مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (10) العدد (10) 2026

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (10) 2026

# تقييم معامل السلوك اللامرن R لنماذج خزانات مياه عالية من البيتون المسلح

**د. عصام ناصر***

**د. بسام حويجة****

**رهام ابوبالا*****

**(تاريخ الإيداع 2026/4/14 . قُبِل للنشر في 2026/5/24 )**

**□ ملخّص □**

يقوم التصميم الزلزالي للمنشآت على امتصاص طاقة الزلزال وتبديدها ولا سيما خزانات المياه العالية لأهمية استمرار وظيفتها بتخزين مياه الشرب بعد حدوث الزلزال.

يتناول البحث دراسة تحليلية لمجموعة خزانات مياه عالية من البيتون المسلح لتحديد قيم معامل السلوك اللامرن R لدوره في تخفيض قيم القص القاعدي الناتج عن الاستجابة المرنة إلى القيم التصميمية، اعتماداً على معامل المطاوعة للمنشأ ومقاومته الفائضة، مما ينعكس إيجاباً على تصميم العناصر الإنشائية وتكلفة التنفيذ.

تمت الدراسة باستخدام برنامج ABAQUS وبتحليل ديناميكي لاخطي لنموذجين من خزانات المياه ذات الأحواض الدائرية والمستطيلة، بسعة $100\ m^3$ وهيكل حامل إطاري لكل منهما، وبنمذجة المياه بطريقة Housner وقمنا بحساب المعامل R وفق ثلاث منهجيات (قوة – إزاحة، التسارعات الأعظمية للانهيار والخضوع، طاقة التشوه المبددة).

أظهرت الدراسة إمكانية الاعتماد على طريقة الطاقة لحساب R مع ضرورة اعتماد قيم محافظة لخزانات المياه العالية نظراً للسلوك الهش الذي أظهرته النماذج المدروسة، كما أن قيم الدراسة كانت متقاربة مع قيم الملحق (7) للكود العربي السوري (2022,ملحق 7 للكود السوري).

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

*أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية – الهندسة المدنية – جامعة اللاذقية – اللاذقية – سورية.1

** أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية – الهندسة المدنية – جامعة اللاذقية – اللاذقية – سورية.2

*** طالبة دكتوراه في قسم الهندسة الإنشائية – الهندسة المدنية – جامعة اللاذقية – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (10) العدد (10) 2026

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (10) 2026

# Evaluation of the Inelastic Behavior Factor R for Reinforced Concrete Elevated Water Tank Samples

**Dr.Issam Nasser ***
**Dr.Bassam Hweijeh ****
**Reham abobala *****

**(Received 14/4/2026. Accepted 24/5/2026)**

**□ ABSTRACT □**

Seismic design of structures is fundamentally based on the capacity to absorb and dissipate earthquake – induced energy. This is particularly critical for elevated water tanks, given their essential role in ensuring the continuity of water supply for domestic use purpose following seismic events.

This study presents an analytical investigation of reinforced concrete elevated water tanks aimed at evaluating the inelastic behavior factor ( R ), which reduces elastic base shear to design levels based on the structural ductility and overstrength. Nonlinear dynamic analyses were conducted using ABAQUS on two configurations with circular and rectangular basins, each with a capacity of 100 $m^3$and supported by a frame system. The hydrodynamic effects were modeled using the HOUSNER approach.The R factor was evaluated using three methodologies: force-displacement, maximum acceleration, and hysteretic energy dissipation.

The results show that hysteretic energy dissipation methodology provides more reliable estimate for elevated water tanks, considering their structural behavior, and the obtaind values are consistent with those specified in Appendix (7) of the Syrian code (Appendix 7 for the Syrian code,2022).

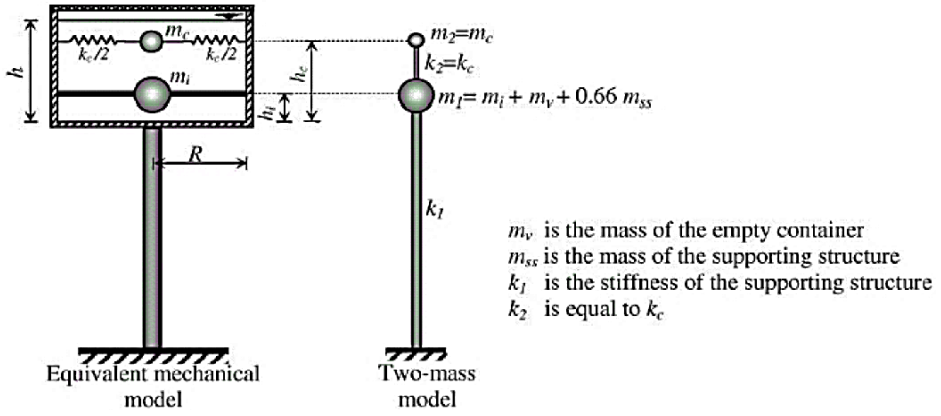
**Keywords:** Nonlinear Behavior Factor - Elevated Water Tanks – Nonlinear Analysis – Housner Model.

