تحسين مقاومة التربة الانتفاخية باستخدام رماد مخلفات عصر الزيتون الصلبة

د.م. ريم قزي [1] ، د.م. جميل جبل [2]

الملخص

من خلال برنامجٍ تجريبيٍّ شاملٍ ؛ تمّت دراسة تأثير إضافة الرماد النّاتج عن حرق المُخلّفات الصّلبة لصناعة زيت الزّيتون ، في الخواص الجيوتكنيكيّة لنوعين من التّرب الانتفاخيّة المحلّيّة المختلفة اللّدونة ذات الخصائص الانتفاخيّة العالية .

تمّ خلط رماد مخلّفات عصر الزّيتون مع التّرب المُختبَرة بنسبٍ [7%,5%,3%,1%] تبعاً للوزن الجافّ للتّربة ، وحُفظت العيّنات جميعاً للمعالجة [90,28,14] يوماً .

تمّ تقييم أداء المادة المذكورة في تحسين التّرب الانتفاخيّة من خلال مجموعة التجارب التالية : الرّص وفقاً لبروكتور المُعدّلة ، خواص اللّدونة ، مقاومة الضّغط الحرّ مع قياس الانتفاخ النسبيّ ، وفي الوقت ذاته ؛ كان يتمّ قياس PH العيّنات لتقييم أثر المادة المُضافة في قلويّة التّربة .

أثبت رماد مُخلّفات عصر الزّيتون فعاليّته كمادة مُضافةٍ غير تقليديّةٍ في تحسين عامٍّ للخواص الفيزيائيّة والميكانيكيّة للتّرب الانتفاخيّة المُختبَرة ، من خلال تخفيض كلٍّ من خواص اللّدونة والخصائص الانتفاخيّة ، وارتفاع قيم مقاومة الضّغط الحرّ للتّربتين ، كما لُوحظ أن PH العينات قد ارتفع بشكلٍ ملحوظٍ بعد المُعالجة ؛ الأمر الذي قد يكون أسهم في تعديل التّركيب المنراليّ للتّرب المُحسَّنة .

كلمات المفتاح : التربة الانتفاخية–رماد مخلفات عصر الزيتون–تحسين التربة–خواص اللدونة–الانتفاخ النسبيّ - مقاومة الضّغط الحرّ-PH

[1] د.م. ريم أسعد قزي : مهندسة مدنية مشرفة على الأعمال في قسم الهندسة الجيوتكنيكية – جامعة البعث – سوريا

[2] د.م. جميل جبل : أستاذ مساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية – كلية الهندسة المدنية – جامعة حلب– سوريا

Stabilization of Expansive Soil Strength Using the ashes of olive solid wastes

Dr. kAZZI R. , Dr. JABAL J.

Abstract:

Through a comprehensive experimental program ; The effect of adding ash from burning solid wastes of olive oil industry, on the geotechnical properties of two types of local expansive soils of different plasticity with high swelling properties, were studied.

The ash of the olive press wastes was mixed with tested soils in different proportions [1%, 3%, 5%, 7%] of the dry weight of the soil, and all samples were kept for treatment [14,28,90] days.

The performance of the aforementioned additive in improving expansive soils was evaluated through the following set of tests:

Modified Proctor Compaction, Plasticity properties, Unconfined Compression with Relative Swelling measurement.

At the same time, the PH of the samples was recorded to evaluate the effect of the additive on the alkalinity of the soil.

The Olive Waste Ash -as unconventional additives- has proven successful in improving the physical and mechanical properties of the tested expansive soils in general; by reducing both plasticity and swelling properties and increasing the values of Unconfined Compression for the two soils, and It has been noted that the pH of the samples have increased significantly after treatment, which may have contributed to modification of the mineral composition of the improved soil .

Key Words: Expansive Soil–Olive wastes Ashes– Soil Improving – Plasticity properties–Relative Swelling–Unconfined Compression Strength – PH

1- مقدمة :

تنتشر التّرب الانتفاخيّة في جميع أنحاء العالم باستثناء مناطق القطب الشّماليّ، حيث رُصِدَت الأضرار الانتفاخيّة في تُرب المناطق ذات البيئات العالية الرّطوبة ، وكذلك في المناطق الجافّة وشبه الجافّة [17] ، [18] ، وتُعتبر من أكثر المواد الطبيعية صعوبةً بالنسبة لأعمال الهندسة المدنية بشكلٍ عام ، لما تُبديه من تغيّراتٍ حجميةٍ (انتفاخ- تقلص) بنتيجة التغير في رطوبتها تبعاً للشروط المناخية ، وما ينجم عن ذلك من أضرارَ بالغة الحدّة تؤثر سلباً على أداء وعمر استثمار المنشآت الهندسية المُشيّدة عليها من مرافق النقل كافةً أو حتى المنشآت الخفيفة المستندة إليها ، وقد بلغت كلفة الأضرار المُقدّرة والنّاتجة عن الترب الانتفاخية حدّاً تجاوزت فيه كلفة الضرر الناتج عن الكوارث الطبيعية من فيضاناتٍ وأعاصير وزلازل في بلدانٍ مختلفةٍ من العالم [25] ،

ونظراً للطّبيعة الضّارّة للتّرب الانتفاخيّة ، وبما أن تجنّب هذه التّرب من خلال تقنية إزالة واستبدال المُتّبعة سابقاً لم يعد مُجدياً حالياً لاعتباراتٍ تقنيةٍ واقتصاديةٍ وبيئيةٍ ؛ اتجه المهندسون الجيوتكنيكيون نحو خيارات بديلةٍ للحدّ أو التّخفيف من خصائصها الهندسيّة المرفوضة من خلال تقنيّات تحسين التّربة والتي تندرج بمعظمها ضمن فئتين هما: التّحسين الميكانيكيّ والتّحسين الكيميائيّ ، ويفضّل المهندسون الجيوتكنيكيّون في تحسين التّرب الانتفاخيّة استخدام التّحسين الكيميائيّ على اعتبار أنّ تقييم التّشوّهات الحجميّة في التّربة /التّشديد-الانتفاخ-التقلّص/ يتمّ من خلال إمّا الحفاظ أو التّحسين للخواص المرتبطة بالمقاومة على المدى الطّويل والذي يتمّ بلوغه عادةً من خلال التّحسين الكيميائيّ ، [17] ، [23] .

يعتمد التّحسين الكيميائيّ للتّربة على استخدام مواد نشطةٍ كيميائيّاً تُشكّل -من خلال الإماهة- نواتج سمنتةٍ ، تربط أو تجمع حبّات التّربة أثناء التّفاعل الكيميائيّ، و/أو تُعدّل من قيمة الـ PH للوسط الّذي يؤثّر بدوره في السّلوك الأساسيّ لمصفوفة التّربة [22]،

[20] ، وقد تمّت دراسة تأثير إضافة عوامل تحسينٍ تقليديةٍ مختلفةٍ في التّرب الانتفاخية في السّنوات القليلة الماضية كالكلس والاسمنت والرماد المتطاير وغيرها ، إلّا أنّ العديد من الباحثين يرى أهمّيّةً قصوى حاليّاً في البحث عن عوامل تحسينٍ: غير تقليديةٍ ، جديدةٍ ، مستدامةٍ ، ذات خصائص بوزولانيّة (حاوية على كمّيّاتٍ كبيرةٍ من الكلس الحرّ، و/أو ذات إمكانيّةٍ بوزولانيّةٍ (أي: القلويّة مع نسبةٍ عاليةٍ من السّيليكا والألومينا)) [28]، [30] ، كالمُخلّفات الثّانويّة الصّناعيّة والزراعية [18] .

