1st International Conference for Geotechnical Engineering and Transportation ICGTE in24-15/4/2013

Improvement of Soft Soil Properties Using Dynamic Compaction with Stone Columns: Case Study (AL-Mualla Site-Yeman)

Dr. Suhail I. Khattab
Civil Engineering Department, College of Engineering, Mosul/ Iraq
Email:suhailkhattab@yahoo.com
kaythar A. Ibrahim
Civil Engineering Department, College of Engineering, Mosul/ Iraq
Amina A. Khalil
Civil Engineering Department, College of Engineering, Mosul/ Iraq

ABSTRACT

Dynamic compaction was considered as one of a deep compaction method which was used to improve the soil properties. Also it was used to save cost and time in comparison with other methods.

The aims of the present studies were to study the improvement and changes in soil properties that occurred in Al-Mualla Site-Yeman using dynamic compaction. The site soils classified as Silty Sand with small boulder with Clayey-Silt layer extend from 2.2 m to 3.2 m deep.

Cone penetration test was done before and after treatment process using dynamic compaction for approximately the same two tested boreholes. As a result of the treatment and based on how the soil properties changes, the soil was divided into three zones varied from (1.2 to 5, 5 to 8.6, and 8.6 to 11 m) respectively. Field results show that there was increased in bearing capacity from 80 kN/m^2 to 110 kN/m^2. Cone penetration test for the first zone increased from (1.2 to 8.35 MN/m^2), and from (2.43 to 7.07 MN/m^2) for the first and third zone respectively at the first tested borehole and also from (2.05 to 6.8 MN/m^2), and (2.14 to 5.0 MN/m^2) for the second tested borehole. Also can be noted that the cone penetration test results decreased from (5.22 to 3.77 MN/m^2) for the second zone at the first tested borehole, with no change was happening for the second tested boreholes.

Also the effect of soil improvement on the settlement value and effective stress distribution was studied theoretically using finite element package PLAXIS2D program. The result shows that the improvement in soil properties leads to decrease in the expected settlement.

https://doi.org/10.30684/etj.2013.83855
2412-0758/©Publishing rights belongs to University of Technology's Press, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

2013 .20 (A) 31

استخدام طريقة الحدل الداينامیكي مع الأعمدة الحجرية لتحسين قابلية تحمل الترب الضعيفة مع دراسة حالة (تربة منطقة المعلا-اليمن)

الخلاصة

تعد طريقة الحدل الداينامیكي من طرق الحدل العميق وتستخدم هذه الطريقة في معالجة وتحسين خصائص التربة والى أعماق عالية. تمتاز هذه الطريقة بكلفتها الواطئة مقارنة مع بدائل أخرى فضلا عن قلة الوقت اللازم لتنفيذها وعدم الحاجة إلى تكنولوجيا أو معدات عالية التقنية.

تهدف الدراسة الحالية إلى دراسة مدى تغير وتحسين خصائص تربة ارض المعلا - اليمن باستخدام طريقة الحدل الداينامیكي والتي أظهرت نتائج الفحوصات أن تربة المنطقة مكونة من رمل غريني Silty sand مع قليل من الحصى، فضلا عن وجود طبقة من الطين الغريني Clayey Silt وعلى عمق 2.2-3.2 m.

تم إجراء فحص قابلية تحمل التربة بطريقة اختراق المخروط الهولندي ولنفس النقاط تقريبا قبل وبعد إجراء عملية معالجة التربة ولموقعين في مساحة الأرض المحددة. استنادا إلى مدى التغير في خصائص التربة نتيجة المعالجة تم تقسيم التربة إلى ثلاث مناطق (طبقات zone) تراوحت أعماقها بين (1.2-5.0m) و (5.0-8.6m) و (8.6-11m). أظهرت نتائج الفحص إن عملية المعالجة غيرت من خصائص طبقات التربة المعالجة بصورة عامة حيث ازدادت قابلية تحمل التربة من 80 kN/m^2 إلى 110 kN/m^2 بعد إجراء عملية المعالجة. أوضحت نتائج فحص اختراق المخروط الهولندي ان معدل مقاومة التربة زادت من 1.2 MN/m^2 إلى 8.35 MN/m^2 ومن 2.43 MN/m^2 إلى 7.07 MN/m^2 للطبقتين الأولى والثالثة عند النقطة الأولى للفحص وأيضا من 2.05 MN/m^2 إلى 6.8 MN/m^2ومن 2.14 MN/m^2 إلى 5.0 MN/m^2 لنفس الطبقتين عند النقطة الثانية للفحص. في حين قلت معدل هذه القيم من 5.22 MN/m^2 إلى 3.77 MN/m^2 للطبقة الثانية عند النقطة الأولى للفحص ولم تتغير بشكل كبير عند النقطة الثانية للفحص حيث تراوحت بين 3.5 MN/m^2 و3.72 MN/m^2. كما تم دراسة تأثير تحسين خصائص التربة على توزيع الاجهادات وقيم الهبوط بطريقة نظرية بالاعتماد على برنامج PLAXIS2D. أظهرت النتائج أن هنالك تحسن في قابلية تحمل التربة ونقصان في قيم الهبوط المتوقعة للتربة.

