

Influence of temperature on permeability of sandy soil improved with wax designed as bottom barrier in landfill

Dr. Wael Harfoush *
Dr. Ramy Ousta**
Dima Nabhan Salameh ***

(Received 2 / 7 / 2017. Accepted 12 / 12 / 2017)

□ ABSTRACT □

Temperatures generated within the waste mass, covers , bottom liners and surrounding subsurface soil is considered as one of the most important factors affecting the performance of the insulation systems in landfills. This is due to its influence on the physical and mechanical of the material properties used in lining, and particularly on the permeability and its modulus. Research aims to study the effect of variations of temperatures on permeability of sandy soil treated with wax, and determine the optimum ratio for the addition of wax that satisfy the required impermeability in landfills within thermal changes.

The importance of the research is to evaluate the impact of temperature variation on the effective performance of compacted sandy soil treated with wax to be used as a barrier in landfills. Al Bassa landfill in Latakia was selected as a case study because of its sandy permeable soil and its high water table level where there is a risk of contamination by leakage of leachate into the soil and groundwater.

Key words: wax, sandy soil ,temperature, compaction effort, permeability, landfills

*Professor, department of Geotechnical engineering, Faculty of civil engineering, Tishreen University, Syria.

** Assistant Professor , department of Geotechnical engineering, Faculty of civil engineering, Tishreen University, Syria.

***Postgraduate student (PhD) , department of Geotechnical engineering, Faculty of civil engineering, Tishreen University, Syria.

تأثير درجة الحرارة على نفاذية التربة الرملية المحسنة بالشمع المصممة كبطانة أرضية للمطمر

د. وائل حرفوش*

د. رامي أسطه**

ديمه نبهان سلامه***

(تاريخ الإيداع 2 / 7 / 2017. قُبِلَ للنشر في 12 / 12 / 2017)

□ ملخص □

تعتبر درجات الحرارة المتولدة ضمن كتلة النفايات وما يحيط بها من غطاء وبطانة وتربة من أهم العوامل المؤثرة على أداء أنظمة العزل في المطامر. ويرجع السبب في ذلك إلى تأثيرها على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمواد المستخدمة في التبتين، وبشكل خاص على النفاذية ومعاملها. يهدف البحث إلى دراسة تأثير درجة الحرارة على نفاذية خلائط التربة الرملية المعالجة بنسب من الشمع، وتحديد النسبة المثلى للشمع التي تحقق النفاذية المطلوبة في البطانة السفلية للمطمر ضمن ظروف التغيرات الحرارية المؤثرة. تأتي أهمية البحث في تقييم الأثر الحراري على فعالية أداء التربة الرملية المحسنة بالشمع والمرصوصة لاستخدامها كحاجز عزل في المطامر والوصول إلى التصميم المناسب للبطانة السفلية المحقق لدرجة التكتيم المطلوبة مع الظروف الحرارية المحيطة بالبطانة. تم اختيار مطمر البصة في مدينة اللاذقية كتطبيق للدراسة وذلك بسبب تربة موقعه الرملية النفوذة ومنسوب المياه الجوفية المرتفع مما يشكل خطر حدوث تلوث في التربة والمياه الجوفية.

الكلمات المفتاحية: الشمع، التربة الرملية، درجة الحرارة، طاقة الرص، النفاذية، المطامر الصحية

* أستاذ، قسم الهندسة الجيوتكنيكية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، سورية.

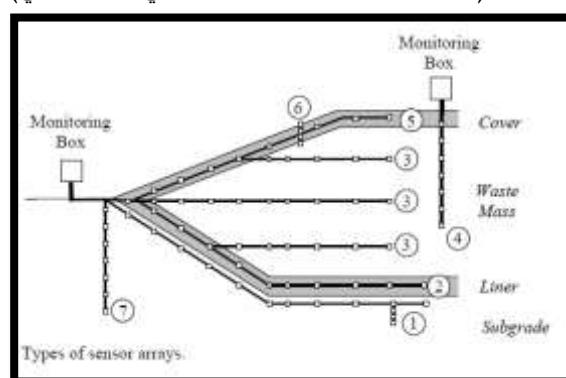
** مدرس، قسم الهندسة الجيوتكنيكية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، سورية.

*** طالبة دراسات عليا (دكتوراه)، قسم الهندسة الجيوتكنيكية، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، سورية.

مقدمة :

تعتبر درجة الحرارة وتغيراتها من العوامل المهمة التي تؤثر على أداء أنظمة العزل في المطامر حيث تؤثر بشكل واضح على الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية لمادة التطين المستخدمة لعزل المطمر بالإضافة إلى تأثيرها على لزوجة وكثافة السائل الراشح ضمن المطمر [1,2].

تناولت أبحاث عديدة [1,2,3] دراسة وتحليل النظام الحراري داخل وحول المطمر والعوامل المؤثرة عليه مثل: التغيرات الحرارية الموسمية في منطقة المطمر، محتوى الرطوبة ، توضع النفايات ، عمرها وعمقها ، والعمليات البيولوجية والكيميائية و الجيوميكانيكية الحاصلة ضمن المطمر. وقد استندت هذه الأبحاث على بيانات حقلية لدراسات سابقة تم الحصول عليها بواسطة أجهزة استشعار وزعت في مطامر موجودة بمناطق متشابهة وأخرى مختلفة من حيث الظروف المناخية والتشغيلية لمنشأة المطمر (ظروف متغيرة من التحلل الهوائي و اللاهوائي) الشكل (1) .



