Study of the Effect of Adding Marine Sand with Bentonite on the Egyptian Bentonite Properties

Dr. Tawfik Fayyad*
Dr. Rami al-Abdah**
Ali Moueen Khaddour***

(Received 5 / 7 / 2022. Accepted 7 / 11 / 2022)

□ ABSTRACT □

Piles are used as deep foundations for high- rise building structure, the pile transfer the applied loads to the soil by lateral friction of the piles with the soil and the anchorage at the end of the pile foot. During excavation of borehole, bentonite is used to support the wall of the borehole and to avoid soil collapse in the borehole, 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 of (filter cake) around the pile body, which causes a decrease in the friction bearing capacity of the piles, because of viscosity of bentonite. This study includes study the effect of adding Marine sand to bentonite rates different on properties bentonite Egyptian (Atterberg limits –Volumetric weight – Specific weight – Shear– Odometric modulus of elasticity – Viscosity – Degree of swelling), by conducting a number of laboratory experiments on bentonite treated with sand at each addition ratio and approving the average results, to obtain the best addition ratio of marine sand, improve the shear properties and modulus of elasticity of bentonite and maintain the workability of Egyptian bentonite.

Keywords: Bentonite – Marine sand – Atterberg limits –Volumetric weight – Specific weight – Shear– Odometric modulus of elasticity –Viscosity – Degree of swelling.

* **Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.**
** **Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.**
*** **Postgraduate Student (Ph.D.), Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University. Latakia, Syria.**

دراسة تأثير إضافة الرمل البحري مع البنتونايت على خصائص البنتونايت المصري

د. توفيق فياض*

د. رامي العبده**

علي معين خضور***

(تاريخ الإيداع 5 / 7 / 2022. قُبِل للنشر في 7/ 11 / 2022)

□ ملخّص □

تستخدم الأوتاد كأساسات عميقة لهياكل المباني الشاهقة، تنقل الأوتاد الأحمال المطبقة إلى التربة 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 وضعيفة الاحتكاك (filter cake) من البنتونايت حول جسم الوتد، هذه الطبقة تسبب انخفاض قدرة تحمل الأوتاد على الاحتكاك نتيجةً للزوجة البنتونايت. هذه الدراسة تشمل دراسة تأثير إضافة الرمل البحري إلى البنتونايت بنسب مختلفة، على خصائص البنتونايت المصري (حدود أتربرغ، القص، الوزن الحجمي، الوزن النوعي، معامل المرونة الأدومتري، درجة الانتفاخ واللزوجة)، من خلال إجراء عدد من التجارب المخبرية على البنتونايت المعالج بالرمل عند كل نسبة إضافة ، واعتماد النتائج الوسطية، للحصول على أفضل نسبة إضافة من الرمل البحري، تحسن مواصفات القص ومعامل مرونة البنتونايت وتحافظ على قابلية تشغيل البنتونايت المصري (اللزوجة (30–90)، درجة الانتفاخ (100%<)).

الكلمات المفتاحية: البنتونايت – الرمل البحري – حدود أتربرغ – الوزن الحجمي –الوزن النوعي – القص –معامل المرونة الأدومتري – اللزوجة – درجة الانتفاخ.

* أستاذ – قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
toufikabdoulahfayad@tishreen.edu.sy

** مدرس – قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
Ramialabdeh@gmail.com

***طالب دراسات عليا (دكتوراه) – قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
AliMoenKhddour94@tishreen.edu.sy

مقدمة:

تستخدم الأوتاد بشكل شائع كأساسات عميقة للمنشآت الهندسية، وذلك بسبب استطاعتها العالية، ومرونتها لتناسب ظروف التحميل المختلفة وظروف التربة. بعض أنواع الترب الضعيفة لا يمكن الحفر فيها لتنفيذ الأوتاد المصبوبة في الموقع، بسبب انهيار جوانب الحفرية وعدم استقرارها، لذلك يتم استخدام البنتونايت أثناء صب الأوتاد، بسبب خصائصه الانتفاخية العالية التي تحافظ على استقرار جوانب الحفرية، وبسبب خواصة الكتيمة حيث يسد الفراغات ويمنع تسرب البيتون المصبوب لخارج الحفرية. 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 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)

أهمية البحث وأهدافه:

– العمل على تحسين خواص البنتونايت (المقاومة على القص، معامل المرونة) باستخدام نسب إضافات مختلفة من الرمل البحري المحلي مع البنتونايت.

