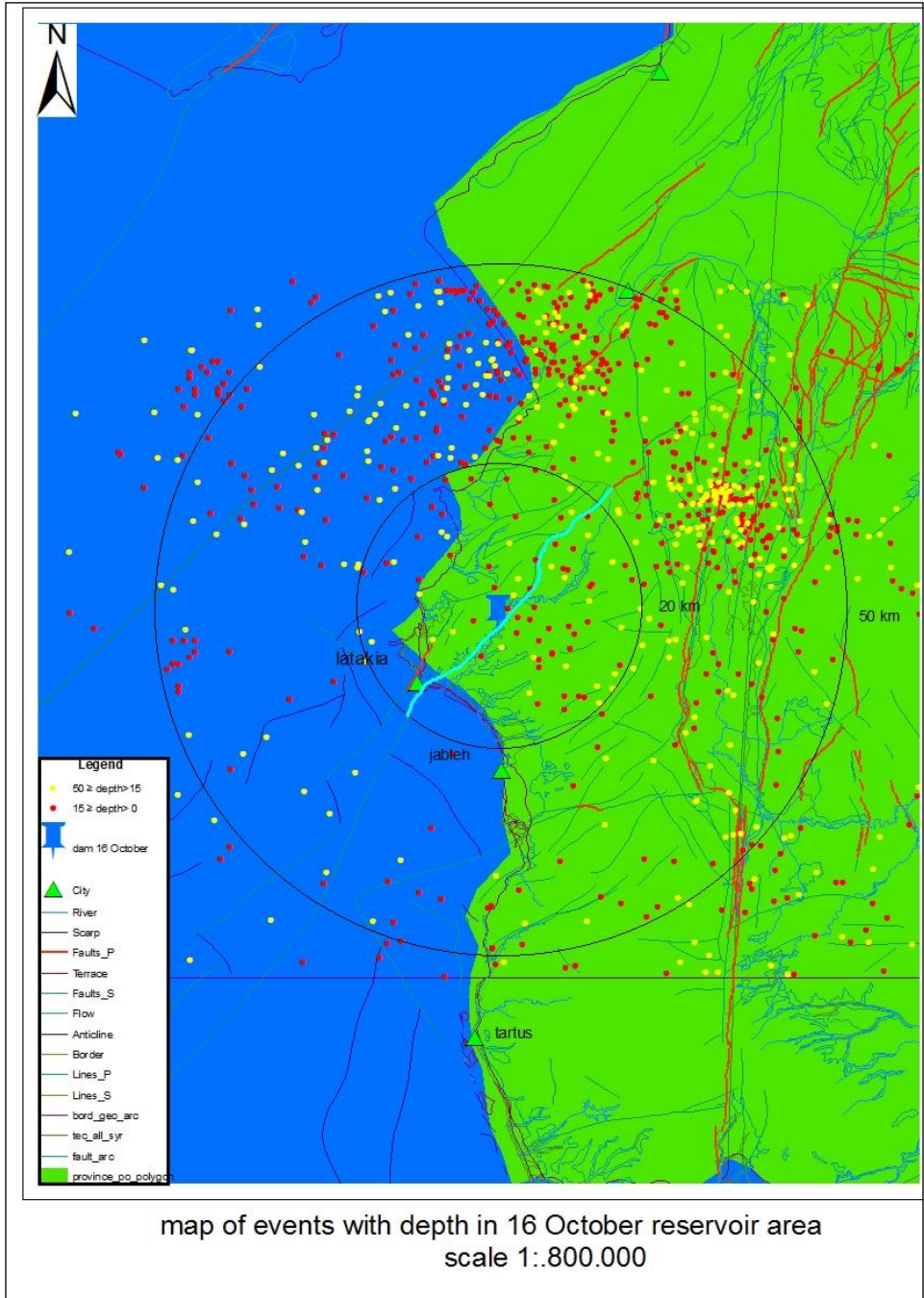
➤ 4 هزات ($5 \geq M_c > 4$) الممثلة بالجدول (3)

جدول (3) يوضح الهزات ذات القدر الأعلى من 4 في المنطقة المدروسة

LON	LAT	YEAR	MONTH	DAY	Mc	DEPTH	HOUR	MINUTE
35.381	36.098	1996	6	5	4.5	40	13	13
35.451	35.365	2006	3	29	4.2	10.04	22	5
36.101	36.082	2009	6	17	4.6	1	4	29
36.13	36.075	2009	6	17	5	14.2	4	29



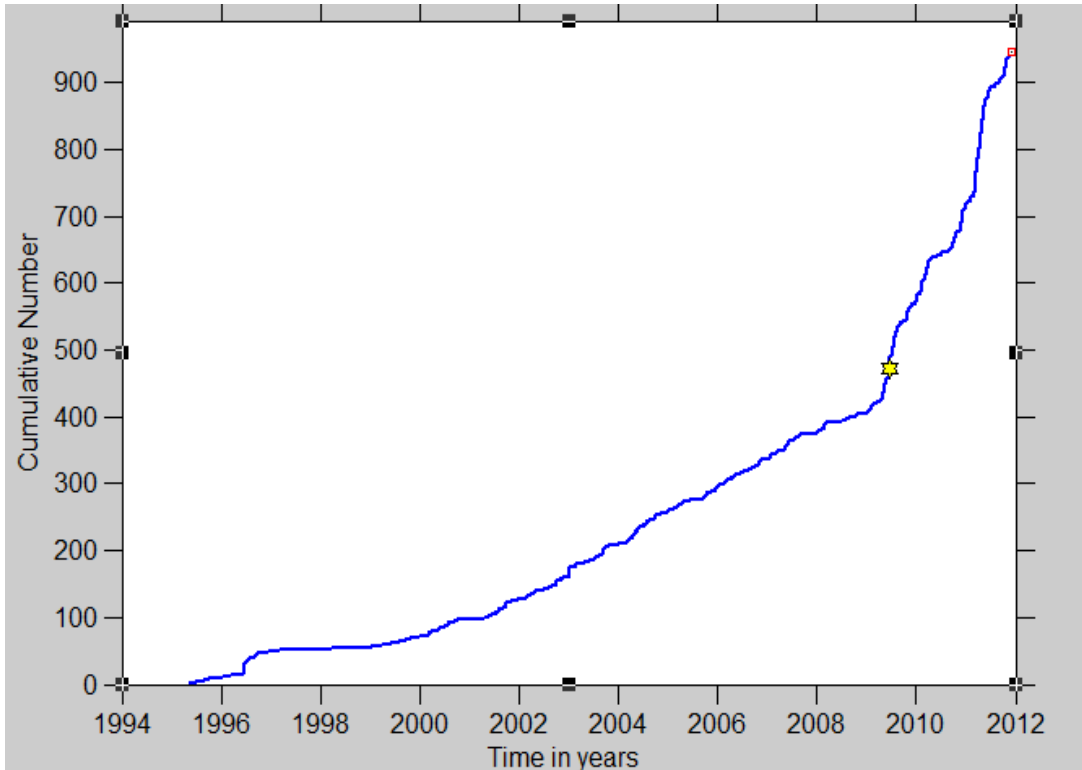
الشكل (1) خريطة تظهر توزع الأحداث الزلزالية خلال الفترة 1995 - 2011 وذلك ضمن نطاق 50 كم حول السد "الأحداث الزلزالية حسب المركز الوطني للزلازل"



الشكل (2) خريطة تظهر أعماق الأحداث الزلزالية خلال الفترة 1995 - 2011 وذلك ضمن نطاق 50 كم حول السد "الأحداث الزلزالية حسب المركز الوطني للزلازل"

3-2 تغير النشاط الزلزالي مع الزمن

- باستخدام برنامج zmap تم تحديد تغير النشاط الزلزالي مع الزمن حيث يظهر أن
- عدد الهزات المسجلة في منطقة السد بين عامي 1995 - 2008 هو 393 هزة
 - عدد الهزات المسجلة في منطقة السد بين عامي 2009 - 2011 هو 522 هزة
 - اي ان هناك زيادة في نسبة النشاط الزلزالي مع الزمن