الشكل (1) توزع نظام أجهزة الاستشعار ضمن المطمر وحوله

1: أسفل البطانة-2: ضمن البطانة السفلية-3:4: ضمن كتلة النفايات-5:6: ضمن الغطاء-7: ضمن التربة الطبيعية

خلصت تلك الدراسات إلى أن درجات الحرارة في منطقة الغطاء العلوي للمطمر وعلى أعماق قليلة للنفايات تتأثر بالتغيرات الحرارية الموسمية و تكون قريبة من درجة حرارة الهواء الجوي و أعلى منها بحدود 10°C في الشتاء. أما درجة حرارة النفايات على أعماق كبيرة نسبياً تكون مستقلة عن تقلبات الحرارة الموسمية وتتراوح قيمتها ضمن المجال $^{\circ}\text{C}(40-65)$ عند مركز كتلة النفايات في وسط المطمر. في حين تتراوح درجات الحرارة حول البطانات (القاعدة) بين $^{\circ}\text{C}(35-45)$.

توافقت نتائج الأبحاث المذكورة أعلاه مع نتائج أبحاث أخرى [4,5] أجريت لرصد درجات الحرارة الناتجة في المطامر في ظل ظروف التحلل الهوائي و التحلل اللاهوائي بوجود نفايات حديثة وقديمة تصل إلى 40 عاماً".

استناداً إلى الدراسات المرجعية السابقة والتي تبين بأن درجة الحرارة عند البطانة السفلية للمطمر تتراوح بين $^{\circ}\text{C}(35-45)$ لذلك سوف نقوم باختبار نفاذية البطانة الرملية المحسنة بالشمع حتى درجة حرارة 50°C . وقد تم اختيار درجات الحرارة $^{\circ}\text{C}(10, 20, 30, 40, 50)$ كمجال يشمل درجات الحرارة المرصودة عند البطانة السفلية.

أهمية البحث وأهدافه:

تؤثر درجة الحرارة المتولدة ضمن كتلة النفايات وما يحيط بها على كثافة بطانات المطامر، لذلك فإن إهمالها وعدم أخذ تأثيرها بعين الاعتبار عند تصميم بطانات المطامر ينعكس على تقييم كفاءة وفعالية أداء تلك البطانات. تم اختيار مطمر البصة (في مدينة اللاذقية) لكون تربة الموقع رملية نفوذة ومنسوب المياه الجوفية مرتفع وقد أثبتت

دراسات سابقة [6] حدوث تلوث المياه الجوفية بمنطقة المطر مما يشير إلى حدوث خلل في أداء التبتين المستخدم. وحيث أن الشمع أثبت كفاءة عالية في تخفيض نفاذية التربة الرملية لدرجة كبيرة تصل إلى 10^{-10} m/s [7,8] فقد تم اختياره في هذا البحث لمعالجة مشكلة تسرب الرشاحة في مواقع مطامر النفايات ذات القاعدة الرملية.

تأتي أهمية البحث في تقييم تأثير درجة حرارة المطر على فعالية بطانة المطامر الرملية المحسنة بالشمع التي يمكن أن تكون خياراً لمواد التبتين المستخدمة في عزل النفايات في المطامر ، ويسمح هذا الخيار باستثمار أماكن جديدة تربتها رملية لطمر النفايات المتزايدة كما "ونوعاً" بشكل آمن مع ظروف التوسع العمراني والصناعي بمرحلة إعادة الإعمار المنشودة في سورية

يهدف البحث إلى:

1. دراسة تأثير تغير درجة الحرارة على نفاذية خلأط التربة الرملية المحسنة بنسب من الشمع والمرصوصة بطاقات رص مختلفة تحاكي طاقات الرص الممكن تطبيقها في الموقع .
2. تحديد النسبة المثلى للشمع الموافقة لطاقة الرص المناسبة التي تحقق درجة التكتيم المطلوبة في المطامر الصحية مع أخذ تأثير تغير درجة الحرارة بعين الاعتبار .

طرائق البحث ومواده :

اعتمد البحث المنهج التجريبي في الدراسة وذلك وفق المراحل التالية :

1. تحديد خواص التربة الرملية المستخدمة وكذلك الشمع في الحالة الطبيعية
2. تشكيل عينات التربة الرملية المحسنة بنسب مختلفة من الشمع وإجراء التجارب اللازمة عليها
3. إجراء تجارب مخبرية لدراسة تأثير درجة الحرارة على نفاذية العينات المحسنة بالشمع

مواد البحث :

استخدم في هذا البحث تربة رملية من موقع مطمر البصة جنوب شرق مدينة اللاذقية حيث بينت التحريات الجيوتكنيكية أن العمود الطبقي لتربة الموقع يتألف من طبقة بعمق 5m من السطح عبارة عن طبقة من الرمل الناعم إلى الخشن رمادي اللون إلى مصفر تحوي حصى ناعمة لمساء صغيرة الحجم ، تليها طبقة سماكتها 5m من نفس الرمال مع نسبة كبيرة من الحصى الملساء صغيرة الحجم [9]. أجريت التجارب اللازمة لتحديد مواصفاتها في مخبر ميكانيك التربة في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين .

أما الشمع الذي استخدم في هذا البحث لتحسين التربة الرملية فهو شمع البرافين: (Paraffin Wax FA 569) وذلك بسبب توفره وفعالية أداءه وانخفاض تكلفته بالمقارنة مع أنواع الشمع الأخرى.

الجدول رقم (1): مواصفات الشمع المستخدم Wax FA 569

الاختبارات	المواصفات		ASTM
	الحد الأصغري	الحد الأعظمي	
الحالة الفيزيائية (25°C)	صلب		
اللون		3	D 1500
درجة الإنصهار (°C)	60	62	D 938
إبرة الإختراق (dmm,at 25°C)	15	20	D 1321
(%)نسبة الزيت		0.5	FL- 01

طرق تحضير عينات التربة الرملية المحسنة بالشمع :

بناء على دراسات مرجعية [10] مع بعض التعديلات، وبناء على تجارب مخبرية أولية تم اختيار النسب التالية (7 , 9 , 11 , 13 , 15)% للشمع المضاف إلى الرمل الجاف، وتم تسخين المزيج إلى درجة تفوق درجة انصهار الشمع (62°C)، ومن ثم تم الخلط بخلاط آلي بمعدل 60 دورة في الدقيقة لمدة 15 دقيقة، بعد ذلك تم إزالة المصدر الحراري مع الاستمرار بالخلط بضع دقائق إضافية حتى يفتر الخليط مكونا جزيئات الرمل المغلفة بالشمع. تم في بحثنا استخدام أربع طاقات رص تحاكي طاقات الرص الممكن تطبيقها في الموقع وهي:

بروكتور المعدلة (MP) : 2700 KN.m/m^3 - بروكتور متوسطة (AP) بين (MP-SP) : 650 KN.m/m^3

بروكتور النظامية (SP) : 600 KN.m/m^3 - بروكتور المخفضة (RP) : 360 KN.m/m^3 .