–دراسة تأثير إضافة الرمل البحري مع البنتونايت على خصائص البنتونايت، من خلال إجراء عدد من التجارب المخبرية لتحديد خواص البنتونايت المعالج عند كل نسبة إضافة.

*تحليل ومناقشة النتائج والحصول على نسبة الإضافة الأمثل من الرمل مع البنتونايت، والتي تحسن خواص القص للبنتونايت مخبرياً (التماسك وزاوية الاحتكاك)، وترفع معامل مرونة البنتونايت، مما يقلل الكلفة الاقتصادية لاستخدام البنتونايت، مع مراعات معايير (اللزوجة ودرجة الانتفاخ) للمحافظة على قابلية تشغيل البنتونايت المعالج.

طرائق البحث ومواده:

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 نفس التجارب المخبرية المستخدمة للبنتونايت، لتحديد خواص البنتونايت المعالج بنسب إضافات مختلفة من الرمل البحري مع البنتونايت (5% ،10% ،15% ،20%، 25%، 30%).

5– إظهار تأثير نسب الإضافات المختلفة من الرمل البحري على خواص البنتونايت، وتحديد نسبة الإضافة الأمثل من الرمل، والتي تحسن مواصفات قص البنتونايت وترفع معامل مرونته، وتحافظ على قابلية تشغيلة (اللزوجة (30-90) ودرجة الانتفاخ (100%<)).

1. الدراسة المخبرية:

1.1. مواصفات البنتونايت والرمل البحري المضاف:

استخدم في هذه الدراسة البنتونايت المصري نوع (Bentonite OCMA – DFCP- 4). 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 γbs (Kn/m3)	الوزن الحجمي للبنتونايت الحقلي γf(Kn/m3)	الوزن الحجمي لمسحوق البنتونايت (Kn/m3)γb	معامل المرونة الأدومتري (Kpa)	الوزن النوعي Gs	حد السيولة Ll	حد اللدونة Pi	حد الانكماش الحجمي Slv
البنتونايت المصري	1.72	1.1	45.3	191.7	-	11.1	10.5	51.96	2.29	318.5	57	24.9
الرمل البحري المضاف	0.009	41.7	-	-	14.9	-	-	22573.85	2.67	-	-	-

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

–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)، يضاف الرمل البحري إلى مسحوق البنتونايت في الحالة الجافة ويخلط جيداً، ثم يضاف الماء إلى الخليط بنسبة خمس أضعاف ويخلط في الخلاط الكهربائي [14] (Srikanth and Mishra, 2016).

2.1. مواصفات القص:

