Study The Effect of Al-Sugar Factory's Waste on The Engineering Properties of Gypseous Soil

Dr. K.N. Al-safaar
Engineering College, University of Musal/Baghdad
Dr. Anas. F.K
Engineering College, University of Musal/Baghdad
Email: anasfg@yahoo.com
A.M. Ialkiki
Engineering College, University of Musal/Baghdad
Email:ialkiki@yahoo.com

Received on: 8/1/2013 & Accepted on: 9/1/2014

Abstract

This study investigates the possibility of using the industrial waste material of Al-sugar factory to improve the engineering properties of Gypseous Soil which taken from Baiji area. This soil can be classified as a silty soil with low plasticity and high gypsum content (35% gypsum). The investigated soil was treated with industrial waste (most of its composition is hydrated lime) using (1,3, 5 and 7 %) by dry weight of the soil. The results indicated that the engineering properties improved considerably.

The soil become non-plastic if (5%) of waste is used. The industrial waste increases the unconfined compressive strength and the effective shear strength parameters (angle of internal friction (ϕ') and cohesion (c`)).

The results of consolidation test showed that the compression Index (c_c) and coefficient of consolidation (c_v) decreased when the soil was treated with industrial waste. It also has this waste to reduce the effect of leaching process on the compressibility and permeability of the soil.

Accordingly, the industrial wastes may be considered as an advantageous in effect to the engineering characteristics of gypseous soil.

Keyword: Gypseous Soil, Waste Material, Soil Stabilization and Leaching Process.

دراسة تأثير مخلفات معمل السكر على الخصائص الهندسية للتربة الجبسية

الخلاصة

تتضمن هذه الدراسة إمكانية الاستفادة من المخلفات الصناعية (مخلفات معمل السكر) لتحسين الخواص الهندسية للتربة الجبسية والمأخوذة من منطقة بيجي (قرب مشروع مصفى بيجي) والتي توصف بأنها تربة غرينية واطئة اللدونة عالية المحتوى الجبسي (نسبة الجبس35%). حيث تم

https://doi.org/10.30684/etj.32.8A20
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

معاملة هذه التربة باستعمال المخلفات الصناعية (معظم مكونات هذه المخلفات هي مادة النورة) وبنسبة (1، 3، 5 و7)% وزناً من التربة الجافة.

أظهرت الدراسة أن المخلفات الصناعية تقلل من دليل اللدونة (P.I.) وتحولها إلى تربة عديمة اللدونة (non-plastic) عند نسبة (5%) من هذه المخلفات.

ان استخدام هذه المخلفات يعمل على زيادة في مقاومة الانضغاط غير المحصور للتربة إضافةً إلى زيادة معاملات قص التربة الفعالة (Effective shear strength parameters c` and ϕ')، كما أظهرت نتائج فحص الانضمام ان معاملة التربة بالمخلفات الصناعية يؤدي إلى نقصان في انضغاطية التربة حيث قل كل من دليل الانضغاط (c_c) ومعامل الانضمام (c_v). كما أدت هذه المخلفات إلى التقليل من تاثير عملية الغسل (Leaching) على انضغاطية ونفاذية التربة.

وبصورة عامة يمكن اعتبار هذه المخلفات ذات تأثيرات ايجابية على الخصائص الهندسية للتربة الجبسية.

المقدمة:

الترب الجبسية واسعة الانتشار في العالم وتتركز في المناطق الجافة وشبه الجافة ، وتقدر المساحة الكلية التي تغطيها هذه التربة في العالم بحدود ($850000\ km^2$). وفي العراق تشغل الترب الجبسية مساحة تقدر بأكثر من (30%) من مساحة القطر الكلية ، كما تشير الدراسات إلى ان هذه النسبة تتراوح بين (20- 36 %) [1]،[2]،[3]. (على الرغم من عدم وجود تواتر علمي في تحديد هذه النسبة وبخاصة في الأراضي الجافة لمناطق الاهوار في جنوب العراق حالياً).

تعد مخلفات المعامل الصناعية احد المشاكل التي تواجه العالم في وقتنا الحاضر، فهي إحدى المصادر الرئيسية لتلوث البيئة. في مدينة الموصل تنتشر العديد من المعامل التي تقوم اغلبها بطرح مخلفاتها الصناعية في مناطق قريبة منها وهذه المخلفات سواء كانت على شكل سوائل أو مواد صلبة فإنها تحوي على مواد كيمياوية (حوامض، قواعد وأملاح) مختلفة وان تعرض التربة لمثل هذه المركبات تؤثر على خواصها الهندسية سواءً كان ذلك سلباً ام إيجاباً [4].

تم في الآونة الأخيرة إجراء عدد من البحوث والدراسات (رغم محدوديتها) لمعرفة تأثير المخلفات الصناعية على الخواص الهندسية للتربة او إمكانية استخدام هذه المخلفات في تثبيت وتحسين الخواص الهندسية لهذه التربة.

درس (AL-Shalhomi,2000 [5]) تأثير إحدى المخلفات الصناعية (حامض الفسفوريك) من منطقة عكاشات على الخصائص الهندسية للتربة الطينية والمأخوذة من منطقة حي الحدباء في الموصل واستنتج ان هذه المخلفات تعمل على تحسين جميع الخصائص الهندسية للتربة المعاملة بها.

