دراسة تأثير إضافة الرمل البحري والاسمنت مع البنتونايت على مواصفات قص البنتونايت

الطالب: علي معين خضور_الدكتور المشرف: توفيق فياض + د. رامي العبده
كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين

∇ملخّص∇

تستخدم الأوتاد بشكل شائع لتدعيم هياكل المنشآت ذات الحمولات الكبيرة مثل المباني الشاهقة والجسور، وذلك بسبب استطاعتها العالية، وخواصها المرنة لتناسب ظروف التحميل المختلفة وظروف التربة. تقاوم الأوتاد الأحمال المطبقة عليها عن طريق الاحتكاك الجانبي للأوتاد مع التربة، والارتكاز في نهاية قدم الوتد. يستخدم البنتونايت لتثبيت جدران الحفر عند تنفيذ الأوتاد لمنع انهيار جوانب التربة الضعيفة أثناء الحفر، نظراً لخصائصه الانتفاخية العالية. عند صب الأوتاد يرتفع البنتونايت للأعلى بسبب كثافته المنخفضة والتي تكون أقل من كثافة بيتون الصب، ويستقر البيتون في الأسفل حتى الانتهاء من صب الأوتاد، وبعد ذلك يتبقى طبقة قشرة كتيمة لزجة وضعيفة الاحتكاك (filter cake) بسماكة صغيره حوالي (1mm - 5cm) حول جسم الوتد، هذه الطبقة تسبب انخفاض قدرة تحمل الأوتاد على الاحتكاك لحوالي (10%–30%)، نتيجةً للزوجة البنتونايت. هذه الدراسة تشمل تحسين مواصفات البنتونايت على القص (زاوية الاحتكاك والتماسك)، بإضافة نسب مختلفة من الرمل البحري والاسمنت مع البنتونايت، مع إجراء عدد من التجارب المخبرية لتحديد خواص البنتونايت المعالج بنسب الإضافات المختلفة من المادتين، للحصول على أفضل نسبة إضافة من الرمل البحري ومن الاسمنت، تحسن مواصفات القص للبنتونايت وتحافظ على قابلية تشغيل البنتونايت المصري.

الكلمات المفتاحية: البنتونايت – الرمل البحري – الاسمنت – التماسك – زاوية الاحتكاك – اللزوجة – درجة الانتفاخ.

Study of the effect of adding marine sand and cement with bentonite on bentonite shearing properties

∇ ABSTRACT ∇

Piles are commonly used to support heavy structures such as high-buildings and bridges. This is due to its high capacity and flexibility for different loading cases. Piles transfer the applied loads to the ground via lateral friction along the pile. During excavation of borehole, bentonite is used to support the wall of the borehole and to avoid soil collapse constructed, due to its high swelling property. When the piles are poured the bentonite rises due to the lower density and the concrete settles at the bottom of the hole. A viscous and weakly frictionless layer with a small thickness of (filter cake) layer around the pile body, which causes a decrease in the friction bearing capacity of the piles, because of the viscosity of bentonite. This study includes improving the properties of bentonite on shear, by adding different percentages of marine sand, and cement with bentonite, by conducting a number of laboratory experiments to determine the properties of bentonite treated with different percentages of additives from the two materials, to obtain the best addition ratio of marine sand and cement, improve the shear properties of bentonite and maintain the workability of Egyptian bentonite.

Keywords: Bentonite – Marine sand – Cement – Cohencion – Friction angle – Viscosity – Degree of swelling.

1.مقدمة:

نتيجةً للنمو السكاني المتزايد في العقود الأخيرة، زادت رغبة السكان للعيش في الأبنية المرتفعة ذات الحمولات الكبيرة. لذلك تم استخدام الأوتاد كأساسات عميقة لهذه المنشآت الهندسية، وذلك بسبب استطاعتها العالية، ومرونتها لتناسب ظروف التحميل المختلفة وظروف التربة. يتم استخدام البنتونايت في تطبيقات الهندسة الجيوتكنيكية، نظراً لخصائصة الريولوجية الفريدة، حيث يستخدم البنتونايت لتثبيت جدران الحفر عند تنفيذ الأوتاد، لمنع انهيار جوانب التربة أثناء الحفر. عند صب الأوتاد يرتفع البنتونايت للأعلى بسبب كثافته المنخفضة والتي تكون أقل من كثافة بيتون الصب، ويستقر البيتون في الأسفل، وبعد ذلك يتبقى طبقة قشرة كتيمة لزجة وذات نفاذية منخفضة (filter cake) بسماكة صغيره على محيط جسم الوتد المصبوب، هذه الطبقة تقلل من احتكاك التربة على جوانب الوتد (Hashemzadeh and Hajidavalloo, 2016).