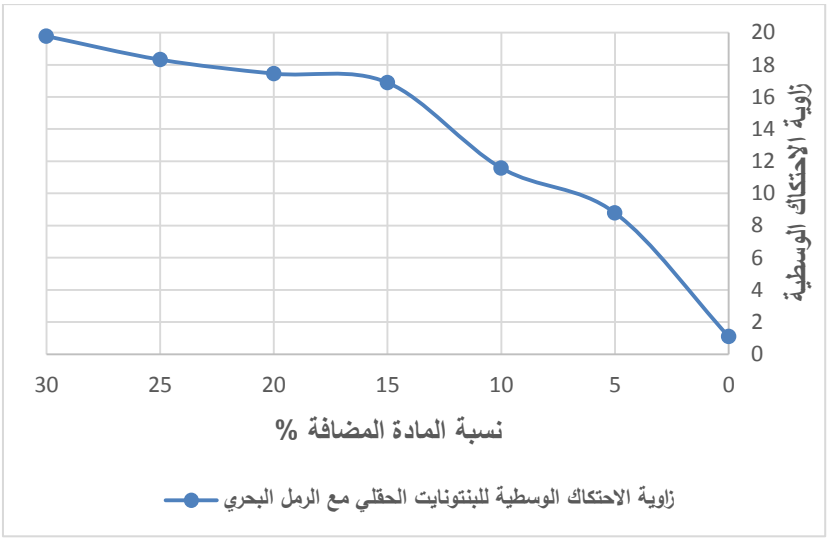
–من أجل إجراء تجربة القص للبنتونايت، تم في المخبر خلط مسحوق البنتونايت مع خمس أضعاف ماء في الخلاط الكهربائي، على سرعة(40 دورة/الدقيقة) لمدة نصف ساعة حتى تجمد البنتونايت قليلاً،
و(60 دورة/الدقيقة) لمدة نصف ساعة حتى يتشرَب البنتونايت الماء بشكل جيد، فيصبح قوام البنتونايت جيلي، ويترك للتخمر 24 ساعة على الأقل وعند الاستخدام يتم خلطة لمدة ربع ساعة بنفس آخر سرعة.

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

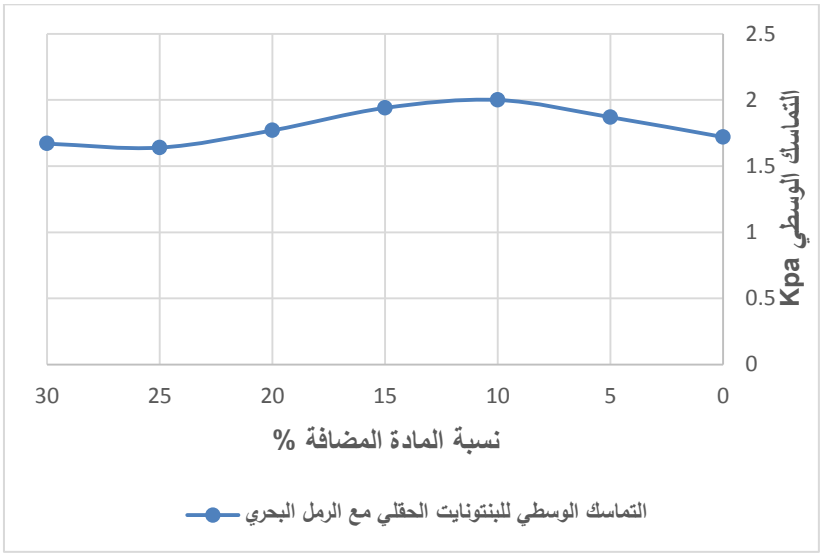
تظهر مواصفات القص للبنتونايت مع الإضافات في الجدول والشكل التاليين:

الجدول (2) – مواصفات القص للبنتونايت مع إضافات الرمل.

نوع المادة	البنتونايت الحقلي	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



الشكل [1] – العلاقة بين زاوية الاحتكاك الوسطية للبنتونايت مع نسب مختلفة من الرمل البحري.



الشكل [2] – العلاقة بين التماسك الوسطي للبنتونايت مع نسب مختلفة من الرمل البحري.

نلاحظ من الشكل [1] زيادة زاوية احتكاك البنتونايت بشكل طردي مع زيادة نسبة الرمل البحري المضاف، حيث يزداد احتكاك البنتونايت بمقدار (87.5%) عند إضافة (5%) رمل (Gueddouda et al, 2008).

يبين الشكل [2] زيادة تماسك البنتونايت بشكل متفاوت مع إضافة الرمل البحري نتيجة لحصول اكتناز وتقارب لحبيبات الرمل الخشن مع حبيبات البنتونايت الناعم [13]، ليعود للانخفاض بعد النسبة (20%)، حيث يزداد تماسك البنتونايت (8.02%) عند إضافة (5%) رمل، ويزداد التماسك بمقدار (14%) عند إضافة (10%) رمل.