* Professor- Department of Structural Engineering - Civil Engineering - University of Latakia – Latakia - Syria.
** Professor- Department of Structural Engineering - Civil Engineering - University of Latakia – Latakia - Syria.
*** Postgarduat Student- Department of Structural Engineering- Civil Engineering- University of Latakia- Latakia – Syria.

## 1. المقدمة:

تتطلب عملية التصميم الزلزالي لخزانات المياه العالية تحليل سلوكها بما تحتويه من سائل تحت تأثير الحمل الزلزالي ومعرفة قدرة الخزان على امتصاص طاقة الزلزال وتبديدها بالتشوهات المرنة أو اللدنة بحيث لا تؤثر على مقاومته الفعلية.

قدّم عدد من الباحثين طرق لنمذجة المياه ضمن حوض الخزان عند دراسة سلوكه الزلزالي ومنهم الباحث (HOUSNER,1963) الذي جزأ كتلة المياه إلى كتلتين: سفلية وتسمى الكتلة النبضية أو الدفعية (Implusive Mass) والعلوية وتسمى الكتلة الاضطرابية أو الانتشارية (Convective Mass) الشكل (1).




**الشكل(1) نموذج HOUSNER لتمثيل كتلة الماء لخزان مياه عالي (HOUSNER,1963)**

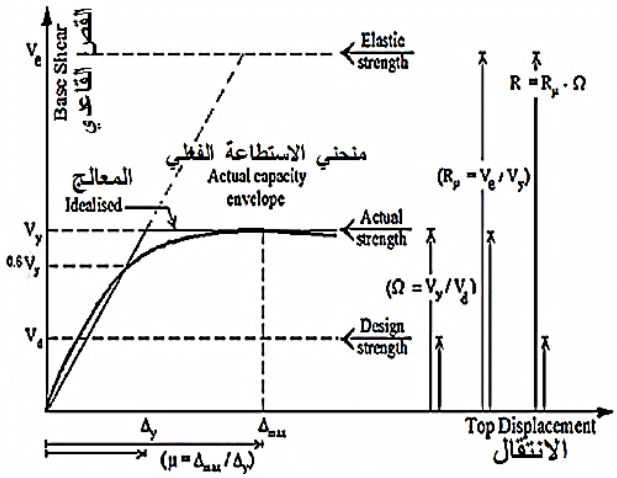
$m_v$: كتلة الحوض فارغ $m_{ss}$ : كتلة الهيكل الحامل $k_1$: صلابة الهيكل الحامل $k_2 = k_c$ : صلابة النابض

يتم تقييم سلوك المنشآت ومنها الخزانات بالتعامل مع قدرة امتصاص طاقة الزلزال وتبديدها من خلال معامل السلوك اللامرن R الذي يستخدم في تخفيض قوة القص القاعدية، كما يظهر الشكل (2) ويحسب من علاقة الكود (UBC,97 ) كما يلي:

$$R = \Omega_0 * R_\mu \qquad (1)$$

$\Omega_0$ : معامل المقاومة الزائدة (Over Strength Factor).

$R_\mu$ : معامل تخفيض المطاوعة أو معامل السلوك للمطاوعة (Reduced Ductilty Factor) .




**الشكل (2) تأثير المعامل R على قوة القص القاعدية V (ATC,1995)**

أو كجداء ثلاثة مضاريب وفق الـ ( ATC-19 , 1995):

$$R = R_S * R_\mu * R_\xi \qquad (2)$$

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

$R_\xi$ : معامل السلوك للتخامد (Damping Behavior Factor).

ووردت العلاقة الآتية لحساب المعامل R(95, ATC-34) :

$$R = R_S * R_\mu * R_\xi * R_R \qquad (3)$$

$R_R$ : معامل درجة عدم التقرير.

تُعرف **المطاوعة الإنشائية** (Ductility) بأنها قابلية التشوه بعد حد المرونة دون حصول نقص خطير في المقاومة أو في سعة تبديد الطاقة، وتشمل مطاوعة الجملة الإنشائية: مطاوعة المادة $\mu_\varepsilon$ (التشوهات)، مطاوعة المقطع على الانعطاف $\mu_\emptyset$ ومطاوعة الجملة على الانتقال $\mu_\Delta$.

أما **معامل السلوك للمطاوعة** $R_\mu$ فهو النسبة التي تخفض القص المرن إلى قص الخضوع للمنشأ:

$$R_\mu = \frac{V_e}{V_y} \qquad (4)$$

$V_e$: القص القاعدي المرن الأعظمي $V_y$ : القص القاعدي عند الخضوع.

ومعامل المطاوعة $\mu$: النسبة بين الانتقال الأعظمي إلى انتقال الخضوع لأعلى المنشأ.

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \qquad (5)$$

$\Delta_\mu$: الانتقال الجانبي الأعظمي لأعلى المنشأ، $\Delta_y$: الانتقال الجانبي الموافق لقص الخضوع.

وتُعرَّف **المقاومة الإنشائية (Strength)** بأنها قدرة المقطع أو العنصر على مقاومة الحمولات المصعدة المطبقة عليه.

