

التحليل الديناميكي للاخطي لخزان عالي مع أخذ أثر

حركة المياه ضمن الحلة

طالب ماجستير: م. عبدالحليم اليوسف الضايح- قسم الهندسة الانشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة البعث

د.م. تراث غريب- دكتورة في قسم الهندسة الانشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة البعث

د.م. احسان الطرشة-دكتور في قسم الهندسة الانشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة البعث

الملخص

تعتبر خزانات المياه العالية من المنشآت الخاصة والهامة نظراً لاستخدامها في حفظ المياه اللازمة للشرب أو للسيطرة على الحرائق أثناء الهزات الأرضية. يختلف السلوك الديناميكي للخزانات بشكل عام عن بقية المنشآت نظراً لاحتوائها على سائل وبسبب عدم انتظام صلابتها مع الارتفاع حيث الكتلة الرئيسية لها تقع في الأعلى. في هذا البحث تمت دراسة خزان عالي واقعي منفذ في منطقة الريان-حمص بطاقة تخزينية 300 م³، تم أخذ حركة المياه في الحلة أثناء الحدث الزلزالي بعين الاعتبار بحيث تم تمثيل كتلة السائل في الحلة كمجموع لكتلتين مستقلتين يطلق عليها الكتلة الدفعية (Impulsive mass) والكتلة الحملية (Convective Mass) حسب توصيات الكود الأوربي 8 لعام 2006 لحالات امتلاء متعددة: مليء، ثلاثة أرباع مليء، نصف مليء، ربع مليء، فارغ. تم الاعتماد على برنامج SAP2000 [1] وتم التحليل الديناميكي باستخدام طريقة السجل الزمني اللاخطي بالتكامل المباشر (Nonlinear Time History- Direct Integration) حيث تم إجراء تقييس للسجل الزمني للزلزال El-Centro وفق طيف

الاستجابة الخاص بالموقع (حمص). تم حساب قيم الاستجابة الديناميكية للخزان المتمثلة بقوة القص القاعدي، عزم الانقلاب وإزاحة قمة الخزان، وقوة القص عند أول مفصل لدن، ومراقبة عدد المفاصل اللدنة المتشكلة بعد نهاية حمولة الزلزال والمقارنة بين حالات الامتلاء المتعددة. بينت النتائج أن قيم الاستجابة للخزان تتأثر بشكل كبير عند دراسة التفاعل المتبادل (منشأ - سائل) حسب الحالة المدروسة ودرجة امتلاء الخزان وكذلك فيضان السائل (متمثلة بالكتلة الحملية) في الحلة الذي يؤثر بشكل كبير على قيم الاستجابة الديناميكية للخزان حيث تبين من خلال دراسة هذا الخزان أن الحالة الأخطر تصميمياً هي حالة نصف مليء 50% حيث تشكل أول مفصل لدن عند أقل قوة قص قاعدي وتشكّل أكبر عدد من المفاصل اللدنة وأكبر عزم انقلاب في حالة نصف مليء 50% أيضاً.

الكلمات المفتاحية: خزانات المياه العالية- التحليل الديناميكي للاخطي- السجل الزمني

Nonlinear dynamic analysis of a high tank taking into account the effect of water movement within the drum

Abstract

Elevated water tanks are considered special and important facilities due to their use in preserving water necessary for drinking or for fire control during earthquakes. The dynamic behavior of tanks is generally different from the rest of the facilities because they contain liquid and because of their irregular hardness with height, where the main mass is located at the top. In this research, a realistic high reservoir was studied in Al-Rayyan-Homs area with a storage capacity of 300 m³. the movement of water in the drum during the seismic event was taken into account so that the liquid mass in the drum was represented as the sum of two independent masses called the mass impulsive and the mass convective according to the recommendations of the European Code 8 of 2006 for multiple cases of fullness: Full, three-quarters full, half full, quarter full, empty. The SAP2000 program was based and the dynamic analysis was carried out using the nonlinear time history – direct integration method, where the El-Centro earthquake time record was standardized according to the site's response spectrum (Homs). The dynamic response amounts

of the tank represented by the basal shear force, inversion torque and tank top displacement and Shear strength at the first plastic hinges, and monitoring the number of elastic hinges formed after the end of the earthquake load and comparison of multiple fullness cases were calculated. The results showed that the response values of the tank are significantly affected when studying the mutual interaction (structure – liquid) according to the studied case and the filling phase of the tank, as well as the flooding of liquid in the drum, which greatly affects the dynamic response values of the tank, through the study of this tank, it was found that the most dangerous case by design is the case of half full 50%, where it forms the first plastic joint at the lowest base shear force and constitutes the largest number of elastic joints and the largest inversion torque in the case of half full 50% as well.

Key word: water tank– nonlinear dynamic analysis– time history

مقدمة:

تُعد دراسة سلوك الخزانات تحت تأثير الحمل الزلزالي من المواضيع المعقدة نسبياً حيث يتحرك الماء ضمن الحلة بشكل منفصل عن الخزان نفسه، ورغم أن دراسة حركة الماء في هذه الحالة بشكل دقيق هو أمر يعاني من صعوبات كبيرة، لكن الكودات تسمح باللجوء لطرق مبسطة من أجل دراسة هذا الأثر والتي يمكن أن يعتمد عليها المهندسون في تصميمهم بالاعتماد على التحليل الديناميكي. إن الاختلاف بين هاتين الحركتين بشكل عشوائي (متوافق أو متعاكس من أجل كل لحظة) يجعل من المهم لحظ هذا الأثر عند دراسة المنشآت المهمة أو الخاصة، حيث أن هذا الأثر قد يكون سلبياً (يزيد من القوى الزلزالية المنقولة من الخزان إلى العناصر الحاملة له) أو إيجابياً (يخفض من القوى الزلزالية المنقولة، حتى أن بعض أنواع المخمدات تعتمد على هذا المبدأ في تقليل أثر الزلزال على المنشآت الحديثة). وإن التصميم الآمن لهذه المنشآت يتوقف على دقة النموذج الرياضي التحليلي والتمثيل الصحيح لكتلة الماء ضمن الحوض والذي يجسد آلية التفاعل المشترك بين السائل والمنشأ، أظهرت نتائج الأبحاث السابقة التي تناولت التحليل الديناميكي لخزانات المياه العالية أهمية تأثير الفعل المتبادل (سائل - منشأ) على قيم الاستجابة الديناميكية المتمثلة بالانتقالات وقيم قوى القص القاعدي وعزوم الانقلاب وغيرها.

هدف البحث:

تكمن أهمية هذا البحث في بيان مدى تأثير الحركة الاضطرابية للسائل ضمن الحلة في خزانات المياه العالية أثناء الحدث الزلزالي على قيم الاستجابة الديناميكية المتمثلة بالقص القاعدي، عزم الانعطاف والإزاحة الأعظمية لقمة الخزان ويتم ذلك بإجراء التحليل الديناميكي اللاخطي لنموذج خزان مياه عالي منفذ بمساعدة برنامج SAP2000 [1]

لحالات امتلاء مختلفة ضمن الحلة ومقارنة ما يحصل من تغيرات في قيم الاستجابة الديناميكية وفقاً لذلك وتحديد الحالة الأمثل والحالة الأخطر من حالات الامتلاء.