3.1. حدود أتربرغ:

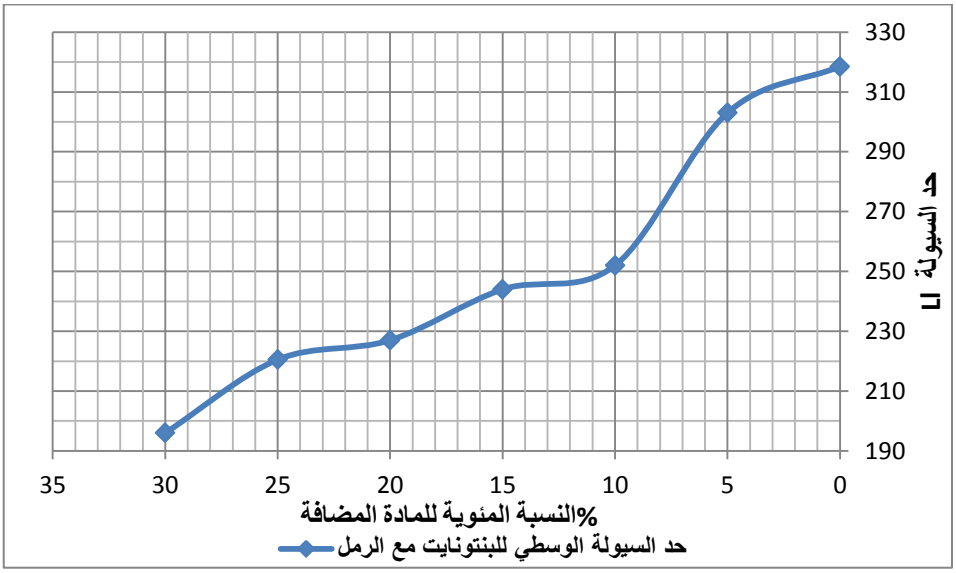
تم إجراء عدة تجارب مخبرية لكل نسبة إضافة مع البنتونايت للحصول على حدود أتربرغ للبنتونايت مع وبدون إضافات (حد السيولة(Ll)، حد اللدونة(PL) والانكماش الحجمي(SI_v)) وتم اعتماد القيم الوسطية لنتائج التجارب. وفق الإرشادات الواردة في (ASTM D 4318 (2000)).

-لم يتم حساب حد الانكماش للبنتونايت مع وبدون إضافات بواسطة الانكماش الطولي، بسبب حدوث انكماش طولي وعرضي في العينات بعد تجفيفها في الفرن، لذلك تم اللجوء إلى حساب حد الانكماش بطريقة الانكماش الحجمي، بالاستعانة بعلب الرطوبة الاسطوانية.

-تظهر نتائج حدود أتربرغ في الجداول والأشكال التالية:

الجدول (3) – قيم حد السيولة للبنتونايت مع نسب مختلفة من الرمل.

حد السيولة الوسطي للبنتونايت مع الرمل	318.5	303	252	244	227	220.5	196
نسبة الرمل البحري المضاف للبنتونايت %	0	5	10	15	20	25	30

