

" تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة. "

عبدالله العنتبلي (1)

غسان محمود (2)

الملخص:

تعتمد معظم مراجع التصميم اليدوية وجداول المواصفات المتعلقة بخزانات السوائل على علاقات مستنتجة تحليلياً من معادلات تفاضلية تعطي نتائج تقريبية للقوى مع أخذ هبوط التربة أسفل الأساس بعين الاعتبار، ولكنها لا تعطي السلوك الحقيقي، وقد تكون نتائجها غير دقيقة. تم في هذا البحث وضع نموذج رقمي لخزان أسطواني خرساني مسلح مستند إلى أساسات شريطية قابلة للتشوه مفصولة عن بلاطة القاعدة، وإجراء تحليل خطي مرن باستعمال طريقة العناصر المحدودة، وتمت نمذجة التربة كنوابض (نموذج وينكلر)، ومقارنة النتائج مع المرجع في الجدران الإستنادية وخزانات السوائل البيتونية [1] وعلاقات الكود الهندي [2]، لتحري دقة العلاقات المستعملة في هذه المراجع، حيث لم تتجاوز قيم الفروقات بين المرجع في الجدران الإستنادية وخزانات السوائل البيتونية [1] والنموذج الحاسوبي 5% وذلك بالنسبة لقوة الشد الحلقي، و12% بالنسبة لعزوم الانحناء فكانت القيم في هذا المرجع مقبولة. بينما كانت الفروق في القيم القصوى بين النموذج الحاسوبي والكود الهندي [2] 14% بالنسبة لقوى الشد الحلقي ووصلت لنسبة 73% بالنسبة لعزوم الانحناء وهنا يظهر التفاوت بين الطرائق التي لا تأخذ تشوه التربة بعين الاعتبار من التي تعتبره، كما تم ملاحظة زيادة في قيم كل من الشد الحلقي وعزوم الانحناء بحال كانت التربة متغيرة وغير متجانسة أسفل الأساس الشريطي والتي يجب الانتباه لها عند التصميم للحصول على تصميم دقيق.

كلمات مفتاحية: خزانات السوائل الخرسانية، خزانات أسطوانية، معامل انضغاطية التربة، معامل استجابة التربة، الشد الحلقي .

" Foundations Deformability Influence on the Structural Behavior of Walls in RC Liquids Cylindrical Tanks."

Abdullah Alantabli⁽¹⁾

Ghassan Mahmoud⁽²⁾

Abstract:

Most of the manual design references related to fluid tanks rely on analytically inferred equations from differential equations that give approximate results for design forces taking into account soil subsidence under the foundation, but they do not give the real behavior, and their results may be inaccurate. In this research a numerical model for a cylindrical reinforced tank based on strip deformable foundation separated from the base slab, and elastic linear analysis was carried out using Finite Element Method, and the soil was modeled as springs (Winckler Model), comparing the results with The Reference in concrete RWs and liquid tanks [1] and Indian Standard [2] results, to investigate the accuracy of the equations used in these references, as the values of deviation between the Reference in concrete RWs and liquid tanks [1] and computer model did not exceed 5% for hoop tension force and 12% for the bending moment, the values in the reference [1] was acceptable. While the deviation in the maximum values between the computer model and the Indian Standard [2] were 14% for the hoop tension but it reached 73% for the bending moment. Here the discrepancy appears between the methods that do not take soil deformation into consideration, and an increase in the values of both hoop tension and bending moment in case the soil is variable and heterogeneous below the base, which must be paid attention to when designing to obtain accurate design.

Keywords : RC liquids tanks, Cylindrical tanks, Modulus of soil reaction, Hoop tension.

⁽¹⁾ MSc student, Department of Structural Engineering- Faculty of Civil Engineering- Damascus University.

⁽²⁾ Professor, Department of Structural Engineering- Faculty of civil Engineering- Damascus University.

1 - مقدمة :

تعدُّ خزانات السوائل منشآت هندسية خاصة تستعمل لحفظ المواد السائلة التي قد تكون مياهًا للشرب أو مياهًا مالحة أو للمشتقات النفطية وغيرها . وتأتي خصوصية هذه المنشآت بالدرجة الأولى من اختلاف جملها الإنشائية عن الجمل التقليدية وتبعية أداؤها الإنشائي وطبيعتها الاستثمارية بالتربة وخواصها من جهة وبالوسائل المحفوظ بها وخواصه من جهة أخرى .

يتم إنشاء خزانات السوائل من مواد بناء مختلفة (خرسانة عادية، خرسانة مسلحة، مواد معدنية، مواد بلاستيكية وغير ذلك).

وتتميز خزانات السوائل الخرسانية المسلحة بأنها أكثر اقتصادية وديمومة.

تصنف خزانات السوائل بشكل عام وفق معايير متعددة أهمها الشكل (مضلعة، دورانية، بحجرة واحدة أو متعددة الحجرات، مفتوحة أو مغطاة من الأعلى)، والتوضع بالنسبة لسطح الأرض (مطمورة جزئياً أو كلياً، سطحية، عالية)، وطرائق التنفيذ (مصبوبة بالمكان ، مسبقة الصنع) وغير ذلك.[1]

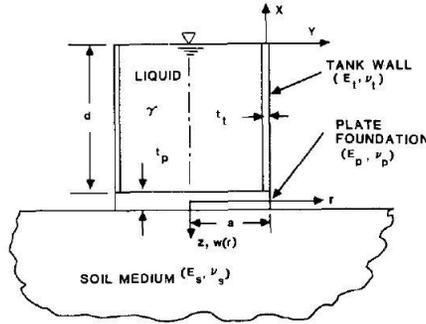
يتعلق الأداء الإنشائي لخزانات السوائل الخرسانية المسلحة بجملتها من المتغيرات، وقد قام الباحثون بعدة دراسات سابقة على الخزانات.

فقد قدم الباحثان **(J.R.BOOKER and J.C.SMALL (1981) [3]** دراسة تقنية تحليلية لسلوك لخزانات السوائل الاسطوانية المستندة على ترب مرنة متجانسة حيث تم دراسة الجدران والقاعدة والتربة تحت الخزان بشكل منفصل وصياغة مصفوفات المرونة لكل جزء على حدى للوصول إلى المصفوفة الكلية التي تأخذ الأثر المتبادل بين التربة والخزان بعين الاعتبار. وقد نوهت الدراسة إلى ضرورة توخي الحذر عند دراسة تقسيم شبكة العناصر المحدودة وذلك لتجنب الحصول على نتائج غير صحيحة.

وقد أوصت هذه الدراسة بتقديم إضافات نظرية للنموذج المدروس في هذه التقنية كإضافة سقف أو تغير مستوى المياه في الخزان.

وقدم الباحثون (1993) **A.R Kukreti ,M.M.Zamn and A.Issa** [4]

معادلات تحليلية تعطي القوى الناتجة عن سلوك الخزانات المستندة إلى ترب قابلة للتشوه، حيث تم افتراض سماكة الجدران ثابتة. ولإيجاد معادلات السهم في القاعدة تم افتراض سلسلة من المعادلات التقريبية وإيجاد المعاملات المجهولة ومن ثم تمت المقارنة مع نتائج نموذج تحليلي يستعمل طريقة العناصر المحدودة. يبين الشكل (1-1) النموذج المعتمد للخزان المدروس.



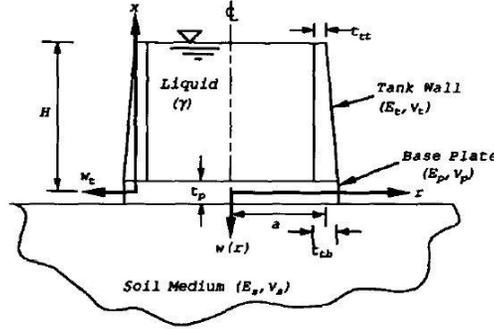
الشكل (1-1) النموذج المعتمد في الدراسة . [4]

ومن خلال مثال عددي قدمه الباحثون وجدوا أن نتائج العلاقات النظرية التي تم استنباطها في هذه الدراسة تقارب بشكل جيد النتائج الناتجة عن نموذج تحليلي يستخدم طريقة العناصر المحدودة. وتكمن أفضلية هذه العلاقات من ناحية أنها قابلة للاستعمال مهما كان الشكل للمنشأ والمواد المستعملة بجهد حسابي ضئيل ويمكن برمجتها باستخدام الحاسوب بسهولة.