مواد وطرائق البحث:

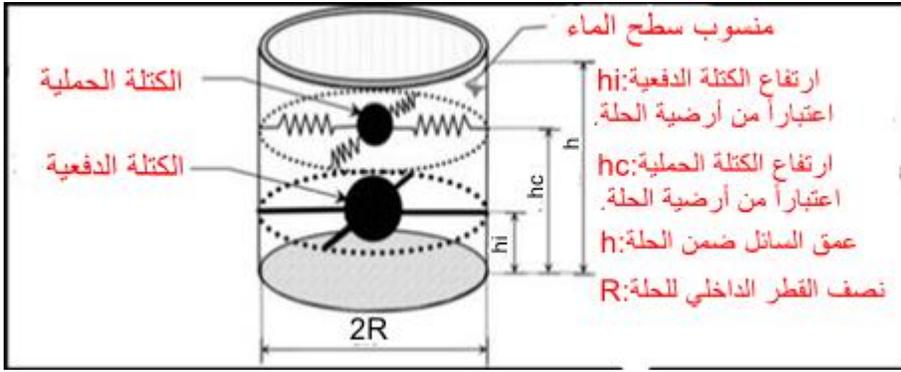
1- الدراسة المرجعية:

أجريت العديد من الدراسات على خزانات المياه العالية حيث طرح الباحث Westergaard [2] عام 1931 طريقة الكتلة المضافة عوضاً عن السائل الموجود ضمن الخزان من أجل سهولة النمذجة أثناء عملية التحليل، بعدها قام الباحث Housner [3] عام 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 يمكن فصل الضغط المتولد في السائل والنتائج عن الحركة الديناميكية إلى جزأين دفعي وحملية 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 وتتسارع مع جدران الخزان وتشكل ضغط هيدروديناميكي دفعي على جدران الخزان وبشكل مشابه فإن كتلة السائل في المنطقة العلوية من الخزان تتعرض لحركة اضطرابية (فيضان)، ويطلق على هذه الكتلة اصطلاحاً كتلة السائل المضطربة (الحملية) وتنتج ضغطاً هيدروديناميكياً اضطرابياً على جدران الحوض. أما الكود الأوربي 8 لعام 2006 فقام بتطوير طريقة Housner [3] عام 1936. وعمل على تبسيط المعادلات الخاصة لحساب قيم الكتلة الدفعية والكتلة الحملية وصلابة النوابض من خلال قيم جدولية وبالعلاقة مع نسبة ارتفاع الشريحة المائية ضمن الحوض إلى نصف القطر الداخلي للحوض. ومن أجل تمثيل هاتين الكتلتين وبهدف تضمين أثر الضغط الهيدروديناميكي في التحليل تم اعتماد نموذج (نابض-كتلة) من أجل الخزانات

الأرضية ونموذج الكتلتين من أجل الخزانات العالية. وطور الباحثان HarounandEllaithy [4] نموذجاً يتضمن تحليل خزانات عالية صلابة معرضة للاهتزاز والدوران. وتحري الباحثان ResheidatandSunna [5] سلوك خزان عالي نو مقطع مستطيل باعتبار الفعل المتبادل (منشأ- تربة) خلال الزلزال. ثم حلل الباحثان HarounandTemraz [6] في خزانات عالية مدعمة بشكل X ومشيدة على اساسات معزولة لتحري أثر التفاعل الديناميكي (أساس- تربة) لكنهما أهملتا تأثير الحركة الاضطرابية للسائل على الاستجابة الديناميكية للخزان وأجرى الباحثان MarashiandShakib [7] في اختبار اهتزاز محيطي لتقييم الخواص الديناميكية للخزانات العالية. واقترح الباحث Dutta [8] نظام إنشائي بديل للخزان للتقليل من قابلية الفتل. ودرس الباحث Dutta [9] النظام الانشائي الحامل لخزانات عالية بقابلية قتل منخفضة واقترح معادلات تجريبية تقريبية لصلابة الفتل والصلابة الافقية والجانبية لأنظمة حاملة انشائية اطارية مختلفة كما قام الباحث H. Matinmanesha [10] بإدخال الأثر التفاعلي لتربة مع المنشأ للمباني العالية واختار في دراسته التربة الرملية أما الباحث S. Bozorgmehrnia [11] قام بدراسة تأثير نسبة امتلاء الخزان على الاستجابة الديناميكية للخزان دون أن يأخذ بعين الاعتبار الأثر التفاعلي لتربة التأسيس.

2- طريقة البحث:

يوضح الشكل تمثيل كتلة السائل في الحلة وفقاً للباحث Housner [3] حيث تعطى قيم الكتل الدفعية (m_i (impulsive mass) والحملية (m_c (convective mass) ومكان توضعهما بالنسبة لقاعدة الحلة وكذلك صلابة النابض K_c الذي تتصل به الكتلة m_c مع جدران الخزان:



الشكل (1) تمثيل السائل وفق الباحث Housner [3]

حيث:

m_i : كتلة دفعية

m_c : كتلة حملية

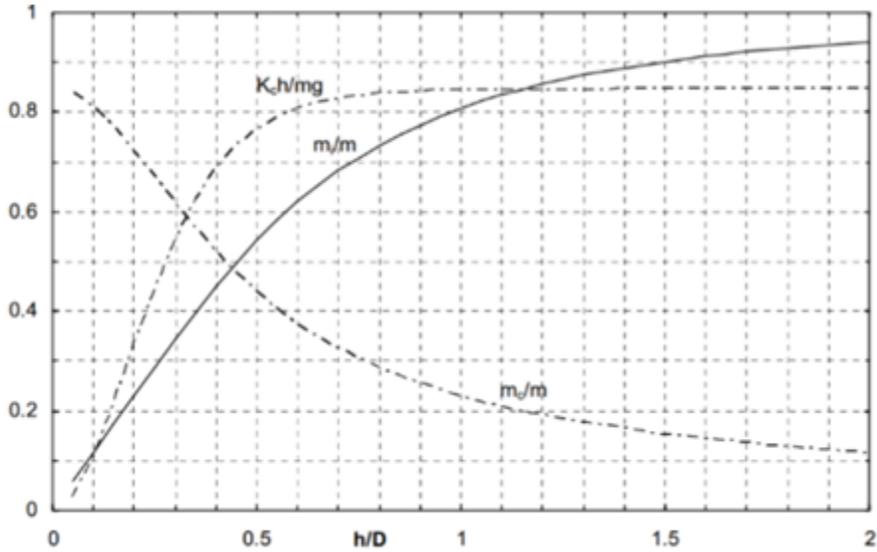
h_i : ارتفاع الكتلة الدفعية عن أرضية الحلة