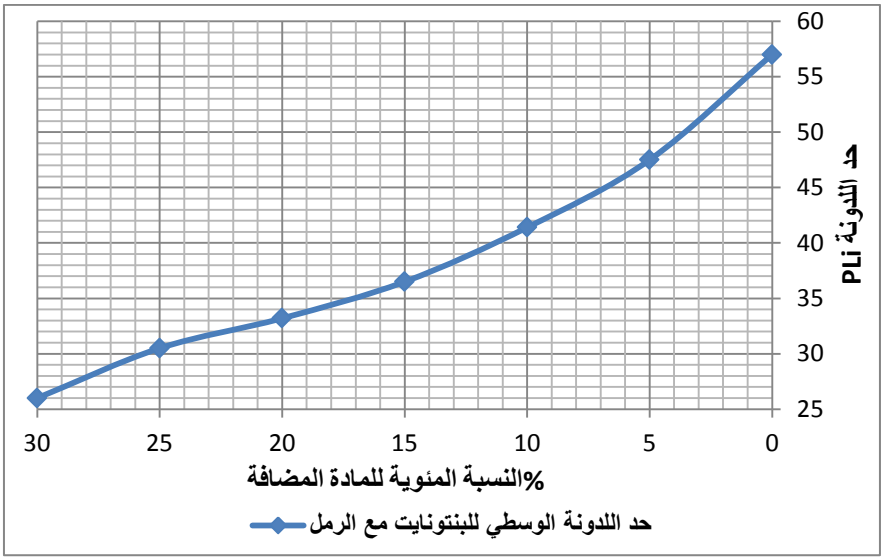


الشكل [3] – منحنيات حد السيولة للبنتونايت مع وبدون نسب مختلفة للإضافات.

-يبين الجدول (3) والشكل [3]، تناقص حد السيولة للبنتونايت مع إضافة الرمل البحري، لأن حد السيولة للمزيج يعتمد على حجم حبيبات الرمل بشكل كبير [13] (Sivapullaiah and Sridharan, 1985).

الجدول (4) – قيم حد اللدونة للبنتونايت مع نسب مختلفة من الرمل.

حد اللدونة الوسطي للبنتونايت مع الرمل	57	47.5	41.4	36.5	33.2	30.5	26
نسبة الرمل البحري المضاف للبنتونايت المصري %	0	5	10	15	20	25	30

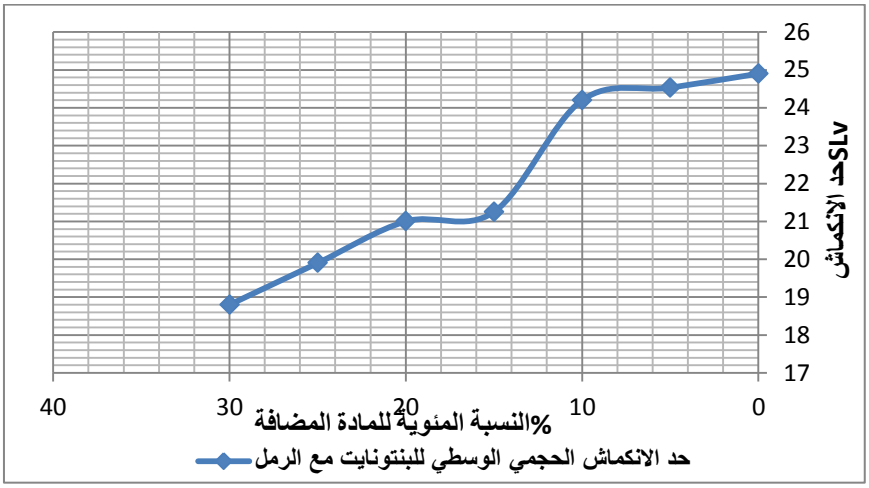


الشكل [4] – منحنيات حد اللدونة للبنتونايت مع نسب مختلفة من الرمل.

–يبين الجدول (4) والشكل [4]، تناقص حد اللدونة للبنتونايت مع إضافة الرمل البحري [14].

الجدول (5) – قيم حد الانكماش الحجمي للبنتونايت مع نسب مختلفة من الرمل.

حد الانكماش الحجمي الوسطي للبنتونايت مع الرمل	24.9	24.53	24.2	21.25	21	19.9	18.8
نسبة الرمل المضاف للبنتونايت%	0	5	10	15	20	25	30



الشكل [5] – منحنيات حد الانكماش الحجمي للبنتونايت مع نسب مختلفة من الرمل.

- يبين الجدول (5) والشكل [5]، تناقص حد الانكماش الحجمي للبنتونايت مع إضافة الرمل البحري [14].