في هذا البحث ؛ تمّ اختيار الرّماد النّاتج عن حرق مخلّفات عصر الزّيتون– وهو مادّةُ مخلفاتٍ غنيّةٌ بالبوتاسيوم– لاختبار إمكانيّة استخدامه كمادةٍ غير تقليديةٍ في تحسين الترب الانتفاخيّة المحليّة ، حيث أظهرت التّحرّيات النّظريّة أنّ أبحاثاً محدودةً قد تناولت استخدامه في تحسين التربة ، وقد تباينت في نتائجها حول فعاليّة المادّة والنّسب المثاليّة لاستخدامها بشكلٍ عامٍّ .

وفقاً لـ [5] فإنّ إضافة الرّماد النّاتج عن حرق مُخلّفات عصر الزّيتون بدرجة حرارة 550°C بنسبةٍ تصل حتّى7.5% من الوزن الجافّ للتّربة ستُخفّض من ضغط الانتفاخ ، بينما وجد[24] أنّ أيّ زيادةٍ للرماد عن النّسبة 3% ستزيد من قابليّة الانضغاط للتّربة وتُضعِف مقاومة الضّغط الحرّ، وبحسب [33] فإن إضافة رماد مُخلّفات الزّيتون لغضار البنتونايت بنسبة 1% ستزيد من قيمة الوزن النّوعيّ إلى قيمةٍ أعظميّةٍ وأيّ إضافةٍ بنسبة أعلى ستؤدّي إلى نقصانه وإلى انخفاض حاد في مقاومة الضّغط الحرّ، أما [31] فقد وجدوا أنّ استخدام رماد مُخلّفات الزّيتون مع تربة المارل الغضاريّة قد أظهر تحسّناً ملحوظاً في الخواص الميكانيكيّة ومقاومة القصّ للعيّنات المعالجة مقارنةً مع عيّنات المارل الطّبيعيّة وازداد هذا التّحسّن مع ارتفاع نسبة الرّماد في الخليط ، مترافقاً مع انخفاضٍ حادٍّ في دليل اللّدونة للتّربة الطّبيعيّة .

2- هدف البحث :

يطرح البحث الحاليّ إسهاماً من وجهة نظر الهندسة الجيوتكنيكيّة في التّنمية المُستدامة ونظام البناء المُستدام في سورية ، وذلك من خلال دراسة إمكانيّة الاستفادة من مواد مخلفات محليّةٍ –وهي رماد المُخلّفات الصّلبة النّاتجة عن صناعة استخراج زيت الزّيتون– ضمن تطبيقات الهندسة الجيوتكنيكيّة ، عبر برنامج تجريبيٍّ يدرس تطور الخواص الفيزيائية والميكانيكية لنوعين من التّرب الانتفاخية المحليّة المختلفة اللّدونة بعد إضافة الرماد بنسبٍ مختلفةٍ وعند فترات معالجةٍ مختلفةٍ .

3- المواد المستخدمة في البحث :

تم اختيار نوعين من الترب الانتفاخية المحلية في هذا البحث :

-التربة (1) :

هي تربة غضارية حمراء اللون مستخرجة بالحفر اليدوي من حفرية مجاورة لأحد الطرقات الريفية الفرعية من قرية الفحيلة التابعة لمحافظة حمص حيث أخذت عينات مخربة من عمق بحدود m(1-0.5) تقريباً تحت سطح الأرض الطّبيعيّة .

-التربة (2) : هي تربةٌ غضاريّةٌ ذات لونٍ بنّيٍّ مُخضرٍّ مستخرجةٌ من حفريّةٍ كانت مجهّزةً لاستثمارها هندسيّاً في قرية النّاصرة التّابعة لمحافظة حمص أيضاً، وقد أُخذت عيّناتٌ مُخرّبةٌ بالحفر اليدويّ من عمق m(2-1.5) تقريباً تحت سطح الأرض الطّبيعيّة .

الجدولان (1)+(2) يعرضان الخواص الجيوتكنيكيّة للتّربتين الطّبيعيتين المدروستين بحسب المواصفات القياسيّة لـ ASTM(1993) ، وقد صنّفت التّرب تبعاً لنظام التصنيف الموحد U.S.C.S [4].

واعتماداً على قيم PI، وتصنيفChen [9]، فإنّ التّربة1 المتوسطة اللدونة هي تربةٌ ذات انتفاخٍ عالٍ، والتّربة2 العالية اللدونة ذات انتفاخٍ عالٍ جداً، بينما وفقاً

لتصنيفBRE(1993) [21]؛ فإنّ التّربة1 ذات انتفاخٍ متوسطٍ والتّربة2 ذات انتفاخٍ عالٍ.

الجدول(1) : التّركيب الحبّيّ والوزن النّوعيّ للتّربتين المستخدمتين في البحث

التّربة	G	البحص (76.2-4.75) mm	الرّمل (4.75-0.075) mm	السّيلت (0.075-0.002) mm	الغضار < 0.002 mm
1	2.68	0.5%	24.5%	20%	55%
2	2.9	0%	3.7%	23.3%	73%

الجدول(2) : خواص اللّدونة والرّصّ للتّربتين المستخدمتين في البحث

التربة	$LL_{(\%)}$	$PL_{(\%)}$	$PI_{(\%)}$	التصنيف	فعالية الغضار	$\gamma_{d,max}$ (gr/cm³)	ω_{opt} (%)
1	64	30	34	CH	0.62	1.62	20
2	92	35	57	CH	0.78	1.63	24

– **رماد مخلفات عصر الزيتون :** تمّ جمعه بعد حرق مخلفات الزيتون المُستحضرة من إحدى معاصر الزيتون في محافظة حمص أيضاً وهي عبارة عن اسطوانات مضغوطة بوزن 1kg تقريباً وتُعرف محلياً باسم التيمز أو البيرين وقد تمّ حرقها باستخدام مدفأة منزلية ، ثم مُرّرت نواتج الحرق على المنخل 0.425mm ليتم خلط المار منه فيما بعد مع التربة المراد تحسينها ، وتمتاز هذه المادة بسهولة استخدامها كونها لا تحتاج للطحن وتركيبها الحبّيّ يظهر أن مقاس حبّاتها مشابهٌ للرّمل السّيلتي بحسب نظام التصنيف الموحد U.S.C.S ، والجدول(3) يعرض مواصفات الرماد المستخدم .

الجدول (3) : خواص رماد مُخلّفات عصر الزّيتون

G_{ash}	2.36
التوزيع الحبّيّ للرماد حسب قياس حباته	
(0.425-0.075) mm	72.8%

$(0.075\text{-}0.002)_{mm}$	15.2%
$< 0.002_{mm}$	12%

أما الجدول(4) ؛ فيعرض التركيب الكيميائي للرماد المستخدم والمحدد باستخدام المعايرة الكلاسيكية في مخابر كلية الزراعة بجامعة البعث، حيث يظهر وبوضوح أن رماد مخلفات عصر الزيتون يملك تركيباً كيميائياً مشابهاً للمواد البوزولانية بوجود نسبة مهمة من أوكسيد الكالسيوم (CaO) وثاني أوكسيد السيليكون (SiO_2) ، إضافةً إلى غنى هذا الرماد بأوكسيد البوتاسيوم (K2O) وهي جميعاً مركبات لها علاقة بتحسين التربة [11] .