واستنتج (الليلة و الصفار،2003 [6]) بان مخلفات الشركة العامة لصناعة الأسمدة عند وصولها إلى التربة الجبسية تعمل على تحسين خواصها الهندسية عن طريق سلسلة من التفاعلات الكيمياوية بين التربة والمياه الصناعية ينتج عنها عدة أنواع من الأملاح التي بدورها تعمل على زيادة الكثافة الجافة العظمى وقوة الانضغاط غير المحصور ومعاملات قص التربة الفعالة.

في حين توصل (الكيكي،2002 [4]) بان مخلفات المياه الصناعية والناتجة عن العديد من المعامل في مدينة الموصل لها تأثير على الخصائص الهندسية للتربة الطينية لحي اليرموك غرب الموصل، حيث كان لها تأثيرات ايجابية وسلبية فقد حسنت خواص الرص للتربة بالإضافة إلى تحسين قوة تحملها ولكنها أدت إلى زيادة نسبة وضغط الانتفاخ في التربة فضلاً عن زيادة دليل الانضغاط .

في هذه الدراسة تم اخذ إحدى المخلفات الصناعية الصلبة لمعمل السكر الواقع في مدينة الموصل، وحللت هذه المخلفات من الناحية الكيمياوية لتحديد مركباتها بغية دراسة تأثيرها على التربة وإمكانية استخدامها في تثبيت وتحسين الخواص الهندسية للتربة. حيث يعتبر تثبيت التربة من

الأمور المهمة ليس لتقوية التربة الرخوة فحسب بل لتجنب مشاكل التربة الانضغاطية أيضاً اذ ان هبوط التربة مصدر الكثير من الأضرار الإنشائية وبالتالي الاقتصادية وقد أثبتت الدراسات ان معاملة التربة الضعيفة وغير المطابقة للمواصفات بالمضافات الكيميائية هي عملية ناجحة لتثبيت وتحسين خصائصها الهندسية [7].

تم اختيار تربة منطقة بيجي وهي تربة غرينية جبسية (Gypseous Silty Soil) لما تعانيه هذه التربة من مشاكل هندسية بسبب قوة تحملها القليلة وخطورة الظاهرة الانهيارية (Collapse phenomena) والتي يمكن ملاحظتها في معظم المشاريع الهندسية القريبة من تلك المنطقة (مشاريع الطاقة الكهربائية و مشروع مصفى بيجي ...الخ).

عوملت التربة بالمخلفات الصناعية بنسب (1، 3، 5 و7)% وزناً من التربة الجافة، لإيجاد تأثيرها على الخواص الهندسية لهذه التربة (الخصائص الدليلية، الرقم الهيدروجيني، خصائص الرص، قوة القص، خصائص الانضمام)، فضلاً عن ذلك تم دراسة تأثير عملية الغسل على خصائص الانضمام للتربة بعد معاملتها بالمخلفات الصناعية.

حيث ان تثبيت التربة هي العملية التي يتم بواسطتها تحسين الخصائص الميكانيكية او الكيميائية او كليهما لغرض تحقيق متطلبات هندسية معينة، وان نمط التثبيت يعتمد بصورة رئيسية على نوعية التربة والخصائص المطلوبة مثل تحسين القوة (Strength) او استقرارية الحجم (Volume Stability)، الديمومة (Durability) والنفاذية (Permeability)، ومن الطرائق الشائعة الاستعمال في تثبيت التربة هي استخدام النورة، الاسمنت، الإسفلت (Lime, Cement, and Bitumen stabilization) فضلاً عن استخدام مضافات كيمياوية أخرى (Chemical additives) [8]،[9]،[10].

وقد أجريت دراسات كثيرة حول استخدام النورة والمضافات الكيميائية في عملية تثبيت التربة، وكانت اغلب النتائج مفيدة [9] ، [10]. إن عملية تثبيت التربة بالنورة تحصل نتيجة لعدد من التفاعلات التي تحدث بين النورة والتربة، واهم هذه التفاعلات هي : تجمع الحبيبات (Particle Aggregation) ، التفاعل البوزلوني (Pozzolanic Reaction) والتكربن (Carbonation) [9] ، [11]. وهنالك العديد من العوامل التي تلعب دوراً مهماً ومؤثراً في هذه التفاعلات ومنها محتوى الطين ونوع المعادن الطينية، نسبة المواد العضوية، قيمة الرقم الهيدروجيني للتربة ، محتوى الأملاح الذائبة الكلية في التربة فضلا عن ظروف المعالجة والإنضاج [12].

ومن هذا المنطلق تكتسب هذه الدراسة أهميتها العلمية والعملية باعتبارها تمثل الخطوة الأولى لحل عدة مشاكل منها مشكلة التخلص من النفايات الصناعية بأفضل الطرق دون الأضرار بالبيئة المحيطة فضلاً عن استخدام هذه المخلفات (كمثبتات كيميائية) في معالجة مشاكل الترب الضعيفة وبأقل كلفة ممكنة دون اللجوء إلى البدائل الأخرى.

طرق العمل والمواد المستخدمة:

أجريت جميع الفحوصات التي سيتم التطرق إليها لاحقاً حسب الطرق المعتمدة من قبل الجمعية الأمريكية للفحوصات و المواد (ASTM [13]) والجمعية الأمريكية للطرق والمواصلات (AASHTO [14]) والطرق المدونة في المواصفات البريطانية (B. S. [15]) إضافة إلى مصادر كيمياء التربة.

