

## Numerical Analysis for Pile Group Subjected to Laterally Load near a Slope

Dr . Safwan Abdullah<sup>\*</sup>  
Dr. Rami Ousta<sup>\*\*</sup>  
Noor Abdul aal<sup>\*\*\*</sup>

(Received 10 / 6 / 2019. Accepted 9 / 9 / 2019)

### □ ABSTRACT □

In this paper, a three dimension finite differences numerical analysis was carried out to study the behavior of laterally loaded group of piles located near a slope by using the FD analysis software Flac 3D . This search allowed to indicate the effect of the slope on the deflections and internal forces distribution (shear forces-bending moment) between the front row & the back ones in laterally loaded pile group embedded in in cohesionless soil represented by elastic-plastic Mohr Coulomb model , within two pile group configurations (2x2) & (3x3) and study The most important factors affecting (distance from the edge, inclination of the slope , "L / D"ratio (length / diameter of the pile)) , and determine the distance that it can neglect the effect of the slope on the group of piles , finally we compared the slope's result with those horizontal ground's one. The effect of the slope on the pile group disappears as we move away from the edge until the distance  $Y = 8D, 10D, 15D$  at  $1V: 3H, 1V: 2H, 1V: 1.5H$  respectively where D is the diameter of the pile , this distance decreases as inclination of the slope getting smaller , The displacement values in the piles also decrease as the L / D ratio increases. The results showed that the back row will carry the large amount of the load compared to the front row, this is due to absence of passive resistance in front of the piles. In (2x2) group The reduction in the front row is ranging between (7.1% and 0.013%) as the distance from the edge changing  $Y = (1D-10D)$  respectively in slope  $1V: 2H$  . The obtained results were compared with previous research results and we found that they are in a good agreement with them.

**Keywords :** group of piles , slope , lateral load, finite differences method , Flac 3D

<sup>\*</sup> Assistant Professor, Faculty of civil Engineering , Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>\*\*</sup> Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>\*\*\*</sup> Postgraduate Student (Master), Faculty of civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## التحليل العددي لمجموعة أوتاد محملة جانبياً بالقرب من منحدر

د. صفوان عبدالله\*

د. رامي اسطة\*\*

نور عبدالعال\*\*\*

(تاريخ الإيداع 10 / 6 / 2019. قُبِلَ للنشر في 9 / 9 / 2019)

### □ ملخص □

نقدم في هذا البحث دراسة عددية ثلاثية الأبعاد بطريقة الفروقات المحدودة لسلوك مجموعة أوتاد محملة جانبياً بالقرب من منحدر باستخدام برنامج Flac 3D وفق برنامج FDM وطريقة الفروقات المحددة. تم في هذا البحث دراسة تأثير المنحدر على الإزاحات وتوزيع القوى الداخلية (قوى القص-عزم الانعطاف) بين صفوف الأوتاد المعرضة لحمولة جانبية في تربة رمليّة مفككة واعتماد قانون سلوك المادة مور كولومب MC ضمن مجموعتي أوتاد (2x2) و (3x3) من خلال إجراء دراسة بارامترية لأهم العوامل المؤثرة (بعد المجموعة عن حافة المنحدر، ميلان المنحدر، نسبة النحافة "L/D" (طول الوتد / قطر الوتد))، وتحديد المسافة التي ينتفي فيها تأثير المنحدر على الأوتاد ومن ثم مقارنة النتائج مع حالة أرض أفقية. تبين أن تأثير المنحدر على مجموعة الأوتاد ينتفي كلما ابتعدنا عن حافة المنحدر حتى المسافة  $Y = 8D, 10D, 15D$  في منحدر  $1V:3H, 1V:2H, 1V:1.5H$  على التوالي (D قطر الوتد) حيث تتناقص هذه المسافة مع تناقص ميلان المنحدر، كذلك تتناقص قيم الانتقال في الأوتاد كلما زادت نسبة النحافة L/D. أظهرت النتائج أن الصف الخلفي سيحمل الجزء الأكبر من الحمولة بالمقارنة مع الصف الأمامي نتيجة نقص كتلة التربة الساندة أمام الأوتاد، وتتراوح قيمة التخفيض في أوتاد الصف الأمامي في مجموعة (2x2) بين (0.013%-7.1%) عند الابتعاد عن حافة المنحدر  $1V:2H$  مسافة  $Y = (10D-1D)$  على التوالي. تمت مقارنة النتائج التي حصلنا عليها مع نتائج الأبحاث المنشورة سابقاً وكانت على توافق جيد معها.

الكلمات المفتاحية : مجموعة أوتاد ، منحدر ، قوة جانبية ، طريقة العناصر المحدودة ، Flac 3D

\*مدرس - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\*مدرس - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

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

**مقدمة:**

تطور التأسيس على الأوتاد تطوراً كبيراً بسبب تطور البرمجيات وتطور طرق التنفيذ وهذا جعله أكثر أنواع الأساسات العميقة انتشاراً حيث يهدف هذا النوع من التأسيس لنقل حمولة المنشأ الى طبقة التأسيس التي تتوضع على عمق كبير تحت التربة الضعيفة . تستخدم الأوتاد عادة لتدعيم وتأسيس منشآت متنوعة مثل الأبنية العالية ، أبراج الاذاعة والارسال ، الجدران الاستنادية ، المنشآت البحرية ، ركائز الجسور و تثبيت المنحدرات. تتعرض هذه المنشآت بالإضافة للحمولات الشاقولية لقوى جانبية كبيرة وعندما تبنى هذه المنشآت على أساسات عميقة فإن هذه الأساسات يجب أن تصمم على الاحمال الجانبية بالإضافة للحمولات الشاقولية.

وبحسب الدراسات فإن المعيار الميسطر في تصميم أساسات الأوتاد لمقاومة الأحمال الجانبية في معظم الحالات هو الانتقال الأعظمي وعزم الانعطاف الأعظمي بدلاً من قدرة تحملها الحدية .

**أهمية البحث وأهدافه:**

عادة تستخدم مجموعة الأوتاد قرب المنحدر لدعم المنشآت الشاهقة كأبراج البث والأبنية العالية والمنشآت الجسرية المعرضة كثيراً للحمولات الجانبية والتي يكون لها حصة كبيرة من حمولات التصميم وبدورها تسبب زيادة الانتقالات وعزوم الانعطاف المتولدة في الأوتاد. يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير المنحدر على الانتقال و توزع القوى الداخلية في الأوتاد ومن ثم مقارنتها مع الحالة المستوية دون وجود المنحدر من خلال نمذجة عددية ثلاثية الأبعاد بطريقة الفروقات المحددة **FDM** لمجموعة أوتاد محملة جانبياً ومتوضعة قرب منحدر مع الأخذ بعين الاعتبار التأثير المتبادل وتد - تربة، كما سيتم إجراء دراسة بارامترية تشمل مجموعتين من العوامل : الخواص الهندسية للمنحدر وخواص الأوتاد ومن ثم مقارنة النتائج مع حالة أرض مستوية.

تأتي أهمية هذا البحث من خلال المساهمة في إغناء البحث العلمي وفهم سلوك مجموعة أوتاد محملة جانبياً ومتوضعة بالقرب من منحدر، و توضيح تأثير أهم العوامل المؤثرة على سلوك هذه الأوتاد وأخذها بعين الاعتبار في أثناء تصميم أساسات المنشآت التي تبنى قرب المنحدرات أو الحفريات العميقة.

**طرائق البحث ومواده :**

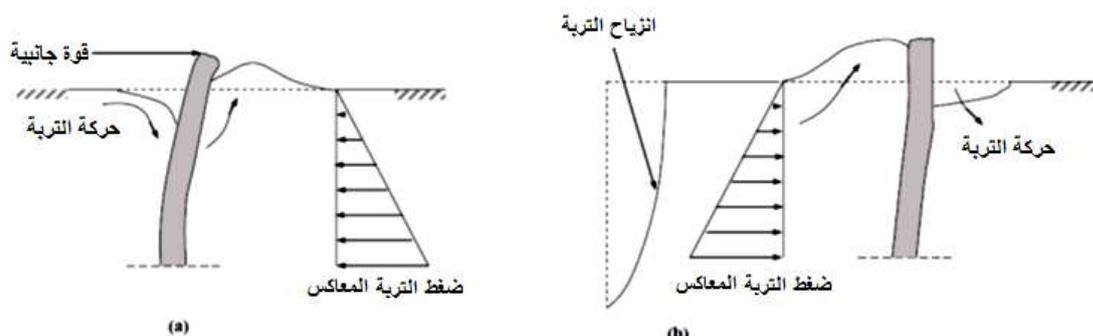
يعتمد البحث على المنهج التحليلي المقارن ، ويتضمن البحث معايرة النموذج العددي ببرنامج **FLAC 3D** مع نتائج الدراسة المرجعية ، ثم بناء نموذج رياضي وإجراء تحليل عددي لسلوك الأوتاد المحملة جانبياً قرب المنحدر والمستخدمه كأساسات للمنشآت، بالإضافة إلى إجراء دراسة بارامترية متضمنة ما يلي:

- تأثير بعد المجموعة عن رأس المنحدر "Y"
- تأثير ميل المنحدر "X/H"
- تأثير تباعد محاور الأوتاد عن بعضها "S"
- دراسة تأثير نسبة النحافة "L/D" (طول الوتد / قطر الوتد )

وسيتم خلال هذا البحث إبراز أثر المنحدر عن طريق مقارنة نتائج البحث مع النتائج الخاصة بحالة الأرض المستوية دون منحدر .