2.أهمية البحث وأهدافه:

– العمل على تحسين خواص البنتونايت (المقاومة على القص) باستخدام نسب إضافات مختلفة من (الرمل البحري المحلي أو الاسمنت مع البنتونايت)، وإجراء عدد من التجارب المخبرية لتحديد خواص القص للبنتونايت المعالج عند كل نسبة إضافة.

*تحليل ومناقشة النتائج والحصول على نسبة الإضافة الأمثل من المادتين مع البنتونايت، والتي تحسن خواص القص للبنتونايت مخبرياً (التماسك وزاوية الاحتكاك)، وتوفر كمية البنتونايت المستخدم في الحقل مما يقلل الكلفة الاقتصادية لاستخدام البنتونايت، مع مراعات معايير (اللزوجة ودرجة الانتفاخ) للمحافظة على قابلية تشغيل البنتونايت المعالج.

3.منهجية البحث:

يعتمد البحث على المنهج التجريبي من خلال مراحل البحث التالية:

2– إجراء عدد من التجارب المخبرية لدراسة خواص البنتونايت المصري المستخدم (التماسك، زاوية الاحتكاك، حدود أتربرغ، الانتفاخ الحر، اللزوجة، الوزن النوعي، الوزن الحجمي).

3- إجراء عدة تجارب مخبرية لتحديد خواص الرمل البحري المحلي المضاف إلى البنتونايت المصري (التماسك، زاوية الاحتكاك، الوزن النوعي، الوزن الحجمي).

4- إجراء عدة تجارب مخبرية، لتحديد خواص البنتونايت المعالج بنسب إضافات مختلفة من الرمل البحري مع البنتونايت (5% ،10% ،15% ،20%، 25%، 30%)، والإسمنت مع البنتونايت (1% ،2%، 3%، 4%، 5%)، حيث تجرى تجربة (القص المباشر، اللزوجة، الانتفاخ الحر).

5- إظهار تأثير نسب الإضافات المختلفة من المادتين على خواص البنتونايت، وتحديد نسبة الإضافة الأمثل من المادتين والتي تحسن خواص البنتونايت على الاحتكاك وتحافظ على قابلية تشغيلة (اللزوجة (30-90) ودرجة الانتفاخ (100%<)).

4. الدراسة المخبرية:

1.4. مواصفات البنتونايت والرمل البحري المضاف:

استخدم في هذه الدراسة البنتونايت المصري نوع (Bentonite OCMA – DFCP- 4).

-تم اعتماد نسبة الماء المضاف للبنتونايت خمس أضعاف البنتونايت وفق (Darveshi et al, 2019)، وهذه النسبة هي النسبة المستخدمة للبنتونايت الحقلي.

تم إجراء عدد من التجارب المخبرية لتحديد خواص البنتونايت المصري والرمل البحري المضاف وفق الجدول التالي:

الجدول (1) مواصفات البنتونايت والرمل البحري المضاف.

نوع المادة	التماسك (Kpa)	زاوية الاحتكاك	اللزوجة	درجة الانتفاخ %	الوزن الحجمي للرمل المضاف Xbs (Kn/m3)	الوزن الحجمي للبنتونايت الحقلي Xf(Kn/m3)	الوزن الحجمي لمسحوق البنتونايت Xb(Kn/m3)	الوزن النوعي Gs	حد السيولة Ll	حد اللدونة Pi	حد الانكاش الحجمي Slv
البنتونايت المصري	1.72	1.1	45.3	191.7	-	11.1	10.5	2.29	318.5	57	24.9
الرمل البحري المضاف	0.009	41.7	-	-	14.9	-	-	2.67	-	-	-

2.4. اشتراطات القص والخلط:

