

Numerical Study of Excavation In Soil Clay Support by Piles with Anchors

Dr. Tawfeek Fayyad*

(Received 18 / 2 / 2020. Accepted 14 / 6 / 2020)

□ 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 influencing factors which include: (the angle of the inclination, the vertical spacing between the rows of Anchors and the distance of the first row of anchors from the ground surface). 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 - Excavation support- finite element method - Plaxis.

* Associate Professor- Faculty of Civil Engineering - Tishreen University- Lattakia- Syria.

دراسة عددية لتدعيم حفرية غضارية بصف من الأوتاد المدعمة بالشدادات

د. توفيق فياض*

(تاريخ الإيداع 18 / 2 / 2020. قُبل للنشر في 14 / 6 / 2020)

□ ملخّص □

تعتبر الجدران الوتدية المدعمة بالشدادات من أكثر طرق التدعيم الهندسية انتشاراً واستخداماً. سيتناول هذا البحث إجراء دراسة عددية لتدعيم حوض تأسيس الترب الغضارية 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 (زاوية ميل الشدادات، التباعد الشاقولي بين صفوف الشدادات، بعد أول صف للشدادات عن سطح الأرض). تم دراسة تأثير هذه العوامل على استقرار الجدار وإظهار مخططات الانتقالات خلف الجدار، وتبيان أفضل توضع للشدادات، 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 - تدعيم حفرية - بارامترات مواصفات الشداد - طريقة العناصر المنتهية - Plaxis.

* أستاذ مساعد- كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة:

نتيجة لزيادة الكثافة السكانية وانتشار التطور العمراني، زادت رغبة الإنسان للعيش في الأبنية المرتفعة، لذلك أصبح من الضروري أن يتم حفر التربة لأعماق كبيرة وتوفير مساحات كافية، مع العمل على تأمين استقرار الجدار و تدعيم جوانب الحفر لتجنب أي نتائج انهيار للجدار يتبعها أضرار اقتصادية وخسارة أرواح بشرية. وهذا مادفع للقيام بالعديد من الأبحاث حول تدعيم جوانب الحفريات وزيادة استقرارها بعدة طرق. من بين هذه الطرق: (الأوتاد البيتونية أو الفولاذية، الصفايح الوتدية، التربة المدعمة بالشدادات، جدران استنادية 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 الجدران الوتدية المدعمة بالشدادات في أحواض التأسيس الغضارية، من خلال وضع موديل عددي بطريقة العناصر المنتهية يسمح بـ:

- * الوصول لأفضل حل تدعيم مدروس بارامترياً وبدقة كافية.
 - * تسليط الضوء على أهم الاعتبارات التصميمية أثناء دراسة هذا النوع الخاص من الجدران الوتدية.
 - * إظهار مخططات انتقالات التربة خلف الجدار لتحديد أفضل توضع اقتصادي لصفوف الشدادات.
- 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 لا بد من إجراء مناقشة وتحليل مقارنة لعدد من الحالات والتوضعات للجدار الوتدي مع الشدادات ونمذجتها وإظهار النتائج مع اختيار أفضل الحلول وأقلها كلفة وزمن تنفيذ.

1. منهجية البحث:

يعتمد البحث على المنهج التحليلي المقارن ويشتمل على المراحل التالية:

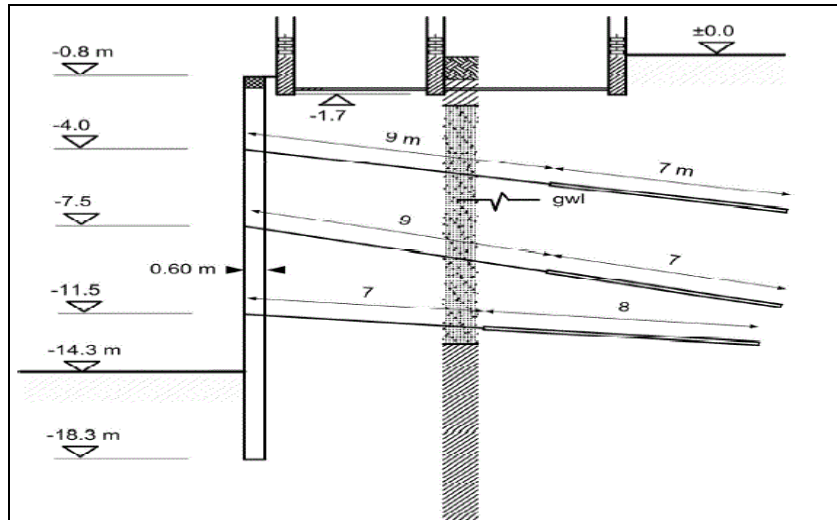
النمذجة بطريقة العناصر المنتهية:

- وضع موديل عددي لجدار وتدي حر مدروس سابقاً وبترية واقعية، مع تحديد الحمولات الخارجية المطبقة عليه وعمق حفرة التأسيس واعتماد تربة غضارية متطبقة.
 - استخدم في النمذجة برنامج (Plaxis/2D) للنمذجة العددية ثنائية البعد بطريقة العناصر المنتهية.
 - معايرة الموديل مع استخدام قانون مور كولومب 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.

