تقييم القص القاعدي لنماذج من خزانات المياه العالية البيتونية المسلحة بالاعتماد على معامل السلوك اللامرن R

الدكتور عصام ناصر1
الدكتور بسام حويجة2
رهام ابوبالا3

ملخص

يعد القص القاعدي أساساً في عملية التصميم الإنشائي الزلزالي للمنشآت، ويحسب كنسبة من وزن المنشأ، ويعتمد التصميم الزلزالي للمنشآت على سلوكها اللامرن وقدرتها على تبديد الطاقة الزلزالية، وبهذا السياق يستخدم معامل السلوك اللامرن R الذي يعكس قدرة المنشأ على تخفيض القوى الزلزالية التصميمية بما يحقق تصميم آمن وتكلفة اقتصادية مناسبة لاسيما خزانات المياه العالية نظراً لأهمية استمرار وظيفتها بتخزين مياه الشرب أو الإطفاء بعد حدوث الزلزال.

يتناول البحث دراسة تحليلية لمجموعة نماذج خزانات مياه عالية من البيتون المسلح ذات أحواض دائرية سعتها $(200\ ,100)\ m^3$ وهيكلها الحامل إطاري واسطواني. حيث قمنا بتحديد قيم المعامل R وفق مبدأ الطاقة وأجرينا تحليل لاخطي للنماذج باستخدام برنامج ABAQUS مع نمذجة الماء وفق طريقة Housner بهدف الحصول على القص القاعدي ومقارنة القص الناتج مع قيم القص الموافقة لقيم R الواردة في الكود العربي السوري.

أظهرت الدراسة تباين الأمان باستخدام القص القاعدي للخزانات مع قيم المعامل R المُقدمة في الملحق (7) للكود العربي السوري، وضرورة إعادة التقييم لهذه القيم لما أبدته النماذج المدروسة من سلوك ضعيف تحت تأثير الحمل الزلزالي تَمثّل بتضرر البيتون وزيادة الضرر بزيادة الشدة الزلزالية.

الكلمات المفتاحية: القص القاعدي– معامل السلوك اللامرن– خزانات مياه عالية – تحليل لاخطي – نموذج هوسنر.

1 أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية – الهندسة المدنية – جامعة اللاذقية – اللاذقية – سورية.
2 أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية – الهندسة المدنية – جامعة اللاذقية – اللاذقية – سورية.
3 طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الإنشائية – الهندسة المدنية – جامعة اللاذقية – اللاذقية – سورية.

Evaluation of Base Shear for RC Elevated Water Tanks Models Based on the Inelastic Behavior Factor R

Dr.Issam Nasser 1
Dr.Bassam Hweijeh 2
Reham abobala 3

Abstract

Base shear is considered a fundamental parameter in seismic structural design process, and it is calculated as a proportion of the structural weight. Seismic design of structures depends on their ductile behavior and their ability to dissipate seismic energy.

In this context the behavior (response modification) factor R is used, reflecting the structure's capacity to reduce seismic forces. This enables achieving a safe and economical design, particularly for elevated water tanks, given the importance of maintaining their function of storing drinking or fire-extinguishing water after an earthquake.

This study presents an analytical investigation of a set of models of reinforced concrete water tanks with circular basins, having capacities of (100,200) m^3, supported on frame and cylindrical staging systems. The values of the factor R were determined based on the energy principle. Nonlinear analyses were carried out using the ABAQUS software, taking into account fluid – structure interaction according to Housner's method. The objective was to obtain the base shear and compare the resulting shear values with the permissible limits of R specified in the Syrian Arab Code.

The study demonstrated that using base shear for tanks, together with the values of the factor R specified in Appendix (7) of the Syrian Arab Code, leads to conservative estimates. It also highlighted the necessity of re-evaluation these values, as the studied models exhibited weak behavior under seismic loading, characterized by brittle failure of the concrete and an increase in damage with increasing earthquake intensity.

Keywords: Base Shear- Inelastic Behavior Factor - Elevated water Tanks – Nonlinear Analysis – Housner Model.

1 Professor- Department of Structural Engineering - Civil Engineering - University of Latakia – Latakia - Syria.
2 Professor- Department of Structural Engineering - Civil Engineering - University of Latakia – Latakia -Syria.
3 Postgarduat Student- Department of Structural Engineering- Civil Engineering- University of Latakia- Latakia – Syria.

جدول(1) الرموز ودلالاتها:

الرمز	دلالته
$(A_h)_i$	معامل زلزالي أفقي تصميمي للمركبة النبضية
m_i	الكتلة النبضية للسائل
m_s	كتلة الحوض وثلث كتلة الهيكل الحامل للخزان
$(A_h)_c$	معامل زلزالي أفقي تصميمي للكتلة الاضطرابية
m_c	الكتلة الاضطرابية للسائل
Z	معامل المنطقة الزلزالية
I	معامل أهمية المنشأ
$\frac{S_a}{g}$	المعامل المتوسط لتسارع الاستجابة
R	معامل السلوك اللامرن
Ω_0	معامل المقاومة الزائدة
R_μ	معامل تخفيض المطاوعة
V_e	القص القاعدي المرن الأعظمي
V_y	القص القاعدي عند الخضوع
μ	معامل المطاوعة
Δ_{max}	الانتقال الجانبي الأعظمي لأعلى المنشأ
Δ_y	الانتقال الجانبي الموافق لقص الخضوع
R_S	معامل السلوك للمقاومة الإنشائية
R_ξ	معامل السلوك للتخامد
R_R	معامل درجة عدم التقرير
PGA_u	التسارع الأعظمي الموافق لحد الانهيار للمنشأ
PGA_y	التسارع الأعظمي الموافق لحد الخضوع
E_h	الطاقة الهيستيرية (اللدنة)
E_s	الطاقة المرنة
$\overline{\sigma_t}$	إجهاد الشد المسموح في البيتون
$f_c^/$	المقاومة المميزة للبيتون

إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح	f_y
الإجهاد المسموح في فولاذ التسليح	$\overline{\sigma_S}$
مساحة فولاذ التسليح	A_S
قوة الشد المحورية	N_t
إجهاد الشد في البيتون	σ_{ct}
عزم الانعطاف	M
الارتفاع الفعال للمقطع	d
كتلة الماء	m
القطر الداخلي لحوض الخزان	D
ارتفاع الماء في حوض الخزان	h
ارتفاع الكتلة النبضية عن قاع حوض الخزان	h_i
ارتفاع الكتلة الاضطرابية عن قاع حوض الخزان	h_c

1. المقدمة:

إن التصميم الإنشائي للمنشآت المقاومة للزلازل يعتمد على القص القاعدي، فهو يمثل محصلة القوى الأفقية الناتجة عن الحمل الزلزالي عند قاعدة المنشأ، وتكتسب خزانات المياه العالية أهمية خاصة نظراً لطبيعتها الديناميكية المركبة الناتجة عن تفاعل السائل مع المنشأ مما يؤثر على خصائص الاستجابة الزلزالية مقارنة بالمنشآت الأخرى. تستخدم نماذج مبسطة لمحاكاة حركة المياه ضمن حوض الخزان ويعد نموذج (HOUSNER،1963) أقدمها وأكثرها شيوعاً واستُخدم في دراسات عديدة منها (موسى،2016) و(الضايع،2024) حيث يُقسم كتلة المياه إلى كتلتين سفلية وتسمى الكتلة النبضية أو الدفعية (Implusive Mass) ذات اتصال صلب مع جدران الخزان والعلوية وتسمى الكتلة الاضطرابية أو الانتشارية (Convective Mass) ذات اتصال نابضي مع جدارن حوض الخزان، قدَّم الكود الأوروبي (EN1998, 2006) جدولاً يمكن من خلاله حساب هذه الكتل بالاعتماد على ارتفاع الشريحة المائية h ونصف القطر الداخلي للحوض R وعَرض (2022،الملحق (7) للكود العربي السوري) علاقات تربط كتلتي الماء في الحوض بأبعاد مقطع الحوض الدائري والمستطيل وارتفاع الشريحة المائية ضمنه.

نصّت الإرشادات (IITK-GSDMA,2007) على حساب مركبتي القص للكتلتين النبضية V_i والاضطرابية V_c وفق المعادلات التالية:

$$V_i = (A_h)_i * (m_i + m_s)\, g \qquad (1)$$

$$V_c = (A_h)_c * m_c\, g \qquad (2)$$

فيكون القص الكلي على الخزان :

$$V = \sqrt{{V_i}^2 + {V_c}^2} \qquad (3)$$

ويحسب المعامل الزلزالي وفق العلاقة (4)

$$A_h = \frac{Z}{2}\,\frac{I}{R}\,\frac{S_a}{g}$$

التالية:

ويحسب معامل السلوك اللامرن R من علاقة الكود (UBC،97) كما يلي:

$$R = \Omega_0 * R_\mu \qquad (5)$$

Ω_0 : معامل المقاومة الزائدة (Over Strength Factor)، يخفض قص الخضوع إلى قص تصميمي وفق الصيغة:

$$\Omega_0 = \frac{V_y}{V_d} \qquad (6)$$

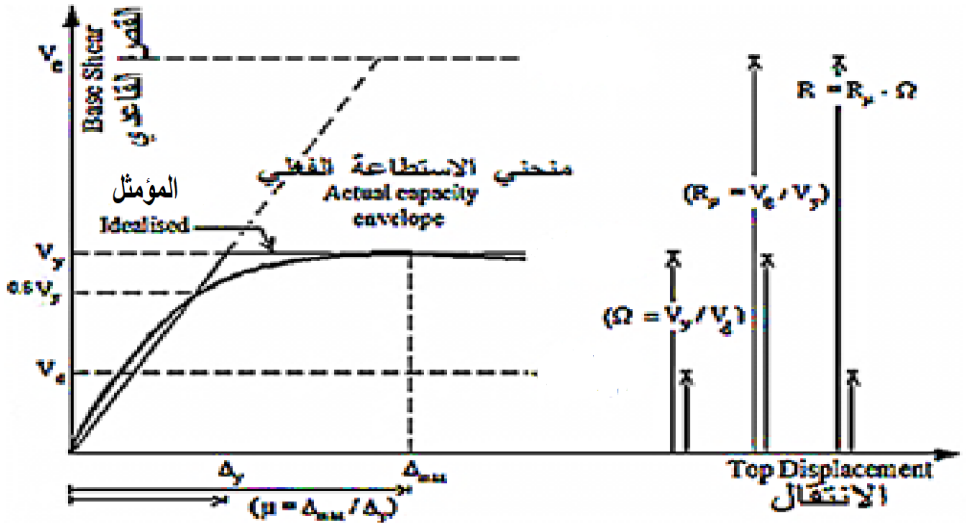
R_μ : معامل تخفيض المطاوعة أو معامل السلوك للمطاوع (Reduced Ductilty Factor) R_μوهو النسبة التي تخفض القص المرن إلى قص الخضوع للمنشأ ويعطى بالصيغة:

$$R_\mu = \frac{V_e}{V_y} \qquad (7)$$

معامل المطاوعة μ الذي يمثل النسبة بين الانتقال الأعظمي إلى انتقال الخضوع لأعلى المنشأ.

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \qquad (8)$$

يظهر الشكل (1) دور المعامل R في تخفيض القص المرن إلى قص تصميمي:



الشكل (1) تأثير المعامل R على قوة القص القاعدية V

تعطى علاقة حساب المعامل R وفق الـ (ATC-19 , 1995) بالشكل:

$$R = R_S * R_\mu * R_\xi \qquad (9)$$

R_S : معامل السلوك للمقاومة الإنشائية (Resisting Behavior Factor).

R_ξ : معامل السلوك للتخامد (Damping Behavior Factor).

وفق(ATC-34) نكتب العلاقة الآتية لحساب R:

$$R = R_S * R_\mu * R_\xi * R_R \qquad (10)$$

R_R : معامل درجة عدم التقرير.

كما يمكن حساب المعامل R بتحديد مستويات التسارع الأعظمي المرتبطة بحدود الأداء المختلفة للمنشأ، حيث يعرف المعامل R كنسبة بين التسارع الأعظمي الموافق لحد الانهيار للمنشأ PGA_u والتسارع الأعظمي الموافق لحد الخضوع PGA_y (ZAFAR ،2009).

$$R = \frac{PGA_u}{PGA_y} \qquad (11)$$

كما يمكن أن يعبَّر عن المعامل R بدلالة العلاقة بين الطاقة الزلزالية الداخلة إلى المنشأ E_{TOTAL} والطاقة المرنة المختزنة فيه مؤقتاً $E_{Elastic}$ والتي تعكس قدرته على تبديد جزء من الطاقة بآليات لامرنة مما يوفر تمثيل مبسط لسلوك المنشأ تحت تأثير الأحمال الزلزالية. وهذا التمثيل أقرب إلى معامل السلوك للمطاوعة R_μ لأن الطاقة الكلية مجموع للطاقات الحركية E_k والطاقة المرنة E_s وطاقة التخميد اللزج E_d والطاقة الهيستيرية (اللدنة) E_h (Gholami et al,2021) وجميعها ناتجة عن سلوك لايمثل مقاومة المقاطع للعناصر الإنشائية، وعندما نستثني الطاقة الحركية وطاقة التخميد اللزج يمكن لنا التعبير عن المعامل R كما يلي:

$$R = \sqrt{1 + \frac{E_h}{E_s}} \qquad (12)$$

تناولت العديد من الكودات والمعايير التصميمية منها ASCE 7-10، ACI 350-3 تحديد قيم للمعامل R لخزانات المياه بالاعتماد على خصائص النظام الإنشائي وظروف التأسيس ونوع مادة الإنشاء، وهي قيم تقريبية مما يستدعي اجراء المزيد من الدراسات التحليلية بهدف وضع قيم أكثر تمثيلا لخصائص خزانات المياه ذات السلوك الديناميكي المركب.