المقدمة

من المعروف أن هنالك اختلافا كبيرا في خصائص التربة جراء عمليات التكوين والتي قد لا تكون مناسبة لتحمل أثقال المنشآت المطلوبة إقامتها مثل المباني, الجسور, والسدود، وغيرها من المنشآت الهندسية. في مثل هذه الحالات تكون الحاجة إلى تحسين خصائص التربة من أجل جعلها مناسبة لتحمل الأثقال وزيادة مقاومة القص وتقليل الانضغاطية، تحسين الديمومة، النفاذة وغيرها من الخصائص. وقد شهدت السنوات الأخيرة تطوير العديد من التقنيات في هذا المجال وعلى سبيل المثال تثبيت التربة وتحسين خصائصها الكيميائية والميكانيكية، استخدام طرق الحدل المختلفة، إتباع تقنيات مختلفة كتثبيت التربة بصورة وقتية أو دائمية كالطرق الكهربائية أو تجميد للتربة. تعد طريقة الحدل الداينامیكي من الطرق المستخدمة في تحسين خصائص الترب الضعيفة وذلك من خلال رفع كتلة ذات وزن ثابت إلى ارتفاع معين ومن ثم إلقاءها لتسقط بشكل حر على الأرض. تستخدم

هذه الطريقة في تقوية التربة بشكل عام وإيصال توزيع الاجهادات إلى أعماق كبيرة في الترب وبالتالي تقليل الهبوط المتوقع، تحسين خصائص التربة السطحية والتي يمكن أن تتم أيضا من خلال حقن كميات من الجلمود والحجر المكسر في التربة أثناء عملية الرص لتكوين أعمدة من هذه المادة. تمتاز هذه الطريقة بكلفتها القليلة مقارنة مع بدائل أخرى مثل الركائز، عملية المعالجة تستغرق وقت قليل، وكذلك عدم الحاجة إلى تكنولوجيا أو معدات عالية التقنية. من الدراسات التي أجريت في مجال دراسة تحسين خصائص طبقات الترب الضعيفة دراسة قابلية تحمل أسس مقامة على تربة ضعيفة)الكاؤولين التجاري(من قبل)Mosa et al., 2011(مع معالجة هذه الترب بمواد مضافة متمثلة بمادة الفحم المتطاير)Fly-Ash(دراسة عملية. أجريت مجموعة من فحوص التحميل على التربة قبل وبعد تسليط حمل مركزي ولامركزي تم التوصل في الدراسة أن هنالك تحسن في مقاومة التحمل من خلال مقارنة مقاومة التحمل القصوى لتربة الكاؤولين بمفردها مع مقاومة التحمل القصوى لتربة الكاؤولين مع مادة الفحم المتطاير ولنفس مسافة التحميل قبل وبعد المعالجة حيث لوحظ أن نسبة التحسن في قابلية التحمل وصل إلى 130%. بينما قدم الباحث)Pivarc, 2011(دراسة مقارنة بين النتائج المختبرية والنظرية وكذلك تطبيق نظرية)Priebe's, 1976(في إيجاد معامل التحسين للتربة باستخدام الأعمدة الحجرية وكانت النتائج التي تم الحصول عليها من التمثيل النظري والمختبري وكذلك تطبيق النظرية)Priebe's, 1976(مقاربة. كما أجريت دراسة من قبل)Hussein et al., 2009(لتحسين خصائص الترب الطينية الضعيفة باستخدام تقنية الأعمدة الحجرية والرص الديناميكي باستخدام موديل