–من أجل إجراء تجربة القص للبنتونايت، تم في المخبر خلط مسحوق البنتونايت في الحالة الجافة مع خمس أضعاف ماء في الخلاط الكهربائي، على سرعة

(40 دورة/الدقيقة) لمدة نصف ساعة حتى تجمد البنتونايت قليلاً،

ثم يخلط لمدة نصف ساعة أخرى بسرعة(60 دورة/الدقيقة) حتى يتشرَب البنتونايت الماء بشكل جيد، فيصبح قوام البنتونايت جيلي، ويترك للتخمر 24 ساعة على الأقل وعند الاستخدام يتم خلطة لمدة ربع ساعة بنفس آخر سرعة

.(Iravanian and Bilsel, 2016)

–لتشكيل عينات البنتونايت المعالج تم الاستعانة بالإرشادات الواردة في

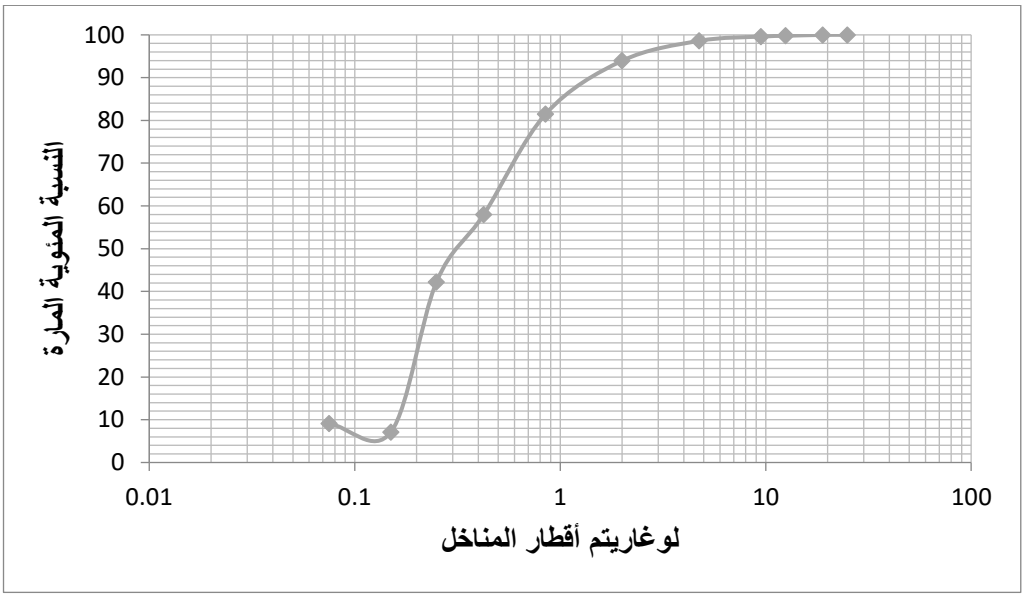
(ASTM D 2435, 1996)، يتم إضافة الرمل البحري إلى مسحوق البنتونايت في الحالة الجافة ويخلط المزيج الجاف جيداً، بعد ذلك يوضع الماء المقطر في وعاء الخلاط بنسبة خمس أضعاف البنتونايت، مع تشغيل الخلاط بسرعة دوران منخفضة ليضاف المزيج على دفعات، مع التحريك لمنع تكتل المزيج والتصاقة بجوانب الوعاء

.(Srikanth and Mishra, 2016)

– تم إجراء تجربة القص المباشر البطيء باتجاه واحد على البنتونايت عند اجهادات بين (5-75)) Kpa) ومعدل سرعة القص (1mm/min) وطول شوط القص(5mm) [9] .(Domitrović and Kovačević, 2013)

–تم استخدام الرمل البحري من موقع الصنوبر في مدينة جبلة، تم غسل الرمل على المنخل (N200) ثم جفف ونخل على المنخل (N10) وفق الإرشادات الواردة في .(ASTM D 422–63, 2007)

-أجريت تجربة التحليل الحبي للرمل المضاف من أجل إظهار التدرج الحبي وفق الشكل التالي:



الشكل [1] – منحني التحليل الحبي للرمل البحري المضاف.

الجدول (2) – قيم معاملات التحليل الحبي للرمل البحري المضاف.

