

Impact of Fluid Movement in Damping

Mohammad Ibrahim Ghanem*

(Received 9 / 5 / 2017. Accepted 8 / 1 / 2018)

□ ABSTRACT □

Structures which have Fluid containers in the upper section can dissipate a main part of the entered vibration energy when subjected to dynamic loads by free surface vibration energy, the movement of free surface waves participate in dissipating structural vibrating energy.

This research has discussed the fluid movement problem when subjected to seismic vibration, and its role in decreasing dynamic response structure.

Elevating tanks were accredited in this study due to the fact that the engineering shape of such structures shows the impact of fluid-movement on the dynamic response.

Using SAP2000 program, time history analysis for two seismic records which are Elcentro , Kope .

We concluded that the increase of the area of free surface of fluid induces more quantity of fluid to vibrate , and consequently dissipate more quantity of entered energy.

Keywords: Tuned liquid dampers, tuned mass damper, elevated tanks, dissipated energy, entered energy, fluid free surface.

* Master Degree in Seismic Constructional Engineering , Higher Institute For seismic Studies & Researches , Damascus University .

أثر حركة السوائل في التخماد

محمد إبراهيم غانم*

(تاريخ الإيداع 9 / 5 / 2017. قُبل للنشر في 8 / 1 / 2018)

□ ملخص □

تمتلك المنشآت التي تحتوي على مستوعبات سائلة في الأجزاء العلوية منها القدرة على تبديد جزءاً هاماً من طاقة الاهتزاز المدخلة إلى المنشأة عند التعرض للتحريض الديناميكي وذلك بفعل طاقة اهتزاز السطح الحر للسائل حيث أن حركة الأمواج على السطح الحر يساهم في تبديد جزءاً من طاقة اهتزاز المنشأة. ناقش هذا البحث مسألة حركة المياه عند التعرض للاهتزاز الزلزالي ودورها في تقليل الاستجابة الديناميكية للمنشآت حيث تم اعتماد نموذج الخزانات العالية في الدراسة كون أن الشكل الهندسي لهذه المنشآت يظهر بشكل كبير أثر حركة السائل على الاستجابة الديناميكية. تم الاعتماد على برنامج SAP2000 والتحليل باستخدام طريقة السجل الزمني للزلازلين هما السنترو وكوبي. وقد تم الاستنتاج في الختام أنه مع زيادة مساحة السطح الحر يحرض كمية أكبر من المياه على الاهتزاز وبالتالي تبديد كمية أكبر من الطاقة المدخلة.

الكلمات المفتاحية: مخمد السائل التوازني، مخمد الكتلة التوازني، الخزانات العالية، الطاقة المبددة، طاقة الاهتزاز، السطح الحر للسائل.

* ماجستير - الهندسة الإنشائية الزلزالية - المعهد العالي للدراسات والبحوث الزلزالية - جامعة دمشق - دمشق - سورية.

مقدمة :

يعتبر التحكم بالاهتزازات من المفاهيم الأساسية عند تصميم المنشآت، خاصة عندما تكون هذه المنشآت هي منشآت عالية. عندما تتعرض هذه المنشآت لاهتزازات كبيرة نتيجة الرياح أو الزلازل تنتقل الأمواج الزلزالية ضمن الهيكل الإنشائي وهذا يولد إجهادات هائلة داخل الهيكل، كما قد تجعل التسارعات والانتقالات المتولدة البناء غير مستقر وقد يصل لحد الانهيار، لذلك تتم دراسة ناطحات السحاب التي تبنى اليوم حول العالم تحت تأثير أحمال الرياح التي تتحى منحى الزلازل في توليد إجهادات كبيرة داخل مقاطع الهيكل الإنشائي الحامل. إن التحميل المتكرر يؤدي إلى فشل في المقاطع الإنشائية كما أنه يؤدي إلى إصابة سكان الطوابق العالية في ناطحات السحاب بدوار البحر بسبب الانتقالات الكبيرة في الجزء الأعلى من البناء.

أهمية البحث وأهدافه :

تعتمد فلسفة التصميم الزلزالي للمنشآت على التقليل من الاستجابة الديناميكية لهذه المنشآت عند التعرض للتحريض الديناميكي عبر استخدام تقنيات عديدة من أجل التقليل من كمية الطاقة الزلزالية المدخلة إلى المنشأ وبالتالي التقليل من طاقة الاهتزاز الديناميكي وهو ما يؤدي إلى استخدام مقاطع أصغر وتحقيق أمان أكبر في مقاومة الاهتزاز الزلزالي. يهدف البحث إلى دراسة التأثير الذي تلعبه السوائل في تخادم المنشآت التي تحتوي على مخزون سائل كما هي الحال في حالة الخزانات العالية أو الخزانات التي تتوضع في أعلى الأبنية العالية أو المسابح التي تكون على الأسطح كما في حالات الفنادق، ودراسة الدور الذي تلعبه حركة السائل في التقليل من الاستجابة الديناميكية لهذه المنشآت وتبديد الطاقة الزلزالية المدخلة على البناء [1].

طرائق البحث ومواده :

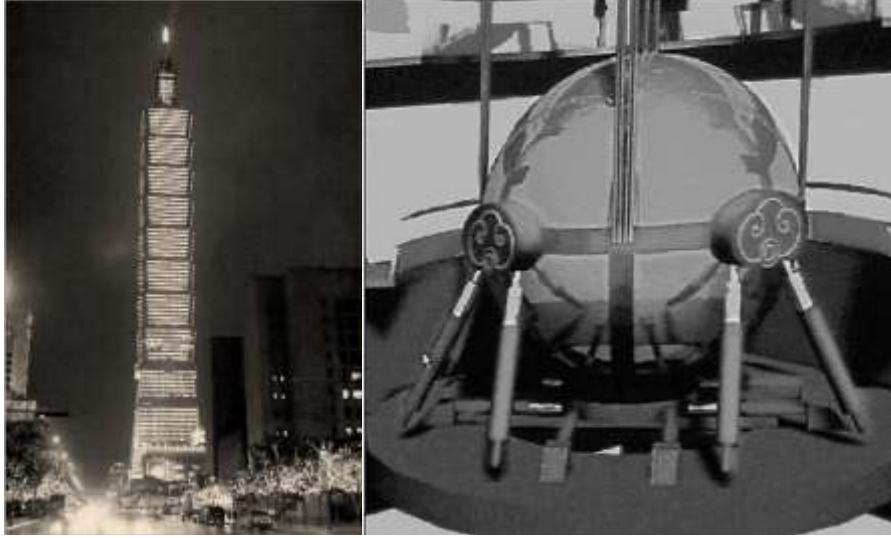
يوجد العديد من أنواع المخمدات التي يتم إضافتها إلى المنشأ والتي تساهم في امتصاص الطاقة الزلزالية المدخلة وتبديدها والتي تعرف اصطلاحاً (Supplemental Damping Systems ، SDSs) نذكر منها :