الجدول(4):التّركيب الكيميائيّ لرماد مُخلّفات عصر الزّيتون باستخدام المعايرة الكلاسيكيّة (The Chemical composition of Olive waste/Cake/ Ash)

Oxides (%)	OLIVE CAKE ASH	Oxides (%)	OLIVE CAKE ASH
CaO	7.5	Na_2O	0.38
SiO_2	18.5	P_2O_5	6.2
Al_2O_3	1.95	TiO	0.1
MgO	2.01	SO_3^{-2}	-
MnO	0.04	PH	5.9
K_2O	39.6	$^*LOI_{550℃}$(%)	0.0
Fe_2O_3	1.21	$^{**}LOI_{1000℃}$(%)	21.7

$^*LOI_{550℃}$ (%): Loss on ignition(550℃ الفاقد بالاحتراق عند درجة حرارة)

$^{**}LOI_{1000℃}$ (%): Loss on ignition(1000℃ الفاقد بالاحتراق عند درجة حرارة)

3-1- تحضير العينات ومنهجية التجارب المتبعة :

تمّ خلط التّربة الطّبيعيّة(المُجفّفة بالهواء الطّلق) بمفردها لجعلها متجانسةً قبل إضافة المواد المُحسِّنة ، مع تفتيت التّكتّلات يدويّاً أو بضرباتٍ خفيفةٍ بمطرقةٍ مطاطيّةٍ، ثمّ تمّ

استبعاد الحبّات ذات القطر الأكبر من 4.75mm انسجاماً مع المعايير القياسيّة المُعتمَدة للاختبارات اللاحقة وفقاً لنظام ASTM .

حُضّرت خلائط من الترب المدروسة مع رماد مخلّفات الزّيتون بنسب (7,5,3,1) % محسوبةً تبعاً للوزن الجاف للتربة ، حيث تمّ خلط التربة مع المادة المضافة بالحالة الجافة وباستخدام الخلّاط الكهربائيّ لمدة عشر دقائق ، ثم أُضيف الماء وبكميةٍ مناسبةٍ وأُعيد الخلط لمدةٍ تصل حتى خمس دقائق ، وبعد مضي ساعتين على الخلط بالماء وهو ما يُعرَف بزمن تأخير الرص (delay-time) كفترة ترطيبٍ لمُحاكاة الفترة الزمنية النموذجيّة بين الخلط والرّص عند التنفيذ في الحقل [29] ؛ تمّ الرّص وفقاً لشروط تجربة بروكتور المعدّلة بهدف تحديد الوزن الحجمي الجاف الأعظمي والرطوبة المثاليّة الموافقة (ω_{opt},$\gamma_{d,max}$) عند كل نسبةٍ مختارةٍ من المادة المضافة ، الشّكلين (2) و(3) ، لاعتماد هذه القيم كأساسٍ في تحضير العينات لبقيّة التجارب فيما بعد .

وبنفس المنهجيّة السابقة من حيث طريقة الخلط والترطيب وزمن الترطيب ؛ حُضّرت خلائط من الترب المدروسة والرماد وتمّ ترطيبها ورصّها باستخدام طاقة الرص المعدّلة عند الرطوبة المثالية والوزن الحجمي الجاف الأعظمي المحدّدان في الخطوة السابقة والموافقان لكل نسبةٍ مقترحةٍ من المادة المضافة ، حيث تمّ تحضير عينات ضمن قالب بروكتور واستخلاصها منه بالاستعانة بالمكبس الهيدروليكي وأخرى ضمن قالب C.B.R. المشطور والمصمّم بشكلٍ خاص ليكون قابلاً للفك والتركيب بسهولة لاستخلاص العينات المرصوصة داخله دون تخريب ، ليُصار إلى استخدامها لاحقاً في كافة التجارب المطلوبة لتقييم فعالية المادة المضافة في تحسين الخواص الجيوتكنيكية للترب المختبرة .

تمّ تغليف العينات المرصوصة بالنايلون اللاصق بشكلٍ جيدٍ لحمايتها من خسارة الرطوبة، ثمّ وضعها ضمن حجراتٍ زجاجيةٍ حافظة للرطوبة ومُحكمة الإغلاق وضمن

حرارة المخبر، وحُفظت العينات ضمن الشّروط السابقة وتُركت للمعالجة لفتراتٍ زمنيةٍ مختلفةٍ (Curing Time =14,28,90) يوماً .

بعد مضي فترة المعالجة المطلوبة وعند كلِّ زمنٍ محددٍ ؛ تمّ إجراء سلسلة من التجارب على العينات المحفوظة وعند كافة النسب ، وقد شملت التجارب الخاصة بتحديد خواص اللدونة ، قياس قلوية الوسط أي الـ PH ، بالإضافة إلى مقاومة الضغط الحر(الضّغط غير المطوّق) مع قياس الانتفاخ النسبيّ باعتماد الخطوات التالية في التحضير لاختبارات الضغط الحر:

› في هذ الاختبار، وفي محاكاةٍ لأسوأ الظّروف الحقليّة المُمكنة التّي قد تخضع لها التّرب المحسَّنة (أمطارٍ غزيرةٍ أو فيضاناتٍ) ، [3] ، [1] ، ممّا ينعكس سلباً على متانة التّرب عامّةً ، وفي محاولةٍ لأن تكون النّتائج المخبريّة أقرب ما يمكن إلى نتائج الاختبارات الحقليّة من خلال اختبار عيّناتٍ أكثر تمثيلاً لبنية التّربة الانتفاخيّة المحسَّنة بشروط الغمر بالماء ؛ فقد أُجرِيَ اختبار الضّغط الحرّ على عيّنات التّرب المحسَّنة (المُحضَّرة والمعالَجة لفترةٍ زمنيّةٍ محدّدةٍ) بعد إعادة وضعها ضمن قوالب C.B.R وغمرها بالماء لمدّة أربعة أيّامٍ وبوجود حمولةٍ إضافيّةٍ قدرها 4.5kg (كما في طريقة اختباراتC.B.R بحالة الغمر) ، مما سمح بقياس الانتفاخ النّسبيّ للعيّنات بتأثير الغمر قبل تنفيذ اختبار الضغط الحر .

ثمّ وباستخدام الأنابيب الخاصّة بأخذ العيّنات (ELE-Sample Tube: D=38mm) وبالاستعانة بالمكبس الهيدروليكيّ ؛ استُخرِجَت عدّة عيّناتٍ لاختبار الضّغط الحرّ بعد قطعها بارتفاعٍ محدد (H=2D=76mm) ، الشكل (1) ، وباتّباع المنهجيّة السّابقة وبالاستعانة بجهاز الضّغط الحرّ تمّ اختبار جميع العيّنات المُحسَّنة ، ورصد تأثير المادة المُضافة في مقاومة الضّغط غير المطوّق للتّرب الانتفاخيّة المُختبَرة .

-b- **-a-**

الشّكل(1) : -a- قطع عيّنات التّربة باستخدام أنابيب قطع العيّنات والمكبس الهيدروليكي (ELE-Sample Tube:D=38mm)

-b-استخلاص عيّنات التّربة لاختبارات الضّغط الحر بالاستعانة بالمكبس الهيدروليكي

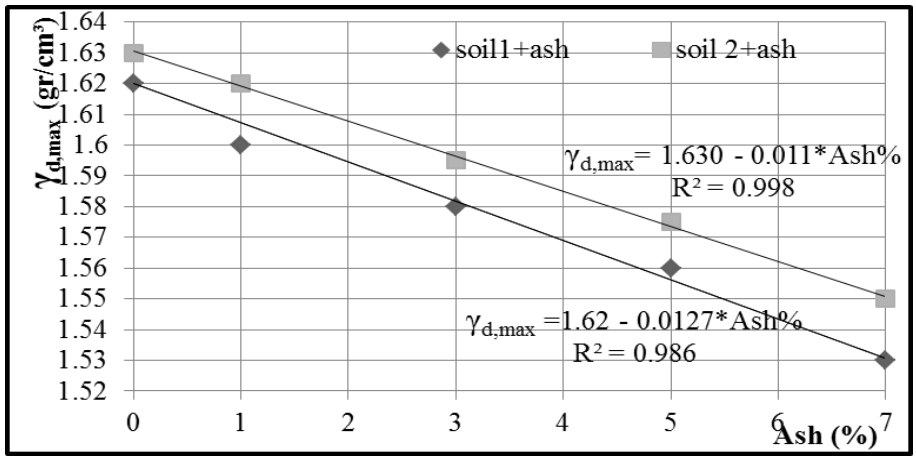
4- النتائج ومناقشتها :