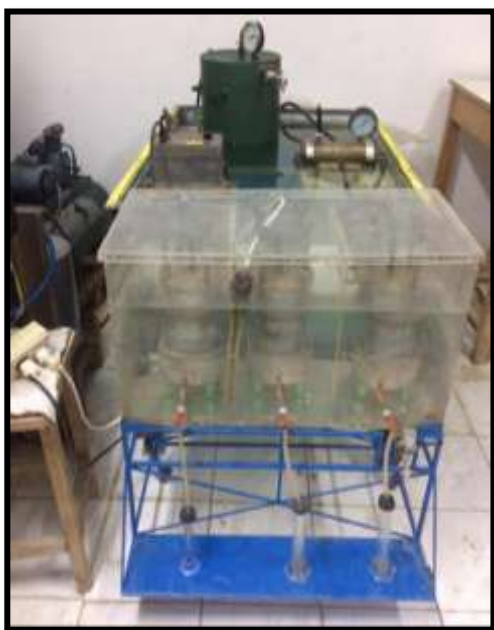
تم تجهيز عينات التربة الرملية الممزوجة بنسب مختلفة من الشمع لإجراء تجربة بروكتور عليها باستخدام قالب بروكتور النظامي (4 in) بقطر 10.1cm و ارتفاع 11.7cm. حيث رصت التربة على 5 طبقات من أجل طاقة رص بروكتور المعدلة (MP) و بروكتور المتوسطة (AP) ، و رصت على 3 طبقات من أجل طاقة رص بروكتور النظامية (SP) و بروكتور المخفضة (RP) .

جهزت عينات اختبار نفاذية الرمل المعالج بالشمع بالوزن الحجمي الجاف المقابل لكل نسبة شمع اعتماداً على منحني بروكتور لكل طاقة رص ، حيث رصت العينات على طبقات بطاقة الرص المطلوبة في قالب خاص من البلاستيك قمنا بتصميمه وخرطه من الداخل قطر القالب 11 cm وارتفاعه 12 cm (ارتفاع العينة 10 cm)، حيث رصت التربة على 5 طبقات من أجل طاقة رص بروكتور المعدلة (MP) و بروكتور المتوسطة (AP) ، و رصت على 3 طبقات من أجل طاقة رص بروكتور النظامية (SP) و بروكتور المخفضة (RP) مع تعديل عدد الطرقات بما يتناسب مع حجم القالب المستخدم.

الموديل المخبري لضبط درجة حرارة الوسط

أثناء قياس معامل النفاذية :

لدراسة تأثير درجة الحرارة على نفاذية عينات التربة الرملية المحسنة بالشمع قمنا بتصميم وتجهيز حوض زجاجي مملوء بالماء ووضعت بداخله مجموعة أجهزة قياس معامل النفاذية الشكل (2). لضبط درجة حرارة الماء داخل الحوض تم استخدام سخان كهربائي مزود بترموستات بحيث يتم التحكم بدرجة الحرارة المطلوبة. تم توليد الهواء المضغوط بواسطة ضاغط (كومبريسة) موجود بجانب الحوض موصول بخزان مملوء بالماء حيث يحول ضغط الهواء إلى ضغط ماء مع إمكانية ضبط الضغط أثناء الاختبار. وتم توزيع الماء المضغوط على ثلاث خلايا تحتوي على العينات المختبرة حيث تم وضعها ضمن حجرة زجاجية ثانية و تم ضبط حرارتها بسخان مزود

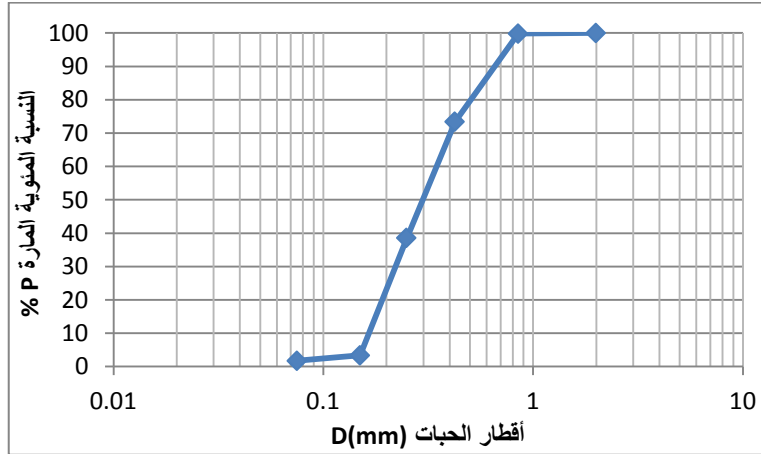


بترموستات. تم استخدام الماء عوضاً عن الرشاحة كون نفاذية الماء أعلى من نفاذية الرشاحة بحسب [11].
الشكل 2: جهاز قياس معامل النفاذية مع ضبط درجة الحرارة

تمت دراسة بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية للتربة الطبيعية وتضمنت هذه التجارب ما يلي :

تجارب تحديد مواصفات التربة الطبيعية:

يبين الشكل (3) منحنى التدرج الحبي للرمل المستخدم في الدراسة حيث تتراوح معظم أقطار الحبيبات (0.15–0.9)mm



القطر mm	نسبة المار %
2	100
0.85	99.83
0.425	73.44
0.25	38.56
0.15	3.4
0.075	1.77

الشكل 3: منحنى التدرج الحبي للتربة الطبيعي

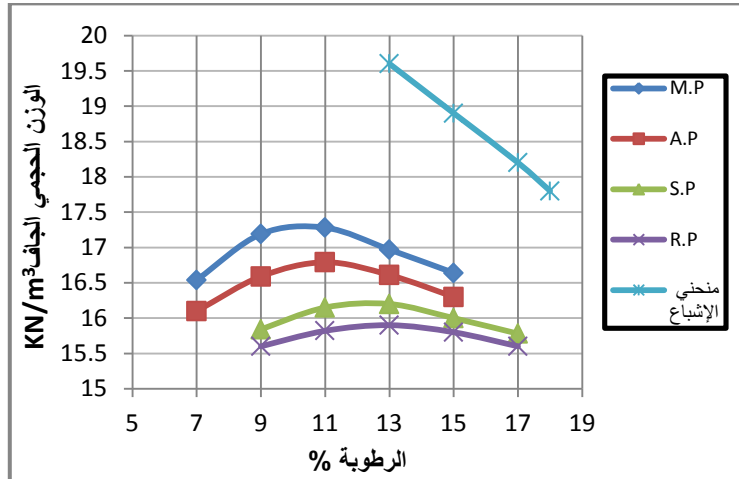
ويبين الجدول (2) الخواص الفيزيائية للرمل في موقع المطمر:

الجدول رقم (2): الخواص الفيزيائية لتربة الموقع الرملية

القيم	المواصفات
6	الرطوبة (%)
2.7	الوزن النوعي Gs
17.3	الوزن الحجمي الطبيعي γ (KN/m ³)
17.3	الوزن الحجمي الجاف الأعظمي γ_{dmax} (KN/m ³)
15	الوزن الحجمي الجاف الأصغري γ_{dmin} (KN/m ³)
0.61	قرينة التراص I_D
98.4	المكافئ الرملي (%) SE
0.40	المسامية n
2.1	معامل التجانس Cu
0.84	معامل الانحناء C _Z
1.77	نسبة المار من المنخل 200 (%)
تربة رملية سيئة التدرج الحبي SP ومتوسطة التراص	تصنيف التربة حسب التصنيف الموحد (USCS)

■ تجربة بروكتور:

تم إجراء تجربة بروكتور على عينات التربة الرملية الطبيعية المجهزة في قالب بروكتور النظامي (4 in) بقطر 10.1cm وارتفاع 11.7cm. والمرصوفة على 5 طبقات من أجل طاقتي رص بروكتور المعدلة (MP) و المتوسطة (AP) و على 3 طبقات من أجل طاقتي رص بروكتور النظامية (SP) و المخفضة (RP) .
نتائج التجارب موضحة في الشكل (4) و الجدول المرفق



W_{opt}	$\gamma_{d max}$	طاقة الرص
%	KN/m^3	$KN.m/m^3$
10.3	17.3	2700 MP-
11.2	16.8	AP-1650
12.2	16.2	SP- 600
12.8	15.9	RP-360

الشكل 4: منحنيات بروكتور للتربة الطبيعية بطاقات الرص المدروسة

يلاحظ من المنحنيات في الشكل (4) أنه مع ازدياد طاقة الرص يصبح منحني بروكتور أكثر انحناء ، وتزداد قيمة الوزن الحجمي الجاف الأعظمي وتخفض قيمة الرطوبة المثلى وتأخذ القيم الموضحة بالجدول المرفق مع الشكل (4).

■ تجربة النفاذية :

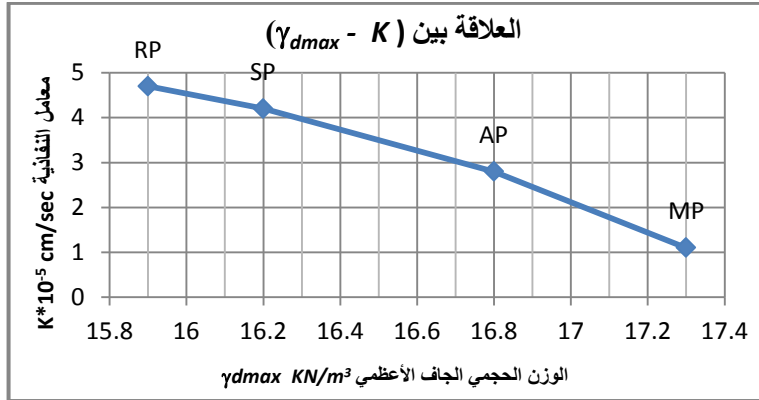


جهزت عينات الاختبار (3 عينات لكل طاقة رص) في قالب بروكتور النظامي (4 in) قطر العينة 10.1cm و ارتفاعها 10 cm. رصت التربة في قالب الاختبار على 5 طبقات من أجل طاقتي رص بروكتور المعدلة (MP) و بروكتور المتوسطة (AP) و رصت على 3 طبقات من أجل طاقتي رص بروكتور النظامية (SP) و بروكتور المخفضة (RP) للوصول إلى الكثافة الجافة الأعظمية الموافقة لطاقة الرص المدروسة .

اختبرت نفاذية العينات المشكلة باستخدام جهاز النفاذية بضغوط ثابت الشكل (5) حيث تم استخدام ضغط بمقدار 0.5 bar وتم اعتماد قيمة معامل النفاذية القيمة الوسطية للتجارب الثلاث لكل طاقة رص .

الشكل 5 : اختبار النفاذية للتربة الطبيعية

نتائج التجارب موضحة في الشكل (6) و الجدول المرفق حيث نلاحظ الانخفاض الملحوظ للنفاذية مع زيادة طاقة الرص .