وقدم الباحثان (1997) **Anant R.kukureti and Zahid A.Siddiqi** [5] حلاً

تحليلياً لإيجاد القوى في خزانات السوائل الاسطوانية باعتبار التفاعل بين التربة والمنشأ وذلك باستعمال طريقة التربيغات النفاضلية ومن ثم مقارنة النتائج مع نتائج نموذج تحليلي، يستعمل طريقة العناصر المحدودة من أجل خزان اسطواني خرساني وسماكة جدران متغيرة وذلك لنموذج الخزان في الشكل (1-2). إن الطريقة المستعملة في هذا البحث بسيطة ودقيقة وسهلة البرمجة وتستغرق وقتاً أقل بكثير من طريقة العناصر

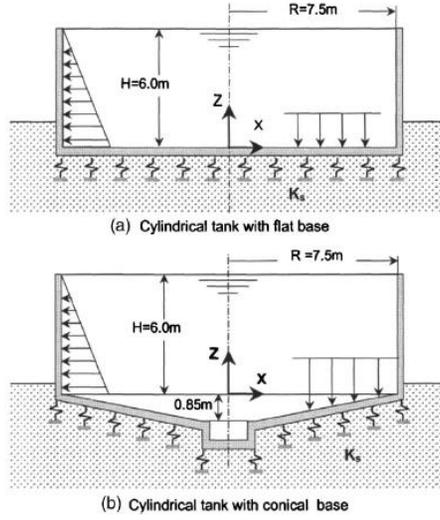
المحدودة من حيث وقت التحليل ومهارات البرمجة. وفي هذه الدراسة بعد إيجاد الانتقالات في جدران الخزان وبلاطة القاعدة في النقاط المحددة، يمكن تطوير المصفوفة المستعملة لجميع القوى والانتقالات من خلال معاملات مناسبة تضاف للمعادلات. وقد كانت نتائج هذه الطريقة مطابقة لنتائج الطرائق المستعملة كطريقة العناصر المحدودة وتم بيان ذلك من خلال مثال عددي.



الشكل (2-1) النموذج المعتمد في الدراسة . [5]

كما وقدم الباحثان **Nasreddin el Mezaini, M.ASCE(2006)** [6] دراسة بينوا من خلالها الأثر الذي يسببه تغير قساوة تربة التأسيس وشكل القاعدة الهندسي على القوى التصميمية في عناصر الخزانات الخرسانية الأسطوانية (باستعمال قاعدة مسطحة مرة ومخروطية مرة أخرى الشكل (1-3))، وذلك من خلال بناء نموذج رقمي والتحليل وفق طريقة العناصر المحدودة باستعمال برنامج (SAP2000). ومقارنة النتائج مع مواصفات جمعية الاسمنت البورتلاندي (PCA) [7] .

تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة

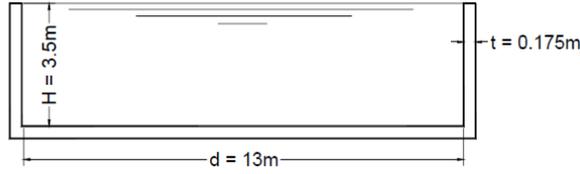


الشكل (3-1) الحالتان المدروستان شكلاً وأبعاداً [6]

وقد كانت نتائج الدراسة كما يلي :

- تتأثر الخزانات الأسطوانية الخرسانية بشكل كبير بالهبوط التفاضلي للتربة تحت قاعدة التأسيس، إذ إن أي تغيير في هبوط التربة التفاضلي يقتضي تغييراً في الأحمال التصميمية لهذه الخزانات.
- الوزن الذاتي لجدران الخزان -الذي تم إهماله في كودات التصميم- يسبب هبوطاً تفاضلياً في التربة وتشوهات في قاعدة التأسيس، والقوى الناتجة عن هذا الهبوط وهذه التشوهات أغفلت في كودات التصميم التي تمت المقارنة معها بالتالي تصبح نتائج التصميم غير دقيقة.
- الهبوط التفاضلي أسفل قاعدة التأسيس يرتبط بنوعية التربة أسفل القاعدة فكلما كانت التربة قليلة القساوة كلما كانت الهبوط أكبر.
- شكل قاعدة الخزان والتي تعبر بعبارة أخرى عن قساوتها تؤثر أيضاً في الهبوط التفاضلي للتربة فالقاعدة المخروطية تسبب هبوطاً أقل منه في حال كانت مستوية لكنها تسبب زيادة في قوى الشد الحلقي أسفل جدار الخزان.
- الطريقة الكلاسيكية والمعتمدة في أغلب كودات التصميم والتي تهمل التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ هي طريقة غير دقيقة وتعطي تصميماً وغير دقيق.

كما وقام الباحثان **[8] Shirish Vichare and Mandar M. Inamdar** (2010) بإجراء دراسة تحليلية، واستنتاج علاقات حساب القوى التصميمية لنموذج الخزان كما في الشكل (1-4)، والتحقق من ذلك من خلال إنشاء نموذج حاسوبي باستعمال طريقة العناصر المحدودة عبر برنامج (ABAQUS 6.8) ومقارنة النتائج مع الجداول والمخططات المستعملة في منشورات جمعية الاسمنت البورتلاندي (PCA) وجداول المواصفات في الكود الهندي.



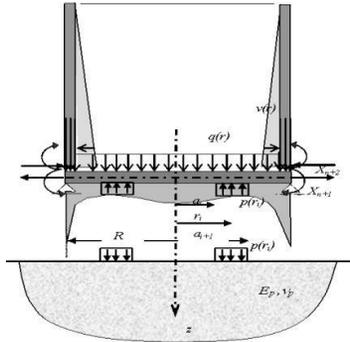
الشكل (1-4) تفاصيل الخزان المستعمل في الدراسة . [8]

وبنتيجة الدراسة توصل الباحثان للتالي:

- كان هناك توافق بين نتيجة الحل التحليلي ونتيجة النمذجة الرقمية في قيم عزم الانعطاف والشد الحلقي على ارتفاع جدار الخزان المدروس.
- قيمة عزم الانحناء الأعظمي في الدراسة (5.72 KN.m) انخفضت عن قيمتها في جداول الكودات التي ذكرت سابقا (IS3370 و PCA) والتي بلغت (8.98KN.m)، وذلك بسبب غياب الطريقة الملائمة لمعرفة السلوك الحقيقي لخزان فوق تربة متشوّهة.
- قيمة الشد الحلقي العظمى في الدراسة بلغت (166 KN) بينما باستخدام الكودات بلغت القيمة (117.8 KN) وهذا يعني ارتفاع في قيمة الشد الحلقي.
- يوجد تسليح زائد وغير مبرر للعزوم يقابله نقص في التسليح للشد الحلقي الأمر الذي ينعكس على ظهور التشققات في جدران الخزانات الاسطوانية .

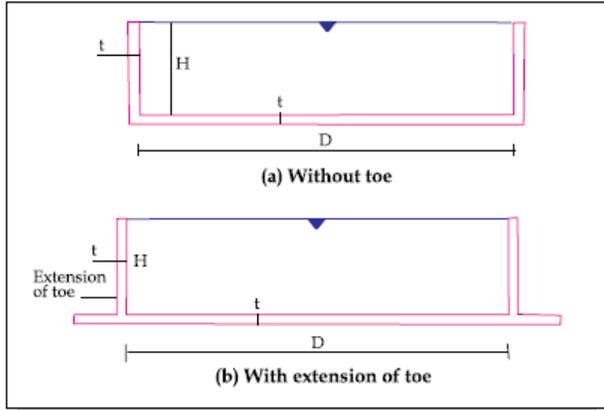
وقدم الباحثان **[9] Zora Mistrikova and Jendzelovsky** (2011) دراسة تحليلية للتشوهات والإجهادات لخزانات المياه الاسطوانية الخرسانية المستندة إلى تربة

قابلة للتشوه حيث تمت نمذجة التربة وفق ثلاث طرق مختلفة، وتم مقارنة نتائج الحسابات النظرية النهائية مع النتائج الحاسوبية. ويوضح الشكل (5-1) نموذج الخزان المعتمد.



الشكل (5-1) النموذج المعتمد في الدراسة. [9]

وخلصت الدراسة إلى أن أفضل نموذج من النماذج المدروسة هو نموذج وينكلر (خمسة عقد) ونموذج وينكلر المعدل (ستة عقد) وذلك للأغراض التصميمية نتيجةً للحصول السريع على النتائج ودقة النتائج وسهولة النمذجة، بينما تكون النماذج الحجمية أكثر ملائمة لأغراض البحث وذلك لأنه يتطلب أرضية نظرية واسعة ووقت كبيراً في النمذجة. كما وقام الباحثان **[10] Virendra P. Dehadrai and R.K. Ingle(2016)** بنمذجة نموذجين لخزان أسطواني خرساني حاسوبياً كما في الشكل (6-1)، باستعمال طريقة العناصر المحدودة، ومن ثم دراسة التغيرات التي تحدث على القوى في جدران الخزان وبلاطة القاعدة، مع الأخذ بعين الاعتبار أثر التربة تحت الخزان، ومقارنة النتائج بين نموذج بقاعدة دائرية وآخر بقاعدة دائرية مع بروز.