مختبري لحالات: نموذج بدون معالجة و ثلاث نماذج لترب معاملة بأعمدة حجرية) 1, 3,2 عمود(تحت رص ديناميكي بأوزان مختلفة وارتفاعات سقوط مختلفة لهذه الأوزان. أظهرت النتائج أن هنالك تحسن في خصائص التربة المعالجة. قام الباحثان) ,Gandhui, Ambily 2004(بدراسة مقارنة بين النتائج النظرية والعملية لتقييم الأعمدة الحجرية في الترب الضعيفة من خلال تغير مجموعة من المتغيرات: المسافة بين الأعمدة، وتغير المحتوى الرطوبي, تمت الدراسة النظرية باستخدام الحزمة البرمجية PLAXIS . تعد طريقة العناصر المحددة من الطرق المستخدمة لإيجاد الحلول للعديد من المسائل الهندسية. حيث توصف خواص التربة في أغلب المسائل بشيء من القيم الثابتة والتي يتم الحصول عليها سواء مختبريا أو حقليا ولكن في الواقع تكون هذه الخصائص مختلفة بالاتجاه الأفقي عنه بالاتجاه العمودي فضلًا عن اختلاف هذه الخواص من نقطة إلى أخرى وفي نفس الاتجاه. من خلال ما سبق يمكن الاعتماد على التحليل النظري واستخدام طريقة العناصر المحددة أو الفروقات المحددة في حل المسائل ولحالات متعددة خلال مدة قصيرة. تم في هذا البحث استخدام برنامج PLAXIS لدراسة قيم الإجهاد والهبوط المتوقع نتيجة ثقل المنشأ على طبقات التربة قبل وبعد إجراء المعالجة. كما وتهدف الدراسة إلى مقارنة النتائج لمقدار التحسن في قابلية تحمل التربة بطريقة فحص اختراق المخروط الهولندي قبل وبعد اجراء المعالجة باستخدام طريقة الحدل الديناميكي مع استخدام حجر الجلمود لتكوين أعمدة)ركائز(من هذه المادة في تربة المنطقة.

موقع الدراسة وخصائص التربة تم التطرق في هذا البحث لدراسة تأثير عملية معالجة مساحة 22m×24 واقعة في منطقة المعلا-اليمن مخصصة لبناية مكونة من سبع طوابق لتسلط ثقل مقداره 110 kN/m^2. أظهرت نتائج التحريات أن قابلية التربة لا تزيد عن80 kN/m^2 وعليه يجب معالجة التربة وتقويتها لزيادة قابلية تحملها. ونتيجة

لضعف التربة اقترح معالجتها بطريقة الرص الديناميكي مع حقن مواقع محددة من التربة بحجر الجلمود لتكوين أعمدة حجرية من هذه المادة وبالتالي زيادة قابلية تحمل التربة.

خصائص التربة

أوضحت التحريات الموقعية أن تربة المنطقة مكونة من الرمل الغريني (Silty sand) ولعمق 12m تقريبا يحتوي في بعض الأحيان على قطع من الحصى صنفت على إنها تربة قليلة الكثافة مفككة (loose) إلى متوسطة الكثافة (Medium dense) و طين غريني (Silty clay) على عمق 2.2-3.2m ذات لدونه متوسطة وانضغاطية عالية كما وإنها ضعيفة القوام (Soft). حدد مستوى الماء الجوفي على عمق 1.2 m تقريبا. كانت التربة ذات قابلية تحمل قليل بشكل عام وذات خصائص موضحة في الجدول (1).