K cm/s	γ_{dmax} KN/m ³	طاقة الرص KN.m/m ³
$1.1 \cdot 10^{-5}$	17.3	MP-2700
$2.8 \cdot 10^{-5}$	16.8	AP-1650
$4.2 \cdot 10^{-5}$	16.2	SP- 600
$4.7 \cdot 10^{-5}$	15.9	RP-360

الشكل 6 : تأثير تغير طاقة الرص على معامل النفاذية للتربة الرملية

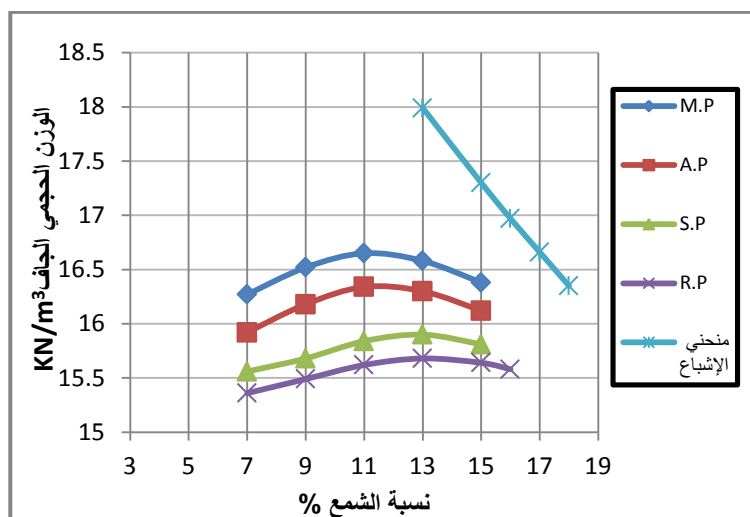
تجارب بروكتور للتربة الرملية المحسنة بالشمع:

جهزت عينات التربة المراد اختبارها بالطريقة التي ورد ذكرها في تحضير عينات التربة الرملية المحسنة بالشمع . أجريت أربع تجارب بروكتور بنسب شمع محصورة بين 7% و 16% وبأربع طاقات رص $(360, 600, 1650, 2700) \text{ KN.m/m}^3$.

نتائج هذه التجارب مبينة في الجدول (3) وبالشكل (7) والجدول المرفق.

الجدول رقم (3) : نتائج تجارب بروكتور على الرمل المحسن بالشمع

RP(360kN.m/m ³)						SP(600kN.m/m ³)						AP(1650kN.m/m ³)						MP(2700kN.m/m ³)						طاقة الرص
16	15	13	11	9	7	15	13	11	9	7	15	13	11	9	7	15	13	11	9	7	نسبة الشمع			
15.58	15.64	15.68	15.62	15.49	15.36	15.81	15.9	15.84	15.68	15.56	16.3	16.34	16.18	15.92	15.82	16.38	16.58	16.65	16.52	16.27	الوزن الحجمي الجاف $\gamma_d \text{ (KN/m}^3\text{)}$			
15.7						15.9						16.3						16.7						الوزن الحجمي الجاف الأعظمي $\gamma_{dmax} \text{ (KN/m}^3\text{)}$
13.5						13						11.8						11.4						نسبة الشمع المثالية P _{opt} %



نسبة الشمع المثالية $P_{opt} \%$	$\gamma_{d \max}$ KN/m^3	طاقة الرص $KN.m/m^3$
11.4	16.7	2700 MP-
11.8	16.3	AP-1650
13	15.9	SP- 600
13.5	15.7	RP-360

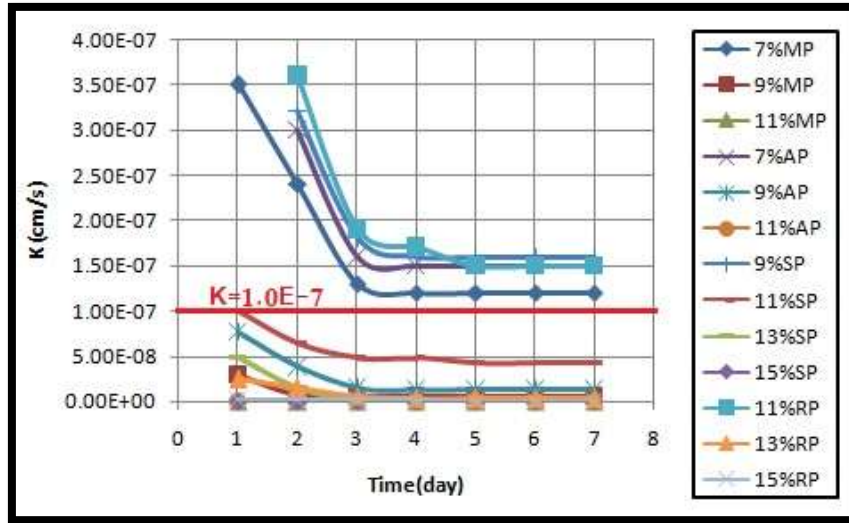
الشكل 7: منحنيات بروكتور للتربة الرملية المحسنة بالشمع بطاقات الرص المدروسة

من خلال مقارنة النتائج السابقة لاختبار بروكتور للتربة الرملية الطبيعية و التربة الرملية المحسنة بالشمع نلاحظ أن منحني بروكتور للتربة الرملية المعالجة بالشمع يصبح أقل انحناءً حيث ينتج انخفاض طفيف بقيمة الوزن الحجمي الجاف الأعظمي للرمال ، وازدياد طفيف بنسبة الشمع المثالية للرمال المعالج بالشمع مقارنة مع الرص للتربة الطبيعية .