- العوازل القاعدية (Base Isolators) : وهي عبارة عن مخمدات يتم وضعها أسفل القاعدة وتعمل على امتصاص الطاقة الزلزالية المدخلة إلى المنشأ
- العوازل الطابقية : (Floor Isolators) : يتم وضعها عند مستوى كل طابق ، وتعمل على امتصاص الطاقة الزلزالية وتقليل الاهتزازات الديناميكية .
- مخمد الكتلة التوازنية (Tuned Mass Damper) : وهو عبارة عن كتلة فولاذية يتم وضعها في أعلى البرج ومرتبطة مع الهيكل الإنشائي بواسطة نوابض وتعمل على تعديل الاهتزازات كما هو مطبق في برج Taipei 101 في تايوان الذي يرتفع مقدار 508 م حيث تم وضع كرة فولاذية تزن قرابة 700 طن ومرتبطة مع الهيكل الإنشائي الحامل بواسطة نوابض حيث تعمل على تعديل الاهتزازات والتقليل من الاستجابة الديناميكية عند التعرض للاهتزاز الديناميكي [2] .
- مخمد السائل التوازني (Tuned Liquid Damper): في حالة المنشآت الحاوية على السائل في الجزء العلوي منها تساهم حركة الأمواج المتشكلة نتيجة الاهتزاز الديناميكي داخل مستوعب السائل في السيطرة على

الاهتزازات عبر تبديد جزء هام من طاقة الاهتزاز بفعل طاقة اهتزاز السطح الحر للسائل، وهو ما سوف يتم مناقشته في هذا البحث.

إن مخمد السائل المتوازن (TLD، Tuned Liquid Dampers) هو عبارة عن كتلة مائية ذات سطح حر للسائل محصورة في خزان حيث تساهم حركة الأمواج التي تتشكل على السطح عند حدوث الاهتزاز الديناميكي في تبديد جزءاً هاماً من طاقة الاهتزاز المدخلة عن طريق طاقة تذبذب السطح الحر للسائل وبالتالي التقليل من الاستجابة الديناميكية للنظام الإنشائي. لقد وجد أيضاً فاعلية عالية لهذا النظام في التقليل من الاهتزازات الناجمة عن الرياح [3].

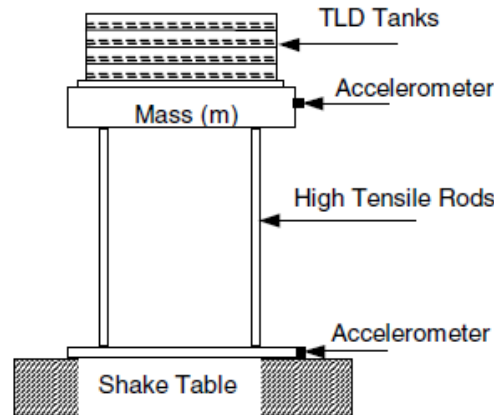
إن مصدر مخمد السائل المتوازن TLD هو من مخمد الكتلة المتوازنة (TMD، Tuned Mass Dampers) والذي استخدم كثيراً في أنحاء العالم في ناطحات السحاب من أجل التحكم بالاهتزازات منذ خمسينيات القرن الماضي، ومنها برج Taipei 101 في تايوان والذي يبلغ ارتفاعه 508 م حيث تم وضع كتلة فولاذية في أعلى البرج تزن 700 طن وتم تثبيتها بواسطة نوابض مرتبطة مع الهيكل الإنشائي الحامل حيث أن اهتزاز هذه الكتلة عند حدوث الاهتزاز الديناميكي يعمل على امتصاص طاقة الاهتزاز المدخلة إلى المبنى ويبددها من خلال النوابض كما يظهر في الشكل (1) :



الشكل (1) برج Taipei 101 في تايوان - الكتلة الفولاذية المثبتة أعلى البرج

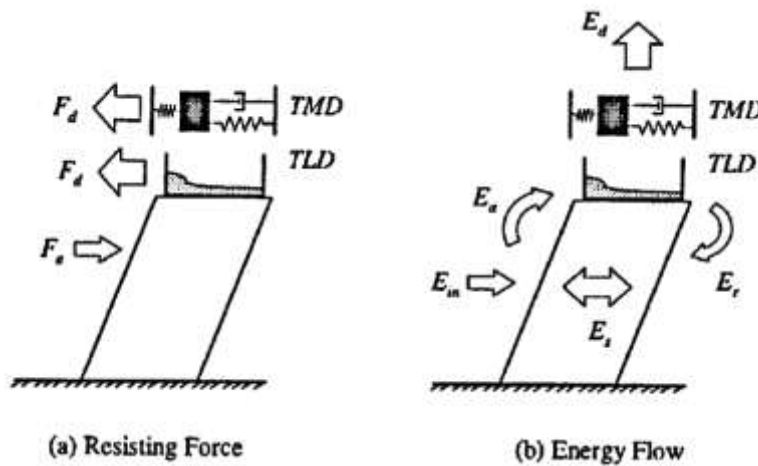
أظهرت الدراسات والأبحاث والتجارب المخبرية أن تقنية التخميد بالسائل المتوازن فعالة جداً في امتصاص الاهتزازات الديناميكية حتى في مستويات التحريض المنخفض، إضافة لكونها قليلة التكاليف في التثبيت والصيانة وتتطلب أعمال صيانة أقل مع الزمن كما أنها سهلة التنفيذ ولا تحتاج إلى تجهيزات ميكانيكية كثيرة، وهو ما يبنى بمستقبلاً واعداً لتقنية التخماد باستخدام حركة السوائل كتقنية تخمد تستخدم في الكثير من المنشآت الهندسية بما فيها المنشآت عالية المرونة والأبنية ذات الارتفاعات الشاهقة .

يظهر الشكل رقم (2) نموذج مخمد السائل المتوازن :



الشكل (2) النموذج المكافئ لنموذج مخمد السائل المتوازن

كما يظهر الشكل رقم (3) ميكانيكية التخميد في نظام مخمد الكتلة المتوازنة ومخمد السائل المتوازن وآلية مقاومة القوى وجريان الطاقة داخل المنشأ [3]:



الشكل (3) قوى العطالة وجريان الطاقة داخل نموذج مخمد السائل المتوازن

يبين الشكل (3- a) قوى العطالة للكتلة الصلبة في حالة الـ TMD وقوى العطالة لكتلة الماء في حالة الـ TLD التي تقاوم حركة المنشأ عند تعرضه لقوى خارجية كما في حالة الزلازل أو الرياح حيث F_e : القوة الزلزالية، F_d : القوة المقاومة من قبل المخمدات

يعبر الشكل (3- b) عن جريان الطاقة داخل المنشأ حيث :

E_{in} : الطاقة الزلزالية المدخلة إلى المنشأ

E_a : الطاقة الممتصة من قبل المخمدات

E_d : الطاقة المبددة بفعل المخمدات

E_r : الطاقة العائدة إلى المنشأ

E_s : طاقة الاهتزاز الإنشائية

يظهر من الشكل السابق أنه عند تعرض المنشأة إلى الاهتزاز الديناميكي تؤدي طاقة الاهتزاز المدخلة إلى المنشأة والتي يرمز لها بالرمز (Ein) إلى اهتزاز المنشأة، وعندها يتشكل على السطح الحر للسائل أمواج تتحرك بدور اهتزاز أكبر من دور اهتزاز المنشأة وهو ما يسمح بتفريغ الطاقة المدخلة عن طريق حركة هذه الأمواج .