الشكل (1-6) الشكل العام للنموذجين المستعملين في الدراسة . [10]

وبنتيجة الدراسة تم استخلاص النتائج التالية :

- إن الدراسات وجداول الكودات التي تفترض أن جدران الخزانات الاسطوانية الخرسانية موثوقة بشكل تام عند القاعدة تسبب نقصاً في قيمة الشد الحلقي مما يؤدي إلى نقص في مقاومته وبالتالي حدوث تشققات.
- إن السلوك الحقيقي لجدران الخزانات الاسطوانية الخرسانية في نقاط الاتصال بالقاعدة بين المتمفصل والموثوق وقد لوحظ انخفاض في القوى المؤثرة بحال وجود بروز في القاعدة من عدمه لذلك فإن البروز قد يساهم في تقليل الأثر السلبي للتربة المتشوّهة على المنشأ.
- بحال كانت قاعدة الخزان بدون بروز فإن عزم الانحناء في القاعدة كما قساوة التربة تتغير بشكل غير متوقع، بينما في حال زودت القاعدة ببروز فإن العزوم في قاعدة الخزان تقل بزيادة قساوة التربة.
- تصميم الجدار على الشد الحلقي باعتباره متمفصلاً في القاعدة وكذلك تصميمه على العزم بحال اعتباره موثوقاً في القاعدة سوف يؤدي إلى تصميم حذر (قيم غير دقيقة).

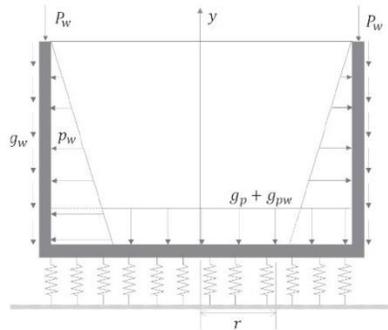
وقام الباحثون **Anand Daftardar, Shirish Vichare, Jigisha**

[11] Vashi(2017) بتوسيع مجال الجداول المعتمدة على المعامل $\frac{H^2}{Dt}$ من أجل

حرية أكبر للمصممين، حيث كان المجال يتراوح من 0.4 إلى 16 وتم توسيعه ليصبح من 0.1 إلى 100.

وبسّط الباحثون **R.L.C.SILVA, G.B.MARQUES, E.N.LAGES and S.P.C. MARQUES (2019)**

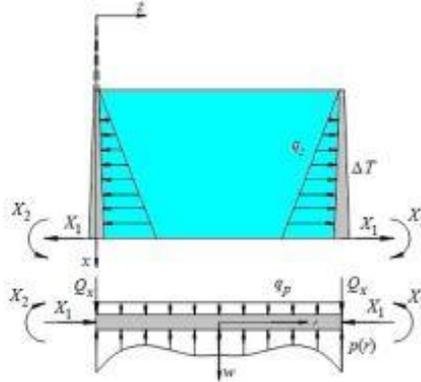
العلاقات التحليلية الموجودة في دراسات سابقة وذلك للخزانات المستندة إلى تربة قابلة للتشوه، ويبين الشكل (1-7) نموذج الخزان المعتمد في الدراسة، حيث تم افتراض حالات تربة (قليلة القساوة، متوسطة، قاسية، شديدة القساوة) والوصول إلى علاقات تضمن سهولة الوصول للقوى والعزوم النهائية في الجدران. حيث تم اعتبار حالتين للمقارنة وهما حالة الطرق المشتقة منها المعادلات والتي تعتمد على نظرية القشريات المستندة إلى تربة مرنة والتي أسموها الحل الدقيق، والمعادلات التي توصل إليها الباحثون والتي أسموها الحل التقريبي.



الشكل (1-7) النموذج المعتمد في الدراسة والقوى المؤثرة . [12]

وقد أظهرت نتائج الدراسة أن الفرق في القيم القصوى بين الحل الدقيق والتقريبي كان مقبولاً بالنسبة للقوى التصميمية في الجدران حيث لم يتجاوز أكبر فرق %0.143، بينما وصل الفرق في القاعدة حتى %3.15 وذلك في قوى القص القطرية. ومن ثم تمت المقارنة بين أربعة أنواع مختلفة من التربة تبعاً لمعامل الانضغاطية والذي يمثل قساوة نوابض وينكلر وبنتيجة المقارنة أكدت الدراسة ضرورة اعتبار الأثر الذي يسببه هبوط التربة عند دراسة الخزانات، إذ إنه وحتى في التربة القاسية يلاحظ اختلاف في القيم بين الطرائق الكلاسيكية التي تهمل أثر التربة عن الطرائق التي تعتبره.

وقام الباحثان (2019) Pawel M.Lewinsk and Michal Rak [13] بتحليل التفاعل بين المنشأ والتربة، وذلك لخزان أسطواني ذو سماكة جدران متغيرة متعرضة لحمل حراري متدرج بين الداخل والخارج كما في الشكل (1-8)، حيث تم إجراء نمذجة حاسوبية باستعمال عنصري نمذجة مختلفين للتربة، أحدهما عنصر حجمي (فراغي) والآخر خطي (نموذج وينكлер) والمقارنة بين النموذجين. وبنتيجة الدراسة تمت ملاحظة اختلاف كبير في النتائج بين النموذجين تحت الضغط الهيدروستاتيكي، إذ إن الهبوط في قاعدة الخزان في النموذج الفراغي كانت ناتجة عن توزيع الأحمال على كامل بلاطة القاعدة بينما كانت في الحواف فقط في النموذج الآخر، مما نتج عنه انقلاب مخطط العزم. أما بالنسبة للتدرج الحراري في الجدران فلم يؤثر على القوى التصميمية في الجدران في كلا النموذجين، إلا وأنه تحت تأثير عزوم الانحناء سبب تشققات كبيرة في الجدران.



الشكل (1-8) النموذج العام للخزان المستعمل في الدراسة والقوى المؤثرة . [13]

في هذه الدراسة سيتم بناء نموذج رقمي لخزان مياه أسطواني يستند إلى أساس شريطي قابل للتشوه، بحيث تكون القاعدة الدائرية مفصولة عن الأساس الشريطي ويتوافق النموذج مع نموذج المثال العددي المطروح في المرجع [1] كما في الشكل (1-4)، بينما كانت الدراسات السابقة تعتبر اتصال الجدران بقاعدة دائرية مستمرة أسفلها، ولم تتطرق تلك الدراسات لمثل الحالة المدروسة في هذا البحث. وسيتم نمذجة التربة وفق نوابض (نموذج وينكлер) وتحري الأثر الذي يسببه هبوط التربة على القوى الحلقية وعزوم

الانحناء في جدران الخزان باستعمال برنامج SAP2000، ومقارنة النتائج مع العلاقات الواردة في المرجع في الجدران الاستنادية وخزانات السوائل البيتونية [1]، والذي يأخذ بعين الاعتبار الأثر المتبادل بين التربة والمنشأ في علاقاته النظرية. وبعد ذلك سيتم مقارنة نتائج الدراسة نتائج العلاقات الواردة في الكود الهندي [2]، والذي يعد من الطرق الكلاسيكية التي لا تأخذ أثر هبوط التربة بعين الاعتبار. وكذلك سيتم تحري أثر عدم تجانس التربة أسفل قاعدة الخزان على القوى التصميمية (الشد الحلقي وعزوم الانحناء) ومقارنة ذلك مع حالة اعتبار التربة متجانسة.

2 - هدف البحث :

يهدف البحث إلى تقييم الأداء الإنشائي لجدران الخزانات الاسطوانية الخرسانية المسلحة المستندة إلى اساسات قابلة للتشوه، وتدقيق العلاقات المستعملة في كودات التصميم والمراجع المتصلة وبيان أوجه الاتفاق والاختلاف وصولاً للتعديلات المناسبة على العلاقات المستعملة .

3- الدراسة المرجعية المعتمدة :

3-1- المرجع في الجدران الإستنادية وخزانات السوائل البيتونية: [1]

سيتم استعراض طريقة التصميم المستعملة في هذا المرجع وذلك لحالة الخزانات ذات القشريات الأسطوانية (ذات السماكة الثابتة) المستندة على أساس قابل للتشوه مع الأخذ بعين الاعتبار مايلي :

- ارتباط القاعدة مع الجدار مفصلي
- الجدران تستند لأساسات شريطية على تربة قابلة للتشوه وغير قابلة للتشوه .
- ضغط الماء على الجدران مثلثي (أي أن الخزان ممتلئ ومكشوف من الأعلى).
- سماكة الجدران ثابتة .

القوى الحلقية R وعزوم الانحناء M_x :

تحدد القوى الحلقية وعزوم الانحناء هنا على مرحلتين وتتخذ القيم النهائية كمحصلة للنتائج في المرحلتين:

المرحلة الأولى:

تحسب القوى الحلقية وفقاً للنظرية الغشائية باستخدام العلاقة :

$$R_h^0 = \gamma_c h r$$

وتساوي القوة الحلقية عند قاع الخزان ($h = H_0$) :

$$R^0 = \gamma_c H_0 r$$

ويساوي عزم الانحناء الصفر .