عامل التجانس ($C_u=d_{60}/d_{10}$)	4.70
عامل الانحناء ($C_z=(d30^2)/(d_{10}*d_{60})$)	0.21
رمل سيئ التدرج الحبي $C_u<6$ and $1>C_z>3$	

-إن خصائص العينات المختبرة، تم الحصول عليها بعد إجراء عدة تجارب للبنتونايت مع وبدون إضافات، واعتماد النتائج الوسطية للدراسة.

3.4. خصائص القص للبنتونايت مع الإضافات:

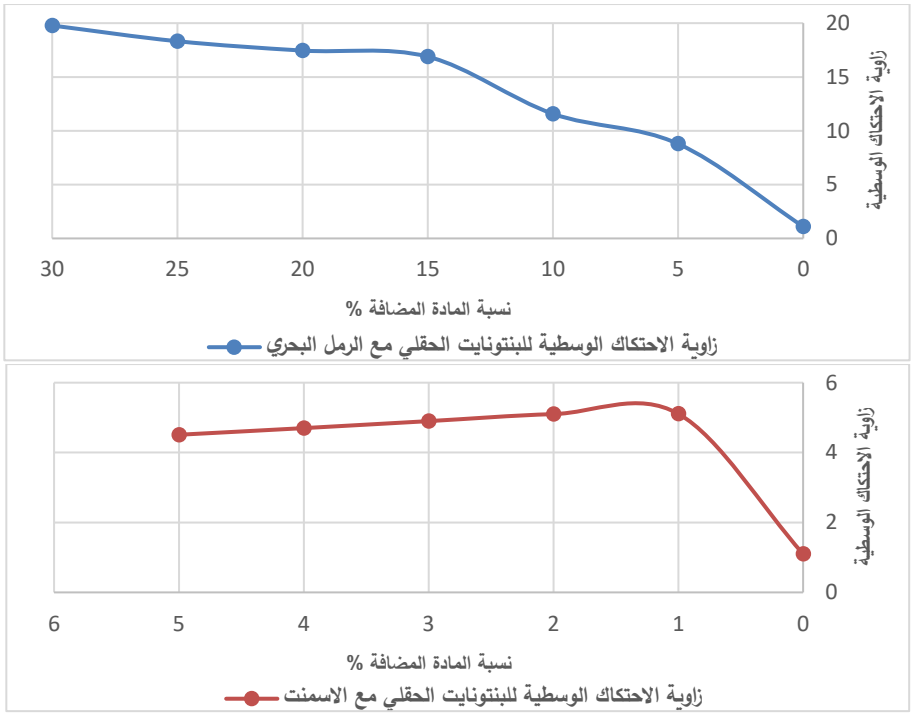
تم إضافة الرمل البحري مع البنتونايت، والاسمنت مع البنتونايت بنسب إضافات مختلفة، مع إضافة المياه المقطرة بنسبة خمسة أضعاف البنتونايت كما ذكر سابقاً، وأجريت تجربة القص المباشر على عينات البنتونايت الحقلي المضاف، تظهر نتائج القص في الجدولين (3)(4).

الجدول (3) – مواصفات القص للبنتونايت مع إضافات الرمل.

نوع المادة	البنتونايت الحقلي (مع500% ماء)	البنتونايت المصري مع الرمل البحري						الرمل البحري المضاف	الرمل البحري الطبيعي
التماسك الوسطي (Kpa)	1.72	1.87	2	1.94	1.77	1.64	1.67	0.009	0.01
زاوية الاحتكاك الوسطية (0)	1.1	8.79	11.58	16.89	17.45	18.32	19.78	41.7	41
نسبة الرمل البحري المضاف (%)	0	5	10	15	20	25	30	100	100

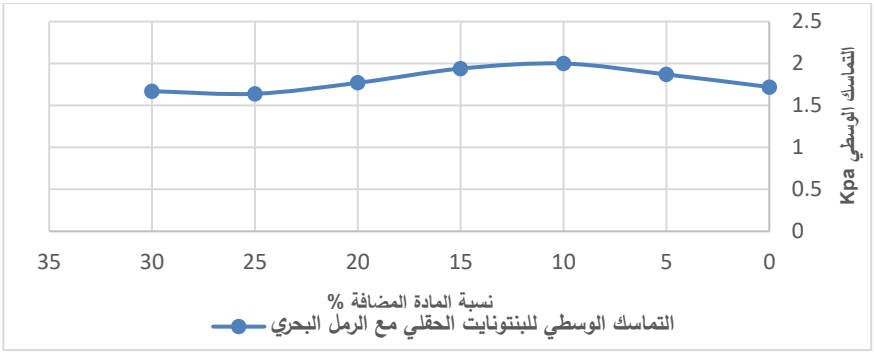
الجدول (4) – مواصفات القص للبنتونايت مع إضافات الاسمنت.