## • الدراسات المرجعية :

إن الأبحاث التي تناولت موضوع الأوتاد درست العديد من الحالات بدءاً من الاهتمام بسلوك الوتد المفرد الى سلوك مجموعة الأوتاد، دراسة حالة التحميل الشاقولي و الجانبي ومن ثم دراسة حالة الأرض (مستوية ، وجود منحدر) بالإضافة الى هناك اختلاف في آليات الانهيار المحتملة بين الأوتاد المحملة بفعالية *actively* (حيث القوى الخارجية تطبق في رأس الوتد) والأوتاد المحملة بشكل عكسي *passively* عبر حركة التربة الكلية مثل أوتاد تثبيت المنحدرات (Broms,1964) الشكل (1)



رسم توضيحي تخطيطي للأوتاد المحملة جانبيًا  
(a) تحميل فعال  
(b) تحميل معاكس (Cubrinovski et al. ، 2006)

## الشكل (1)

و يمكن تقسيم الأبحاث التي تناولت موضوع الأوتاد المحملة جانبياً لثلاث فئات: الدراسات التحليلية وتعتمد العلاقات الحسابية ومن أهمها (winkler,1867) حيث قام بنمذجة سلوك جأز على قاعدة مرنة بتمثيل التربة كمجموعة نوابض مرنة خطية مستقلة، الدراسات التجريبية سواء كانت مخبرية أو حقلية ويمكن اعتبار بحث (Matlock and Reese,1960) أول المحاولات لفهم سلوك الوتد المحمل جانبياً حيث وضعوا مخططات لابعدية للوتد المحمل جانبياً لكل من السلوك الصلب والمرن باستخدام طريقة الفروقات المحدودة بحيث يمكن حساب الانتقال وعزم الانعطاف في الوتد بإدخال المنحني المناسب، الدراسات العددية والتي يتم فيها إجراء نمذجة عددية للمسألة موضوع الدراسة باستخدام برنامج من برامج الحساب العددي.

تناولت الدراسات تأثير العديد من البارامترات على سلوك الأوتاد المحملة جانبياً، ومنها تأثير بعد المجموعة عن رأس المنحدر، فقد وجد (Sawant and Shukla,2012) أن الابتعاد عن حافة منحدر ذو تربة غضارية مسافة 5D تخفض انتقال رأس الوتد بمقدار 21% وعزم الانعطاف 14% ، وبحسب (Muthukkumaran,2014) فإن تأثير المنحدر في قدرة التحمل الجانبية يكاد لا يذكر في حالة توضع الوتد بمسافة 15D عن حافة المنحدر في تربة غير متماسكة . ركزت أيضاً الدراسات على أهمية تأثير ميل المنحدر ، في دراسة (Sawant and Shukla,2012) سبب تغير ميلان المنحدر 1V:2H من الى 1V:1H زيادة في انتقال رأس الوتد 14% و زيادة عزم الانعطاف بحوالي 7% ، وبحسب (Begum and Muthukkumaran,2008) عندما تغير ميلان الأرض من حالة أرض مستوية الى منحدر 1V:2H ازداد عزم الانعطاف الأعظمي 32% كما سبب هذا التغير زيادة في عمق نقطة العزم الأعظمي المتشكلة في الوتد. دراسة تأثير نسبة النحافة (طول الوتد/قطر الوتد) أظهرت بحسب (Begum and

(Muthukkumaran,2008) أن زيادة نسبة النحافة تخفض من قيم العزم الأعظمي ويبدو هذا التخفيض أكبر في حالة الأرض المستوية من التخفيض في حالة أرض منحدر ، أما (Muthukkumaran and Krishnan,2012) فقد درسوا تأثير نسبة النحافة على عمق نقطة العزم الاعظمي المتشكل في الوتد ،حيث يقل عمق نقطة العزم الأعظمي عن سطح الأرض كلما زادت نسبة النحافة. يختلف سلوك الوتد المفرد عن سلوك مجموعة أوتاد لأن الإجهادات المنقولة الى التربة ستتركب مع بعضها البعض في حال كان التباعد بين الأوتاد صغيراً وهنا يبرز مفهوم الفعالية

$$1 \ll \frac{\text{تحميل الوتد ضمن المجموعة}}{\text{تحميل الوتد بمفرده}} = \text{الفعالية}$$

ظهر مفهوم "shadwing" (فقدان فعالية الأوتاد في المجموعة)

في بحث تجريبي (Brown, Morriss , and Reese,1988)

وتبين أن الأوتاد في الصف الأول تحمل حصة كبيرة من حمولة

المجموعة. وأكدت هذه الاستنتاجات نتائج البحث التجريبي الذي

أجراه (Rollins, Peterson, and Weaver,1998) على مجموعة أوتاد (3 × 3) ذات تباعد S=3D بأن

الصف الخلفي يحمل أحمال أقل من الصف الأمامي ، وأن أوتاد الصف الأوسط تحمل أقل الأحمال. وجد أيضا أن

عزم الانعطاف الاعظمي في مجموعة الأوتاد كان أعلى (50-100)٪ من الوتد المفرد ، وهذا ما بينه (Chae,

Ugai, and Wakai,2004) حيث أظهرت النتائج أن فعالية مجموعة الأوتاد تتخضع كلما اقتربت المجموعة من

حافة المنحدر وتترافق مع زيادة الانتقال و تزداد مع زيادة التباعد بين محاور الأوتاد في كل من حالتي الأرض الأفقية

و قرب المنحدر. وبين (Ilyas et al.,2004) أن الفعالية تقل بشكل ملحوظ مع زيادة عدد الأوتاد في مجموعة بسبب

تداخل مناطق القص. نحاول في هذا البحث التوسع في البارامترات التي تناولتها الأبحاث السابقة كتغير الميلان ونسبة

النحافة، بالإضافة الى تسليط الضوء على بارمتر مهم وهو دراسة تغير التباعد عن حافة المنحدر وصولاً للمسافة

الآمنة التي يخفي فيها تأثير المنحدر على مجموعة الأوتاد.

## النتائج والمناقشة:

### التحليل العددي ( Numerical Analysis )

تم استخدام برنامج 3D, V3.00-261 FLAC وهو برنامج

تحليل ثلاثي الأبعاد يعتمد طريقة الفروقات المحددة ويتميز

بقدرته على محاكاة سلوك المنشآت ثلاثية الأبعاد المقامة على

مختلف أنواع الترب والصخور ويستطيع تمثيل استجابة المواد

في مجال التشوهات الصغيرة بالإضافة للتشوهات الكبيرة ،

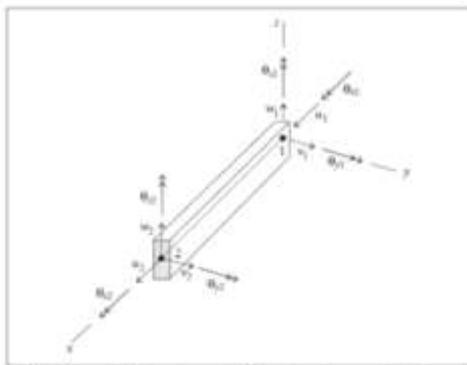
بالإضافة الى إمكانية استخدام عدد كبير من قوانين سلوك المادة

لنمذجة العلاقة إجهاد-تشوه في التربة .

تمت نمذجة الأوتاد في البرنامج باستخدام عناصر إنشائية

Structural Elements نوع pile الشكل (3) ، وهو

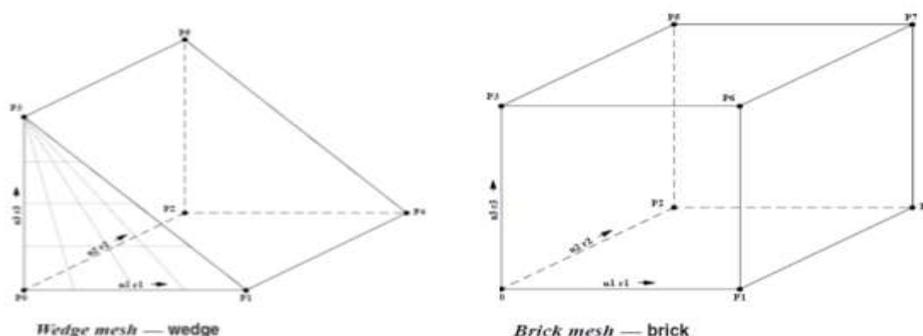
عنصر خطي ذو عقدتين بست درجات حرية لكل منها ويعد مناسباً



PileSEL coordinate system and 12 active degrees-of-freedom of the beam finite element used by each pileSEL