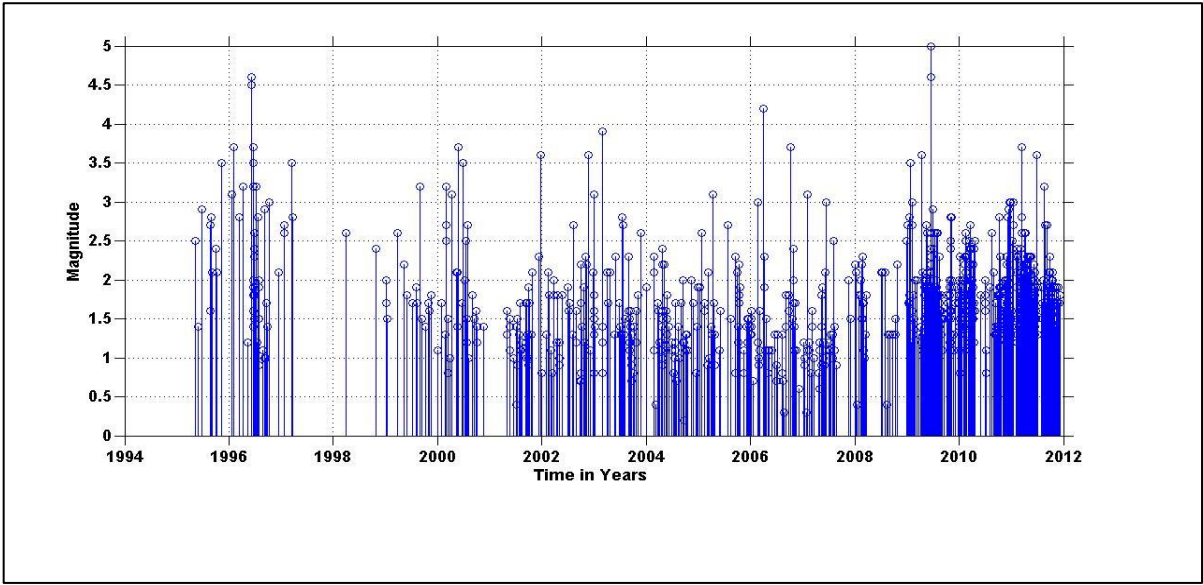


الشكل (3) تغير نسبة النشاط الزلزالي مع الزمن في المنطقة المحيطة بسد 16 تشرين ضمن نطاق 50 كم

4-2- التكرارية الزلزالية

التكرارية الزلزالية أو دور العودة للهزات حيث يكون هناك فترة زمنية وسطية بين وقوع حدث زلزالي بقدر معين وتكرار هذا الحدث الزلزالي بنفس القدر حيث ان زمن العودة للهزات ذات القدر 4 هو

4-3 سنوات



الشكل (4) يوضح قدر الهزات المسجلة خلال الفترة بين 1995 - 2011

3- علاقة (غوتنبرغ - ريختر)

$$\log N(\geq M) = a - bM \quad (1)$$

N: عدد الاحداث التي قدرها اكبر من القدر M

b: ميل المستقيم الممثل للعلاقة وتتغير b ضمن مجال ضيق بين 0.5 - 1.5 (Von Seggern,

1980)

وجد بيرغ ان القيم الصغرى ل b مرتبطة بالاجهادات الكبيرة ومتانة الوسط و دليل على إمكانية حدوث زلازل محتمل في الموقع

تعتمد علاقة التكرار مع القدر على معاملات غوتبرغ - ريختر $a-b$ حيث من المعلوم ان انخفاض قيمة b دليل على امكانية حدوث زلازل في المستقبل وارتفاعها دليل على انخفاض النشاط الزلزالي لمنطقة ما

بينما الثابت a يعطي لوغاريتم عدد الهزات التي قدرها اكبر من 0 وقيمة الثابت a متعلقة بالتسجيلات طويلة الامد وكذلك طبيعة المنطقة المدروسة وبمستوى النشاط الزلزالي للمنطقة ويتبدل هذا العامل من حيث القيمة ضمن مجال واسعويمكن عن طريق ميل مستقيم علاقة غوتبرغ - ريختر من تحديد قدر الزلزال المحتمل في المنطقة المدروسة. يتم تحديد قيمة "b" بطريقة الانحناء الأعظمي (Maximum Curvature) بالعلاقة :

$$b = \frac{\log 10(e)}{\left[(M) - \left(Mc - \frac{\Delta M_{bin}}{2} \right) \right]} \quad (2)$$

باستخدام برنامج zmap تم الحصول على تغير قيم العامل b

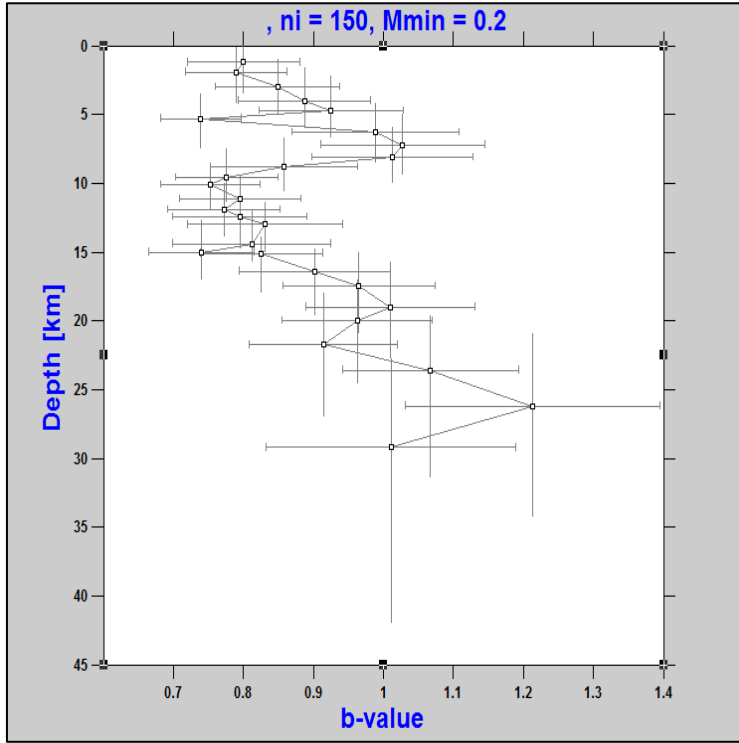
1- تغير قيم العامل b مع العمق

2- تغير قيم العامل b مع القدر

3 تغير قيم العامل b مع الزمن

1-3- تغير قيمة العامل بي مع العمق

حيث يلاحظ قيم منخفضة للعامل b ($0.7 - 0.8$) ضمن نطاق الأعماق الضحلة $0 - 15$ كم مقابل قيم طبيعية (1) ضمن نطاق الأعماق الكبيرة ($15 - 50$) كم وهذا يعطينا فكرة عن وجود اتجاهات ضمن الأعماق الضحلة مرتبطة مع نظام الصدوع الموجود ضمن منطقة السد



