

التحليل الديناميكي لخزانات المياه العالية مع اعتبار الفعل المتبادل سائل-منشأ-تربة بطريقة العناصر المنتهية

الدكتور عصام ناصر¹

الدكتور مالك حسن²

منهل موسى³

تاريخ الإيداع 2 / 6 / 2016. قُبل للنشر في 2 / 1 / 2017

□ ملخص □

تعتبر خزانات المياه العالية من المنشآت الخاصة والهامة نظرا لاستخدامها في حفظ المياه اللازمة للشرب أو للسيطرة على الحرائق أثناء الهزات الأرضية. كما يتم استخدامها لتخزين مختلف السوائل مثل مشتقات النفط في المدن والمناطق الصناعية. وبالتالي يجب ان تبقى هذه المنشآت في طور الخدمة اثناء وقوع الزلزال كي تؤدي الدور الوظيفي الهام المناط بها. يختلف السلوك الديناميكي للخزانات بشكل عام عن بقية المنشآت نظرا لاحتوائها على سائل وبسبب عدم انتظام صلابتها مع الارتفاع حيث الكتلة الرئيسية لها تقع في الاعلى . في هذا البحث تمت دراسة نموذج رياضي لخزان مياه عالي من البيتون المسلح محمول على جملة اطارية بطريقة العناصر المنتهية، بطاقة تخزين 3900م³ وتمثيل كتلة السائل في الحلة كمجموع لكتلتين مستقلتين يطلق عليهما الكتلة الدفعية (Impulsive mass) و الكتلة الحملية (Convective mass) حسب توصيات الكود الاوربي 8 لعام 2006 لثلاث حالات ملئ ، نصف ملئ وفارغ كما قمنا بنمذجة التربة بطريقة العناصر المنتهية مع دراسة عناصر محيطية ماصة للطاقة (مخمدات) لمنع تراكم وتداخل الأمواج الزلزالية. وقمنا باعتماد طريقة الاتصال الصلب بين التربة و الخزان ثم أجرينا التحليل الديناميكي لهذه الجملة تحت تأثير السجل الزمني لزلزال السنترو حيث تسارعه الاعظمي 0.32g باستخدام برنامج ABAQUS. وتم حساب مقادير الاستجابة الديناميكية للخزان المتمثلة بالقص القاعدي، عزم الانقلاب، إزاحة الخزان وإزاحة الفيضان. وقمنا بإجراء المقارنات بين النتائج لبيان مدى تأثير مرونة التربة على قيم الاستجابة الديناميكية للخزان وكذلك تأثير فيضان السائل . بينت النتائج أن قيم الاستجابة للخزان تتأثر بشكل كبير عند دراسة التفاعل المتبادل (سائل - منشأ - تربة) حسب الحالة المدروسة ودرجة امتلاء الخزان وحسب خصائص تربة التأسيس وكذلك فيضان السائل في الحلة الذي يؤثر بشكل كبير على قيم الاستجابة الديناميكية للخزان .

الكلمات المفتاحية: خزانات المياه العالية- الفعل المتبادل (سائل-منشأ-تربة) - التحليل الديناميكي

¹ أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية - سورية
² أستاذ مساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية - سورية
³ طالب دكتوراه في قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية - سورية

Dynamic analysis for elevated water tank considering interaction (fluid-tank-soil) by finite element method

Dr. Issam Nasser¹
Dr. Malek hasan²
Manhal mossa³

(Received 2 / 6 / 2016. Accepted 2 / 1 / 2017)

□ ABSTRACT □

Elevated water tanks are considered as important and vital structures due to its function as drinking water reservoirs and for firefighting during earthquakes. In addition, these tanks are used for the storing of several liquids such as oil derivatives in industrial areas. Therefore, these structures must be kept operating during earthquakes. However, the seismic behavior of tanks is different from the behavior of other structures as they contain liquid and due to the irregularity of distributing of their rigidity with their height because the main mass of the tanks is located in the upper portion of the structure. In this research, a study of a model of reinforced concrete elevated water tank, with capacity of 900 cubic meters, supported with frame system is carried out using finite element method (FEM). The liquid mass contained in the container is modeled as the sum of two separated masses i.e. impulse mass and convective mass following the recommendations of Eurocode 8 , 2006, for three cases: empty, semi-empty and full container. The soil is modeled using (FEM) with energy absorbent boundaries (dampers) to prevent the combination of earthquakes waves. the rigid contact between soil and tank is considered, then a dynamic analysis for the system is carried out under the effect of El-Centro time history with peak ground acceleration of 0.32g using ABAQUS software. A comparison of the results is done to determine the effect of soil flexibility and liquid flood on the dynamic response of the tank. Results showed that the response of the tank significantly affected when (liquid – structure – soil) interaction is considered by the studied case, the filling phase of the tank, the properties of the foundation soil and liquid sloshing from the container.

Keywords: dynamic analysis –fluid-structure-soil interaction –finite element method

¹Professor- Department of Structural Engineering-Civil Engineering-Tishreen University–Lattakia–Syria

²Assistent Professor– Dep. Geotecnic of Engineering, Civil Engineering-Tishreen University–Lattakia Syria

³Postgraduate Student- Dep. of Structural Engineering, Civil Engineering-Tishreen University–Lattakia–Syria

مقدمة:

تستخدم خزانات المياه العالية عادة لتخزين المياه للنشاطات المحلية وأغراض مقاومة الحرائق. كما أن أداءها الآمن يعتبر مهماً جداً خلال الهزات العنيفة. وقد يسبب انهيار هذه المنشآت أخطاراً كبيرة على المواطنين نتيجة نقص المياه أو صعوبة إيقاف الحرائق خلال الزلازل. وأظهرت بعض الخزانات العالية مقاومة غير كافية للزلازل التي حدثت سابقاً مما أدى لخروجها من الخدمة في أعمال الطوارئ الأخرى. وتوجد العديد من الدراسات التي تم فيها تحليل السلوك الديناميكي لخزانات السوائل حيث ركزت معظم هذه الدراسات على الخزانات الأرضية والبعض منها تركزت على سلوك الخزانات العالية. تمتاز هذه الخزانات بوزنها الكبير حيث الجزء الأكبر منها مركز عند منسوب مرتفع عن القاعدة. وبسبب خصوصية هذه المنشآت ويهدف التأكد من قدرتها على مقاومة الحمولات الزلزالية وما ينجم عنها من قوى قص وعزم انقلاب دعت الحاجة لتحريات مفصلة عنالفعل المتبادل (سائل - منشأ - ترية). إن حركة واستجابة الماء وتفاعله مع الخزان أثناء الحدث الزلزالي سيؤثر على قيم الدور الأساسي للاهتزاز حيث يوجد العديد من الطرق لدراسة الاستجابة الديناميكية لخزانات المياه العالية البيوتونية بتأثير الزلازل متضمنة تحليل مسائل الفعل المتبادل (سائل - منشأ - ترية) منها طريقة العناصر المنتهية (FEM) وتبين الدراسات السابقة أن دقة النموذج الرياضي يمكن أن يغير في قيم نتائج التحليل كقوى القص وعزم الانعطاف عند قاعدة خزان المياه بمقدار 10% مقارنة مع نموذج العناصر المنتهية (FEM). حيث يحتاج تحليل هذه النماذج لبرامج هندسية خاصة قادرة على التحليل الديناميكي مع اعتبار خصائص ترية الاستناد وخصائص الكتل الممثلة لحركة الماء ضمن الحلة لمعرفة القوى والاجهادات الهيدروديناميكية الناتجة عن حركة السائل بفعل الزلازل مثل برامج ANSYS ، ABAQUS ، ... إلخ.

أهمية البحث وأهدافه:

تتم أهمية البحث في مقارنة السلوك الفعلي لخزانات المياه العالية أثناء الحدث الزلزالي. من خلال التمثيل الصحيح للجمل (سائل - منشأ - ترية) كجمل تفاعلية متكاملة وتجسيد حركتها الواقعية بفعل الهزات الأرضية. وهذا الأمر يتطلب القيام بالخطوات التالية:

محاكاة السلوك الفعلي لخزانات المياه العالية من خلال النمذجة الدقيقة للجمل (سائل - منشأ - ترية) بمساعدة برنامج [1](ABAQUS 6.11).

تجاسة تأثير السلوك التفاعلي لترية التأسيس بشكل أدق من طريقة التمثيل النابضي التي تعتمد في تحديد صلابة هذه النواض على عوامل بالاست .

إجراء التحليل الديناميكي للموديل الرياضي ثلاثي الأبعاد (3D) (منشأ - ترية) باستخدام برنامج (ABAQUS) واستنتاج مقادير الاستجابة

تحديد قيم الاستجابة الديناميكية للجمل التفاعلية (سائل - منشأ - ترية) المتمثلة بالضغط الهيدرو ديناميكي للسائل على جدران الخزان - القص القاعدي - عزم الانقلاب - قيم الاجهادات - الانتقالات.