عملية المعالجة وطريقة إجراء الحدل

تم اختيار طريقة الحدل الديناميكي العميق لغرض تقوية خصائص تربة الموقع، صمم الثقل المستخدم في الحدل بشكل كتلة كروية من الأسفل ومخروطي من الأعلى لضمان أفضل توزيع للاجهادات عند حدل التربة بارتفاع 1.4 m وقطر من الأعلى بمقدار 0.5 m ومن الأسفل بمقدار 0.9 m وبوزن حوالي 3) (Tons ومسافة سقوط بين (8-10 m). تم تقسيم مساحة الأرض المعالجة إلى شبكة (Grid) بمسافات 2 m بين خط وأخر في الاتجاهين. تم إجراء عملية الحدل من خلال نقاط التقاطع وذلك برفع الكتلة المصممة ثم جعلها تسقط سقوط حر لتكوين حفرة في الأرض بعد ذلك تملئ الحفرة بالجلمود بشكل كامل ومن ثم تستمر عملية الحدل إلى حين استقرار وعدم اختراق الكتلة لسطح التربة، وبهذه الطريقة تتكون أعمدة من الجلمود داخل التربة في النقاط التي تم تحديدها. من خلال حساب كمية الجلمود المستخدم في عملية المعالجة وحيث ان قطر الكتلة هي 0.9 m وعدد النقاط المحددة في مساحة الأرض المعالجة والتي هي 12×13 فان من المتوقع ان تكون طول الأعمدة الحجرية تقريبا 2m.

التحليل العددي

استخدم في دراسة التحليل العددية برنامج PLAXIS V8.2 حيث يستخدم هذا البرنامج في دراسة وتحليل العديد من مسائل هندسة الجوتكنيك. تم اعتماد تفسير سلوك التربة عند الفشل على معيار مور-كولمب وتمثيل كل من التربة والجلمود المستخدم حسب أنموذج مور- كولمب. تم تمثيل التربة بشكل متناظر على طول المحور العمودي باستخدام عنصر ذي خمس عشرة عقدة (15-Node triangle Element) وست نقاط إجهاد (Stress or Gauss Points)، مثلث الشروط الحدودية للمسالة بأنها ممنوعة الحركة بالاتجاه الأفقي (Fixed for lateral) ومسموح بالحركة بالاتجاه العمودي (Allows vertical deformation). الشكل (1) يوضح شبكة العناصر المحددة لحالتي التربة قبل وبعد المعالجة موضحا عليها أيضا أبعاد طبقات التربة بالإضافة إلى الجلمود المستخدم، تم تسليط ثقل مقداره 110 kN/m^2 وهو ما محدد كأعلى ثقل يجب أن لا يتجاوزه البناء
المقرر إقامته على مساحة المنطقة المعالجة، حيث تم تسليط الثقل بشكل منتظم على طول المسافة المحددة وعلى مراحل.

النتائج والمناقشة

تم فحص قابلية تحمل طبقات التربة الطبيعية في المنطقة قبل إجراء عملية المعالجة بطريقة اختراق المخروط الهولندي ولنقطتين (BH1, BH2) والمحدد مواقعها عن الزاويتين المتقابلتين لمساحة الأرض المعالجة وبمسافات (y=4, x=4 m) للنقطة الأولى و(y=5, x=5 m) للنقطة الثانية عن زوايا مساحة الأرض المحددة وكانت نتائج الفحص وكما موضح في الشكل (2). تم إعادة فحص التربة بطريقة اختراق المخروط الهولندي بعد إجراء عملية المعالجة لتربة المنطقة باستخدام طريقة الحدل الديناميكي ولنفس النقاط التي تم فحصها قبل المعالجة تقريبا وذلك لمعرفة تأثير المعالجة بهذه الطريقة على خصائص طبقات التربة. استنادا لنتائج الفحص التي تم الحصول عليها يمكن تقسيم

المنطقة بشكل عام وحسب التغير في مقاومة الاختراق إلى ثلاث مناطق. المنطقة الأولى يبدأ من العمق 1.2 m

والمتمثل بمستوى الأرض بعد عملية الحدل والتي سينشأ عليها الأسس والى العمق 5.0 m، المنطقة الثانية ويبدأ من العمق 5.0m وحتى 8.6m ، أما المنطقة الثالثة يبدأ من العمق 8.6m وحتى 11.0 m. وقد أظهرت نتائج الفحص الحقلي والموضح في جدول رقم (2) إن المعدل العام لمقاومة

اختراق المخروط لكلا النقطتين قد زاد بشكل ملحوظ حيث زاد معدل النقطة الأولى من 2.96 MN/m^2 إلى 6.52 MN/m^2، أما معدل مقاومة اختراق النقطة الثانية فقد ازداد من 2.52 MN/m^2 إلى 5.3 MN/m^2 وبالتالي فهو يدل على تأثير عملية المعالجة.