المرحلة الثانية:

وفقاً للنظرية العزمية، إذ يكتفى عندئذ بحساب عزوم الانحناء الشاقولية (باتجاه المولد) M_x وتهمل عزوم الانحناء الأفقية (باتجاه الحلقي) لصغر قيمها $M_x = 0.167M_x$ ولضعف تأثيرها على التصميم. يتم تحديد R و M_x بعد معرفة ردود الأفعال في منطقة استناد الجدران على الأساسات X_1 و X_2 ، واستخدام شرط تحقيق انعدام التشوهات في منطقة الاستناد محققاً، ويمكن كتابة علاقات التشوه كما يلي:

$$X_1(\delta_{11}^g + \delta_{11}^d) + X_2(\delta_{21}^g + \delta_{12}^d) + p\Delta r_0^0 = 0$$

$$X_1(\delta_{21}^g + \delta_{21}^d) + X_2(\delta_{22}^g + \delta_{22}^d) + p\Psi^0 = 0$$

حيث يشير الرمز العلوي g إلى تشوهات القشرية الاسطوانية والرمز السفلي d إلى تشوهات الأساس الشريطي. تحسب التشوهات الأحادية في الجدران الاسطوانية والأساس الشريطي، نتيجة تأثير ردود الأفعال المسندية الأحادية وفقاً للنظرية العزمية، والحمولة المطبقة وفقاً للنظرية الغشائية كما يلي :

$$\delta_{10}^g = \frac{\gamma_c r^2 H_0}{E_b t} ; \delta_{20}^g = \frac{-\gamma_c r^2}{E_b t} ; L = 0.76\sqrt{t r} .$$

$$\delta_{11}^g = \frac{2r^2}{L E_b t} ; \delta_{12}^g = \frac{-2r^2}{L^2 E_b t} ; \delta_{22}^g = \frac{4r^2}{L^2 E_b t} .$$

وذلك من أجل الجدران الأسطوانية (القشرية الأسطوانية)، بينما من أجل الأساس الشريطي تكون العلاقات كما يلي :

تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة

$$\delta_{22}^d = \frac{r^2}{CI_F r^2 + E_b I_L} ; \delta_{12}^d = \delta_{21}^d = \delta_{22}^d z ;$$

$$\delta_{11}^d = \delta_{22}^d z^2 .$$

I_F : عزم عطالة مقطع جزئي من السطح السفلي للأساس الحلقي بطول 1m وعرض 2b بالنسبة للمحور الحلقي الوسطي .

I_L : عزم عطالة المقطع العرضي للأساس الحلقي بالنسبة للمحور الوسطي بالاتجاه الأفقي .

C : معامل استجابة التربة Response Factor مقدراً بـ (KN/cm^3) ، ومن أجل الترب الصخرية $C = 1$ تقريباً .

E_b : معامل مرونة البيتون .

ويكون :

$$X_1 = \frac{\Omega}{L} \lambda_1 - 0.5 \gamma_c L H_0 \lambda_4$$

$$X_2 = \Omega \lambda_2$$

حيث : Ω - معامل يتعلق بالحمولة المطبقة ويحسب بالعلاقة :

$$\Omega = 0.5 \gamma_c L^2 (L - H_0 \lambda_3)$$

تحسب ميزات الصلابة λ_n كما يلي :

$$\lambda_1 = \frac{1 - kzL}{(1 + kz^2)(2 + kL^2) - (1 - kzL)^2}$$

$$\lambda_2 = \frac{1 - kz^2}{(1 + kz^2)(2 + kL^2) - (1 - kzL)^2}$$

$$\lambda_3 = \frac{1 - kzL}{1 + kz^2} ; \lambda_4 = \frac{1}{1 + kz^2}$$

حيث :

$$k = \frac{3tL}{4b \left(\frac{Cb^2r^2}{E_b} + 2z^3 \right)}$$

وتكون القوى الداخلية وعزوم الانحناء النهائية في مقاطع الجدران الاسطوانية:

$$N = N^0 = -\gamma_b t(H_0 - x) - \frac{Q_1}{2\pi r}$$

$$R = R^0 + \frac{2r}{L^2} [X_2 f_1(\eta) - (X_2 - LX_1) f_2(\eta)]$$

$$M_x = X_2 f_2(\eta) + (X_2 - LX_1) f_1(\eta)$$

Q_1 : الحمولة الشاقولية الخارجية المطبقة على 1m من محيط الجدار الأسطواني.

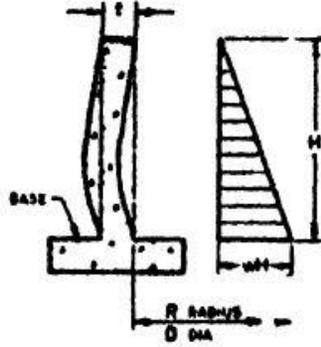
3-2- الكود الهندي : [2]

يعتمد الكود الهندي على حالتين أساسيتين للحساب، حيث يعتبر في الأولى استناد الجدران إلى القاعدة موثوقاً، ويعتبر في الثانية أن هذا الاستناد مفصلي. وقد وضحت المواصفات الهندية أن حالة الموثوق غير قابلة للتحقق عملياً، إلا أنها تشكل بداية للخوض في وضع شروط الاستناد الحقيقية .

بينما في الحالة الثانية (اعتبار اتصال الجدار بالقاعدة متمفصل)، فإن عزم الانحناء في منطقة القاعدة يكون معدوماً بينما في الواقع يكون له قيمة، كما وبينت المواصفات الهندية أن هنالك صعوبة في تقدير القيم الحقيقية للشد الحلقي وعزوم الانحناء نتيجة اختلاف التربة التي يستند إليها الجدار، وأن التصميم الآمن يكون باعتبار الاتصال بين الجدار والقاعدة مفصلياً.

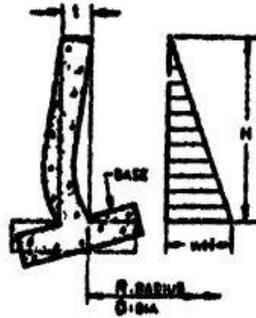
والحالات كما وردت في الكود على الشكل التالي :

- الحالة الأولى : يبين الشكل (3-1) جدار خزان اسطواني موثوق بالقاعدة حر من الأعلى مطبق عليه حمل مثلثي .



الشكل (1-3) جدار خزان اسطواني موثوق في القاعدة حر من الأعلى مطبق عليه حمولة مثلثية. [2]

- الحالة الثانية : يبين الشكل (2-3) جدار خزان اسطواني متمفصل بالقاعدة حر من الأعلى مطبق عليه حمل مثلثي .



الشكل (2-3) جدار خزان اسطواني متمفصل في القاعدة حر من الأعلى مطبق عليه حمولة مثلثية. [2]

3-2-1- قوى الشد الحلقي :

يتم إيجاد قوى الشد الحلقي وذلك للحالتين (موثوق ومتمفصل) وحر من الأعلى مطبق عليه حمل مثلثي وذلك تبعاً لارتفاع الخزان، من خلال العلاقة التالية :

$$T = \text{Coefficient} \times \omega HR \quad \text{kg/m}$$

حيث :

T : قوة الشد الحلقي في الشريحة المدروسة.

Coefficient : معامل مستخرج من الجداول الواردة في الكود يتعلق بالنسبة $\frac{H^2}{Dt}$

وشريحة الارتفاع في جدار الخزان وحالة الاستناد.

H : ارتفاع جدار الخزان .

R : نصف قطر الخزان الداخلي .

D : قطر الخزان الداخلي.

ω : كثافة السائل.

t : سماكة جدار الخزان.

3-2-2 عزوم الانحناء :

يتم إيجاد عزوم الانحناء وذلك للحالتين (موثوق ومتفصل) وحر من الأعلى مطبق عليه

حمل مثلثي وذلك تبعاً لشرائح تابعة لارتفاع الخزان، من خلال العلاقة التالية :

$$Moment = Coefficient \times \omega H^3 \text{ kg/m}$$

حيث :

M : عزم الانحناء في الشريحة المدروسة.

Coefficient : معامل مستخرج من الجداول الواردة في الكود يتعلق بالنسبة $\frac{H^2}{Dt}$

وشريحة الارتفاع في جدار الخزان وحالة الاستناد.

H : ارتفاع جدار الخزان.

D : قطر الخزان الداخلي.

ω : كثافة السائل.

t : سماكة جدار الخزان.