طرائق البحث ومواده:

1. الدراسة المرجعية:

أجريت العديد من الدراسات على خزانات المياه العالية حيث طرح الباحث [2]. Westergaard عام 1931 طريقة الكتلة المضافة عوضاً عن السائل الموجود ضمن الخزان من أجل سهولة النمذجة أثناء عملية التحليل، بعدها قام الباحث [3]. Housner (1963) بتطوير هذه الطريقة فعمل على تمثيل السائل ضمن الخزان بكتلتين (حملية ودفعية) تمثلان كتلة السائل وحمولة الفيضان ووضع العلاقات المناسبة لحساب هذه الكتل حيث تمكن فصل الضغط المتولد في السائل والنتاج عن الحركة الديناميكية إلى جزأين دفعي وحملي فعندما يتعرض السائل ضمن الخزان لمركبة الهزة الأرضية الأفقية فإن جدران الخزان والسائل تتعرض لتسارع أفقي. ويسلك السائل في الجزء السفلي من الحلة سلوك كتلة مرتبطة بشكل صلب بجدران الحلة. ويطلق على هذه الكتلة اصطلاحاً كتلة السائل الدفعية (impulsive mass) وتتسارع مع جدران الخزان وتشكل ضغطاً هيدروديناميكياً دفعي على جدران الخزان وبشكل مشابه فإن كتلة السائل في المنطقة العلوية من الخزان تتعرض لحركة فيضان. ويطلق على هذه الكتلة اصطلاحاً كتلة السائل المضطربة (الحملية) وتنتج ضغطاً هيدروديناميكياً اضطرابياً على جدران وقاعدة الحلة. ومن أجل تمثيل هاتين الكتلتين وبهدف تضمين أثر الضغط الهيدروديناميك في التحليل تم اعتماد نموذج (كتلة - نابض) من أجل الخزانات الأرضية ونموذج الكتلتين من أجل الخزانات العالية. حيث طور الباحثان في [4] Haroun and Ellaihy نموذجاً يتضمن تحليل خزانات عالية صلابة معرضة للاهتزاز والدوران. وتحرى الباحثان في [5] Resheidat and Sunna سلوك خزان عالي ذو مقطع مستطيل باعتبار الفعل المتبادل (منشأ - تربة) خلال الزلزال. ثم حلل الباحثان في [6] Haroun and Temraz خزانات عالية مدعمة بشكل X ومشيده على أساسات معزولة لتحري أثر التفاعل الديناميكي (أساس - تربة) لكنهما أهملتا تأثير الحركة الاضطرابية للسائل على الاستجابة الديناميكية للخزان و أجرى الباحثان في [7] Marashi and Shakib اختبار اهتزاز محيطي لتقييم الخواص الديناميكية للخزانات العالية. واقترح الباحث [8] Dutta نظام انشائي بديل للخزان للتقليل من قابلية الفتل. ودرس الباحث [9] Dutta النظام الانشائي الحامل لخزانات عالية بقابلية فتل منخفضة واقترح معادلات تجريبية تقريبية لصلابة الفتل والصلابة الأفقية والجانبية لأنظمة حاملة إنشائية إطارية مختلفة كما قام الباحث H. Matinmanesha [10] بإدخال الاثر التفاعلي لتربة مع المنشأ للمباني العالية واختار في دراسته التربة الرملية اما الباحث S. Bozorgmehrnia [11] قام بدراسة تأثير نسبة امتلاء الخزان على الاستجابة الديناميكية للخزان دون ان يأخذ بعين الاعتبار الاثر التفاعلي لتربة التأسيس.

2. التحليل الديناميكي لخزانات المياه العالية:

المعادلات التفاضلية الحاكمة لاستجابة الجمل المتعددة درجات الحرية (MDF) بتأثير تسارع أرضي $\ddot{u}_g(t)$ ناجم عن هزة أرضية من الشكل:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P_{eff}(t)\} \quad (1)$$

حيث $[M]$, $[C]$, $[K]$ مصفوفات الصلابة، التخماد والكتلة على الترتيب.

$$\{P_{eff}(t)\} = \{m\}\ddot{u}_g(t)$$

$$\{P_{eff}(t)\} = -[m]\ddot{u}_g(t)$$

لإيجاد حل جملة المعادلات التفاضلية (1) نعتمد الى فك الترابط بين هذه المعادلات من خلال علاقة تحويل

الاحداثيات حيث:

$$u_{(t)} = \sum_{n=1}^n \phi_n q_n(t) \quad (2)$$

حيث : ϕ_n : شكل النمط

$q_n(t)$: الاحداثيات النمطية المرتبطة بالزمن .

ببتبديل المعادلة (2) ومشتقتها الاول والثاني بالنسبة للزمن في المعادلة (1) وبعد جداء طرفي المساواة ب ϕ_n^T

منقول شعاع النمط [وبالاعتماد على الخاصية التعامدية للأنماط ينتج :

$$[M]\{\ddot{q}\} + [C]\{\dot{q}\} + [K]\{q\} = \{P_{eff}(t)\} \quad (3)$$

وهي تمثل جملة N معادلة غير مترابطة بدلالة الاحداثيات النمطية $q(t)$ وفيها :

مصفوفة الكتل النمطية المعممة : $[M] = \{\phi^T\}[m]\{\phi\}$

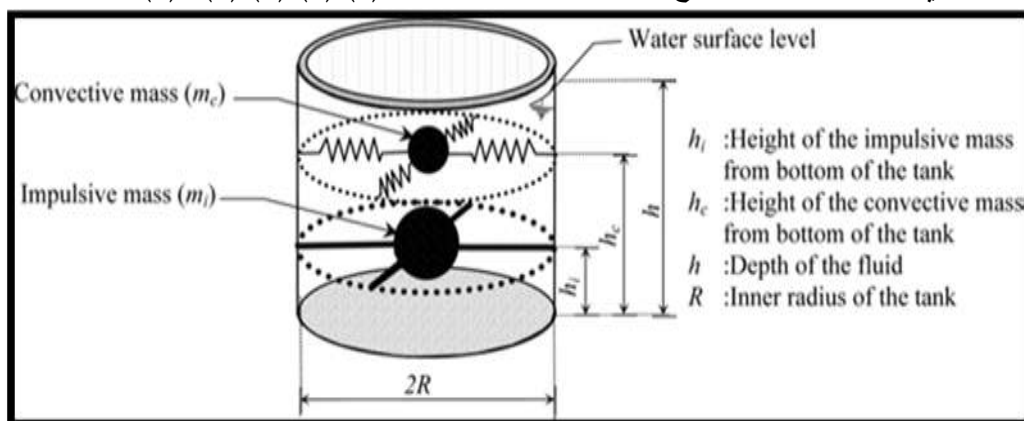
مصفوفة التخماد المعممة : $[C] = \{\phi^T\}[c]\{\phi\}$

مصفوفة الصلابات المعممة : $[K] = \{\phi^T\}[k]\{\phi\}$

ويوضح الشكل (1) تمثيل كتلة السائل في الحلة وفقا للباحث [3] housner حيث تعطى قيم الكتل

الدفعية m_i (impulsive mass) والحملية m_c (convective mass) ومكان توضعهما بالنسبة لقاعدة الحلة وكذلك

صلابة النابض k الذي تتصل به الكتلة m_c مع جدران الخزان وفقا للعلاقات (4)،(5)،(6)،(7) و(8).



الشكل (1) تمثيل السائل وفقا للباحث [11] housner

$$m_i = M \frac{\tanh 1.7 \frac{R}{h}}{1.7 \frac{R}{h}} \quad (4)$$

$$m_c = M \frac{0.71 \times \tanh 1.8 \frac{h}{R}}{1.8 \frac{h}{R}} \quad (5)$$

$$k = \frac{4.75gM_c^2h}{MR^2} \quad (6)$$

$$h_i = 0.38h \left(1 + \alpha \left(\frac{M}{M_i} - 1 \right) \right) \quad (7)$$

$$h_c = h \left(1 - 0.21 \left(\frac{M}{m_c} \right) \left(\frac{R}{h} \right)^2 + 0.55\beta \frac{R}{h} \sqrt{0.15 \times \left(\frac{RM}{hM_c} \right)^2 - 1} \right) \quad (8)$$

M. الكتلة الكلية لمياه الخزان ، R. نصف قطر الخزان ، h. ارتفاع الماء ، mi. الكتلة الدفعية ، mc. الكتلة الحملية ، hi. ارتفاع الكتلة الدفعية من القاعدة ، hc. ارتفاع الكتلة الحملية من القاعدة ، k. صلابة النابض ، h. ارتفاع السائل في الخزان و R. قيمة نصف قطر الحلة.