وبالرجوع إلى نظام تقسيم المنطقة إلى ثلاثة مناطق يمكن ملاحظة إن التأثير الأعظم كان في المنطقة الأولى وقد يفسر ذلك لسبب قرب المنطقة من سطح الأرض وكونها تتعرض إلى أعلى إجهاد نتيجة أعمال المعالجة. أما المنطقة الثانية يمكن ملاحظة استقرار نسبي وربما نقصان لنتائج الفحص في حين كانت هنالك زيادة في نتائج فحوصات المنطقة الثالثة . قد يكون السبب اعتراض بعض الأحجار أو المناطق القوية للمخروط أثناء الفحص وكما موضح في الشكل (2).

وضح الشكل (3) نتائج قيم الهبوط المتوقعة لتربة المنطقة قبل وبعد إجراء عملية المعالجة. يلاحظ من الشكل ان مقدار قيم الهبوط المتوقعة كانت 170.5 mm قبل إجراء عملية المعالجة عند تسليط الثقل الكلي للمنشأ والذي قدر بـــ 110 kN/m^2 وهي قيمة عالية مقارنة بقيم الهبوط المسموح بها. كما ويلاحظ من الشكل (3) أيضا إن مقدار الهبوط المتوقع لحالة التربة بعد عملية المعالجة قلت إلى درجة كبيرة تكاد تكون غير مؤثرة وبأعلى قيمة لها وبمقدار 3.0 mm عند تسليط الثقل الكلي للمنشأ.

بين الشكل (4) تأثير المعالجة على قيمة الإجهاد العمودي الفعال المتولد داخل كتلة التربة نتيجة الثقل المسلط وبقيمة مقدارها 199.2 kN/m^2 قبل إجراء عملية المعالجة بينما قلت هذه القيمة إلى 93.0 kN/m^2 بعد إجراء عملية المعالجة. ان مقدار التحسن في خصائص التربة بعد إجراء عملية المعالجة قد تعود لمجموعة من العوامل منها: ان الجلمود المستخدم في عملية المعالجة تعد مادة ذات صلابة عالية مقارنة بتربة المنطقة التي هي تربة ذات تحمل قليل كما ان عملية الحدل قد أدى إلى زيادة كثافة التربة وبالتالي زيادة قابلية تحملها وتقيل قيم الهبوط المتوقعة.

الاستنتاجات

إن استخدام طريقة الحدل الديناميكي العميق مع استخدام حجر الجلمود حسنت من خصائص طبقات التربة المعالجة بصورة عامة حيث ازدادت قابلية تحمل التربة من 80 kN/m^2 إلى 110 kN/m^2 بعد المعالجة.

كما ان دراسة تأثير تحسين خصائص التربة على كل من قيم الاجهادات والهبوط المتوقعة بطريقة نظرية أظهرت أن هنالك تحسن في قابلية تحمل التربة ونقصان في قيم الهبوط المتوقعة للتربة.

المصادر

[1]. Mosa J. A., Bushra S. A., Azhar S. Y., (2011), " Bearing Capacity of Shallow Footing on Soft Clay Improved by Compacted FLYASH", Journal of Engineering, No. 6, Vol. 17, pp 1473- 1482.

[2]. Ambily A.P., Gandhi S.R. (2004), "Experimental and Theoretical Evaluation of Stone Column in Soft Clay", ICGGE, pp 201-206.

[3]. Pivarc, J., (2011), "Stone Columns Determination of the Soil Improvement Factor ", Slovak Journal of Civil Engineering, No. 3, Vol. XIX, pp 17-21>

[4]. Hussein H. K. , Mohammad M. M., (2009), " Soft Clay Soil Improvement Using Stone Columns and Dynamic Compaction Techniques", Eng. & Tech. Journal , Vol.27, No.14, pp 2546- 2565.

[5]. Brinkgreve RB, Vermeer PA (1998) "Plaxis-finite element code for soil and rocks analysis". Version 8.2 Rotterdam Brookfield, AA. Balkema.

[6] . Das, B. M. (2004), "Principles of Foundation Engineering", Books/Cole Publisher is a division of Thomoson Learing, Inc., Fifth Edition.