الشكل (3) Structural Elements نوع pile

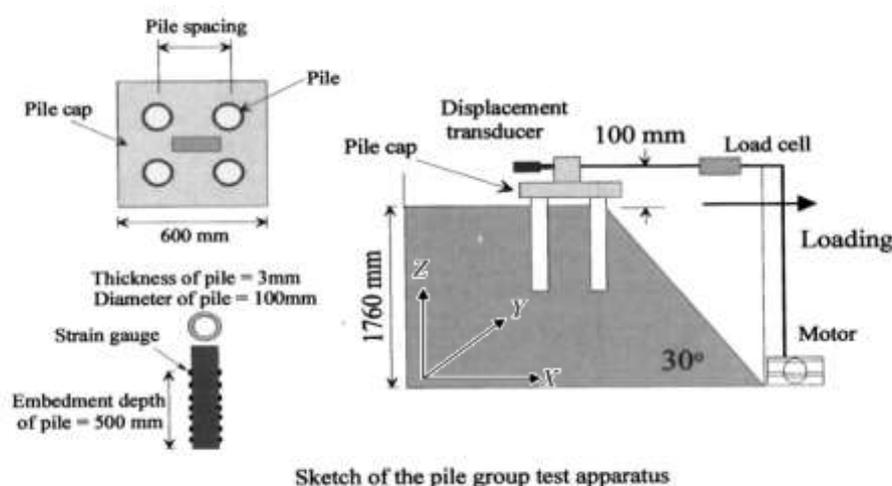
لتمثيل سلوك الأساسات والجدران الوتدية التي تدخل في تأثير متبادل مع التربة المجاورة سواء بالاتجاه الناظمي أو المماسي. وبالنسبة للتربة فهي عناصر حجمية موشورية الشكل بثماني عقد و أخرى بست عقد مع مراعاة شروط التطابق بين العناصر، يتم تمثيل السطح البيئي الذي يفصل بين التربة والأوتاد بنواضخ ناظمية ومماسية تمثل قيم الصلابة، التماسك و الاحتكاك .



الشكل (4) العناصر الحجمية المستخدمة لتمثيل التربة

1. المعايير :

تمت نمذجة الموديل المخبري المستخدم في الدراسة المرجعية (Lateral Resistance of Short Single Piles – and Pile Groups Located Near Slopes) بطريقة ( FEM ) باستخدام برنامج FLAC 3D واعتماد قانون سلوك المادة هو مور كولومب المرن-تام اللدونة MC . بالنسبة للشروط الطرفية فقد قمنا بتقييد الحركة على جوانب الموديل بالاتجاهات ( X , Y ) ، وقاعدة الموديل بالاتجاه (Z) ممنوعة من الحركة بكافة الاتجاهات، بالاعتماد على الدراسة ثلاثية الأبعاد التي أجراها الباحثون (Chae, Ugai, and Wakai,2004) والتي تضمنت نتائج مخبرية وعددية لنموذج مجموعة أوتاد دائرية أنبوبية قصيرة من الألمنيوم محملة جانبياً في حالتين تقع الأولى قرب منحدر بزواوية 30° والأخرى في أرض أفقية وباستخدام تربة رملية متجانسة ذات رمل متراس بكثافة نسبية  $Dr = 90\%$  . تمت مناقشة تغير التباعد بين محاور الأوتاد  $S=2D - 4D$  وكيفية تأثيره على معامل الفعالية والانتقال بالإضافة الى حالة كون رأس الأوتاد مقيد أو حر الحركة .

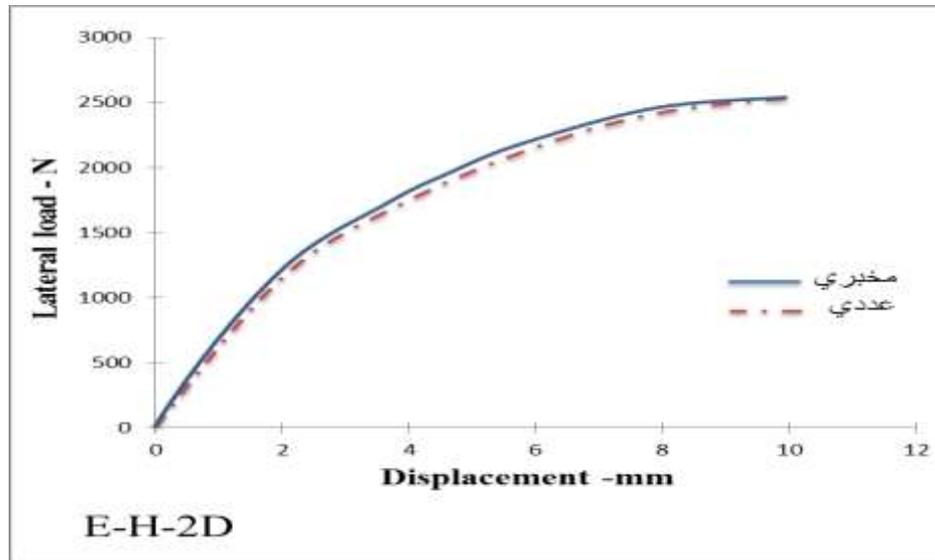


الشكل (5) شكل وأبعاد النموذج في الدراسة المرجعية

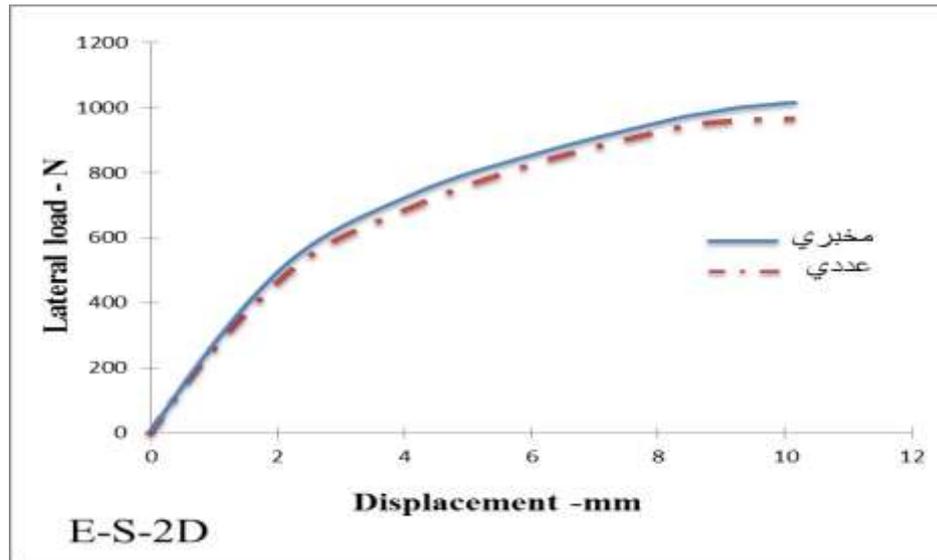
الجدول (1) خواص التربة والأوتاد في الدراسة المرجعية

Model	Pile, Pile cap	Sand
Young's modulus E(kPa)	6.86E+07	48E+03
Poisson's ratio $\nu$	0.345	0.3
Unit weight $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	26.4	15.68
Friction angle $\Theta$ (degree)	---	47.5
Dilatancy angle $\Theta$ (degree)	---	17.5
Pile length (mm)	500	
Pile outside diameter (mm)	100	

قمنا بالتحقيق على منحنيات الدراسة المرجعية ( انتقال - قوة الجانبية ) وهي (E-H-2D) النتائج المخبرية في أرض مستوية وبتباعد  $S=2D$  (6-a) & النتائج المخبرية قرب منحدر وبتباعد  $S=2D$  الشكل (6-b) . إن نتائج التحميل العددي ثلاثي الأبعاد بطريقة ال FDM المنجزة ببرنامج FLAC 3D بينت توافقاً جيداً مع النتائج المخبرية للدراسة المرجعية التي تم الاعتماد عليها لمعايرة الموديل .



(a)

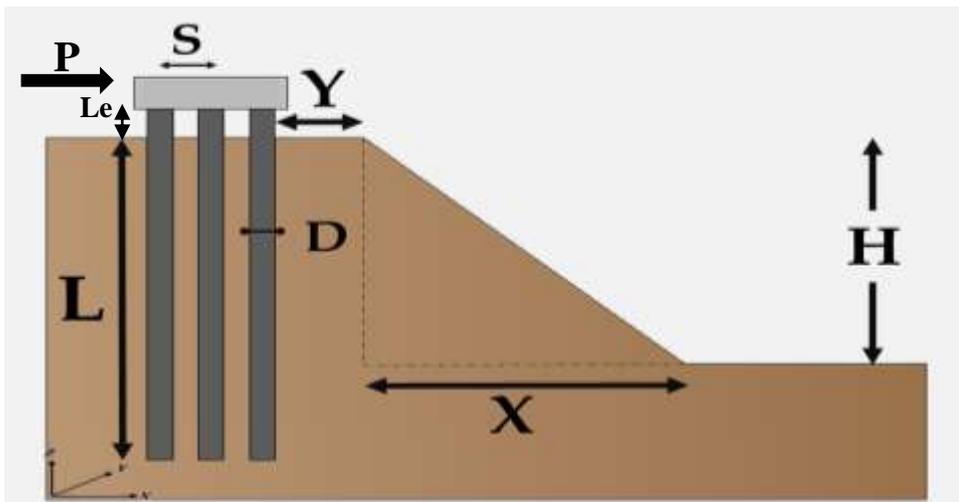


(b)

الشكل (6) مقارنة بين نتائج نموذج الدراسة المرجعية و التمثيل العددي بطريقة FDM  
(a) حالة أرض مستوية (b) حالة منحدر

## 2. النمذجة العددية والدراسة البارامتريّة

تمّ إعداد نماذج لمجموعتين من الأوتاد، الأولى مكونة من 4 أوتاد (2x2) والمجموعة الثانية مكونة من 9 أوتاد (3x3). الأوتاد دائرية المقطع ذات قطر  $D$  وطول مغروز  $L$  معرض لحمولة جانبية  $P$  تؤثر في قبعة الأوتاد التي ترتفع عن سطح الأرض بمسافة  $Le$ ، خواص التربة والأوتاد موضحة بالجدول (2). تقع مجموعة الأوتاد بالقرب من منحدر ذي ميلان  $X/H$  حيث  $H$  يمثل ارتفاع المنحدر و  $X$  مسقطه الأفقي، و تتباعد الأوتاد عن بعضها بمسافة  $S$  وتبتعد المجموعة عن حافة المنحدر بدءاً من الوتد الأمامي بمسافة  $Y$ .