وقدمت الهيئة الأوروبية لوضع الكودات كوداً جديداً في عام 2006 أطلق عليه اسم الكود الأوروبي - 8. ويهتم القسم الرابع من هذا الكود بخزانات المياه والتربة حيث قاموا بتطوير علاقات [3] housner السابقة ووضعوا الجدول (1) الذي يمكن حساب قيم الكتل الممثلة للسائل بسهولة وفقاً لقيمة h/R. إضافة إلى حساب قيمة دور الكتلة الحملية وقيمة دور الكتلة الدفعية وفقاً للعلاقتين (9) و (10) .

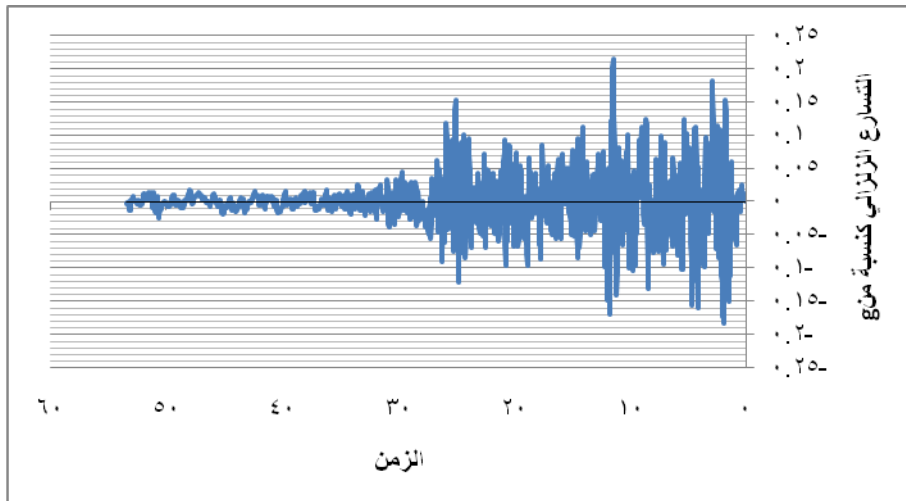
$$T_i = C_i \frac{h\sqrt{\rho}}{\sqrt{s/R\sqrt{E}}} \quad (9)$$

$$T_c = C_c\sqrt{R} \quad (10)$$

الجدول (1) القيم المستخدمة لتمثيل السائل وفقاً للكود الأوروبي - 8 لعام 2006.

h/R	C _i	C _c	m _i /m _w	m _c /m _w	h _i /h	h _c /h
0.3	9.28	2.09	0.176	0.824	0.400	0.521
0.5	7.74	1.74	0.300	0.700	0.400	0.543
0.7	6.97	1.60	0.414	0.586	0.401	0.571
1.0	6.36	1.52	0.548	0.452	0.419	0.616
1.5	6.06	1.48	0.686	0.314	0.439	0.690
2.0	6.21	1.48	0.763	0.237	0.448	0.751
2.5	6.56	1.48	0.810	0.190	0.452	0.794
3.0	7.03	1.48	0.842	0.158	0.453	0.825

تم التحليل بطريقة السجل الزمني لزلزال سنترو حيث التسارع الاعظمي 0.32g كما هو وارد بالشكل (2).



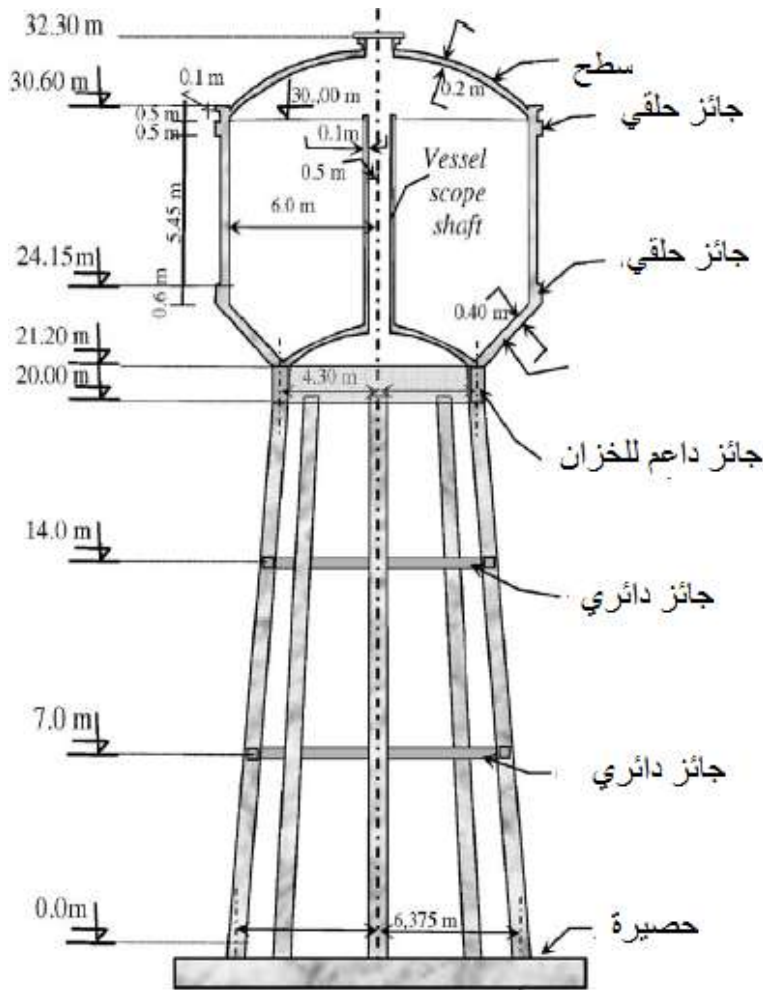
الشكل (2) السجل الزمني لزلزال سنترو

3- خصائص النموذج المدروس :

كتطبيق عملي في هذا البحث تم اختيار خزان مياه عالي من البيتون المسلح هيكله الحامل منشأً إطاري حيث بلغ ارتفاعه حوالي 32م وطاقته التخزينية 900 م³. و يستخدم هذا النوع من الخزانات بشكل واسع في الوقت الحاضر حول العالم وبيين الشكل (2) تفاصيل النموذج الرياضي لخزان المياه العالي المدروس والمتناظر. وتم توضيح خصائص هذا الخزان في الجدول(2)و أعطت قيم خصائص مواد الانشاء لخزان مع خصائص تربة التأسيس بالجدول رقم (3).

الجدول (2) خصائص خزان المياه العالي المدروس

خصائص حلة الخزان		خصائص الاعمدة والجوائز الحاملة وأبعاد القاعدة	
900 m ³	حجم الحلة	1.2x1.2 m	ابعاد الاعمدة
12 m	القطر الداخلي للحلة	7+7+6=20 m	ارتفاع الاعمدة
10.6 m	ارتفاع الحلة	1.2x0.6 m	ابعاد الجوائز الطابق الاول
0.6x0.6m	ابعاد الجائز العلوي	1.2x0.6m	ابعاد الجوائز الطابق الثاني
0.8x0.6 m	ابعاد الجائز السفلي	1.2x1 m	ابعاد الجوائز للطابق الثالث
0.2 m	سماكة السقف العلوي	0.5 m	سماكة القاعدة
0.4 m	سماكة جدران الحلة	9 m	نصف قطر القاعدة



الشكل (3) النموذج الرياضي لخزان المياه العالي المدروس [11].

نوضح بالجدول (3) قيم خصائص مواد الانشاء للخزان المدروس وكذلك خصائص تربة التأسيس

الجدول (3) خصائص المواد المكونة للنموذج

concrete	soil	الخصائص
2500	1800	كثافة المادة (kg/m ³)
21000	35	معامل يونغ Mpa
0.2	0.4	عامل بواسون

نورد بالجدول رقم (4) قيم الكتل الممثلة للسائل في الخزان ومناسيب توزيعها بالنسبة لقاعدة الحلة وذلك بالاعتماد على الجدول (1) المعتمد في الكود الاوربي -8 باعتبار ان $\gamma_w = 1000 \text{ kg/m}^3$

حالة الخزان مليء $h/R = 1.5$ والتالي يكون $C_i = 6.06$ و $C_e = 1.48$

$$m_i/m_w = 0.686$$

$$mc/mw = 0.314$$

$$hi/hw = 0.439$$

$$hc/hw = 0.690$$

حالة الخزان نصف ملئ $h/R=0.7$ والتالي يكون $C_i=6.97$ و $C_e=1.6$

$$mi/mw = 0.414$$

$$mc/mw = 0.586$$

$$hi/hw = 0.401$$

$$hc/hw = 0.571$$

الجدول (4) يبين بارامترات الكتل (الدفعية و الحملية) لنمذجة السائل وفق الكود الاوربي - 8

الواحدات	نصف ملئ	ملئ	حالة ملئ الخزن
kg	18630	61740	قيمة الكتلة الدفعية (Impulsive mas)
kg	26370	28260	قيمة الكتلة الحملية (convective mas)
m	1.804	3.951	ارتفاع الكتلة الدفعية (hi)
m	2.57	6.21	ارتفاع الكتلة الحملية (hc)
kn/m	50	103.3	ثابت صلابة النابض (k)
m	4.5	9	ارتفاع الماء بالحلة (h)
m	6	6	نصف قطر الحلة (R)

4- طريقة البحث (النمذجة العددية):

وهي تشمل كل الخطوات الاساسية لإنشاء النموذج الكامل ببرنامج ABAQUS/CAE. وتتم عبر الخطوات

التالية:

إنشاء العناصر و تعريف أبعاد النموذج (part).