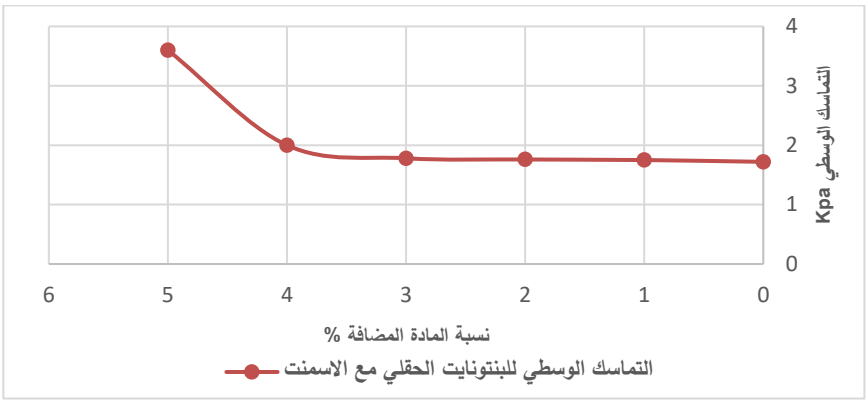
نوع المادة	البنتونايت الحقلي	البنتونايت المصري مع الاسمنت				
التماسك الوسطي (Kpa)	1.72	1.75	1.76	1.78	2	3.6
زاوية الاحتكاك الوسطية (0)	1.1	5.11	5.1	4.9	4.7	4.51
نسبة الاسمنت المضاف (%)	0	1	2	3	4	5



الشكل [2] – العلاقة بين زاوية الاحتكاك الوسطية للبنتونايت المعالج مع نسب إضافة الاسمنت والرمل.

نلاحظ من الشكل [2] زيادة زاوية احتكاك البنتونايت بشكل طردي مع زيادة نسبة الرمل البحري المضاف وهذا يوافق(Gueddouda et al, 2008) ، حيث يزداد احتكاك البنتونايت بمقدار (87.5%) عند إضافة (5%) رمل، كما يزداد احتكاك البنتونايت بمقدار (90.5%) عند إضافة (10%) رمل. بينما تزداد زاوية احتكاك البنتونايت مع زيادة نسبة الاسمنت المضاف، حيث يزداد احتكاك البنتونايت بمقدار (78.5%) عند إضافة (1%) اسمنت، كما يزداد احتكاك البنتونايت بمقدار (78.4%) عند إضافة (2%) اسمنت، ويعود الاحتكاك للتناقص بعد هذه النسبة.





الشكل [3] – العلاقة بين التماسك الوسطية للبنتونايت المعالج مع نسب إضافة الاسمنت والرمل.

يبين الشكل [3] زيادة تماسك البنتونايت مع إضافة الرمل البحري نتيجة لحصول اكتناز وتقارب لحبيبات الرمل الخشن مع حبيبات البنتونايت الناعم [13]، ليعود للانخفاض بعد النسبة (15%)، حيث يزداد تماسك البنتونايت (8.02%) عند إضافة (5%) رمل، ويزداد التماسك بمقدار (14%) عند إضافة (10%) رمل، حيث عند نسبة الإضافة (10%) رمل تكون أعلى نسبة زيادة للتماسك.

كما يبين الشكل السابق زيادة تماسك البنتونايت بشكل ضئيل مع إضافة الاسمنت، وهذا يتوافق مع (Santhoshkumar et al, 2016)، وتكون الزيادة تتراوح بين (1.7%-3.4%) بين النسب {(1،2،3) %}، ويزداد التماسك بمقدار (14%) عند النسبة (4%) اسمنت، بينما يصل لأكبر زيادة وقدرها (52.2%) عند النسبة (5%) اسمنت.