اعتمد الكود العربي السوري العلاقات (1–2–3–4) كمنهجية لحساب القص القاعدي التصميمي وقدم قيم للمعامل R حسب الهيكل الحامل ومادة الإنشاء: القيم 2.5–4 للهيكل الإطاري والقيم 3.5– 4 للهيكل الاسطواني من البيتون المسلح.

2. أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذه الدراسة من الحاجة إلى فهم سلوك خزانات المياه العالية تحت تأثير الحمل الزلزالي وتحديداً فيما يتعلق بحساب القص القاعدي لدوره في التصميم الإنشائي وضمان سلامة واستمرار عمل هذه المنشآت بعد الزلزال، وفي تقييم مدى ملاءمة استخدام قيم معامل السلوك اللامرن R الواردة في ملحق الخزانات للكود العربي السوري.

يهدف البحث إلى حساب القص القاعدي لنماذج خزانات مياه عالية من البيتون المسلح محمولة على هيكل إطاري وأخرى على هيكل اسطواني بسعات تخزينية $100m^3$ و $200m^3$ وذات أحواض دائرية واقعة في المنطقة الزلزالية 2C، أجرينا الدراسة للخزانات وفق ثلاث حالات ملء: فارغ، نصف مليء لسعتي التخزين، بالإضافة إلى ربع مليء وثلاثة أرباع مليء لسعة $100m^3$ باستخدام تحليل ديناميكي لاخطي وتم حساب القص القاعدي بالاعتماد على معامل السلوك اللامرن R المحسوب وفق قدرة الخزان على تبديد الطاقة الزلزالية.

وقمنا بمقارنة القص الناتج مع القص المحسوب بالعلاقة (3) باعتماد القيم الدنيا للمعامل R الواردة في الملحق(7) للكود العربي السوري (2.5 للهيكل الإطاري – 3.5 للهيكل الاسطواني).

3. مواد وطرائق البحث:

3.1 النماذج المستخدمة في الدراسة:

تم استخدام أربعة نماذج من الخزانات العالية ويوضح الجدولين(2-3) أبعاد عناصرها البيتونية المسلحة، والشكل (2) نماذجها ثلاثية الأبعاد ومساقطها الأفقية. تمت النمذجة العددية وفق برنامج ABAQUS حيث نُمذجَت عناصر البيتون كعناصر حجمية صلبة ثلاثية الأبعاد (C3D8R) بشكل مكعب بثمان عقد عند الزوايا ونمذجة فولاذ التسليح كعناصر خطية (T3D2) قضبان ثلاثية الأبعاد على الشد والضغط فقط بعقدتين وربطه مع البيتون باستخدام Embedded Region أي ترابط تام بينهما وربط أجزاء الخزان باستخدام قيود Tie لضمان استمرارية الاتصال، مع توليد شبكة عناصر (m1-0.5) تعد مناسبة لدراسة سلوك الخزان بأبعاده الكبيرة، وإدخال التأثير الزلزالي على شكل تسارع قاعدي Acceleration Boundary Condition (على السطح السفلي للحصيرة) يُلزم بدرجة حرية باتجاه تطبيق التسارع الزلزالي مع وثق باقي درجات الحرية، وهذا يوافق التحليل الديناميكي اللاخطي Dynamic Implicit، وقمنا بإسناد خصائص الكثافة Density والمرونة Elasticity للبيتون والفولاذ وسلوك البيتون على الشد والضغط CDP Concrete Damaged Plasticity واللدونة للفولاذ Plactisty.

تجدر الإشارة إلى أن دقة التحليل العددي ترتبط بدقة النموذج الرياضي للمنشأ المدروس وإن دقة النموذج الرياضي تستند إلى نمذجة كافة العناصر المشكلة للمنشأ بما فيها قضبان التسليح وبالنظر إلى إمكانيات

الحواسيب الشخصية المستخدمة فإن النمذجة الدقيقة إضافة إلى استخدام تحليل ديناميكي ضمني لا خطي والمجال الزمني للسجل الزلزالي ستساهم في إطالة زمن التحليل بشكل غير وافي. لذلك قمنا باعتماد بعض التبسيطات التي تمكننا من اجراء الحساب بطريقة منطقية مع المحافظة على دقة النتائج وهذه التبسيطات مرتبطة باعتماد طبقة تسليح للعناصر مكافئة للتسليح الحقيقي ونمذجة المياه في حوض الخزان وفق مبدأ HOUSNER واجراء التحليل على الجزء الذي يضم قيم تسارعات كبيرة من السجل الزلزالي.

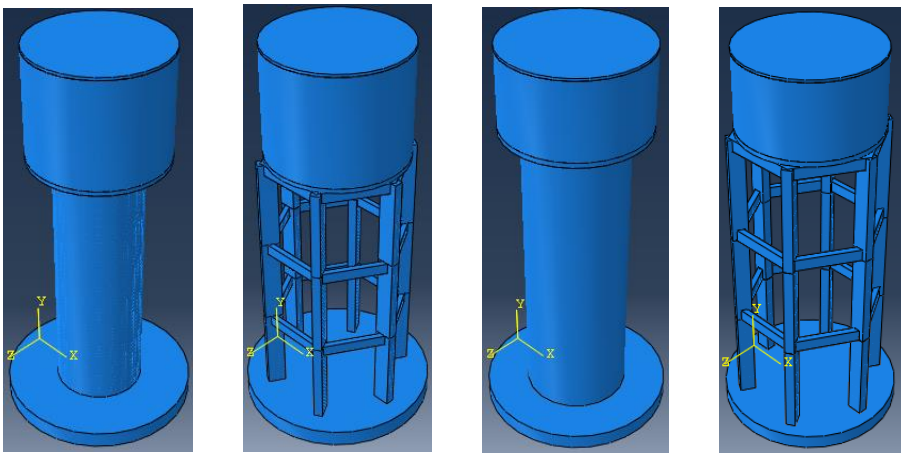
الجدول (2) نموذجي الخزان بهيكل حامل إطاري وحوض دائري بسعتي $100m^3, 200m^3$.