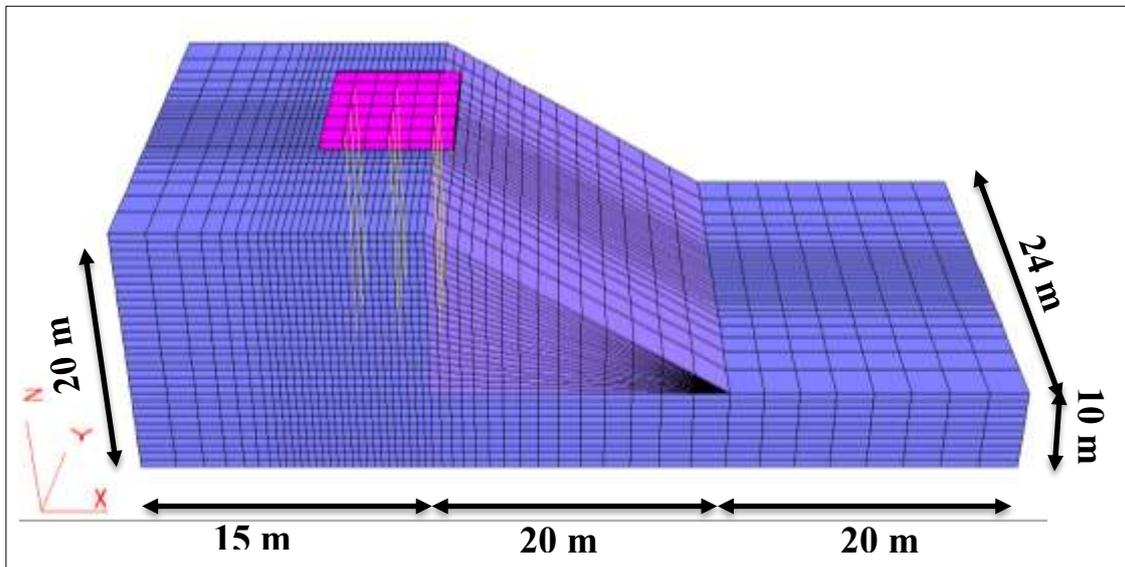


الشكل (7-1) المتغيرات المستخدمة في البحث

بافتراض أن سلوك الأوتاد البيتونية مرنة تم تمثيلها كعناصر Structural Elements نوع pile مكونة من /104/ عنصر إنشائي ، أبعاد الوتد (القطر، الطول المطمور:  $L=24\text{ m}$  ,  $D=0.5\text{ m}$ )، القبعة ترتفع عن سطح التربة  $Le=0.1\text{ m}$  . تتوضع الأوتاد في تربة رملية مفككة  $\Theta = 32^\circ$  واستخدمنا شبكة عناصر (FD-Mesh) موضحة في الشكل (7-2) لتمثيل كل من التربة و قبعة الأوتاد ، تتكون الشبكة من / 72380 / عنصر حتمي موشورية الشكل بثمانى عقد و أخرى بست عقد مع مراعاة شروط التطابق بين العناصر، أما أبعاد النموذج فقد تم اختيارها بحيث لا تؤثر الشروط الطرفية على دقة النتائج.

الجدول (2) الخواص الميكانيكية للتربة والأوتاد

Model	Pile, Pile cap	Sand
Young's modulus E(kPa)	2E+07	2.50E+04
Poisson's ratio $\nu$	0.2	0.3
Unit weight $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	25	16
Friction angle $\Theta$ (degree)	---	32
Dilatancy angle $\Theta$ (degree)	---	2

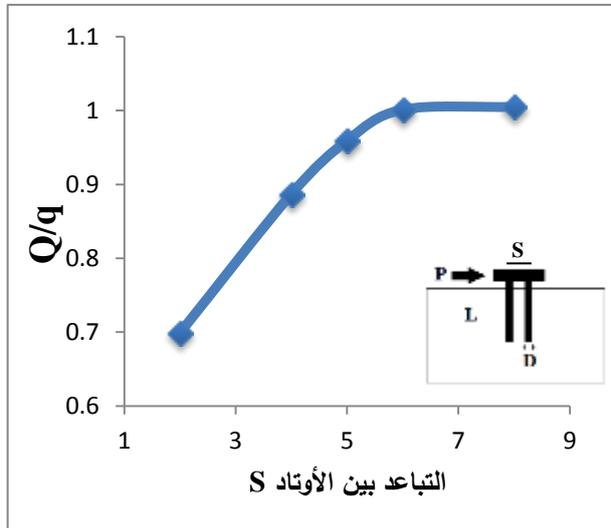


الشكل (7-2) أبعاد النموذج العددي لمجموعة أوتاد قرب منحدر

تمت دراسة تأثير مجموعة من البارمترات (ميل المنحدر ، بعد مجموعة الأوتاد عن حافة المنحدر، نحافة الوتد وعدد الأوتاد ضمن المجموعة) على كل من الانتقال الجانبي  $u$  (m) و توزيع القوى الداخلية بين صفوف الأوتاد (عزم الانعطاف  $M$  (Kn.m) وقوى القص  $Q$  (Kn) ومقارنة هذه القيم بتلك الموافقة لنفس الحالة ولكن في أرض مستوية.

### تأثير التباعد بين محاور الأوتاد ضمن المجموعة :

تمت دراسة تأثير التباعد بين محاور الأوتاد ضمن مجموعة أوتاد (2x2) في حالة أرض مستوية، وقد قمنا بتمثيل نتائج الدراسة البارامترية في الشكل (8) والذي يمثل التعبير في النسبة  $Q/q$  ( قوة القص في حالة توزع متساوي للقوى "حالة عدم تداخل الإجهادات" الى قوة القص في حالة وجود تداخل) للوند الأمامي بتغيير التباعد بين محاور الأوتاد ضمن المجموعة S : (2D-4D-5D-6D-8D) .



إن الغاية هي معرفة التباعد الذي ينتفي فيه تأثير الأوتاد ضمن المجموعة ببعضها أي أن كل وتد يسلك سلوك مستقل عن باقي الأوتاد ضمن المجموعة ونلاحظ أنه مع زيادة التباعد بين محاور الأوتاد تتقارب النسبة  $Q/q$  من 1 أي أن التأثير المتبادل بين الأوتاد ضمن المجموعة ينتفي. والتباعد الذي سنعتمده في البحث  $6D=S$  لأن قيمة  $1=Q/q$

الشكل (8) تأثير تباعد الأوتاد في مجموعة أوتاد (2x2)