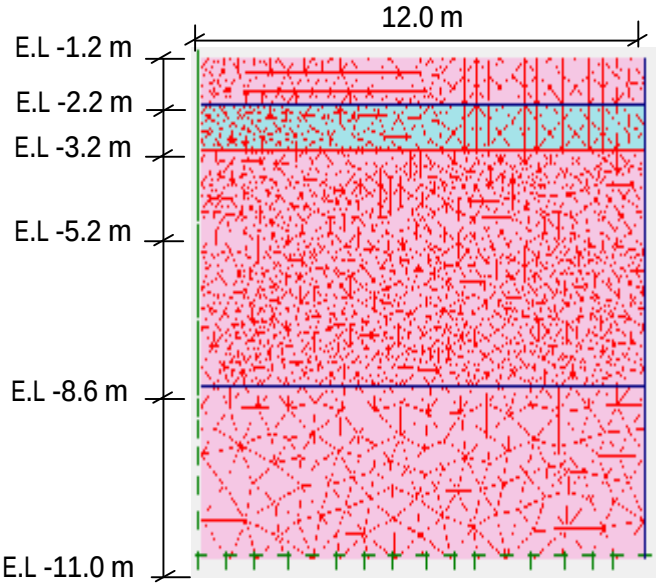
الجدول(1) خصائص طبقات التربة .

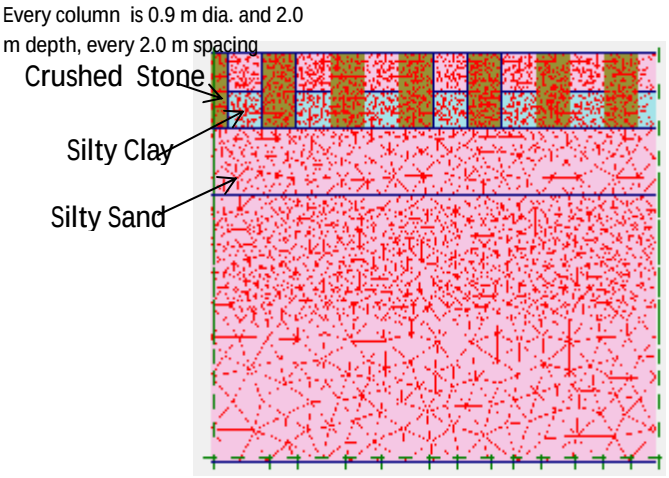
Parameter	Name	Unit	Value	Value	Value
			Silty clay*	Silty sand*	Crushed stone**
Soil unit weight	$g_{sat.}$	kN/m^3	19.4	18	16
Cohesion	c	kN/m^2	24	10	0
Angle of internal friction	ϕ	Deg.	10	20	43
■ Young's modulus	E	kN/m^2	2000	6000	55000
■ Increase of stiffness	$E_{inc.}$	$kN/m^2/m$	250	1180	-
■ Poisson's ratio	u	-	0.35	0.3	0.3

* خصائص طبقات التربة.