**و المقاومة الزائدة (Over – strength)**: هي خاصية تتعلق بالمنشآت، إذ تكون مقاومتها الفعلية أكبر من مقاومتها التصميمية، ويتعلّق مقدار الزيادة بنوع مادة الإنشاء وجملتها الإنشائية. ويعطى **معامل المقاومة الزائدة** $\Omega_0$ كنسبة بين قص الخضوع إلى القص التصميمي:

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

الأسلوب الذي اعتمده الباحثون مثل (ZAFAR ,2009) في حساب المعامل R يقوم على معرفة التسارع الأعظمي الموافق لحد الانهيار للمنشأ $PGA_u$ والتسارع الأعظمي الموافق لحد الخضوع $PGA_y$ العلاقة (7).

$$R = \frac{PGA_u}{PGA_y} \qquad (7)$$

بالنسبة لمفهوم التصميم الزلزالي المستند على مبدأ الطاقة (Gholami et al,2021) فإن المعامل الذي يمثل نسبة تخفيض طاقة الزلزال الكلية الداخلة للمنشأ $E_{total}$ إلى الطاقة المرنة المخزنة مؤقتاً أثناء حدوث الزلزال $E_{elastic}$ يعبر عن معامل التخفيض R وهو أقرب إلى معامل السلوك للمطاوعة $R_\mu$ لأن الطاقة الكلية تساوي إلى مجموع للطاقة الحركية $E_k$ والطاقة المرنة $E_s$ وطاقة التخميد اللزج $E_d$ والطاقة الهيستيرية (اللدنة)$E_h$ وجميعها ناتجة عن سلوك لا يمثل مقاومة المقاطع للعناصر الإنشائية، وعندما نستثني الطاقة الحركية وطاقة التخميد اللزج يمكننا أن نعبر عن معامل التخفيض R بالصيغة الآتية:

$$R = \sqrt{1 + \frac{E_h}{E_s}} \qquad (8)$$

اقترحت بعض الكودات العالمية منها ASCE 7-10، ACI 350-3 قيم للمعامل R لخزانات المياه بناءً على طبيعة استنادها على الأرض (أرضية أو عالية) وعلى نوع الهيكل الحامل (إطاري أو اسطواني) ومادة الإنشاء (بيتون مسلح أو فولاذ). اعتمد الكود السوري بملحقه (7) لتصميم خزانات المياه الخرسانية المسلحة وتنفيذيها على الكود الهندي وقدَّم القيمة 2.5 لخزانات المياه المحمولة على إطارات عادية و 4 على إطارات خاصة مقاومة للعزوم.

وهناك العديد من الدراسات البحثية (ELQASRY et al,2023) و (NASR et al, 2022) لعلاقة المعامل R معتمدة على بارمترات الشكل للخزانات أو تأثير تربة التأسيس وغيرها، وجاءت نتائجهم خاصة بالنماذج المدروسة ولا يمكن تعميمها لقلة عدد النماذج المستخدمة في كل دراسة.

### 1-1 أهمية البحث وأهدافه:

استندت القيم التي أعطتها الكودات العالمية لمعامل السلوك اللامرن R لخزانات المياه إلى تجارب مخبرية وأبحاث تحليلية وتقييم سلوكها بعد الأحداث الزلزالية. وفي أغلب البلدان تم اعتماد هذه القيم دون الأخذ بالاعتبار خصائص المناطق المدروسة ونظراً لاختلاف هذه الخصائص من منطقة إلى أخرى لاختلاف خصائص التربة أو طبيعة المنطقة زلزالياً كان لابد من البحث عن القيم الملائمة لـ R الخاصة بالمنطقة المدروسة.

يهدف البحث إلى تحديد قيم المعامل R لخزانات المياه العالية من البيتون المسلح ذات الأحواض الدائرية والمستطيلة والمحمولة على هيكل إطاري والمشيدة في المنطقة الزلزالية 2C باستخدام تحليل ديناميكي لاخطي وفق ثلاث مقاربات (مخطط قوة – إزاحة، التسارعات الأعظمية للانهيار والخضوع ومفهوم الطاقة) ومقارنتها مع القيم التي قدمها الملحق(7) للكود العربي السوري.

## 2- طرائق البحث ومواده:

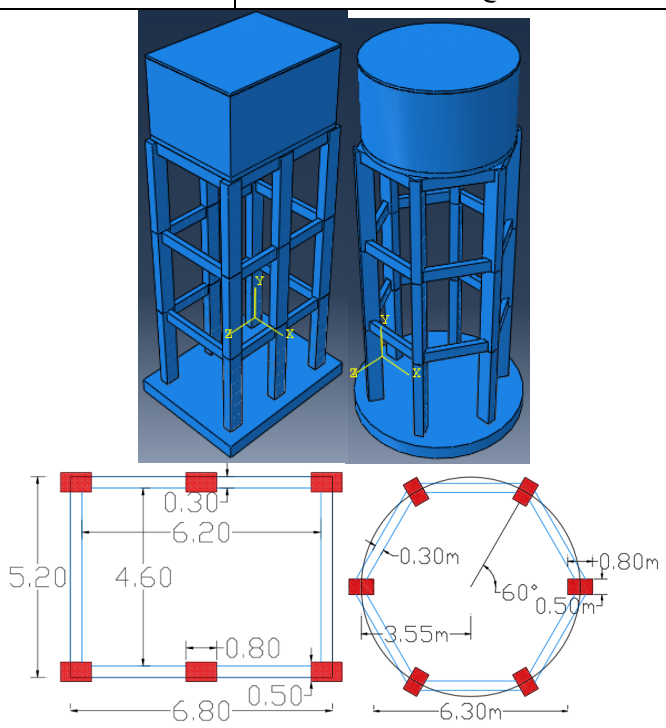
### 1-2 النماذج المستخدمة في الدراسة:

تم استخدام نموذجين من الخزانات المرفوعة ويوضح الجدول (1) أبعاد عناصرها البيتونية المسلحة والشكل (3) نموذج الخزان وجملته الإنشائية. تمت النمذجة العددية وفق برنامج ABAQUS حيث نُمذجَت عناصر البيتون كعناصر حجمية صلبة ثلاثية الأبعاد (C3D8R) مكعبة الشكل بثمان عقد عند الزوايا وتمت نمذجة فولاذ التسليح كعناصر خطية (T3D2) قضبان ثلاثية الأبعاد ذات عقدتين تعمل على الشد والضغط فقط، قمنا بإسناد خصائص مواد الإنشاء: الكثافة Density والمرونة Elasticity للبيتون والفولاذ وسلوك البيتون على الشد والضغط CDP Concrete Damaged Plasticity واللدونة للفولاذ Plastisty.

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 إضافة إلى نوع التحليل المستخدم 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 جزء الذي يضم قيم تسارعات كبيرة من السجل الزلزالي.

**الجدول (1) نموذجي الخزان ذات الحوض الدائري والمستطيل.**

| نموذج الخزان بهيكل حامل إطاري | الأبعاد mm |
|---|---|
| ارتفاع الهيكل الحامل | 15000 |
| مقاطع الأعمدة | 500*800 |
| ارتفاع العمود | 5000 |
| مقاطع الجوائز | 300*600 |
| سماكة بلاطة حوض الخزان السفلية | 250 |
| ارتفاع جدار الحوض | 3800 |
| سماكة جدران حوض الخزان | 250 |
| سماكة بلاطة حوض الخزان العلوية | 120 |
| نصف قطر البلاطة السفلية والعلوية للحوض الدائري | 3550 |
| البلاطة السفلية والعلوية لحوض الخزان المستطيل | L = 6800* B = 5200 |
| نصف قطر الحصيرة للنموذج بحوض دائري | 4650 |
| حصيرة النموذج بحوض مستطيل | L = 8700 ∗ B = 6800 |
| ارتفاع الحصيرة | 800 |




**الشكل (3) نموذجي الخزان ذات الحوض الدائري والمستطيل والمسقط الأفقي للهيكل الحامل**

### 2-2 المقاطع العرضية لعناصر خزانات المياه المستخدمة في النمذجة:

تم تحليل خزانات المياه وتصميم عناصرها كافةً وفقاً لحالات التحميل المنصوص عليها في (2022,الملحق (7) للكود العربي السوري) بما يحقق شرطي المقاومة والكتامة، باعتماد سلوك لاخطي للفولاذ والبيتون Concrete Damaged Plasticity CDP. وكانت خواص المواد المستخدمة:$f_y = 400\ MPa$ $-$ $f_c^{/} = 30\ MPa$

### 3-2 نموذج HOUSNER:

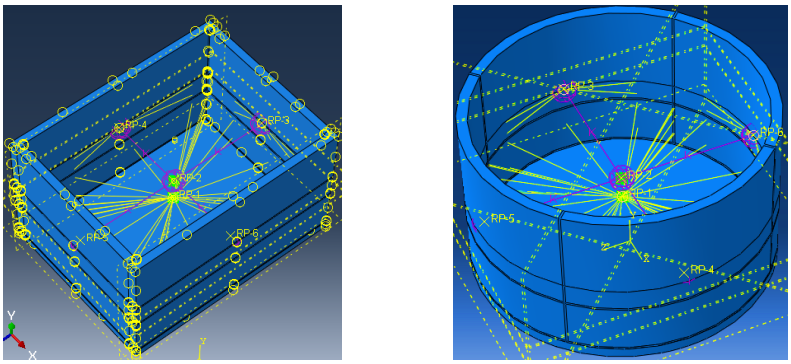
في دراستنا تم اعتماد طريقة HOUSNER في نمذجة المياه ضمن الحوض، حيث وضع الباحث HOUSNER نموذجاً مطوّراً لتمثيل حركة المياه ضمن حوض الخزان العالي، حيث قسم كتلة الماء إلى كتلتين مجمعتين الأولى تمثل كتلة القسم السفلي من الماء والتي تعتبر ثابتة و ذات اتصال صلب مع جدران الخزان و تسمى بالكتلة النبضية والثانية كتلة القسم العلوي للماء ذات اتصال نابضي مع جدران الخزان وتسمى بالكتلة الاضطرابية كما في الشكل (4) وذلك باعتبار أن السائل غير لزج Inviscid وغير قابل للانضغاط وجدران الخزان صلبة كفاية.