تجارب تحديد معامل النفاذية للتربة الرملية المحسنة بالشمع مع درجات الحرارة المدروسة :

جهزت عينات التربة المحسنة بنسب الشمع المذكورة أعلاه وبالكثافة الجافة الموافقة لكل نسبة شمع والمبينة في الجدول (3). وتركت العينات المشكلة 24 ساعة من أجل تصلب الشمع ثم تم اختبار هذه العينات على النفاذية بدرجات حرارة $(10 - 20 - 30 - 40 - 50) ^\circ C$ وباستخدام الموديل المخبري المطور للتحكم بدرجة الحرارة أثناء الاختبار الشكل (3) . عرضت العينات إلى ضغط ثابت بقيمة 0.5 bar واستخدم الماء عوضاً عن الرشاحة كون النفاذية أكبر عند استخدام الماء منها بحال استخدام الرشاحة [11].

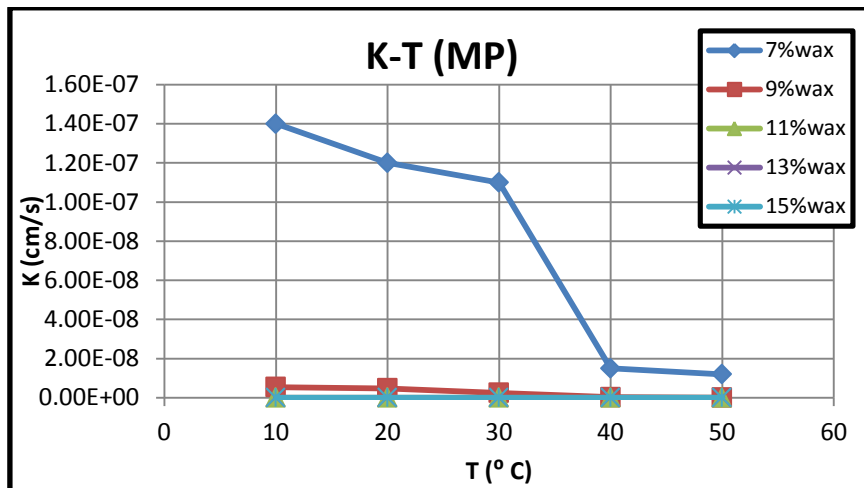
تم اختيار مدة سبعة أيام كزمن قياسي لكل اختبار نفاذية وقد اختيرت هذه المدة اعتماداً على دراسات سابقة استخدمت فيها مواد مختلفة في تبطين المطامر مثل (GCL) كما في [12] حيث قام الباحثون بدراسة نفاذية العينات خلال 200 ساعة وقد استقرت النفاذية بعد 72 ساعة. أما عند استخدام الاسمنت مع الغضار حصل انخفاض واضح في النفاذية خلال أسبوع لتستقر عند قيمة دنيا بعد 15 يوم [13]. وكذلك بناء على الملاحظات التجريبية في المخبر حيث لوحظ استقرار قيمة معامل النفاذية للعينات اعتباراً من اليوم الثالث لوضع العينة على جهاز الاختبار الشكل (8). اعتبرت العينة كتيمة في حال لم يحصل أي تسرب للمياه ضمن العينة خلال مدة الاختبار.



الشكل 8: تغير معامل النفاذية مع الزمن للعينات المحسنة بنسب الشمع وطاقت الرص المختلفة عند الدرجة 20°C نتائج اختبارات النفاذية للتربة الرملية المحسنة بنسب الشمع وطاقت الرص بدرجات الحرارة المدروسة مبينة في الجداول و المخططات التالية :

الجدول رقم (4) : معامل نفاذية التربة الرملية المحسنة بالشمع K لطاقة الرص المعدلة MP

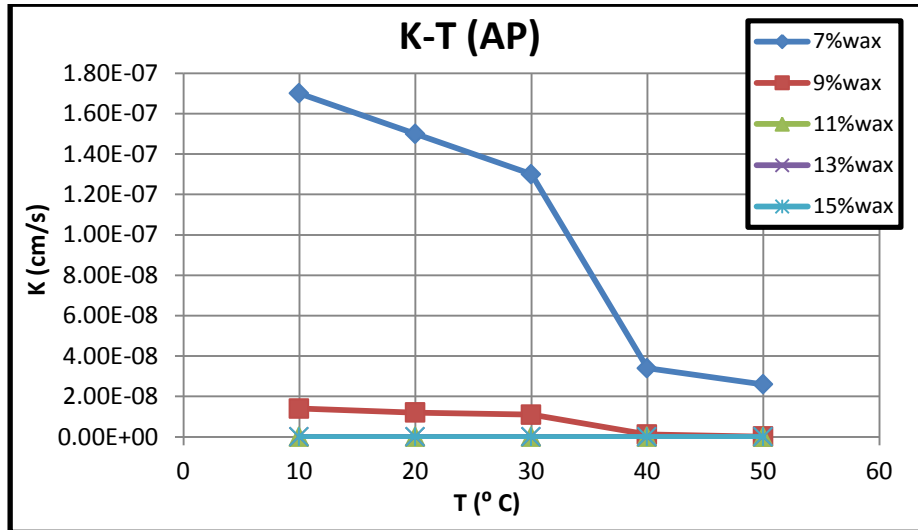
50	40	30	20	10	درجة الحرارة ($^{\circ}\text{C}$) نسبة الشمع (%)	طاقة الرص
1.20E-08	1.50E-08	1.10E-07	1.20E-07	1.40E-07	7	MP
0.00E+00	2.70E-10	2.50E-09	4.80E-09	5.40E-09	9	
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	11	
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	13	
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15	



الشكل 9: تغير معامل النفاذية للتربة الرملية المحسنة بالشمع بطاقة رص MP

الجدول رقم (5) : معامل نفاذية التربة الرملية المحسنة بالشمع K لطاقة الرص المتوسطة AP