4- النتائج ومناقشتها :

4-1- التحليل الإنشائي باستعمال طريقة العناصر المحدودة (برنامج SAP2000) :

تم اعتماد النموذج المطروح كمثال في كتاب المرجع في الجدران الاستنادية وخزانات

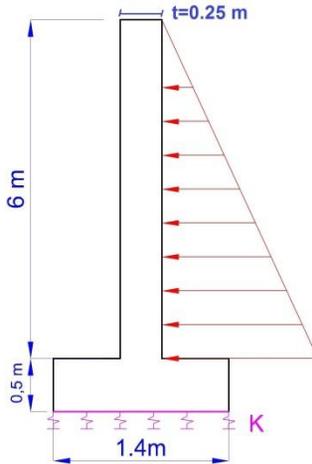
السوائل البيتونية [1] والمبين في الشكل (1-4).

4-1-1- الأبعاد وشروط النمذجة :

- أبعاد الحلة: القطر 15m، ارتفاع جدار الخزان 6m، سماكة جدار الخزان 0.25m .

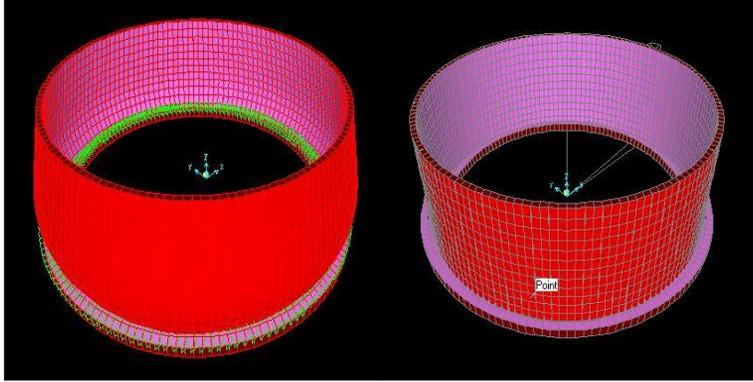
تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة

- أبعاد الأساس: 0.5m بالاتجاه الشاقولي و 1.4m بالاتجاه الأفقي (أساس شريطي).
- الخزان مملوء بالسائل والسائل داخل الحلة هو الماء .
- تستند قاعدة الخزان إلى التربة مباشرة.
- تمت نمذجة التربة على شكل نوابض أسفل الأساس الشريطي و بقساوات مختلفة (K) حيث تم الأخذ بعين الاعتبار أخذ قساوات تعبر عن حالات التربة الثلاث (مرنة، متوسطة، قاسية) وهي على الترتيب 100000، 50000، 25000 (KN/m³).
- تمت نمذجة جدار الخزان كقشرية (Shell Thin) وتقسيمها إلى عناصر رباعية بأبعاد (0.5×0.5) متراً.
- معامل مرونة الببتون $E_c=2310 \text{ KN/cm}^2$ و $f'_c = 20 \text{ MPa}$
- معامل بواسون $\nu = 0.2$
- 4-1-2- القوى المؤثرة :**
- الوزن الذاتي (SW) .
- ضغط الماء على الجدران (WP).



الشكل (1-4) مقطع في الخزان المدروس والقوى المؤثرة مع الأبعاد.

4-2- حالة المقارنة بين النموذج الحاسوبي والمرجع في الجدران الاستنادية وخزانات السوائل الببتونية [1]:



الشكل (2-4) النموذج الحاسوبي المعتمد والتشوهات الناتجة عن الحمولات المطبقة .

نتج عن عملية التحليل 1728 عنصر مساحي في جدران الخزان ونظراً لعدم إمكانية عرض جميع النتائج فقد تم أخذ القيم القصوى وطباعة النتائج بغرض المقارنة. وتم استخراج نتائج التحليل الحاسوبي وتصديرها وتنظيم البيانات وفق الجداول (1-4)، (2-4) و (3-4) للمقارنة مع النتائج النظرية.

جدول (1-4) قيم الشد الحلقي وعزوم الانحناء لحالة $K=100000 \text{ KN/m}^3$ وفقاً للنموذج الحاسوبي والعلاقات في المرجع [1] .

sap2000			العلاقات النظرية	
Hight(m)	Hoop tension(KN)	Bending moment(KN.m)	Hoop tension(KN)	Bending moment(KN.m)
0	79.34	-7.53	65.30	-2.51
0.5	180.45	3.83	191.55	6.56
1	262.75	7.19	279.80	8.16
1.5	303.67	6.5	317.59	6.44
2	306.32	4.48	314.58	3.94
2.5	282.72	2.06	286.11	1.86
3	244.98	0.665	245.32	0.53
3.5	201.81	-0.09	200.76	-0.13
4	158.15	-0.37	156.77	-0.34
4.5	115.88	-0.36	114.86	-0.33
5	75.2	-0.23	74.99	-0.23

تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة

5.5	35.58	-0.08	36.59	-0.13
6	-4.84	-0.01	-0.99	-0.05

جدول (2-4) قيم الشد الحلقي وعزوم الانحناء لحالة $K=50000 \text{ KN/m}^3$ وفقاً للنموذج الحاسوبي والعلاقات في المرجع [1].

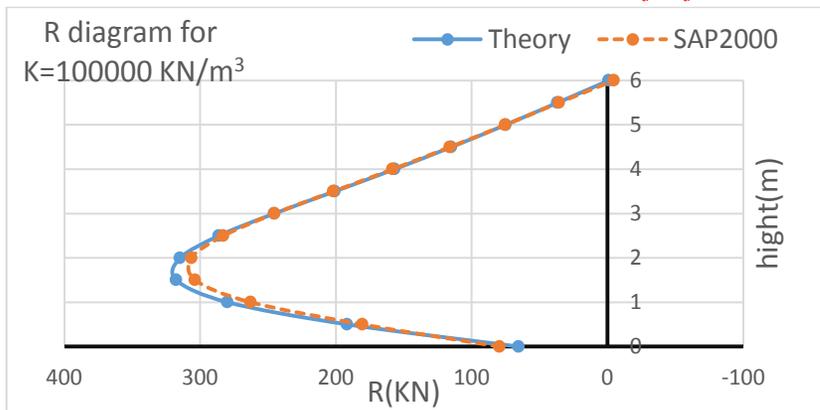
sap2000			العلاقات النظرية	
Hight(m)	Hoop tension(KN)	Bending moment(KN.m)	Hoop tension(KN)	Bending moment(KN.m)
0	74.86	-5.58	72.11	0.02
0.5	186.13	5.01	205.33	7.81
1	270.49	7.74	292.30	8.56
1.5	310.03	6.68	326.03	6.40
2	310.34	4.43	319.06	3.75
2.5	284.7	2.34	287.79	1.66
3	245.59	0.905	245.45	0.39
3.5	201.71	-0.16	200.26	-0.21
4	157.81	-0.41	156.17	-0.38
4.5	115.53	-0.37	114.39	-0.33
5	74.95	-0.23	74.71	-0.22
5.5	35.46	-0.08	36.46	-0.12
6	-4.81	-0.01	-1.03	-0.04

جدول (3-4) قيم الشد الحلقي وعزوم الانحناء لحالة $K=25000 \text{ KN/m}^3$ وفقاً للنموذج الحاسوبي والعلاقات في المرجع [1].

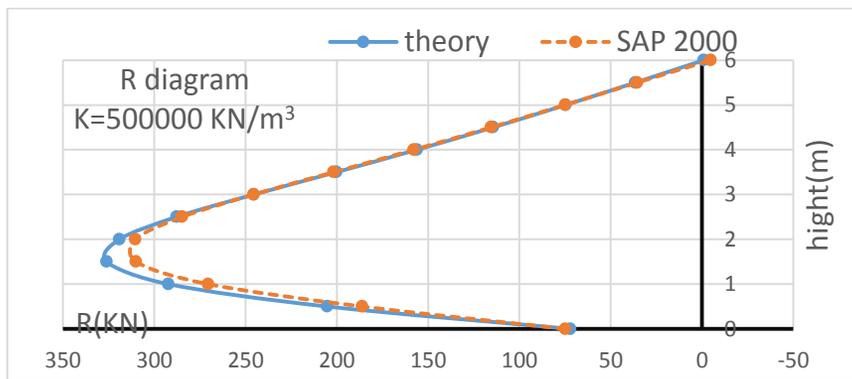
sap2000			العلاقات النظرية	
Hight(m)	Hoop tension(KN)	Bending moment(KN.m)	Hoop tension(KN)	Bending moment(KN.m)
0	72.15	-4.3	76.07	1.50
0.5	189.86	5.79	213.35	8.54
1	275.58	8.1	299.58	8.79
1.5	314.2	6.77	330.96	6.38
2	312.99	4.39	321.67	3.63
2.5	286	2.27	288.78	1.55
3	246	0.83	245.53	0.31
3.5	201.65	-0.21	199.97	-0.26

4	157.59	-0.43	155.83	-0.40
4.5	115.3	-0.39	114.12	-0.34
5	74.79	-0.23	74.55	-0.22
5.5	35.39	-0.08	36.38	-0.11
6	-4.79	-0.01	-1.05	-0.04

4-2-1- الشد الحلقي في جدران الخزان :

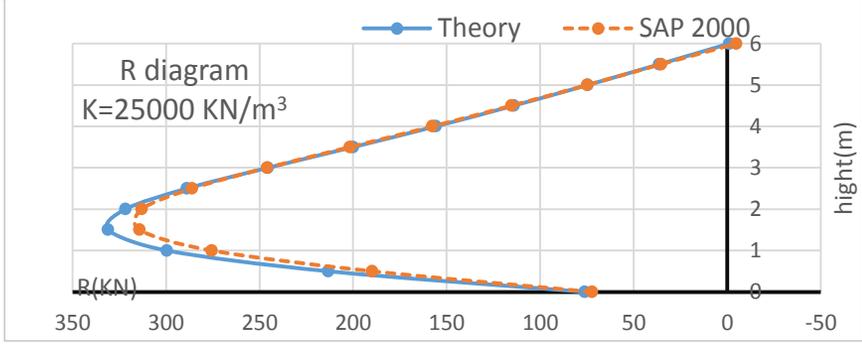


الشكل (3-4) مقارنة مخطط الشد الحلقي بين العلاقات التحليلية والنموذج الحاسوبي حالة $K=100000 \text{ KN/m}^3$.