- 2. الموديل العددي: 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.

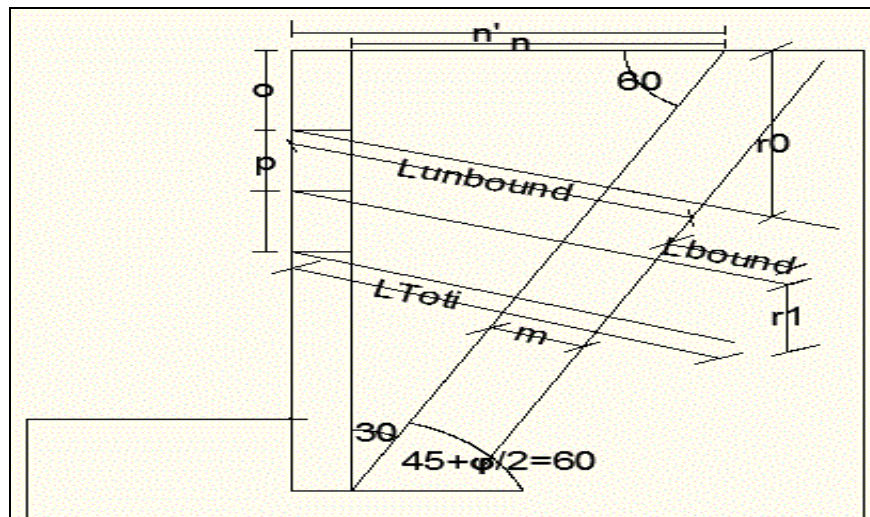
1.2. الموديل الحقلي:

اعتمد موديل جدار وتدي مدعم بثلاثة صفوف شدادات لأحد الدراسات المرجعية السابقة للباحث [1] (Anton SzavitsNossan, 2008) مع استخدام تربة عضارية. يظهر الجدار في الشكل [1].



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

1.2.1. 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 $[H * (12.5-25)\%]$ حسب فرضية [2] (Jitesh Chavda, 2015). n': البعد الأفقي بين وجه الوتد 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 الوتد

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. (m) مسافة عمودية فاصلة بين خط الانزلاق ومستقيم موازي له وتؤخذ كنسبة مئوية

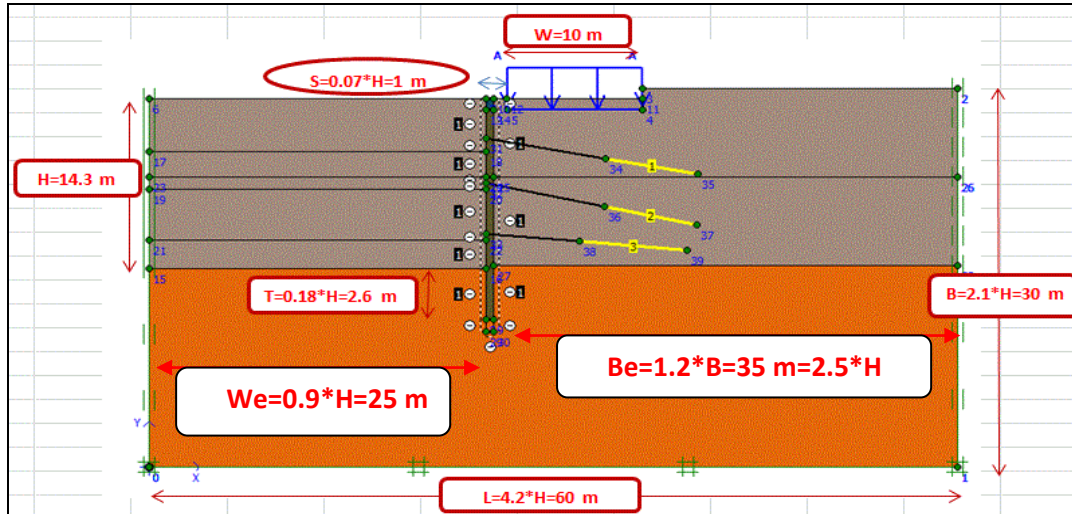
$(H \geq 1.5 \text{ m or } 0.15 \text{ m})$ إن $(r_1 = 6 * D \text{ or } 1 \text{ m})$ التباعد الشاقولي بين مراكز الجسم المحقون في كل صف شداد. D : قطر الوتد. $(r_0 \geq 5 \text{ m})$: البعد الشاقولي بين سطح الأرض الأفقي ومركز أول جسم محقون. nA : عدد صفوف الشدادات. MC : الموديلامرن - تاماللدونة (Mohr coulomb). H_{max} : الانتقال الأفقي الاعظمي في الجدار. H_{mmax} : الانتقال الأفقي الأعظمي 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 الوتدي المدعم بالشدادات ويعادل $(H_{all} = H/300 = 0.048 \text{ m} = 4.8 \text{ cm})$ حسب المواصفات الألمانية.