4.1. الوزن النوعي والحجمي:

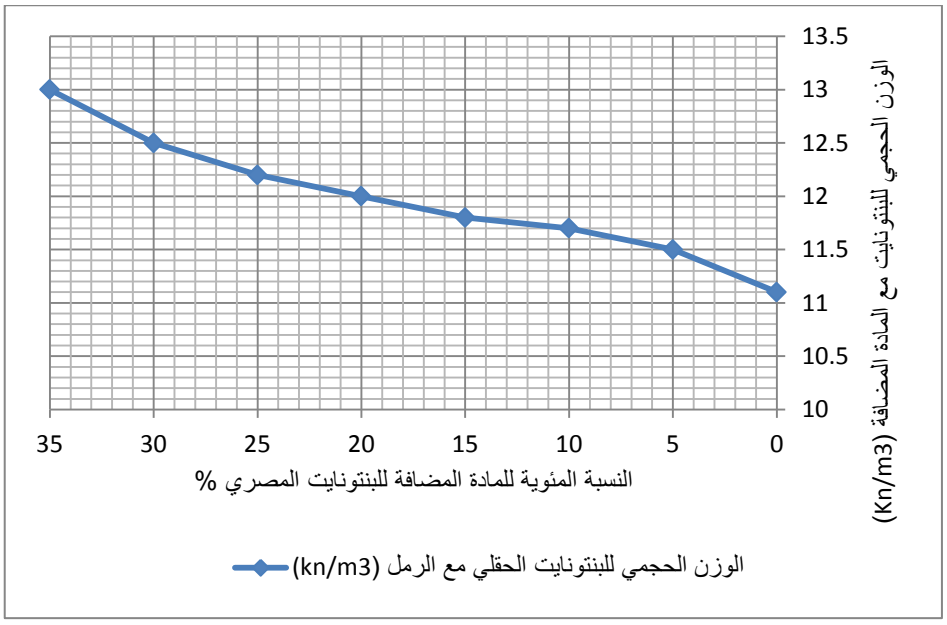
–أجريت عدة تجارب باستخدام حلقة جهاز القص وحلقة التشديد لحساب الوزن الحجمي لـ(مسحوق البنتونايت، البنتونايت الحقلي، الرمل البحري المضاف والبنتونايت الحقلي مع نسب إضافاتة مع الرمل).

– أجريت تجربة الوزن النوعي على (البنتونايت الجاف والبنتونايت مع الرمل المضاف في الحالة الجافة) وفق الإرشادات الواردة في (ASTM - D7263).

تظهر نتائج التجربتين في الجداول والأشكال التالية::

الجدول (6) – قيم الوزن الحجمي للبنتونايت مع إضافات الرمل.

نوع المادة	الماء المقطر	الرمل البحري الطبيعي	الرمل البحري المضاف	مسحوق البنتونايت الجاف	البنتونايت الحقلي (مع 500%ماء)	البنتونايت الحقلي مع الرمل						
نسبة إضافة الرمل%	0	0	0	0	0.00	5.00	10	15	20	25	30	35
الوزن الحجمي (Kn/m3)	10	15	14.9	10.5	11.10	11.50	11.7	11.8	11.2	12.2	12.5	13



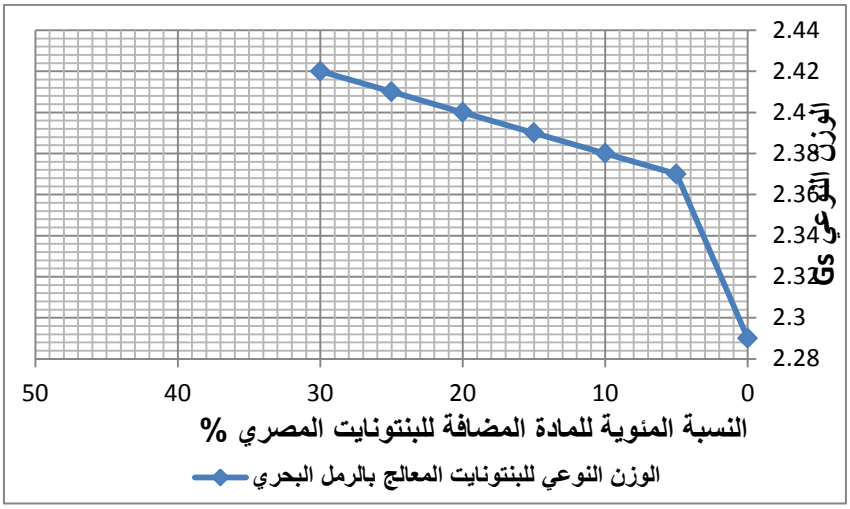
الشكل [6] – العلاقة بين الوزن الحجمي للبنتونايت المعالج مع نسب الإضافات المختلفة من الرمل