الشكل (5) تغير قيم العامل b مع العمق ضمن نطاق 50 كم حول السد وذلك خلال الفترة

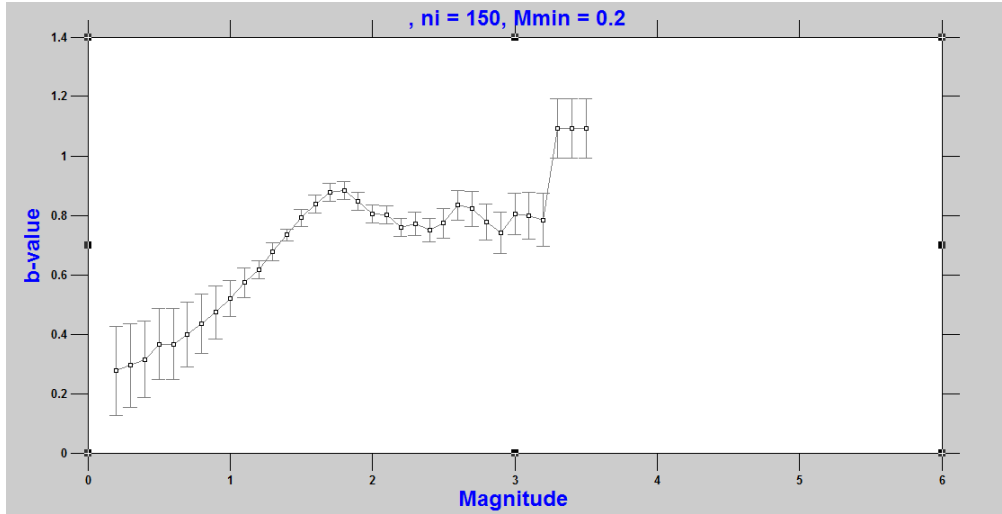
2011 - 1995

2-3- تغير قيمة العامل b مع القدر

يلاحظ ازدياد قيمة العامل b مع القدر

➤ عند القيم المنخفضة للقدر ($2 \geq M_c \geq 0.2$) فإن قيم العامل b تكون ($0.8 > b > 0.6$)

➤ عند القيم العالية للقدر ($4 \geq M_c \geq 2$) فإن قيم العامل b تكون ($1.2 > b > 0.8$)



الشكل (6) تغير قيم العامل b مع القدر ضمن نطاق 50 كم حول السد وذلك خلال الفترة 1995 - 2011

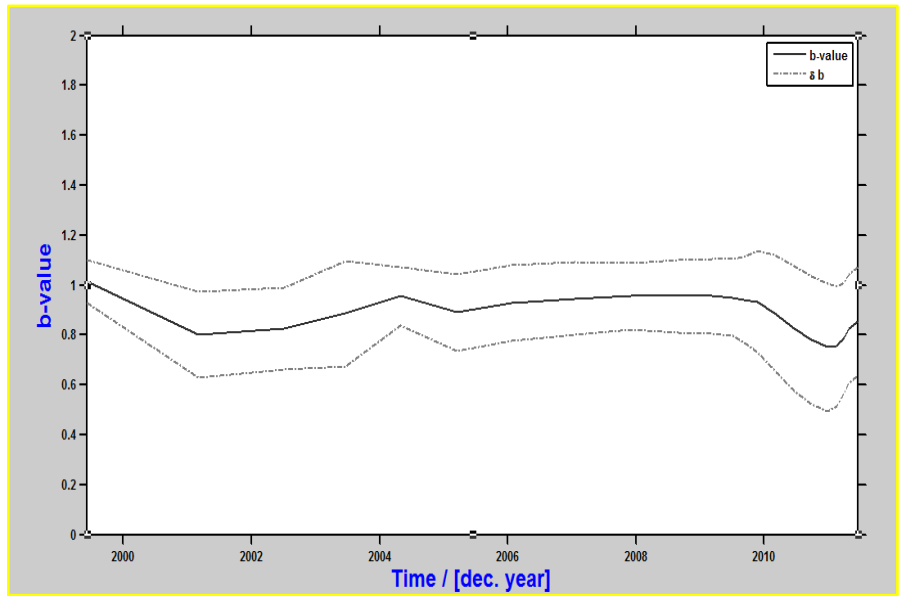
3-3- تغير قيمة العامل b مع الزمن

❖ يلاحظ قيم منخفضة للعامل b خلال الفترة بين 1996 - 2002

❖ وقيم عالية للعامل b خلال الفترة بين 2002 - 2004

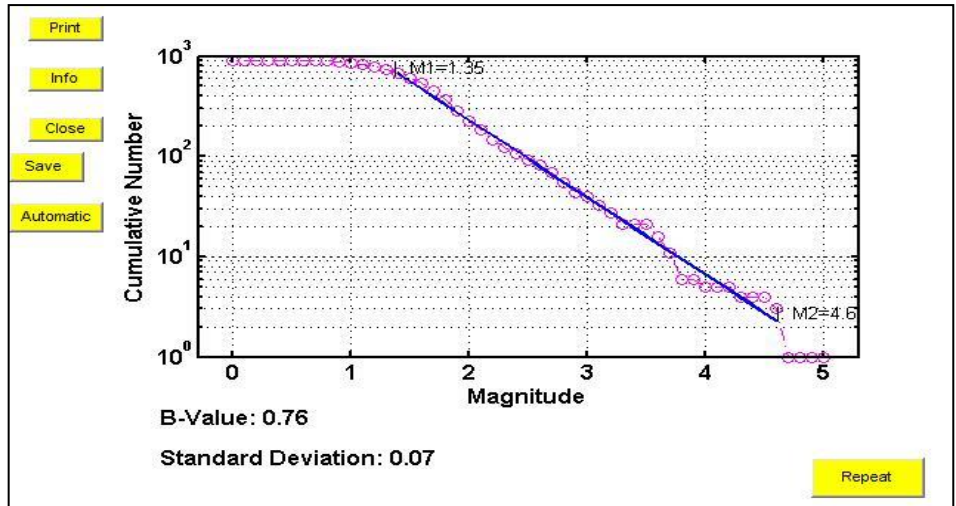
❖ وقيم طبيعية للعامل b خلال الفترة بين 2004 - 2008

❖ وقيم منخفضة للعامل b ($0.8 - 0.6$) خلال الفترة بين 2008 - 2011

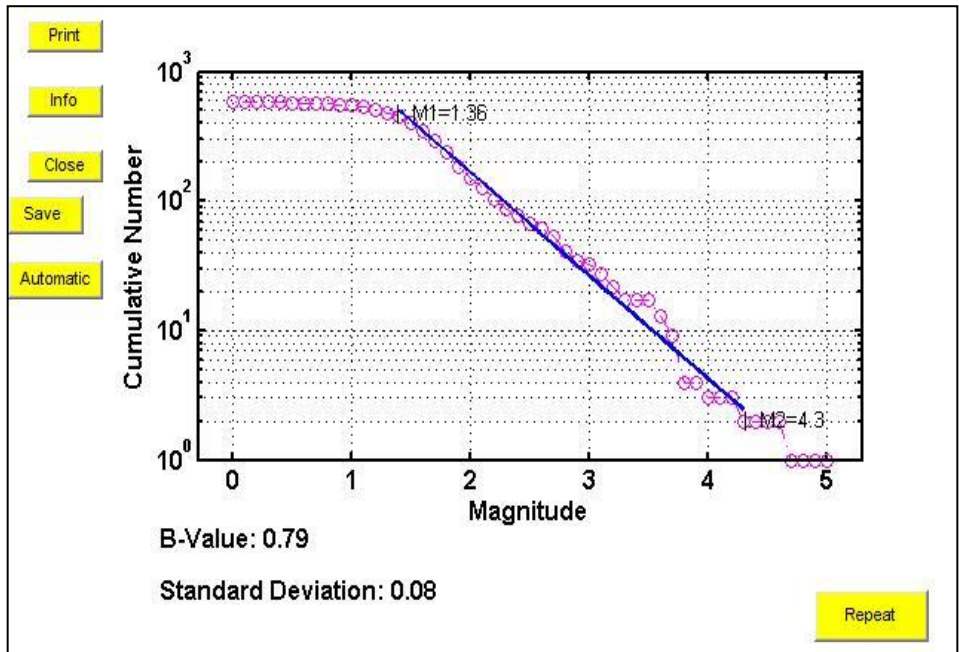


الشكل (7) تغير قيم العامل b مع الزمن ضمن نطاق 50 كم حول السد وذلك خلال الفترة 2011 – 1995