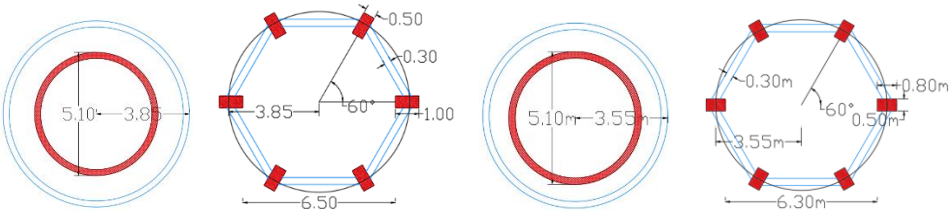
نموذج الخزان بهيكل حامل إطاري وحوض دائري	سعة $100m^3$ الأبعاد mm	سعة $200m^3$ الأبعاد mm
ارتفاع الخزان	15000	15000
مقاطع الأعمدة	500*800	500*1000
ارتفاع العمود	5000	5000
مقاطع الجوائز	300*600	300*600
سماكة بلاطة حوض الخزان السفلية	250	250
نصف قطر بلاطة حوض الخزان السفلية	3550	3850
ارتفاع جدار الحوض	3800	6000
سماكة جدران حوض الخزان	250	250
نصف قطر بلاطة حوض الخزان العلوية	3550	3850
سماكة بلاطة حوض الخزان العلوية	120	150
نصف قطر الحصيرة	4650	5400
ارتفاع الحصيرة	800	1000

الجدول (3) نموذجي الخزان بهيكل حامل اسطواني وحوض دائري بسعتي $100m^3, 200m^3$.

نموذج الخزان بهيكل حامل اسطواني وحوض دائري	سعة $100m^3$	سعة $200m^3$

الأبعاد mm	الأبعاد mm	
15000	15000	ارتفاع الجدار الاسطواني المفرغ
250	250	سماكة الجدار الاسطواني المفرغ
3850	3550	نصف قطر بلاطة حوض الخزان السفلية
250	250	سماكة بلاطة حوض الخزان السفلية
6000	3800	ارتفاع جدار الحوض
250	250	سماكة جدران حوض الخزان
3850	3550	نصف قطر بلاطة حوض الخزان العلوية
150	120	سماكة بلاطة حوض الخزان العلوية
5400	4650	نصف قطر الحصيرة
1000	800	ارتفاع الحصيرة





الشكل (2) نماذج الخزانات والمساقط الأفقية للهيكل الحامل

3.2 تصميم المقاطع العرضية لعناصر خزانات المياه:

تمَّ تصميم عناصر خزانات المياه وفقاً لما جاء في (2022،الملحق (7) للكود العربي السوري) و (2012، الكود العربي السوري) حيث تُحسب سماكات جدران وبلاطة الحوض الملامسة للماء وفق المرحلة الأولى الموافقة لعدم تجاوز الإجهادات المسموحة على الشد للبيتون (عدم تشقق البيتون) ويتم التحقق من الكتامة لهذه العناصر باعتبارها خاضعة لحمولة ضغط هيدروستاتيكية بألا يتجاوز إجهاد الشد في البيتون الإجهاد المسموح $\overline{\sigma_{ct}} = 0.4\sqrt{f_c'}$ في حالة الشد المركزي أو الشد اللامركزي بلا مركزية صغيرة، و $\overline{\sigma_{cb}} = 0.57\sqrt{f_c'}$ في حالة الانعطاف البسيط أو الشد اللامركزي بلا مركزية كبيرة، وألا يتجاوز حد التشقق القيمة 0.1mm مع عدم ضرورة دراسة الكتامة عند تشكل إجهادات الشد على وجه المقطع البعيد عن الماء.

ويحسب التسليح في حالة الاستثمار أو في حالة الحد الأقصى وتعتمد نسبة دنيا بقيمة 0.3% للتسليح من النوع عالي المقاومة.

العلاقة المستخدمة في التصميم لحساب فولاذ التسليح على قوى الشد المحورية بفرض إهمال مقاومة البيتون للشد:

$$A_S = \frac{N_t}{\overline{\sigma_S}} \qquad (13)$$

A_S : مساحة فولاذ التسليح N_t : قوة الشد المحورية $\overline{\sigma_S} = 0.55f_y$: الإجهاد المسموح في فولاذ التسليح

ولضمان عدم تجاوز الإجهادات في البيتون قيم الإجهادات المسموحة:

$$\sigma_{ct} = \frac{N_t}{A_C + (n-1)A_S} < \overline{\sigma_t} \qquad (14)$$

A_C: مساحة المقطع البيتوني المشدود n: النسبة المعيارية وتؤخذ مساوية ل 10

μ : نسبة التسليح (نسبة مساحة التسليح على مساحة البيتون) .

والإجهادات المتولدة في المقطع بتأثير عزم الانعطاف M تحسب كما يلي:

$$\sigma_{cb} = \mp \frac{6\,M}{b\,t^2} \qquad (15)$$

t : سماكة جدار الخزان b : شريحة مترية وتكون مساحة فولاذ التسليح اللازمة:

$$A_S = \frac{M}{\overline{\sigma_s}\,0.8\,d} \qquad (16)$$

d : العمق الفعال للمقطع

تم اعتماد سلوك لاخطي للفولاذ والبيتون CDP Concrete Damaged Plasticity، وكانت خواص المواد المستخدمة: $f_c^{/} = 30\ MPa \ - \ f_y = 410\ MPa$.

3.3 نمذجة المياه:

اعتُمدت طريقة HOUSNER في دراستنا لنمذجة المياه الشكل (3) والملحق (7) للكود العربي السوري لحساب كتل الماء وارتفاعاتها وفق العلاقات (17-18-19-20-21)، وكانت قيم ومنسوب الكتل النبضية والاضطرابية عن قاع الحوض كما في الجدول (4).

$$\frac{m_i}{m} = \frac{\tanh\left(0.866\frac{D}{h}\right)}{0.866\frac{D}{h}} \qquad (17)$$

$$\frac{h_i}{h} = 0.375 \qquad \text{عندما} \quad \frac{h}{D} \le 0.75 \qquad (18)$$

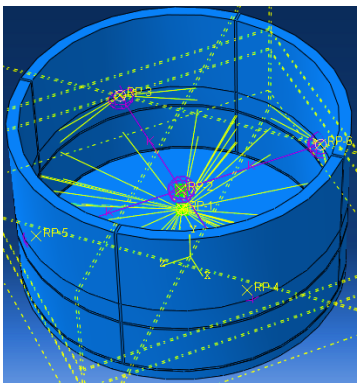
$$\frac{h_i}{h} = 0.5 - \frac{0.09375}{\frac{h}{D}} \qquad \text{عندما} \quad \frac{h}{D} > 0.75 \qquad (19)$$

$$\frac{m_c}{m} = 0.23 \frac{\tanh(3.68 \frac{h}{D})}{\frac{h}{D}} \quad (20)$$

$$\frac{h_c}{h} = 1 - \frac{\cosh\left(3.68 \frac{h}{D}\right) - 1.0}{3.68 \frac{h}{D} \sinh\left(3.68 \frac{h}{D}\right)} \quad (21)$$