نلاحظ من الشكل السابق، ازدياد الوزن الحجمي للبنتونايت الحقلي مع زيادة نسبة الرمل البحري المضاف، بسبب التأثير الكبير لحجم جزيئات الرمل المضاف ذو الوزن الحجمي المرتفع [14].

–تظهر نتائج تجربة الوزن النوعي في الجدول التالي:

الجدول (7) – قيم الوزن النوعي للبنتونايت مع إضافات الرمل والاسمنت.

نسبة الرمل البحري المضاف %	0	5	10	15	20	25	30	40	50	100
الوزن النوعي G_s	2.29	2.37	2.38	2.39	2.4	2.41	2.42	2.45	2.5	2.67



الشكل [7] – العلاقة بين الوزن النوعي للبنتونايت المعالج مع نسب مختفة من الرمل.

–نلاحظ من الشكل [7] زيادة الوزن النوعي للبنتونايت مع زيادة نسبة الرمل المضاف [13].

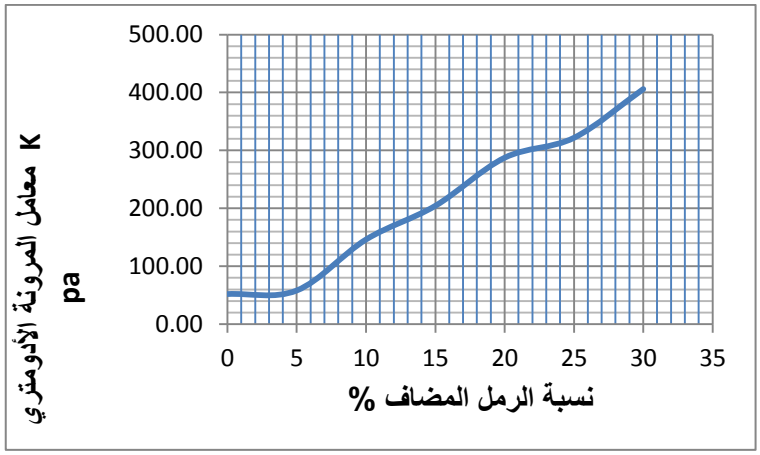
5.1. معامل المرونة الأدومتري:

–أجريت تجربة التشديد على عينات البنتونايت الحقلي مع وبدون إضافة رمل باستخدام جهاز التشديد الأمريكي [16] (Inparajah and Wong, 2008)، لكون عينة التربة المدروسة حساسة وقوامها جيلي، لذلك لا تستطيع العينات تحمل أوزان التشديد التقليدية.

–الغاية من إجراء تجربة التشديد حساب معامل مرونة البنتونايت الحقلي الأدومتري (E_{oed}) مع وبدون رمل.

الجدول (8) – قيم معامل المرونة الأدومتري للبنتونايت مع نسب مختلفة من الرمل.

نسبة الرمل المضاف إلى البنتونايت %	E_{oed} (Kpa)
0	51.96
5	58.12
10	146.14
15	204.33
20	287.35
25	321.73
30	405.9



الشكل [8] – العلاقة بين معامل المرونة الأدومتري للبنتونايت والرمل عند نسب مختلفة من الرمل.

