

Numerical Study on Behavior of Walls Piles with Anchors Used to Support a Sandy Foundation Basin

Dr. Tawfeek Fayad^{*}
Dr. Rami al-Abdeh^{**}
Ali Mueen Khaddour^{***}

(Received 26 / 5 / 2019. Accepted 28 / 7 / 2019)

□ ABSTRACT □

Walls piles supported with Anchors are considered one of most ways of engineering supporting widespread. This research includes studying the behavior of walls pile, through a numerical parametric study using the (plaxis / 2D) program. the study includes the most important factors which include: (number of rows of anchors, the angle of the inclination, the length of the installation of anchors, the distance of the first row of anchors from the earth's surface, specifications of the injected body: (coefficient of elasticity of the injected body, area of the injected body, length of the injected body)). Where the effect of these factors on the stability of the wall was studied. Where they give the best effect to the anchors and ensure the best possible positioning which contributes to reducing the economic cost of this constructions.

Keywords: wall pile - ground Anchors - Basin foundation - parameters of the specifications of the anchor - finite element method - Plaxis.

^{*} Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

^{**} Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

^{***} Postgraduate Student (Master), Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University. Lattakia, Syria.

دراسة عددية لسلوك الجدران الوتدية ذات الشدادات المستخدمة لتدعيم أحواض التأسيس الرملية

الدكتور توفيق فياض*

الدكتور رامي العبدہ**

علي معين خضور***

(تاريخ الإيداع 26 / 5 / 2019. قُبِلَ للنشر في 28 / 7 / 2019)

□ ملخص □

تعتبر الجدران الوتدية المدعمة بالشدادات من أكثر طرق التدعيم الهندسية انتشاراً واستخداماً. سيتناول هذا البحث إجراء دراسة عددية لتدعيم حوض تأسيس الترب الخشنة الرملية الضعيفة مع وجود منسوب للمياه قريب من سطح الأرض. هذا البحث يتناول أيضاً دراسة سلوك الجدران الوتدية المدعمة بعدة صفوف شدادات، من خلال إجراء دراسة بارامترية عددية باستخدام برنامج (Plaxis/2D). هذه الدراسة تشمل أهم العوامل المؤثرة على استقرار هذا النوع من الجدران ومن ضمنها (عدد صفوف الشدادات، زاوية ميل الشدادات، طول الإرساء للشدادات، التباعد الشاقولي بين صفوف الشدادات، بعد أول صف للشدادات عن سطح الأرض، مواصفات الجسم المحقون وتشمل: (معامل مرونة ومساحة وطول الجسم المحقون)). تم دراسة تأثير هذه العوامل على استقرار الجدار وإظهار مخططات الانتقالات خلف الجدار، وتبيان أفضل عدد لصفوف الشدادات وأفضل مواصفات للشدادات والعناصر المكونة لها، بحيث تعطي أفضل فعالية للشدادات وأقل قيم للانتقالات الأفقية للجدار، وتؤمن أفضل توضع ممكن أن يساهم في تخفيف الكلفة الاقتصادية لهذا النوع من تدعيم المنشآت الهندسية.

الكلمات المفتاحية: جدار وتدي - شدادات أرضية - حوض تأسيس - بارامترات مواصفات الشداد - طريقة العناصر المنتهية - Plaxis.

* مدرس - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** مدرس - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
*** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة:

نتيجة" للنمو السكاني الكبير في المناطق السكنية، زادت الرغبة إلى الأبنية المرتفعة، لذلك أصبح من الضروري أن يتم حفر التربة لأعماق كبيرة لإنشاء مساحات تحت أرضية كافية، مع العمل على تأمين استقرار الجدار و جوانب الحفر لتجنب أي نتائج انهيار للجدار يتبعها أضرار اقتصادية وخسارة أرواح بشرية. وهذا مادفع للقيام بالعديد من الأبحاث حول تدعيم جوانب الحفرية وزيادة استقرارها بعدة طرق توفر مساحات للعمل وتقدم اعتبارات أمان للتربة وتوفير في الكلفة والوقت. ومن بين هذه الطرق: (الأوتاد البيتونية أو الفولاذية، الصفائح الوتدية، التربة المرسيبة بالشدادات، الجدار الحاجز والتربة المسلحة وغير ذلك). لكل طريقة من هذه الطرق ميزات وسلبيات ومن المهم معرفة حدود ومجالات الاختلاف لكل طريقة. إن استخدام النمذجة العددية كطريقة العناصر المنتهية والفروقات المحدودة، قدم وسيلة للتنبؤ بسلوك المنشآت الحاجزة من أجل الحفاظ على استقرارها.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تحليل سلوك واستقرار الجدران الوتدية المدعمة بالشدادات في أحواض التأسيس الرملية، من خلال وضع موديل عددي بطريقة العناصر المنتهية يسمح بـ:

- * الوصول لأفضل حل تدعيم مدرّوس بارامترياً وبدقة كافية، وأكثر حل اقتصادي وسهل التنفيذ.
- * المساهمة في فهم وحل مشكلة تدعيم أحواض تأسيس التربة الرملية صعبة التدعيم والاستقرار.
- * تسليط الضوء على أهم الاعتبارات التصميمية أثناء دراسة هذا النوع الخاص من الجدران الوتدية.
- * إظهار مخططات انتقالات التربة خلف الجدار لتحديد أفضل عدد وتوضع اقتصادي لصفوف الشدادات.

هذا البحث سوف يساهم في إغناء البحث العلمي فيما يتعلق بموضوع البحث، وهو دراسة سلوك الجدران الوتدية المدعمة بالشدادات. حيث سيتم إلقاء الضوء على الميزات المتعددة التي يقدمها هذا النوع من الجدران الداعمة. يقدم هذا البحث مثلاً واقعياً لاستخدام هذا النوع من طرق التدعيم. إن التدعيم بالطريقة المذكورة يتطلب كلفة كبيرة وزمن تنفيذ كبير. مما يجعل من التنبؤ بسلوك هذه الجدران واستقرارها وتصميمها، مسألة تحتاج الكثير من الدقة وقد ينتج عن الخطأ فيها نتائج كارثية، لذلك لابد من إجراء مناقشة وتحليل مقارن لعدد من الحالات والتوضعات للجدران الوتدية مع الشدادات ونمذجتها وإظهار النتائج مع اختيار أفضل الحلول وأقلها كلفة وزمن تنفيذ.

طرائق البحث ومواده:

يعتمد البحث على المنهج التحليلي المقارن ويشتمل على المراحل التالية:

✓النمذجة بطريقة العناصر المنتهية:

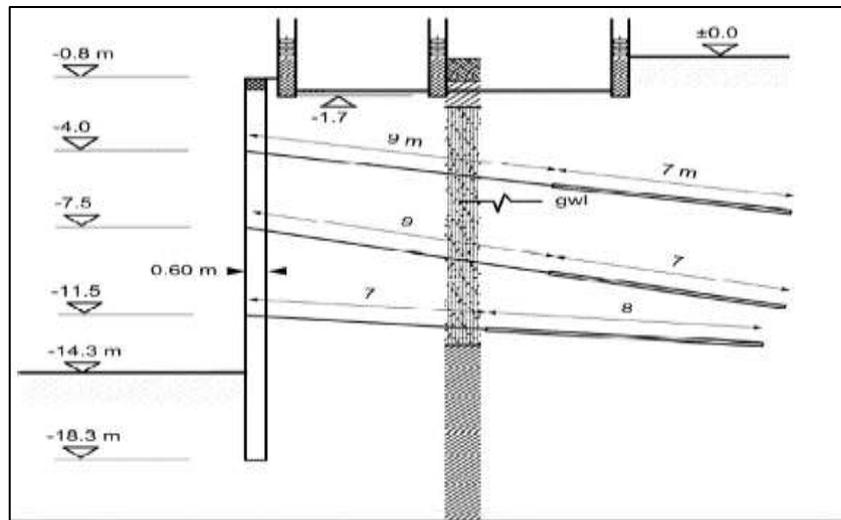
- وضع موديل عددي لجدار وتدي حر مدرّوس سابقاً وبتربة واقعية، مع تحديد الحملات الخارجية المطبقة عليه وعمق حفرة التأسيس واعتماد تربة رملية متطبقة.
- استخدم في النمذجة برنامج (Plaxis/2D) للنمذجة العددية ثنائية البعد بطريقة العناصر المنتهية.
- معايرة الموديل واختيار قانون المادة الأنسب ووضع موديل عددي مناسب مع كافة خواصه وشروطه الطرفية.
- ✓الدراسة البارامترية: أجريت دراسة عددية لتأثير تغيير عدة بارامترات داخلية في تصميم الجدار الوتدي المدعم بالشدادات على استقرار الجدار. ✓ تحليل النتائج ومناقشتها.

الموديل العددي:

أعطى (Gaba et al, 1988) لمحة عامة للطرق العددية مع افتراض ميزاتها وعيوبها. استخدمت برامج عددية تعتمد بالدرجة الأولى على طريقة العنصر المنتهي، والتي واجه فيها المستخدمين العديد من المشاكل ومن ضمنها: 1- تحديد بارامترات التربة يحتاج للشروط الأولية للتربة. 2- اختيار موديل التربة. 3- تفسير وتقييم النتائج. 4- الشروط المحيطة واختيار نوع التحليل.