جدول (4) قيم الكتل النبضية والاضطرابية وارتفاعاتها لنماذج الخزانات المدروسة

سعة الحوض الدائري	حالة الملء	الكتلة النبضية للماء Impulsive Mass (kg)	منسوب الكتلة النبضية h_i , (m)	الكتلة الاضطرابية للماء Convectiv Mass (kg)	منسوب الكتلة الاضطرابية h_c , (m)
$100m^3$	ربع مليء	3199	0.274	20068	0.370
	نصف مليء	13445	0.563	35511	0.791
	ثلاثة أرباع مليء	28450	0.822	43460	1.215
	مليء	51525	1.125	48446	1.773
$200m^3$	نصف مليء	40257	0.938	57714	1.395
	مليء	138228	1.875	66569	3.325

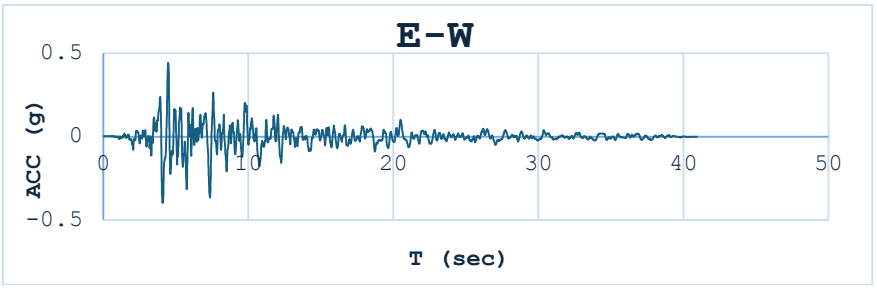


الشكل (3) نمذجة المياه ضمن حوض الخزان

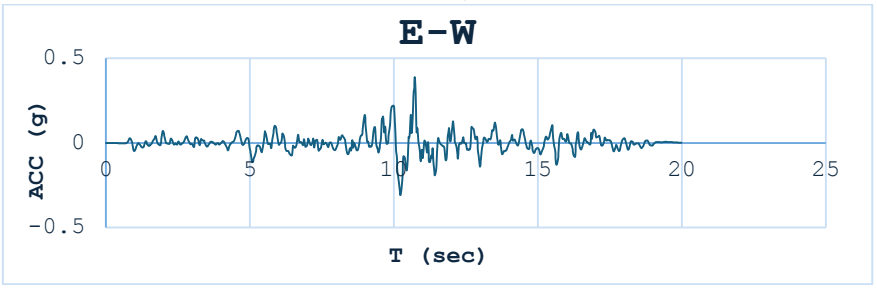
3.4 تم تحليل النماذج وفق ثلاثة سجلات زلزالية مقيَّسة لزلازل حقيقية تم الحصول عليها من المعهد العالي للدراسات والبحوث الزلزالية في دمشق مناسبة للاستخدام في المنطقة الزلزالية 2C (المنطقة المعتمدة لدراسة نماذج الخزانات)، الأول لزلزال اليونان 1981 والثاني أرمينيا 1988 والثالث لزلزال تركيا 1999 وفق المعطيات الواردة بالجدول التالي:

الجدول (5) معطيات الزلازل المستخدمة في تحليل النماذج

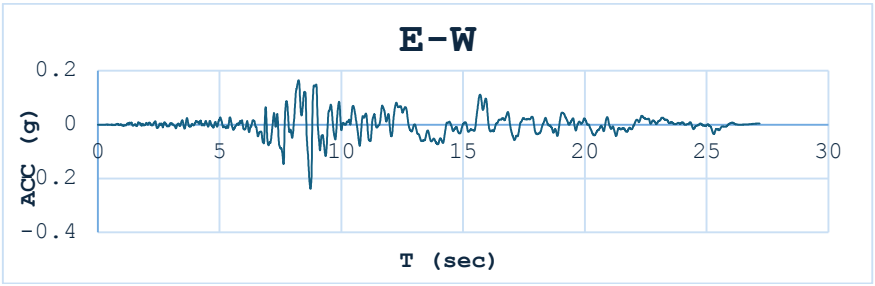
No	الزلزال	العام	مقدار الزلزال	التسارع الأرضي الأعظمي PGA-E (g)	التسارع الأرضي الأعظمي المقيّس $PGA\text{-}E_{sc}$ (g)
1	Corinth, (Greece)	1981	6.6	0.236	0.443
2	Spitak, (Armenia)	1988	6.8	0.2	0.387
3	Kocaeli, (Turkey)	1999	7.5	-0.311	0.238



الشكل (4) السجل الزمني المقيّس لزلزال اليونان 1981



الشكل (5) السجل الزمني المقيّس لزلزال أرمينيا 1988



الشكل (6) السجل الزمني المقيّس لزلزال تركيا 1999

4. النتائج ومناقشتها:

4.1 تم حساب معامل السلوك للمطاوعة R_μ وفق العلاقة (12) مع اعتماد الإزاحة الأعظمية Δ_{max} كمؤشر لذروة الاستجابة فهي تعكس بشكل دقيق تطور السلوك أثناء الحمل الزلزالي واعتماد اللحظة الزمنية المرافقة لها لتكون اللحظة الزمنية التي نستخدم عندها قيمة طاقة اللدونة Plastic Dissipation ALLPD كمؤشر للطاقة اللدنة E_h (الطاقة المبددة المرتبطة بالتشوهات غير المرنة) وقيمة طاقة الانفعال Strain Energy ALLSE للطاقة المرنة المخزنة والتي تزول بإزالة التحميلE_s، حيث يعطي التحليل العددي في برنامج ABAQUS قيم هذه الطاقات عند كل لحظة زمنية من مدة التحليل.