-يبين الشكل السابق ازدياد معامل مرونة البنتونايت الأدومتري مع زيادة نسبة الرمل حيث تتداخل حبيبات الرمل عالي المرونة مع حبيبات البنتونايت وتشكل تراص واكتناز يرفع مرونة البنتونايت [16].

6.. اللزوجة والانتفاخ الحر:

-إن لزوجة البنتونايت يجب أن تتراوح بين (30-90) وفق (Hutchinson et al, 1975).

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

-إن درجة انتفاخ البنتونايت يجب أن تكون (100 %<) [8].

-تظهر نتائج تجربة اللزوجة والانتفاخ الحر على عينات البنتونايت المعالج بنسب الإضافات المختلفة من الرمل البحري وفق الجدول التالي:

الجدول (8) 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 (8) أن جميع نسب الإضافات للرمل البحري مع البنتونايت تحقق درجة انتفاخ عالية، لكن النسبتين (5% و10%) تحققان معيار اللزوجة (30<)، حيث تزداد زاوية احتكاك البنتونايت بمقدار (87.5%) عند نسبة إضافة (5%) رمل بحري، كما تزداد زاوية احتكاك البنتونايت بمقدار (90.5%) عند إضافة (10%) رمل بحري مع البنتونايت.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1- تزداد مواصفات قص البنتونايت (التماسك وزاوية الاحتكاك) مع زيادة نسبة الرمل المضاف إلى البنتونايت، بسبب تداخل حبيبات الرمل الخشن مع حبيبات البنتونايت الناعم مما يشكل اكتناز وتراص عالي يرفع مواصفات قص البنتونايت.

2-يزداد الوزن الحجمي والنوعي للبنتونايت مع زيادة نسبة الرمل المضاف، بسبب التأثير الكبير لحجم جزيئات الرمل المضاف، حيث تتقارب حبيبات الرمل مع حبيبات البنتونايت.

3-تتناقص قيم معاملات حدود أتربرغ (حد السيولة، اللدونة والانكماش الحجمي) مع زيادة نسبة الرمل البحري المضاف إلى البنتونايت، بسبب اعتماد معاملات حدود أتربرغ للمزيج بشكل كبير على حجم حبيبات الرمل.

4- 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.

التوصيات:

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 دراسة عددية لسلوك الأوتاد المنفذة مع البنتونايت باستخدام برامج عددية (3D) كونها تعطي تمثيل أدق ونتائج أدق.

3- يوصى بإجراء دراسة بارامترية لسلوك الأوتاد على الاحتكاك عند تغيير مواصفات طبقة (Filter cake) من البنتونايت المتشكلة حول الأوتاد (سماكة الطبقة، صلابة السطح البيني الفاصل بين هذه الطبقة والوتد والتربة المجاورة، تماسك واحتكاك ومرونة هذه الطبقة)، بسبب قلت الدراسات المرجعية المتضمنة هذه البارامترات باستخدام نمذجة(3D).

4- إن متابعة البحث في هذا الموضوع قد يكون رديفا لأبحاث أخرى أكثر توسعاً.

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. ASTM D 4318. "*Standard test methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*", American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, (2008).

5. ASTM D 4318 (2000). Standard test methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia.

6. ASTM D 698. "*Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort*", American Society for Testing and Materials (ASTM), Philadelphia, (2012).

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. 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.

11. 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).

12. Inparajah, D and Ron C.K. Wong "*1-D Consolidation characteristics of kaolinite bentonite mixtures with different pore fluid salinity*" Department of Civil Engineering – University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, (2008)

13. Sivapullaiah, P and Sridharan, A. "*Liquid limit of soil mixtures*". Geotech Test J 8(3), (1985), 111–116.

14. 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).

15. Telford. T and Jefferis, S. A, "*ICE specification for piling and embedded retaining walls*", Institution of Civil Engineers, London, UK: (2007). Grouts and slurries. In Construction materials reference book (ed. D. K. Doran), pp. 48/1 48/24. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.