يمكن حساب قيم الكتل الممثلة للسائل ضمن الحوض بالعلاقة مع ارتفاع الشريحة المائية h ونصف القطر الداخلي للحوض R من الجدول الوارد في الكود الأوروبي (EN1998, 2006) أو من ملحق الكود العربي السوري(7).

اعتمدنا على الملحق (7) للكود العربي السوري لحساب كتل الماء وارتفاعاتها، وكانت قيم ومنسوب الكتل النبضية والاضطرابية عن قاع الحوض كما هي في الجدول (2):

**الجدول (2) حساب كتل الماء ومناسبيها لنماذج الخزانات المدروسة**

| | | | منسوب الكتلة النبضية $h_i$ , (m) | الكتلة النبضية للماء Impulsive Mass (kg) | منسوب الكتلة الاضطرابية $h_c$ , (m) | الكتلة الاضطرابية للماء Convectiv Mass (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| حوض دائري | نصف مليء | | 0.563 | 13.445 | 0.791 | 35.511 |
| | مليء | | 1.125 | 51.525 | 1.773 | 48.446 |
| حوض مستطيل | بالاتجاه L | نصف مليء | 0.637 | 15.654 | 0.897 | 34.078 |
| | | مليء | 1.275 | 57.887 | 2.019 | 46.108 |
| | بالاتجاه B | نصف مليء | 0.637 | 20.688 | 0.932 | 29.950 |
| | | مليء | 1.275 | 70.069 | 2.187 | 35.940 |



**الشكل (4) نمذجة المياه ضمن حوض الخزان**

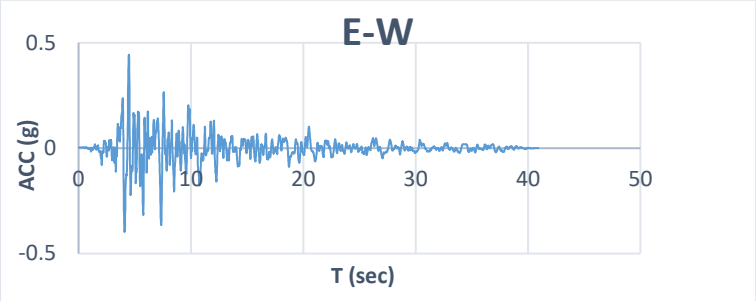
### 4-2

تم تحليل نماذج الخزانات وفق ثلاثة سجلات زمنية مقيَّسة لزلازل حقيقية تم الحصول عليها من المعهد العالي للدراسات والبحوث الزلزالية في دمشق مناسبة للاستخدام في المنطقة الزلزالية 2C (المنطقة المعتمدة لدراسة نماذج

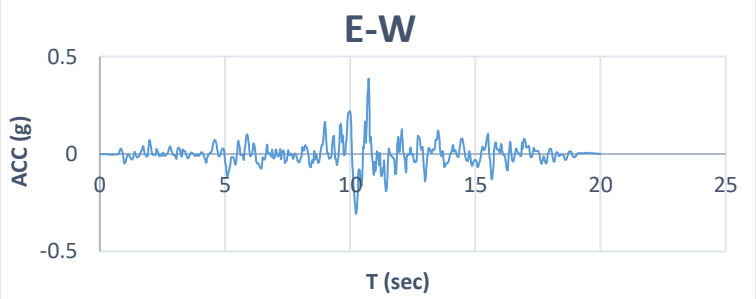
الخزانات)،الأول لزلزال اليونان 1981والثاني أرمينيا 1988 والثالث لزلزال تركيا 1999 وفق المعطيات الواردة بالجدول (3) وتبين الأشكال (7-6-5) السجلات الزمنية لها:

**الجدول (3) معطيات الزلازل المستخدمة في تحليل النماذج**

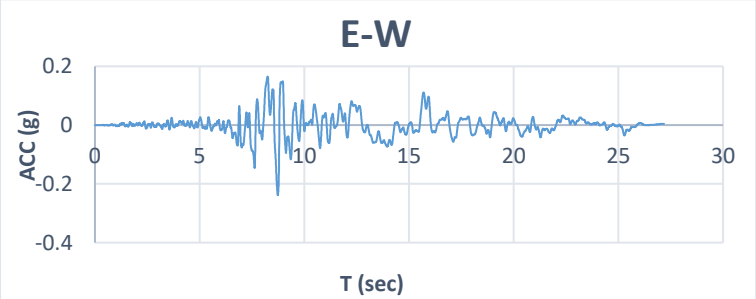
| No | الزلزال | العام | مقدار الزلزال على مقياس ريختر | التسارع الأرضي الأعظمي PGA-E (g) | التسارع الأرضي الأعظمي المقيّس $PGA\text{-}E_{sc}$ (g) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Corinth, (Greece) | 1981 | 6.6 | 0.236 | 0.443 |
| 2 | Spitak, (Armenia) | 1988 | 6.8 | 0.2 | 0.387 |
| 3 | Kocaeli, (Turkey)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