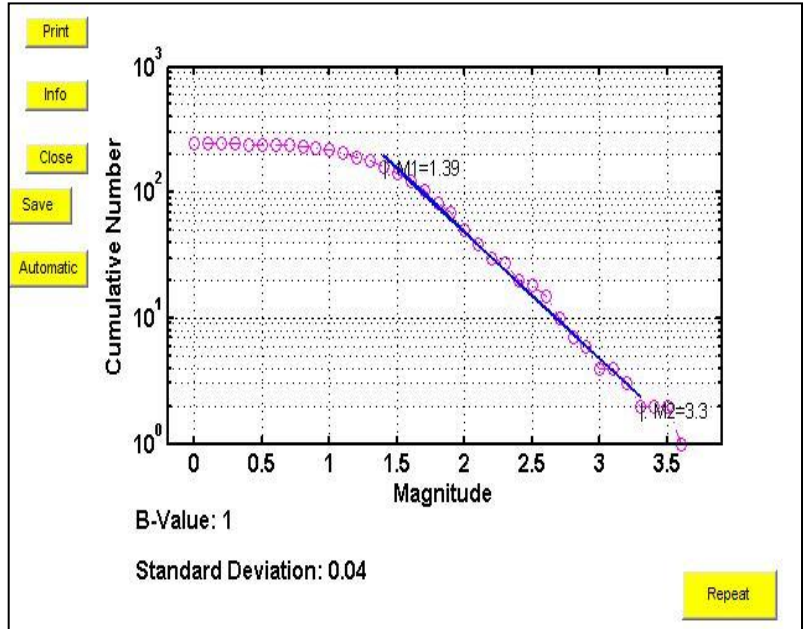
4-3- منحنيات توزيع القدر مع التكرارية



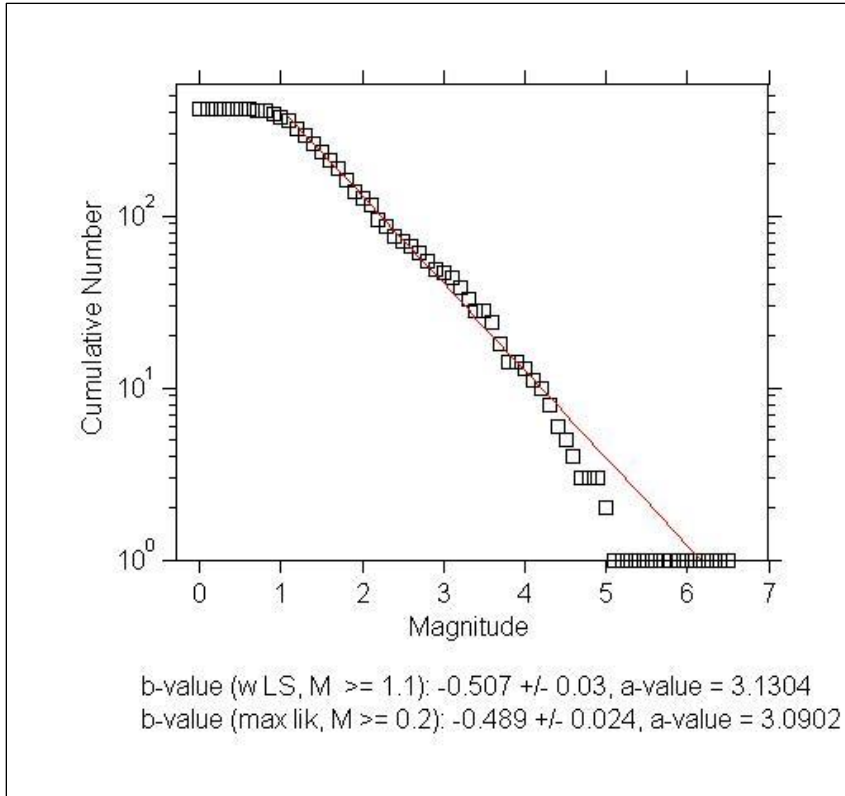
الشكل (8) منحنى توزيع القدر مع التكرارية لكامل الأحداث الزلزالية خلال الفترة 2011-1995



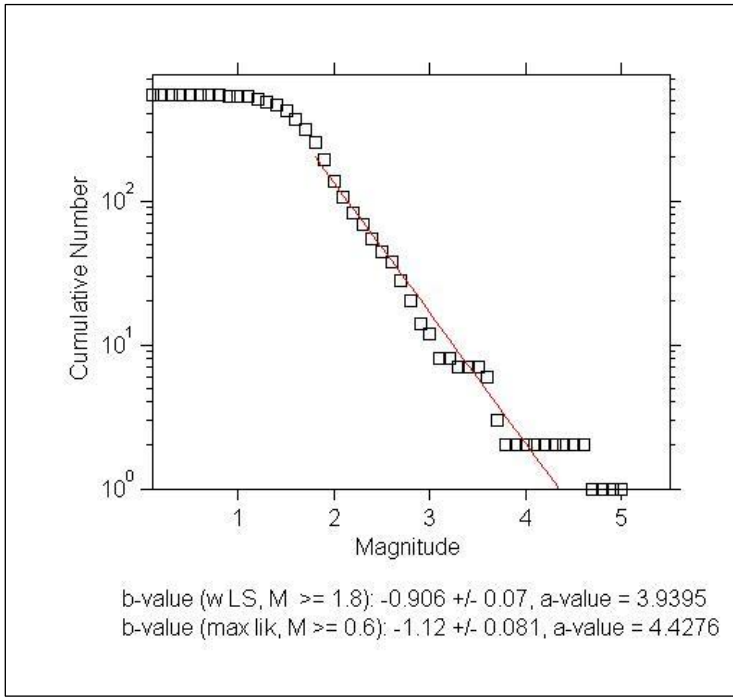
الشكل (9) منحني توزيع القدر مع التكرارية وذلك لأحداث الأعماق الضحلة 0-15 خلال الفترة 1995-2011



الشكل (10) منحني توزيع القدر مع التكرارية وذلك للأحداث العميقة >15 كم خلال الفترة 1995-2011



الشكل (11) منحني توزيع القدر مع التكرارية وذلك 2008-1900



الشكل (12) منحني توزيع القدر مع التكرارية خلال الفترة بين 2009-2011

4-العلاقة بين النشاط الزلزالي وحجوم التخزين في بحيرة سد 16 تشرين خلال 1995-2011

لتحليل العلاقة بين النشاط الزلزالي و سعة التخزين نستخدم طريقة الارتباط الخطي وذلك حسب (Grass Berger and Procaccia, 1983) والنتيجة الاهم بالنسبة لاستخدام هذه الطريقة هي امكانية اعطاء علاقة او قيمة او رابط حقيقي وثيق لوصف العلاقة بين المتغيرات حيث تم استخدام هذه الطريقة في اغلب الدراسات المتعلقة بدراسة الزلازل المتحصرة عن الخزانات المائية كدراسة (Mekawi and Grasso, 2004) لسد أسوان خلال الفترة بين 1982 - 2001

4-1 تغيرات حجوم التخزين ضمن السد :

يمكن للنشاط الزلزالي ان يستمر عدة سنوات وحتى عشرات السنين بعد الملئ الاولي للخزان وهذا النشاط يحدث بعد وقت من حدوث تغيرات في شروط الاجهادات المرتبطة مع دورات التحميل والتفريغ المتكررة للمياه ضمن بحيرة السد

تظهر التغيرات (الاسبوعية/ الشهرية / السنوية) في مستوى التخزين في السد (H2)

مقارنة مع اقل حجم لتخزين المياه يمكن ان يصل إليه السد (H1)