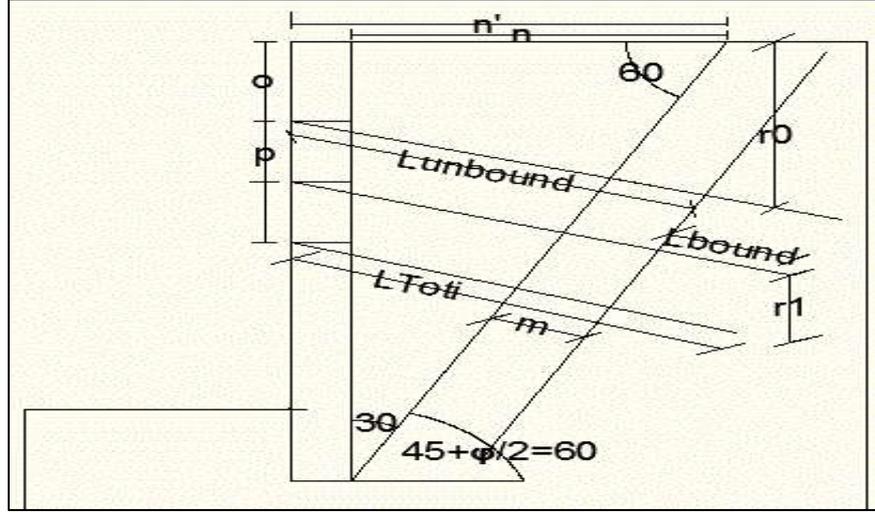
المعطيات الحقلية:

اعتمد موديل جدار وتددي مدعم بثلاثة صفوف شدادات لأحد الدراسات المرجعية السابقة للباحث [1] (Anton Szavits Nossan, 2008). يظهر الجدار في الشكل [1].



الشكل [1] - معطيات الجدار والشدادات والمناسيب [1].

الرموز المستخدمة: اعتمدت مجموعة من الرموز المعبرة عن الأبعاد مع استخدام بعض الفرضيات من مراجع وأبحاث سابقة وفق الشكل [2].



الشكل [2] - بعض الرموز المستخدمة في البحث.

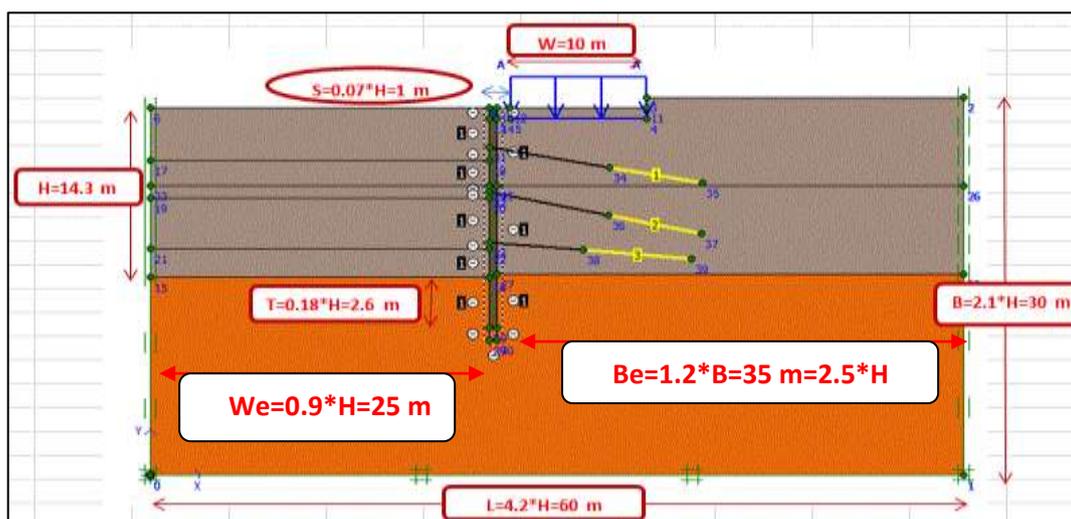
- حيث O: بعد أول صف شدادات عن سطح الأرض الأفقي ويتراوح بين $[H * (12.5-25)\%]$ حسب [1].
H: عمق حوض التأسيس. P: التباعد الشاقولي بين صفوف الشدادات ويتراوح بين $[H (25-12.5)\%]$ حسب
فرضية [2] (Jitesh Chavda, 2015). n' : البعد الأفقي بين وجه الوند من جهة حوض التأسيس ونقطة تقاطع خط
الانزلاق مع سطح الأرض، حيث افترض [2] أن خط الانزلاق يميل عن الأفق بزاوية $(45+\phi/2)$ بدءاً من أسفل قدم
الوند الداخلي. L_{Toti} : الطول الكلي للصف (i) من الشدادات. $(L_{geo}=L_{bound})$: طول الجسم المحقون والممثل في
البرنامج كجيوغريد. $(L_{Ai}=L_{unbound})$: الطول الحر للصف (i) من الشدادات. من أجل تحديد طول الشداد
افترض [2] مسافة عمودية (m) فاصلة بين خط الانزلاق ومستقيم موازي له وتؤخذ كنسبة مئوية
 $(m \geq 1.5 \text{ m or } 0.15 \text{ H})$. إن $(r1 = 6 * D \text{ or } 1 \text{ m})$ التباعد الشاقولي بين مراكز الجسم المحقون في كل صف
شداد. D: قطر الوند. $(r0 \geq 5 \text{ m})$: البعد الشاقولي بين سطح الأرض الأفقي ومركز أول جسم محقون. nA : عدد
صفوف الشدادات. MC: الموديل المرن - تام اللدونة (Mohr coulomb). HS: موديل
(HSS). (Hardening soil model): موديل التربة المتصلبة عند التشوهات الصغيرة
(Hardening soil - Small Strain). H_{max} : الانتقال الأفقي الاعظمي في الجدار. H_{mmax} : الانتقال الأفقي
الاعظمي للقيم الحقلية المقاسة. DH: قيمة الفرق بين الانتقالات الاعظمية. $(S_A = 2.5 \text{ m})$: التباعد الأفقي بين
الشدادات في كل صف حسب [2]. H_{all} : قيمة الانتقال الأفقي المسموح في الجدار الوندي المدعم بالشدادات ويعادل
 $(H_{all} = H/300 = 0.048 \text{ m} = 4.8 \text{ cm})$ حسب المواصفات الألمانية وفق المرجع
(DSI Unit DYWIDAG-Systems International GmbH, BU Geotechnics, Germany).

مواصفات المواد: جدار حفرة التأسيس هو جدار من البيتون المصبوب في المكان بسماكة (0.6m). استخدم السلوك
المرن الخطي (Linear Elastic) في نمذجته. يدعم الجدار بثلاثة صفوف شدادات بزاويا ميول مختلفة. مواصفات
المواد المدخلة في البرنامج (الجدار الوندي + كل صف شدادات + الجسم المحقون) موضحة في الجدول (1).

الجدول (1) مواصفات المواد المستخدمة في الموديل الحقلي [1].

الرمز	القيمة	الواحدة
معامل مرونة الجدار الوتدي (Eref)	25	Gpa
معامل بواسون للجدار البييتوني $\nu(ru)$	0.3	-
معامل القص للجدار الوتدي (Gref)	9.615	Gpa
معامل المرونة الأدمتري (Eoed)	33.65	Gpa
الوزن الحجمي للبيتون المسلح (γ_b)	25	Kpa
صلابة كل شداد في الصف الأول (EA1)	117000	KN
صلابة كل شداد في الصف الثاني والثالث EA(2,3)	146000	KN
صلابة الجيوغريد الممثل للجسم المحقون (EA)	30000	KN

الأبعاد والشروط الطرفية: حددت الأبعاد وفق المجالات التي سمح بها (Briaud & Lim, 1997) وتوضح الأبعاد في الشكل [3]. $[L=(3-4)B]$: عرض النموذج. B: ارتفاع النموذج. W: عرض الحمولة الإضافية الموزعة على متر طولي، We : عرض الحفرية. Be : بعد طرف النموذج عن الطرف الخارجي للجدار المدعم. T: عمق الغرز. S: بعد الطرف الداخلي الأيسر للحمولة الإضافية عن وجه الجدار الأيمن المقابل لها. تم نمذجة الحمولة الإضافية للمبنى القديم المجاور للحفرية كحمولة موزعة بانتظام قيمتها $(72\text{Kn}/\text{m}^2)$.



الشكل [3] - حدود وأبعاد النموذج الحقلي [1].

الموديل العددي المقترح:

الشروط الطرفية وأبعاد الموديل المدروس: استخدمت نفس الخواص والحدود الطرفية لموديل الباحث [1]. تظهر أبعاد وحدود الموديل والشروط الطرفية في الشكل [3].
مواصفات الجدار الوتدي المقترح: حوض التأسيس مدعم بجدار وتدي مكون من أوتاد متلاصقة، التباعد بين مراكز الأوتاد $[Sh=D]$. بالاستعانة بدراسة عددية للباحث [2]. $(D=Dp=60\text{ cm})$: قطر الوتد. توضح مواصفات الجدار الوتدي المدروس في الجدول (2).