إن النموذج السابق يشابه بشكل كبير نموذج الخزانات العالية الذي يتألف من هيكل إنشائي يحمل في الأعلى حلة بيتونية تحتوي على السائل، فالشكل الهندسي لهذه المنشآت يظهر بشكل واضح دور حركة السوائل داخل الحلة البيتونية في التقليل من الاستجابة الديناميكية وهو ما سوف يتم دراسته في هذا البحث لتبيان أثر حركة أمواج السطح الحر للسائل في امتصاص الطاقة الزلزالية المدخلة.

تعتبر خزانات الماء البيتونية العالية عن خزان تجميعي لكتلة محددة من الماء محمولة على جملة إنشائية بيتونية على ارتفاع محدد بحيث يؤمن إيصال الماء إلى الأبنية المجاورة بضغط كاف إلى مسافات محددة.

تتسم هذه المنشآت بحساسيتها العالية للأحمال الأفقية كما في حالة الزلازل، وهذا يرجع إلى تجميع الجزء الأكبر من كتلة المنشأة في أعلى الهيكل الإنشائي النحيف.

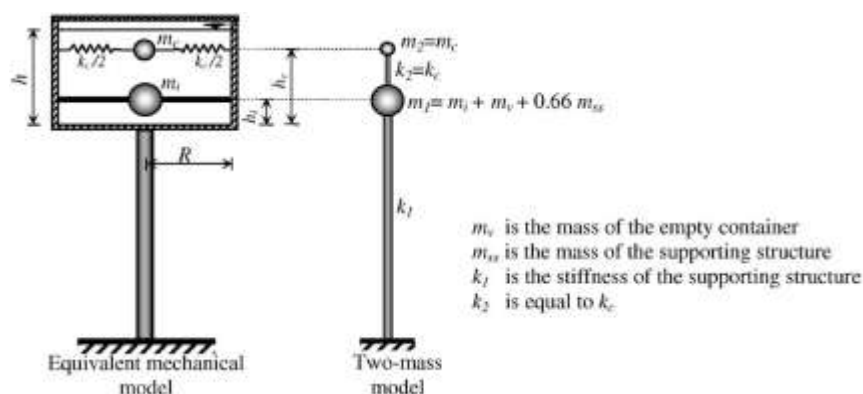
تعتبر خزانات الماء البيتونية العالية من أكثر التطبيقات المباشرة لتقنية التخامد باستخدام السائل المتوازن (TLD)، حيث يلعب المخزون المائي داخل الحلة البيتونية دور المخمد ويقوم بتبديد الطاقة الزلزالية المدخلة.

يمثل نموذج الكتلة النابض (MSM، Mass Spring Modal) تبسيط لنموذج مخمد السائل المتوازن TLD والاستعاضة عنه بنموذج الكتلة المتوازنة (TMD) الذي هو أساس لتقنية مخمد السائل المتوازن، وذلك من أجل سهولة تمثيل النموذج في البرامج الهندسية التي لا تحتوي مكتبة عناصرها على عناصر محدودة لنمذجة الكتلة السائلة حيث أن نمذجة المياه بحاجة إلى برامج معقدة غير متوفرة بشكل كبير.

إن الاستجابة الزلزالية للخزانات العالية تعتمد بشكل كبير على التفاعل المعقد الذي يحدث بين المنشأة وبين السائل (FSI ، Fluid-Structure Interaction) أثناء الاهتزاز الزلزالي والذي يحدث نتيجة انقسام المخزون المائي داخل الخزان إلى قسمين كنتيجة لتشكل الأمواج على السطح الحر للسائل وهو ما يعرف بتذبذب السطح الحر للسائل (Sloshing) الذي يؤدي إلى تشكل عزم انقلاب وقوة قص قاعدية بفعل قوى العطالة الأفقية المتولدة على جدران الخزان .

عند تعرض الخزان العالي للاهتزاز الديناميكي يحدث انقسام للسائل داخل الحلة البيتونية إلى قسمين أحدهما يرتبط بشكل صلد مع جدران الخزان ويسمى الكتلة النبضية (Impulsive Mass)، والآخر يتحرك بدور اهتزاز أكبر من دور اهتزاز الحلة البيتونية مع الكتلة النبضية نتيجة تذبذب السطح الحر للسائل ويسمى الكتلة الدفعية (Convective Mass) [4].

في عام 1963 وضع Housner [5] طريقة مبسطة من أجل نمذجة الخزانات العالية ذات القاعدة الموثوقة مع التربة كما يبينه الشكل (4) :



الشكل (4) نموذج الكتلة النابض الذي اقترحه أوسنر من أجل نمذجة الخزانات العالية

في هذه النظرية افترض أن الكتلتين النبضية والدفعية هما كتلتين غير مترابطتين وأن القوى الزلزالية المؤثرة على القاعدة ناتجة عن نظامين منفصلين للنموذج وحيد درجة الحرية.

الكتلة m_2 تمثل فقط كتلة السائل الناتجة عن تذبذب السطح الحر للسائل، الكتلة m_1 تتألف من الكتلة النبضية التي ترتبط بشكل صلد مع جدران الخزان إضافة إلى الوزن الذاتي لجدران الخزان إضافة إلى نسبة من الوزن الذاتي للهيكल الإنشائي الحامل وهي تساوي $2/3$ في الكود ACI 371R .

لقد تم استخدام النموذج ثنائي درجة الحرية الذي وضع من قبل Housner بشكل شائع في التصميم الزلزالي للخزانات العالية في الكثير من الكودات العالمية التي تعرضت لمسألة تصميم الخزانات العالية.

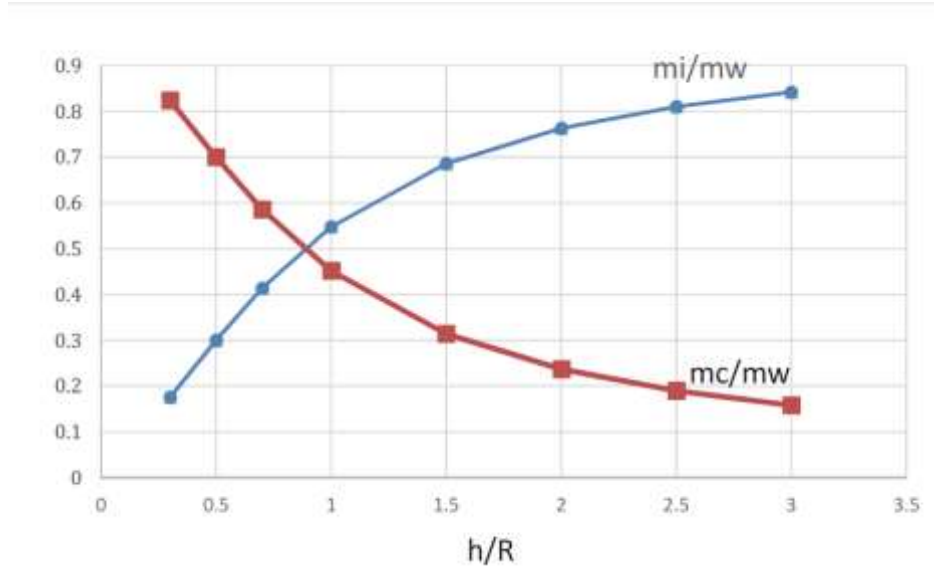
اعتمد الكود الأوروبي (Eurocode-8 , 2003) [6] على الطريقة المبسطة التي وضعها أوسنر عند نمذجة الخزانات العالية حيث تم وضع قيم مكافئة من أجل قيمة الكتلة النبضية (impulsive mass) والكتلة الدفعية (convective mass) وكذلك الارتفاعات المستخدمة في النمذجة وذلك كتابع لنسبة ارتفاع الماء داخل الخزان إلى نصف القطر الخزان كما يبين الجدول التالي:

الجدول (1) قيمة الكتلة الفعالة والنبضية والارتفاعات كنسبة من ارتفاع الماء داخل الحلة إلى نصف قطرها

h/R	m_i/m_w	m_c/m_w	h_i/h	h_c/h	$h'i/h$	$h'c/h$
0.3	0.176	0.824	0.40	0.521	2.640	3.414
0.5	0.300	0.700	0.40	0.543	1.460	1.517
0.7	0.414	0.586	0.40	0.571	1.009	1.011
1.0	0.548	0.452	0.42	0.616	0.721	0.785
1.5	0.686	0.314	0.44	0.690	0.555	0.734
2.0	0.763	0.237	0.45	0.751	0.500	0.764
2.5	0.810	0.190	0.45	0.794	0.480	0.796
3.0	0.842	0.158	0.45	0.825	0.472	0.825

حيث :

h : ارتفاع الماء داخل الحلة البيتونية، R : نص قطر الحلة، mc : حجم الكتلة الدفعية، hc : ارتفاع الكتلة الدفعية، h'c : ارتفاع الكتلة الدفعية من أجل عزم الانقلاب، mi : حجم الكتلة النبضية، Hi : ارتفاع الكتلة النبضية، h'c : ارتفاع الكتلة النبضية من أجل عزم الانقلاب.
 بالتعبير عن الجدول السابق عبر مخطط بياني يظهر كما يلي :



الشكل (5) مخطط بياني لتغير الكتلة النبضية والدفعية وفق نسبة h/R

يظهر المخطط البياني السابق ارتباط الكتلة المهتزة مع نسبة ارتفاع الماء داخل الحلة إلى نصف قطر الحلة حيث تزداد الكتلة المهتزة مع تناقص هذه النسبة وتزداد بنقصانها، أي أن حجم الكتلة المائية المهتزة والتي تساهم في توليد الأمواج على السطح الحر للسائل تزداد مع زيادة القطر ونقصان الارتفاع وتتناقص مع زيادة الارتفاع وتناقص القطر.

من أجل دراسة أثر زيادة حجم الكتلة المائية المهتزة على تخميد المنشأة وتبديد الطاقة الديناميكية المدخلة، تم دراسة خمسة نماذج من الخزانات العالية حيث تم تغيير أبعاد القطر والارتفاع مع الحفاظ على حجم الكتلة المائية بحيث ينتج لدينا خمسة حجوم من الكتلة المائية المهتزة تزداد قيمتها مع زيادة القطر وإنقاص الارتفاع.

من أجل دراسة أثر الكتلة في التخماد تم اعتماد تخامد متناسب مع مصفوفة الصلابة ومصفوفة الكتلة وهو ما يعرف ب (Stiffness & Mass Proportional Damping) [7].

حيث يعبر عن معادلة الحركة للجمل المهتزة المتخامدة كما في المعادلة التالية:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t)$$

حيث: m، c، k : مصفوفة الكتل، مصفوفة التخماد، مصفوفة الصلابة على الترتيب

\ddot{u} ، \dot{u} ، u : شعاع التسارع، شعاع السرعة، شعاع الانتقال على الترتيب

$p(t)$: شعاع الأحمال

برهن ريلي أنه يمكن استخدام مصفوفة تخميد ناتجة عن جمع نسبة من مصفوفة الكتل ونسبة من مصفوفة الصلابة كما في المعادلة التالية يحقق الغاية المطلوبة [8]:

$$C = \eta M + \delta K$$

حيث: δ ، η ، ثابتي تخامد اختياريين يحددان بمعادلتين تنتجان عن فرض نسبي تخميد ζ_r ، ζ_s موافقين لنمطي اهتزاز عاليين متتاليين s, r
 من أجل تحديد تأثير الأنماط على التخماد تمت دراسة طاقة التخماد النمطية Modal Damping Energy (M.D.E) للنماذج الخمس والتي تعبر عن كمية الطاقة المبددة بفعل التخماد النمطي .
 اعتمد برنامج SAP2000 في التحليل باستخدام طريقة السجل الزمني حيث تم تطبيق زلزال Elcentro على النماذج الخمس .

من أجل تحديد دور حركة السائل داخل الحلة البيتونية في التخماد عند التعرض للاهتزاز الزلزالي تم تعريف خمسة نماذج من الخزانات بحجم تخزيني قدره (250 m³) يرتفع عن الأرض مقدار 30 م، يتألف الهيكل الإنشائي الحامل من ستة أعمدة ذات مقطع (30*60) سم وترتبط مع بعضها بجوائز حلقي مقطعه (30*60) بتباعد 5 م .
 تم تغيير أبعاد الحلة البيتونية ومن ثم مقارنة طاقة التخماد النمطي للنماذج الخمس .
 تم تحديد قيم الكتلة الدفعية M_c وارتفاعها، والكتلة النبضية M_i وارتفاعها بالاستناد إلى الكود الأوروبي (Eurocode-8,2003) وفق النسبة h/r (h : ارتفاع الماء داخل الحلة - r : نصف قطر الحلة)، تم تحديد ثابت صلابة النابض للكتلة الدفعية وفق العلاقة التي قدمها Housner :

$$K_c = mc \frac{g}{R} 1.84 \tanh \frac{1.84h}{R}$$

حيث : mc : الكتلة الدفعية، R : نصف قطر الحلة، h : ارتفاع الماء داخل الحلة، g : التسارع الأرضي .
 فيما يلي تعريف بنماذج الخزانات المستخدمة في الدراسة :

• النموذج الأول :

القطر = 6 م

ارتفاع الحلة = 8.85 م

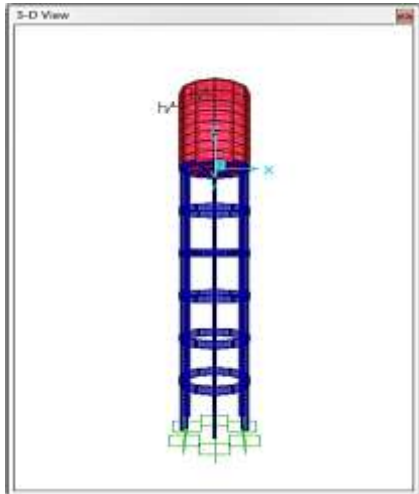
$M_i = 209.89$ t

$h_i = 3.98$ m

$M_c = 40.34$ t

$h_c = 7.27$ m

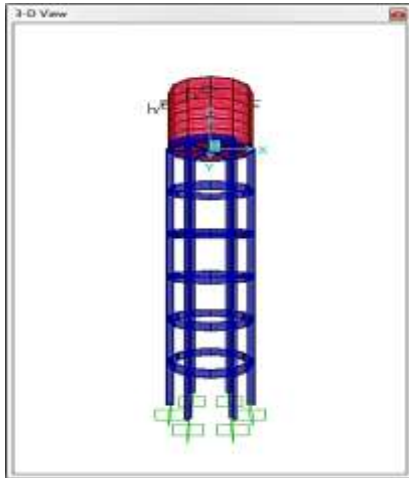
$k_c = 13.48$ t/m



• النموذج الثاني :