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

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

الرمز	القيمة	الوحدة
معامل مرونة الجدار الوتدي (E_{ref})	25	Gpa
معامل بواسون للجدار البيتوني ($\nu(ru)$)	0.3	-
معامل القص للجدار الوتدي (G_{ref})	9.615	Gpa
معامل المرونة (E_{oed})	33.65	Gpa
الوزن الحجمي للبيتون المسلح (γb)	25	Kpa
صلابة كل شداد في الصف الأول (EA_1)	117000	KN
صلابة كل شداد في الصف الثاني والثالث ($EA_{2,3}$)	146000	KN
صلابة الجيوغريد الممثل للجسم المحقون (EA)	30000	KN

1.2.3. 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 الحفرة. 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 للحفرة كحمولة موزعة بانتظام قيمتها (72 Kn/m^2) .



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

2.2. الموديل العددي المدروس:

2.2.1. الشروط الطرفية وأبعاد الموديل المدروس: استخدم تنفس الخواص والحدود الطرفية لموديل الباحث [1]. تظهر أبعاد وحدود الموديل والشروط الطرفية في الشكل [3].

2.2.2. مواصفات الجدار الوتدي المدروس: 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	الوحدة
موديل المادة	Linear Elastic (مرن خطي)	-
الوزن الحجمي للبيتون المسلح	25	kPa
معامل مرونة الجدار الوتدي (E_{ref})	25	GPa
ν معامل بواسون للجدار البيتوني	0.3	-

2.2.3. مواصفات الشدادات المدروسة: إن مواصفات الشدادات مع الجسم المحقون متماثلة في جميع الصفوف. تبين المواصفات في الجدول (3).

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

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

2.2.4. مواصفات التربة المقترحة: استخدمت تربة غضارية تمتد حتى نهاية عمق التأسيس يليها غضار قاسي بالاعتماد على الباحث [3] (Soheil Ghareh, 2015). تظهر خواص التربة في الجدول (4).

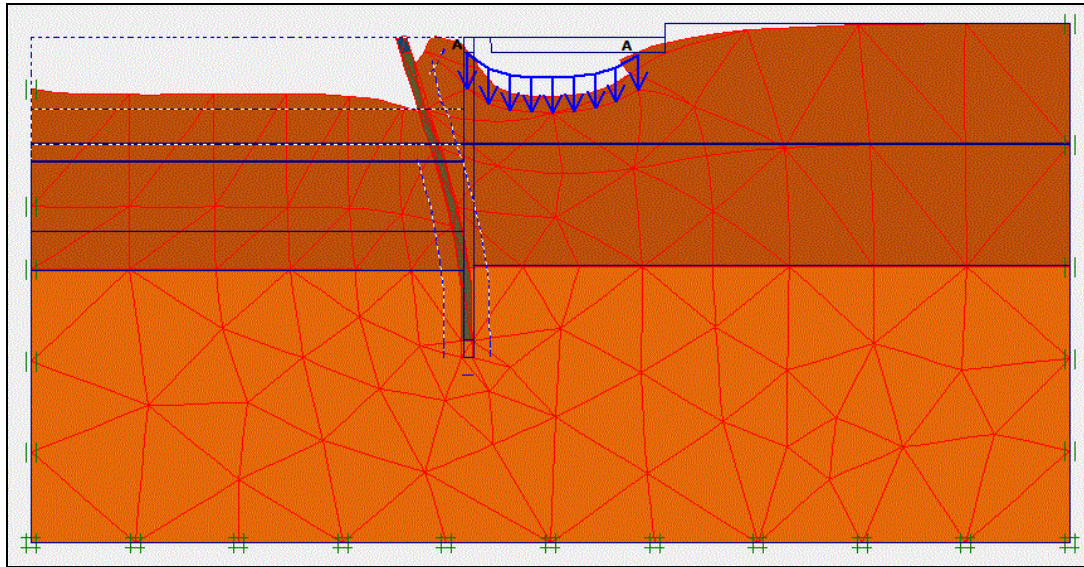
الجدول (4) - مواصفات تربة الموديل المدروس عددياً.