تعريف خواص المادة والمقطع (property) .

تجميع الموديل الرياضي المعد للتحليل (assembly).

وضع اعدادات التحليل (steps) .

إدراج خواص الفعل المتبادل بين السائل والتربة والخزان (interaction).

تطبيق الشروط الطرفية والحمولات المطبقة. (load + boundary condition)

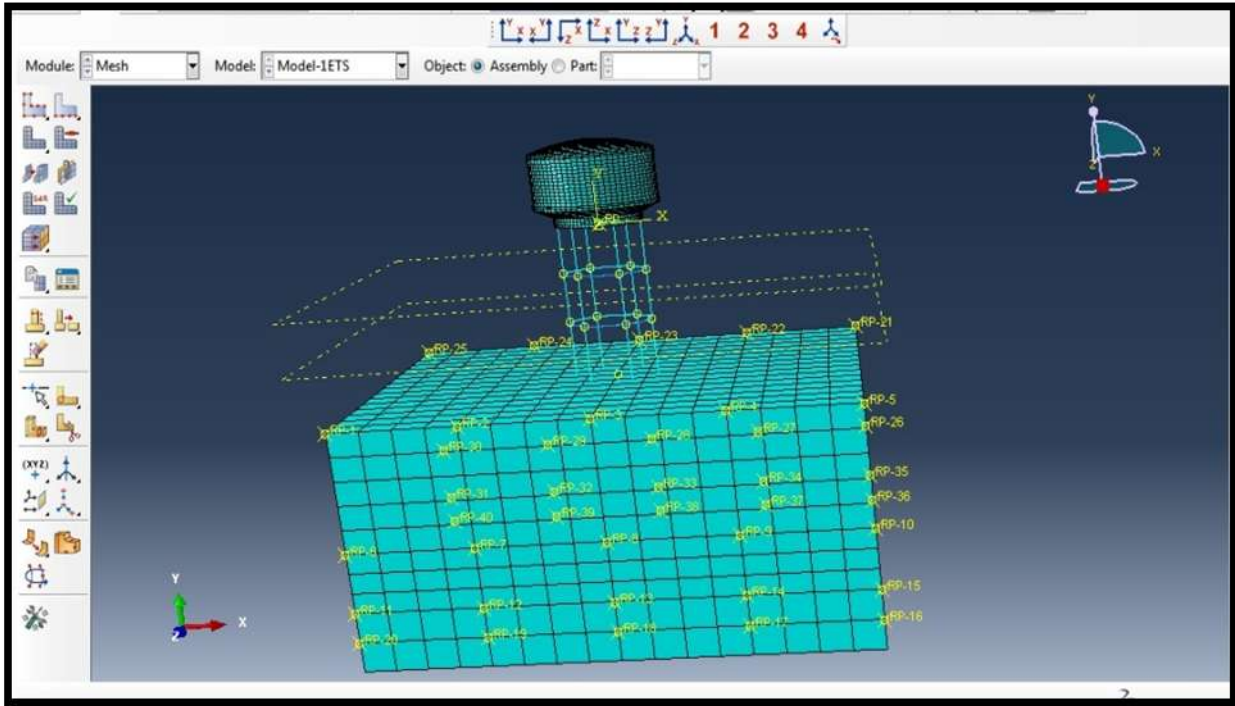
تعريف واسناد العناصر الماصة للطاقة (observation boundary condition)

تقسيم الموديل الى عناصر منتهية عبر (mesh)

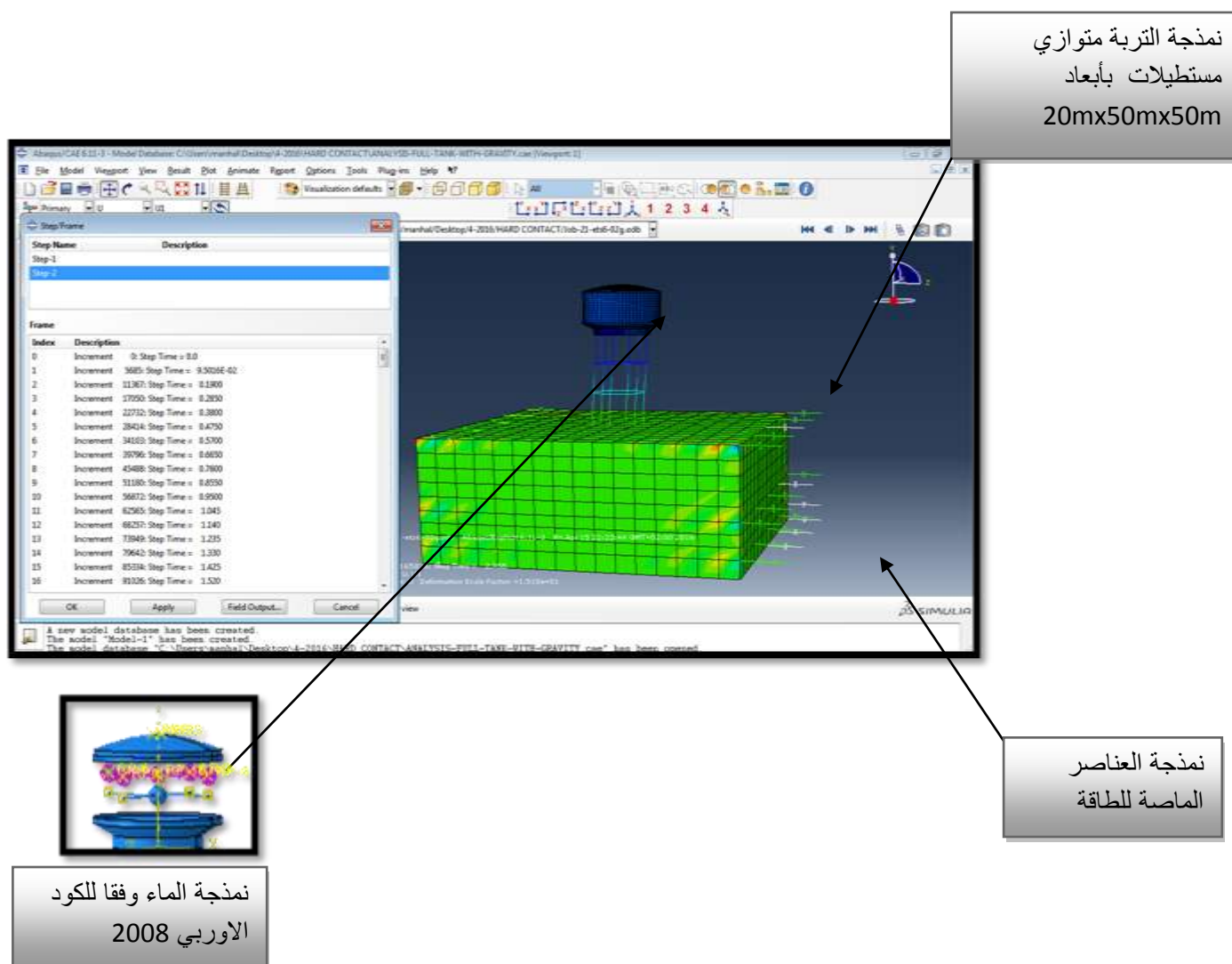
اجراء التحليل الديناميكي (dynamic explicit) ومقارنة النتائج.

يبين الشكل (4) شبكة العناصر المنتهية للنموذج الرياضي المدروس ويوضح الشكل (5) العناصر الماصة

للطاقة وكذلك طريقة نمذجة الماء ضمن حلة الخزان وفقا لطريقة الكود الاوربي -8 لعام 2006 .



الشكل (4) شبكة العناصر المنتهية للنموذج الرياضي المدروس .