الجدول (2) - مواصفات الجدار الوتدي المدخلة في البرنامج [1].

الرمز	القيمة	الواحدة
موديل المادة	Linear Elastic (مرن خطي)	-
الوزن الحجمي للبيتون المسلح	25	kn/m ²
معامل مرونة الجدار الوتدي (Eref)	25000000	Kpa
معامل بواسون للبيتون (ν)	0.2	-

مواصفات الشدادات المقترحة: إن مواصفات الشدادات مع الجسم المحقون متماثلة في جميع الصفوف وسيتم تغيير مواصفات الجسم المحقون لاحقاً أثناء الدراسة البارامترية. تبين المواصفات في الجدول (3).

الجدول (3) - مواصفات الشدادات مع الجيوغريد [1].

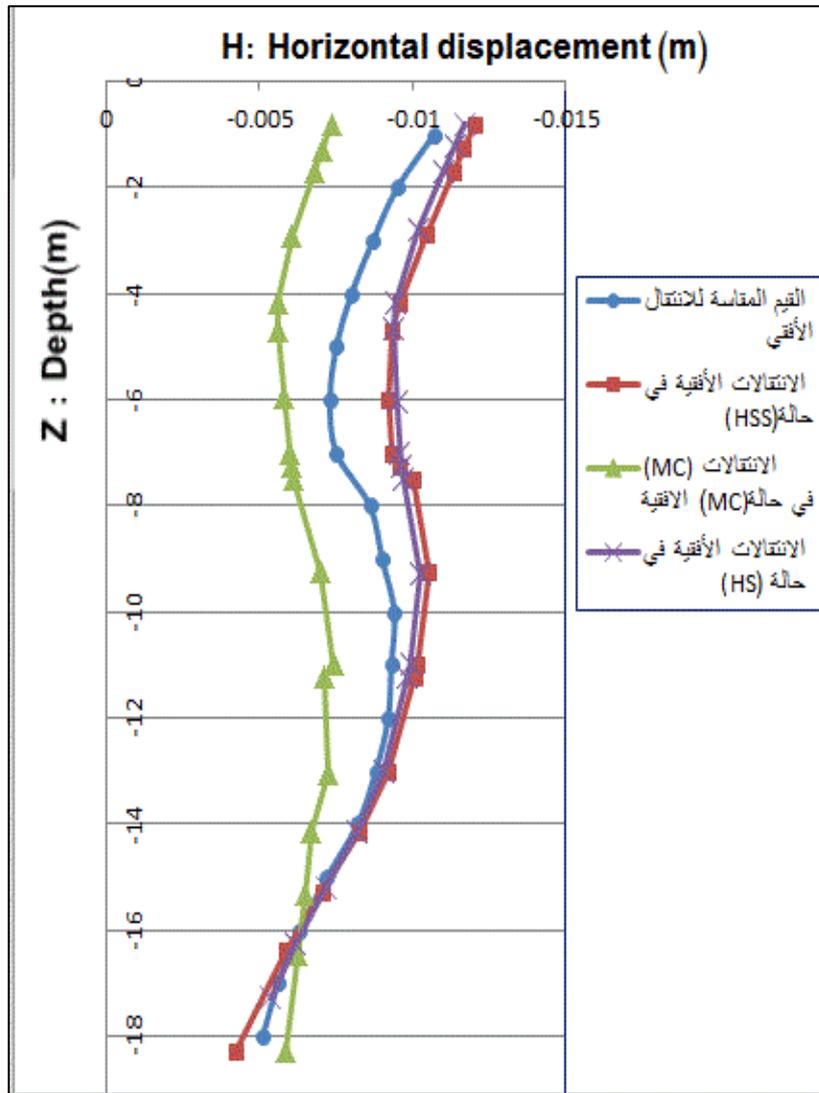
البارامتر	القيمة	الواحدة
موديل المادة	Elastic (مرن)	-
صلابة أول صف شدادات (EA)	117000	kn
صلابة ثاني صف وثالث صف شدادات (EA)	146000	kn
صلابة الجسم المحقون لجميع الصفوف (EA)	30000	kn

مواصفات التربة المقترحة: استخدمت تربة رملية تمتد حتى نهاية عمق التأسيس يليها غضار قاسي. تظهر خواص التربة في الجدول (4).

الجدول (4) - مواصفات تربة الموديل المدروس عددياً.

البارامتر	الرمز	الواحدة	رمل	غضار قاسي
موديل المادة	موديل	-	HS	HSS
نوع المادة	النوع	-	مصرف	مصرف
الكثافة غير المشبعة (فوق منسوب المياه)	γ_{unsat}	Kn/m ³	17	21
الكثافة المشبعة	γ_{sat}	Kn/m ³	20	21
النفاذية في الاتجاه الأفقي	K_x	m/day	0.5	0.0001
النفاذية في الاتجاه الشاقولي	K_y	m/day	0.5	0.0001
معامل المرونة القاطع عند 50% من الإجهاد الكلي	E_{50}^{ref}	Kpa	43000	100000
معامل المرونة الأدمتري	E_{oed}^{ref}	Kpa	43000	100000
معامل مرونة التحميل والتفريغ	E_{ur}^{ref}	Kpa	86000	300000
التماسك الفعال	C_{ref}		1	25
زاوية الاحتكاك الفعالة	θ	0	34	30
زاوية التوسع الحجمي	ψ	0	4	0
معامل ضغط التربة الفعال	K_0	-	0.441	0.87
نسبة التشديد المسبق	OCR	-	1	3
تشوه القص المرجعي عند انخفاض معامل القص بمقدار 70% عن القيم الأولية	$\gamma_{0.7}$	-	0.0000368	0.00002
معامل القص المرجعي عند تشوهات صغيرة جداً	G_0^{ref}	Kpa	129000	308000
معامل بواسون المرن الفعال للمادة المدروسة	ν_{ur}	-	0.2	0.2
نسبة الانهيار	R_f	-	0.9	0.9
الإجهاد المرجعي	P_{ref}	Kpa	100	100
معامل الانضغاط الناظمي أو التشديد الرأسي عند إبقاء التربة مشددة طبيعياً		-	0.44	0.5

قانون المادة المستخدم: من أجل اختيار قانون المادة المناسب في دراستنا البارامترية تم معايرة النموذج المدروس باستخدام ثلاثة قوانين سلوك للمادة (HS,HSS,MC) مع قياسات حقلية. يبين ذلك في الشكل [4].



الشكل [4] - مقارنة قيم الانتقالات الأفقية المحسوبة على كامل الجدار مع العمق في حال عدة قوانين سلوك.

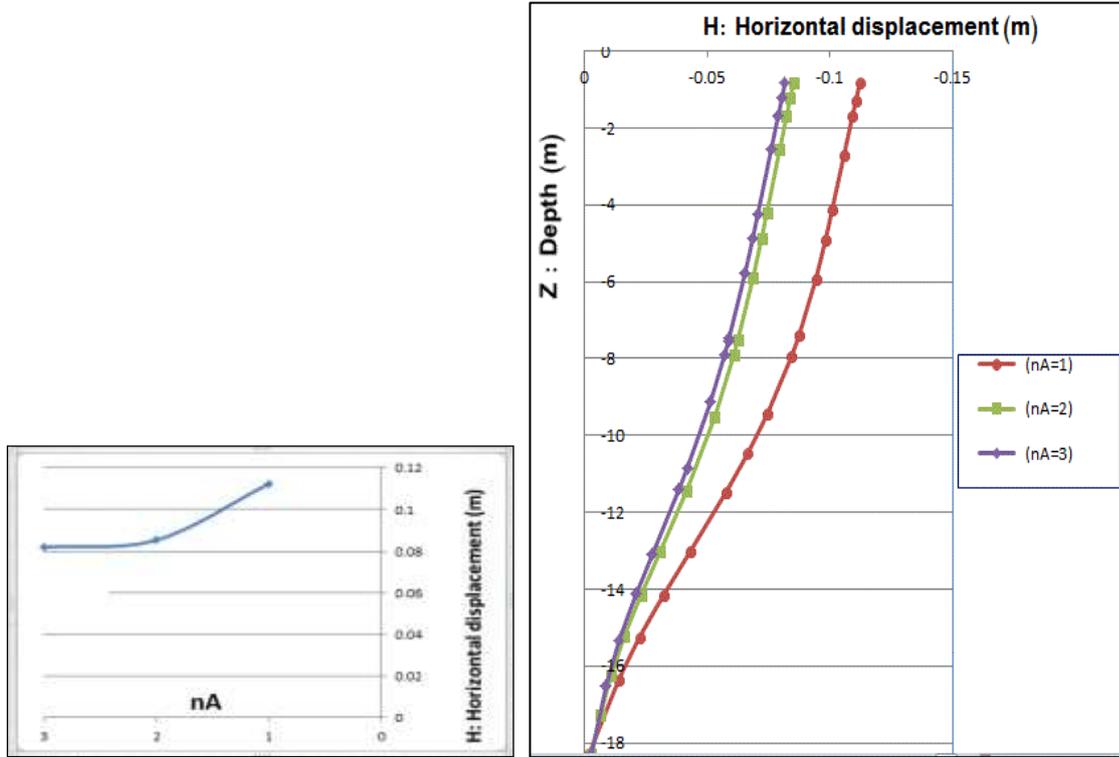
- يتقارب منحنيني (HSS and HS) مع بعضهما ومع منحنى القيم المقاسة وتكون جميع المنحنيات ذات شكل متموج. قيم الانتقالات الأفقية في كلا المنحنيين أكبر قليلاً من القيم المقاسة. ذروة الانتقال في جميع المنحنيات تقع عند أعلى الجدار. إن منحنى (HSS) يعطي قيم انتقالات أفقية أكبر بشكل ضئيل عند مقارنتها مع قيم المنحنى (HS) فيوفر مجال أمان أكبر عند التصميم. قيمة (DH=0.033 cm) بين موديل (HSS) و (HS) وهو فرق ضئيل لا يتجاوز (3.26%)، لذلك تم اعتماد موديل (HSS) في النمذجة. إن منحنى (MC) ذو شكل متعرج ويعطي قيم انتقالات أفقية أقل من منحنى القيم المقاسة المتموج رغم تقارب القيم من بعضها. يتنبأ منحنى (MC) بانتقالات جانبية أقل مقارنة مع (HSS) في الترب الخشنة لأنه يبالغ في تقدير مقاومة القص للتربة، بينما موديل (HSS) يوضح السلوك الفعلي لتشو الجدار ويأخذ بعين الاعتبار تشوه التربة بشكل أدق وهذا سيقود لتصميم آمن ونتائج أدق وفق (Muhammad Fahmi)