وتجدر الإشارة ان فحص قوة الانضغاط غير المحصور، فحص القص المباشر، وفحص الانضمام أجريت على نماذج بعد ساعتين من رصها بدرجة حرارة (25°C) عند المحتوى الرطوبي الأمثل والكثافة الجافة العظمى بعد معاملتها بنسب مختلفة من المخلفات الصناعية (1، 3، 5 و7)%. كذلك أجريت هذه التجارب على نماذج تم إنضاجها لمدة (48) ساعة بدرجة حرارة (49°C) وذلك لدراسة تأثير عملية الإنضاج على خصائص التربة المعاملة. في حين أجريت عملية الغسل على النماذج المهيأة لفحص الانضمام والمنضجة بدرجة حرارة (49°C) ولمدة يومان فقط، وان عملية الغسل قد تمت من خلال تبديل الماء الموجود في خلية الفحص (10) مرات يومياً ولمدة (15) يوم [6].

كما تم في هذا البحث استخدام المواد التالية:

1- الماء: تم استعمال ماء الإسالة في جميع التجارب إلا ما نصت عليه طرائق الفحص باستخدام الماء المقطر Distilled water.

2- التربة: التربة المستخدمة في هذه الدراسة هي تربة جبسية غرينية (Gypseous Silty Soil) واطئة اللدونة عالية المحتوى الجبسي [2](نسبة الجبس35%)، أخذت هذه التربة من مدينة بيجي (قرب مشروع مصفى بيجي). والجدول (1) يبين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة الطبيعية المستخدمة في البحث.

الجدول (1) الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة الطبيعية المستخدمة في البحث.

نوع الفحص		المواصفات	النتيجة
حدود أتربيرك	حد السيولة (L. L) %	(ASTM D423-66)	35
	حد اللدونة (P. L) %	(ASTM D424-59)	24
	دليل اللدونة (P. I) %	---	11
الانكماش الخطي (L.S) %		(B.S 1377-1967)	5.1
الوزن النوعي (Gs)		(ASTM D854-58)	2.62
تصنيف التربة	حسب نظام التصنيف الموحد (U.S.C.S)	---	CL
	حسب نظام التصنيف الجمعية الأمريكية للطرق (AASHTO C.S)	---	A-2-6 (1)
التحليل الحبيبي	الحصى % > 4.76 ملم	(ASTM D422-63)	0
	0.074 ملم < الرمل % ≥ 4.76 ملم		12
	0.005 ملم < الغرين % ≥ 0.074 ملم		50
	الطين (C) % ≥ 0.005 ملم		38
الفعالية (Activity) (A = P.I / C)		---	0.5
الفحوصات الكيميائية	نسبة الجبس %	(Earth Manual)	35
	نسبة المواد العضوية %	(B.S 1377-1975)	1.85
	الأملاح الذائبة الكلية (T.S.S) %	(Earth Manual)	32
	الرقم الهيدروجيني (PH- value)	(Eades and Grim)	8.65

3- المخلفات الصناعية: استخدمت مخلفات الشركة العامة لصناعة السكر – معمل السكر والخميرة في الموصل، حيث يقوم هذا المعمل عن طريق وحداته المختلفة بطرح عدة أنواع من المخلفات منها الغازية والصلبة والسائلة وقد تم التطرق في هذه الدراسة إلى مخلفات النورة فقط والتي هي عبارة عن مخلفات صلبة وناتجة عن حجر الكلس ($CaCO_3$) والتي يقوم المصنع باستخدامه في تحضير النورة ($Ca(OH)_2$) والتي يستفاد منها في تنظيف إحدى الوحدات التشغيلية في المعمل بالإضافة إلى مواد عديدة أخرى ، حيث يتم طرح ما يقارب (500-1000) طن من هذه المخلفات سنوياً في حالات التشغيل الاعتيادية للمصنع، ويقوم المعمل بتكديس هذه المخلفات والتي في اغلب الأحيان تشكل عبئاً على الشركة بسبب كمياتها الكبيرة وفي حالات نادرة تقوم الشركة ببيعها إلى محلات الدباغة بأسعار زهيدة جداً، والجدول (2) يبين التحليل الكيميائي لهذه المخلفات.

الجدول (2) التركيب الكيمياوي للمخلفات الصناعية (مخلفات معمل السكر) المستخدمة في البحث.

المكونات	$Ca(OH_2)$	CaO	$CaCO_3$	Al_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	MgO	H_2O	Others
النسبة (%)	**43.6**	**6.5**	**12.74**	**14.9**	**0.44**	**16.9**	**3.15**	**0.1**	**1.67**

النتائج والمناقشة:

1- تأثير المخلفات الصناعية على بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة:-

أولاً:- الخصائص الدليلية (حدود أتربيرك).

الجدول (3) يبين ان زيادة نسبة المخلفات المضافة إلى التربة تؤدي إلى انخفاض في قيم حد السيولة (L.L) في حين يزداد حد اللدونة وهذا ما يقلل من دليل اللدونة وتعليل ذلك يعود إلى تفاعل النورة (التي تعتبر أحد العناصر الرئيسية في المخلفات) مع التربة وهذا التفاعل يودي إلى تكتل جزيئات التربة كما يحدث تبادل ايوني على سطح جزيئات التربة مما يقلل من سمك طبقة الأيونية المزدوجة [16] ، [10]. كما يلاحظ ان التربة أصبحت غير لدنة عند معاملتها بنسبة (5%) او اكثر مخلفات وتحول تصنيفها من(ML-CL) إلى (ML).

الجدول (3) تأثير المخلفات على الخصائص الدليلية للتربة.