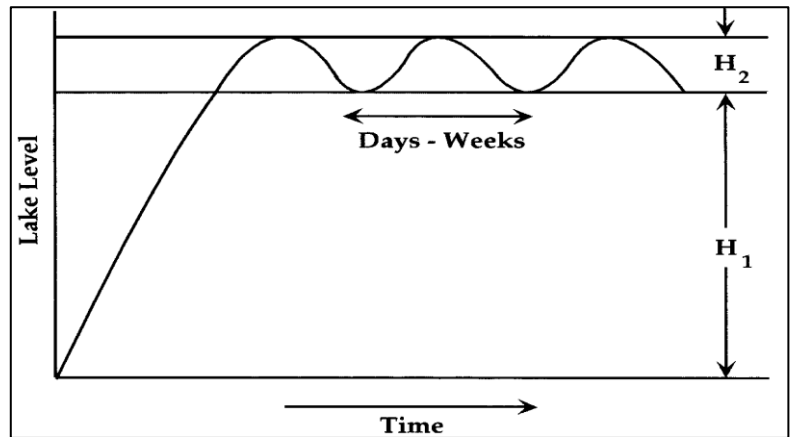
1- حيث انه في حال النشاط الزلزالي من النمط الاولي (initial seismicity) $H_2 \ll H_1$ كما في

حال سد مونتيسيلو جنوب كارولينا حيث $H_1=31.5m$ و $H_2=1.5m$ كما في الشكل (13)

2- وعندما تكون التغيرات في مستوى التخزين (H2) يساوي او اكبر من (H1) فنكون امام حالة

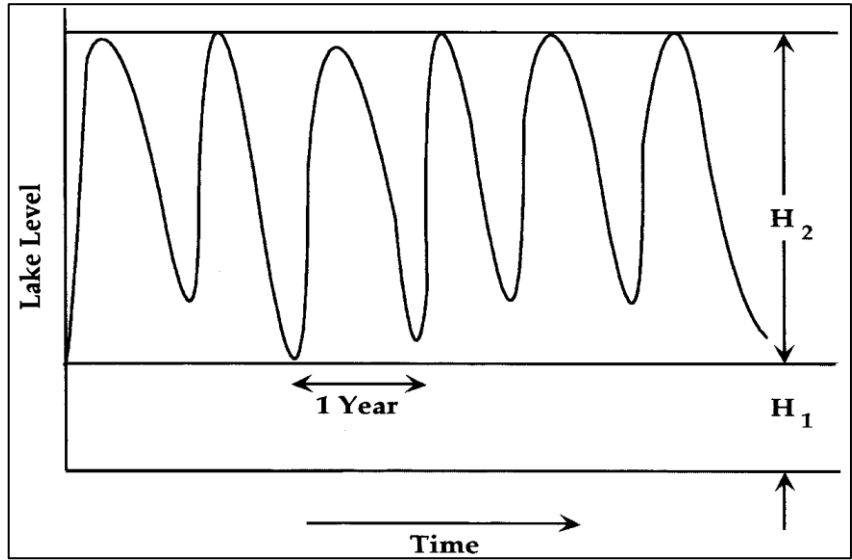
النشاط الزلزالي طويل الامد كما في حال سد كونا في الهند حيث $H_2=20-40m$ و $H_1=30m$

كما في الشكل (14)



الشكل (13) النمط الاول يتميز بتغيرات يومية أواسبوعية في مستويات تخزين المياه في هذا النمط

فأن تغيرات مستوى التخزين $H_2 \ll H_1$



الشكل (14) النمط الثاني يتميز بتغيرات موسمية في مستويات تخزين المياه $H_2=H_1$ او $H_2>H_1$ حيث ان سد 16 تشرين من النمط الثاني

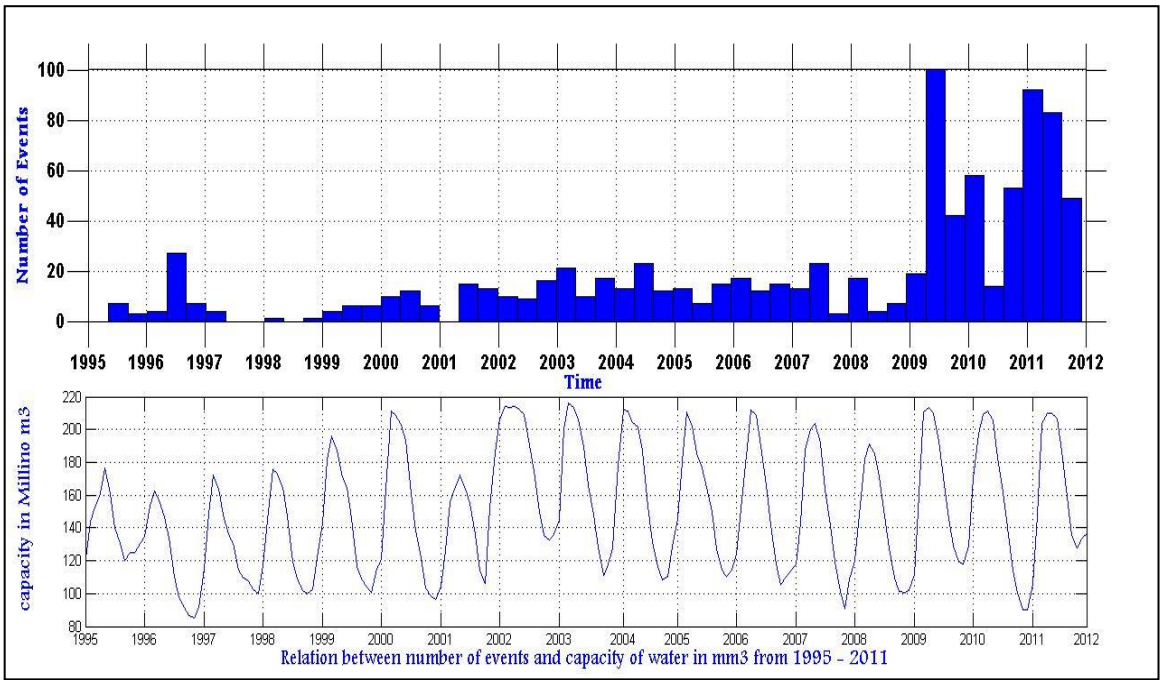
بالنسبة لسد 16 تشرين فإنه يعود للنمط الثاني و باستخدام برنامج ال MATLAB الاصدار R2009 تم رسم هيستوغرام يظهر العلاقة بين حجم التخزين مقدرا ب مليون متر مكعب في سد 16 تشرين وبين عدد الهزات المسجلة خلال الفترة بين 1995 – 2011 وذلك بتحميل الاحداث الزلزالية المسجلة في منطقة الدراسة وذلك ضمن نطاق 50 كم حول السد في حال الدراسة الرئيسية ضمن نطاق 20 كم فيحال الدراسة التفصيلية

سد 16 تشرين يتميز بتغيرات كبيرة في حجم التخزين حيث ان اقل حجم للتخزين H_1 يمكن ان يصل إليه السد 90 مليون متر مكعب بينما H_2 التغيرات في حجم التخزين تتغير ضمن مجال 0 – 120 مليون متر مكعب ومنسوب التخزين الأعظمي 225 مليون متر مكعب هذا التغير الكبير يكون له تاثير كبير على الاجهادات المطبقة من جهة وعلى الضغطالمسامي من جهة اخرى.