(bin Johan, 2012). بالاعتماد على المقارنة السابقة تم اعتماد قانون السلوك (HSS) عند تشوهات صغيرة لكونه يأخذ بعين الاعتبار الارتصاص (الانضغاط) ويعطي قيم انتقالات أكبر وأكثر دقة و أمان وموثوقية.
تحقيق الموديل:

يبين الشكل [4] أن ($H_{max}=1.2 \text{ cm}$) عند قمة الجدار في حالة (HSS)، في حين ($H_{mmax} = 1.07 \text{ cm}$) في الحقل عند قمة الجدار. ($DH = -0.13 \text{ cm}$) وهي نسبة لا تتجاوز (10.8%) مما يجعل الفروقات مقبولة. لذلك فسلوك منحنى الانتقالات المقاسة يقارب سلوك منحنى انتقالات الجدار المحسوبة في برنامج (plaxis).
الدراسة البارامترية (parametric study): تم نمذجة الجدار الوتدي كجدار حر في التربة دون تدعيمه بالشدادات. نتج من النمذجة تشوه الجدار الوتدي ودورانه باتجاه حوض التأسيس مع قيمة ($H_{max}=23.8 \text{ cm} > H_{all}$) عند قمة الجدار، لذلك يحتاج الجدار الوتدي للتدعيم بعدد مناسب من الشدادات يحدد أثناء الدراسة البارامترية. تم اعتماد قيم بعض الثوابت والتي سيشار إلى تغييرها أثناء الدراسة البارامترية في حال ذلك وهي: ($m=0.15H, O=0.25H, p=0.25H, D=60 \text{ cm}, L_{geo}=7 \text{ m}$).

تأثير عدد صفوف الشدادات (nA):

- استخدمت زاوية الميل نفسها لجميع صفوف الشدادات عن الأفق وهي ($\alpha=15^\circ$)، وتم تغيير عدد صفوف الشدادات ($nA=1,2,3$) مع تثبيت باقي البارامترات. كما في الشكل [5].



الشكل [5] - مقارنة بين منحنيات قيم الانتقال الأفقي مع العمق على كامل الجدار عند تغيير عدد صفوف الشدادات.

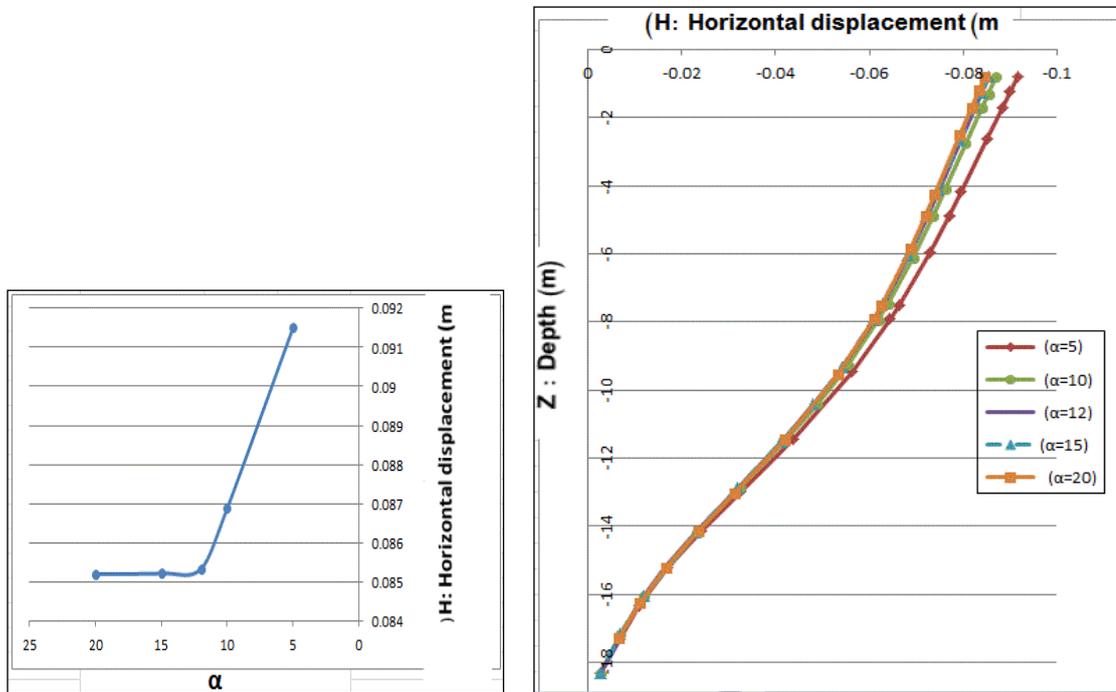
الشكل [6] - القيمة العظمى للانتقال الأفقي عند تغيير عدد صفوف الشدادات.

- يبين الشكل [6] انخفاض قيمة الانتقال الأفقي مع زيادة (nA). إن ($H_{max}=12.3 \text{ cm} > H_{all}$) في حالة صف شدادات. لا بد من استخدام صف آخر من الشدادات على الأقل. ذروة الانتقال في جميع المنحنيات عن قمة الجدار

وشكل المنحنيات انسيابي. تتقارب قيم المنحنيين (3, 2) $(nA=2, 3)$ ، حيث قيمة $(H_{max}=8.5 \text{ cm})$ في حالة صفي شدادات وتتناقص هذه القيمة بشكل ضئيل لتصبح $(H_{max}=8.1 \text{ cm})$ في حالة ثلاث صفوف. إن $(DH= 0.4 \text{ cm})$ وهي قيمة منخفضة تعادل (4.7%)، لذلك يكفي استخدام صفي شدادات من أجل الناحية الاقتصادية لتوفير كلفة تنفيذ ثلاث صفوف لكون تأثير وجود ثلاث صفوف لا يغير بشكل ملحوظ قيم الانتقالات. يظهر تقارب ذروة الانتقال في حالة $(nA=2,3)$ في الشكل [6]. لا يوجد أهمية لدراسة وجود صف رابع من الشدادات لأن فعاليته قليلة كون وجود ثلاث صفوف ذو فعالية قليلة. تم اعتماد حالة صفي شدادات كحالة دراسية.

تأثير تغيير زاوية ميل صفوف الشدادات (α):

- تم اعتماد حالة $(nA=2)$. لاختبار الزاوية التي تحقق أفضل استقرار للجدار تم دراسة عدة قيم لزاوية الميل $(\alpha=5^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 15^\circ, 20^\circ)$ ، وتثبيت باقي البارامترات كما في الشكل [7].



الشكل [7] - مقارنة بين منحنيات الانتقال الأفقي مع العمق في حالة صفي شدادات عند عدة قيم لزاوية الميل.

الشكل [8] منحنى القيم العظمى للانتقال الأفقي عند عدة قيم لزاوية الميل.