نسبة المخلفات (%)	حدود اتربرك (%)			(L.S) (%)	التصنيف حسب نظام (U.S.C.S)
	(L. L)	(P. L)	(P. I)		
0	35	24	11	5.1	CL-ML
1	32	25	7	3.8	ML
3	30	27	3	2.1	ML
5	N.P.			-	-
7	N.P.			-	-

ثانياً:- الرقم الهيدروجيني للتربة:

يبين الجدول (4) ان المخلفات الصناعية ومع زيادة نسبتها في التربة ادت إلى ازدياد قيمة الرقم الهيدروجيني للتربة (زيادة قاعديتها) وذلك لكون هذه المخلفات قاعدية. ان ارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة يعطي انطباعاً ومؤشراً جيداً على قابلية التربة للتفاعل مع النورة [12] ، [16].

الجدول (4) تأثير المخلفات على قيمة الرقم الهيدروجيني للتربة.

نسبة المخلفات المضافة (%)	0	1	3	5	7
الرقم (PH-value) الهيدروجيني	8.65	9.34	10.81	11.86	12.14

2- تأثير المخلفات الصناعية على خصائص الرص للتربة :

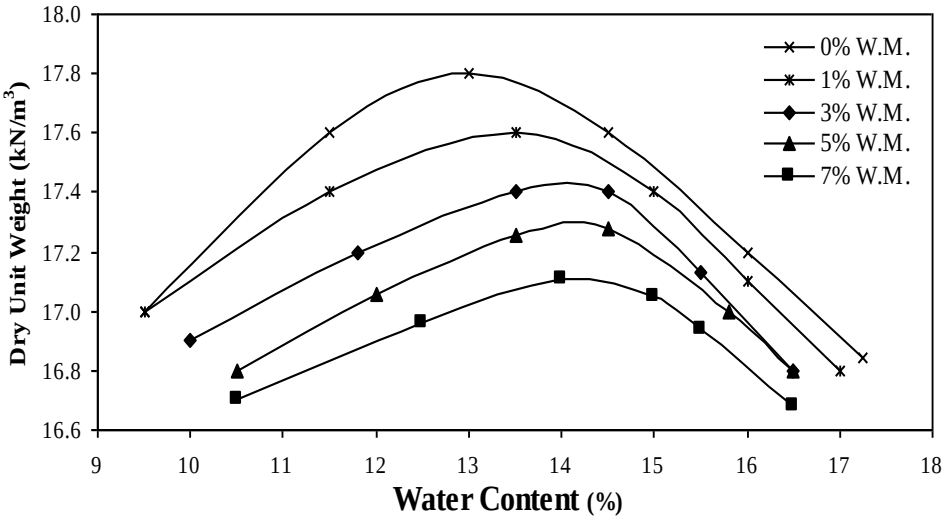
الشكل (1) يمثل منحنيات الرص للتربة الطبيعية والمعاملة بالنورة كما ان الجدول (5) يبين مقدار الكثافة الجافة العظمى والمحتوى الرطوبي الأمثل لكل نسبة مخلفات مضافة حيث يلاحظ نقصان في قيمة الكثافة الجافة العظمى وهذا يمكن إرجاعه إلى حصول تكتل وتجمع لجزيئات التربة (flocculation) مما يؤدي إلى صعوبة الرص حيث يعتبر تكتل التربة عند إضافة النورة إليها من أول التفاعلات التي تحدث بين التربة والنورة ، كما يلاحظ زيادة في المحتوى الرطوبي الأمثل بزيادة نسبة المخلفات المضافة وهذا يعود إلى ان المخلفات (النورة) تحتاج إلى ماء إضافي لعملية التميؤ (hydration) [17].

الجدول (5) تأثير المخلفات على خصائص الرص ومقاومة الانضغاط غير المحصور.

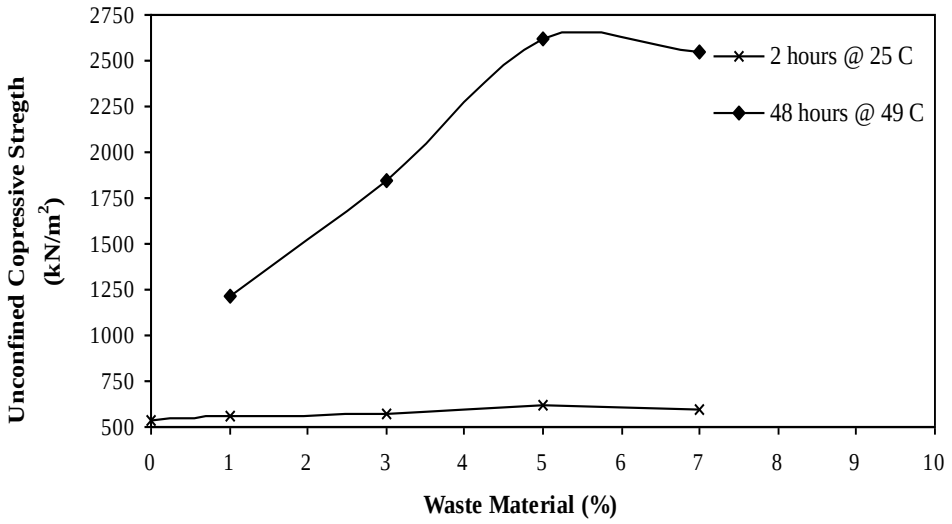
7	5	3	1	0	نسبة المخلفات الصناعية (%)	
14.5	14.2	14.5	13.5	13.0	المحتوى الرطوبي الأمثل (%)	خصائص الرص
17.1	17.3	17.44	17.6	17.8	الكثافة الجافة العظمى (kN/m^3)	
600	620	575	565	540	2 hours @ 25°C	مقاومة الانضغاط غير المحصور (kN/m^2)
2550	2620	1850	1210	540	48 hours @ 49°C	