** الخصائص المتوقعة لحجر الجلمود المستخدم في المعالجة.

■ تم استخدام هذه القيم وحسب المصدر (Das, 2004) [6] لغرض التحليل العددي

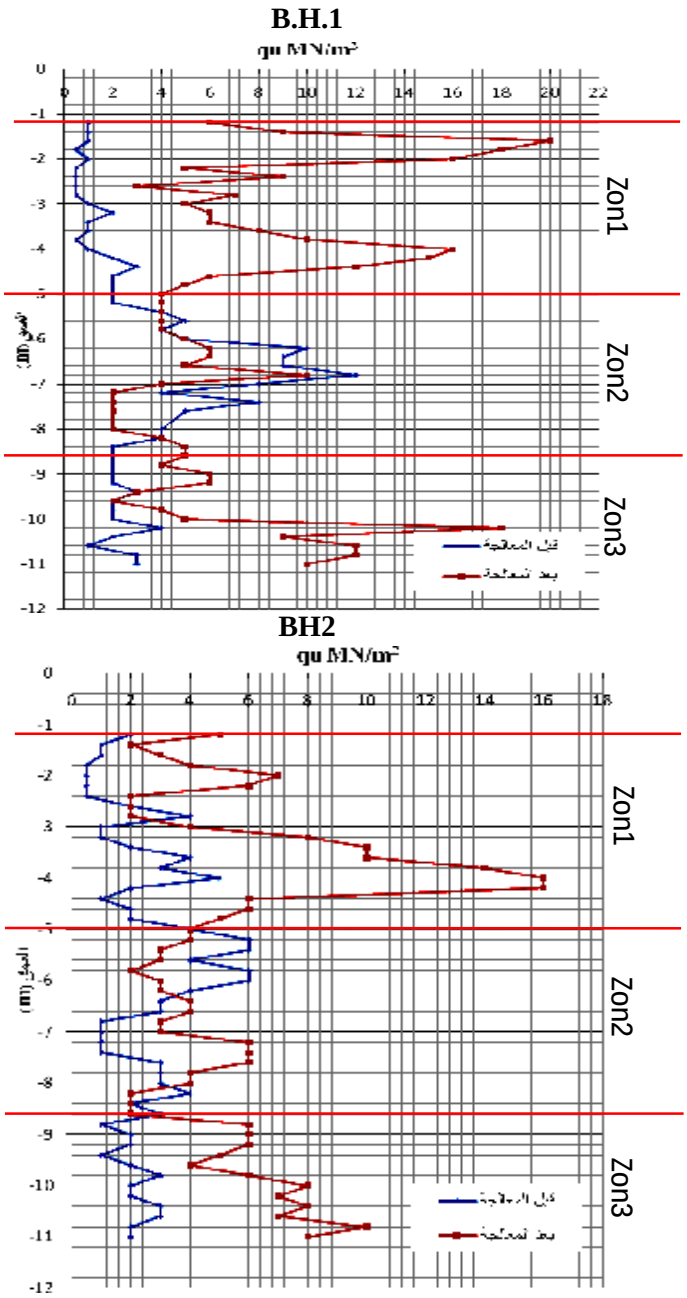




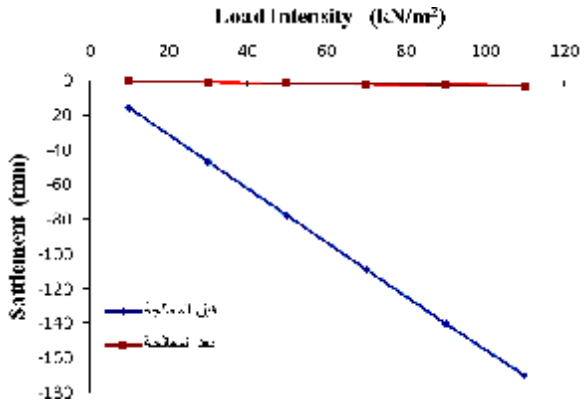
الشكل (1) مخطط شبكة العناصر المحددة للتربة للحالتين قبل وبعد المعالجة .

الجدول(2) نتائج فحص اختراق المخروط الهولندي قبل وبعد عملية المعالجة.

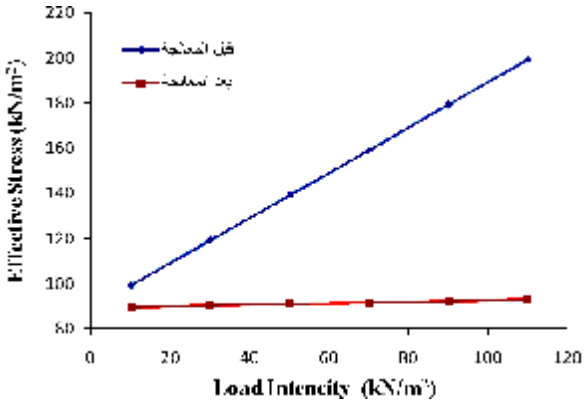
B.H NO.		1st Test MN/m^2	2nd Test MN/m^2
1	Total average	2.96	6.52
	Zone 1 average	1.20	8.35
	Zone 2 average	5.22	3.77
	Zone 3 average	2.43	7.07
2	Total average	2.52	5.30
	Zone 1 average	2.05	6.80
	Zone 2 average	3.50	3.72
	Zone 3 average	2.14	5.00



الشكل(2) فحص اختراق المخروط الهولندي قبل وبعد إجراء عملية المعالجة للموقعين BH1 و BH2 .



الشكل (3) العلاقة بين قيم الثقل المسلط وأعلى قيمة هبوط متوقعةفي التربة قبل وبعد المعالجة.



الشكل (4) العلاقة بين قيم الثقل المسلط والإجهاد الفعال الأعظم المتوقع في التربة قبل وبعد المعالجة.