4-2 تغير النشاط الزلزالي وحجم التخزين في بحيرة 16 تشرين ضمن نطاق 50 كم خلال الفترة

1995 - 2011

يظهر النشاط الزلزالي وتغيرات حجم التخزين في بحيرة 16 تشرين ضمن نطاق 50 كم حول منطقة السد ان مستوى النشاط الزلزالي كان ضمن الطبيعي ولكن يلاحظ في 2008 انخفاض في مستوى التخزين مترافق مع انخفاض في النشاط الزلزالي يعقبه في السنين الثلاث الاخيرة من 2009 وحتى 2011 زيادة في النشاط الزلزالي بشكل كبير مرافق لزيادة حجم التخزين ويلاحظ ان اكبر مستوى للتخزين يحصل في الشهور 3-4-5 مترافق مع زيادة الهائل المطري حيث يصل حجم لتخزين إلى 215 مليون متر مكعب نهاية الشهر الثالث وبداية الرابع وتكون ادنى مستويات لحجم التخزين في الاشهر 9-10-11 الشكل (15) يظهر تغير حجم التخزين خلال فترة الدراسة 1995 - 2011 مقارنة مع تغير النشاط الزلزالي وذلك ضمن نطاق 50 كم



الشكل (15) العلاقة بين درجة النشاط الزلزالي وتغير حجم تخزين المياه في بحيرة سد 16 تشرين خلال كامل فترة الدراسة 2011-1995

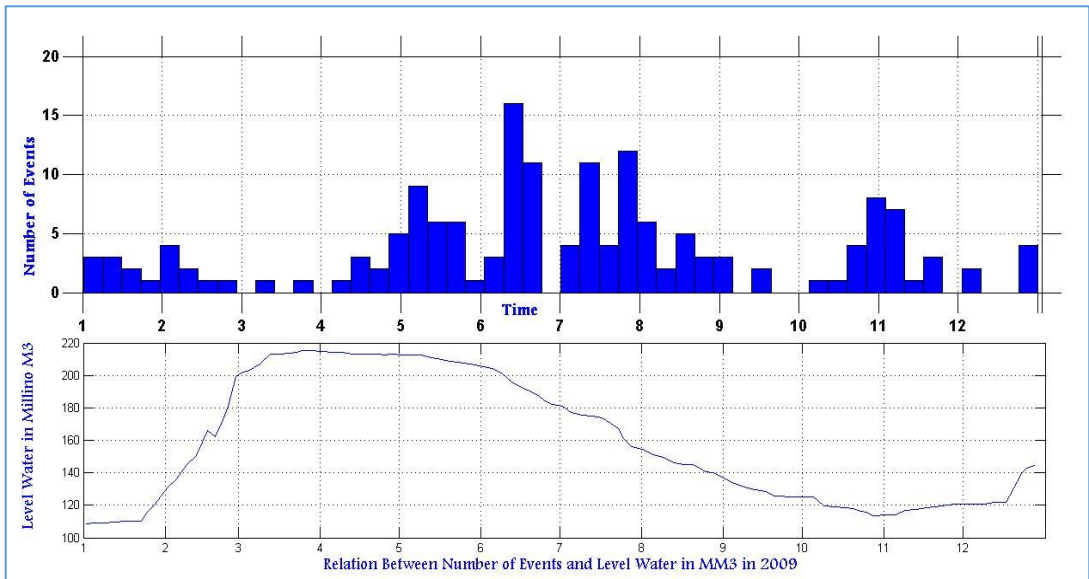
زيادة النشاط الزلزالي في الفترة بين 2011-2010-2009 جعل من الضرورة بمكان دراسة كل سنة على حدا لمعرفة الارتباط بشكل ادق

1-5 دراسة العلاقة بين تغير حجم التخزين وعدد الهزات خلال سنة 2009

يظهر العلاقة بين درجة النشاط الزلزالي وتغير حجم التخزين ضمن بحيرة سد 16 تشرين خلال 2009 حيث ان عدد الهزات المسجلة خلال 2009 165 هزة $M_c \geq 0.2$ حيث يلاحظ ان حجم التخزين يرتفع ليصل في الشهر الثالث إلى 200 مليون متر مكعب ويستمر بالازدياد حتى يصل إلى ذروته 215 مليون متر مكعب بين الشهر الرابع والخامس ليعود وينخفض بدء من

دور الإحصاء التطبيقي في الدراسات الزلزالية

منتصف ايار و يبلغ اخفض قيمة له في شهر تشرين الثاني بالنسبة للنشاط الزلزالي يزداد مع بداية الشهر الرابع و يبلغ ذروته في الشهر السادس ويستمر النشاط الزلزالي بنسبة عالية في الشهر السابع المميز بالنسبة ل 2009 هو ملاحظة تاخر في طور النشاط الزلزالي الذي يستمر بين الرابع والثامن بالمقارنة مع ذروة حجم التخزين بين الثالث وحتى بداية السادس حيث يبدأ بالانخفاض وفي 17 حزيران حدث هزة $M_c=5$ بعمق 14 كم تحت بحيرة السد على بعد حوالي 25 كم من موقع السد وهي متوافقة مع فترت بدء انخفاض حجم التخزين في السد حيث حدث تغير في شروط السد من حيث الضغط المسامي و الاجهادات التي يخضع لها نظام الصدوع تحت السد

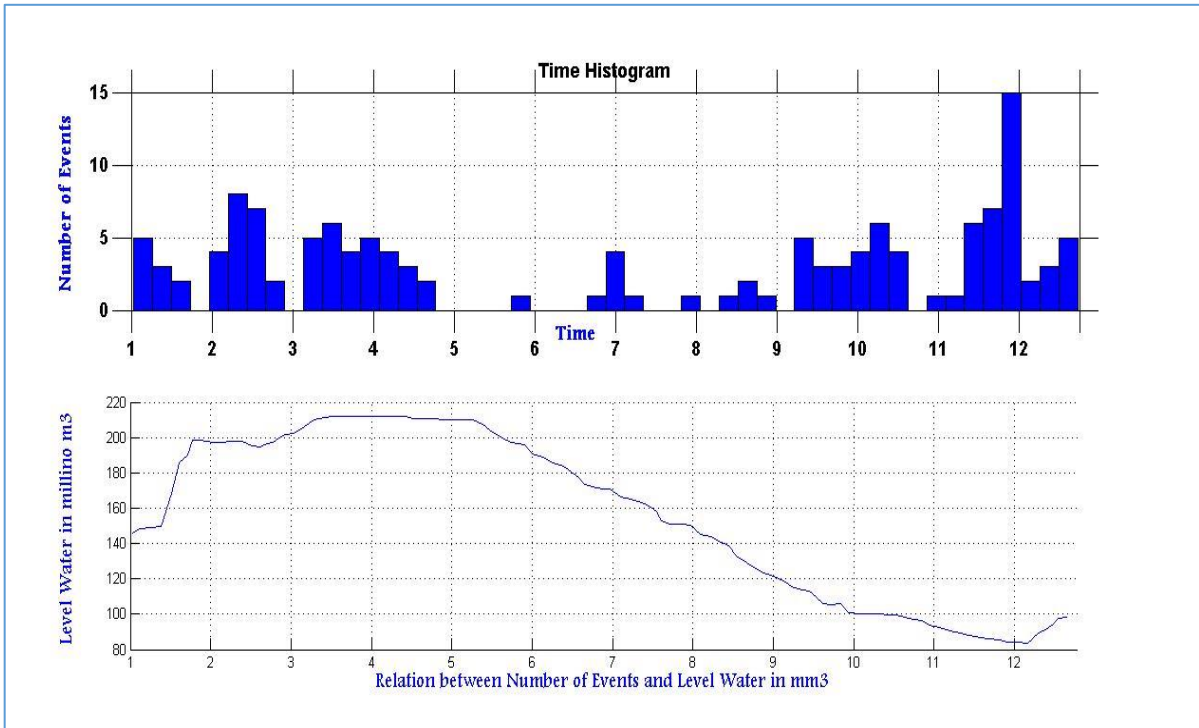


الشكل (16) العلاقة بين درجة النشاط الزلزالي وتغير حجم تخزين المياه في بحيرة سد 16 تشرين

خلال 2009 عدد الهزات المسجلة $165 (5 \geq M_c \geq 0.2)$

5-2 دراسة العلاقة بين تغير حجم التخزين وعدد الهزات خلال سنة 2010:

عام 2010 حدث في منطقة سد 16 تشرين 137 هزة ($3 \geq M_c \geq 0.2$) ويظهر من الهيستوغرام وجود سلسلتين من الاحداث الزلزالية السلسلة الاولى بين الشهر الاولي حتى الشهر الرابع وهي متوافقة مع ارتفاع حجم التخزين في السد حيث يلاحظ توافق يظهر في الشهر الثاني بين حجم التخزين الذي يصل إلى 200 مليون متر مكعب ضمن السد مع ارتفاع في النشاط الزلزالي وتستمر سلسلة النشاط الزلزالي حتى الشهر الخامس حيث يتخامد النشاط الزلزالي متوافق مع انخفاض في حجم التخزين وفي الشهر التاسع تعود سلسلة النشاط الزلزالي من جديد مع انخفاض في حجم التخزين 90 مليون متر مكعب بالنسبة لاعمق الهزات 80% من الهزات ضمن نطاق الاعماق الضحلة

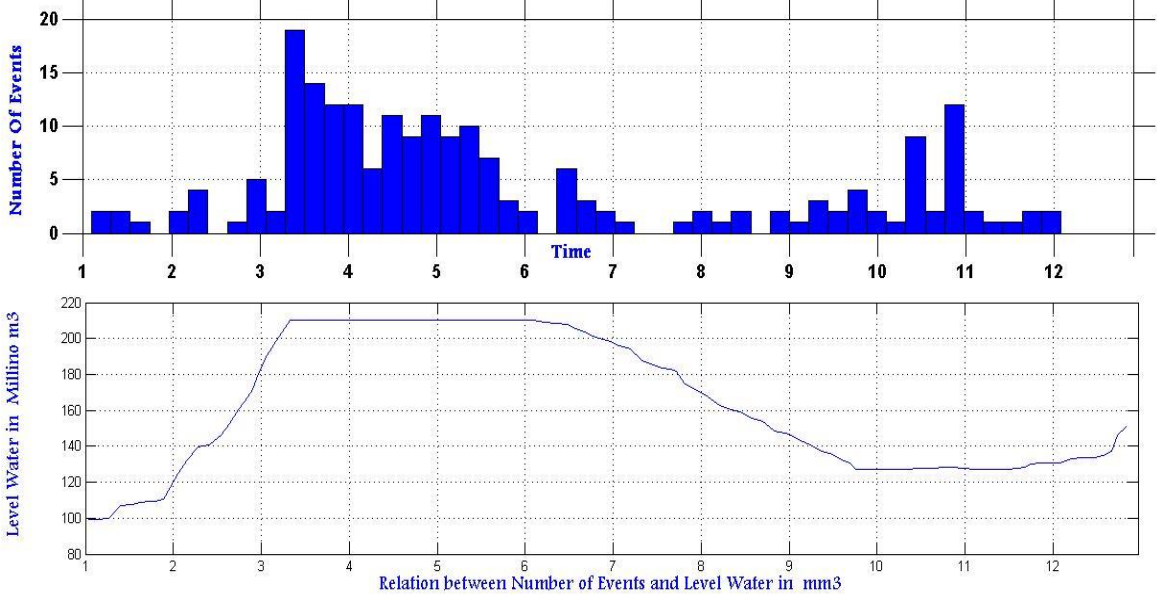


الشكل (17) العلاقة بين درجة النشاط الزلزالي وتغير حجم تخزين المياه في بحيرة سد 16 تشرين

خلال 2010 عدد الهزات المسجلة $(3 \geq M_c \geq 0.2)$ 137

3-5 دراسة العلاقة بين تغير حجم التخزين وعدد الهزات خلال سنة 2011

في عام 2011 حدث 209 حدث زلزالي $(3.7 \geq M_c \geq 0.2)$ وهي اكبر نسبة نشاط زلزالي مسجلة خلال فترة الدراسة يبدأ النشاط الزلزالي في الشهر الثالث حيث يلاحظ خلال الشهر الثالث تسجيل اكثر من 50 هزة بينما يسجل 40 هزة في الشهر الرابع و36 هزة في الخامس وبشكل متوافق مع ارتفاع حجم التخزين إلى 210 مليون متر مكعب حيث يبقى حجم التخزين ضمن مجال 210 مليون متر مكعب حتى الشهر السادس حيث يبدأ حجم التخزين بالانخفاض والمميز بالنسبة لهذه السنة هو التوافق الواضح بين درجة النشاط الزلزالي وبين حجم التخزين وهذا يظهر من خلال الهيستوغرام وفي 28-6 حدث زلزال ($M_c=3.7$) على عمق 12 كم من سطح الارض وعلى بعد 25 كم من موقع السد وبشكل مشابه للحدث الزلزالي في 2009 اما بالنسبة لاعمق الهزات 75% من الهزات ضمن نطاق الاعماق الضحلة



الشكل (18) العلاقة بين درجة النشاط الزلزالي وتغير حجم تخزين المياه في بحيرة سد 16 تشرين خلال 2011 حيث تم تسجيل 208 حدث زلزالي ($0.2 \leq M_c \leq 3.7$)

6- العلاقة بين درجة النشاط الزلزالي وتغير حجم التخزين في السد باستخدام طريقة الارتباط الخطي البسيط

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y - \bar{y})^2}}$$

حيث (X) حجم المياه ، (Y) عدد الهزات

(X) و (y) الوسط الحسابي لكل من

الغرض من تحليل الارتباط الخطي البسيط هو تحديد نوع وقوة العلاقة بين متغيرين

نوع العلاقة: وتأخذ ثلاث أنواع حسب إشارة معامل الارتباط كما يلي:

1. إذا كانت إشارة معامل الارتباط سالبة ($r < 0$) توجد علاقة عكسية بين المتغيرين، بمعنى

أن زيادة أحد المتغيرين يصاحبه انخفاض في المتغير الثاني، والعكس.

2. إذا كانت إشارة معامل الارتباط موجبة ($r > 0$) توجد علاقة طردية بين المتغيرين، بمعنى أن

زيادة أحد المتغيرين يصاحبه زيادة في المتغير الثاني، والعكس .

3- إذا كان معامل الارتباط قيمته صفراً ($r = 0$) دل ذلك على انعدام العلاقة بين المتغيرين

دور الإحصاء التطبيقي في الدراسات الزلزالية

قوة العلاقة: ويمكن الحكم على قوة العلاقة من حيث درجة قربها أو بعدها عن (± 1) ، حيث أن قيمة معامل الارتباط تقع في المدى $(-1 < r < 1)$ ، وقد صنف بعض الإحصائيين درجات

لقوة العلاقة يمكن تمثيلها على الشكل التالي:

ارتباط عكسي					ارتباط طردي					
قوي جدا	قوي	متوسط	ضعيف	ضعيف جدا	ضعيف جدا	ضعيف	متوسط	قوي	قوي جدا	
-1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	0	0.3	0.5	0.7	0.9	1
نام				متعددة						نام

الجدول (4) علاقة الارتباط الخطي البسيط بين عدد الهزات وحجم التخزين مقد ريمليون متر مكعب خلال

الفترة بين 1995 - 2011

Correlations			
1995-2011		level water in mm3	number of events
level water in mm3	Pearson Correlation	1	.176*
	Sig. (2-tailed)		.012
	Sum of Squares and Cross-products	285030.175	9127.253
	Covariance	1404.090	44.962
	N	204	204
number of events	Pearson Correlation	.176*	1
	Sig. (2-tailed)	.012	
	Sum of Squares and Cross-products	9127.253	9397.922
	Covariance	44.962	46.295
	N	204	204

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

الجدول (5) علاقة الارتباط الخطي البسيط بين عدد الهزات وحجم التخزين مقدر ب مليون متر مكعب خلال

سنة 2011

Correlations			
2011		level water in million m3	number of events monthly
level water in million m3	Pearson Correlation	1	.637*
	Sig. (2-tailed)		.026
	Sum of Squares and Cross-products	15626.836	4260.174
	Covariance	1420.621	387.289
	N	12	12
number of events monthly	Pearson Correlation	.637*	1
	Sig. (2-tailed)	.026	
	Sum of Squares and Cross-products	4260.174	2864.667
	Covariance	387.289	260.424
	N	12	12

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

الجدول (6) علاقة الارتباط الخطي البسيط بين عدد الهزات وحجم التخزين مقدر بالمليون متر مكعب خلال 2010