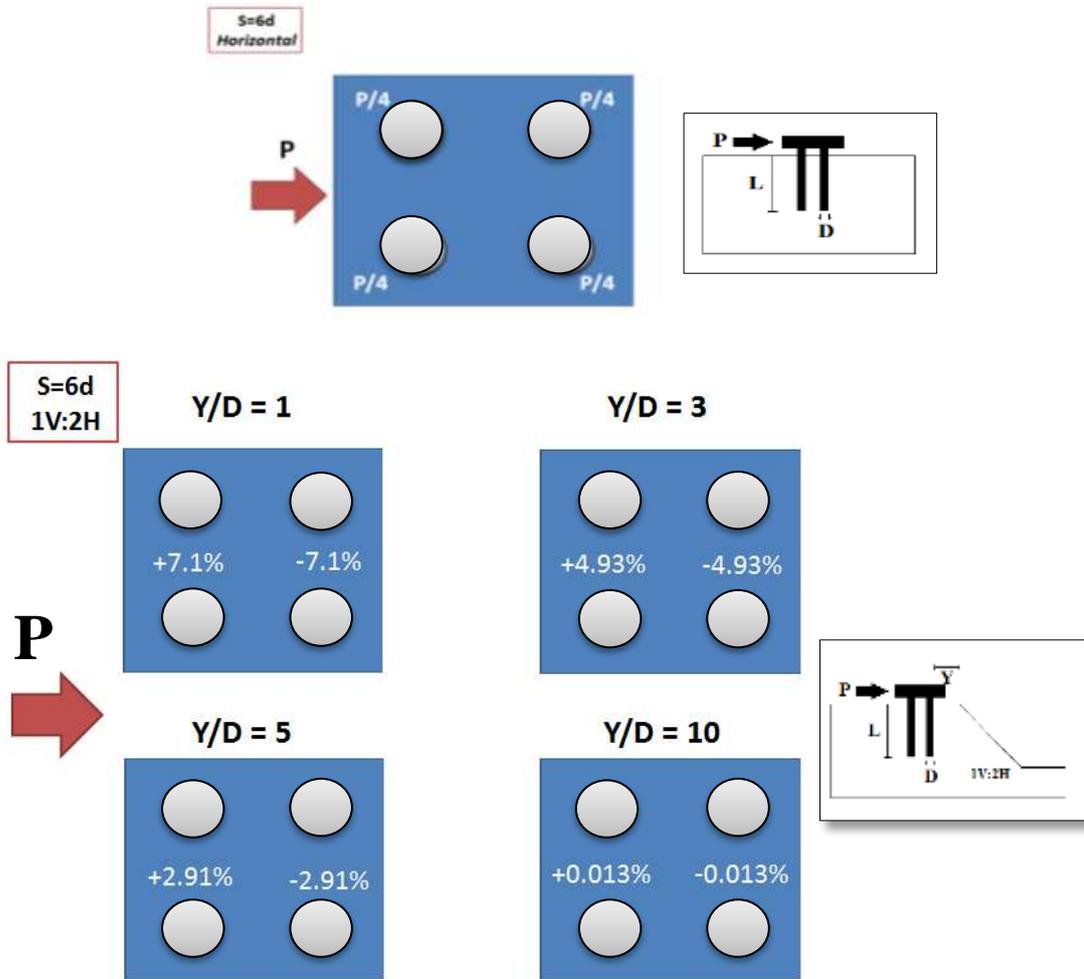
### تمت دراسة المتغيرات التالية :

تمت دراسة قيم مختلفة لبعد المجموعة عن حافة المنحدر  $\gamma$  : (0D-1D-3D-5D-8D-10D-15D) لأجل تغيير الميلان  $X/H$  بقيم ( 3 - 2 - 1.5 ) وتباعد  $S=6D$  حيث أن الحمولة الحدية المستخدمة هي الموافقة لانتقال ( $u = D*10\%$ ) ،  $D$  قطر الوند في مجموعة أوتاد تبعد  $\gamma = 0D$  عن منحدر ذي ميلان  $X/H = 1.5$

### ❖ نتائج مجموعة الأوتاد (2x2)

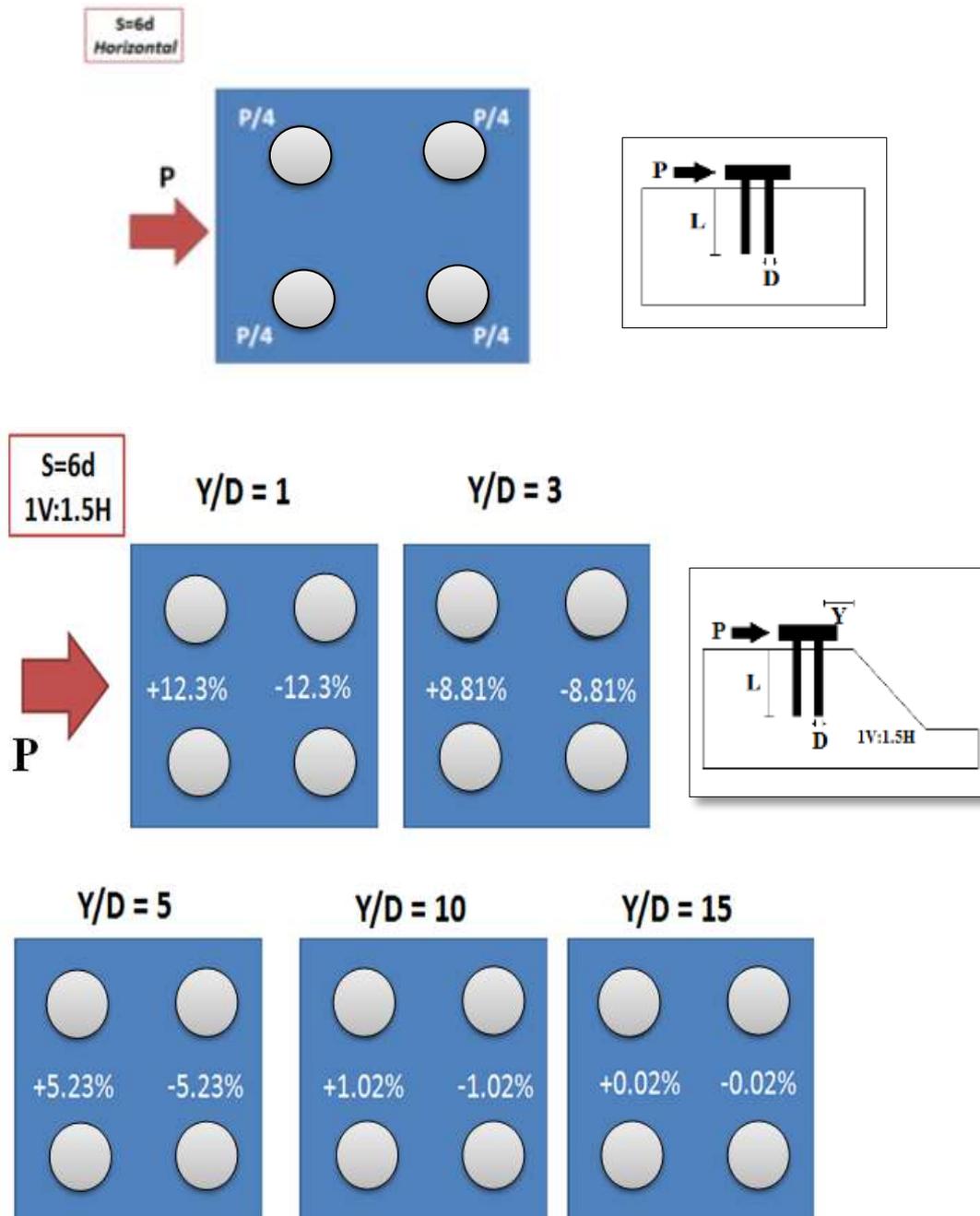
#### • تأثير تغير البعد عن المنحدر بتغير ميل المنحدر

قمنا بإجراء دراسات عديدة تتوضع فيها مجموعة الأوتاد على بعد عن حافة المنحدر يتغير من قيمة  $1D$  إلى  $10D$  ، و من قيمة  $1D$  إلى  $15D$  في كل من المنحدرين ( $1V:2H$ ) و ( $1V:1.5H$ ) على التوالي . يمثل الشكلان (9) و (10) التغيير في قوة القص المتولدة في كل وتد من مجموعة أوتاد (2x2) مأخوذة كنسبة من قوة القص المنقولة إلى الوند في حالة الأرض المستوية . تمت دراسة ميلين للمنحدر (2 أفقي إلى 1 شاقولي ( $1V:2H$ ) كما هو مبين في الشكل (9) و (1.5 أفقي إلى 1 شاقولي ( $1V:1.5H$ ) مبينة في الشكل (10)، وتشير القيم السالبة للقوة الى تناقص في قوة القص في الوند ، أما القيم الموجبة فتدل على زيادة في قوة القص.

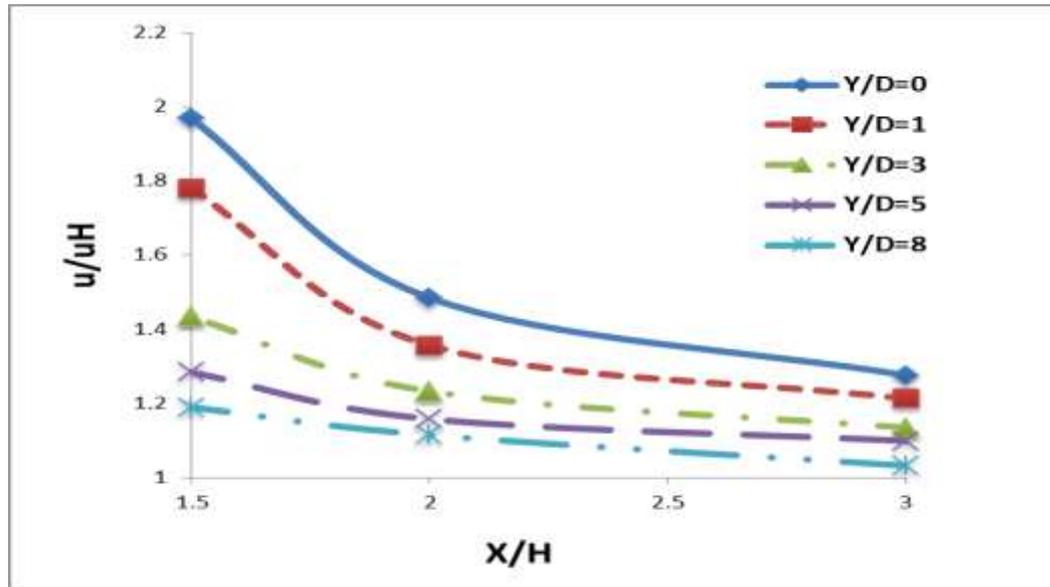


الشكل (9) توزيع القوة الجانبية المطبقة في مجموعة أوتاد (2x2) في أرض مستوية & منحدر 1V:2H