القطر = 7 م

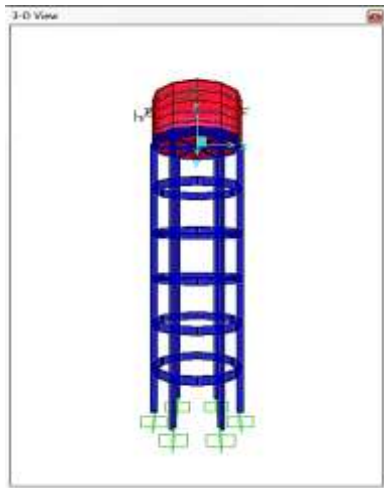
ارتفاع الحلة = 6.5 م

 $M_i = 185.36 \text{ t}$ $h_i = 2.9 \text{ m}$ $M_c = 64.64 \text{ t}$ $h_c = 4.77 \text{ m}$ $k_c = 33.91 \text{ t/m}$ 

• النموذج الثالث :

القطر = 8 م

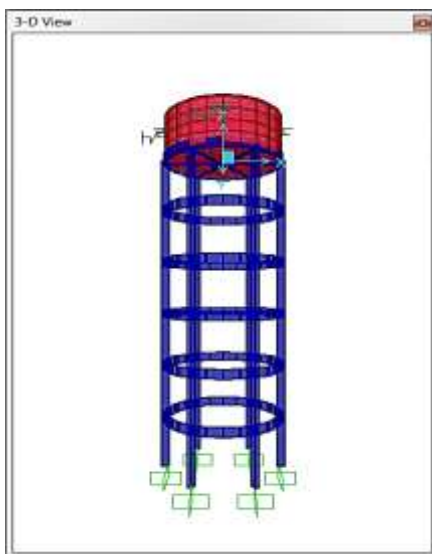
ارتفاع الحلة = 5 م

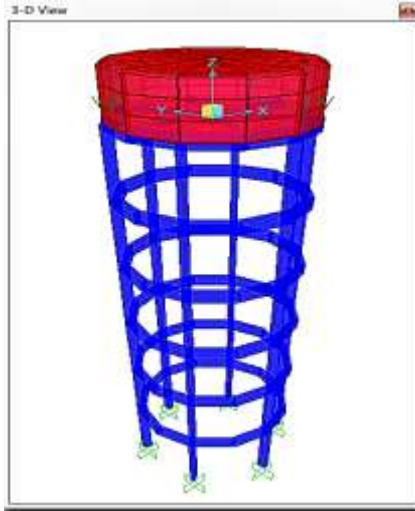
 $M_i = 155.1 \text{ t}$ $h_i = 2.15 \text{ m}$ $M_c = 96.26 \text{ t}$ $h_c = 3.27 \text{ m}$ $k_c = 43.4 \text{ t/m}$ 

• النموذج الرابع :

القطر = 9 م

ارتفاع الحلة = 3.93 م

 $M_i = 122.77 \text{ t}$ $h_i = 1.62 \text{ m}$ $M_c = 132.27 \text{ t}$ $h_c = 2.35 \text{ m}$ $k_c = 48.09 \text{ t/m}$ 



• النموذج الخامس :

القطر = 10 م

ارتفاع الحلة = 3.2 م

$M_i = 95.46 \text{ t}$

$h_i = 1.28 \text{ m}$

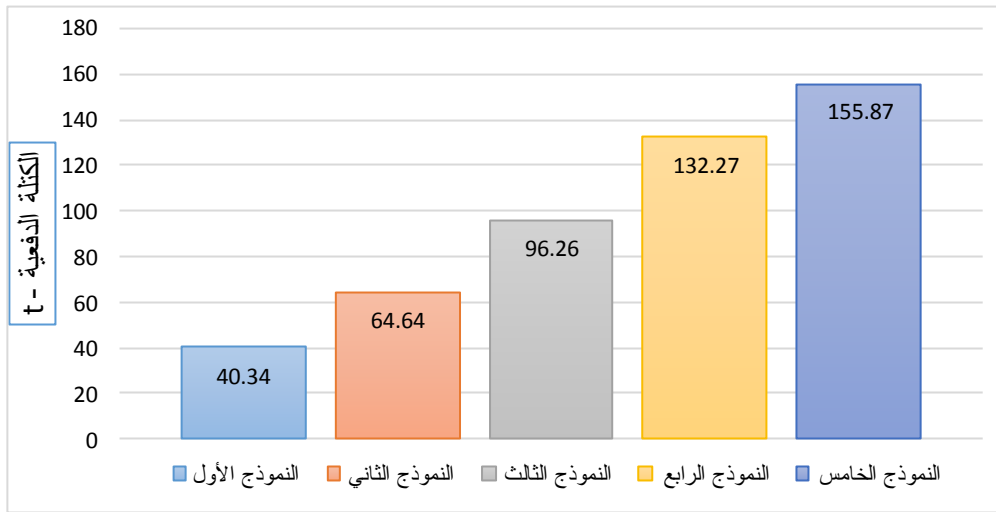
$M_c = 155.87 \text{ t}$

$h_c = 1.8 \text{ m}$

$k_c = 47.42 \text{ t/m}$

الشكل (6) نماذج الخزانات العالية المستخدمة في الدراسة

يبين المخطط البياني التالي قيمة الكتلة المهتزة (الدفعية) لكل نموذج من النماذج الخمس :



الشكل (7) مخطط بياني يظهر قيم الكتلة الدفعية في النماذج المعتمدة في الدراسة

يظهر المخطط السابق أن أكبر كتلة مائبة مهتزة كانت في النموذج الخامس وأقل كتلة مائبة مهتزة كانت في

النموذج الأول .

من أجل تحديد أثر حجم الكتلة المهتزة في التخادم، تم تحليل النماذج الخمس على برنامج SAP2000

باستخدام طريق السجل الزمني لزلزالين حيث تم اختيار زلزال سنترو باعتباراه زلزال متوسط الشدة حيث $PGA =$

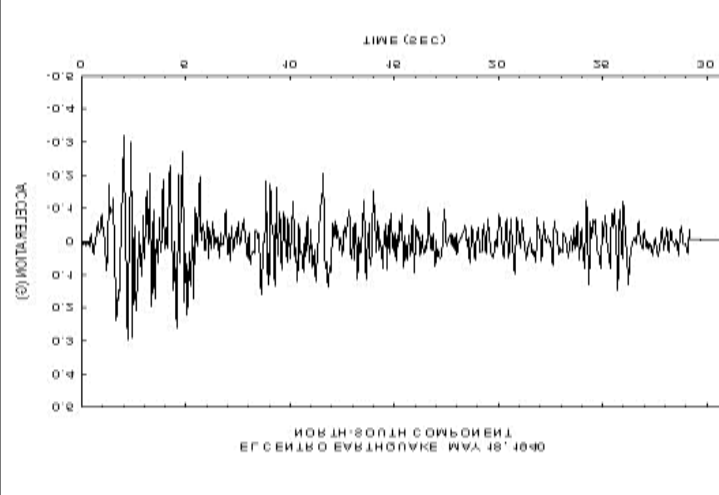
$(0.32g)$ ، وتم اختيار زلزال كوبي باعتباراه زلزال عالي الشدة ($PGA = 0.82g$)، ومن ثم تمت مقارنة النتائج في كلا

الحالتين.