وحساب معامل السلوك للمقاومة الزائدة Ω_0 وفق العلاقة (6) استناداً إلى قوة القص التصميمة المحسوبة بالعلاقة (3) (قيم المعامل R الكودية) وقص الخضوع الناجم عن التحليل الديناميكي اللاخطي، وكانت النتائج كما يظهر الجدول(5) التالي:

جدول (5) قيم معامل السلوك للمطاوعة R_μ ومعامل المقاومة الزائدة Ω_0 الناتجة لنماذج الخزانات المدروسة

شدة السجل الزلزالي PGA_{SC}	الهيكل الحامل	مقطع الحوض وسعته التخزينية	حالة الملء	R_μ	Ω_0
TURKIA 1999 $PGA_{SC} = 0.238g$	إطاري	دائري $100m^3$	فارغ	2.76	2.99
			ربع مليء	2.51	2.83

			1.41	1.08	نصف مليء
			2.36	2.76	ثلاثة أرباع مليء
			1.84	2.5	مليء
	اسطواني		6.24	1.94	فارغ
			6.25	1.92	ربع مليء
			5.76	1.79	نصف مليء
			3.79	1.89	ثلاثة أرباع مليء
			3.72	1.79	مليء
	اطاري	دائري $200m^3$	2.51	2.027	فارغ
			2.07	1.97	نصف مليء
			1.66	1.76	مليء
	اسطواني		5.06	1.11	فارغ
			5.26	1.07	نصف مليء
			3.89	1.45	مليء
ARMENIA 1988 $PGA_{SC} = 0.387g$	اطاري	دائري $100m^3$	4.23	2.64	فارغ
			3.89	2.42	ربع مليء
			3.91	2.49	نصف مليء
			3.14	2.54	ثلاثة أرباع مليء
			2.04	3.29	مليء
	اسطواني		8.17	2.12	فارغ
			11.34	2.59	ربع مليء
			6.19	1.8	نصف مليء
			4.32	2.07	ثلاثة أرباع مليء

شدة السجل الزلزالي PGA_{SC}	الهيكل الحامل	مقطع الحوض وسعته التخزينية	حالة الملء	R_μ	Ω_0
ARMENIA 1988 $PGA_{SC} = 0.387g$	اسطواني	دائري $100m^3$	مليء	1.72	5.31
	اطاري	دائري $200m^3$	فارغ	2.62	3.38
			نصف مليء	3	1.96
			مليء	2.87	1.5
	اسطواني		فارغ	1.45	9.84
			نصف مليء	1.11	6.82
			مليء	1.39	5.78
GREEC 1981 $PGA_{SC} = 0.443g$	اطاري	دائري $100m^3$	فارغ	3.39	5.16
			ربع مليء	3.12	4.73

			نصف مليء	2.45	4.39	
			ثلاثة أرباع مليء	2.67	3.71	
			مليء	2.84	2.29	
		سطواني	فارغ	2.85	11.30	
			ربع مليء	2.59	11.13	
			نصف مليء	2.24	8.77	
			ثلاثة أرباع مليء	2.61	5.26	
			مليء	2.34	5.24	
		اطاري	فارغ	2.78	4.92	
			نصف مليء	2.71	3.05	
			مليء	2.52	2.29	
	دائري $200m^3$	اسطواني	فارغ	1.72	11.88	
			نصف مليء	1.45	6.91	
			مليء	1.99	5.57	

نلاحظ أن قيم معامل السلوك للمقاومة Ω_0 كبيرة لحالة الهيكل الاسطواني مقارنة مع الهيكل الإطاري، وتزداد مع زيادة شدة الزلزال وهذا يعود إلى أن القص المحسوب بالتحليل الديناميكي اللاخطي يتأثر بشدة الزلزال، ولكن المعامل Ω_0 هو خاصية تتعلق بالمنشأ لذلك تم اعتماد قيمة دنيا $\Omega_0 = 1.2$ والتي تعد أكثر واقعية لمقاومة عناصر النموذج للشدة الزلزالية الأقل $0.238g$ المستخدمة في التحليل.

4.2 انطلاقاً من العلاقة (3) تم حساب القص القاعدي المرن $V_{elastic}$ ($R = 1$) والقص القاعدي التصميمي V_d وفق قيم R الكودية الدنيا والقص القاعدي $V_{Analyses}$ الموافقة لقيم ((5) جدول) $R_{Analyses} = 1.2 * R_{\mu}$ ، كما يظهر الجدول (6).

الجدول(6) قيم القص القاعدي ومعامل السلوك اللامرن R لنماذج الخزانات المستخدمة في الدراسة

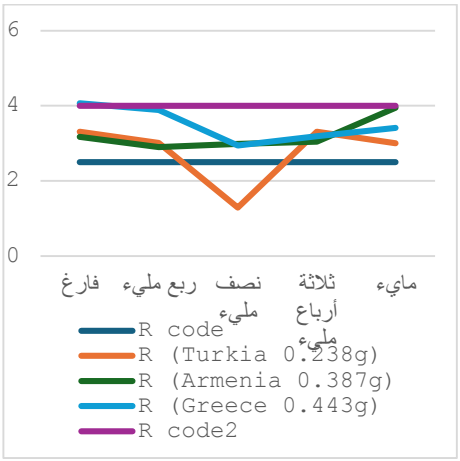
شدة السجل الزلزالي PGA_{SC}	الهيكل الحامل	مقطع الحوض وسعته التخزينية	حالة الملء	$V_{elastic}$ 10^5 N	R_{code}	V_d 10^5 N	$R_{Analyses}$	$V_{Analyses}$ 10^5 N
TURKIA 1999	اطاري	دائري	فارغ	5.923	2.5	2.37	3.31	1.789

2.018	3.01	2.43	2.5	6.075	ربع مليء	$100m^3$		$PGA_{SC} = 0.238g$
5.078	1.29	2.62	2.5	6.55	نصف مليء			
2.183	3.31	2.89	2.5	7.225	ثلاثة أرباع مليء			
2.758	3	3.31	2.5	8.275	مليء			
2.749	2.33	1.83	3.5	6.405	فارغ		اسطواني	
2.846	2.3	1.87	3.5	6.545	ربع مليء			
3.256	2.15	2.0	3.5	7	نصف مليء			
4.764	2.27	3.09	3.5	10.815	ثلاثة أرباع مليء			
4.884	2.15	3.0	3.5	10.5	مليء			
3.467	2.43	3.37	2.5	8.425	فارغ	دائري $200m^3$	اطاري	
4.735	2.36	4.47	2.5	11.175	نصف مليء			
7.002	2.11	5.91	2.5	14.775	مليء			
6.000	1.33	2.28	3.5	7.98	فارغ		اسطواني	
8.981	1.29	3.31	3.5	11.585	نصف مليء			
9.434	1.74	4.69	3.5	16.415	مليء			
1.869	3.17	2.37	2.5	5.925	فارغ	دائري $100m^3$	اطاري	ARMENIA 1988 $PGA_{SC} = 0.387g$
2.095	2.9	2.43	2.5	6.075	ربع مليء			
2.191	2.99	2.62	2.5	6.55	نصف مليء			
2.369	3.05	2.89	2.5	7.225	ثلاثة أرباع مليء			
2.095	3.95	3.31	2.5	8.275	مليء			
2.512	2.55	1.83	3.5	6.405	فارغ		اسطواني	
2.105	3.11	1.87	3.5	6.545	ربع مليء			
3.241	2.16	2.0	3.5	7	نصف مليء			
4.361	2.48	3.09	3.5	10.815	ثلاثة أرباع مليء			
5.097	2.06	3.0	3.5	10.5	مليء			
2.683	3.14	3.37	2.5	8.425	فارغ	دائري $200m^3$	اطاري	
3.104	3.6	4.47	2.5	11.175	نصف مليء			
4.295	3.44	5.91	2.5	14.775	مليء			
4.586	1.74	2.28	3.5	7.98	فارغ		اسطواني	
8.646	1.34	3.31	3.5	11.585	نصف مليء			
9.771	1.68	4.69	3.5	16.415	مليء			
1.456	4.07	2.37	2.5	5.925	فارغ	دائري $100m^3$	اطاري	GREEC 1981 $PGA_{SC} = 0.443g$