الشكل (5) النموذج الرياضي لخزان المياه العالي المدروس

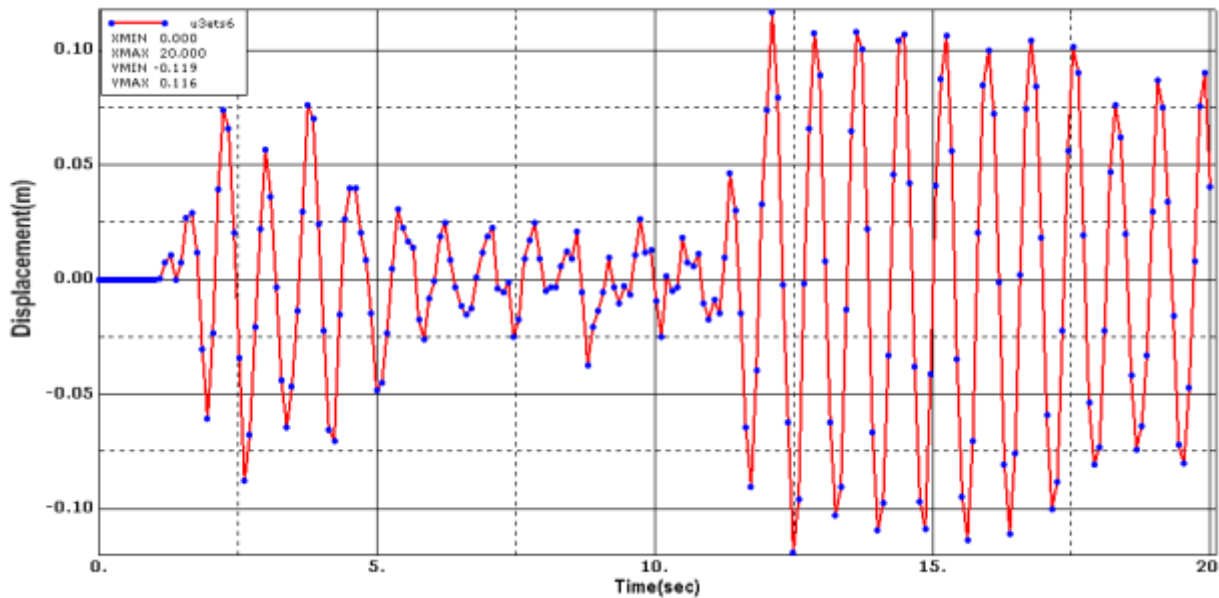
5- التحليل الديناميكي للنموذج المدروس:

يملك برنامج ABAQUS/CAE عدة طرق للتحليل الديناميكي اهمها (dynamic implicit و dynamic explicit) وهناك فرق بين الطريقتين ففي طريقة dynamic explicit يتم استنباط الحل بناء على معادلات وقوانين تتضمن حساب مصفوفة الصلابة الرابطة بين الاجهاد و التشوه خلال كل دور انتقال صغير ضمن الانتقال الكلي والدور الكلي. أما dynamic explicit فتقوم بحساب التوازن الكلي للموديل بدقة خلال أزمته متناهية في الصغر. في بحثنا تم استخدام التحليل dynamic explicit للحصول على الاستجابة الحقيقية الدقيقة تحت تأثير السجل الزمني لزلزال السنترو الشكل رقم (1).

النتائج والمناقشة:

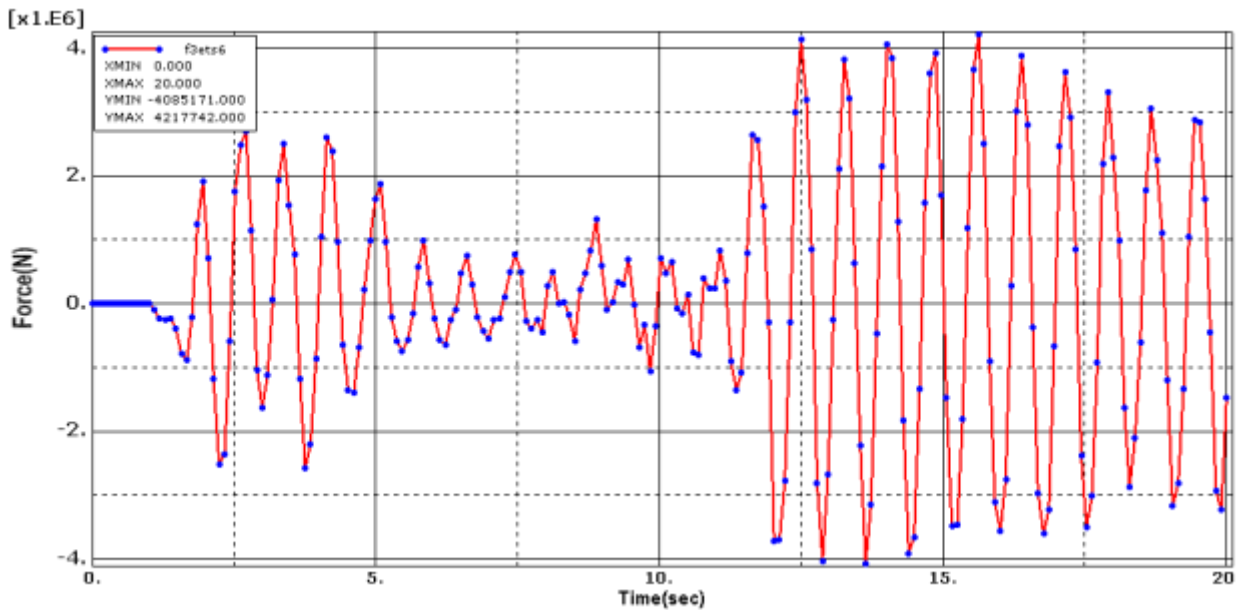
تمت قراءة نتائج الاستجابة الديناميكية المتمثلة بالبارامترات التالية (ازاحة قمة الخزان - القص القاعدي -عزم الانقلاب - ازاحة سطح السائل ضمن الحلة) لحالات ملئ مختلفة للخزان .

حيث يوضح الشكل (6) العلاقة بين انزياح قمة الخزان الفارغ ب m وزمن تطبيق الحمولة الزلزالية ب sec . ووصلت قيمة الازاحة الاعظمية الى 12 cm .



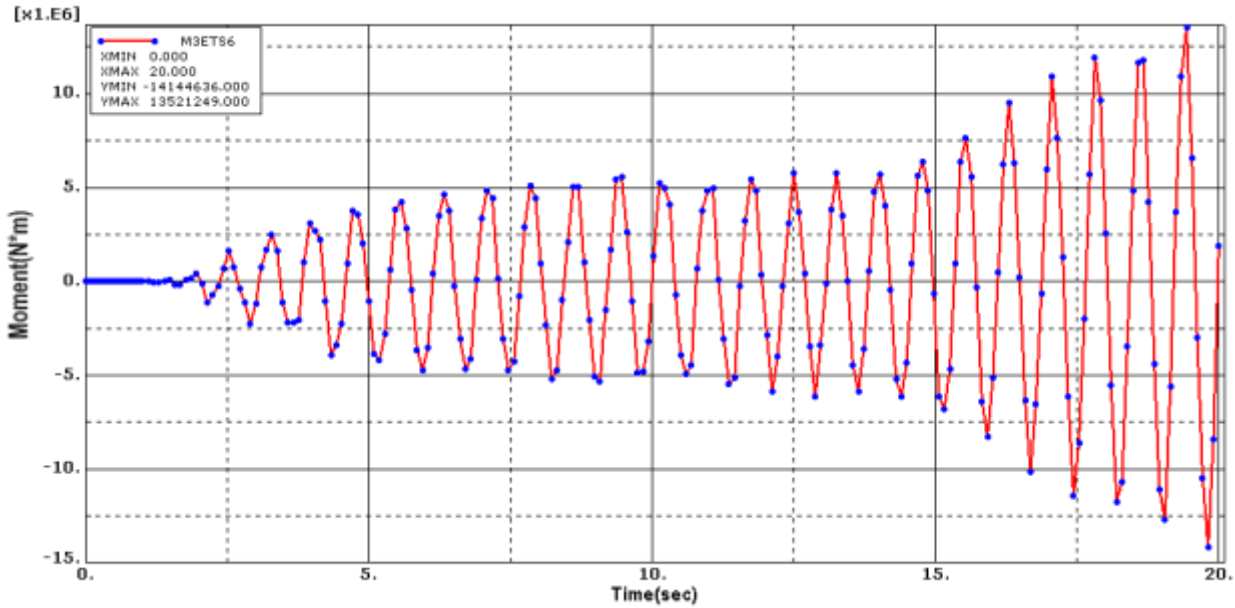
الشكل (6) ازاحة قمة الخزان حالة الخزان فارغ

يوضح الشكل (7) العلاقة بين قيمة قوة القص القاعدية ب N وزمن تطبيق الحمولة الزلزالية ب sec ووصلت قيمة قوة القص القاعدية الاعظمية للخزان الفارغ الى 4217 Kn .