- يبين الشكل [7] انخفاض الانتقال مع زيادة (α) لاعتماد الشدادات على الاحتكاك في هذا النوع من التربة وفق (Wen-Chi, Hu and Shih-Tsung Hsu, 2012). المنحني الذي يعطي أقل قيم انتقال أفقي هو منحنى حالة $(\alpha=15^\circ, 20^\circ)$. في الشكل [8] قيمة $(H_{max}=8.52 \text{ cm})$ في حالة $(\alpha=20^\circ)$ وهي القيمة الأصغر للانتقال وبعدها تثبت قيم الانتقال الأفقي العظمى ولا تؤثر زيادة زاوية الاحتكاك حتى الزاوية $(\alpha=12^\circ)$. إن $(H_{max}=8.522 \text{ cm})$ في حالة $(\alpha=15^\circ)$. $(DH = 0.002 \text{ cm})$ بين الحالتين $(\alpha=15^\circ, 20^\circ)$ وهو فرق ضئيل. تم اعتماد الزاوية $(\alpha=15^\circ)$ كزاوية مثالية. (Sliwinski, 1971) اعتبر أن زاوية ميل الشداد المثالية في الرمل يجب أن تكون أقل من (20°) . [3]

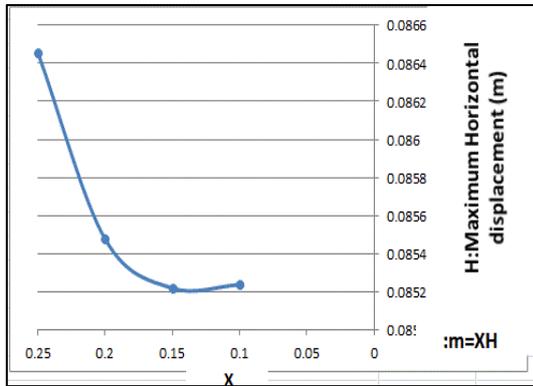
(Esame finale anno, 2014) وجد أن أفضل زاوية للشداد تجعل الشداد يعمل بأعظم قوة شد تتراوح بين $(15^\circ - 20^\circ)$ وذلك في الترب الرملية عند احتكاك تربة وسطي (30°) .

تأثير تغيير طول الشداد الكلي (L_{Toti}) في كل صف:

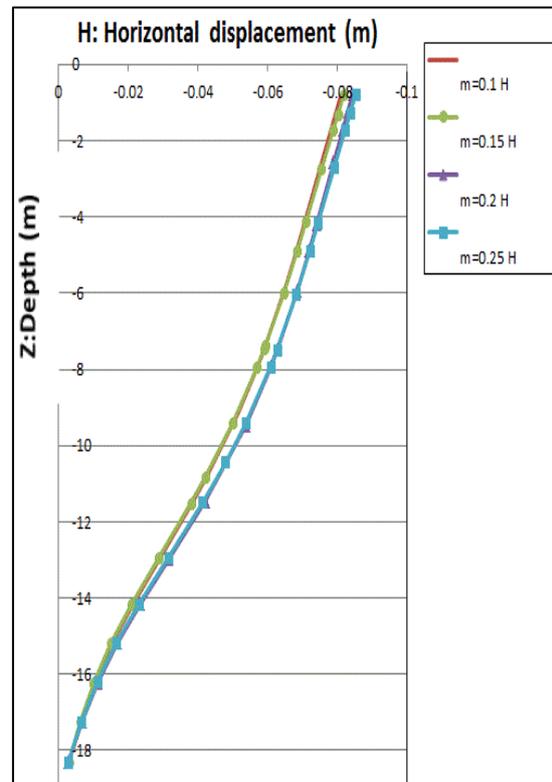
تم اعتماد طول ثابت للجسم المحقون ($L_{geo}=7m$) وكذلك $(\alpha=15^\circ)$.

تأثير تغيير (m) المسافة العمودية بين خط الانهيار والمستقيم الموازي له:

أعطيت قيم مختلفة لأطوال الشدادات كنسبة من الطول الكلي الذي يشمل طول الشداد والجسم المحقون ($L_{Tot}=L_A+L_{geo}$) مع تثبيت باقي البارامترات. من أجل دراسة تأثير تغيير الطول الكلي للشدادات على الانتقال الأفقي للجدار اعطيت عدة قيم لـ (m) كالتالي: ($m=0.1H, 0.15H, 0.2H, 0.25H$). كما في الشكل [9].



الشكل [10] - منحنى القيم العظمى للانتقال الأفقي للجدار عند عدة قيم لـ (m).

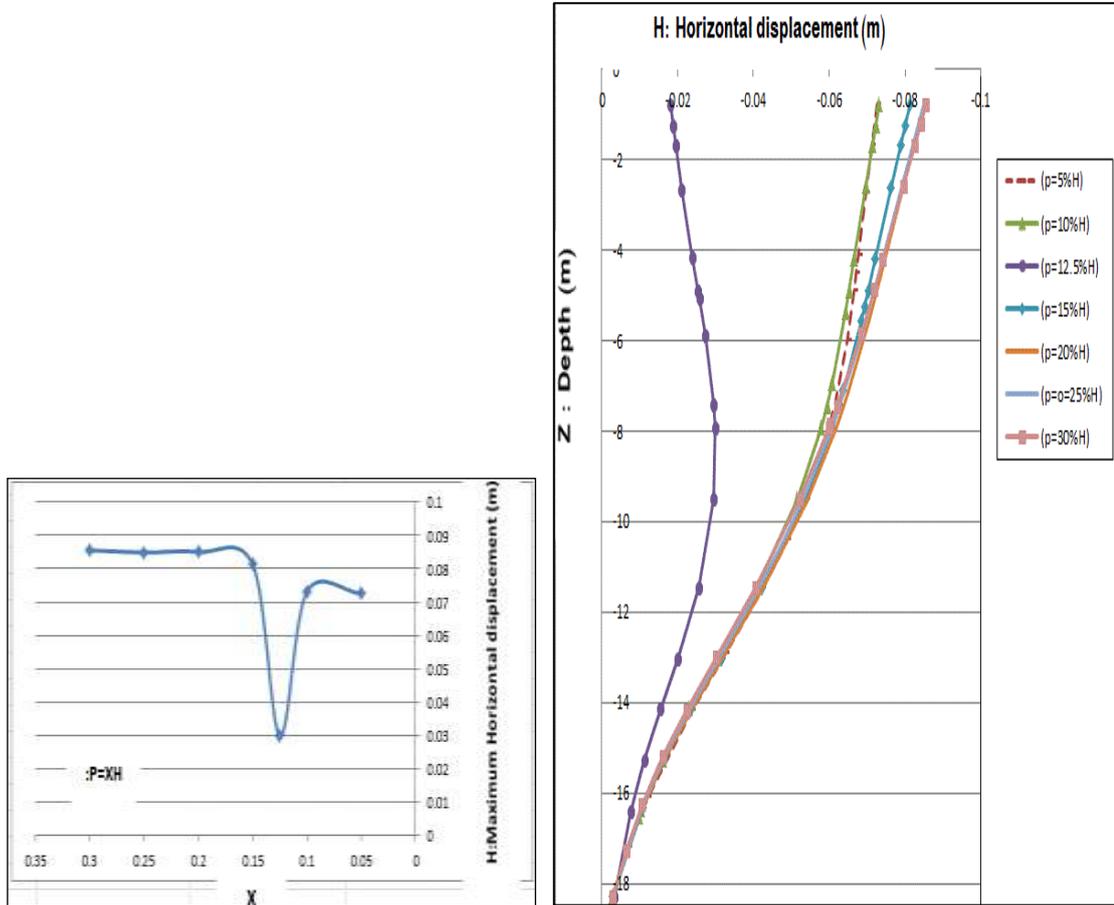


الشكل [9] - مقارنة منحنيات الانتقال الأفقي على كامل طول الجدار مع العمق عند قيم مختلفة لـ (m).

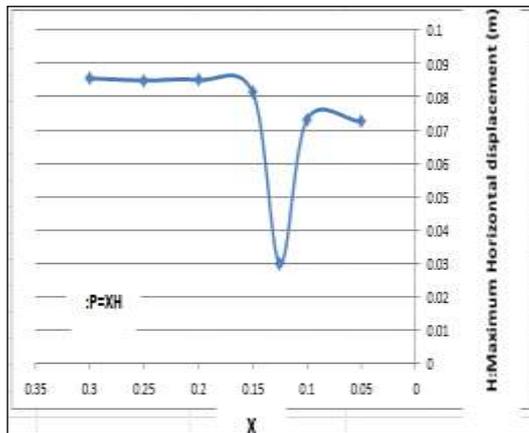
- يبين الشكل [9] تقارب أشكال المنحنيات وقيم الانتقالات الأفقية وتركز ذروة الانتقال عند قمة الجدار. يبين الشكل [10] كيفية تغير مسار ذروة الانتقال الأفقي مع زيادة (m). الحاليتين ($m=0.15H, 0.1H$) تعطيان أقل قيم انتقال. قيمة ($H_{max}=8.524$ cm) في حالة ($m=0.1H$). قيمة ($H_{max}=8.8522$ cm) في حالة ($m=0.15H$). إن ($DH=0.002$ cm) وهي قيمة منخفضة تعادل (0.02%). تم اعتماد الحالة التي تعطي أقل قيم انتقال ($m=0.15H$) كحالة مثالية، وهذا يتوافق مع (M. Hamza et al, 2009). مما سبق يكون ($L_{Tot2}=16$ m, $L_{Tot1}=17.4$ m) وكذلك ($LA1=0.59 L_{Tot1}=9$ m, $LA2=0.55 L_{Tot2}=10.4$ m).