3- تأثير المخلفات الصناعية على مقاومة الانضغاط غير المحصور للتربة:

أظهرت نتائج فحص الانضغاط غير المحصور لنماذج التربة المعاملة بنسب النورة المختلفة وخاصةً التي تم إنضاجها لمدة يومين بدرجة حرارة (49^oC) تحسن كبير في قيم هذه المقاومة وكما مبين بالجدول (5) والشكل رقم (2). ان سبب زيادة المقاومة مع زيادة درجة الحرارة خصوصاً وفترة الإنضاج عموماً، يعود الى أن رفع درجة حرارة يؤثر على التفاعلات الكيميائية التي تحدث بين التربة والنورة مسبباً تعجيل في التفاعلات البوزولانية, وهذا بدوره أكسب النماذج زيادة في مقاومة الانضغاط [18]،[19]. كما يلاحظ أن مقاومة الانضغاط غير المحصور تقل مع زيادة نسب النورة المضافة، بسبب كون النورة مادة غير متماسكة (Cohesion less Material) تعمل على تقليل مقاومة الانضغاط غير المحصور عند عدم تفاعلها مع التربة [20]. كما يلاحظ ان نسبة النورة المفضلة للتثبيت هي (5%) وذلك حسب طريقة الينويز(Illinois Procedure)، اذ أعطت أعلى قيمة لمقاومة الانضغاط غير المحصور.



الشكل (1) علاقة المحتوى الرطوبي مع الكثافة الجافة للتربة الطبيعية والمعاملة بالمخلفات الصناعية.



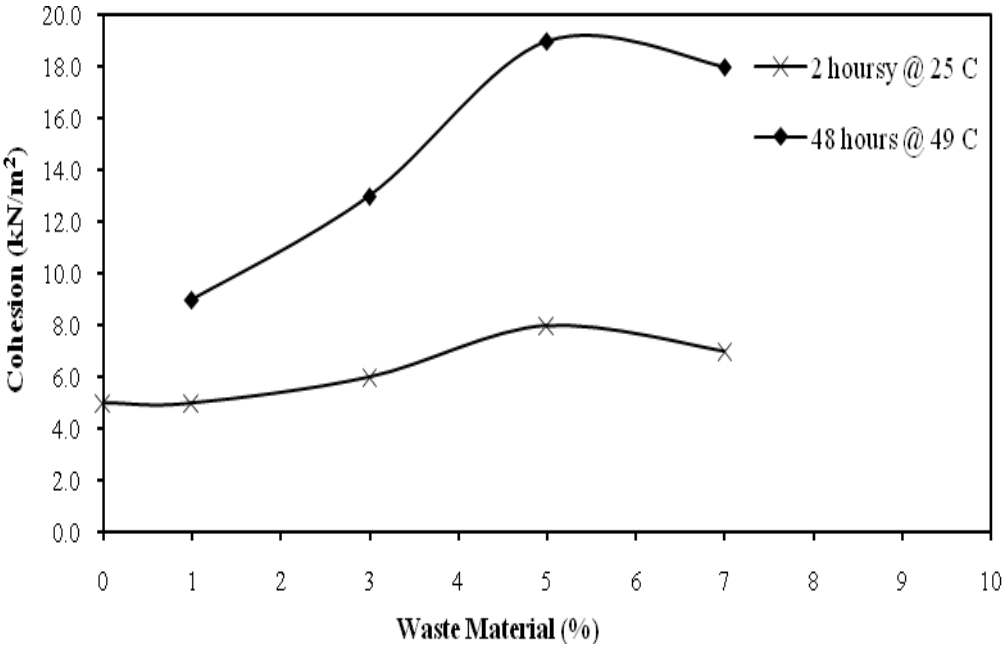
الشكل (2) تأثير المخلفات على مقاومة الانضغاط غير المحصور للتربة.

4- تأثير المخلفات الصناعية على معاملات القص للتربة:

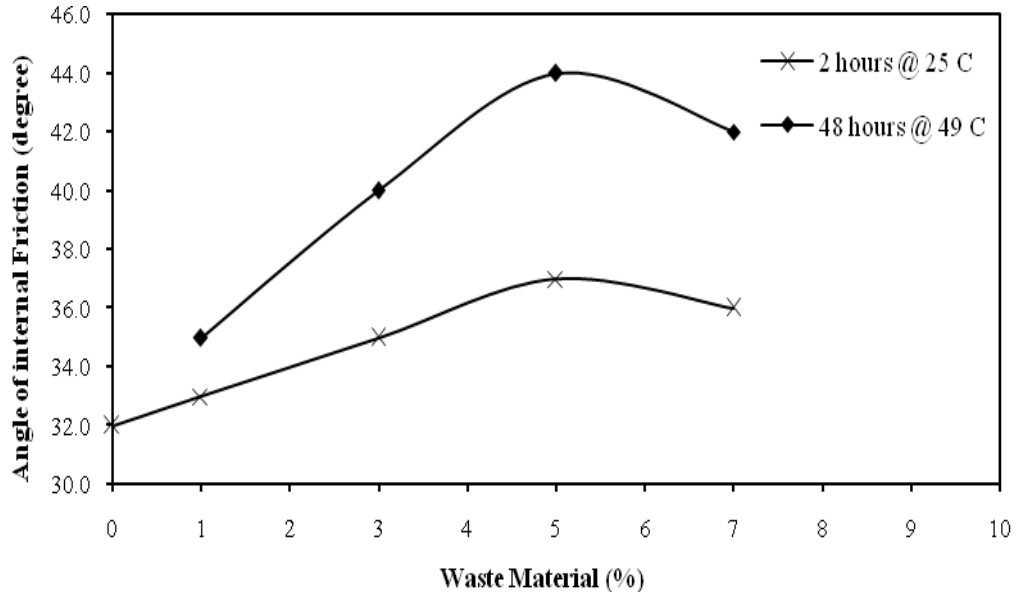
تم إيجاد معاملات القص للتربة الفعالة عن طريق إجراء تجربة القص المباشر نوع (انضمام – مبزول) والنتائج مبينة في الجدول(6) والشكلان رقم (3&4). وقد بينت النتائج بان زيادة نسب الإضافة تؤدي الى زيادة كل من التماسك الفعال (ć) وزاوية الاحتكاك الداخلي الفعالة (ǿ). ان السبب في زيادة قوة تحمل التربة المعاملة بالمخلفات ناتج عن التفاعل الذي يحدث بين النورة وجزيئات الطين الموجودة في التربة خلال (48 ساعة) والذي يزداد على المدى الطويل مما ينتج عنه مواد رابطة (Cementation bonds) تربط جزيئات التربة مع بعضها البعض وهذا التفاعل هو الذي يعطي التماسك والمقاومة للتربة المعاملة[9]. كما يلاحظ ان تأثير المخلفات على قيمة التماسك للتربة قليل نسبياً مقارنةً مع زاوية الاحتكاك الداخلي وخاصةً للنماذج المنضجة بدرجة حرارة (25°C) لمدة (2) ساعة.

الجدول (6) تأثير المخلفات الصناعية على معاملات قص التربة.

نسبة المخلفات الصناعية (%)							
0	1	3	5	7			
5	5	6	8	7	ć (kN/m^2)	2 hours @ 25°C	معاملات قص التربة الفعالة
32	33	35	37	36	ǿ (degree)		
5	9	13	19	18	ć (kN/m^2)	48 hours @ 49°C	
32	35	40	44	42	ǿ (degree)		



الشكل (3) تأثير المخلفات على قيمة التماسك الفعال للتربة.



الشكل (4) تأثير المخلفات على قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي الفعالة للتربة.

5- تأثير المخلفات الصناعية على خصائص الانضمام للتربة:

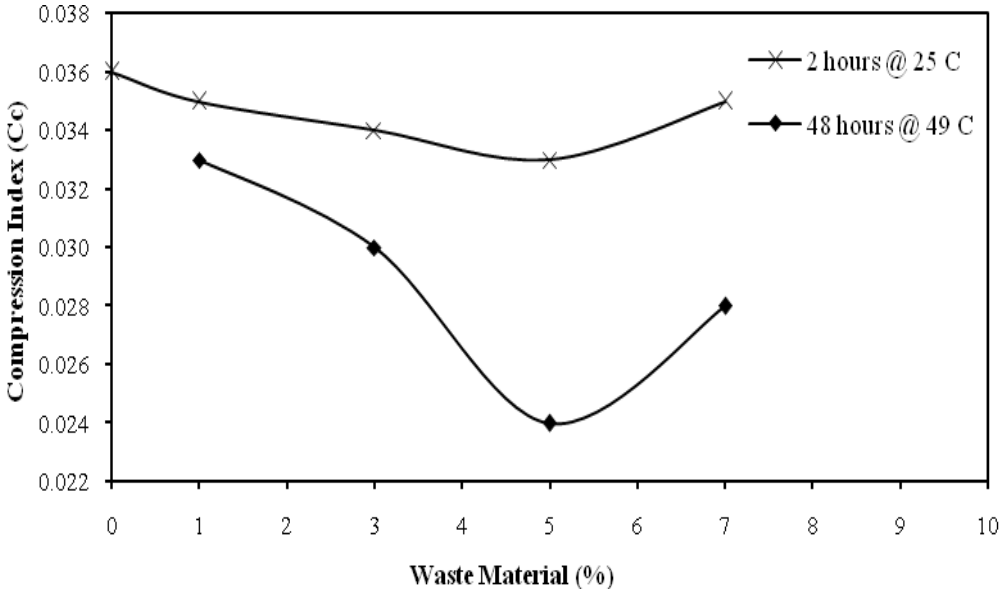
يلاحظ من النتائج المبينة في الجدول (7) ان تأثير المخلفات الصناعية على خصائص الانضمام (الانضغاط الأحادي المحور) للتربة قليلة نسبياً وخاصةً التي تم إنضاجها لمدة ساعتان بدرجة حرارة (25^oC) ، لكن عموماً نلاحظ زيادة في نسبة الفراغات الأولية وانخفاض في قيم كل من دليل الانضغاط (C_c)/الشكل رقم (5)]، دليل الانتفاخ (C_s) ومعامل النفاذية [(k)/الشكل رقم (6)] وسبب ذلك يعود الى تكون المواد الرابطة نتيجة لإضافة المخلفات الصناعية والتي لها قابلية انضغاط اقل من جزيئات التربة كما ان تبلور ألماده الهلامية (Gel) بسبب التفاعلات وملئها للفراغات عامل أخر ليقلل من انضغاطية التربة ونفاذيتها[18]،[21].