غضار قاسي	غضار مبخص	الواحدة	الرمز	البارامتر
MC	MC	-	موديل	موديل المادة
مصرف	مصرف	-	النوع	نوع المادة
21	18	Kn/m^3	γ_{unsat}	الكثافة غير المشبعة (فوق منسوب المياه)
21	19	Kn/m^3	γ_{sat}	الكثافة المشبعة
0.0001	1	m/day	K_x	النفاذية في الاتجاه الأفقي
0.0001	1	m/day	K_y	النفاذية في الاتجاه الشاقولي
300000	9000	Kpa	E_{ref}	معامل المرونة للتربة
25	20	kpa	C_{ref}	التماسك الفعال
30	29	0	θ	زاوية الاحتكاك الفعالة
0	0	0	ψ	زاوية التوسع الحجمي
0.2	0.25	-	V_{nu}	معامل بواسون المرن الفعال للمادة المدروسة
0.7	1	-	R_{inter}	معامل

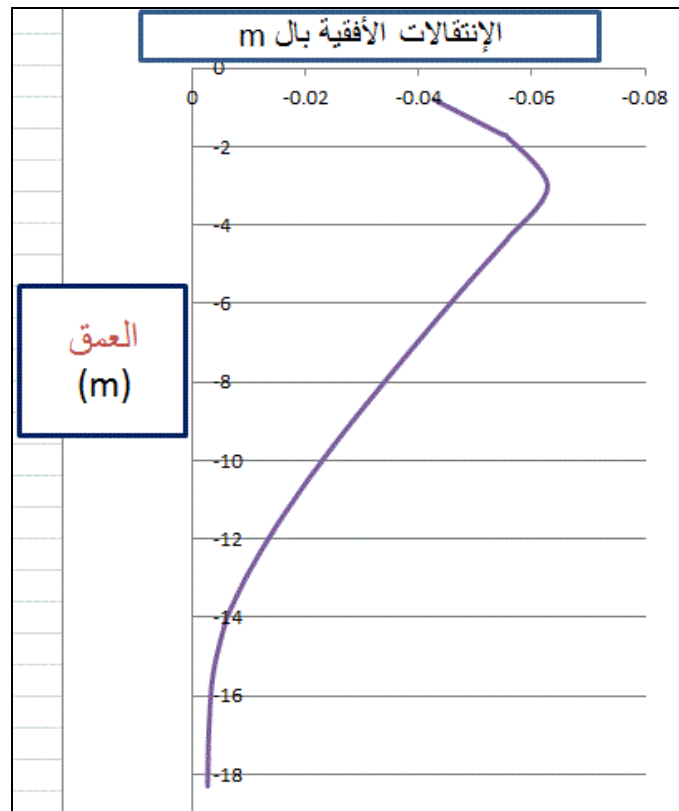
2.2.5. قانون سلوك المادة المستخدم: وجد الباحث [3] أن أفضل قانون ماله مستخدم في الترب الغضارية والذي يمثل تشوهات التربة بشكل دقيق ويحاكي الواقع، قانون (Mohr-columb) الذي تم اعتماده في النمذجة.

3. 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 ($H_{\text{max}}=6.27 \text{ cm} > H_{\text{all}}$) عند قمة الجدار وفق الشكلين (5) و (4)، 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:

($m=0.15H$, $O=0.25H$, $p=0.25H$, $D=60\text{cm}$, $L_{\text{geo}}=7m$, $\alpha=15^\circ$)