نلاحظ في حالة ميل المنحدر 1V:2H انخفاضاً في حصة كل من الوتدين الأماميين من القوة المطبقة بمقدار % 4.93 لكل وتد وزيادة في حصة كل من الوتدين الخلفيين من القوة المطبقة بمقدار % 4.93 لكل وتد . يعود السبب في ذلك لتناقص كتلة التربة الساندة أمام الوتدين الأماميين بسبب وجود المنحدر والذي يؤدي الى اعادة توزيع القوى بين الصفيين الأمامي والخلفي بحيث أن الصف الخلفي سيحمل قسم أكبر من القوة المطبقة هذا ونلاحظ أن تأثير المنحدر يتلاشى تدريجياً عند الابتعاد عن حافته حتى نصل للمسافة  $Y = 10D$  في منحدر 1V:2H والمسافة  $Y = 15D$  في منحدر 1V:1.5H

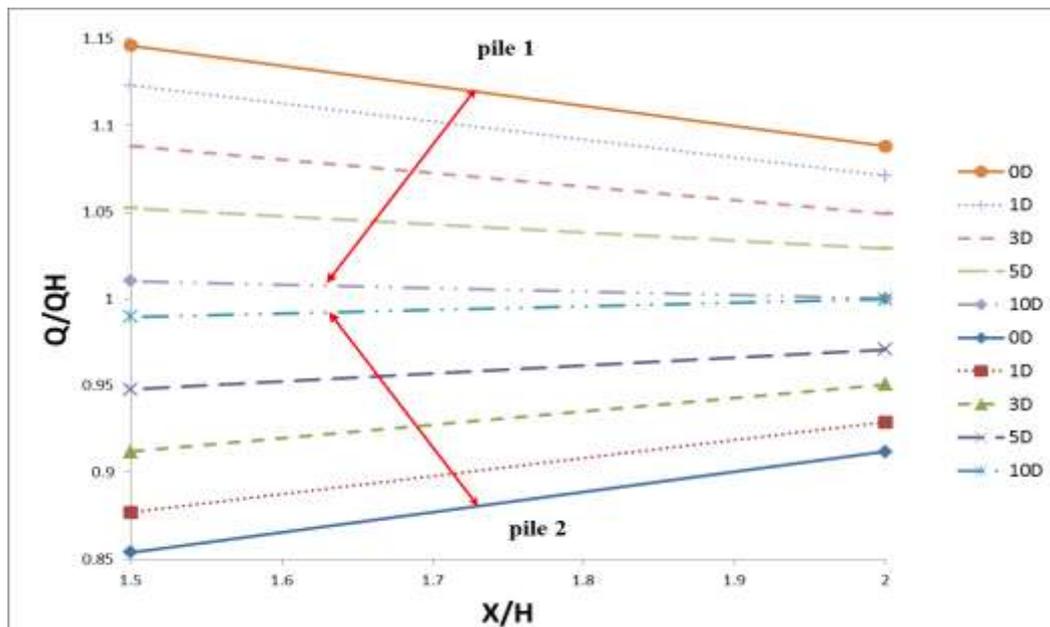


الشكل (10) توزيع القوة الجانبية المطبقة في مجموعة أوتاد (2x2) في أرض مستوية & منحدر 1V:1.5H



الشكل (11) تأثير ميلان المنحدر على الانتقال الجانبي في مجموعة أوتاد (2x2)

وقد تمت دراسة تغير الميلان لتباعدات مختلفة عن حافة المنحدر وتأثيرها على الانتقال كما هو مبين في الشكل (11) والذي يمثل تغير الانتقال الأفقي النسبي  $u/uh$  عند سطح الأرض للوتد الأمامي ( الانتقال الأفقي في حالة المنحدر منسوباً إلى الانتقال الأفقي في حالة الأرض المستوية) مع تغير ميلان المنحدر (3-2-1.5) من أجل مجموعة الأوتاد (2x2) والمتوضعة على مسافات مختلفة عن حافة المنحدر (0D-1D-3D-5D-8D).  
تبين النتائج أن الانتقال الأفقي للأوتاد يتناقص بزيادة ميل المنحدر وزيادة البعد عن حافة المنحدر.

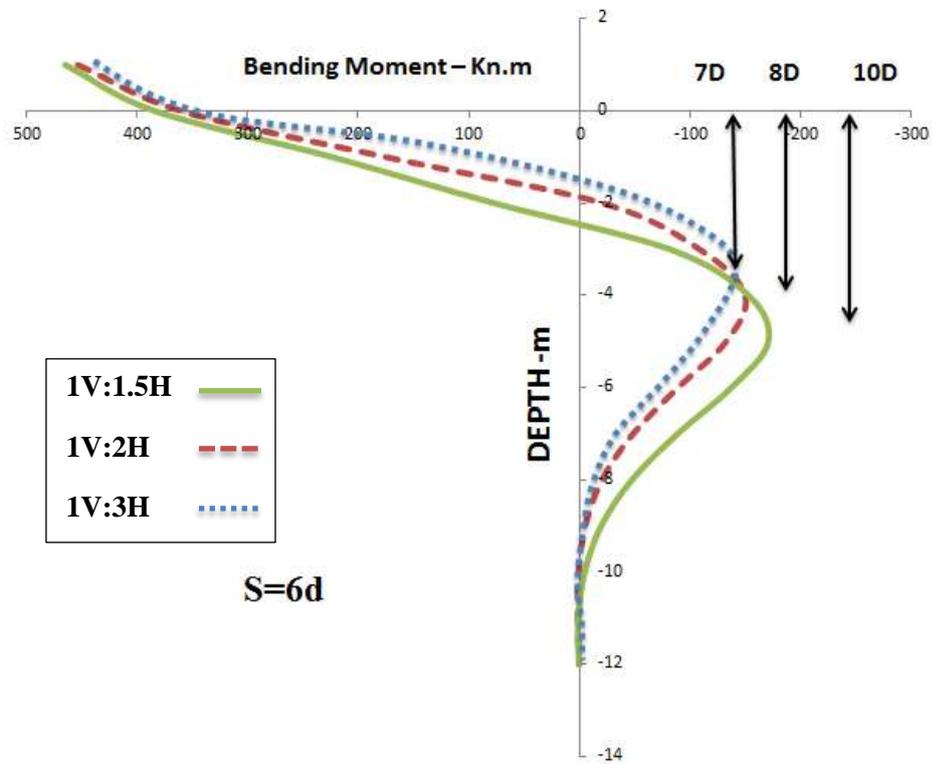


الشكل (12) تأثير ميلان المنحدر على قوى القص المتشكلة في الوتد 2 &amp; 1

يظهر الشكل (12) تغير النسبة  $Q/QH$  (قوة القص في حالة المنحدر منسوبة الى قوة القص في حالة الأرض المستوية) للوئد الأمامي بتغير ميلان المنحدر  $X/H$  من  $1V:2H$  الى  $1V:1.5H$  في مجموعة أوتاد  $(2 \times 2)$  والمتوضعة على مسافة من حافة المنحدر  $Y$ :  $(0D-1D-3D-5D-10D)$

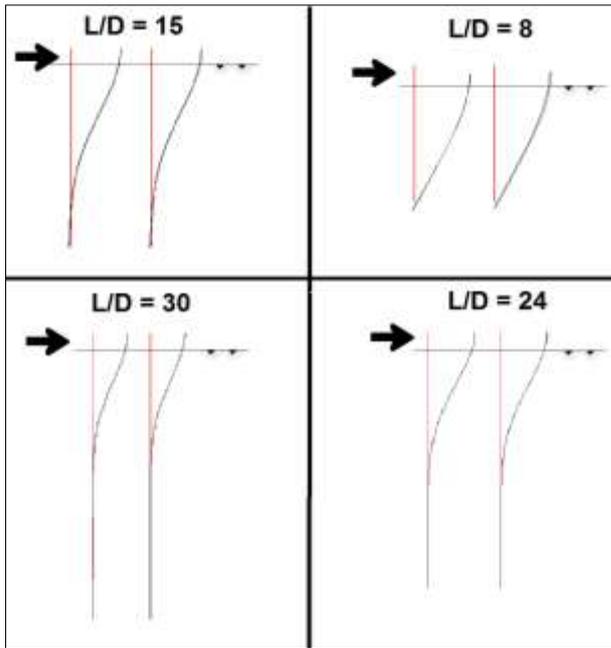
• تأثير تغير ميلان المنحدر

قمنا بدراسة تأثير تغير ميلان المنحدر على عزم الانعطاف المتشكل على طول الوئد الأمامي، و بينت نتائج الدراسة العددية زيادة قيمة وعمق نقطة العزم الأعظمي  $M_{max}$  المتشكلة في الوئد الأمامي مع زيادة ميلان المنحدر وذلك عندما يتغير الانحدار من  $1V:3H$  الى  $1V:2H$  الى  $1V:1.5H$ . في المنحدر  $1V:1.5H$  نجد أن  $M_{max}$  يقع على عمق  $10D$  من سطح التربة، بينما في المنحدر ذي الميل  $1V:3H$  يكون  $M_{max}$  يقع على عمق  $7D$  من سطح التربة الشكل (13).