6- تأثير عملية الغسل على خصائص الانضمام للتربة المعاملة بالمخلفات الصناعية:

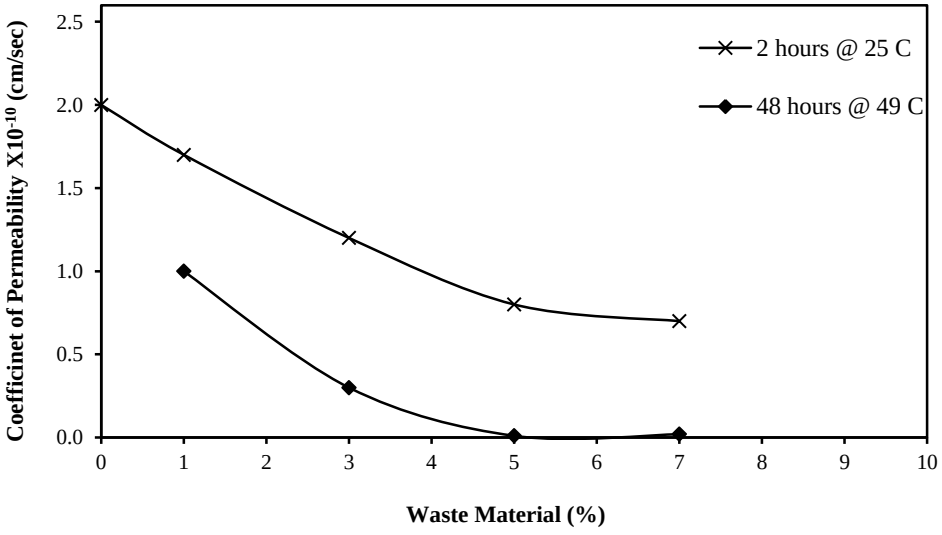
الجدولان (7) و(8) يبينان قيم خصائص الانضمام للتربة الطبيعية والمعاملة بالمخلفات الصناعية والمنضجة بدرجة حرارة (49°C) لمدة (48) ساعة قبل وبعد عملية الغسل باستخدام طريقة تبديل الماء الموجود في خلية فحص الانضمام[4]،[6]. يلاحظ من النتائج ان قيم كل من نسبة الفراغات، دليل الانضغاط (C_c) ومعامل النفاذية (k) تزداد للتربة الطبيعية والمعاملة نتيجةً لعملية الغسل وذلك بسبب عملية ذوبان الجبس أو الأملاح الموجودة في التربة والمخلفات وانحلاله أو بقائه في الماء كمادة غير متماسكة أو كمادة ضعيفة وزوال جزء منه من التربة مما يؤدي إلى زيادة نسبة الفراغات وبالتالي دليل الانضغاط[22]،[23]. إلا أنة بصورة عامة يمكن ملاحظة ان تأثير عملية الغسل على انضغاطية التربة ونفاذيتها قليل في التربة المعاملة بالمخلفات مقارنةً مع التربة غير المعاملة[19].

الجدول (7) تأثير المخلفات الصناعية على خصائص/معاملات الانضمام للتربة.

نسبة المخلفات الصناعية (%)	خصائص الانضمام				معامل النفاذية $k \times 10^{-10}$ (cm/sec)
	e_o	c_c	c_s	$m_v \times 10^{-3}$ (m^2/kN)	
0	0.397	0.036	0.014	4.0	2.0
Curing: 2 hours @ 25^oC					
1	0.412	0.035	0.014	3.5	1.7
3	0.441	0.034	0.013	2.8	1.2
5	0.463	0.033	0.011	2.0	0.8
7	0.491	0.035	0.010	1.8	0.7
Curing: 48 hours @ 49^oC					
1	0.412	0.033	0.013	2.4	1.0
3	0.441	0.030	0.011	1.2	0.3
5	0.463	0.024	0.010	0.1	0.01
7	0.491	0.028	0.009	0.2	0.02



الشكل (5) تأثير المخلفات على قيمة دليل الانضغاط للتربة.



الشكل (6) تأثير المخلفات على قيمة معامل نفاذية التربة.

الجدول (8) تأثير عملية الغسل على خصائص/معاملات الانضمام للتربة المعاملة بالمخلفات الصناعية والمنضجة بدرجة حرارة (49^oC) لمدة يومان.

نسبة المخلفات الصناعية (%)	خصائص الانضمام			معامل النفاذية $k\ x10^{-10}$ (cm/sec)
	e_o	c_c	$m_v\ x10^{-3}$ (m^2/kN)	
0	0.53	0.096	5.7	2.6
1	0.451	0.047	3.8	1.7
3	0.465	0.038	2.0	0.6
5	0.470	0.030	0.7	0.09
7	0.501	0.031	0.5	0.1

الاستنتاجات :

من خلال هذه الدراسة تم التوصل إلى أن زيادة نسبة المخلفات الصناعية التي تم دراستها أدت إلى:-

1. خفض قيمة حد السيولة وزيادة في قيمة حد اللدونة وبالتالي خفض دليل اللدونة.
2. زيادة في قيمة الرقم الهيدروجيني للتربة.
3. نقصان في قيمة الكثافة الجافة العظمى للتربة وزيادة في نسبة المحتوى الرطوبي الأمثل.
4. زيادة قوة التربة، وذلك بزيادة مقاومة الانضغاط غير المحصور (U.C.S) ومعاملات قص التربة الفعالة (ć ، ǿ).
5. نقصان في دليل الانضغاط (C_c) ودليل الانتفاخ (C_s).
6. تقلل من تأثير عملية الغسل على انضغاطية ونفاذية التربة.