-إن لزوجة البنتونايت يجب أن تتراوح بين (30-90) وفق

.(Hutchinson et al, 1975)

-كما تم إجراء تجربة الانتفاخ الحر على عينات البنتونايت مع نسب الإضافات المختلفة.

-إن درجة انتفاخ البنتونايت يجب أن تكون (% 100<) [12].

-تظهر نتائج تجربة اللزوجة والانتفاخ الحر على عينات البنتونايت المعالج بنسب الإضافات المختلفة من الرمل البحري والاسمنت وفق الجداول التالية:

الجدول (5) نتائج تجربة اللزوجة والانتفاخ الحر للبنتونايت المعالج بنسب مختلفة من الرمل البحري.

لزوجة البنتونايت المعالج بالرمل البحري	45.3	37	34.5	27	23.5	22.7	16.7
نسبة انتفاخ البنتونايت المعالج بالرمل البحري %	191.7	167.4	157.9	147	138.6	124.4	119.3
نسبة الرمل البحري المضاف %	0	5	10	15	20	25	30

-نلاحظ من الجدول (5) أن جميع نسب الإضافات للرمل البحري مع البنتونايت تحقق درجة انتفاخ عالية، لكن النسبتين (5% و10%) تحققان معيار اللزوجة (30<).

الجدول (6) نتائج تجربة اللزوجة والانتفاخ الحر للبنتونايت المعالج بنسب مختلفة من الاسمنت.

لزوجة البنتونايت المعالج بالإسمنت	45.3	33.17	32	31.6	19	17
نسبة انتفاخ البنتونايت المعالج بالإسمنت %	191.7	151.3	146	140	134.8	116.3
نسبة الاسمنت المضاف %	0	1	2	3	4	5

–نلاحظ من الجدول (6) أن جميع نسب الإضافات للإسمنت مع البنتونايت تحقق درجة انتفاخ عالية، لكن النسبتين (2% و1%) تحققان معيار اللزوجة (30<)، بينما تنخفض لزوجة البنتونايت بعد هذه النسبتين بسبب التأثير الكيميائي للتفاعل بين الاسمنت والبنتونايت الذي يضعف قوام البنتونايت ويخفض لزوجتة بشكل كبير ليقترب سلوك البنتونايت من سلوك الماء [12].

5.الاستنتاجات والتوصيات:

5.1. نتائج البحث (Research Results):

1– تزداد زاوية احتكاك البنتونايت بشكل خطي مع زيادة نسبة الرمل البحري المضاف إلى البنتونايت، وتكون أكبر زيادة للاحتكاك (90.5%) عند النسبة (10%) ،رمل بينما يزداد تماسك البنتونايت بشكل خطي حتى نسبة (10%) رمل وتكون أعلى نسبة زيادة للتماسك وقدرها (14%)، وينخفض التماسك بعد هذه النسبة.

2– تزداد زاوية احتكاك البنتونايت بشكل كبير مع زيادة نسبة الاسمنت إلى البنتونايت، وتكون أكبر نسبة زيادة (78.5%) عند النسبة (1%) اسمنت، بينما تكون نسبة زيادة الاحتكاك (78.4%) عند (2%) اسمنت، بينما يزداد تماسك البنتونايت بشكل ضئيل مع زيادة نسبة الاسمنت المضاف إلى البنتونايت، وتكون أعلى زيادة قدرها (52.2%) عند النسبة (5%) من الاسمنت.

3– يحافظ البنتونايت على قابلية تشغيلة عند إضافة النسبتين (5% و10%) من الرمل البحري، وتكون نسبة إضافة (10%) من الرمل البحري هي النسبة المثالية بسبب زيادة مواصفات قص البنتونايت مخبرياً وانخفاض الكلفة الاقتصادية للبنتونايت.

4– يحافظ البنتونايت على قابلية تشغيلة عند إضافة النسبتين (2% و1%) من الاسمنت، وتكون نسبة إضافة (2%) من الاسمنت هي النسبة المثالية بسبب زيادة مواصفات قص البنتونايت مخبرياً وانخفاض الكلفة الاقتصادية للبنتونايت.