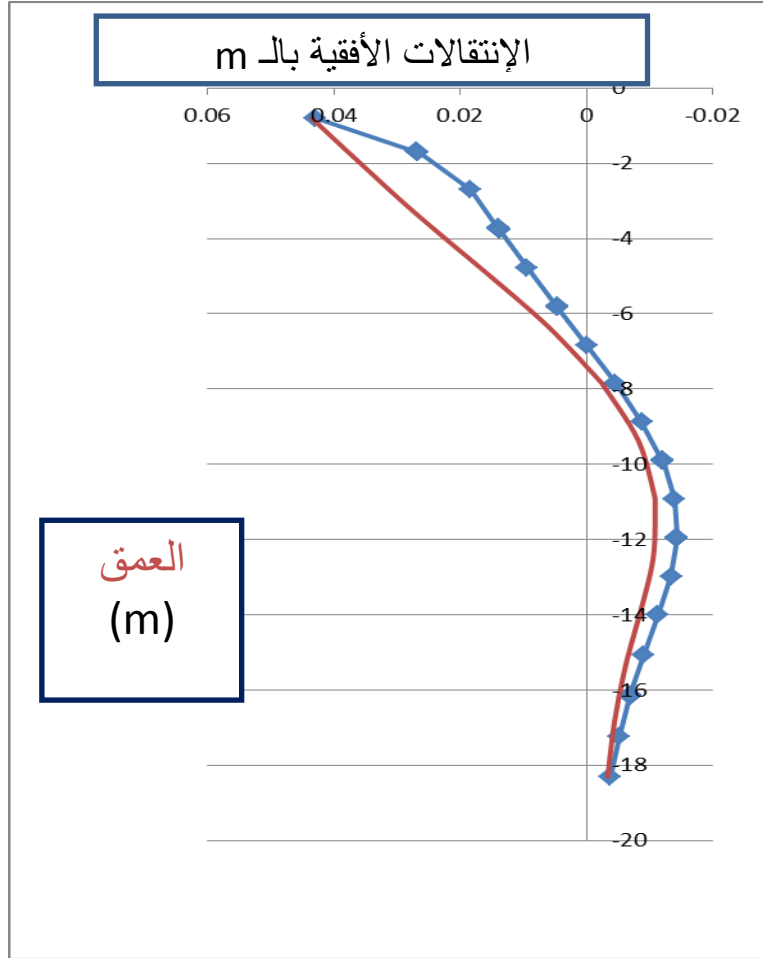
الشكل [4] -شكل تشوه الجدار الحر دون تدعيم بالشدادات.



الشكل [5] -الانتقال الأفقي مع العمق للجدار الحر دون تدعيم بالشدادات.

3.1. تأثير عدد صفوف الشدادات (nA):

- استخدمت زاوية الميل نفسها عن الأفق وهي ($\alpha=15^\circ$)، وتم التدعيم باستخدام صف شدادات وصفين شدادات ($nA=2$)، ($nA=1$).



الشكل [6] - مقارنة بين منحنيات قيم الانتقال الأفقي مع العمق

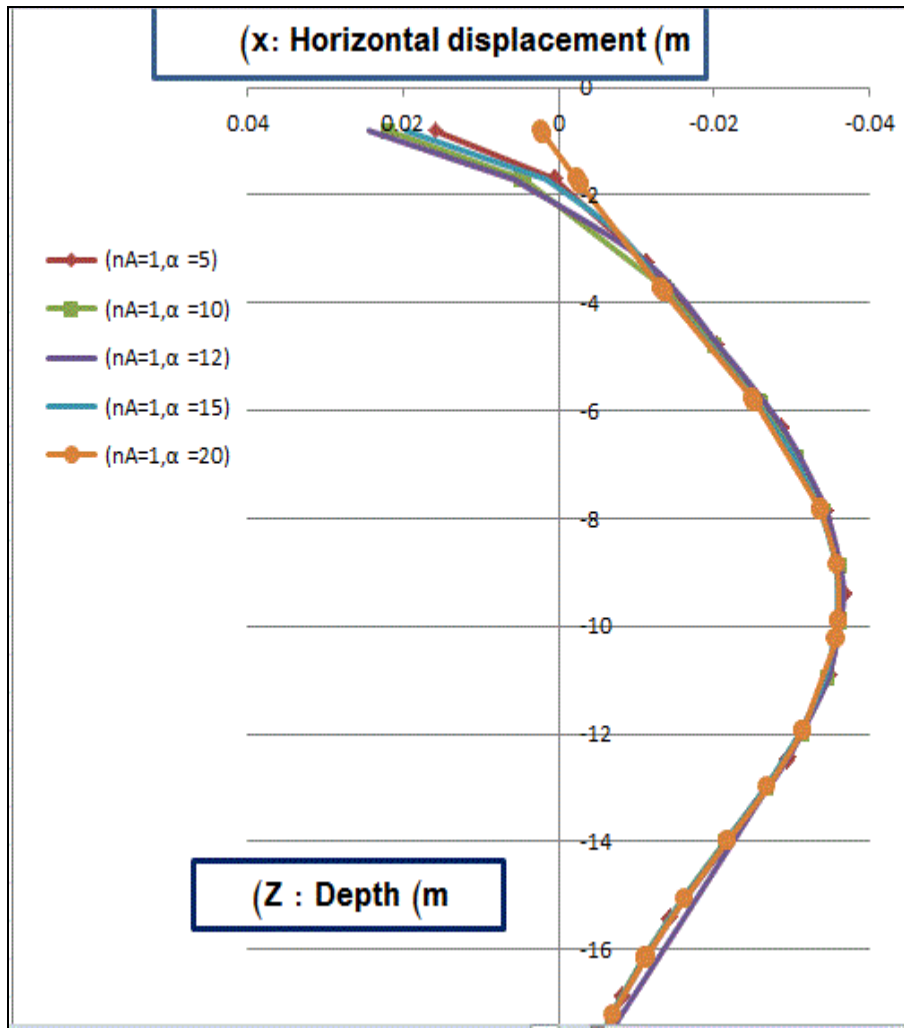
على كامل الجدار عند التدعيم بصف شدادات.