h_c : ارتفاع الكتلة الحملية عن أرضية الحلة

K_c : صلابة النوابض

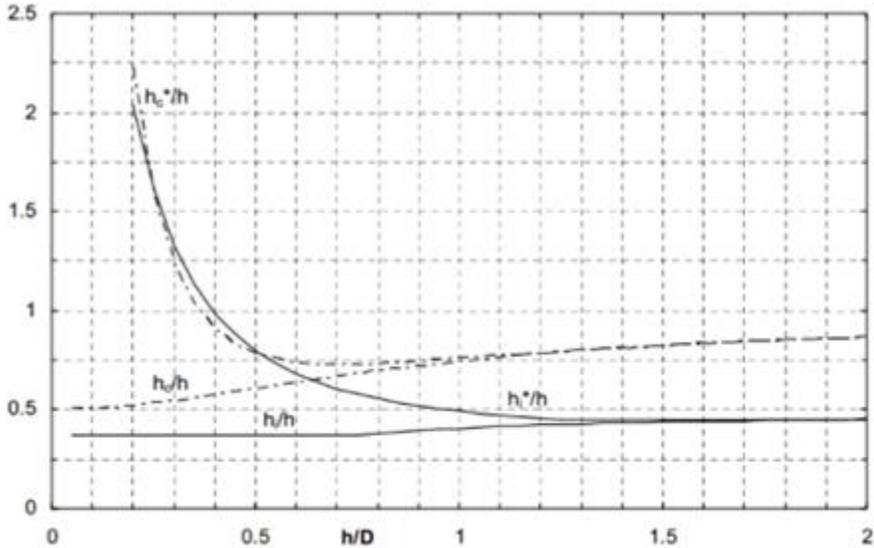
وبالاعتماد على نسبة ارتفاع الماء الى قطر الخزان h/D يمكن تحديد قيمة وارتفاع كل من الكتلة الدفعية والكتلة الحملية وصلابة النوابض.

حيث يوضح الشكل (2) المنحنيات الخاصة باستخراج قيم الكتلة الدفعية والكتلة الحملية وصلابة النوابض للخزان الاسطواني بناء على نسبة الامتلاء h/D :



الشكل (2) المنحنيات الخاصة بالكتلة الدفعية والكتلة الحملية وصلابة النابض للخرزان الاسطواني

كما يوضح الشكل (3) المنحنيات الخاصة باستخراج قيم ارتفاع الكتلة الدفعية والكتلة الحملية للخرزان الاسطواني بناء على نسبة الامتلاء h/D :



الشكل (3) المنحنيات الخاصة بارتفاع الكتلة الدفعية والكتلة الحملية للخرزان الاسطواني

بالعودة الى المخططات نلاحظ انه من اجل نسب معينة من h/D فان مجموع الكتلتين الدفعية والحملية لا يساوي الكتلة الكلية للماء، حيث يكون الفرق عموما صغير ومحصور ضمن المجال % (2-3)، ويعود السبب في ذلك الى العمليات الرياضية التقريبية المتبعة في رسم علاقات تلك البارامترات.

3- خصائص النموذج المدروس:

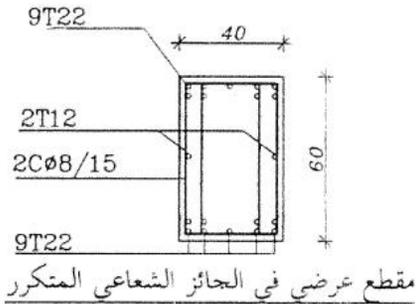
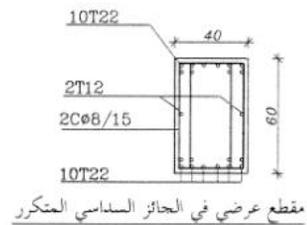
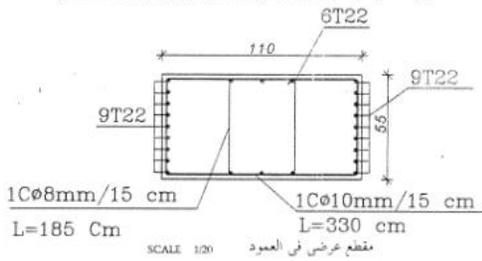
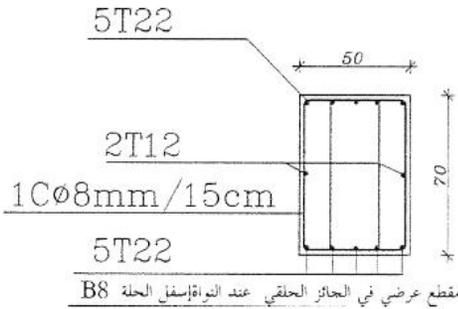
تمت دراسة خزان عالي منفذ في منطقة الريان-حمص ذو حلة اسطوانية قاعدتها بلاطة مستوية على ارتفاع 25م بسعة تخزين 300م³ محمولة على جملة برج هيكلي مكون من ستة أعمدة وجوائز تربط على أربعة مستويات بتباعدات متساوية 6.25m إضافة لنواة مركزية تمتد من الأسفل الى أعلى سقف الحلة بـ 1.5م.

حيث نوضح في الجدول (1) خصائص النموذج المدروس (الجملة الحاملة + الحلة):

الجدول (1) خصائص النموذج المدروس

خصائص الحلة		التسليح	خصائص الجملة الحاملة	
300m ³	حجم التخزين	25T22 1.6%	0.55*1.1m	أبعاد الاعمدة
10m	القطر الداخلي للحلة		6.25*4=25m	ارتفاع الاعمدة
0.15m	سماكة السقف العلوي	10T22متناظر 2T12 +	0.4*0.6m	أبعاد الجوائز السداسية المتكررة
0.2m	سماكة القاعدة	9T22متناظر 2T12 +	0.4*0.6m	أبعاد الجوائز الشعاعية المتكررة
5.25m	ارتفاع الحلة	5T22متناظر 2T12 +	0.4*0.6m	أبعاد جائز النواة الحلقي المتكرر
0.2m	سماكة جدران الحلة+النواة	5T22متناظر 2T12 +	0.5*0.7m	أبعاد جائز النواة الحلقي اسفل الحلة
9T14/m طولي	تسليح النواة من منسوب 6.25 حتى النهاية	12T22متناظر 4T12 +	0.5*0.7- 1.1m	أبعاد الجائز الشعاعي متغير العطالة
5T12/m عرضي				
9T18/m طولي	تسليح النواة حتى منسوب 6.25	5T18متناظر 2T12 +	0.5*0.5m	أبعاد جائز الحلة الحلقي
6T12/m عرضي				

ونبين فيما يلي المقاطع التنفيذية لعناصر الخزان ويظهر فيها كيفية توزيع التسليح :



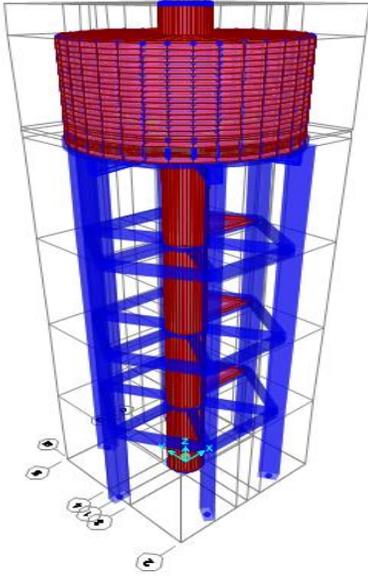
الشكل (4) توزيع التسليح في المقاطع التنفيذية لعناصر الخزان