النتائج والمناقشة :

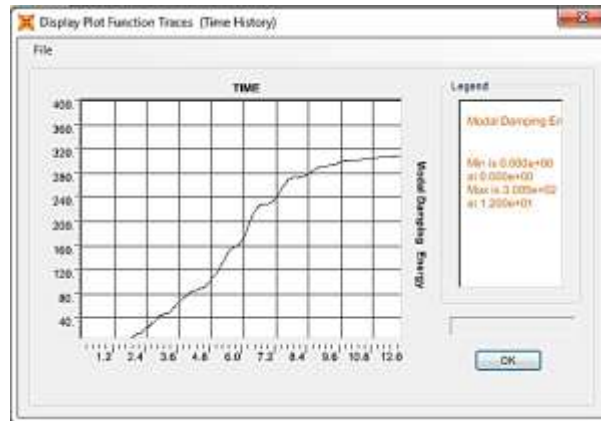
التحليل باستخدام السجل الزمني لزلزال السنترو :

حدث زلزال السنترو في 18 أيار من العام 1940 في مدينة السنترو في ولاية كاليفورنيا في الولايات المتحدة الأمريكية وقد سبب أضراراً كبيرة للمنشآت والأبنية وأدى لخسائر هائلة، وقد بلغت شدة الزلزال 6.9 على مقياس ريختر وبلغت قيمة التسارع الأعظمي ($PGA = 0.32g$)، يبين الشكل التالي مخطط السجل الزمني لزلزال السنترو:



الشكل (8) السجل الزمني لزلزال السنترو

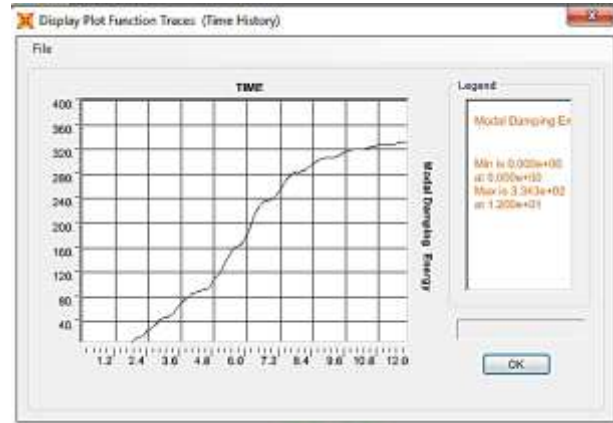
تظهر المخططات التالية طاقة التخماد النمطية والتي تعبر عن كمية الطاقة الممتصة بفعل التخماد النمطي للنموذج، حيث تم اعتماد تخامد نسبي يرتبط بمصوفة الصلابة ومصفوفة الكتلة كما ورد سابقاً :
- النموذج الأول ($H=8.85m, D=6m$)



الشكل (9) الطاقة المبددة في النموذج الأول عند تطبيق سجل السنترو

$$M.D.E = 309.5 \text{ kn.m}$$

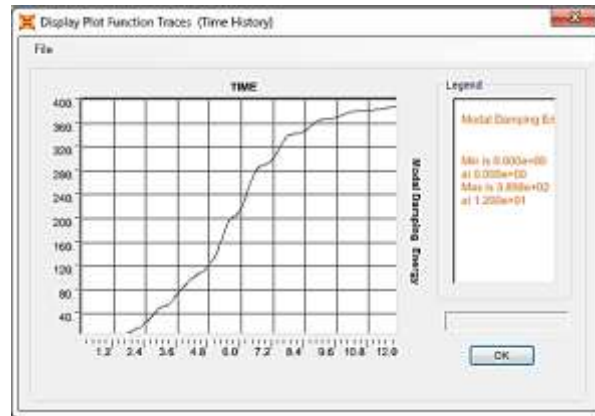
- النموذج الثاني ($H=6.5m, D=7m$)



الشكل (10) الطاقة المبددة في النموذج الثاني عند تطبيق سجل السنترو

$$M.D.E = 334.3 \text{ kn.m}$$

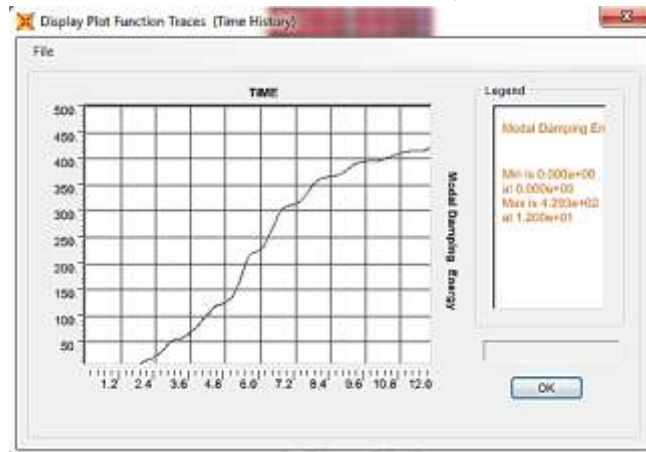
- النموذج الثالث ($H=5m, D=8m$)



الشكل (11) الطاقة المبددة في النموذج الثالث عند تطبيق سجل السنترو

$$M.D.E = 389.8 \text{ kn.m}$$

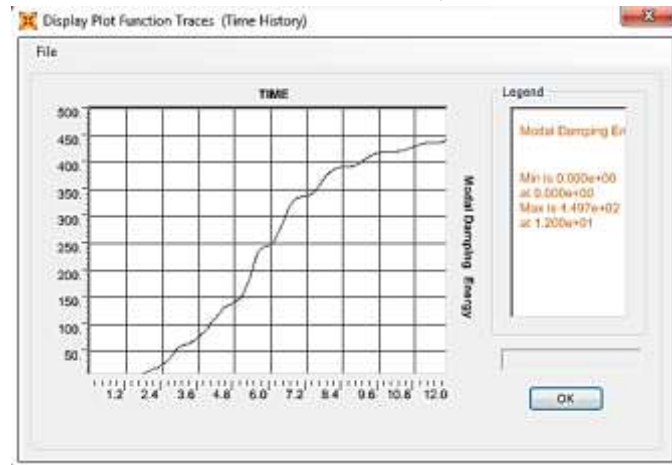
- النموذج الرابع ($H=3.93m, D=9m$)



الشكل (12) الطاقة المبددة في النموذج الرابع عند تطبيق سجل السنترو

$$M.D.E = 429.3 \text{ kn.m}$$

- النموذج الخامس ($H=3.2m, D=10m$)