4-1- تأثير المادة المضافة في خواص الرص :

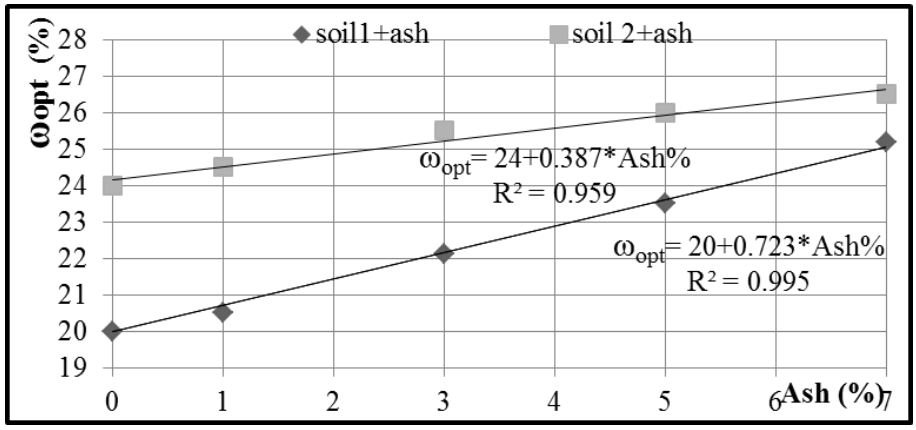
نعرض في الشّكلين (2) و(3) نتائج اختبارات الرّص لخلائط الترب المدروسة مع رماد مخلفات عصر الزيتون ويتوضّح من خلالها تغير قيم الوزن الحجمي الجاف الأعظمي والرطوبة المثالية في الترب المُحسّنة تبعاً لنسبة المادة المضافة .

أسهمت إضافة رماد مُخلّفات عصر الزّيتون في خفض الوزن الحجميّ الجاف الأعظميّ للتّرب المُختبَرة مع ارتفاع نسبة الرّماد في الخليط ، الشّكل (2) ، وهو أمرٌ يعود غالباً إلى استبدال نسبةٍ من حبّات التّربة بحبّات الرّماد الأخف وزناً مقارنةً مع حبّات التّرب المُختبَرة حيث قيمة الوزن النّوعيّ المنخفضة نسبيّاً للرّماد–(G_{ash}=2.36)– ستسهم في خفض كتلة التّربة من أجل الحجم ذاته ممّا سيؤدّي إلى انخفاضٍ في قيم وزن واحدة الحجم الجاف للمادّة ككُل [24] ، ويذكر العديد من الباحثين أنّه عند معالجة التّرب النّاعمة بالمُحسِّنات القائمة على الكالسيوم ؛ يحدث تفاعلٌ كيميائيٌّ بين التّربة المُحسَّنة

والمادّة المُضافة فور إضافة الماء ، وينتج عنه تلبّدٌ وتكتّلٌ للحبّات النّاعمة ممّا يُعيق رصّ التّربة بشكلٍ مناسبٍ ، وترتفع نسبة الفراغ ونسبة حجم الماء إلى حجم المادّة الصّلبة ، وبما أنّ الوزن الحجميّ للماء أخفّ منه للمادّة الصّلبة ؛ يحدث انخفاضٌ في قيمة وزن واحدة الحجم الكلّيّ للمادّة ، ويؤدّي إلى انخفاضٍ في قيمة الوزن الحجميّ الجافّ الأعظميّ [16] ، [18] ، [6] .



الشكل(2):تغير الوزن الحجمي الجاف الأعظمي للتربتين المحسنتين تبعاً لنسبة الرماد المضاف



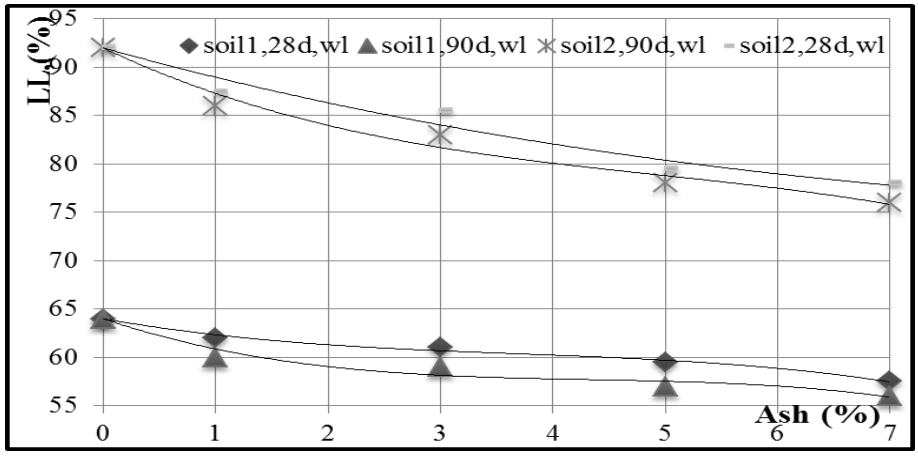
الشكل (3) : تغير محتوى الرطوبة المثالية للتربتين المحسنتين تبعاً لنسبة الرماد المضاف

وبالمقابل فإنّ ارتفاع نسبة الرّماد في الخليط ؛ قد أسهم في ارتفاع قيمة الرّطوبة المثاليّة للتّرب المحسَّنة ،الشّكل(3) ، وهو أمرٌ يمكن أن يُعزى إلى التّفاعل البوزولانيّ بين الرّماد

المضاف ومكوّنات التّربة، والذي سيتطلّب ماءاً إضافيّاً لتفاعلات الإماهة، إضافةً إلى الماء اللّازم لتغليف سطح الحبّات في أثناء الرّصّ[15].

4-2-التأثير في خواص اللدونة :

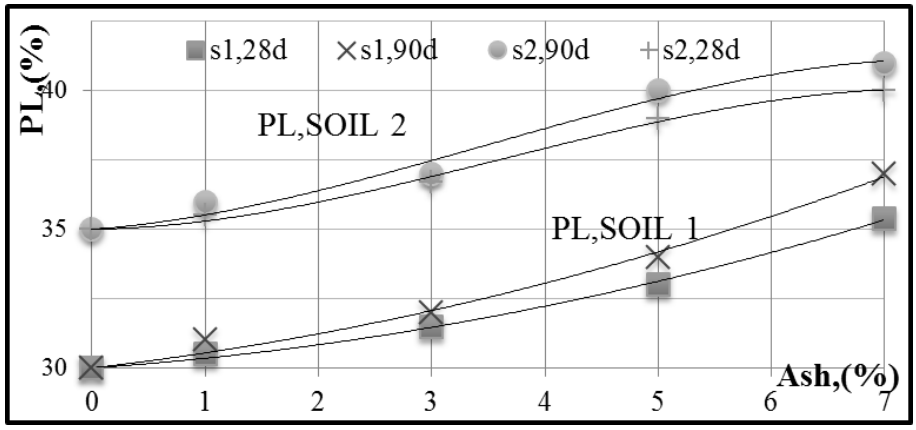
أسهمت إضافة رماد مُخلّفات الزّيتون كما يبدو واضحاً من خلال النّتائج في الأشكال(4)،(5)،(6) بانخفاضٍ تدريجيٍّ في قيم حدّ السّيولة مقابل ارتفاعٍ تدريجيٍّ في قيم حدّ اللّدونة مع ارتفاع نسبة الرّماد المضاف في التّربتين المحسَّنتين ، ممّا انعكس انخفاضاً واضحاً في قيم دليل اللّدونة للتّرب المحسَّنة ، كما يمكن أن نلاحظ من النّتائج الموصوفة بالمخطّطات السّابقة ؛ تأثير زمن المعالجة على خواص اللّدونة، حيث استمرّ انخفاض حدّ السّيولة ودليل اللّدونة مع ازدياد زمن معالجة التّربة.