تأثير التباعد الشاقولي بين الشدادات (p):

- اعتمدت أطوال الشدادات التي تم الحصول عليها مما سبق. أعطيت عدة قيم لـ (p) كنسبة من ارتفاع حوض التأسيس كالتالي: (p=0.05H, 0.1H, 0.125H, 0.15H, 0.2H, 0.25H, 0.3H). كما في الشكل [11].



الشكل [11] - مقارنة منحنيات الانتقال الأفقي على كامل طول الجدار مع العمق عند قيم مختلفة لـ (p).

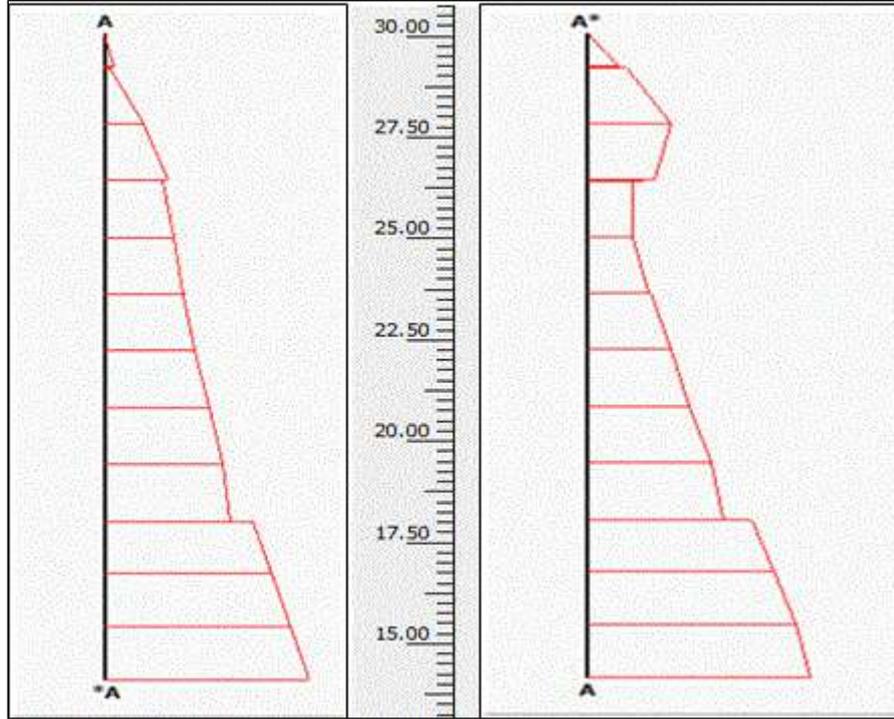


الشكل [12] - منحنى القيم العظمى للانتقال الأفقي عند عدة قيم لـ (p).

- يظهر الشكل [11] تقارب المنحنيات في الشكل الانسيابي وتركز ذروة الانتقال فيها عند قمة الجدار، باستثناء المنحنى الممثل لحالة (p=0.125H) يصبح متموج وذروته في منتصف الجدار تقريباً، مما يدل على التأثير الكبير للبارامتر (p) على سلوك الجدار. المنحنى الانسيابي الذي يعطي أقل قيمة انتقال هو منحنى حالة (p=0.1H) حيث (H_{max}=7.32 cm > H_{all}). إن (H_{max}=3cm < H_{all}) في حالة (p=0.125H). يبين الشكل [12] أن (DH= 4.32 cm) في الحالتين ويعادل (59%) وهو فرق كبير جداً لذلك تم اعتماد حالة (P=0.125H) كأفضل توضع شاقولي لصفوف الشدادات.

النتائج والمناقشة:

لتفسير سبب انخفاض ذروة الانتقال من قمة الجدار لتصبح في منتصف الجدار في حالة (p=0.125H). تم رسم مخططات الضغط الجانبي الفعال للتربة خلف الجدار للحالة التي تعطي أقل قيمة انتقال أفقي للمنحنيات الانسيابية وهي حالة (p=0.1H) و الحالة الأمثل (p=0.125H).



الشكل [13] - مخطط ضغط التربة الجانبي

الفعال خلف الجدار في حالة $(p=0.1H)$.

الشكل [14] - مخطط ضغط التربة الجانبي

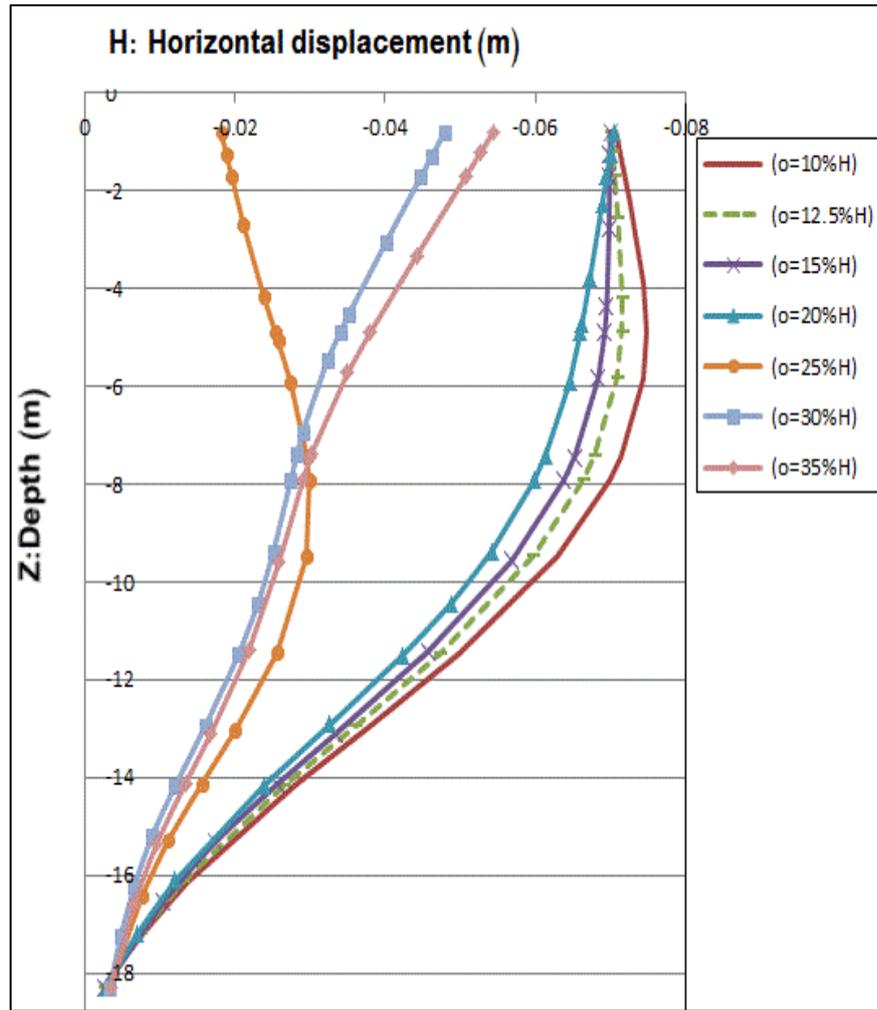
الفعال خلف الجدار في حالة $(P=0.125H)$.

نلاحظ من [13] حصول انخفاض تدريجي في ضغط التربة الجانبي الفعال خلف الجدار وأقصى ضغط فعال جانبي للتربة ($p'=193.67 \text{ kn/m}^2$). في الشكل [14] يحصل انخفاض مفاجئ في الضغط الجانبي الفعال أسفل الصف الثاني للشدادات قرب الجدار وأقصى ضغط فعال جانبي للتربة ($p'=194.87 \text{ kn/m}^2$)، بسبب مقاومة الشداد لضغط التربة مما يدل على وصول الشداد لأقصى فعالية له عند هذا التوضع لصفوف الشدادات ($p=0.125H$) مما يشير على التأثير الكبير لـ (p) على سلوك الجدار وهذا يفسر سبب تغير ذروة الانتقال من قمة الجدار إلى منتصفه.

تأثير بعد أول صف للشدادات عن سطح الأرض الأفقي (O):

- اعتمد ($p=0.125H$). تم إعطاء عدة قيم لـ (O) كنسبة من ارتفاع حوض التأسيس كالتالي:

($O=0.1H, 0.125H, 0.15H, 0.2H, 0.25H, 0.3H, 0.35H$). كما في الشكل [15].



الشكل [15]- مقارنة منحنيات الانتقال الأفقي على كامل طول الجدار مع العمق عند عدة قيم لـ(O).