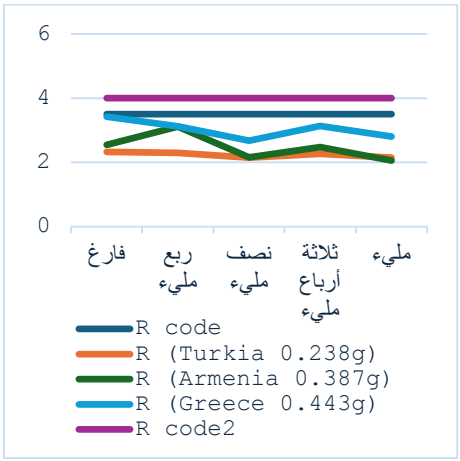
$V_{Analyses}$ 10^5 N	$R_{Analyses}$	V_d 10^5 N	R_{code}	$V_{elastic}$ 10^5 N	حالة الملء	مقطع الحوض	الهيكل الحامل	شدة السجل الزلزالي PGA_{SC}

		وسعته التخزينية						
GREEC 1981 $PGA_{SC} = 0.443g$	اطاري	دائري $100m^3$	ربع مليء	6.075	2.5	2.43	3.89	1.562
			نصف مليء	6.55	2.5	2.62	2.94	2.228
			ثلاثة أرباع مليء	7.225	2.5	2.89	3.19	2.265
			مليء	8.275	2.5	3.31	3.41	2.427
	اسطواني		فارغ	6.405	3.5	1.83	3.42	1.873
			ربع مليء	6.405	3.5	1.87	3.12	2.053
			نصف مليء	7	3.5	2.0	2.68	2.612
			ثلاثة أرباع مليء	10.815	3.5	3.09	3.13	3.455
			مليء	10.5	3.5	3.0	2.81	3.737
	اطاري	دائري $200m^3$	فارغ	8.425	2.5	3.37	3.34	2.522
			نصف مليء	11.175	2.5	4.47	3.25	3.438
			مليء	14.775	2.5	5.91	3.02	4.892
	اسطواني		فارغ	7.98	3.5	2.28	2.06	3.874
			نصف مليء	11.585	3.5	3.31	1.74	6.658
			مليء	16.415	3.5	4.69	2.38	6.897

نجد من الأشكال (a-7) و(a-8) أن قيم معامل السلوك اللامرن R الناتجة بالدراسة تقع ضمن مجال القيم الكودية (2.5–4) للهيكل الإطاري الحامل لحالة الشدات الزلزالية الأعلى نتيجة تأثر سلوك الخزان بالشدة الزلزالية ومتقاربة مع الحد الأدنى للشدة الأقل والتي تعتبر أكثر تمثيلاً للخصائص الإنشائية للخزان، في حين تظهر الأشكال (b–7) و(b–8) أن معامل السلوك اللامرن R الناتجة بالدراسة هي أقل من القيم الكودية (3.5–4) للهيكل الاسطواني الذي يعطينا قيم قص قاعدي أكبر من الهيكل الاطاري، الأشكال(9–10).

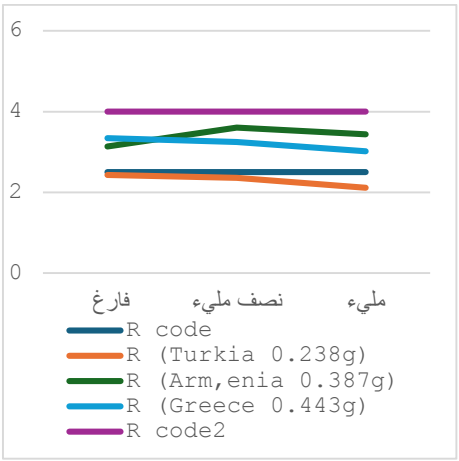


الشكل (a) هيكل اطاري

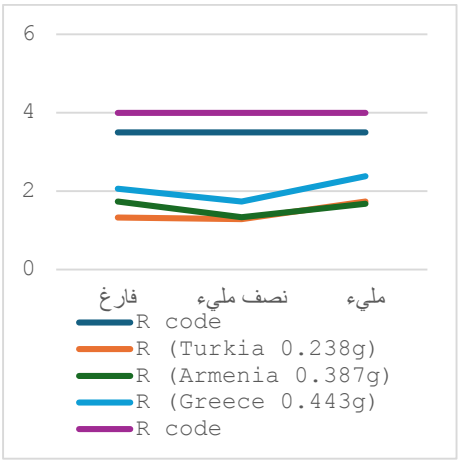


الشكل (b) هيكل اسطواني

الشكل (7) معامل السلوك اللامرن R لنماذج الخزانات المدروسة، حوض دائري، سعة تخزينية $100m^3$