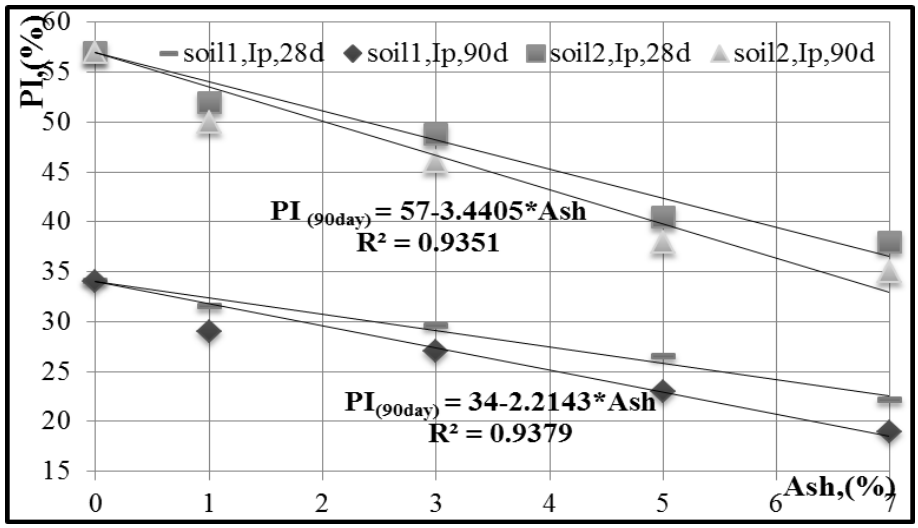
الشّكل(4) : تغيّر حدّ السّيولة(%)LL للتّربتين المحسَّنتين تبعاً لنسبة الرّماد(%)Ash وزمن المعالجة .

› هذه التّغيّرات في خواص اللّدونة يمكن أن تُعزى أيضاً إلى استبدال جزءٍ من حبّات التّربة العالية اللّدونة بحبّات رماد مخلفات الزّيتون غير اللّدن ، وارتفاع نسبة الحبّات الخشنة (قياس الرّمل والسّيلت) ، مقابل انخفاضٍ في نسبة حبّات التّربة النّاعمة (قياس الغضار) [24] ، بالإضافة إلى دور الرّماد الأساسيّ في حدوث تفاعلات التّحسين

البوزولانيّة ، والتي تُسهم في تعزيز اندماج وتكتّل حبّات التّربة منذ مراحل المعالجة الأولى [32] ، [7].



الشّكل (5) : تغيّر حدّ اللّدونة (%) PL للتّربتين المحسّنتين



الشّكل (6) : تغيّر دليل اللّدونة $PI_{(\%)}$ للتّربتين المحسّنتين

تبعاً لنسبة الرّماد Ash(%) وزمن المعالجة(Curing Time) .

يتميّز التّركيب الكيميائيّ لرماد مخلّفات الزّيتون المُستخدَم بتركيبٍ مشابهٍ للمواد البوزولانيّة لاحتوائه على نسبةٍ مهمّةٍ من أوكسيد السّيليس SiO_2 وأوكسيد الكالسيوم CaO ، ويُضاف إلى ذلك وجود نسبةٍ عاليةٍ من أوكسيد البوتاسيوم (K_2O=39.6%) .

تُساهم إماهة CaO في تكتُّل وتلبُّد الحبّات الغضاريّة كما أوضحنا سابقاً ، بينما تُساهم إماهة K_2O في إنتاج بيئةٍ عالية القلويّة تُهيئ الوسط لحدوث التّفاعلات البوزولانيّة منذ السّاعات الأولى لإضافة الماء ، ويمكن أن تستمرّ هذه التّفاعلات لمدّةٍ طويلةٍ جدّاً من الزّمن (تصل عدّة سنواتٍ) ، وينتج عنها مواد جِل رابطة تغطّي وتربط حبّات التّربة ، تتبلور تبلوراً بطيئاً وتتحوّل إلى مركبّات CAH,CSH ،[7]، تؤدّي إلى استمرار انخفاض خواص اللّدونة للتّربة بازدياد زمن المعالجة .

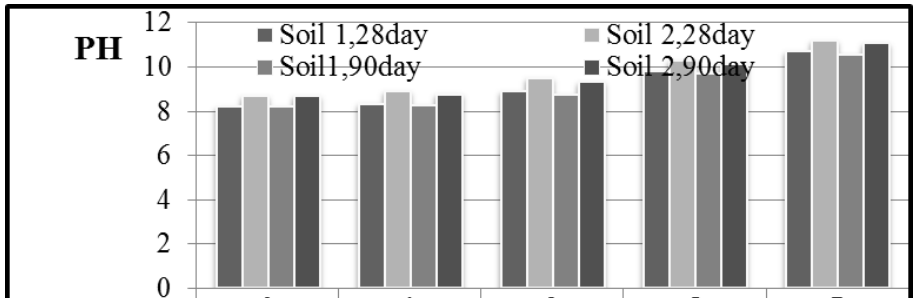
إنّ إضافة رماد مخلفات الزيتون إلى الترب الطبيعية المختبرة قد أسهم– وكنتيجة لدوره في تعزيز الروابط بين الحبات وزيادة حجم الحبات – في تعديل تصنيف الترب المختبرة من غضار لاعضوي عالي اللدونة (CH) إلى سيلت لاعضوي (MH) وفقاً لنظام التصنيف الموحد(U.S.C.S.) ومخطط اللدونة ، وبحسب تصنيفBRE(1993) [21]؛ واعتماداً على قيم (PI) وعند نسبة رمادٍ 7% وفترة معالجةٍ 90 يوماً ؛ فإنّ تصنيف التّربة 1 (من حيث إمكانيّة الانتفاخ) قد انخفض أيضاً نحو تربةٍ ذات إمكانيّة انتفاخٍ منخفضةٍ والتّربة 2 نحو تربةٍ ذات إمكانيّة انتفاخٍ متوسّطةٍ .

4-3- التأثير في PH التربة :

تمّت مراقبة وقياس الـ PH لعينات التربة المعالجة بهدف تقييم أثر إضافة الرماد وبنسب مختلفة على التربة الطبيعية ، والشكل (7) يعرض النّتائج بعد معالجة (28 ,90) يوماً، ويبدو من خلاله أنّ الرماد المضاف قد أسهم في رفع قيمة الـ PH للتّرب المُعالَجة ، وارتفعت قلويّة الوسط أكثر مع زيادة نسبة المادة المُضافة .

› يؤدّي تفاعل المواد الرّابطة المُضافة مع الماء إلى تشكيل هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ ، لتتحرر بعدها وبسرعةٍ أيونات الكالسيوم (Ca^{+2}) على سطح حبّات التّربة، وترفع من قيمة قلويّة الوسط ، [10] ، [2] .

إنّ ارتفاع قيمة الPH حتى القيمة 10 ؛ يُهيّئ الوسط لحدوث تفاعلاتٍ بوزولانيّةٍ مهمّةٍ ، تسمح بتفكيك وانحلال المنرالات الغضاريّة الانتفاخيّة، وهي قيمةٌ قد وصلت إليها التّرب المُحسَّنة بعمر 28 يوماً عند نسبة إضافاتٍ 5% تقريباً وتجاوزتها عند النّسب الأعلى . [28] [19] [14][32].