الشكل (4-4) مقارنة مخطط الشد الحلقي بين العلاقات التحليلية والنموذج الحاسوبي حالة $K=500000 \text{ KN/m}^3$.

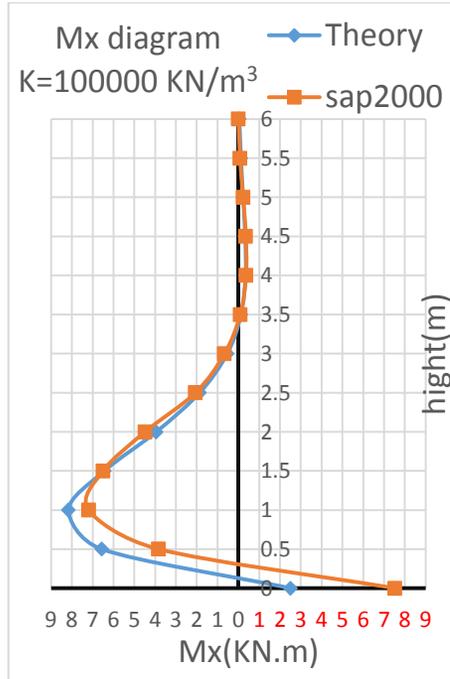
تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة



الشكل (4-5) مقارنة مخطط الشد الحلقي بين العلاقات التحليلية والنموذج الحاسوبي حالة $K=25000 \text{ KN/m}^3$.

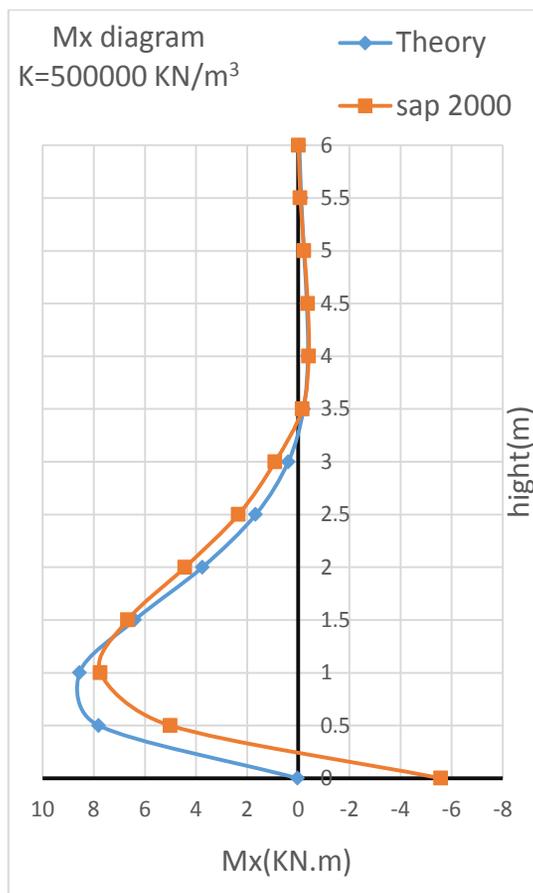
4-2-2- عزم الانحناء في جدران الخزان :

يبين الشكل (4-6) مقارنة بين النموذج الحاسوبي والعلاقات التحليلية في المرجع [1] وذلك للعزوم (Mx) المتشكلة في جدران الخزان بحالة $K=100000 \text{ KN/m}^3$.



الشكل (4-6) مقارنة بين مخططي عزم الانحناء من أجل النموذج الحاسوبي والنموذج التحليلي بحالة $K=100000 \text{ KN/m}^3$.

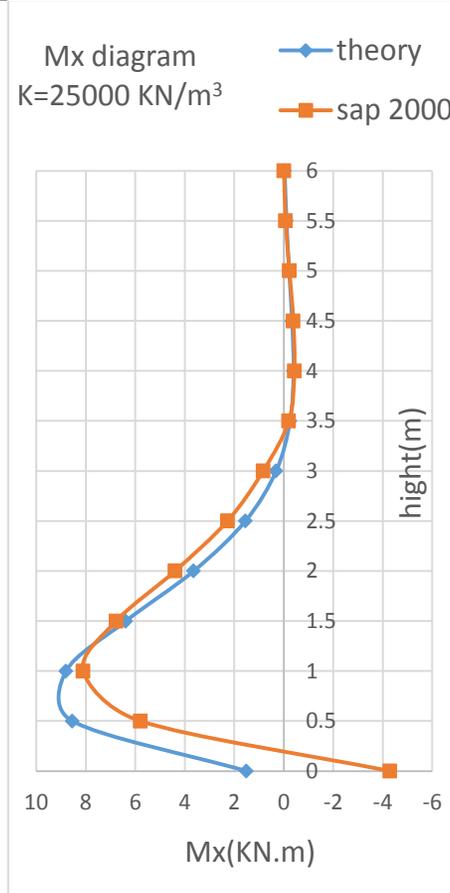
يبين الشكل (4-7) مقارنة بين النموذج الحاسوبي والعلاقات التحليلية في المرجع [1] وذلك للعزوم (Mx) المتشكلة في جدران الخزان بحالة $K=500000 \text{ KN/m}^3$.



الشكل (4-7) مقارنة بين النموذج الحاسوبي والنموذج التحليلي بحالة $K=500000 \text{ KN/m}^3$.

يبين الشكل (4-8) مقارنة بين النموذج الحاسوبي والعلاقات التحليلية في المرجع [1] وذلك لعزوم الانحناء (Mx) المتشكلة في جدران الخزان بحالة $K=25000 \text{ KN/m}^3$.

تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة



الشكل (4-8) مقارنة بين مخططي العزم من أجل النموذج الحاسوبي والنموذج التحليلي بحالة $K=25000 \text{ KN/m}^3$.

يبين الجدول (4-4) مقارنة بين القيم القصوى الناتجة عن النموذج التحليلي والنموذج الحاسوبي وذلك لقيم الشد الحلقي في جدران الخزان وذلك لحالات التربة الثلاث (مرنة، متوسطة، قاسية).

جدول (4-4) مقارنة بين القيم القصوى للشد الحلقي لحالات التربة الثلاث بين العلاقات التحليلية والنموذج الحاسوبي.

MAX Hoop tension			
K(KN/m³)	10000	50000	25000
المرجع [1]	317.59	326.03	330.96
SAP2000	306.32	310.34	314.2
deviation	4%	5%	5%

يبين الجدول (4-5) مقارنة بين القيم القصوى الناتجة عن النموذج التحليلي والنموذج الحاسوبي وذلك لقيم عزوم الانحناء في جدران الخزان وذلك لحالات التربة الثلاث (مرنة، متوسطة، قاسية).

جدول (4-5) مقارنة بين القيم القصوى لعزوم الانحناء لحالات التربة الثلاث بين النموذجين التحليلي والحاسوبي.