- يبين الشكل [6] تقارب شكل المنحنيين في الحالتين، كما يبين انخفاض الانتقال الأفقي بشكل كبير مما يسبب انسحاب الجدار باتجاه التربة بحيث يقاوم دفع التربة الجانبي ويتغير اتجاه حركة الجدار.

إن $(H_{\max} = 4.35 \text{ cm}) < H_{\text{all}}$ في حالة صف شدادات، كما أن $(H_{\max} = 4.3 \text{ cm}) < H_{\text{all}}$ في حالة صفي شدادات إن $(DH=0.05\text{cm})$ ويعادل 1.15% وهو فرق ضئيل لذلك سيتم اعتماد صف شدادات واحد. ذروة الانتقال عند قمة الجدار وشكل المنحني متموج. لذلك يكفي استخدام صف شدادات من أجل الناحية الاقتصادية لتوفير كلفة تنفيذ صفي شدادات لكون تأثير وجود صفيين لا يغير بشكل ملحوظ قيم الانتقالات. لذلك لا يوجد أهمية لدراسة وجود صف ثاني من الشدادات لأن فعاليته قليلة كون وجود صف شدادات يحقق استقرار كبير وكافي للجدار الوتدي. تم اعتماد حالة صف شدادات كحالة دراسية.

3.2. تأثير تغيير زاوية ميل صفوف الشدادات (α):

- تم اعتماد حالة $(nA=1)$. لاختيار 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].