كما نوضح في الجدول (2) خصائص مواد الانشاء للخزان المدروس (البيتون + حديد التسليح):

الجدول (2) خصائص مواد الانشاء للخزان المدروس

$f_y =$	400MPa	$f'c$ أعمدة+جوائز	18MPa
$f_{ys} =$	240MPa	$f'c$ حلة	20MPa

نوضح في الشكل (4) صورة 3D للنموذج المدروس مأخوذة من برنامج الـ SAP2000 [1] إضافة الى صورة مأخوذة من موقع الخزان:



الشكل (5) النموذج المدروس وفق برنامج SAP2000 وصورة مأخوذة من موقع الخزان تم حساب قيم الكتل الدفعية والحملية وارتفاعاتها وصلابة النابض بناء على المخططات الواردة في الشكلين (2+3) وكانت القيم الخاصة بالنموذج لكل حالة من حالات الماء موضحة في الجدول (3):

الجدول (3) قيم الكتل الدفعية والحملية وارتفاعاتها وصلابة النوابض

حالات ملء الخزان	%100	%75	%50	%25
الكتلة الدفعية (Kg)	156000	90000	42000	11250
الكتلة الحملية (Kg)	135000	130500	10800	63750
ارتفاع الكتلة الدفعية (m)	1.7	1.25	0.855	0.42
ارتفاع الكتلة الحملية (m)	2.8	2.1	1.15	0.56
ارتفاع الكتلة الدفعية من أجل عزم الانقلاب (m)	3.65	3.6	3.95	3
ارتفاع الكتلة الحملية من أجل عزم الانقلاب (m)	3.85	3.65	4.5	3.85
صلابة النابض (KN)	490.5	388.9	281.22	98.1
ارتفاع الماء بالحلة (m)	4.5	3.375	2.25	1.125
نصف قطر الحلة (m)	5	5	5	5

4- التحليل الديناميكي لنموذج الخزان:

تم اجراء تحليل ديناميكي للنموذج العملي وفق كل حالة امتلاء على برنامج SAP2000 [1] وفق تحليل السجل الزمني اللاخطي بطريقة التكامل المباشر - Time History- Nonlinear Direct Integration وفق الخطوات التالية:

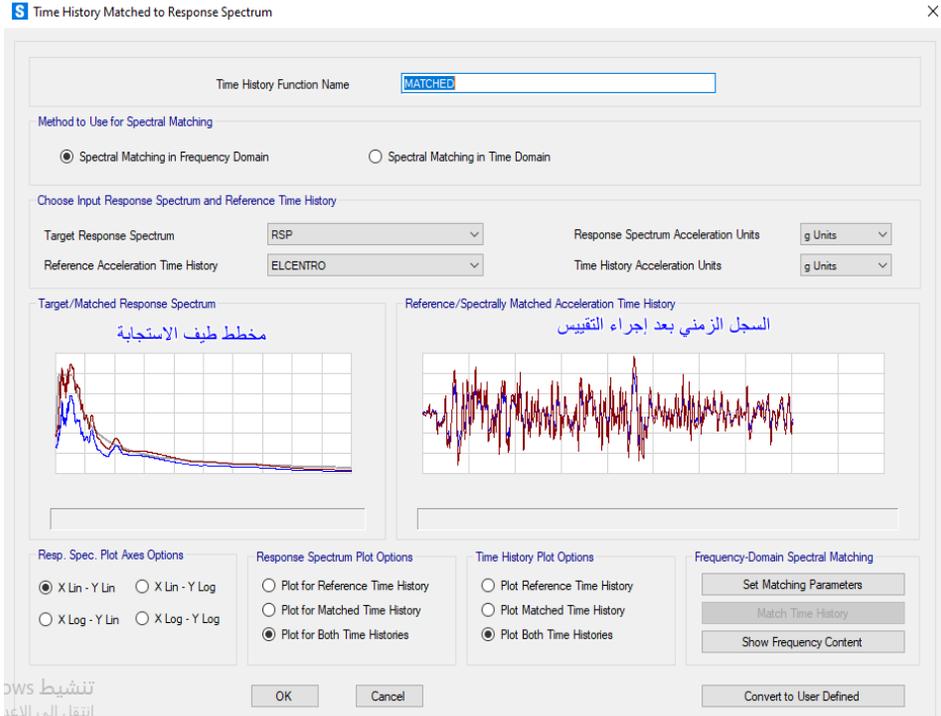
- النمذجة الانشائية وتعريف المقاطع والمواد.

- اسناد التسليح المنفذ الواقعي للمقاطع الانشائية بواسطة معرف المقاطع Section Designer، حيث تم الحصول على المخططات التنفيذية من المؤسسة العامة للمياه في مدينة حمص.

- إجراء تقييس للسجل الزمني لزلزال El-Centro وفق طيف الاستجابة (حمص) حيث تم استخراج المعاملات الزلزالية للموقع Ca,Cv من الكود العربي السوري بناء على عامل المنطقة الزلزالية $Z=0.25$ ونوع مقطع التربة (SD) [12]:

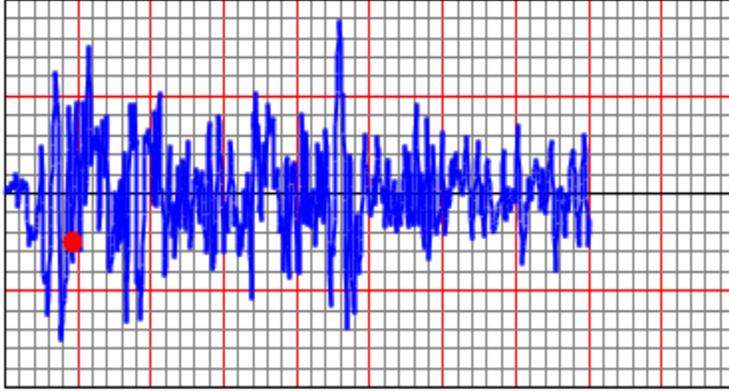
$$Ca=0.32, Cv=0.47$$

يوضح الشكل (6) مخطط طيف الاستجابة الخاص بمدينة حمص إضافة الى المخطط الذي يبين السجل الزمني بعد اجراء التقييس وفقاً لزلزال El-Centro.