ASH,(%)	0	1	3	5	7
Soil 1,28day	8.2	8.35	8.9	9.8	10.7
Soil 2,28day	8.7	8.9	9.5	10.3	11.2
Soil1,90day	8.2	8.28	8.77	9.69	10.58
Soil 2,90day	8.7	8.78	9.33	10.14	11.07

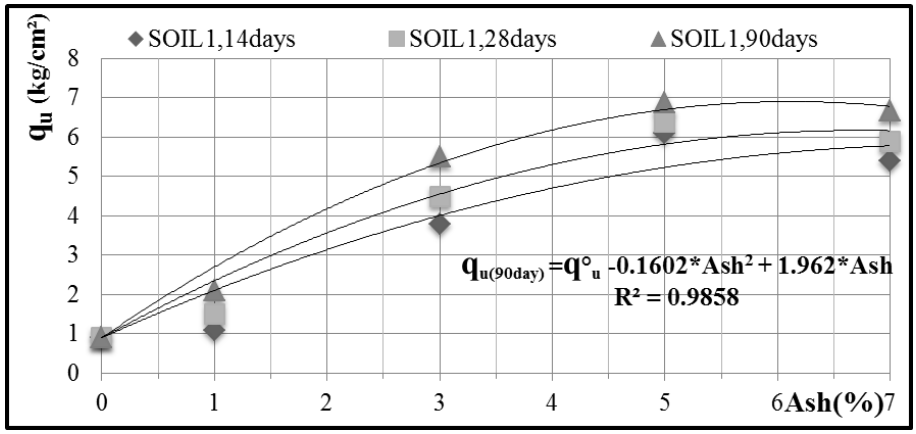
الشّكل(7) : قيم الـ PH للتّربتين المحسّنتين تبعاً لنسبة الرّماد المُضاف

› الملاحظة الهامة الثانية حول نتائج قياسات الPH عند زمن 90يوماً، أنه وبغض النّظر عن محتوى المادة الرّابطة ؛ فإن قيمة الPH قد انخفضت قليلا مع زيادة زمن المُعالَجة بالنّسبة للمادة المُضافة ، وهي نتيجة ذكرها العديد من الباحثين عند معالجة التّربة بأنواع مختلفة من المواد الرّابطة، ويعزى هذا الانخفاض في قيم الPH إلى إنتاج المزيد من مواد الجل الرّابطة CSH أو CAH في أثناء تفاعلات الإماهة والتّفاعلات البوزولانيّة والتّي تتطلب استهلاك المزيد من OH^- ، [19] ، [10] [27] ، [2] .

4-4-التأثير في مقاومة الضغط الحر والانتفاخ النسبي في التربة :

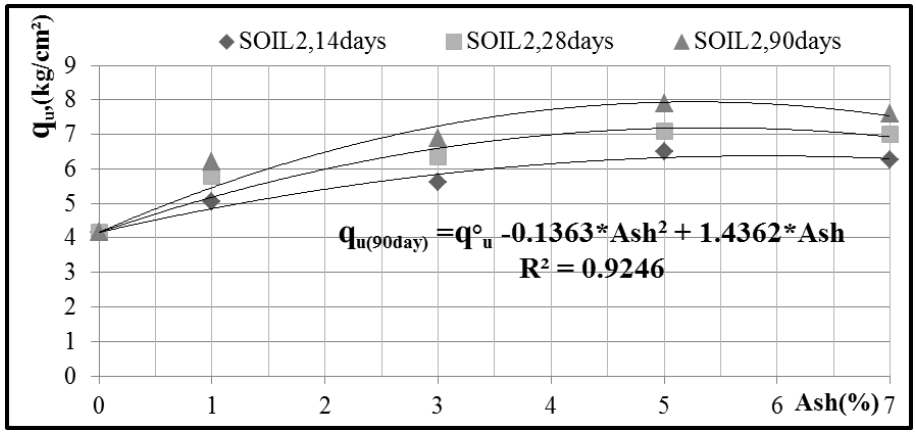
› أظهرت نتائج اختبارات الضّغط الحرّ دوراً إيجابيّاً أيضاً لإضافة رماد مخلّفات الزّيتون في تحسين مقاومة الضّغط الحرّ للتّربة1 والتّربة2 منذ مراحل المُعالَجة الأولى ،

الشّكل(8) والشّكل(9)، حيث ارتفعت قيمة مقاومة الضّغط الحرّ في التّربتين وبشكلٍ تدريجيٍّ مع ارتفاع نسبة الرماد المُضاف وازدياد زمن المعالجة .



الشّكل(8): تغيّر قيم مقاومة الضّغط الحرّ q_u للتّربة1

تبعاً لنسبة الرّماد المُضاف وزمن المُعالَجة



الشّكل(9): تغيّر قيم مقاومة الضّغط الحرّ q_u للتّربة2

تبعاً لنسبة الرّماد المُضاف وزمن المُعالَجة

› ارتفعت مقاومة الضّغط الحرّ للتّربة1 بشكلٍ طفيفٍ مع نسبة رمادٍ1% من 0.9kg/cm² لتصل 1.08kg/cm² ، ثمّ ارتفعت بشكلٍ ملحوظٍ حتى kg/cm²(6.1،3.8) مع محتوى رمادٍ (5,3)% على التّرتيب وذلك من أجل المعالجة

لمدّة 14 يوماً فقط ، ولوحظ انخفاضٌ في قيمة مقاومة الضّغط الحرّ مع ارتفاع نسبة الرّماد المضاف حتّى7% حيث بلغت المقاومة 5.4kg/cm² عند زمن المعالجة ذاته.

بالمقابل فقد ارتفعت مقاومة الضّغط الحرّ للتّربة2 تدريجيّاً من 4.16kg/cm² لتصل حتى (6.5،5.6،5.05)kg/cm² عند زمن معالجةٍ 14 يوماً ومع محتوى رمادٍ(5,3,1)% على التّرتيب، لتعود وتنخفض بشكلٍ طفيفٍ حتى 6.25kg/cm² مع رمادٍ مضافٍ بنسبة7% .

› وكان لفترة المُعالَجة أيضاً تأثيرها الإيجابيّ حيث استمرّ التّحسّن في قيم مقاومة الضّغط الحرّ وبشكلٍ تدريجيٍّ مع ازدياد فترة المُعالَجة حتى (90,28) يوماً ، وكانت القيم الأعلى متوافقةً مع المُعالَجة لفترةٍ زمنيّةٍ أطول وذلك من أجل جميع نسب الرّماد المُضافة للتّربتين .

ارتفعت مقاومة الضّغط الحرّ للتّربة1 حتّى(6.88،5.5،2.1)kg/cm² مع محتوى رمادٍ(5,3,1)% على التّرتيب وعند زمن معالجةٍ 90 يوماً ، وأعطت التّربة المحسَّنة مقاومةً 6.68kg/cm² عند محتوى رمادٍ 7% (مع ملاحظة انخفاضٍ طفيفٍ جدّاً عند هذه النّسبة ومع المعالجة الطّويلة الأمد).

وبشكلٍ مشابهٍ ؛ أسهمت إضافة الرّماد بنسب (7,5,3,1)% للتّربة2 ومع المعالجة مدّة 90 يوماً في تحسّنٍ تدريجيٍّ لمقاومة الضّغط الحرّ حيث وصلت حتى (7.6،7.9،6.9،6.2)kg/cm²عند النّسب السّابقة على التّرتيب ، ويمكن الملاحظة أيضاً القيم المتقاربة لمقاومة الضّغط الحرّ على المدى الطّويل عند النّسبتين5%و7% .