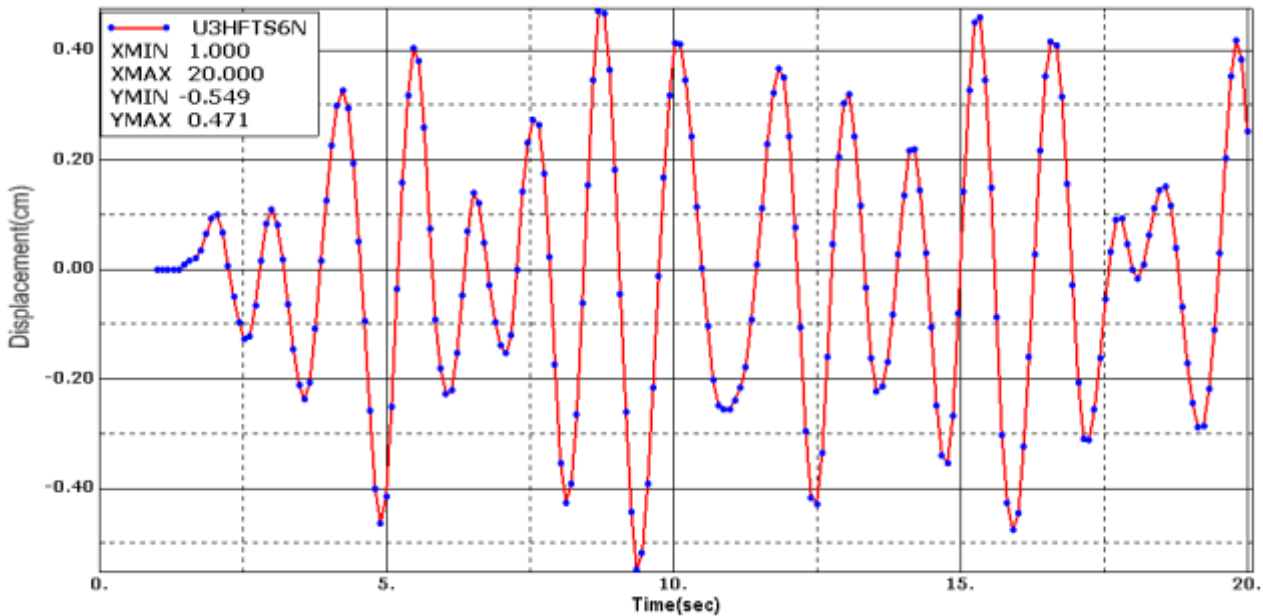
الشكل (7) قيمة قوة القص القاعدية الخزان حالة الخزان فارغ

يوضح الشكل (8) العلاقة بين قيمة عزم الانقلاب ب $N \cdot m$ وزمن تطبيق الحمولة الزلزالية ب sec ووصلت قيمة عزم الانقلاب الاعظمي للخران الفارغ الى $14144Kn \cdot m$.



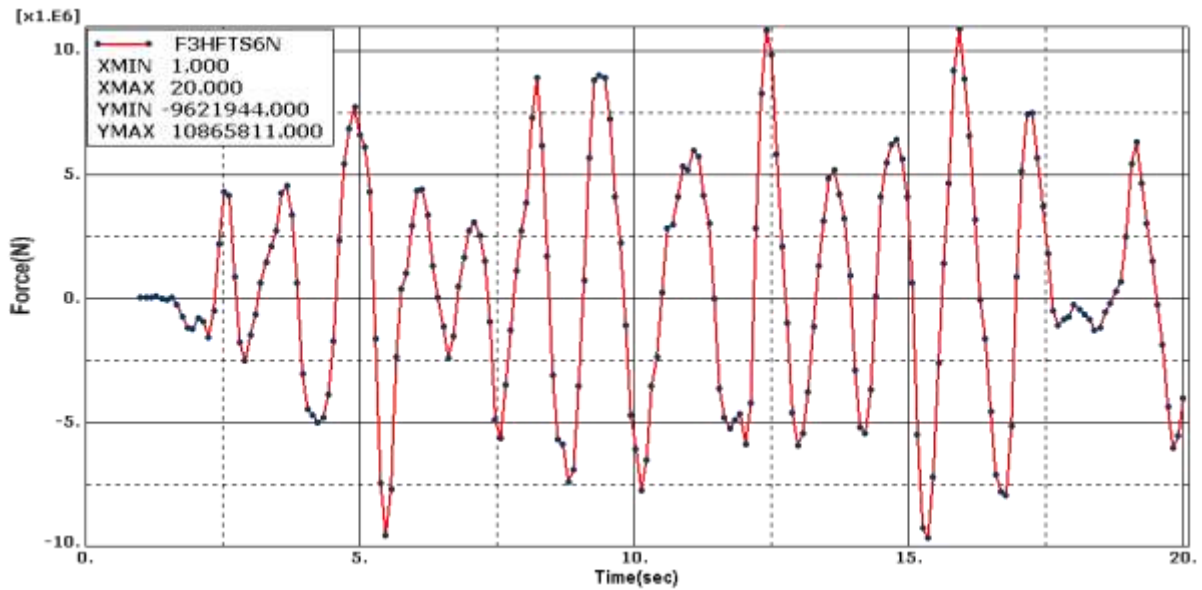
الشكل (8) عزم الانقلاب الخزان حالة الخزان فارغ

يوضح الشكل (9) العلاقة بين انزياح قمة الخزان النصف ملئ ب m وزمن تطبيق الحمولة الزلزالية ب sec ووصلت قيمة الازاحة الاعظمية الى $54.9 cm$.



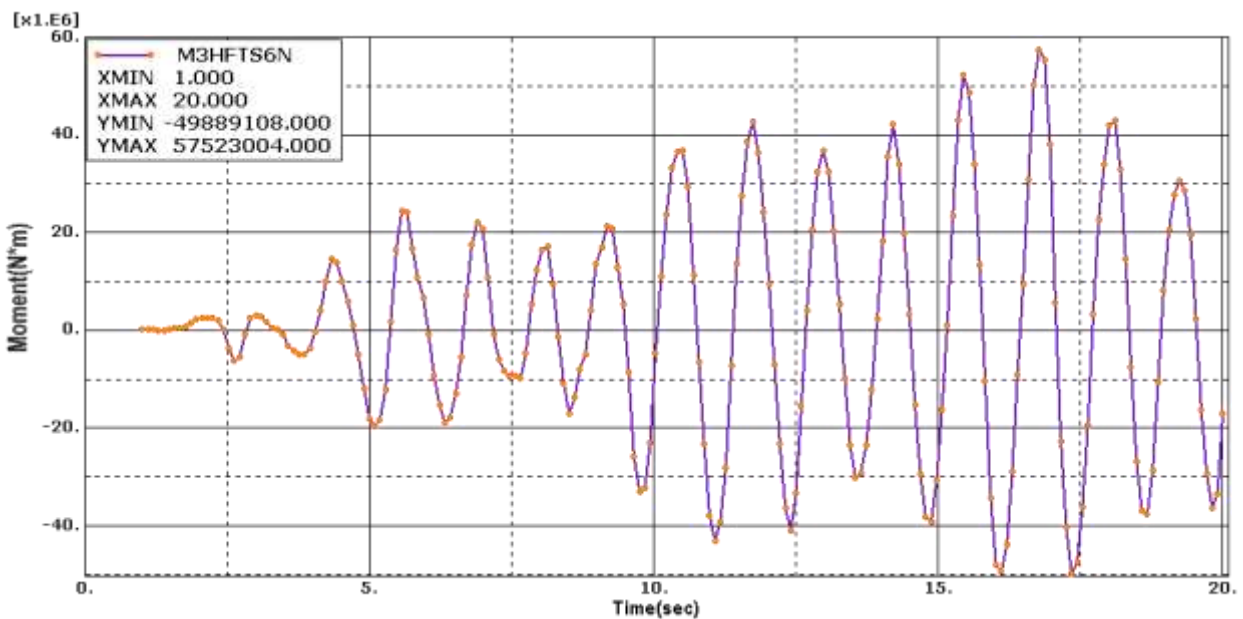
الشكل (9) مخطط ازاحة قمة الخزان حالة نصفملئ

يوضح الشكل (10) العلاقة بين قيمة قوة القص القاعدية ب N وزمن تطبيق الحمولة الزلزالية ب sec ووصلت قيمة قوة القص القاعدية الاعظمية للخران النصف ملئ الى $10865Kn$.