وأخيراً فان هذه المخلفات عملت وبشكل كبير جداً على تحسين خصائص التربة الجبسية وان نسبة (5%) من المخلفات تعتبر هي نسبة التثبيت المثلى والتي يمكن استخدامها مع هذه التربة، لأنها أعطت أعلى قيمة للمقاومة، اقل انضغاطية وانعدام لدونة التربة عند هذه النسبة بحيث أصبح بالإمكان إستخدامها في الأعمال الترابية كطبقات أساس وتحت الأساس وغيرها وحسب متطلبات العمل وما تقره المواصفات.

المصادر : References

[1]Alphen, J.G.V. and Romero, F.D.R., "Gypseous Soils", Bulletin 12, International Institute for Land Reclamination and Improvement , Wangeningen, Holland,1971.

[2]Barazanji, A. F., "Gypsiferous Soil of Iraq", Ph .D. Thesis, State University of Ghent, Belgium,1973.

[3]Karkush M. O.,"Analytical Modeling and Experimental Investigation of The Leaching Behavior of Gypseous Soils",Ph .D. Thesis, Civil Engineering Department,College of Engineering,University of Baghdad,2008.

[4]الكيكي، إبراهيم محمود أحمد، "دراسة تأثير المخلفات الصناعية (المياه الصناعية) على الخواص الهندسية للتربة الطينية الانتفاخية "، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المدنية، جامعة الموصل، 2002.

[5]Al – Shalhomi, A. y. A, "Effect of Phospho-Gypsum on the Engineering Characteristics of the Clayey Soil " ,M.Sc. Thesis, Civil Engineering Department, University of Mosul, 2000.

[6]الليلة، محمد طيب و الصفار، قتيبة نزار ،(2003)، " دراسة تأثير المياه الصناعية على الخواص الهندسية للتربة الجبسة " ، مجلة هندسة الرافدين ، كلية الهندسة ، جامعة الموصل.
[7]Al – Ashou, M. O. and Al-Khashab, M.N., " Treatment of Expansive Clay Soil With Potassium Chloride", Al-Rafidain Engineering Journal, Mosul University, Vol.1, No.2, pp.17-31, 1993.
[8]Diamond, S. and Kinter, E.B., " Mechanism of Soil-lime stabilization ", Highway Research Record, No.92, pp.83-96, 1965.
[9]Ingles, O. G. and Metcalf, j.B., "Soil Stabilization Principles and Practice ", Butterworth pty limited, Australia,1972.
[10]Rogers, C.D.F. and Glendining, S. , " Modification of Clay soils using lime" , proceeding of East Midlands Geotechnical Group. Line Stabilization Lough borough University, pp.27-64,1996.
[11]O'Floherty, C.A. "Highway Engineering", Vol.2, 3rd ed., Eduard Arnold, London, 1988.
[12]Thompson ,R.M., " Shear Strength and Elastic Properties of Soil– Bine Mixtures",Highway Research Record, HRR,No.139,pp.1-15, 1966.
[13]ASTM Standards, Book of American Society for Testing and Material, Section 4,Vol.04.08 and Vol. 04.03, 2004 .
[14]AASHTO, " American Association State of High Way and Transportation Official Standard",Part I Specification, part II Tests,12th ed ., 1978.
[15]British Standard Institution " Methods of Testing Soil for Civil Engineering Purposes " 1377:1975 .
[16]Mitchel,j.K.'Fundamental of Soil Behavior",JohnWiley,NewYork, 1976.
[17]الركابي، علاء حسين جاسم، "تثبيت طبقات ماتحت الأساس ذات المحتوى الجبسي العالي باستعمال النورة " ، رسالة ماجستير، قسم الهندسة المدنية، جامعة الموصل، 2004.
[18]الداؤود، أسماء أحمد علي " تأثير ظروف الإنضاج على بعض الخواص الهندسية لتربة طينية معاملة بالنورة "، رسالة ماجستير ، كلية الهندسة ، جامعة الموصل،2006.
[19]Al-Obydi, M. A. "Lime Stabilization of Gypseous Soils", M.Sc. Thesis, Civil Engineering Department, College of Engineering, University of Mosul, 1992.
[20]الزبيدي، عبد الرحمن هاني طه " دراسة مقاومة الشد للتربة الجبسية الحاوية على نسبة عالية من الأملاح الذائبة والمثبتة بالنورة " رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل،2007.
[21]Khattab. S. A. A., Al-KiKi, I. M. A, and Al-Juari, K. A. K., " Strength, Durability and Hydraulic Properties of Clayey Soil Stabilized with Lime and Industrial Waste Lime" Journal of Al-Rafidain Engg., Vol. 16, No. 1, PP. 102-116, 2006.
[22]Singh, R. B. & Al-Layla, M. T., "An Investigation in to the Deformability of Mosul Clay", Proceeding of 6th Asian Regional Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering, pp. 87-90, 1979.
[23]الراوي، محمد ياسين، "تأثير فترات الغمر الطويل على الخواص الهندسية للتربة الجبسية"، رسالة ماجستير، القسم المدني، كلية الهندسة، جامعة الموصل، 2003