الشكل (6) مخطط طيف الاستجابة ومخطط السجل الزمني بعد اجراء التقييس

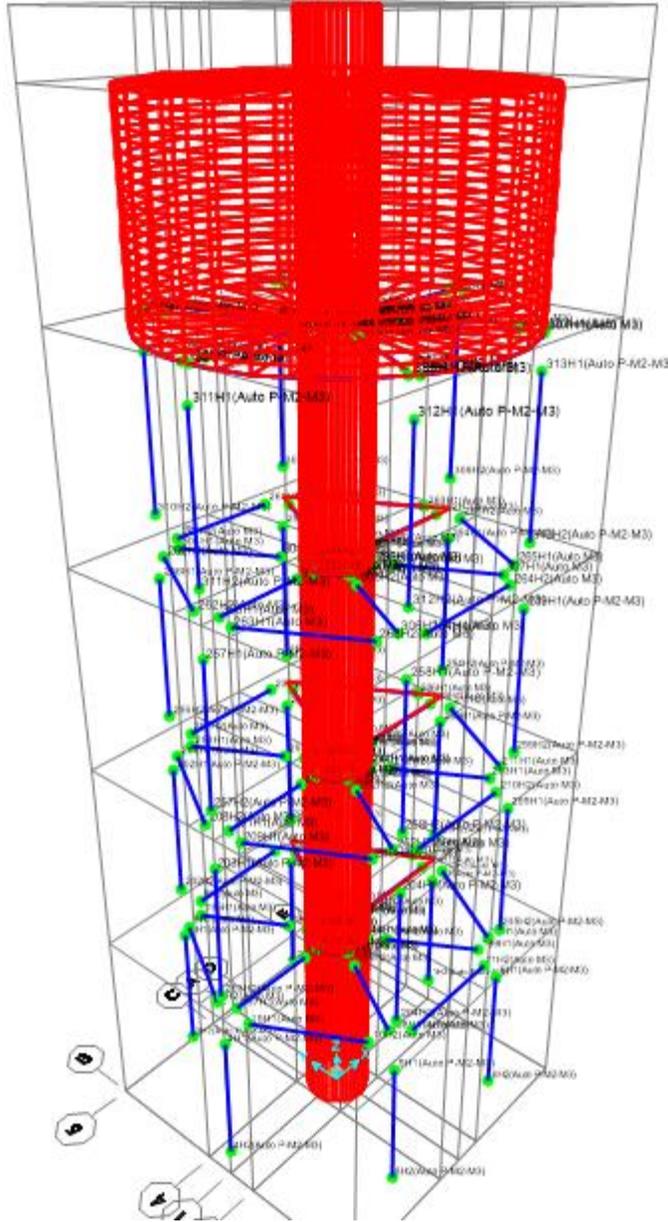
ويوضح الشكل (7) السجل الزمني لزلزال El-Centro الذي تم تعريفه في البرنامج بتسارع أعظمي $0.23g$ وبلغت شدة الزلزال الفعلية 6.9 على مقياس ريختر.



الشكل (7) السجل الزمني لزلزال El-Centro كما تم تعريفه في البرنامج

- اسناد المفاصل اللدنة لعناصر الجملة الحاملة:

يوضح الشكل (8) اسناد المفاصل اللدنة لعناصر الجملة الحاملة



الشكل (8) اسناد المفاصل اللدنة لعناصر الجملة الحاملة

- إجراء التحليل الزلزالي.

تم تحديد قيم الاستجابة الديناميكية (قوة القص-عزم الانقلاب-الانتقال الاعظمي لقمة الخزان- قوة القص عند أول مفصل لدن في الاعمدة- عدد المفاصل اللدنة المتشكلة بعد نهاية تطبيق الحمولة الزلزالية) والمقارنة بين حالات الملاء وفق هذه القيم، وتعد الحالة الأخطر على المنشأ (الخزان العالي المدروس) تصميمياً هي الحالة التي يتشكل فيها أول مفصل لدن في الاعمدة عند أصغر حمولة زلزالية وهو ما ينص عليه الكود في الطرق الخطية سواء الستاتيكية أو الديناميكية عند دراسة وتصميم المنشآت بحساب قوة قص المقابلة للحظة تشكل أول مفصل لدن في الجملة الحاملة ولحساب هذه القوة يعطي الكود قيم للعامل R [12] (معامل يأخذ بالحسبان درجة لدونة -مطاوعة- الجملة الإنشائية والمتبقي في مقاومتها بعد تشكل أول مفصل لدن فيها) الداخل في حساب قوة القص القاعدي V.

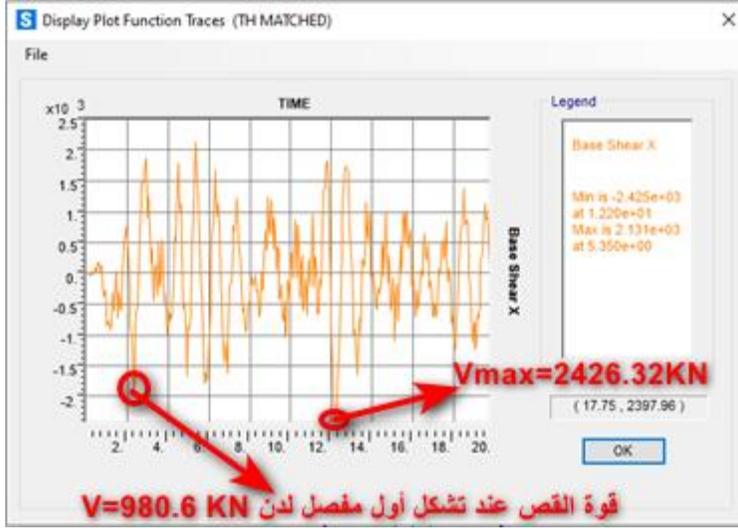
النتائج والمناقشة:

تم قراءة نتائج الاستجابة الديناميكية المتمثلة بالبارامترات التالية: (القص القاعدي- عزم الانقلاب- إزاحة قمة الخزان) لحالات امتلاء مختلفة للخزان.

أولاً: حالة مليء: 100%:

يوضح الشكل (9) العلاقة بين قوة القص القاعدية KN وزمن تطبيق الحمولة الزلزالية

sec حالة مليء: 100%:



الشكل (9) مخطط قوة القص القاعدية لحالة ملء 100%

وينفس الأسلوب حصلنا على عزم الانقلاب الأقصى والازاحة القصوى على كامل الحمولة الزلزالية حالة 100%:

$$V_x = 2426.32 \text{ KN}$$

$$M_y = 52965.1 \text{ KN.m}$$

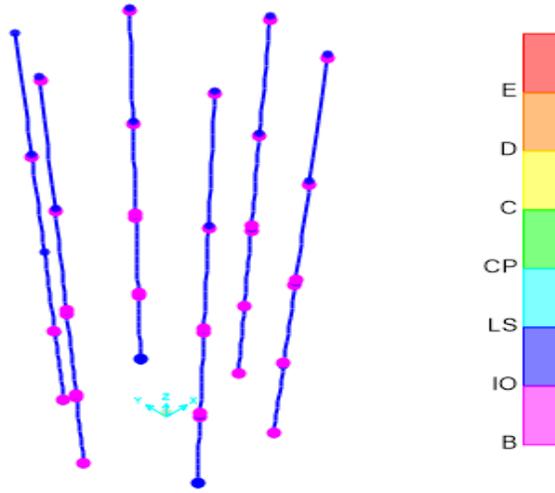
$$U_x = 116 \text{ mm}$$

قوة القص عند تشكل أول مفصل لدن حالة مليء 100%:

$$V_x = 980.6 \text{ KN}$$

يظهر الشكل (10) تشكل المفاصل اللدنة في الاعمدة بعد انتهاء الحمولة الزلزالية:

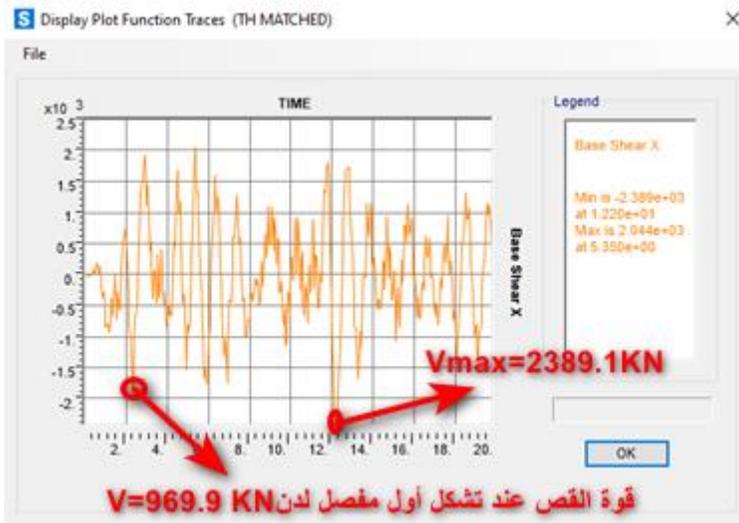
ويظهر في الاعمدة تشكل 36 مفصل لدن (34 مفصل لدن ضمن مستوى انهيار IO + 2 مفصل ضمن مستوى انهيار LS)



الشكل (10) تشكل المفاصل اللدنة في الاعمدة بعد انتهاء الحمولة الزلزالية لحالة مليء 100%

ثانياً: حالة ثلاثة أرباع مليء: 75%:

يوضح الشكل (11) العلاقة بين قيمة قوة القص القاعدية KN وزمن تطبيق الحمولة الزلزالية sec حالة ثلاثة أرباع مليء 75%:



الشكل (11) مخطط قوة القص القاعدية لحالة ملء 75%

وينفس الأسلوب حصلنا على عزم الانقلاب الأقصى والازاحة القصوى على كامل الحمولة الزلزالية حالة 75%:

$$V_x=2389.1 \text{ KN}$$

$$M_y=49959.1 \text{ KN.m}$$

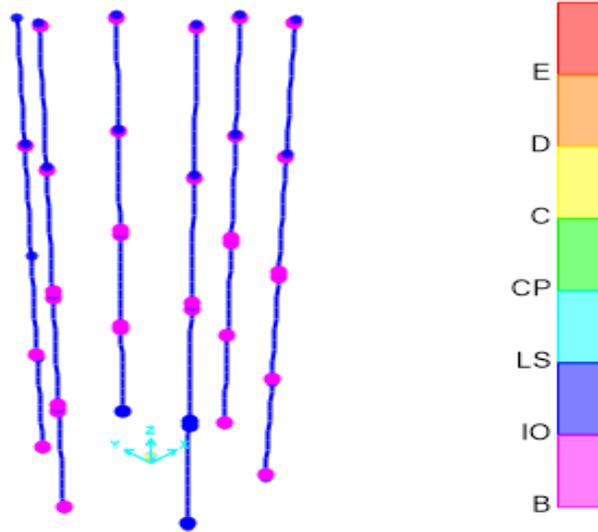
$$U_x=117.4 \text{ mm}$$

قوة القص عند تشكل أول مفصل لدن حالة مليء 75%:

$$V_x=969.9 \text{ KN}$$

يظهر الشكل (12) تشكل المفاصل اللدنة في الاعمدة بعد انتهاء الحمولة الزلزالية:

ويظهر في الاعمدة تشكل 36 مفصل لدن (32 مفصل لدن ضمن مستوى انهيار IO + 4 مفاصل ضمن مستوى انهيار LS)

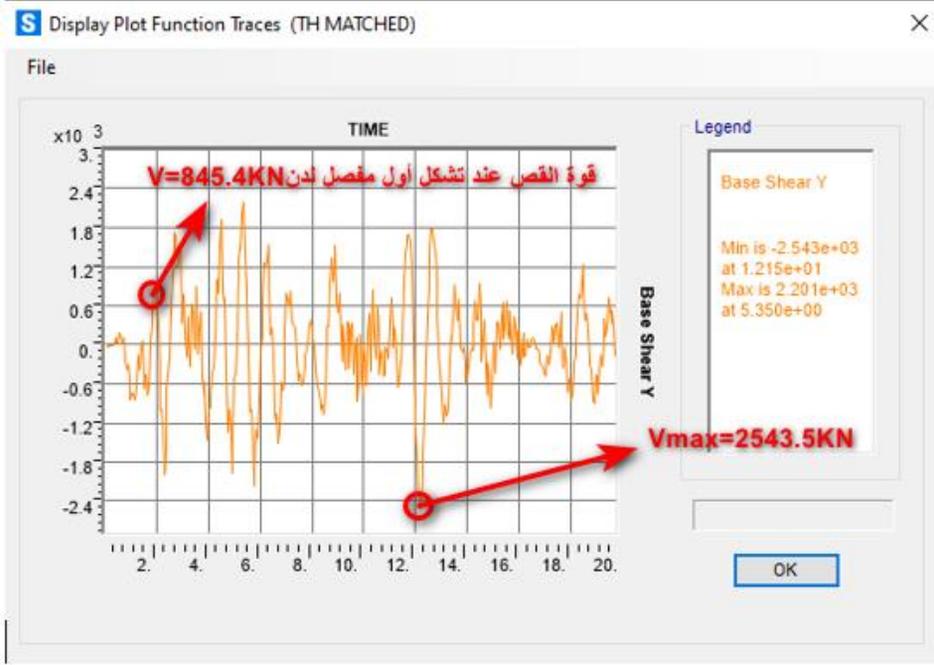


الشكل (12) تشكل المفاصل اللدنة في الاعمدة بعد انتهاء الحمولة الزلزالية لحالة

مليء 75%

ثالثاً: حالة نصف مليء: 50%:

يوضح الشكل (13) العلاقة بين قيمة قوة القص القاعدية KN وزمن تطبيق الحمولة الزلزالية sec حالة نصف مليء: 50%:



الشكل (13) مخطط قوة القص القاعدية لحالة ملء 50%

وبنفس الأسلوب حصلنا على عزم الانقلاب الأقصى والازاحة القصوى على كامل الحمولة الزلزالية حالة 50%:

$$V=2543.5 \text{ KN}$$

$$M_x=53607.9 \text{ KN.m}$$

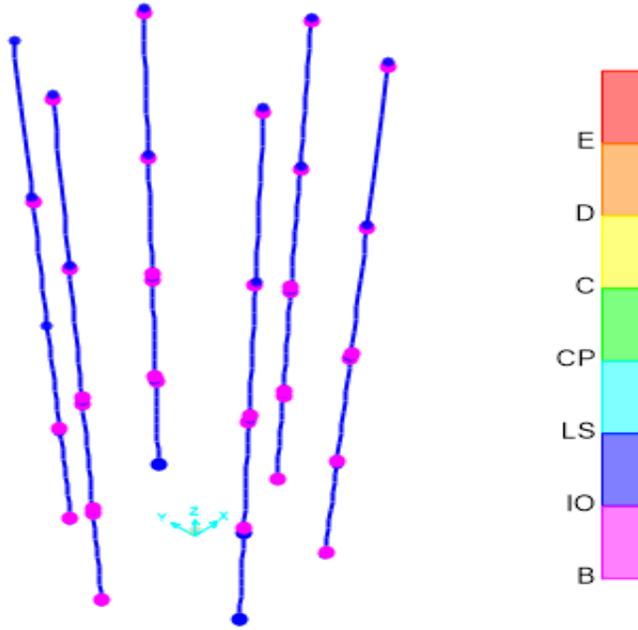
$$U_x=113 \text{ mm}$$

قوة القص عند تشكل أول مفصل لدن حالة مليء 50%:

$$V_x=845.4 \text{ KN}$$

يظهر الشكل (14) تشكل المفاصل اللدنة في الاعمدة بعد انتهاء الحمولة الزلزالية:

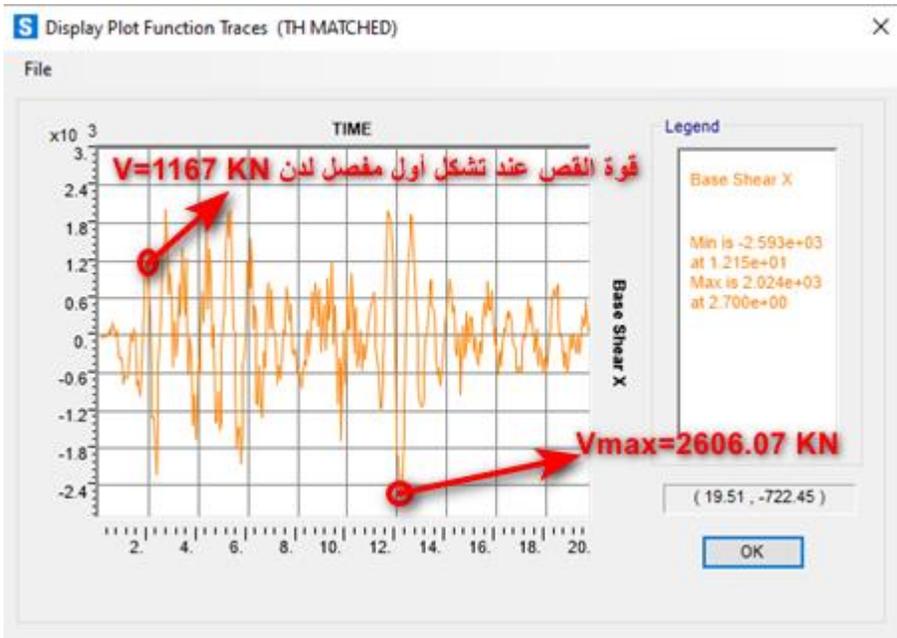
ويظهر في الاعمدة تشكل 37 مفصل لدن (34 مفصل لدن ضمن مستوى انهيار IO + 3 مفاصل ضمن مستوى انهيار LS)



الشكل (14) تشكل المفاصل اللدنة في الاعمدة بعد انتهاء الحمولة الزلزالية لحالة مليء 50%

رابعاً: حالة ربع مليء 25%:

يوضح الشكل (15) العلاقة بين قيمة قوة القص القاعدية KN وزمن تطبيق الحمولة الزلزالية sec حالة ربع مليء 25%:



الشكل (15) مخطط قوة القص القاعدية لحالة ملء 25%

وينفس الأسلوب حصلنا على عزم الانقلاب الأقصى والازاحة القصوى على كامل الحمولة الزلزالية حالة 50%:

$$V_y = 2606.07 \text{ KN}$$

$$M_y = 49972.51 \text{ KN.m}$$

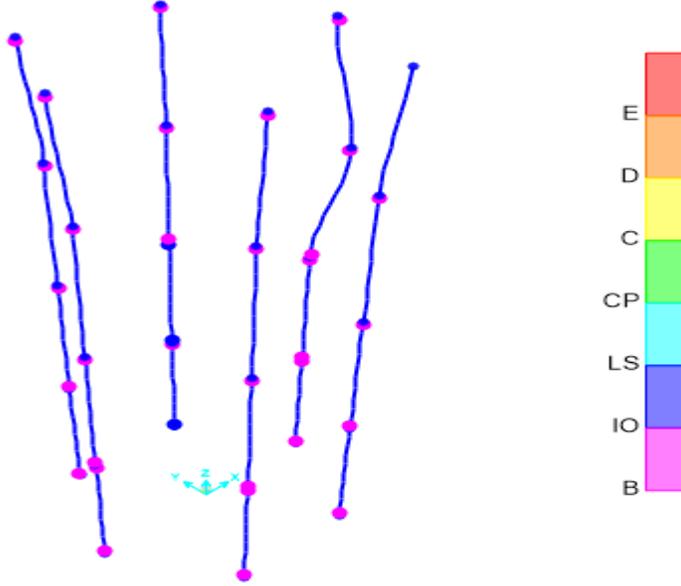
$$U_x = 103 \text{ mm}$$

قوة القص عند تشكل أول مفصل لدن حالة مليء 25%:

$$V_x = 1166 \text{ KN}$$

يظهر الشكل (16) تشكل المفاصل اللدنة في الاعمدة بعد انتهاء الحمولة الزلزالية:

ويظهر في الاعمدة تشكل 35 مفصل لدن (32 مفصل لدن ضمن مستوى انهيار IO + 3 مفاصل بمستوى انهيار LS)



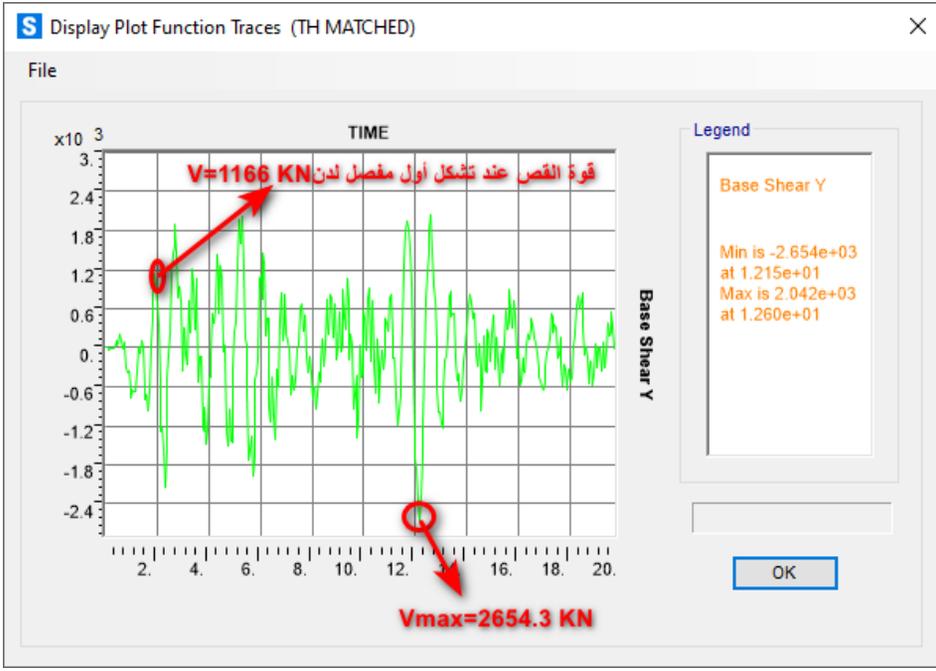
الشكل (16) تشكل المفاصل اللدنة في الاعمدة بعد انتهاء الحمولة الزلزالية لحالة