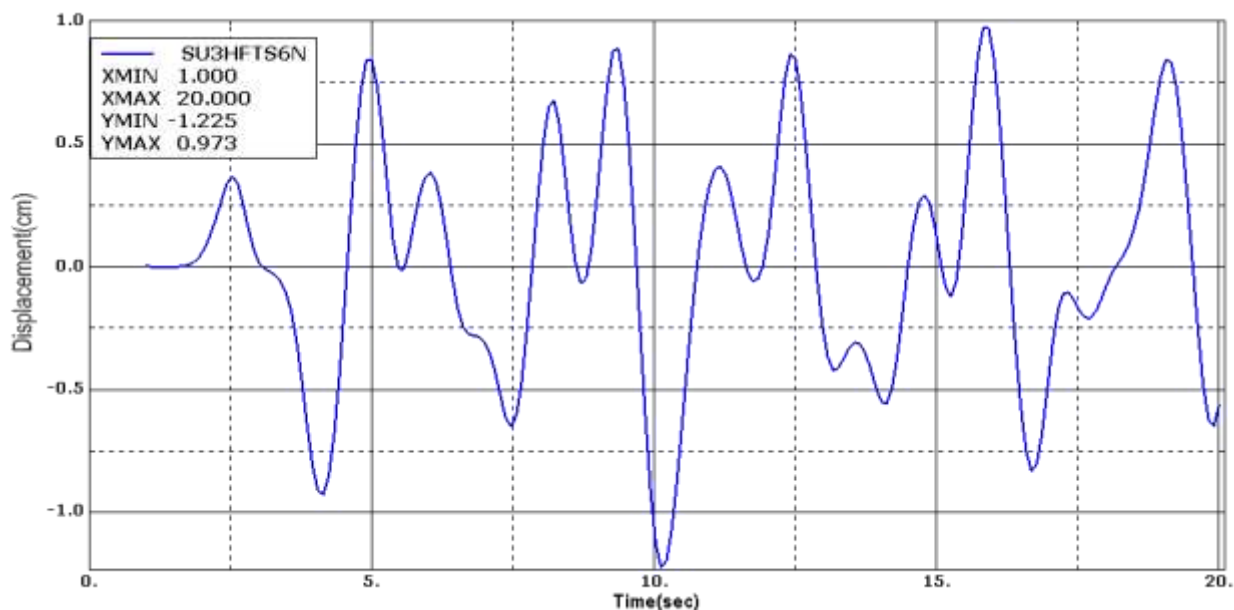
الشكل (10) مخطط قوة القص القاعدية حالة الخزان نصف ملي

يوضح الشكل (11) العلاقة بين قيمة عزم الانقلاب ب $N \cdot m$ وزمن تطبيق الحمولة الزلزالية ب sec ووصلت قيمة عزم الانقلاب الاعظمي للخزان النصف ملي الى $57523 Kn \cdot m$.



الشكل (11) مخطط عزم الانقلاب القاعدية حالة الخزان نصف ملي.

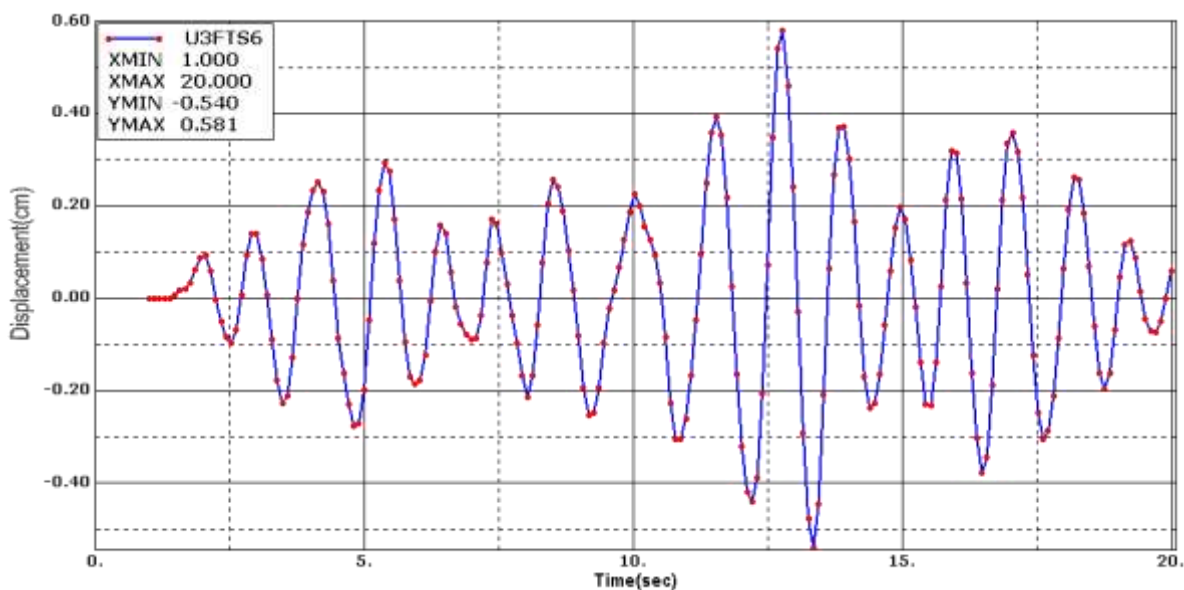
يوضح الشكل (12) العلاقة بين قيمة ازاحة الموجه الفيضانية للماء للخزان النصف ملي ب m وزمن تطبيق الحمولة الزلزالية ب sec ووصلت قيمة ازاحة الموجه الفيضانية الى $122cm$.



الشكل (12) قيمة ازاحة الموجه الفيضانية للماء حالة الخزان نصف ملئ.

يوضح الشكل (13) العلاقة بين انزياح قمة الخزان ملئ ب m وزمن تطبيق الحمولة الزلزالية ب sec ووصلت

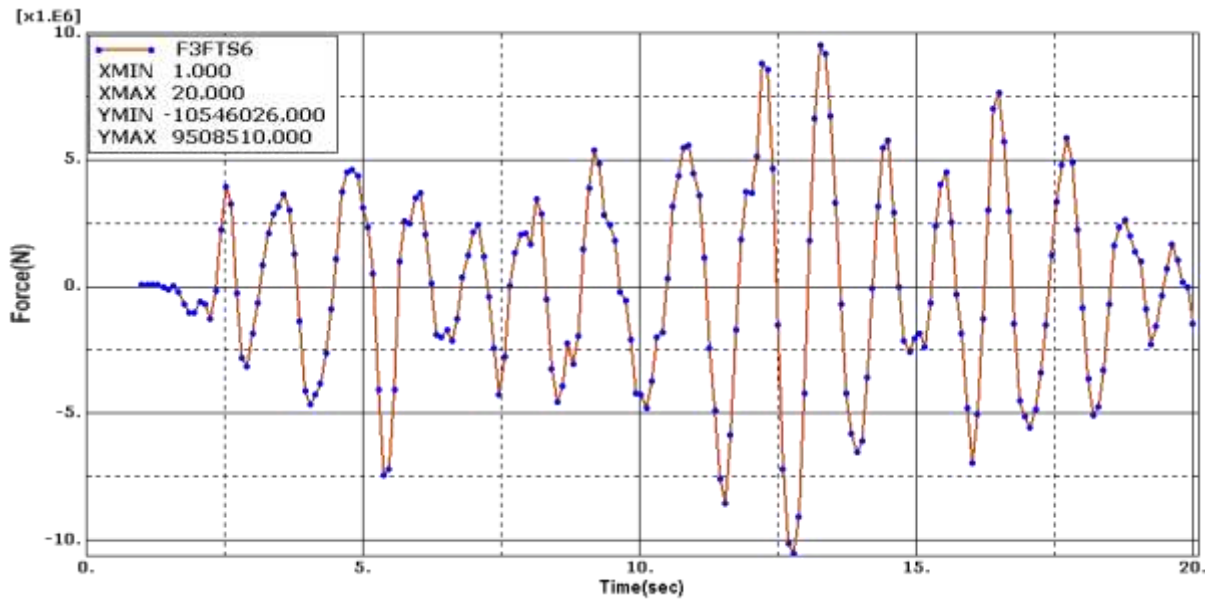
قيمة الازاحة الاعظمية للسائل الموجود في الخزان الملئ الى 58cm .