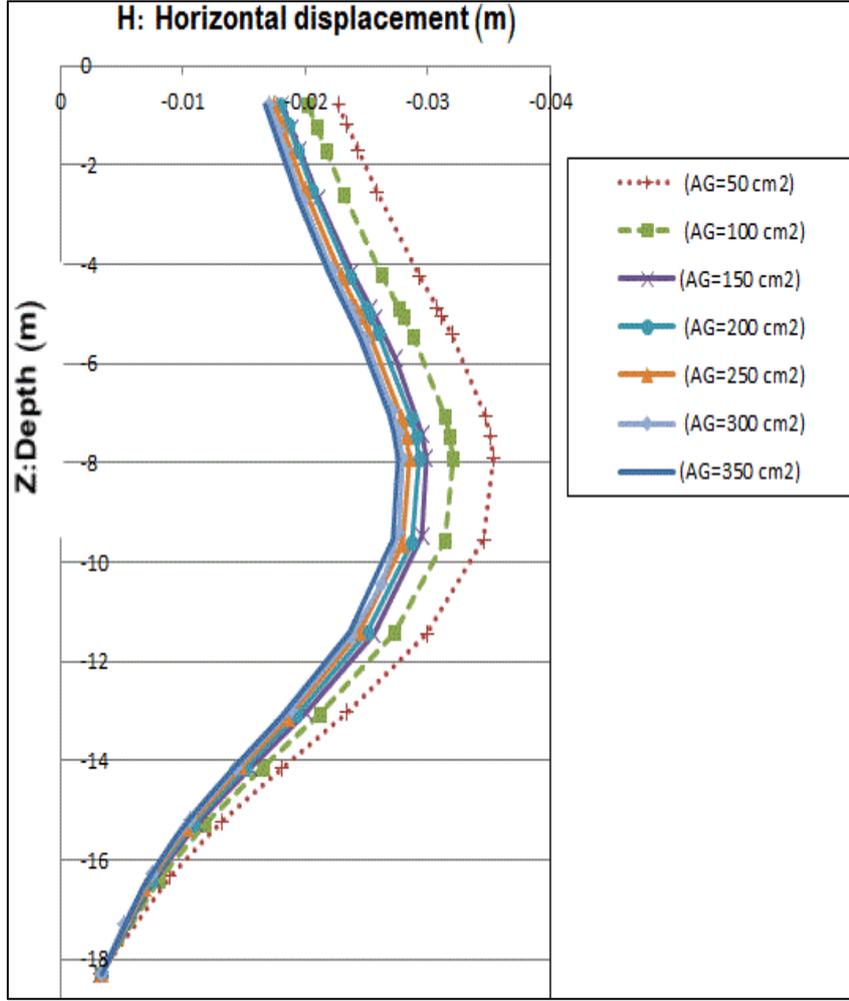
- يظهر الشكل [15] انخفاض قيمة الانتقال الأفقي للجدار كلما زاد (O) وتقترب ذروة المنحني من قمة الجدار وينخفض الانتقال ويصبح شكل المنحني متموج متشابه حتى الوصول لـ(O=25%H)، حيث عند هذا البعد يبقى شكل المنحني متموج وذروته في منتصف الجدار، مع انخفاض قيم الانتقال الأفقي، ثم يتغير شكل المنحني في الحالتين (O=0.3H, 0.35H) ويصبح انسيابي متشابه ذروته عند قمة الجدار، مع زيادة قليلة في الانتقال الأفقي. إن (H_{max}=4.79 cm) في حالة (O=30%H)، أما في حالة (O=35%H) يكون (H_{max}=5.44 cm)، كما أن (H_{max}=3cm) في حالة (O=0.25H) وهي قيمة منخفضة وضمن الحدود المسموحة. مما سبق تم اعتماد حالة (O=0.25H) كحالة مثالية، وهذا يتوافق مع (Naveen Kumar, Arindam Dey، 2014).

تأثير مواصفات الجسم المحقون:

تم تمثيل الجسم المحقون في نهاية الشداد كشريحة جيوجريد. اعتمدت الثوابت التالية:

$$(p=0.125H, D=60 \text{ cm}, L_{\text{geo}}=7\text{m}, m=0.15H, \alpha=15^\circ, O=0.25H, EG=2.14 \cdot 10^8 \text{ Kpa}, nA=2)$$

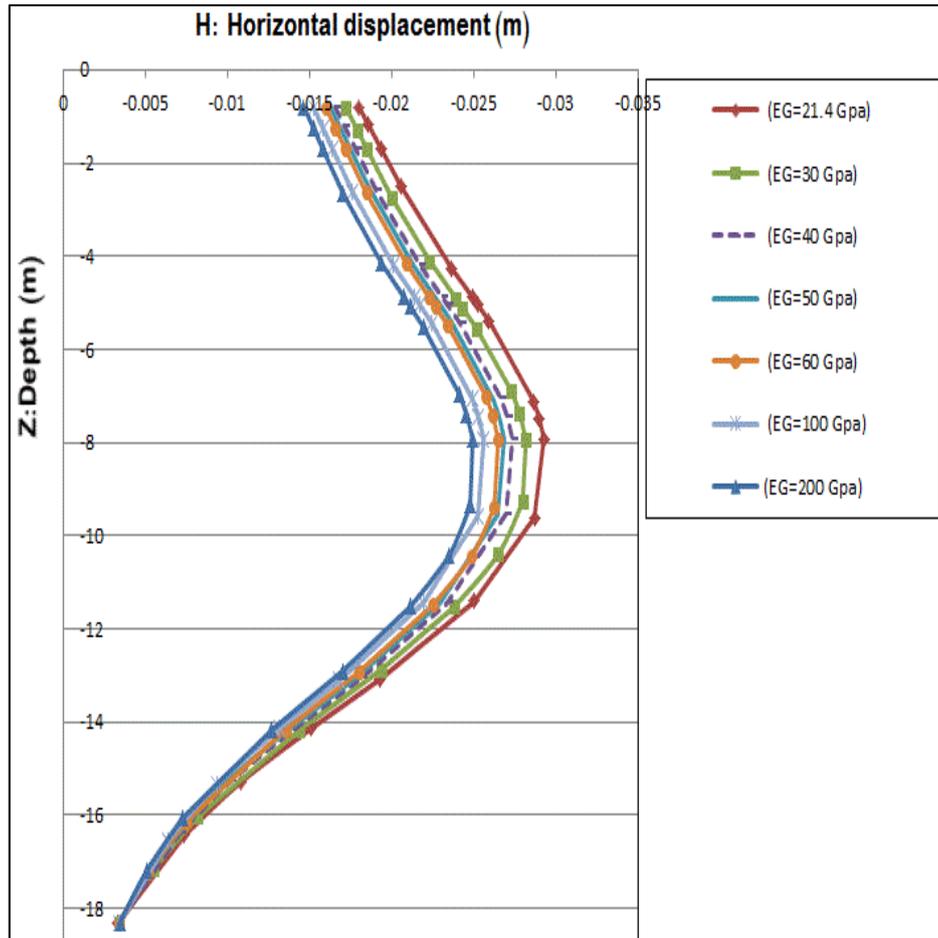
تأثير مساحة الجسم المحقون (AG): تم إعطاء قيم مختلفة لقطر الجسم المحقون مع دراسة عدة قيم لمساحة مقطع الجسم المحقون كالتالي: [AG=(50, 100, 150, 200, 250, 300, 350) cm²] كما في الشكل [16].



الشكل [16] - مقارنة منحنيات الانتقال الأفقي على كامل الجدار مع العمق عند قيم مختلفة لـ (AG).

- يظهر الشكل [16] تقارب جميع المنحنيات في الشكل المتموج وقيم الانتقالات الأفقية ليست متباعدة. ذروة المنحنيات في منتصف الجدار تقريباً. تتخفف الانتقالات الأفقية مع زيادة (AG). إن ($H_{max}=2.75$ cm) في حالة ($AG=350$ cm²)، و ($H_{max}=2.85$ cm) في حالة ($AG=250$ cm²). (DH=0.1 cm) بين الحالتين [$AG=(250-350)$ cm²] وتعادل (0.03%) وبالتالي الفرق بين القيمتين ضئيل جداً. مما سبق تم اعتماد المقطع ($AG=200$ cm²) وذلك لصالح الأمان و الناحية الاقتصادية بسبب كلفة زيادة مساحة الجسم المحقون. تأثير معامل مرونة الجسم المحقون (EG):

- اعتمد ($AG=200$ cm²)، وأعطيت قيم مختلفة لـ (EG) كالتالي:
 [EG=(2.14, 3, 4, 5, 6, 10, 20) 10⁷kpa]. كما في الشكل [17].