Correlations			
2010		Level Water in million m3	Number of events
Level Water in million m3	Pearson Correlation	1	-.335
	Sig. (2-tailed)		.288
	Sum of Squares and Cross-products	24813.312	-1336.085
	Covariance	2255.756	-121.462
	N	12	12
Number of events	Pearson Correlation	-.335	1
	Sig. (2-tailed)	.288	
	Sum of Squares and Cross-products	-1336.085	642.917
	Covariance	-121.462	58.447
	N	12	12

الجدول (7) علاقة الارتباط الخطي البسيط بين عدد الهزات وحجم التخزين مقدر بمليون متر مكعب خلال 2009

2009

Correlations			
2009		level Water in million m3	Number of events
level Water in million m3	Pearson Correlation	1	.277
	Sig. (2-tailed)		.383
	Sum of Squares and Cross-products	17034.487	1199.009
	Covariance	1548.590	109.001
	N	12	12
Number of events	Pearson Correlation	.277	1
	Sig. (2-tailed)	.383	
	Sum of Squares and Cross-products	1199.009	1096.250
	Covariance	109.001	99.659
	N	12	12

الجدول (8) علاقة الارتباط الخطي البسيط بين عدد الهزات وحجم التخزين مقدر بمليون متر مكعب خلال 2008

2008		Correlations	
		level Water in million m3	Number of events
Level Water in million m3	Pearson Correlation	1	.054
	Sig. (2-tailed)		.869
	Sum of Squares and Cross-products	13668.486	43.184
	Covariance	1242.590	3.926
	N	12	12
Number of events	Pearson Correlation	.054	1
	Sig. (2-tailed)	.869	
	Sum of Squares and Cross-products	43.184	47.667
	Covariance	3.926	4.333
	N	12	12

الجدول (9) اخذنا نافذة زمنية كل 10 ايام خلال 3 شهور هي 3-4-5 بالنسبة للسنة 2011

2008		Correlations	
		level Water in million m3	Number of events
Level Water in million m3	Pearson Correlation	1	.054
	Sig. (2-tailed)		.869
	Sum of Squares and Cross-products	13668.486	43.184
	Covariance	1242.590	3.926
	N	12	12
Number of events	Pearson Correlation	.054	1
	Sig. (2-tailed)	.869	
	Sum of Squares and Cross-products	43.184	47.667
	Covariance	3.926	4.333
	N	12	12

الجدول (10) اخذنا نافذة زمنية كل 10 ايام خلال 3 شهور هي 3-4-5 بالنسبة للسنة 2009

Correlations			
2009		number of events	level water
number of events	Pearson Correlation	1	-.176
	Sig. (2-tailed)		.650
	N	9	9
level water	Pearson Correlation	-.176	1
	Sig. (2-tailed)	.650	
	N	9	9

النتائج:

1- من خلال دراسة تطور النشاط الزلزالي في منطقة سد 16 تشرين يلاحظ ان نسبة النشاط الزلزالي تزداد مع الزمن خاصة خلال الفترة بين 2009 – 2011

2- من الممكن تقسيم منطقة الدراسة إلى نطاق البور الزلزالية الضحلة (0-15 كم) ونطاق البور الزلزالية العميقة (15- 50 كم) مع تركيز النشاط الزلزالي ضمن نطاق الاعماق الضحلة حيث ان 70% من عدد الهزات الكلي موجود ضمن نطاق الهزات الضحلة كلا النطاقين يسلك سلوك مختلف حيث يلاحظ قيم منخفضة لقيم العامل b في الاعماق الضحلة (0.7 – 0.8) بالمقارنة مع قيم طبيعية (1) ضمن النطاق العميق وهذا يعطينا فكرة عن وجود اجهادات اضافية ضمن نطاق الاعماق الضحلة

3- تم تحديد قدر الزلزال المحتمل الأعظمي ضمن نطاق الدراسة ($M_c = 5-4.5$)

4- في هذا البحث حاولنا ان نجد ادلة عن العلاقة بين دورة التحميل الموسمية للمياه وعدد الهزات المسجلة خلال فترة الدراسة حيث كان من الصعب تحديد العلاقة بين المتغيرات ولكن تركيب الشبكة

الرقمية عام 2009 قدم لنا فكرة عن العلاقة خلال الفترة 2009 - 2011 حيث انه وفي سنة 2009 يلاحظ ان النشاط الزلزالي كان متركز خلال الفترة بين نيسان وحتى آب وحجم التخزين كان في ذروته خلال الفترة بين شباط وحتى حزيران حيث يمكن القول ان هناك طور متأخر مدته شهرين وفي عام 2010 - 2011 كان هناك توافق واضح بين عدد الهزات المسجلة شهريا وبين حجم التخزين

5- وقد تبين من خلال دراسة علاقة الارتباط الخطي بين درجة النشاط الزلزالي و تغير حجم التخزين ان اعلى قيمة للارتباط بين درجة النشاط الزلزالي وحجم التخزين كانت 0.637 خلال سنة 2011 ثم تليها 0.335 خلال سنة 2010 وتليها 0.277 خلال سنة 2009 مع قيم منخفضة لباقي السنين

6- ضرورة اخذ عامل استقرار السد بعين الاعتبار وذلك عن طريق مراقبة عملية الملئ والتفريغ بحيث لا يؤدي عملية التفريغ المفاجئ إلى حدوث تغير في شروط استقرار السد اخذين بعين الاعتبار وجود علاقة ارتباط خطية بين درجة النشاط الزلزالي وحجم التخزين في منطقة السد وخاصة في النصف الاولي من السنة

تبقى النتائج التي حصلنا عليها مرتبطة ارتباط وثيق وحاسم بمعطيات الكتوك الزلزالي الإحصائي وبتائج قياسات حجوم التخزين المأخوذة من قبل إدارة السد

References

1. Gupta, H. K., (1992).Reservoir Induced Seismicity, Elsevier, Amsterdam.
2. Gupta, H.K., Rastogi, B.K., Chadha, R.K., Mandala, P., Sarma, C.S.P., 1997. Enhanced reservoir-induced earthquakes in Konya region, India, during 1993– 95. J. Seismol. 1 (1), 47– 53.
3. Mekkawi, M., A. Hassoup, J.–R. Grasso, and P. Schnegg. 2002. Fractal and spectral analysis of the earthquake sequences along Aswan Lake, SE085, EGS, Nice, April.
4. Mekkawi. M, J. R. Grasso , P. A. Schnegg. 2004. A Long–Lasting Relaxation of Seismicity at Aswan Reservoir, Egypt, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 94, No. 2, pp. 479–492.
5. M. Khir Abdul–Wahed, Ibrahim, A.T., 2010, Preliminary outline of the seismologic all active zones in Syria annals of geophysics, Vol 53, No 4, pp1–9.
6. Omori, F. (1894). Investigation of aftershocks, Rep. Earthquake Inv.Comm. 2,103–139.

7. Simpson, D.W., Leith, W.S., Scholz, C.H., 1988. Two types of reservoir-induced seismicity. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 78 (6), 2025–2035.
8. A.Khaled Al-Maleh., Tarif, S.,(2001). Tectonic and Geologic Evolution of Syria, Vol. 6, No. 4, pp. 1–46.
9. A.S. Karakhanian, A. Avagyan, A.–M. Al-Kafri, M. Rukieh.(2007)

RECENT GEODYNAMICS OF WESTERN SYRIA,pp. 1–19.

- 10.Makdisi F. I., Seed, H. B. “Simplified procedure for estimating dam and embankment earthquakeinduced deformations.” *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE* 1978; 104(GT7):849–867.
- 11.NARITA, K 2000 Design and Construction of Embankment Dams pp. 1–18.
- 12.S. Soralump K. Tansupo. 2007. Safety analyses of Srinagarind dam induced by earthquakes using dynamic response analysis method:1–8
13. Newmark, N.M. 1965. Effect of earthquake on dams andembankments. *Geotechnique* 15 (2): 139–1