**الشكل (5) السجل الزمني المقيّس لزلزال اليونان 1981**




**الشكل (6) السجل الزمني المقيّس لزلزال أرمينيا 1988**




**الشكل (7) السجل الزمني المقيّس لزلزال تركيا 1999**

## 3 النتائج والمناقشة:

**1-3** قمنا بإنشاء منحنيات العلاقة ما بين القوة والإزاحة اعتماداً على نتائج التحليل الديناميكي اللاخطي، إلا أن الطبيعة المتذبذبة للاستجابة الديناميكية تعطي منحنيات غير منتظمة مما يجعل استخدامها في تحديد نقاط الخضوع والانهيار غير دقيقة. في دراستنا، لم تُظهر النماذج المدروسة مرحلة خضوع واضحة أو سلوك لدن متدرج بل سلوكاً هشاً، وبالتالي عند حساب المعامل R كانت القيم مرتفعة، وغير منطقية لحالة الزلازل ذات الشدات الأعلى ووصلت بعض هذه القيم إلى القيمة 7 وأكثر.

يعود ذلك إلى أن المطاوعة المحسوبة هي مطاوعة هندسية لظهور التشققات في مقاطع البيتون المشدود وعدم خضوع فولاذ التسليح وتشكل المفاصل اللدنة أي غياب المطاوعة الحقيقية، حيث القص الأعظمي يعمل على شدة السجل الزلزالي مما يؤدي إلى تضخيم معامل المقاومة الزائدة بشكل غير واقعي.

**2-3** عند قيامنا بحساب المعامل R وفق العلاقة (7) وتضخيم السجلات الزلزالية تدريجياً للوصول إلى التسارعات الأعظمية للانهيار والخضوع، أظهرت الاستجابة سلوكاً شبه خطي نتيجة السلوك الهش للنماذج المدروسة، حيث يصعب غالباً تحديد حالات حدية واضحة.

**3-3** تم استخدام طريقة الطاقة ضمن التحليل الديناميكي اللاخطي للحصول على معامل السلوك للمطاوعة $R_\mu$، والتي تعكس قدرة تشوه النموذج المدروس في تبديد طاقة الزلزال، وتم اعتماد الإزاحة الأعظمية $\Delta_{max}$ كمؤشر لذروة الاستجابة واستخدام قيم طاقة التشوه الموافقة للحظة الإزاحة العظمى بدلاً من لحظة القص الأعظمي مع أنها أعطت قيماً أقل لمعامل السلوك للمطاوعة ولكن الإزاحة تعكس بشكل أدق تطور السلوك مقارنة بقوى القص التي تتأثر آنياً بقوى العطالة، وبدلاً من القيم التراكمية أيضاً لأن الطاقة الناتجة عن التحليل الديناميكي اللاخطي تزداد بشكل تراكمي مع الزمن نتيجة تعدد دورات التحميل مما يؤدي إلى قيم مبالغ فيها عند اعتماد القيم النهائية مباشرة.

ومن مخرجات التحليل العددي في برنامج ABAQUS تم اعتماد طاقة اللدونة Plastic Dissipation ALLPD كمؤشر للطاقة اللدنة $E_h$ (الطاقة المبددة المرتبطة بالتشوهات غير المرنة) وطاقة الانفعال Strain Energy ALLSE الطاقة المرنة المخزنة والتي تزول بإزالة التحميل $E_s$. فكانت قيم معامل السلوك للمطاوعة $R_\mu$ (علاقة(8)) وفق الجدول (4):

**الجدول(4) قيم معامل السلوك للمطاوعة $R_\mu$ للنماذج المدروسة:**

| شدة السجل الزلزالي $PGA_{SC}$ | الهيكل الحامل وسعة حوض الخزان | مقطع الحوض | حالة الملء | | $R_\mu$ |
|---|---|---|---|---|---|
| TURKIA 1999 $PGA_{SC} = 0.238g$ | إطاري $100m^3$ | دائري | فارغ | | 2.76 |
| | | | نصف مليء | | 1.04 |
| | | | مليء | | 2.5 |
| | | مستطيل | فارغ | الاتجاه L | 2.39 |
| | | | | الاتجاه B | 2.41 |
| | | | نصف مليء | الاتجاه L | 2.32 |
| | | | | الاتجاه B | 1.98 |
| | | | مليء | الاتجاه L | 2.26 |
| | | | | الاتجاه B | 2.25 |
| ARMENIA 1988 $PGA_{SC} = 0.387g$ | إطاري | دائري | فارغ | | 2.59 |
| | | دائري | نصف مليء | | 2.45 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $100m^3$ | | مليء | | 3.23 |
| | | مستطيل | فارغ | الاتجاه L | 2.81 |
| | | | | الاتجاه B | 3.21 |
| | | | نصف مليء | الاتجاه L | 2.67 |
| | | | | الاتجاه B | 2.48 |
| | | | مليء | الاتجاه L | 2.85 |
| | | | | الاتجاه B | 2.88 |
| GREEC 1981 $PGA_{SC} = 0.443g$ | | دائري | فارغ | | 3.39 |
| | | | نصف مليء | | 2.41 |
| | | | مليء | | 2.84 |
| | | مستطيل | فارغ | الاتجاه L | 3.69 |
| | | | | الاتجاه B | 3.29 |
| | | | نصف مليء | الاتجاه L | 3.78 |
| | | | | الاتجاه B | 3.84 |
| | | | مليء | الاتجاه L | 3.11 |
| | | | | الاتجاه B | 3.69 |