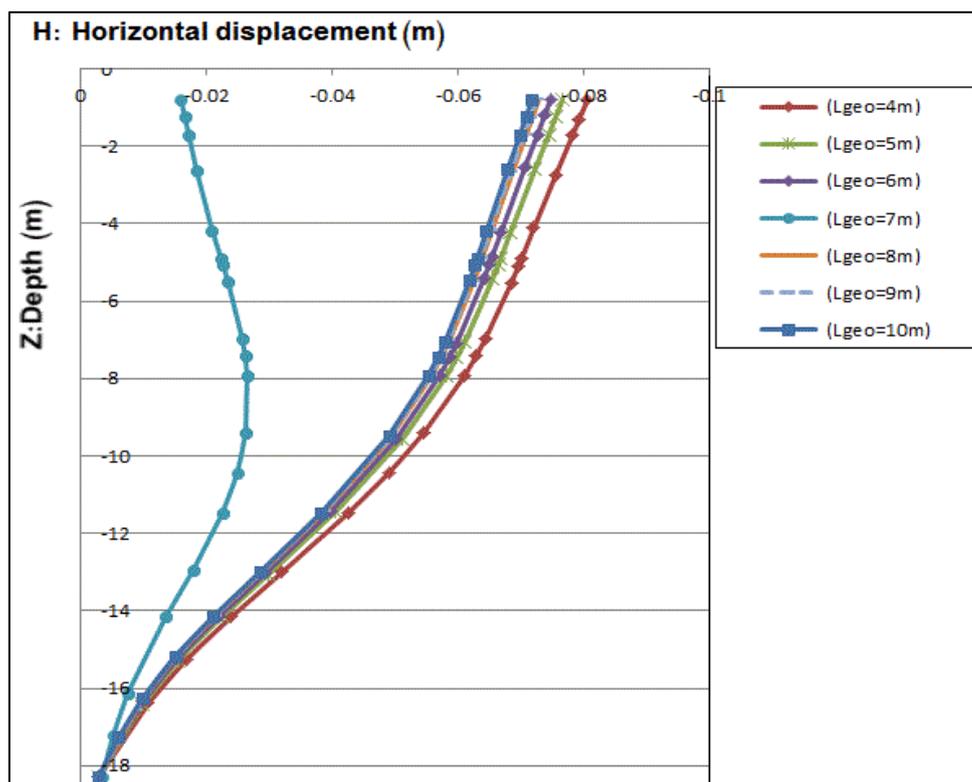


الشكل [17] - مقارنة منحنيات الانتقال الأفقي على كامل طول الجدار مع العمق عند قيم مختلفة لـ (EG).

- يبين الشكل [17] أن جميع المنحنيات متقاربة في الشكل و متموجة و قيم الانتقالات ليست متباعدة. ينخفض الانتقال الأفقي للجدار مع زيادة (EG). إن $(H_{max}=2.55 \text{ cm})$ في حالة $(EG=200 \text{ Gpa})$ ، وقيمة $(H_{max}=2.59 \text{ cm})$ في حالة $(EG=60 \text{ Gpa})$ ، وبالتالي $(DH=0.04 \text{ cm})$ ويعادل (1.55%) وهذا الفرق ضئيل جداً. مما سبق تم اعتماد $(EG=6 \times 10^8 \text{ Kpa})$ وذلك لصالح الأمان و الناحية الاقتصادية بسبب زيادة مواصفات الجسم المحقون.

تأثير طول القسم المقيد المحقون (L_{geo}) :

-اعتمد $(EG=60 \text{ Gpa})$ وتم تثبيت $(LA1=10.4 \text{ m}, LA2=9 \text{ m})$ واعتماد قيمة ثابتة لطول الجسم المحقون في جميع صفوف الشدادات مع دراسة تأثير تغيير هذه القيمة لطول الجسم المحقون كالتالي:
جميع صفوف الشدادات مع دراسة تأثير تغيير هذه القيمة لطول الجسم المحقون كالتالي:
[Lgeo=(4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)m] كما في الشكل [18].



الشكل [18]- مقارنة منحنيات الانتقال الأفقي مع العمق على كامل الجدار عند قيم مختلفة لـ (L_{geo}).

- في الشكل [18] ينخفض الانتقال الأفقي للجدار مع زيادة (L_{geo}) وتكون الذروة عند قمة الجدار باستثناء حالة ($L_{geo}=7\text{ m}$)، عندها يصبح شكل منحنى الانتقال متموج وذروته في منتصف الجدار تقريباً، بسبب انخفاض الضغط الجانبي الفعال أسفل الصف الثاني للشدادات قرب الجدار نتيجة لمقاومة الشداد لضغط التربة مما يدل على وصول الشداد لأقصى فعالية له عند هذا الطول للجسم المحقون،. ($H_{max}=2.65\text{ cm}$) في حالة ($L_{geo}=7\text{ m}$). نلاحظ أن النسبة المئوية لطول الجسم المحقون لأول صف شدادات ($L_{geo1}=59\% L_{Tot1}$) ولثاني صف شدادات ($L_{geo2}=55\% L_{Tot2}$). تم اعتماد الحالة التي تعطي أقل قيمة انتقال أفقي أعظمي للجدار الوتدي وهي حالة ($L_{geo}=7\text{ m}$) كحالة مثالية، وذلك لصالح الأمان و الناحية الاقتصادية بسبب كلفة زيادة طول الشدادات. في حين اعتبر الباحث [3] أن (L_{geo} is between 5 m and 6 m) في الرمل، وهذا الطول يعطي أقل خط انهيار محتمل للجدار.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. إن زاوية ميل صفوف الشدادات الأمثل ($\alpha=15^\circ$) لصالح الأمان وكونها تعطي حالة استقرار للجدار جيدة للجدار الوتدي. مع زيادة الزاوية (α) ينخفض الانتقال الأفقي.
2. إن خط الانزلاق يميل عن الأفق بزاوية ($45+\phi/2$) بدءاً من أسفل قدم الوتد الداخلي، ومن أجل تحديد طول الشداد تم اعتماد ($m=0.15H$).

3. تتخفص قيمة الانتقال الأفقي للجدار عند زيادة (L_{Ai})، وقد حدد في بحثنا الطول الحر لكل صف شداد كنسبة مئوية من الطول الكلي للشداد وهي: (L_{A1}=59%L_{tot1} , L_{A2}=55%L_{tot2}).
4. البعد الشاقولي الأمثل بين صفوف الشدادات (p=0.125H)، حيث ينخفض عنده الانتقال الأفقي للجدار.
5. إن البعد الأمثل لأول صف شدادات عن سطح الأرض الأفقي هو (O=25%H).
6. إن تمثيل الجسم المحقون الموجود في نهاية الشداد ونمذجة طبقة جيوريد يعطي تمثيل جيد ونتائج منطقية وقريبة من الواقع، وتم مناقشة تأثير تغيير بارامترات مواصفات الجسم المحقون فوجد ما يلي:
- المساحة المثالية للجسم المحقون (AG=200 cm²). يقل الانتقال الأفقي للجدار بزيادة (L_{geo})، والطول الأمثل للجسم المحقون (L_{geo}=7 m)، ويؤخذ عادةً كنسبة مئوية من الطول الكلي للشداد (L_{geo2}=45%L_{Tot2} , 1) ،
(L_{geo1}=41% L_{Tot}).

التوصيات و الأبحاث المستقبلية:

- 1- نظراً لتعقيد المسألة المدروسة واحتوائها على بارامترات عديدة جداً. يوصى بإجراء هذه الدراسة البارامترية لهذا النوع من الجدران والتدعيم باستخدام برامج عديدة للنمذجة ثلاثية الأبعاد، كونها تعطي تمثيل أدق ونتائج أدق، ومن أجل تدعيم النتائج لحالة النمذجة ثنائية البعد.
- 2- يوصى بإجراء دراسة بارامترية للمزيد من البارامترات مثل: (تخفيض منسوب المياه الجوفية، عمق الغرز للجدار، نوع التربة المحجوزة ومواصفاتها...) والتوسع في البارامترات المدروسة.
- 3- يوصى بإجراء دراسة بارامترية لاستقرار الجدران الوتدية مع الأخذ بعين الاعتبار التحليل الديناميكي للجدار.

المراجع:

1. Anno. F, E, "Application of Submerged Grouted Anchors in Sheet Pile Quality Walls", 2014, DICAM.
2. Bilgin. O and Erten. B, "Sheet pile walls are one of the oldest earth retention systems utilized in civil engineering projects", 2009.
3. Chavda. J, "Finite element modelling of extent of failure zone in c-θ soil at the cutting edge of open caisson ", 2015.
4. DSI Unit DYWIDAG-Systems International GmbH, BU Geotechnics, Germany.
5. Gaba, A. R., Simpson, B., Powrie, W. Beadman, D. R, "Embedded retaining walls guidance for economic design". CIRIA Report C580, London, 1988.
6. Hamza. M., Nossan. A and Gaba. (Eds.), "Design of anchored retaining structures by numerical modeling". 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2009.
7. Johan. F, M, "Optimization of Retaining Wall in Deep Excavation for Basement Work ". University Technology Malaysia, Faculty of Civil Engineering, (January, 2012).
8. Kumar N and Dey A, "Finite Element Analysis of Flexible Anchored Sheet Pile Walls: Effect of Mode of Construction and Dewatering", 2014. IGS Chapter, Geo-Innovations.
9. Littlejohn. G, S., Jack. B and Sliwinski. Z, "Anchored Diaphragm walls in sand", 1971. Issue of this journal, pp. (14-17 and 18-21).

10. Nossan. S, A, "Advances and uncertainties in design of anchored retaining walls by numerical modelling". University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering, 2008, Ka i ieva 26, HR-10 000 Zagreb, Croatia.
11. Plaxis, "Finite Element Code for Soil and Rock Analysis". 8.2 Professional versions, (1998).
12. Wen. C, H and Shih. T, H, " Numerical Modeling of Earth Structures: Frictional Anchors in Sand", 2012, Vol. 486, pp 214-220.