الشكل (13) تأثير ميلان المنحدر على عزم الانعطاف المتشكل على طول الوئد الامامي

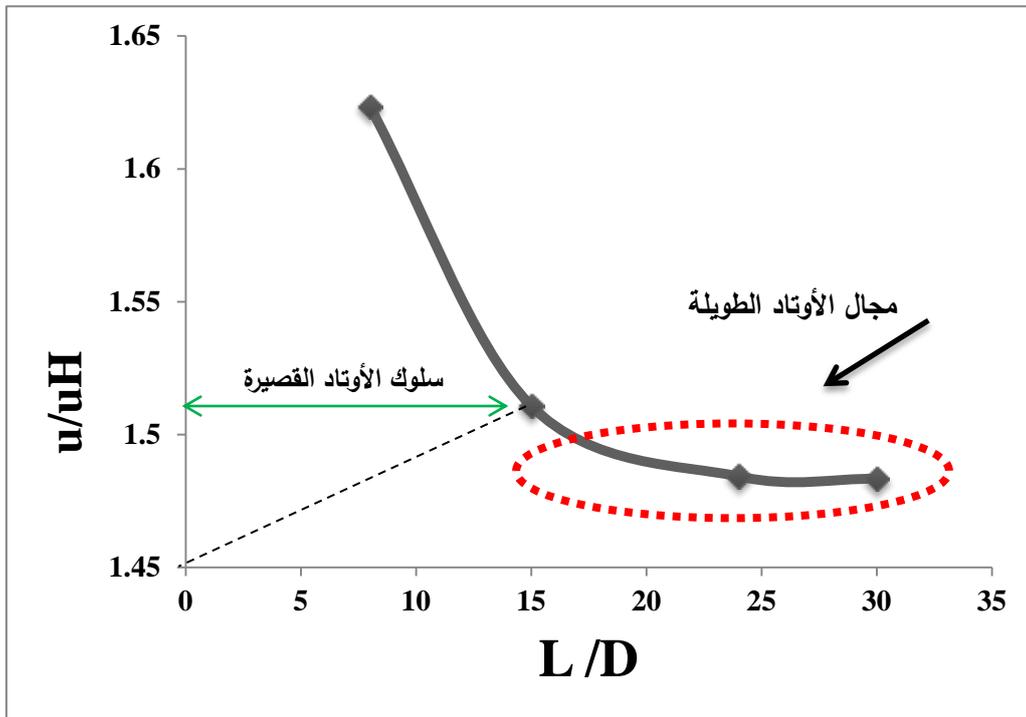
## • تأثير تغيير نسبة النحافة :



الشكل (14) شكل الأوتاد قبل تطبيق حمولة جانبية وبعد تطبيقها قرب المنحدر بتغيير نسبة النحافة  $L/D$

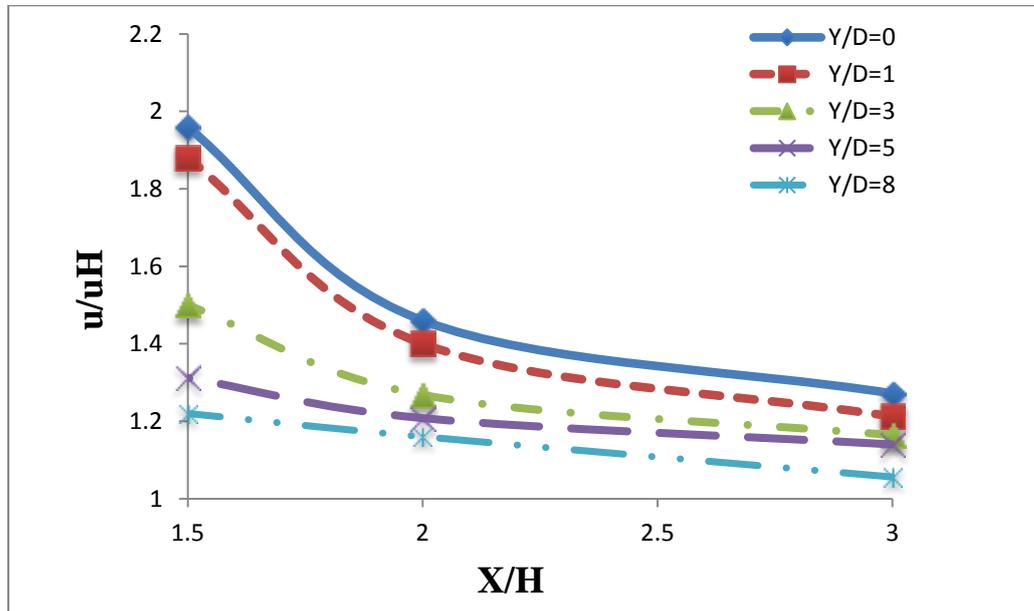
تمثل النسبة  $L/D$  نسبة نحافة الوتد وبالاعتماد على نتائج الدراسة العددية قمنا برسم منحنى بياني والذي يبين تغير الانتقال النسبي  $u/uH$  بتغير نسبة النحافة  $L/D$  في مجموعة أوتاد  $(2 \times 2)$  تتوضع على بعد  $0D$  من حافة منحدر ذي ميلان  $1V:2H$  الشكل (15).

بتغير قيم  $L/D$  (8 , 15 , 24 , 30) يتغير سلوك الأوتاد الشكل (13). نلاحظ أنه في حالة النسبة  $L/D=8$  يكون الوتد قصيراً و يسلك سلوك جسم صلب يدور حول نقطة ، أما مع تزايد النسبة فإن الوتد يكون طويلاً. ونلاحظ أن القيمة  $L/D=15$  تفصل بين مجالي الأوتاد الطويلة والقصيرة ، كما يتبين أن الانتقال الجانبي يتناسب عكسياً مع زيادة نسبة النحافة في كل من حالتي الأرض المستوية والمائلة.



الشكل (15) تغير الانتقال النسبي بتغير نسبة النحافة

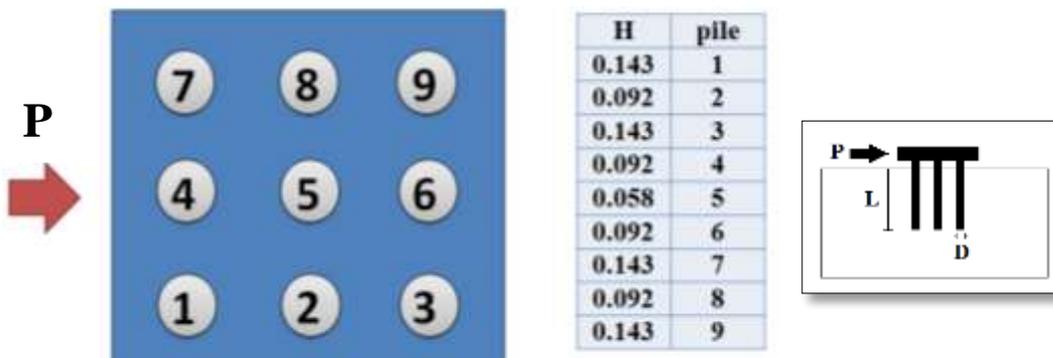
❖ نتائج مجموعة الأوتاد (3x3)  
❖ تأثير تغير البعد عن المنحدر بتغير ميل المنحدر



الشكل (16) تأثير ميلان المنحدر على الانتقال الجانبي في مجموعة أوتاد (3x3)

قمنا بإجراء دراسات عديدة على مجموعة أوتاد (3x3) تتوضع على مسافات مختلفة عن حافة المنحدر مع تغير ميلان المنحدر وكانت النتائج كما هو مبين في الشكل (16) والذي يمثل تغير الانتقال الأفقي النسبي  $u/uH$  عند سطح الأرض للوند الأمامي ( الانتقال الأفقي في حالة المنحدر منسوباً إلى الانتقال الأفقي في حالة الأرض المستوية) مع تغير ميلان المنحدر (1.5-2-3) وتغير التباعد عن حافة المنحدر (0D-1D-3D-5D-8D). تظهر النتائج أن الانتقال الجانبي للأوتاد يزداد بزيادة القرب من المنحدر وزيادة ميلان المنحدر .