**4-3** تم حساب معامل السلوك للمقاومة الزائدة وفق العلاقة (6) بحساب قوة القص التصميمة وفق ما ورد في الملحق (7) للكود العربي السوري وقص الخضوع بالتحليل الديناميكي اللاخطي، والنتائج مبينة بالجدول(5):

**الجدول(5) قيم معامل السلوك للمقاومة الزائدة $\Omega_0$ للنماذج المدروسة:**

| شدة السجل الزلزالي $PGA_{SC}$ | الهيكل الحامل وسعة حوض الخزان | مقطع الحوض | حالة الملء | | $\Omega_0$ |
|---|---|---|---|---|---|
| TURKIA 1999 $PGA_{SC} = 0.238g$ | إطاري $100m^3$ | دائري | فارغ | | 2.99 |
| | | | نصف مليء | | 1.09 |
| | | | مليء | | 1.84 |
| | | مستطيل | فارغ | الاتجاه L | 2.69 |
| | | | | الاتجاه B | 1.69 |
| | | | نصف مليء | الاتجاه L | 2.57 |
| | | | | الاتجاه B | 1.74 |
| | | | مليء | الاتجاه L | 1.92 |
| | | | | الاتجاه B | 1.14 |
| ARMENIA 1988 $PGA_{SC} = 0.387g$ | | دائري | فارغ | | 4.17 |
| | | | نصف مليء | | 3.85 |
| | | | مليء | | 2.02 |
| | | مستطيل | فارغ | الاتجاه L | 3.89 |
| | | | | الاتجاه B | 2.45 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 3.28 | الاتجاه L |
| | | | نصف مليء | 2.19 | الاتجاه B |
| | | | | 2.76 | الاتجاه L |
| | | | مليء | 1.49 | الاتجاه B |
| GREEC 1981 $PGA_{SC} = 0.443g$ | | دائري | فارغ | 5.16 | |
| | | | نصف مليء | 4.32 | |
| | | | مليء | 2.29 | |
| | | مستطيل | فارغ | 4.59 | الاتجاه L |
| | | | | 3.1 | الاتجاه B |
| | | | نصف مليء | 3.57 | الاتجاه L |
| | | | | 2.51 | الاتجاه B |
| | | | مليء | 3.11 | الاتجاه L |
| | | | | 2.03 | الاتجاه B |

نلاحظ أن قيم معامل السلوك للمقاومة $\Omega_0$ قيماً كبيرة نسبياً وتزداد مع زيادة شدة الزلزال وهذا يعود إلى القص المحسوب بالتحليل الديناميكي اللاخطي الذي يتأثر بشدة الزلزال، ولكن المعامل $\Omega_0$ هو خاصية تتعلق بالمنشأ لذلك تم اعتماد القيمة $\Omega_0 = 1.2$ والتي تعد أكثر واقعية لمقاومة عناصر النموذج وفق الشدة الزلزالية $0.238g$ المستخدمة في التحليل.

وبالتالي كانت قيم معامل السلوك اللامرن R المحسوبة وفق العلاقة(1) كما هي في الجدول(6):

**الجدول(6) قيم معامل السلوك اللامرن R لنماذج الخزانات المستخدمة في الدراسة**

| شدة السجل الزلزالي $PGA_{SC}$ | الهيكل الحامل وسعة حوض الخزان | مقطع الحوض | حالة الملء | | R |
|---|---|---|---|---|---|
| TURKIA 1999 $PGA_{SC} = 0.238g$ | إطاري $100m^3$ | دائري | فارغ | | 3.31 |
| | | | نصف مليء | | 1.25 |
| | | | مليء | | 3 |
| | | مستطيل | فارغ | الاتجاه L | 2.87 |
| | | | | الاتجاه B | 2.89 |
| | | | نصف مليء | الاتجاه L | 2.78 |
| | | | | الاتجاه B | 2.38 |
| | | | مليء | الاتجاه L | 2.71 |
| | | | | الاتجاه B | 2.7 |
| ARMENIA 1988 $PGA_{SC} = 0.387g$ | | دائري | فارغ | | 3.11 |
| | | | نصف مليء | | 2.94 |
| | | | مليء | | 3.88 |
| | | مستطيل مستطيل | فارغ | الاتجاه L | 4.67 |
| | | | | الاتجاه B | 3.85 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | إطاري $100m^3$ | GREEC 1981 $PGA_{SC} = 0.443g$ |
| | نصف مليء | الاتجاه L | 3.2 | | |
| | | الاتجاه B | 2.98 | | |
| | مليء | الاتجاه L | 3.42 | | |
| | | الاتجاه B | 3.46 | | |
| دائري | فارغ | | 4.07 | | |
| | نصف مليء | | 2.89 | | |
| | مليء | | 3.41 | | |
| مستطيل | فارغ | الاتجاه L | 4.43 | | |
| | | الاتجاه B | 3.95 | | |
| | نصف مليء | الاتجاه L | 4.54 | | |
| | | الاتجاه B | 4.61 | | |
| | مليء | الاتجاه L | 3.73 | | |
| | | الاتجاه B | 4.43 | | |