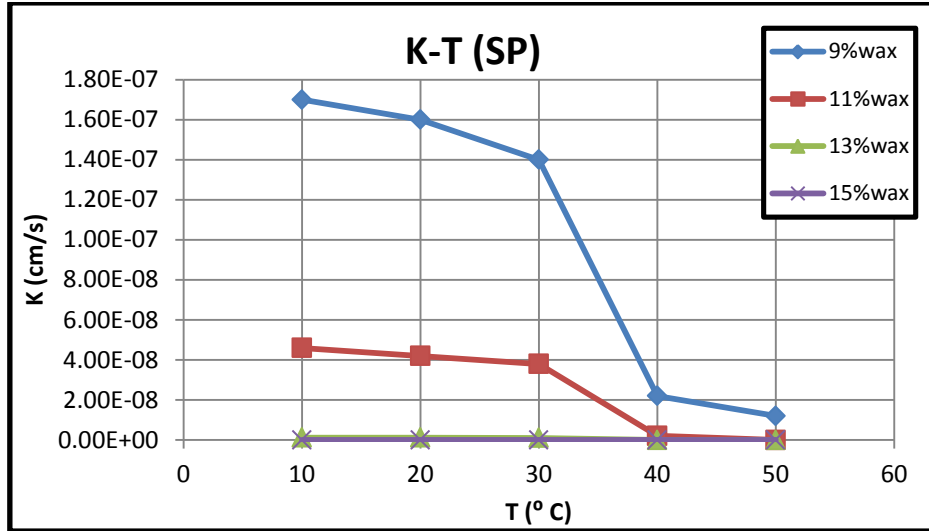
50	40	30	20	10	درجة الحرارة (°C)		طاقة الرص
					نسبة الشمع (%)		
2.60E-08	3.40E-08	1.30E-07	1.50E-07	1.70E-07	7		AP
1.80E-10	1.20E-09	1.10E-08	1.20E-08	1.40E-08	9		
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	11		
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	13		
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15		



الشكل 10: تغير معامل النفاذية للتربة الرملية المحسنة بالشمع بطاقة رص AP

الجدول رقم (6) : معامل نفاذية التربة الرملية المحسنة بالشمع K لطاقة الرص النظامية SP

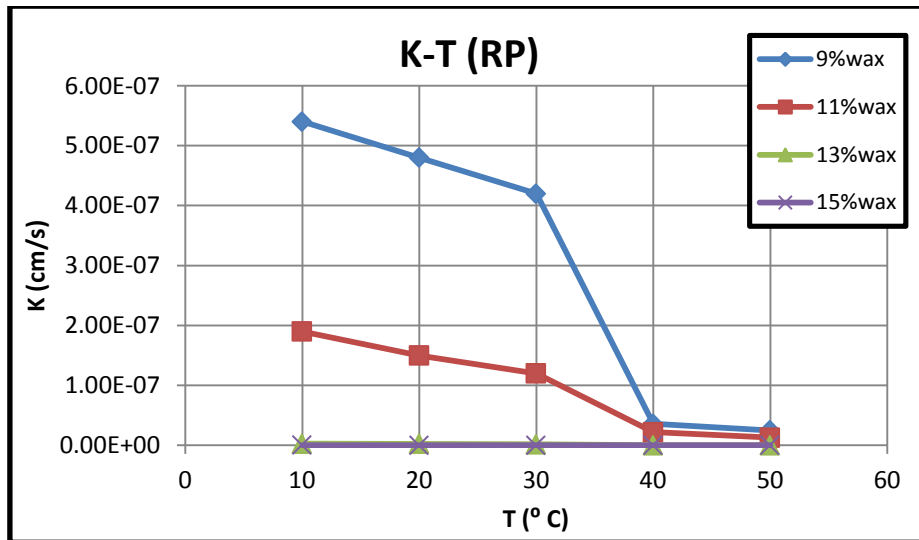
50	40	30	20	10	درجة الحرارة (°C)		طاقة الرص
					نسبة الشمع (%)		
1.20E-08	2.20E-08	1.40E-07	1.60E-07	1.70E-07	9		SP
0.00E+00	2.10E-09	3.80E-08	4.20E-08	4.60E-08	11		
0.00E+00	0.00E+00	1.10E-09	1.20E-09	1.20E-09	13		
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	15		



الشكل 11: تغير معامل النفاذية للتربة الرملية المحسنة بالشمع بطاقة رص SP

الجدول رقم (7) : معامل نفاذية التربة الرملية المحسنة بالشمع K (cm/s) لطاقة الرص المخفضة RP

50	40	30	20	10	درجة الحرارة (°C)	
					نسبة الشمع (%)	
2.50E-08	3.60E-08	4.20E-07	4.80E-07	5.40E-07	9	
1.30E-08	2.20E-08	1.20E-07	1.50E-07	1.90E-07	11	
0.00E+00	0.00E+00	1.80E-09	2.40E-09	2.70E-09	13	
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.50E-10	15	



الشكل 12: تغير معامل النفاذية للتربة الرملية المحسنة بالشمع بطاقة رص RP

مناقشة النتائج :

نلاحظ من الجداول و المخططات السابقة الانخفاض الواضح للنفاذية مع زيادة درجة الحرارة ويصبح هذا الانخفاض أكثر وضوحاً في المجال $^{\circ}\text{C}$ (30-40)

يمكن تفسير النتائج أعلاه بأن درجة الحرارة تسبب حدوث تمدد حراري لجزيئات الرمل المحسن بالشمع يسهم بتغيير وتعديل شكل المسامات بين تلك الجزيئات بشكل يخفض أو يسد المسامات بينها و يؤثر على نفاذيتها ويظهر

نتائج ذلك بشكل واضح في مجال الحرارة $^{\circ}\text{C}$ (30-40) أما عندما تتجاوز درجة الحرارة $^{\circ}\text{C}$ 40 أو عندما تكون نسبة الشمع مرتفعة فإن الرمل يصبح شبه كتيم ولذلك فلا تظهر آثار الحرارة بشكل واضح على النفاذية. تتوافق نتائج البحث بانخفاض النفاذية مع ارتفاع درجة الحرارة مع أبحاث سابقة [14,15] حيث انخفضت النفاذية بشكل واضح مع ارتفاع درجة الحرارة لتستقر ضمن مجال حراري وتعود لترتفع بعد حدوث التكسر الحراري للعينات.