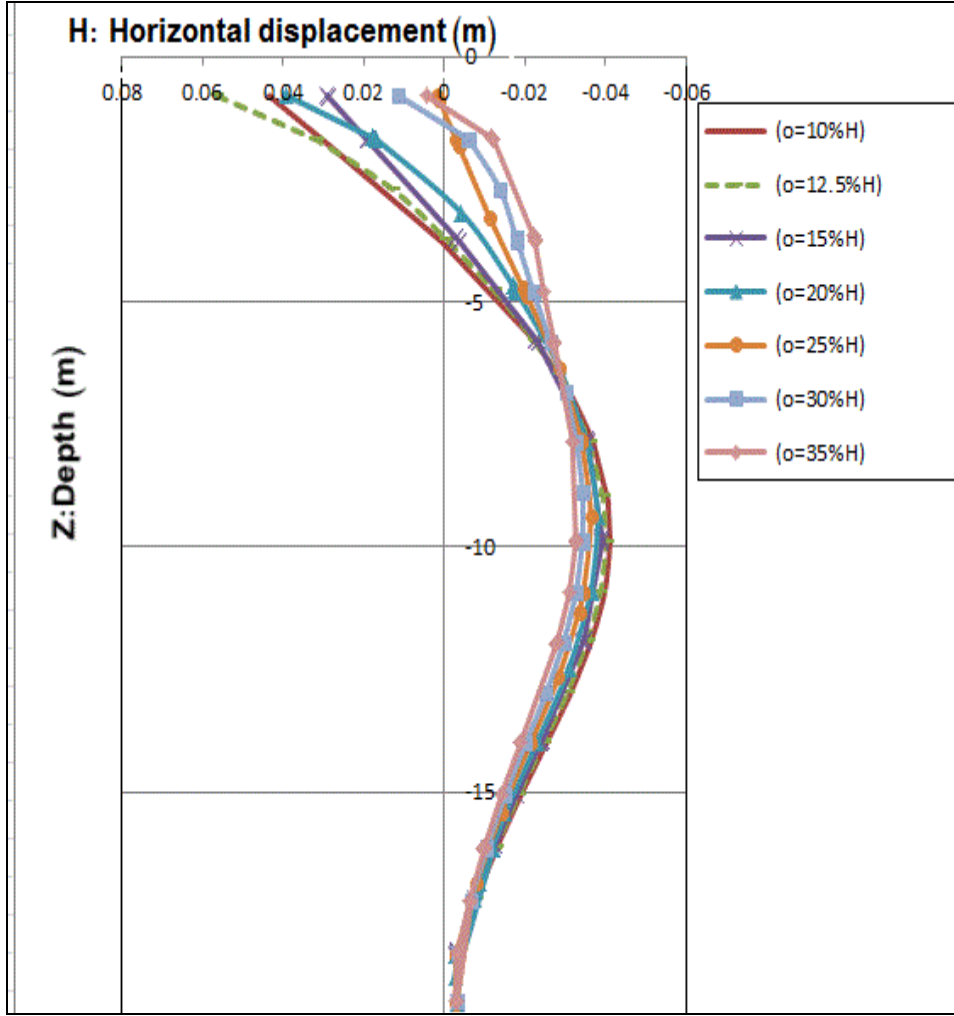


الشكل [7] - مقارنة بين منحنيات الانتقال الأفقي معالعمق في حالة صفي شدادات عند عدة قيم لزاوية الميل.

- يبين الشكل [7] انخفاض الانتقال بشكل طفيف مع زيادة (α) في التربة الغضارية المتماسكة بسبب انخفاض فعالية الشداد على الاحتكاك 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 ($H_{max}=3.582$ cm) في حالة ($\alpha=15^\circ$). إن ($H_{max}=3.6$ cm) في حالة ($\alpha=20^\circ$). بين الحالتين ($\alpha=15^\circ, 20^\circ$) وهو فرق ضئيل ويعادل (0.5%). تم اعتماد الزاوية ($\alpha=15^\circ$) كزاوية مثالية. (Sliwinski, 1971) اعتبر أن زاوية ميل الشداد المثالية في الغضار يجب أن تكون أقل من (20°). [3] (Esame finale anno, 2014) وجد أن أفضل زاوية للشداد تجعل الشداد يعمل بأعظم قوة شد أقل من (15°) وذلك في الترب الغضارية المبحصة عند احتكاك تربة وسطي (25°).

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

- اعتمدت الزاوية ($\alpha=15^\circ$). 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 [8].