يبين الجدول التالي القيمة الوسطية للمعامل R لكل من النموذجين ذات الهيكل الإطاري والسعة $100m^2$ بالنسبة لكل شدة زلزالية

**الجدول (7) قيم المعامل R الوسطية المحسوبة للنماذج المدروسة**

| حوض الخزان | | TURKIA 1999 $PGA_{SC} = 0.238g$ | ARMENIA 1988 $PGA_{SC} = 0.387g$ | GREEC 1981 $PGA_{SC} = 0.443g$ |
|---|---|---|---|---|
| دائري | | 2.52 | 3.31 | 3.46 |
| مستطيل | بالاتجاه L | 2.79 | 3.76 | 4.23 |
| | بالاتجاه B | 2.66 | 3.43 | 4.33 |

## 4 الاستنتاجات والتوصيات:

**1-4** إن معامل السلوك اللامرن R يمثل خاصية مرتبطة بقدرة المنشأ على تبديد الطاقة من خلال السلوك اللاخطي، إلا أنه لا يُقاس بشكل مباشر، بل يتم استخلاصه من استجابة المنشأ تحت التأثيرات الزلزالية. وقد لوحظ ازدياد قيمه مع زيادة الشدة الزلزالية إلا أن هذه الزيادة لا تعبر بدقة عن الخصائص الحقيقية للمنشأ بل درجة دخوله في المجال اللاخطي بزيادة الشدة الزلزالية.

**2-4** إن قيم المعامل R للخزانات ذات الحوض الدائري أصغر بنسبة تصل حتى 25% عن الخزانات ذات الحوض المستطيل مما يدل على أن الخزانات ذات الأحواض الدائرية تعتمد بشكل أكبر على السلوك المرن نتيجة انتظامها الهندسي، ويعطي التوزيع المتساوي للكتلة والصلابة استجابة زلزالية أكثر استقراراً، أما الخزانات ذات الحوض المستطيل تظهر قيماً أكبر للمعامل R إلا أن هذه القيم نتيجة تضرر أكبر بالخزان وبالتالي أداء أقل أمان لنموذجي دراستنا.

**3-4** إن اعتماد مفهوم الطاقة لتحديد معامل السلوك اللامرن R يعد اسلوباً مناسباً لتحليل السلوك اللاخطي، إلا أن ارتباط نتائجه بشدة السجل الزلزالي المستخدم يوجب اعتماد قيم وسطية للمعامل R من قيم نتائج التحليل (جدول(7)).

**4-4** اظهار نماذج خزانات المياه العالية المستخدمة في الدراسة سلوكاً هشاً (شقوق موضعية بالبيتون وعدم خضوع فولاذ التسليح) ينعكس على دقة قيم المعامل R وبالتالي من الأجدى اعتماد قيم المعامل R التي تعطي الاستجابة الأكبر.

**5-4** قيم معامل السلوك اللامرن R الواردة في الملحق(7) للكود العربي السوري الخاص بالخزانات تقع ضمن المجال الناتج عن التحليل الديناميكي اللاخطي مما يدل على وثوقية المنهجية المتبعة في الدراسة وتقارب النتائج النظرية مع القيم الكودية.

ونوصي بأن يتم:

1. اجراء دراسات بارامترية موسعة تشمل العوامل المؤثرة على استجابة خزانات المياه العالية مثل ارتفاع الخزان وشكل الحوض وخصائص مواد الإنشاء لتأثيرها على قيم المعامل R.
2. الاعتماد على مفهوم الطاقة بدراسة السلوك اللاخطي لخزانات المياه العالية البيتونية المسلحة بهدف تحسين دقة تقدير المعامل R وتقليل مجال الخطأ في قيمه.

## المراجع:


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

[2]AMERICAN Concrete Institute (ACI).2006.Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures and Commentary (ACI350.3-6). Farmington Hills, Michigan, USA.

[3]APPLIED Technology Council ( ATC). 1995, A Critical Review of Current Approaches to Earthquake-Resistant Design. Redwood city, California, USA.

[4]ELQASRY, A,M,I; Sorour, T, M; Hussien, G; Fayed, M, N.2023, *SOIL STRUCTURE INTERACTION EFFECTS ON SEISMIC RESPONSE OF ELEVATED REINFORCED CONCRETE WATER TANKS*.Vol. ( 45 ) No. ( 1 ), Al-Azhar University Civil Engineering Research Magazine (CERM).

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

[6]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.

[7]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,.

[8]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

[9]NASR, E,N; FAYED, M, N; HUSSIEN, G; EL-Far, M, I.2022, *EVALUATION OF RESPONSE REDUCTION FACTOR FOR REINFORCED CONCRETE ELEVATED WATER TANKS AND CODES, COMPARATIVE STUDY*.Vol. 17,No . 62, Journal of AL-Azhar University Engineering Sector.

[10]SYRIAN Arab Code Committee2022, *Syrian Code for the Design and Construction of Reinforced Concrete Structure- Water Tanks Appendix*.(in Arabic),Syria.

Uniform Building Code .1997,Volume 2.

[11]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.