مليء 25%

خامساً: حالة فارغ:

يوضح الشكل (17) العلاقة بين قيمة قوة القص القاعدية KN وزمن تطبيق الحمولة

الزلزالية sec حالة فارغ:



الشكل (17) مخطط قوة القص القاعدية لحالة فارغ

وينفس الأسلوب حصلنا على عزم الانقلاب الأقصى والازاحة القصوى على كامل
الحمولة الزلزالية حالة فارغ

$$V_y = 2654.3 \text{ KN}$$

$$M_y = 50262.5 \text{ KN.m}$$

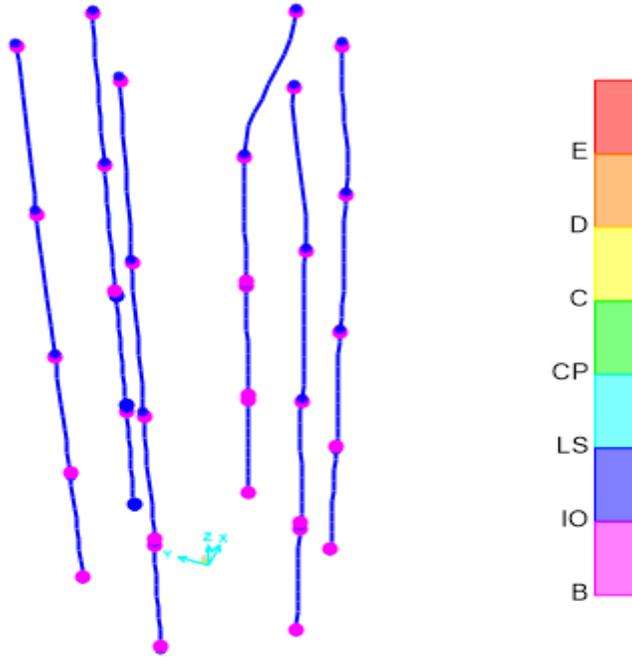
$$U_x = 102.8 \text{ mm}$$

قوة القص عند تشكل أول مفصل لدن حالة مليء 25%:

$$V_x = 1166 \text{ KN}$$

يظهر الشكل (18) تشكل المفاصل اللدنة في الاعمدة بعد انتهاء الحمولة الزلزالية:

ويظهر في الاعمدة تشكل 36 مفصل لدن (32 مفصل لدن ضمن مستوى انهيار IO + 3 مفاصل ضمن مستوى انهيار LS)



الشكل (18) تشكل المفاصل اللدنة في الاعمدة بعد انتهاء الحمولة الزلزالية لحالة فارغ

المقارنة بين نتائج الاستجابة الديناميكية لحالات لامتلاء:

نوضح في الجدول (4) مقارنة بين نتائج الاستجابة الديناميكية لكل حالة من حالات الملء مع توضيح فروقات القيم بزيادة أو نقصان عن الحالة المرجعية (مليء 100%):

الجدول (4) المقارنة بين نتائج الاستجابة الديناميكية لحالات الامتلاء

نوع الاستجابة الديناميكية	100%	75%	50%	25%	فارغ
قوة القص القاعدية (KN)	2426.32	2389.1	2543.5	2606.1	2654.3
قوة القص القاعدية عند بداية تشكل أول مفصل لدن (KN)	980.6	969.9	850.7	1166	1166
الازاحة الأفقية لقمة الخزان (mm)	116	117.4	113	103	102.8
عزم الانقلاب (KN.m)	52965.1	49959.1	53607.9	49972.5	50262.5
عدد المفاصل اللينة المتشكلة في الاعمدة بعد نهاية الزلازل	36	36	37	35	35

الاستنتاجات والتوصيات:

1- ظهرت أقصى قوة قص قاعدي على كامل الحمولة الزلزالية المطبقة وفق حالة فارغ حيث بلغت 2654.3 KN وأدنى قوة قص قاعدي كانت وفق حالة 75% وبلغت 2389.1 KN.

2- أكبر إزاحة أفقية لقمة الخزان كانت في حالة 75% بقيمة 117.4 mm.

- 3- أكبر عزم انقلاب كان في حالة 50% وبلغ 53607.9 KN.
- 4- بينت الدراسة أن أدنى قوة قص قاعدي عند تشكل أول مفصل لدن كانت وفق حالة امتلاء 50% وبلغت 850.7 KN.
- 5- في التحليل اللاخطي Time History يمكننا تحديد قوة القص المقابلة لتشكل أول مفصل لدن في الاعمدة وبلغت أدنى قيمة 850.7 KN في حالة امتلاء 50% وأقصى قيمة 1166 KN بحالة امتلاء 25% وحالة فارغ.
- 6- من خلال نتائج التحليل اللاخطي نلاحظ أنه في حالة امتلاء 50% تشكلت مفاصل لدنة أكثر من الحالات الأخرى، وبناء على ماسبق من نتائج يمكننا تحديد الحالة الأخطر تصميمياً بأنها حالة نصف مليء 50%.
- 7- نوصي باعادة دراسة حالة الامتلاء 50% والعمل على تدعيم العقد التي تشكلت فيها هذه المفاصل وفق الدراسة نظراً لأهمية المنشأ المقام.
- 8- يوصي البحث بدراسة أثر قوى الضغط الهيدروديناميكي المتولدة على جدران الخزان وأخذها بالاعتبار عند التصميم وادخال طريقة التحليل الديناميكي اللاخطي على دراسة هكذا نوع من المنشآت الهامة كونها تعطي سلوكاً واقعياً للمنشأ تحت تأثير الزلزال المطبق وتسمح بدخول المنشأ في المرحلة اللاخطية وصولاً للانهييار والتعرف على ميكانيزمات الانهييار وتقييم نوع الضرر الذي من الممكن أن يحصل في العقد وفق زلزالية المنطقة لتفادي حصول ضعف وانهييار في العقد بشكل مسبق.

المراجع:

1. SAP2000v22.0.0, Structural Analysis Program.
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

12. الملحق رقم (2) للكود العربي السوري - تصميم وتحقيق المباني والمنشآت المقاومة للزلازل، نقابة المهندسين السوريين، دمشق، 2013.