الشكل (13) مخطط ازاحة قمة الخزان حالة الخزان ملئ

يوضح الشكل (14) العلاقة بين قيمة قوة القص القاعدية ب N وزمن تطبيق الحمولة الزلزالية ب sec ووصلت

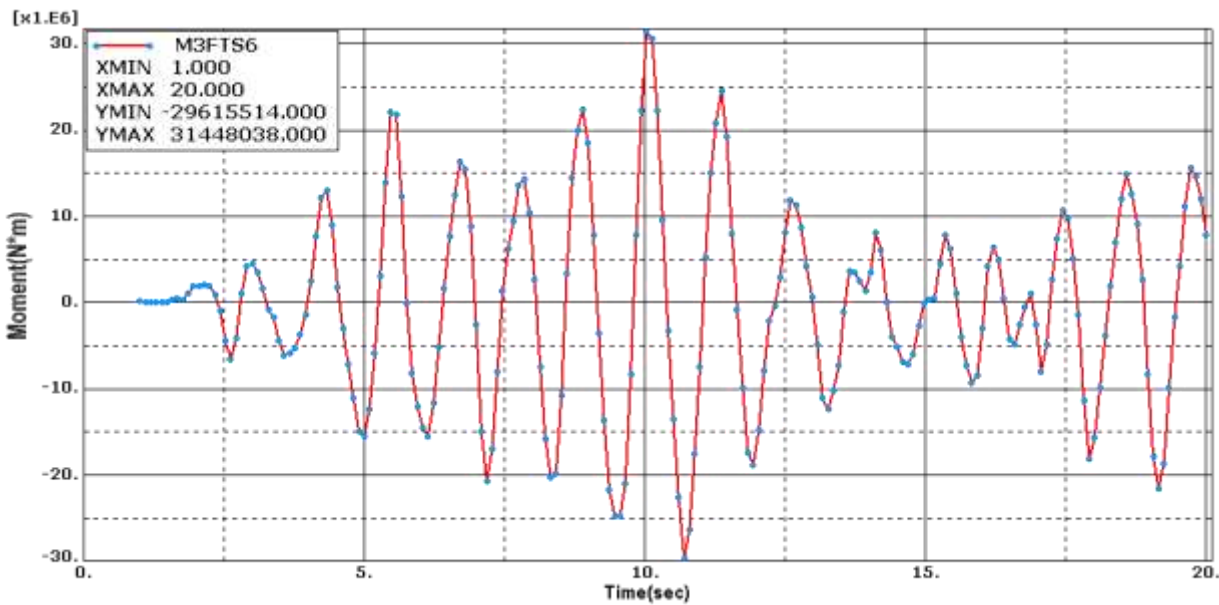
قيمة قوة القص القاعدية الاعظمية للخزان الملئ الى 10546Kn .



الشكل (14) مخطط قيمة قوة القص القاعدية حالة الخزان ملى

يوضح الشكل (15) العلاقة بين قيمة عزم الانقلاب ب $N \cdot m$ وزمن تطبيق الحمولة الزلزالية ب sec ووصلت

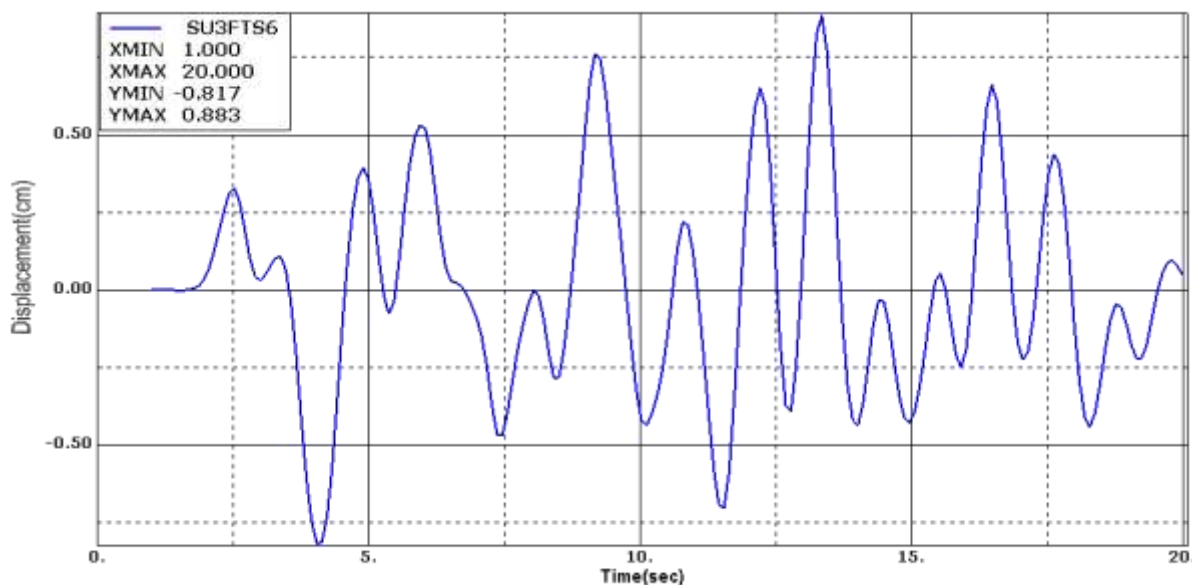
قيمة عزم الانقلاب الاعظمي للخزان الملى الى $31448Kn \cdot m$.



الشكل (15) مخطط عزم الانقلاب حالة الخزان ملى

يوضح الشكل (16) العلاقة بين قيمة ازاحة الموجه الفيضانية للماء للخزان الملى ب m وزمن تطبيق الحمولة

الزلزالية ب sec ووصلت قيمة ازاحة الموجه الفيضانية الى 88cm .



الشكل (16) مخطط ازاحة الموجة الفيضانية للسائل حالة الخزان ملئ

الجدول (5) نتائج الاستجابة الديناميكية لحالات ملئ مختلفة للخزان المدروس

نوع الاستجابة	ملئ	نصف ملئ	فارغ
الازاحة الافقية الاعظمية لقمة الخزان (cm)	58	54.9	12
قوة القص القاعدية (Kn)	10546	10865	4217
عزم الانقلاب (Kn*m)	31448	57523	14144
الازاحة الاعظمية للموجة في السائل (cm)	88	122	-

الاستنتاجات والتوصيات:

قدمت هذه المقالة دراسة تحليلية وعددية للسلوك الديناميكي لخزانات المياه العالية، من خلال اجراء التحليل الديناميكي لحالات ملئ مختلفة (ملئ ، نصف ملئ و فارغ) واطهرت نتائج التحليل الديناميكي بمساعدة برنامج ABAQUS/CAE:

- 1- ازدياد قيمة ازاحة قمة الخزان من 12cm لحالة الخزان فارغ الى 54.9cm حالة الخزان نصف ملئ والى 58cm حالة الخزان ملئ .
- 2- ازدياد قيمة القص القاعدي من 4217 kn لحالة الخزان فارغ الى 10865 kn لحالة الخزان نصف ملئ .
- 3- بلغت قيمة عزم الانقلاب 4144kn.m لحالة الخزان فارغ و 57523 kn.m لحالة نصف ملئ.
- 4- ازاحة موجة الفيضان كانت 88 cm لحالة الخزان ملئ وبلغت 122 cm لحالة نصف ملئ.
- 5- استنادا الى نتائج السابقة نوصي بدراسة حالة الخزان نصف ملئ كونها اعطت اكبر قيم للاستجابة الديناميكية المتمثلة بالقص القاعدي وعزم الانقلاب وازاحة موجة الفيضان .
- 6- ادخال تأثير الفعل المتبادل (سائل - منشأ- تربة) للحصول على قيم الاستجابة الدقيقة .
- 7- دراسة نماذج مختلفة لتربة التأسيس لبيان تأثير ذلك على قيم الاستجابة الديناميكية بفعل الزلازل.

المراجع

- [1] ABAQUS 6.11.3., Analysis User's Manual, 2011.
- [2] Westergaard, H.M. (1931) *Water pressures on dams during earthquakes*, Proceedings of the ASCE, 57: 1303.
- [3] Housner, G.W. (1963) *Dynamic behavior of water tanks*, Bulletin of the Seismological Society of the America. 53:381–387
- [4] Haroun, M. A. and Ellaithy, M. H. (1985). *Seismically Induced Fluid Forces on Elevated Tanks. Journal of Technical Topics in Civil Engineering*, 111:1, 1-15.
- [5] Resheidat, R. M. and Sunna, H. (1986). *Behavior of elevated storage tanks during earthquakes*, in *Proceedings of the 3th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, pp.2143-2154.
- [6] Haroun, M. A. and Temraz, M. K. (1992). *Effects of soil-structure interaction on seismic response of elevated tanks*, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 11:2, 73-86..
- [7] Marashi, E. S. and Shakib, H. (1997). *Evaluations of dynamic characteristics of elevated water tanks by ambient vibration tests*. In *Proceedings of the 4th International Conference on Civil Engineering*, Tehran, Iran, vI; pp.367-373.
- [8] Dutta, S. C., Jain, S. K. and Murty, C. V. R. (2001). *Inelastic seismic torsional behavior of elevated tanks. Journal of Sound and Vibration*, 242:1, 151-167.
- [9] H. Mirzabozorg*, M. A. Hariri-Ardebili, R. Nateghi A(2012)*Free Surface Sloshing Effect on Dynamic Response of Rectangular Storage Tanks* American Journal of Fluid Dynamics 2012, 2(4): 23-30 DOI: 10.5923/j.ajfd.20120204.01
- [10] H. Matinmanesha and M. SalehAsheghabadib*Seismic Analysis on Soil-Structure Interaction of Buildings over Sandy Soil* 1877–7058 © 2011 Published by Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.proeng.2011.07.218
- [11] S. Bozorgmehrnia1*, M.M. Ranjbar2 and R. Madandoust2,2013, *Seismic Behavior Assessment of Concrete ElevatedWater Tanks*,*Journal of Rehabilitation in Civil Engineering* 1-2 (2013) 1-11