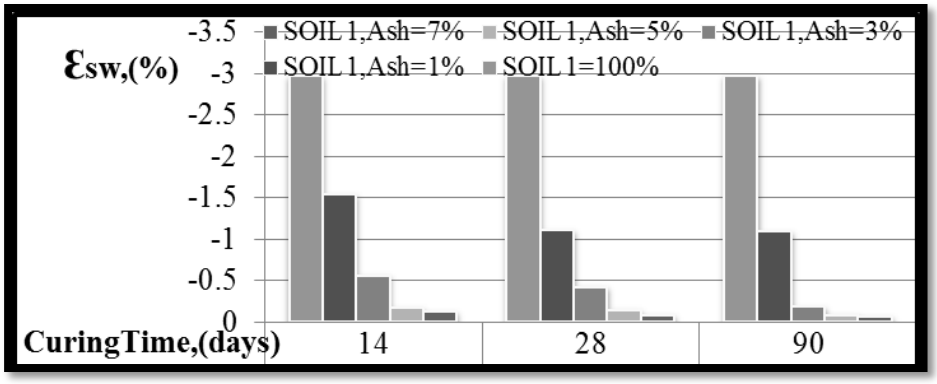
› هذا التّحسُّن في مقاومة التّربة قد انعكس بشكلٍ إيجابيٍّ أيضاً على قيم الانتفاخ المُقاسَة لكافّة العيّنات بشكلٍ عامٍّ ، حيث انخفض الانتفاخ النّسبيّ للتّربة1 ، الشّكل(10) ، من 2.98% للتّربة الطّبيعيّة إلى 1.55% أي بمعدّل انخفاضٍ 48% بإضافة الرّماد بنسبة

1% فقط ، واستمرّت القيم بالانخفاض مع زيادة نسبة الرّماد، ليصل إلى 0.57% بمعدّل انخفاضٍ81% مع نسبة رمادٍ3% .

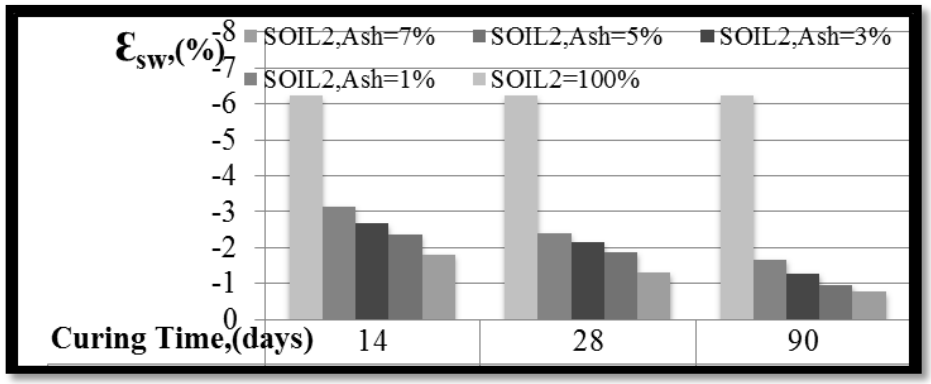
وظهر الانخفاض بشكلٍ ملحوظٍ أكثر مع النّسب الأعلى ، حيث كانت إضافة الرّماد بنسبة 5% كافيةً لخفض الانتفاخ النّسبيّ حتّى 0.17% بمعدّل انخفاضٍ94% وذلك عند زمن معالجةٍ 14 يوماً فقط ، واستقرّ الانتفاخ تقريباً عند القيمة 0.09% التّي انخفض إليها مع عيّناتٍ مُعالجةٍ بعمر28 يوماً وعند رمادٍ مُضافٍ بنسبة7%، أو مع عيّناتٍ مُعالجةٍ بعمر90 يوماً وعند رمادٍ مُضافٍ بنسبة 5%، مع الإشارة إلى استمرار الانخفاض بازدياد زمن المُعالَجة مع نسب الرّماد الأخرى الأقلّ من5%.

› النّتائج الإيجابيّة قد ظهرت أيضاً مع إضافة رماد مُخلّفات الزّيتون إلى التّربة 2 ذات الانتفاخيّة العالية جداً، فقد انخفض الانتفاخ النّسبيّ للتّربة2 ، الشّكل(11) ، من 6.23% للتّربة الطّبيعيّة إلى 3.16% أي بمعدّل انخفاضٍ 49% بإضافة الرّماد بنسبة1% فقط ، واستمرّت القيم بالانخفاض التّدريجي مع زيادة نسبة الرّماد فوصلت 2.38% و1.82% بمعدّل انخفاضٍ 62% و71% مع نسبة رمادٍ 5% و7% على التّرتيب وذلك عند زمن معالجةٍ 14 يوماً فقط .

الانخفاض التّدريجي في قيم الانتفاخ النّسبيّ قد رافق ازدياد زمن المُعالَجة أيضاً ، حيث ساهمت إضافة الرّماد بنسبة 5% و7% ، مع المُعالَجة 28 يوماً ، في انخفاض الانتفاخ النّسبيّ حتّى 1.89% و1.32% على التّرتيب ، وهي قيمٌ وصلتها التّربة المُحسَّنة مع نسب رمادٍ أقلّ لكن من أجل زمن معالجةٍ أطول ، حيث انخفضت قيم الانتفاخ النّسبيّ مع نسب رمادٍ مُضافٍ (1%،3%،5%،7%) إلى (1.68% و1.29% و0.97% و0.77) على التّرتيب مع المُعالَجة لفترةٍ زمنيّةٍ أطول أي حتّى 90 يوماً ، بمعدّل انخفاضٍ(73%,79%,84%,88%)عن قيمة الانتفاخ النّسبيّ في التّربة الطّبيعيّة .



الشّكل(10) : تغيّر قيم الانتفاخ النّسبيّ (%) ε_{sw} للتّربة1
تبعاً لنسبة الرّماد المُضاف وزمن المُعالَجة



الشّكل(11) : تغيّر قيم الانتفاخ النّسبيّ (%) ε_{sw} للتّربة2
تبعاً لنسبة الرّماد المُضاف وزمن المُعالَجة

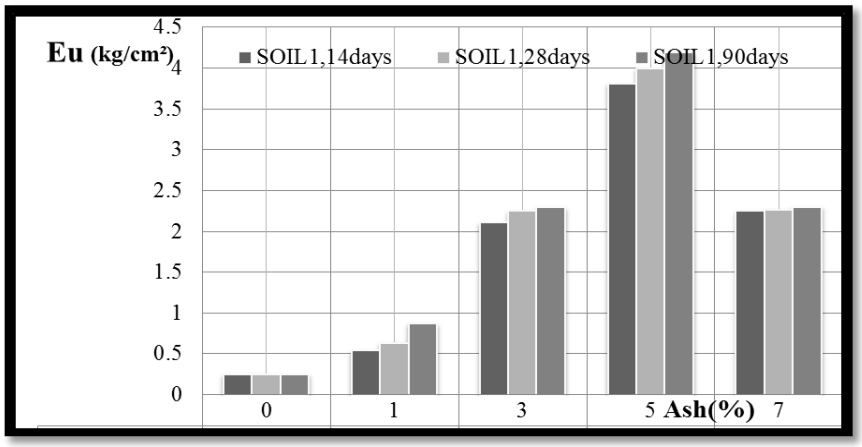
› إنّ تعديل الخواصّ الفيزيائيّة للتّربة كالقوام والقياس الحبّيّ بفعل اندماج وتكتُّل الحبّات ، والذي يُسهم فيه الرّماد المُضاف من خلال التّفاعلات البوزولانيّة ضمن البيئة العالية القلويّة النّاتجة عن المحتوى العالي من أوكسيد البوتاسيوم ، والفعاليّة البوزولانيّة بوجود السّيليكا والألومينا [32] ؛ قد أدّت جميعاً إلى تحسُّنٍ في المقاومة الميكانيكيّة للتّرب الانتفاخيّة المُختبَرة وبشكلٍ ملحوظ بدءاً من مراحل المُعالَجة الأولى ، حيث تُسهم الشّروط السّابقة في انحلال المنرالات الغضاريّة وتكوين مواد سمنتةٍ بوزولانيّةٍ (CAH,CSH)