الاستنتاجات و التوصيات:

الاستنتاجات:

أظهرت الدراسة تأثير درجة الحرارة على نفاذية التربة الرملية المحسنة بالشمع وفعالية أدائها كبطانة سفلية للمطامر.

تشير نتائج الاختبارات إلى انخفاض معامل النفاذية في جميع العينات مع ارتفاع الحرارة باعتبار قيمة النفاذية عند الدرجة $^{\circ}\text{C}$ 10 كقيمة مرجعية ويكون هذا الانخفاض واضحاً وخاصة في المجال $^{\circ}\text{C}$ (30-40) ، وتمثل الدرجة $^{\circ}\text{C}$ 40 عتبة تحول واضح في النفاذية حيث تتحول العينات عندها إلى كتيمية مع نسبة شمع 13% لطاقتي الرص SP,RP وشبه كتيمية مع نسبة شمع 9% لطاقتي الرص MP, AP .

خلصت الدراسة إلى أن رص الرمل المعالج بالشمع بنسبة الشمع المثالية الموافقة لطاقة الرص المعتمدة (MP) أو AP أو SP أو RP) يحقق النفاذية المطلوبة في الحواجز السفلية للمطامر ($1 \cdot 10^{-7} \text{ cm/s}$) كما أن حرارة الرشاحة الناتجة عن النفايات تخفض من نفاذية البطانة السفلية للمطامر ، بحيث أنه لو كانت نسبة الشمع أقل من النسبة المثالية فإن الرمل يتحول إلى جسم شبه كتيم ويحقق الشروط المطلوبة في الحواجز السفلية للمطامر وبالتالي فإن حرارة الرشاحة بعين الاعتبار في تصميم البطانة السفلية للمطامر يساهم في تخفيض تكاليف إنشاء الحواجز السفلية لعزل المطامر ذات تربة التأسيس الرملية باستخدام نسب أقل من الشمع للوصول إلى النفاذية المطلوبة مع درجات الحرارة الحاصلة عند قاعدة المطمر وبشكل يحقق كفاءة أداء الرمل المحسن بالشمع كخيار جديد لمواد التبطين.

التوصيات :

القيام بأبحاث إضافية لمعرفة :

1. تأثير الحرارة على مقاومة البطانة
2. تأثير تعرض البطانة لحلقات تبريد وتسخين متكررة على نفاذية و مقاومة البطانة .

المراجع :

- [1] YESILLER, N; HANSON, J. L. "Analysis of Temperatures at a Municipal Solid Waste Landfill," Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, Christensen et al., Eds., CISA, Italy , 2003, pp. 1-10.
- [2] YOSHIDA, H; ROWE, R. K "Consideration of landfill liner temperature" Proceedings Sardinia. 2003, , pp. 1-9

[3] YESILLER, N; HANSON, J. L; LIU, W. "Heat generation in municipal solid waste landfills." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 131.11, 2005, PP 1330-1344.

[4] HANSON, J. L; YESILLER, N; OETTLE, N.K. "Spatial and temporal temperature distributions in municipal solid waste landfills." Journal of Environmental Engineering 136.8 ,2010,PP 804-814.

[5] YESILLER, N; HANSON, J. L; YOSHIDA, H. "Landfill temperatures under variable decomposition conditions." ,2011,PP 1055.

[6] عوض، عادل؛ جعفر، رائد؛ متوج، هاديا. دراسة تأثير مكب البصة على جودة مصادر المياه السطحية

والجوفية في محيطه. مجلة جامعة تشرين للبحوث و الدراسات العلمية. مجلد35(8)، 2013، 297-317

[7] CARTER.E.E. *Construction of Flexible Subterranean Hydraulic Barriers in Soil and Rock*-8281. WM Conference ,2008

[8] CARTER, JR. *Method of Forming Subterranean Barriers with Molten Wax*, Patent N0.US 8387688 B2,2013

[9] راعي، كنان. نموذج رياضي لمحاكاة الظروف الهيدروجيولوجية للحوامل المائية في المنطقة الواقعة بين

نهري الكبير الشمالي والصنوبر وتقييم مواردها المتاحة. أطروحة دكتوراه، بإشراف أ.د أحمد محمد، د.م شريف حايك .

جامعة تشرين، 2015 ، 8-37

[10] SHOSHANY,H; SHOSHANIA, A . *Hydrophobic sand treated with wax blend* ,Patent N0. US 7,160,379 B1, 2007.

[11] ZANON,T.V.B ;UNARDI,D ;BOSCOV,M.E.G. "Effect of Hydraulic Gradient and Permeant on the Hydraulic Conductivity of a Tropical Residual Soil for Landfill Liners" 7th International Congress on Environmental Geotechnics, Melbourne (Australia) ,2014,pp1524-1530

[12] XUE,Q;ZHANG,Q;LIU,L."Impact of High Concentration Solutions on Hydraulic Properties of Geosynthetic Clay Liner Materials" Materials,2012, 5 , pp. 2330.

[13] QIANG,X;SHAN,J;LIU.L." Experimental study on anti-seepage grout made of leachate contaminated clay in landfill." Applied Clay Science,2013, 80, pp. 438-442.

[14] HOSKINS,E.R;PINCUS,H.J." Measurement of Rock Properties at Elevated Pressures and Temperatures" 1985,869,pp.21

[15] ROSENBRAND,E; FABRICIUS,I.L; KJOLLER,C. " Effect of temperature on sandstone permeability" Mineral-fluid interaction, 2014,pp.60