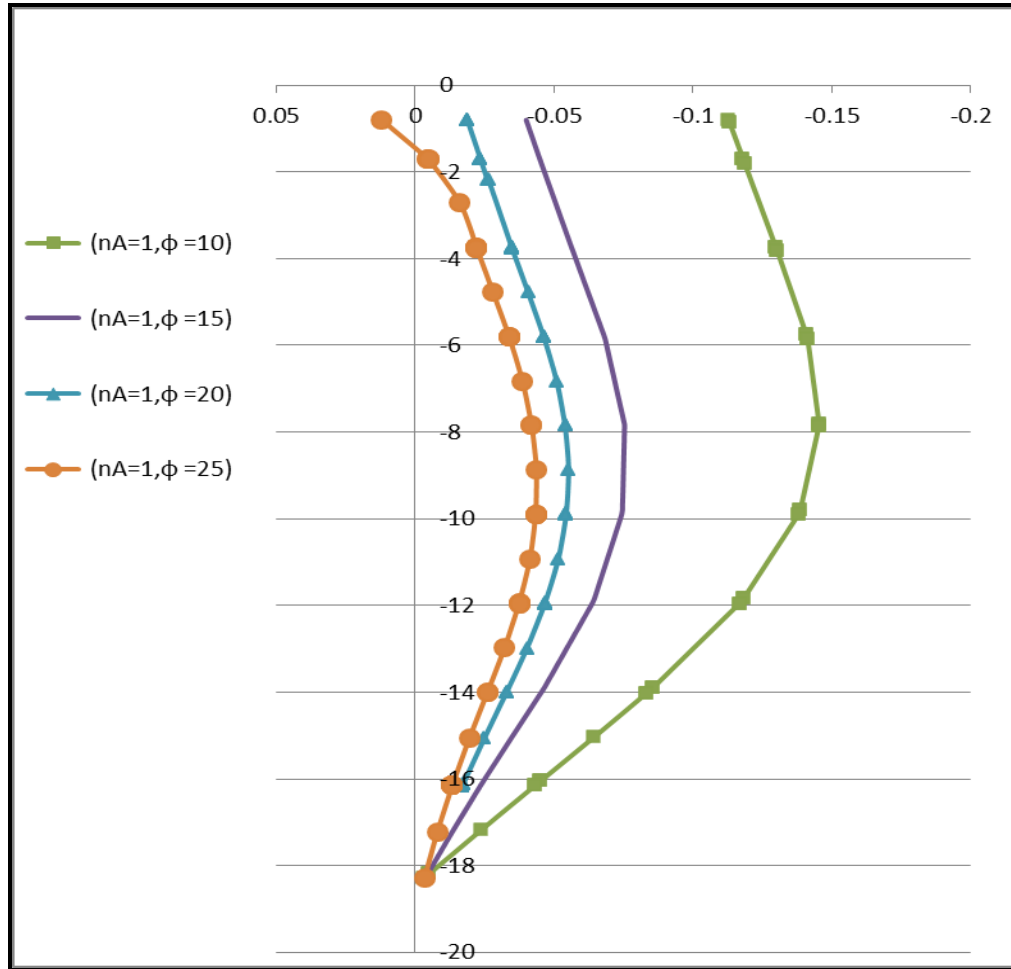


الشكل [8]- مقارنة منحنيات الانتقال الأفقي على كامل طول الجدار مع العمق عند عدة قيم لـ(O).

- يظهر الشكل [8] انخفاض قيمة الانتقال الأفقي للجدار كلما زاد (O). إن المنحني الممثل لحالة (O=25%H) يمثل منحنى متموج وذو قيم انتقال منخفضة وذروته في منتصف الجدار. في حالة (O=35%H) يكون ($H_{max}=3.25$ cm)، كما أن ($H_{max}=3.62$ cm) في حالة (O=0.25H) وجميع القيم منخفضة وضمن الحدود المسموحة. كما أن (DH=0.1 cm) ويعادل (10.2%) وهو فرق ضئيل. مما سبق تم اعتماد حالة (O=0.25H) كحالة مثالية من أجل سهولة التنفيذ، وهذا يتوافق مع (Naveen Kumar, Arindam Dey, 2014).

3.4 تأثير تغيير بارامتر زاوية احتكاك التربة المحجوزة خلف الجدار الوتدي (ϕ_{ps}):

- اعتمد بعد أول صف شدادات عن سطح الأرض (O=0.25H). لم يتم استخدام زاوية الاحتكاك ($\phi_{ps} = 5^\circ$) بسبب انهيار الجدار عند هذه القيمة. تم إعطاء عدة قيم لـ (ϕ_{ps}) كالتالي:
 ($\phi_{ps} = 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$). كما في الشكل [8].



الشكل [9]- مقارنة منحنيات الانتقال الأفقي على كامل طول الجدار مع العمق عند عدة قيم لـ (ϕ_{ps}) .

- يظهر الشكل [9] انخفاض قيمة الانتقال الأفقي للجدار كلما زاد (ϕ_{ps}) . وجميع القيم منخفضة وضمن الحدود المسموحة.

الاستنتاجات والتوصيات:

نتائج البحث (Research Results):

- 1- استخدام صف شدادات من أجل الناحية الاقتصادية لتوفير كلفة تنفيذ صفي شدادات لكون تأثير وجود صفيين لا يغير بشكل ملحوظ قيم الانتقالات.
- 2- 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.
- 3- إن البعد الأمثل لأول صف شدادات عن سطح الأرض الأفقي هو ($O=25\%H$).
- 4- انخفاض قيمة الانتقال الأفقي للجدار كلما زادت زاوية الاحتكاك .

التوصيات و الأبحاث المستقبلية (Recommendation):

- 1- نظراً لتعقيد المسألة المدروسة واحتوائها على بارامترات عديدة جداً. يوصى بإجراء هذه الدراسة البارامترية لهذا النوع من الجدران والتدعيم باستخدام برامج عددية 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.

References:

1. Anno. F,E, "*Application of Submerged Grouted Anchors in Sheet Pile Quality Walls*", 2014, DICAM.
2. Chavda. J, "*Finite element modelling of extent of failure zone in c- θ soil at the cutting edge of open caisson* ", 2015.
3. DSI Unit DYWIDAG-Systems International GmbH, BU Geotechnics, Germany.
4. 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.
5. Littlejohn. G, S., Jack. B and Sliwinski. Z, "Anchored Diaphragm walls in sand", 1971. Issue of this journal, pp. (14-17 and 18-21).
6. 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 eva 26, HR-10 000 Zagreb, Croatia.
7. Plaxis, "Finite Element Code for Soil and Rock Analysis". 8.2 Professional versions, (1998).
8. Wen. C, H and Shih. T, H, "*Numerical Modeling of Earth Structures: Frictional Anchors in Sand*", 2012, Vol. 486, pp 214-220.
9. Briaud. L. J & Lim. Y, " *Soil-Nailed Wall under Piled Bridge Abutment: Simulation and Guidelines* ". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, (November, 1997), volume 123. Issue 11.