S=6d  
Horizontal



الشكل (17) توزيع القوة الجانبية المطبقة في مجموعة أوتاد (3x3) في أرض مستوية

يظهر الشكل (17) مجموعة الأوتاد (3x3) في حالة أرض مستوية وحصص كل وتد من القوة الجانبية المطبقة، أما الجدول (3) والجدول (4) فهما يعرضان التغير في حصص كل وتد من القوة المطبقة مأخوذة كنسبة من حصص الوتد من القوة المطبقة. تمت دراسة ميلين للمنحدر (1V:2H) الجدول (3) و (1V:1.5H) الجدول (4) ، تتوضع مجموعة الأوتاد على بعد عن حافة المنحدر يتغير من قيمة 1D إلى 10D ، و من قيمة 1D إلى 15D في كل من المنحدرين (1V:2H) و (1V:1.5H) على التوالي . نتيجة لوجود مجموعة الأوتاد بالقرب من منحدر 1V:1.5H وعلى بعد من حافته 3D ستخفص حصص كل من الوتد الأمامي الوسطي من القوة المطبقة بمقدار % 11.9577 بالمقابل ستزداد حصص كل من الوتدين الوسطيين الراكبين من القوة المطبقة بمقدار % 7.6 لكل وتد، يعود السبب في ذلك لتناقص كتلة التربة الساندة أمام الأوتاد الأمامية بسبب وجود المنحدر والذي يؤدي الى إعادة توزيع القوى بين الصفوف بحيث أن الصف الخلفي سيحمل أكبر قسم من القوة المطبقة يليه الصف الوسطي ثم الصف الأمامي الذي ستكون حصته من القوة المطبقة هي الأصغر. هذا ونلاحظ أن تأثير المنحدر يتلاشى تدريجياً عند الابتعاد عن حافته حتى نصل للمسافة  $Y = 10D$  في منحدر 1V:2H والمسافة  $Y = 15D$  في منحدر 1V:1.5H

الجدول (3) النسبة المئوية لتغير حصص كل وتد من القوة الجانبية المطبقة في منحدر 1V:2H

10d	5d	3d	1d	0d	pile
0.207	1.517	2.574	3.705	4.597	1
0.441	3.231	5.483	7.892	9.791	2
-0.609	-4.466	-7.578	-10.908	-13.533	3
0.734	5.383	9.135	13.149	16.313	4
0.738	5.415	9.190	13.226	16.410	5
-0.636	-4.661	-7.909	-11.384	-14.124	6
0.207	1.517	2.574	3.705	4.597	7
0.441	3.231	5.483	7.892	9.791	8
-0.609	-4.466	-7.578	-10.908	-13.533	9

الجدول (4) النسبة المئوية لتغير حصص كل وتد من القوة الجانبية المطبقة في منحدر 1V:1.5H

15d	10d	5d	3d	1d	0d	pile
0.280	2.954	4.196	5.594	6.240	10.490	1
0.514	2.309	3.544	7.609	11.831	16.304	2
-0.280	-4.196	-8.392	-11.189	-18.881	-26.573	3

0.829	3.104	4.348	11.957	19.147	23.913	4
0.411	4.192	5.449	9.589	20.192	25.000	5
-0.133	-4.294	-5.435	-11.957	-18.609	-21.739	6
0.280	2.954	4.196	5.594	6.240	10.490	7
0.514	2.309	3.544	7.609	11.831	16.304	8
-0.280	-4.196	-8.392	-11.189	-18.881	-26.573	9

### الاستنتاجات والتوصيات:

#### الاستنتاجات:

- تمّ التوصل إلى مجموعة من الاستنتاجات بالاعتماد على نتائج الدراسة العديدة :
- في حالة أرض مستوية (التباعد بين محاور الأوتاد  $S=6D$  بحيث نضمن أن لا تتداخل الإجهادات المنقولة ضمن المجموعة) تتوزع القوة الجانبية المطبقة بشكل متساوٍ على الأوتاد في مجموعة أوتاد (2X2) ، أما في مجموعة أوتاد (3X3) تتوزع القوة الجانبية المطبقة بحيث تحمل الأوتاد الركنية الحمولة الأكبر بشكل متساوٍ لكل منها في حين يحمل الوند الوسطي أقل حمولة .
  - في حالة المنحدر تحمل الأوتاد الخلفية حمولة أكبر من الأوتاد الأمامية في مجموعة الأوتاد (2X2) بسبب تناقص ضغط التربة المعاكس أمام الأوتاد، فنتيجة لوجود بالقرب من منحدر  $1V:2H$  وعلى بعد من حافته  $Y$   $1D-3D-5D-10D$  ستخفص حصة كل من الوندتين الأماميين من القوة المطبقة بمقدار  $2.91-0.013\%$   $4.93-7.1$  على التوالي لكل وتد وبالمقابل ستزداد حصة كل من الوندتين الخلفيين من القوة المطبقة بمقدار نفس القيمة.
  - في مجموعة أوتاد (3X3) قرب المنحدر فإن الأوتاد الخلفية تحمل الجزء الأكبر من الحمولة تليها الأوتاد الوسطية ثم الأوتاد الأمامية التي تحمل أصغر حمولة ، كذلك فإن الأوتاد الجانبية تحمل حمولة أكبر من الأوتاد الوسطية في نفس الصف ، فنتيجة لوجود مجموعة الأوتاد بالقرب من منحدر  $1V:1.5H$  وعلى بعد من حافته  $Y$   $1D-3D-5D-10D-15D$  ستخفص حصة الوند الأمامي الوسطي من القوة المطبقة بمقدار  $1.331\%$   $4.294-5.435-11.957-18.609$  على التوالي.
  - تتناقص قيم الانتقال في الأوتاد المحملة جانبياً كلما زاد البعد عن حافة المنحدر  $Y$  وكلما تناقص ميلان المنحدر، حيث ينتفي أثر المنحدر على القوى الداخلية على بعد  $Y = 8D, 10D, 15D$  في منحدر  $1V:3H$ ,  $1V:2H, 1V:1.5H$  على التوالي .
  - تزداد قيمة العزم الأعظمي ويزداد عمق نقطة العزم الأعظمي  $M_{max}$  مع العمق كلما زاد ميلان المنحدر يتبين أن  $M_{max}$  المتشكل في الأوتاد الأمامية في حالة  $Y=0D$  يقع على عمق  $7D, 8D, 10D$  من سطح التربة في المنحدر  $1V:1.5H, 1V:2H, 1V:3H$  على التوالي.
  - تتناقص قيم الانتقال الجانبي في الأوتاد كلما زادت نسبة النحافة  $L/D$  في كل من حالتها الأرض المستوية والمائلة ، ونلاحظ أن القيمة  $L/D=15$  تفصل بين مجالي الأوتاد الطويلة والقصيرة .

## التوصيات:

- دراسة أنواع أخرى من الترب كالتربة الغضارية أو الترب المتطبقة
- دراسة تأثير وضع Sleeves للأوتاد
- يوصى مستقبلاً بدراسة بإعادة دراسة النموذج تحت تأثير قوى ديناميكية

## المراجع:

1. Begum, A. N. ; Muthukkumaran, K. *Numerical Modeling for Laterally Loaded Piles on a Sloping Ground* . Proceedings of the 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, (IACMAG), Goa, India, 1-6 October, 2008
2. Broms, B.B. *Lateral resistance of piles in cohesive soils*. J Soil Mech Found Div,90,1964,27-63.
3. Broms, B.B *Lateral resistance of piles in cohesionless soils*. J Soil Mech Found Div,90,1964,123-56.
4. Brown, D. A.; Morrison, C. ; Reese, L. C. *Lateral Load Behavior of Pile Group in Sand*. Journal of Geotechnical Engineering 114 (11), 1988,1261-1276.
5. Deendayal, R. ; Muthukkumaran ,K. ; Sitharam, T. G. *Analysis of laterally loaded group of piles located on sloping ground*. International Journal of Geotechnical Engineering, DOI: 10.1080/19386362,2018,1448521
6. Elhakim, A.F. ; Khouly, M. ; Awad, R. *Three dimensional modeling of laterally loaded pile groups resting in sand*. HBRC,12,2016,78-87.
7. Ilyas, T. ; Leung, C. F. ; Chow, Y. K. ; Budi, S. S. *Centrifuge Model Study of Laterally Loaded Pile Groups in Clay*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 130 (3), 2004, 274-283.
8. Matlock, H. ; Reese, L. C. *Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles*. Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE 86 (5), 1960, 63-94.
9. Muthukkumaran, K. *Effect of Slope and Loading Direction on Laterally Loaded Piles in Cohesionless Soil*. International Journal of Geomechanics, ASCE 14 (1), 2014, 1-7.
10. Muthukkumaran, K. ; Krishnan, M.G. *Three Dimensional Analysis of Piles on Sloping Ground Subjected to Passive Load Induced by Surcharge*. International Journal of Engineering and Technology Innovation, vol. 2, no. 1, 2012, pp. 31-47
11. Parsiya, B. S. ; Dave, S. P. *ANALYTICAL STUDY OF THE LATERALLY LOADED PILE GROUP*. International Journal of Advanced Engineering Research and Studies E-ISSN2249-8974, 2012,284-286.
12. Poulos, H. G. ; Davis, E. H. *Pile Foundation Analysis and Design*. New York, John Wiley & Sons Inc , 1980.
13. Reese, L. C. ; Cox, W. R. ; Koop, F. P. *Analysis of Laterally Loaded Piles in Sand*. In Proceeding, Offshore Technology Conference, OTC2080, 1974,472-483. Houston, TX.
14. Sawant, V. A. ; Shukla, S. K. *Finite element analysis for laterally loaded piles in sloping ground*. Coupled System Mechanics, Vo.1, No.1, 2012, p. 59-78.
15. Yang, Z.; Jeremic, B. *Numerical Study of Group Effects for Pile Groups in Sands*, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 27, 2003, 1255-1276.