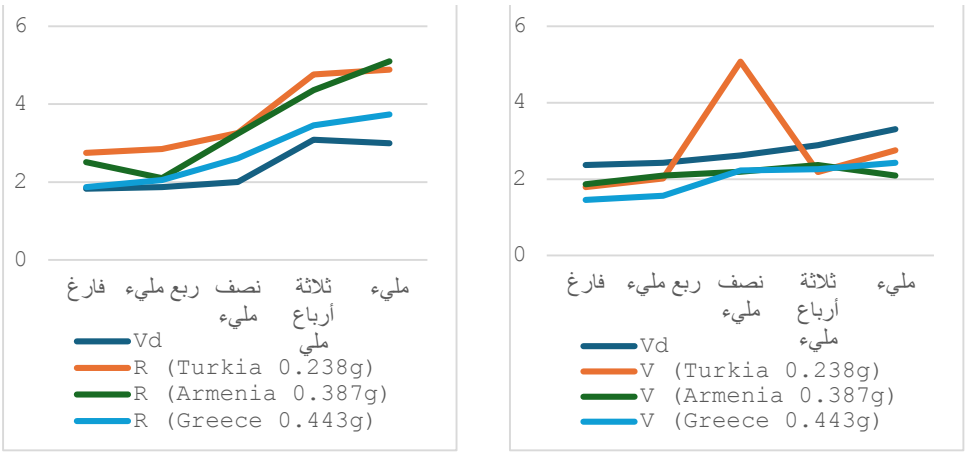


الشكل (a) هيكل اطاري



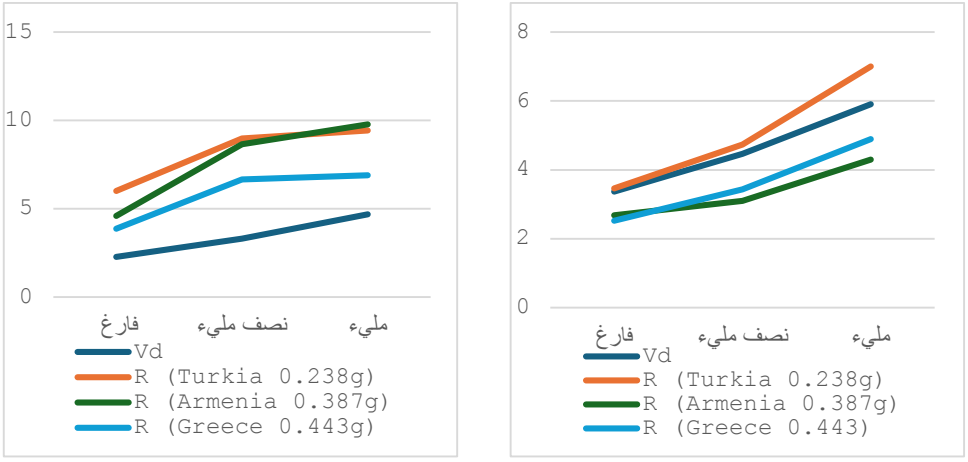
الشكل (b) هيكل اسطواني

الشكل (8) معامل السلوك اللامرن R لنماذج الخزانات المدروسة، حوض دائري، سعة تخزينية $200m^3$



الشكل (a) هيكل اطاري الشكل (b) هيكل اسطواني

الشكل (9) القص القاعدي لنماذج الخزانات المدروسة، حوض دائري، سعة تخزينية $100m^3$



الشكل (a) هيكل اطاري الشكل (b) هيكل اسطواني

الشكل (10) القص القاعدي لنماذج الخزانات المدروسة، حوض دائري، سعة تخزينية $200m^3$

5. الاستنتاجات والتوصيات:

5.1 أعطت استجابة نماذج خزانات المياه العالية المستخدمة في الدراسة ذات الهيكل الاسطواني الحامل قص قاعدي أكبر من الهيكل الإطاري، ويزداد القص القاعدي بازدياد سعة التخزين وحالة الملء لحوض الخزان (فارغ – ربع مليء– نصف مليء– ثلاثة أرباع مليء – مليء).

5.2 إن تأثر القص القاعدي بالشدة الزلزالية مرتبط بتأثر معامل السلوك اللامرن R حيث يفضل اعتماد قيمه لشدات زلزالية منخفضة فمع شدات أعلى يزداد التضرر الموضعي الحاصل في الخزان ولا يعبر عن طاقة فعلية مبددة وإنما عن تدهور سلوك مادة الإنشاء.

5.3 إن استخدام قيم ثابتة لمعامل السلوك اللامرن R أمر ضروري لأغراض التصميم العملي، إلا أنّ القص القاعدي المحسوب وفق قيم R الكودية لخزانات المياه ذات الهيكل الاسطواني الحامل ($R = 3.5$) لحالات الملء المذكورة في البند الأول قد يكون غير آمن لتخفيضه للقص القاعدي المرن بنسبة تفوق قدرة المنشأ الحقيقية على الاستجابة اللامرنة مما يستدعي إعادة معايرتها بحيث تعكس بشكل أفضل خصائص الهيكل الحامل (النظام الإنشائي).

ونوصي بأن يتم:

1. استخدام مفاهيم الطاقة في تقييم معامل السلوك للمطاوعة R_μ بسبب تقديرها المناسب للسلوك اللاخطي للمنشأ ومدى تأثر هذا السلوك بالشدة الزلزالية، والبحث في حساب المعامل Ω_0 وصولاً لمعامل السلوك اللامرن R وحساب القص القاعدي.
2. دراسة عدد أكبر من نماذج خزانات المياه العالية ذات الهيكل الحامل الاسطواني بسعات تخزينية مختلفة بهدف التأكد من موثوقية قيم معامل السلوك اللامرن R الناتجة في الدراسة.

6. المراجع:

[1] الكود العربي السوري، 2012، *الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة*.

[2] الملحق (7) للكود العربي السوري،2022، *تصميم خزانات المياه الخرسانية المسلحة وتنفيذها*. سورية.

[3] ناصر، عصام ، حسن، مالك، وموسى منهل.2016، *دراسة تحليلية مقارنة لبعض طرق نمذجة السائل في خزانات المياه العالية*. مجلة جامعة حمص مجلد 38، العدد5.

[4] الطرشة، إحسان، غريب، تراث، الضايع، عبدالحليم. 2024، *التحليل الديناميكي اللاخطي لخزان عالي مع أخذ أثر حركة المياه ضمن الحلة*. مجلة جامعة حمص مجلد 46، العدد6.

[5] American Society of Civil Engineers.2010, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE7-10)*.Reston, VA, USA.

[6] Applied Technology Council. 1995, CALIFORNIA.

[7] European Committee for Standardization, Eurocode8.2006, *Design of structures for earthquake resistance-Part4:Soils,tanks and pipelines.* Brussels, Belgium.

[8] GHOLAMI, N; GARIVANI, S; ASKARIANI, S, S.2021, *State – of – the Art Review of Energy – Based Seismic Design Methods.* Archives of Computational Methods in Engineering (2022) 29:1965-1996, CIMNE, Barcelona, Spain2021.

[9] Housner, G, W.1963, *"The Dynamic Behavior of Water Tanks"* ,*Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 53, No. 2, pp. 381-387. February,.

[10] IITK-GSDMA Project Team. 2007,*Guidelines for Seismic Design of Liquid Storage Tanks*.Indian Institute of Technology Kanpur and Gujarat State Disaster Management Authority, Kanpur, India

[11] Uniform Building Code .1997,Volume 2.

[12] ZAFAR, A. 2009, *RESPONSE MODIFICATION FACTOR OF REINFORCED CONCRETE MOMENT RESISTING FRAMES IN*

DEVELOPING COUNTRIES. Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Civil Engineering in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign,92.