الشكل (13) الطاقة المبددة في النموذج الخامس عند تطبيق سجل السنترو

$$M.D.E = 449.7 \text{ kn.m}$$

بإظهار النتائج السابقة عبر مخطط بياني:

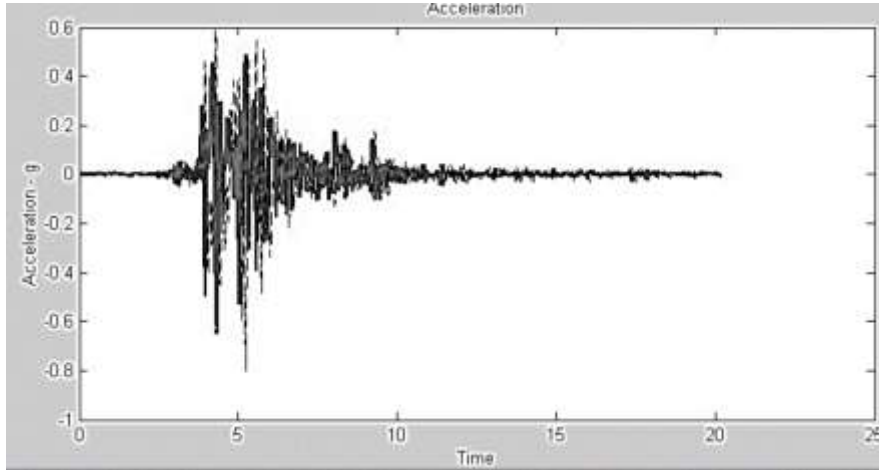


الشكل (14) مخطط بياني لكمية الطاقة المبددة للنماذج الخمس عند تطبيق السنترو

يظهر المخطط البياني زيادة كمية الطاقة المبددة مع زيادة كمية السائل المهتز وهو ما يبين الأثر الكبير الذي تلعبه حركة السائل في تبديد طاقة الاهتزاز المدخلة بفعل طاقة تنذبذ السطح الحر للسائل.

التحليل باستخدام السجل الزمني لزلزال كوبي:

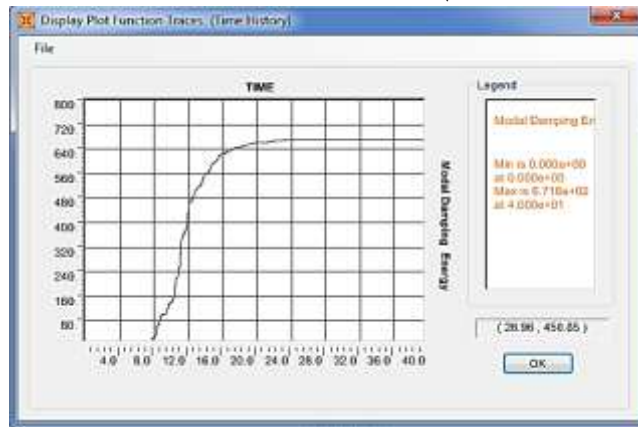
من أجل التحقق من النتائج التي تم الوصول إليها عند التحليل باستخدام السجل الزمني لزلزال السنترو، تم التحليل باستخدام سجل زمني لزلزال آخر وهو زلزال كوبي الذي حدث في اليابان في مدينة كوبي في السابع عشر من كانون الثاني عام 1995، ويعتبر هذا الزلزال من أقوى الزلازل التي حدثت في اليابان منذ عام 1923 حيث بلغت شدته 6.9 على مقياس ريختر وكانت قيمة التسارع الأعظمي ($PGA = 0.82g$)، وقد استمر لمدة عشرين ثانية موقعا خسائر كبيرة في المنطقة وخاصة في مدينة كوبي، يعرض الشكل التالي تسجيل زلزال كوبي:



الشكل (15) السجل الزمني لزلزال كوبي

تبين المخططات التالية كمية الطاقة الممتصة بفعل التخماد النمطي للنماذج الخمس حيث تم اعتماد تخامد نسبي يرتبط بمصوفة الصلابة ومصفوفة الكتلة:

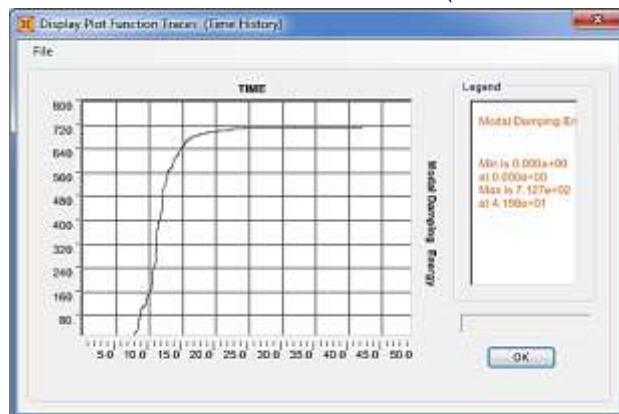
- النموذج الأول ($H=8.85m, D=6m$)



الشكل (16) الطاقة المبددة في النموذج الأول عند تطبيق سجل كوبي

$$M.D.E = 671.6 \text{ kn.m}$$

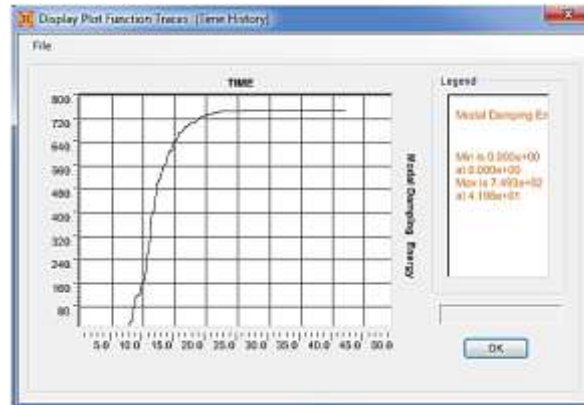
- النموذج الثاني ($H=6.5m, D=7m$)



الشكل (17) الطاقة المبددة في النموذج الثاني عند تطبيق سجل كوبي

$$M.D.E = 712.7 \text{ kn.m}$$

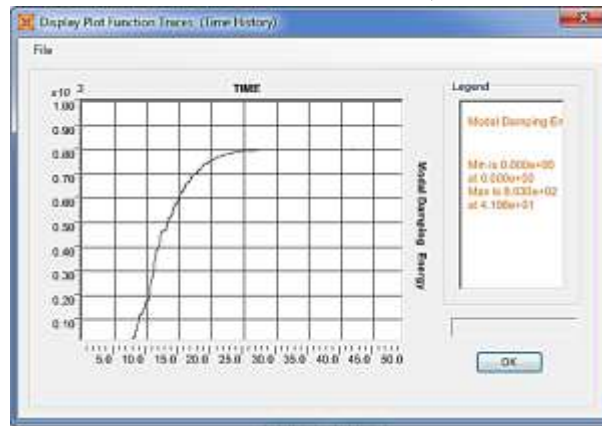
-النموذج الثالث (H=5m,D=8m)