MAX Bending moment			
K(KN/m³)	100000	50000	25000
المرجع [1]	8.16	8.56	8.79
SAP2000	7.19	7.74	8.1
deviation	12%	10%	8%

4-3- مقارنة نتائج النموذج الحاسوبي مع نتائج علاقات الكود الهندي [2] :

تم إجراء الحساب وفقاً للمخططات الموجودة في الكود الهندي [2]. حيث يعتمد الكود الهندي في الحساب على اعتبار الجدران إما موثوقة مع القاعدة (Fixed) أو متمفصلة

مع القاعدة (Hinged) . وينظم الحساب - سواء في القوى الحلقية أو عزوم الانحناء - ما يلي :

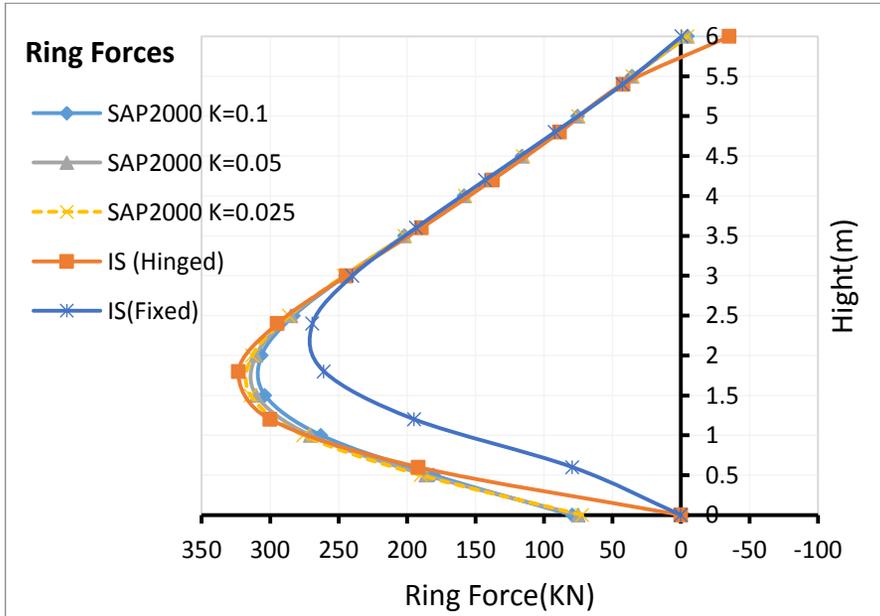
- معاملات تستخرج من الجداول تبعاً للنسبة $\frac{H^2}{Dt}$ حيث:
- H: ارتفاع الخزان، D: قطر الخزان و t سماكة الجدار .
- الوزن النوعي للسائل .
- H : ارتفاع الخزان .

ومن ثم يتم حساب عزوم الانحناء وقوى الشد الحلقي، ونلاحظ أنه لم يتم اعتبار خصائص التربة أسفل الخزان كما أن السلوك الفعلي للجدار لا يمكن تمثيله بإحدى الحالتين (موثوق أو متمفصل) وإنما السلوك الفعلي يكون بين الموثوق والمتمفصل.

- تم إجراء المقارنة مع حالات التربة الثلاث المدروسة سابقاً والناجمة من النموذج الحاسوبي مع المخطط الناتج عن علاقات الكود الهندي [2] .

4-3-1- قوى الشد الحلقي في الجدران :

يبين الشكل (4-10) مقارنة قيم الشد الحلقي تبعاً للارتفاع وفق علاقات الكود الهندي [2] مع القيم الناتجة عن النموذج الحاسوبي وذلك لحالات التربة الثلاث .



الشكل (4-10) مقارنة بين قيم قوى الشد الحلقي الناتجة عن الكود الهندي [2] والنموذج الحاسوبي لحالات التربة الثلاث.

جدول (4-6) مقارنة بين القيم القصوى للشد الحلقي لحالات التربة الثلاث في النموذج الحاسوبي وبين نتائج الكود الهندي [2].

MAX Hoop tension			
K(KN/m³)	100000	50000	25000
SAP2000	306.32	310.34	314.2
Indian Standard (Hinged)	323.025	323.025	323.025
deviation	5%	4%	3%
Indian Standard (Fixed)	269.04	269.04	269.04
deviation	12%	13%	14%

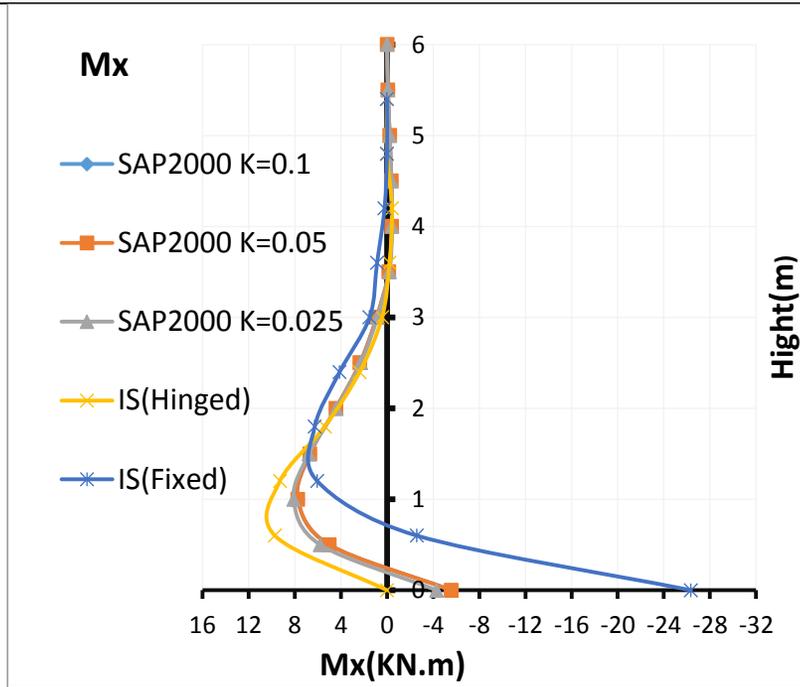
إن القيم متقاربة بحال اعتبار الكود الهندي [2] اتصال الجدران مع القاعدة متمفصل لكن يجب الأخذ بعين الاعتبار أن قيم الشد الحلقي في الكود الهندي [2] عند نقطة الاتصال (معدومة) بينما قيمتها الفعلية تصل حتى (80KN). وبحال اعتبار الاتصال موثوق وصل الفرق لنسبة 14%.

4-3-2- عزوم الانحناء في الجدران :

يبين الشكل (4-11) مقارنة قيم عزوم الانحناء تبعاً للارتفاع وفق علاقات الكود الهندي [2] مع القيم الناتجة عن النموذج الحاسوبي وذلك لحالات التربة الثلاث.

كما ويبين الجدول (4-7) مقارنة بين القيم القصوى لعزوم الانحناء لحالات التربة الثلاث الناتجة عن النموذج الحاسوبي مع القيم الناتجة عن الكود الهندي [2].

تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة



الشكل (4-11) مقارنة بين قيم قوى الشد الحلقي الناتجة عن الكود الهندي والنموذج الحاسوبي لحالات التربة الثلاث.

جدول (4-7) مقارنة بين القيم القصوى لعزوم الانحناء لحالات التربة الثلاث في النموذج الحاسوبي وبين نتائج الكود الهندي.

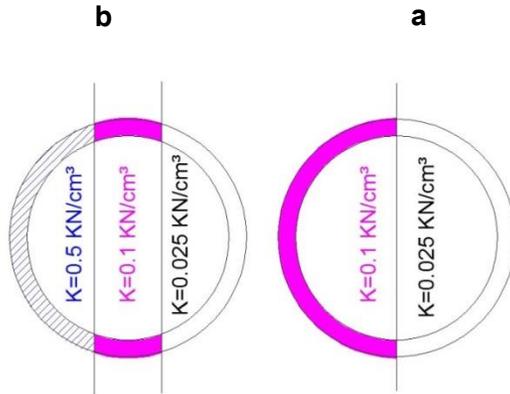
MAX Bending moment			
K(KN/cm³)	0.1	0.05	0.025
SAP2000	7.19	7.74	8.1
Indian Standard (Hinged)	9.72	9.72	9.72
deviation	26%	20%	17%
Indian Standard (Fixed)	-26.35	-26.35	-26.35
deviation	73%	71%	69%

نلاحظ فروق كبيرة في العزوم بحالة اعتبار الكود الهندي اتصال الجدران بالقاعدة متمفصل عنها في النموذج الحاسوبي وقد وصلت حتى نسبة 26%. وانقلبت إشارة العزم الأقصى بحال الموثوقة و قيم العزوم القصوى تكون عند الوثاقفة وقد وصلت الفروقات نسبة 73% .