5.2. التوصيات والأبحاث المستقبلية (Recommendation):

1- يوصى بإعطاء اهتمام أكبر لتحسين مواصفات البنتونايت والطبقة الرقيقة من البنتونايت المتشكلة حول الوتد، من خلال استخدام إضافات أخرى تحسن مواصفات القص وتحافظ على قابلية التشغيل للبنتونايت.

2- يوصى بإجراء مزيد من التجارب على البنتونايت المعالج بالإسمنت والرمل، مثل: (حدود أتربرغ، الانتفاخ الحر، التشديد وغير ذلك) من أجل دراسة أوسع لتأثير نسب الإضافات المختلفة من الرمل والاسمنت على خصائص البنتونايت.

3- يوصى بإجراء دراسة تجريبية لتحسين خواص البنتونايت باستخدم الاسمنت والرمل معاً، للوصول لأفضل نسبة مثالية تحقق قابلية التشغيل ومقاومة احتكاك عالية وتقلل الكلفة الاقتصادية.

4- يوصى بإجراء دراسة عددية لتأثير تغيير (سماكة ومواصفات) طبقة البنتونايت حول الوتد على مقاومة احتكاك الوتد المنفذ مع بنتونايت، بسبب قلت الدراسات المرجعية المتضمنة هذه البارامترات باستخدام نمذجة (3D)، ومقارنة النتائج مع الدراسة التجريبية، للحصول على النسب الأفضل من المادتين اللتان تعطيان أفضل قابلية تشغيل وأكبر مقاومة احتكاك للوتد.

المراجع (References):

1. American Society for Testing and Materials (ASTM), (2007), "*Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compression Load*", D1143/D1143M.

2. ASTM D 2435. "*standard test method for one-dimensional consolidation properties of soils*". American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, (1996).

3. ASTM D 422–63. "*Standard test method for particle-size analysis of soils*". American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, (2007).

4. Hashemzadeh. M, S and Hajidavalloo. E, "*Numerical investigation of filter cake formation during concentric eccentric drilling*", (2016). Department of Mechanical Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz 61355, Iran, Journal of Petroleum Science and Engineering 145 (2016) 161–167.

5. Hutchinson, M.T., Daw, G.P., Shotton, P.G., and James, A.N. "*The Properties of Bentonite Slurries Used in Diaphragm Walling and their Control*". Diaphragm Walls and Anchorages. London, England, (1975).

6. Iravanian. A and Bilsel. H, "*Tensile Strength Properties of Sand-bentonite Mixtures Enhanced with Cement*", (2016). Near East University, Nicosia, Mersin10, Turkey. Cyprus. International University, Nicosia, Mersin10, Turkey. Volume 143, 2016, Pages 111–118.

7. Darvishi. A., Vosoughifar. H., Saeidijam. S., Torabi. M and Rahmani. A, " *An experimental and prediction study on the compaction and swell–expansion behavior of bentonite clay*

containing various percentages of two different synthetic fibers", (2019), Geotechnical Engineer, Istanbul Technical University, ITU, Ayazağa Campus, Maslak, Istanbul 34469, Turkey.

8. Domitrović. D and Kovačević. Z, B, " *The relationship between swelling and shear strength properties of bentonites*", (2013). University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb, Croatia.

9. Gueddouda, M., Lamara, M., Aboubaker, N and Taibi, S. "*Hydraulic conductivity and shear strength of dune sand–bentonite mixtures*". Electron J Geotech Eng 13, (2008),1–15.

10. Santhoshkumar, G. T., B. M. Abraham, M. B., Sridharan. A and Jose, T. B, "*Role of Bentonite in Improving the Efficiency of Cement Grouting in Coarse Sand*", Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA Vol. 47 No. 3 September 2016 ISSN 0046-5828 Principal, JBCMET, JB Campus, Kochi-683556, 2Prof. of Civil Engineering, CUSAT Kochi – 22, 3 Sr.

11. Srikanth, V and Mishra, K. A. "*A Laboratory Study on the Geotechnical Characteristics of Sand–Bentonite Mixtures and the Role of Particle Size of Sand*". Int. J. of Geosynth. and Ground Eng, Springer International Publishing, Switzerland, (19 January 2016).