الشكل (18) الطاقة المبدة في النموذج الثالث عند تطبيق سجل كوبي

$$M.D.E = 749.3 \text{ kn.m}$$

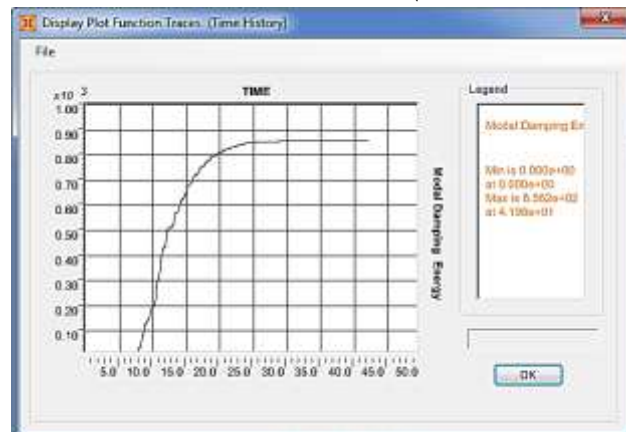
-النموذج الرابع (H=3.93m,D=9m)



الشكل (19) الطاقة المبدة في النموذج الرابع عند تطبيق سجل كوبي

$$M.D.E = 803 \text{ kn.m}$$

-النموذج الخامس (H=3.2m,D=10m)



الشكل (20) الطاقة المبدة في النموذج الخامس عند تطبيق سجل كوبي

$$M.D.E = 856.2 \text{ kn.m}$$

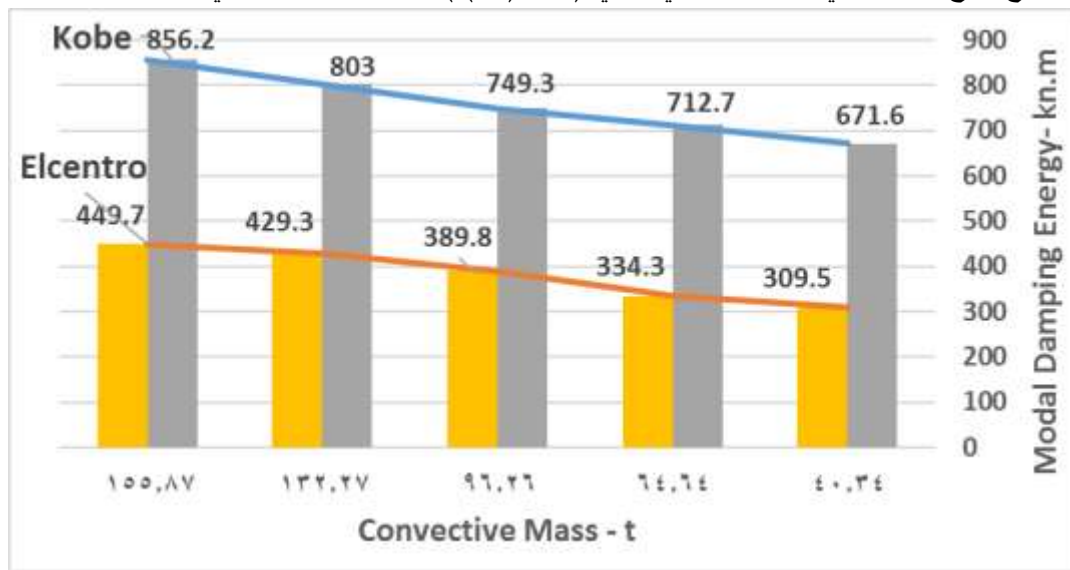
كما يبين الشكل (21) مخطط بياني يلخص النتائج السابقة :



الشكل (21) مخطط بياني لكمية الطاقة المبددة للنماذج الخمس عند تطبيق كوبي

يؤكد المخطط البياني النتائج التي تم التوصل إليها عند التحليل باستخدام سجل السنترو، حيث تتناسب كمية الطاقة المبددة طردياً مع كمية السائل المهتز .

تم تجميع نتائج السجلين في المخطط البياني التالي (شكل(22)) لتبيان نسبة التخميند في كل منهما :



الشكل (22) مقارنة بين نتائج كوبي ونتائج السنترو

يظهر المخطط البياني السابق تزايد كمية الطاقة المبددة عند التعرض لزلزال عالي الشدة وهو ما يبين أن زيادة حركة السائل داخل الحلة يؤدي إلى تبديد كمية أكبر من الطاقة المدخلة، كما يبين أن زيادة كمية السائل المهتز عن طريق إنقاص ارتفاع السائل وزيادة مساحة السطح الحر يؤدي إلى زيادة كمية الطاقة المبددة بفعل حركة الأمواج المتولدة حيث أن زيادة حجم السائل المهتز بمقدار 47% أدى إلى زيادة كمية الطاقة المبددة بمقدار 45% عند التعرض لزلزال متوسط الشدة وإلى 28% عند التعرض لزلزال عالي الشدة.

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- أظهرت الدراسة السابقة الدور الذي تلعبه السوائل في التخميد في المنشآت التي تحتوي على مستوعب سائل كما هو الحال في الخزانات العالية أو الخزانات المتوضعة في أعلى الأبراج السكنية أو المسابح التي توضع على السطح في الفنادق.
- 2- يسهم اهتزاز السطح الحر للسائل في تبديد طاقة الاهتزاز المدخلة إلى المنشأة عن طريق حركة الأمواج المتشكلة وهو ما يؤدي إلى التقليل من الاستجابة الديناميكية للمنشأة.
- 3- يلعب حجم الكتلة السائلة المهتزة دوراً في زيادة كمية الطاقة المبددة، حيث تزداد كمية الطاقة المبددة مع زيادة حجم السائل المهتز.
- 4- يزداد حجم السائل المهتز مع زيادة مساحة السطح الحر للسائل والتقليل من الارتفاع، وبالتالي تكون كمية الطاقة المبددة أكبر.
- 5- إن زيادة حجم السائل المهتز بمقدار 47% أدى إلى زيادة في كمية الطاقة المبددة بمقدار 45%.
- 6- يوصي البحث بدراسة أثر قوى الضغط الهيدروديناميكي المتولدة على جدران الخزان وأخذها بالاعتبار عند التصميم.
- 7- يوصي البحث بأخذ تأثير التفاعل مع التربة نتيجة حركة السائل المهتز.

المراجع:

- 1- JITADITYW, M ، HARSHA, N. *Tuned Liquid Damper*. International Conference on Mechanical Engineering and Mechatronics, Czech Republic, 2014.
- 2- TUAN , A. *Vibration Control in a 101-Storey Building Using a Tuned Mass Damper* . Journal of Applied Science and Engineering , 2014 .
- 3- JIN, K. Y. *Nonlinear Characteristics of Tuned Liquid dampers*. Dissertation of Doctor of Philosophy, University of Washington, United States of America. 1997.
- 4- HAROUN, M.A., HOUSNER, G.W.,. *Seismic design of liquid storage tanks*, ASCE Journal of Technical Councils , 1981.
- 5- HOUSNER, G.W., *Dynamic behavior of water tanks* , Bulletin of the Seismological Society of the America , Vol 53, No 2, pp 381-387, 1963 .
- 6- EUROCODE-8, *Design of structures for earthquake resistance: Silos, tanks and pipelines*. Part 4, European Committee for Standardization , 2003.
- 7- CHOPRA . A , *Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering*. University of California at Berkeley , Third Addition , 2007