4-4- مقارنة نتائج النموذج الحاسوبي مع نتائج المرجع في الجدران الاستنادية وخزانات السوائل [1] والكود الهندي [2] بحال عدم تجانس التربة وتغير معامل الانضغاطية K :

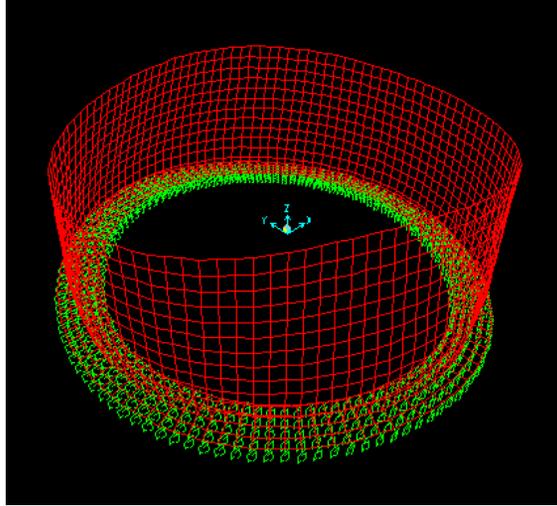
قد لا تكون تربة التأسيس متجانسة الخصائص أسفل الخزان وخصوصاً في الخزانات ذات الأقطار الكبيرة لذلك تم افتراض تغير معامل استجابة التربة أسفل الأساسات على افتراضين يوضحهما الشكل (4-12) إن القوى التي تنتج في الجدران ستكون مختلفة من نقطة لأخرى إذ إن هذا الافتراض سينتج عنه هبوط في منطقة أسفل الأساس الشريطي أكثر من الأخرى وبالتالي لا يمكن تمثيل القوى في الجدران من خلال المخططات وسيتم الاكتفاء بمقارنة القيم القصوى الناتجة في هذه الحالة مع القيم القصوى في حال اعتبار التربة متجانسة وبيان الفارق. تم افتراض حالتين:

- الحالة الأولى a :** قيمتين للمعامل K ($K=0.1$, $K=0.025 \text{ KN/cm}^3$).
- الحالة الثانية b :** ثلاث قيم للمعامل K ($K=0.1$, 0.5 , 0.025 KN/cm^3).

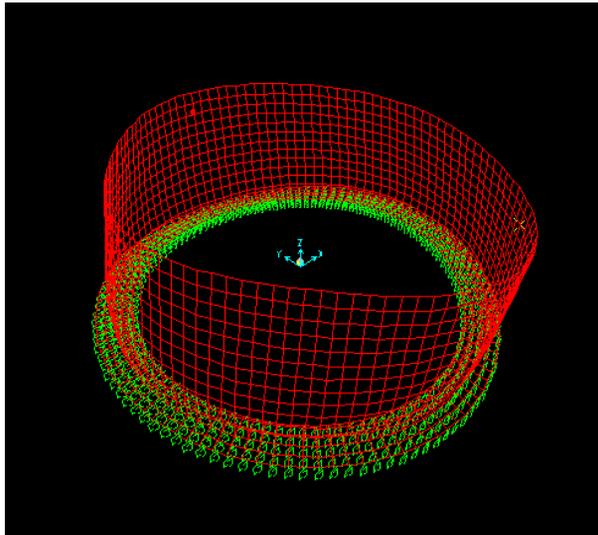


الشكل (4-12) تغير مقطع التربة أسفل الأساس الشريطي وفق النموذج المعتمد.

يبين الشكلان (13-4) و(14-4) شكل التشوه الحاصل في جدران الخزان والنتيجة عن الحالتين المدروستين.



الشكل (4- 13) شكل التشوه في جدران الخزان والنتائج عن تطبيق الحالة a.



الشكل (4- 14) شكل التشوه في جدران الخزان والنتائج عن تطبيق الحالة b.

يبين الجدول (4- 8) قيم قوى الشد الحلقي وعزوم الانعطاف القصوى في جدار الخزان للحالتين المدروستين (تمت المقارنة مع القيمة الأخطر بين حالات التربة الثلاث في النموذج الحاسوبي للتربة المتجانسة) :

الجدول (4- 8) القيم القصوى للشد الحلقي وعزوم الانحناء في جدار الخزان تبعاً للحالتين a,b .

-	Max Ring Force (KN)	Max Moment (KN.m)
الحالة (a)	333.9	-12.97
Max (sap2000)	314.2	8.1
deviation	%6	%37
Max (Ind standared)	323.03	-26.35
deviation	%3	%103
الحالة (b)	325.49	-14.32
Max (sap2000)	314.2	8.1
deviation	3.50%	%43
Max (Ind standared)	323.03	-26.35
deviation	%1	%84

5- النتائج والتوصيات:

5-1- النتائج :

1- تزيد قيمة قوى الشد الحلقي القصوى باستعمال العلاقات التحليلية عن قيمة القوى وفق النموذج الحاسوبي بنسبة لا تزيد عن 5% لحالات التربة المدروسة، لذلك يمكن القبول بالنتائج الناتجة عنها وفق النموذج المطروح. بينما تزيد قيمة عزوم الانحناء القصوى باستعمال العلاقات التحليلية عن قيمة القوى وفق النموذج الحاسوبي بنسبة لا تزيد عن 12% لحالات التربة المدروسة، لذلك يمكن القبول بالنتائج الناتجة عنها وفق النموذج المطروح. وبناء على ذلك يمكن القبول بنتائج العلاقات في المرجع [1] .

2- لا يعبر تمثيل جدران الخزان للحالة المدروسة بشكل وثيقة تامة مع الأساس أو بشكل مفصلي عن السلوك الفعلي لها، وإنما يكون السلوك الحقيقي بين المتمفصل والموثوق، فلا يكون الشد الحلقي معدوماً عند الاتصال بين الجدار والقاعدة كما تفترض حالة الموثوق، ولا يكون العزم معدوماً كما تفترض حالة المتمفصل.

3- وصلت الفروق في القيم القصوى للشد الحلقي بين النموذج الحاسوبي والكود الهندي [2] لنسبة 14% بحالة الشد، وصلت لغاية 73% في عزوم الانحناء. وهي قيم كبيرة وبالتالي فإنه من الضروري أخذ الأثر المتبادل بين التربة والمنشأ وعدم الاعتماد فقط على الطرائق الكلاسيكية في التصميم للوصول إلى تصميم أكثر دقة.

4- بحال تغير تجانس تربة التأسيس وتبعاً للحالة المدروسة فإن قيم الشد الحلقي زادت عن حالة النموذج الحاسوبي بتربة متجانسة وبنسبة وصلت حتى 6%، بينما وصلت نسبة الزيادة في عزوم الانحناء 43%، مما يعني ضرورة النمذجة الدقيقة للحالة المدروسة للحصول على قيم حقيقية تلافياً لحدوث نقص في قيم القوى التصميمية.

5-2- التوصيات:

تدقيق علاقات الحالات الأخرى في المرجع في الجدران الاستنادية وخزانات السوائل البيتونية [1]، والتي لم تتم دراستها (كحالة الخزانات المتعددة)، وإجراء الدراسة بتغيير الافتراضات مثل اعتبار الجدران متغيرة السماكة، أو اعتبار مخطط حمولة دفع السائل شبه منحرف، أو اعتبار الخزان مطمور، أو اعتبار وجود بلاطة تغطية (سقف الخزان).

6 - المراجع :

In Arabic

[1] MAHMOUD.G, 2004- The Reference in Concrete RWs and Liquid Tanks. Damascus University Publishes, 1st Edition, Syria, 582p.

In English

- [2] INDIAN STANDARD, 2008- Code of Practice for Concrete Structures for Storage of Liquids. Bureau of Indian Standards, Part IV-2004. New Delhi, India.
- [3] BOOKER.J.R and SMALL.J.C, 1983- The analysis of liquid storage tanks on deep elastic foundations, International Journal For Numerical and Analytical Methods in Geo-mechanics, Vol. 7, 187-207.
- [4] KUKRETI.A.R, ZAMAN.M and ISSA.A, 1993- Analysis of fluid storage tanks including foundation-superstructure interaction, Appl. Math. Modelling, Vol. 17, 618-631.
- [5] KUKRETI.A and SIDDIQI.Z, 1997- Analysis of fluid storage tanks including foundation-superstructure interaction using differential quadrature method, Appl. Math. Modelling, Vol. 21, 193-205.
- [6] EL MEZZAINI.N, 2006- Effects of soil-structure interaction on the analysis of cylindrical tanks, Practice periodical on structural design and construction, Vol. 11. 01, 50-57.
- [7] PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA), 1993- Circular concrete tanks without prestressing. PCA, Skokie III, IL, USA, 32p.
- [8] VICHARE.S and INAMDAR.M, 2010- An analytical solution for cylindrical concrete on deformable soil, International Journal of Advanced Structural Engineering, Vol. 2, No. 1, 69-90.
- [9] MISTRIKOVA.Z and JENDZELOVSKY.N, 2011- Static Analysis of the Cylindrical tank Resting on Various Types of Subsoil, Journal of Civil Engineering and Management, Vol. 18, NO. 5, 744-751.

- [10] DEHADRAI.V.P and INGLE.R.K, 2016- An analytical solution for hoop tension in liquid storage cylindrical tanks, The Indian Concrete Journal, p56-63.
- [11] DAFTARDAR.A, VICHARE.S and VASHI.J, 2017- An analytical solution for hoop tension in liquid storage cylindrical tanks, International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS), Vol. 4, NO. 7, 99-104.
- [12] SILVA.RL.C, MARQUES.G.B, LAGES.E.N and MARQUES.S.P.C, 2019- Analytical study of cylindrical tanks including soil-structure interaction, Ibracon Structures and Materials Journal, Vol. 12, 14 – 22.
- [13] LEWINSKI.P and RAK.M, 2019- Soil-Structure Interaction of Cylindrical Tank of Variable Wall Thickness under the Thermal Gradient Conditions, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1-10.