تربط الحبّات ، وتُحسِّن من الخواصّ الجيوتكنيكيّة للتّربة الانتفاخيّة إثر نقصان محتوى التّربة من المنرالات الانتفاخيّة ، والذي ينعكس انخفاضاً في قدرتها الانتفاخيّة[12] ، واستمرار هذه التّفاعلات البوزولانيّة مع الزّمن بوجود الشّروط المناسبة (القلويّة العالية ، كمّيّاتٍ كافيةٍ من السّيليكا والألومينا والكلس ، بالإضافة إلى الماء) والذي أكّدته قياسات الـ PH؛ يعني استمرار تكوين مركّبات السّمنتة الرّابطة والتي تتبلور وتتصلّب تدريجيّاً مع الزّمن حول الحبّات وضمن مسام التّربة–مما يسهم في تحسّنٍ إضافيٍّ في مقاومة التّربة وتحقيق بنيةٍ ونسيجٍ أكثر صلابةً مع المعالجة طويلة الأمد [31] ، [7] ، [18] .،

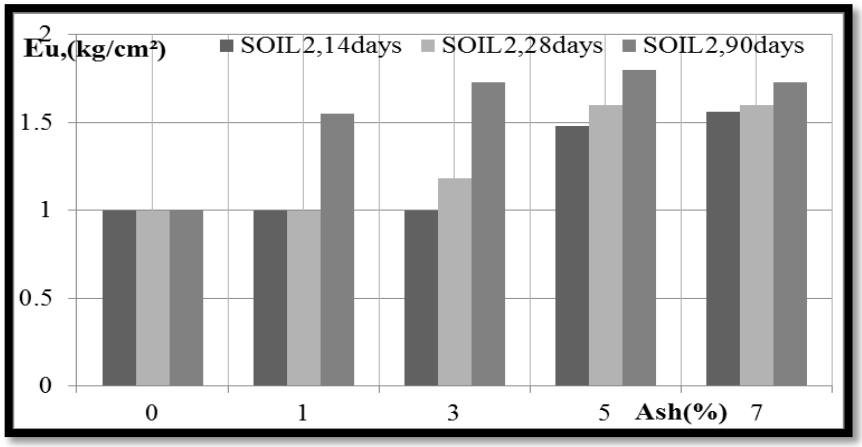
الانخفاض الطّفيف في مقاومة الضّغط الحرّ للتّرب المحسَّنة عند محتوى رمادٍ 7% ؛ يمكن أن يُعزى إلى أنّ إضافة المواد الرّابطة بنسبةٍ تزيد عن حدٍّ معيّنٍ سيجعلها تسلك كحبّات السّيلت غير المترابطة والتي لا تحتوي على تماسكٍ واحتكاكٍ ملحوظٍ ممّا ينعكس انخفاضاً في مقاومة التّربة وهو سلوكٌ وجده الباحثون مع العديد من الإضافات المُستخدَمة في التّحسين بعامّةٍ [18]،[2]،[8]،[26]،[34] .

› من ناحية أخرى ؛ فإنّ ازدياد صلابة ومقاومة التّرب الانتفاخيّة المعالَجة قد انعكس على قيم عامل المرونة القاطع المحدَّد عند 50% من مقاومة الضّغط الحرّ، وبشكلٍ مشابهٍ لتطوّر مقاومة الضّغط الحرّ للتّرب الانتفاخيّة المحسَّنة برماد مخلّفات الزّيتون ، حيث ارتفعت قيم عامل المرونة Eu تدريجيّاً مع ارتفاع نسبة الرّماد المُضاف للتّربتين المعالَجتين حتّى النّسبة7%، الشّكل(12) والشّكل(13)، وأسهمت فترة المعالجة مع السّلوك البوزولانيّ الواضح للرّماد في تطوّر وازدياد قيم عامل المرونة أيضاً وبوضوحٍ أكبر مع المعالجة لفترةٍ أطول أي (90 يوماً) ، لكن مع ملاحظة أنّ التّربة1 المتوسّطة اللّدونة قد انخفضت فيها قيمة عامل المرونة انخفاضاً ملحوظاً عند النّسبة7% لتصبح مماثلةً لقيمته عند النّسبة3% ومع ذلك فقد بقيت أعلى منها بالنّسبة لقيمة عامل مرونة التّربة غير المحسَّنة .

تشير قيم معامل المرونة القاطع للتّربتين المحسَّنتين إلى انتقالٍ تدريجيٍّ في السّلوك أيضاً من مادّةٍ ليّنةٍ ductile إلى مادّةٍ هشّةٍ/قصيفةٍ brittle مع ارتفاع نسبة الرّماد المضاف [18] ، [34].



الشّكل(12) :تغيّر قيم عامل المرونة E_u للتّربة1 تبعاً لنسبة الرّماد المُضاف وزمن المُعالَجة



الشّكل(13): تغيّر قيم عامل المرونة E_u للتّربة2 تبعاً لنسبة الرّماد المُضاف وزمن المُعالَجة

، تجدر الإشارة إلى أنّ لنتائج اختبارات مقاومة الضّغط الحرّ على عيّنات التّرب المحسَّنة بالإضافات الكيميائيّة ؛ أهمّيّةٌ كبرى عند تحديد المحتوى المثاليّ من المادّة المضافة

لمشروعٍ هندسيٍّ محدّدٍ ، والذي يجب أن يحقّق الحدّ الأدنى من متطلّبات المقاومة التّصميميّة والتي يتمّ تحديدها عادةً تبعاً للمشروع الهندسيّ .

عموماً ؛ فإنّ المقاومة المكتسبة والنّاتجة عن إضافة المحسِّنات الكيميائيّة يجب ألّا تزيد عن حدٍّ معيّنٍ يسمح بتكوين خليطٍ من التّربة والإضافات ذي نسيجٍ صلبٍ جدّاً بحيث يمكن أن يؤدّي إلى ظهور تشقّقاتٍ سابقةٍ لأوانها في الطّبقات المحسَّنة إثر الزّيادة في صلابتها ، ويُعدّ الانهيار القصيف أمراً غير مرغوبٍ فيه فيما يتعلّق بتوازن المنشآت عامّةً[34]،[13] .

وبالتّالي واعتماداً على نتائج اختبارات مقاومة الضّغط الحرّ وتطوّر مقاومة التّرب الانتفاخيّة المحدَّدة في هذا البحث ، يمكن القول بأنّ المحتوى المثاليّ من رماد مخلّفات الزّيتون هو 7% بالنّسبة للتّربة العالية اللّدونة ويتراوح بين (5-7)% بالنّسبة للتّربة المتوسّطة اللّدونة .

5- الاستنتاجات :

› بناءً على نتائج الاختبارات السّابقة ؛ فقد أثبت رماد مُخلّفات عصر الزّيتون فعاليّته كمادّةٍ مُضافة غير تقليديّةٍ في تحسين الخواص الفيزيائيّة والميكانيكيّة للتّرب الانتفاخيّة المُختبَرة بعامّةٍ ، من خلال تخفيض كلٍّ من خواص اللّدونة والخصائص الانتفاخيّة انخفاضاً ملحوظاً .

› أسهمت إضافة الرماد في رفع قيمة الـ PH للترب الانتفاخيّة المُختبَرة ، وقد ارتفعت قلوية الوسط أكثر مع زيادة نسبة الرماد المضاف ، وهذه البيئة القلوية سمحت باستمرارية التفاعل البوزولاني المسؤول عن تشكيل المركبات الرابطة بالإضافة إلى دورها الهام في تفكيك المنرالات الانتفاخية .

› أسهم رماد مُخلّفات عصر الزّيتون في ارتفاعٍ ملحوظٍ لقيم مقاومة الضّغط الحرّ للتّرب الانتفاخيّة المُختبَرة وبشكلٍ يتناسب مع ارتفاع نسبة الرّماد المُضاف ، وازدياد فترة المُعالَجة .

› اعتماداً على نتائج اختبارات مقاومة الضّغط الحرّ، وتطوّر مقاومة التّرب الانتفاخيّة المُختبَرة في هذا البحث ، يمكن القول بأنّ المحتوى المثاليّ من رماد مخلّفات الزّيتون هو 7% بالنّسبة للتّربة العالية اللّدونة ، ويتراوح بين (5-7)% بالنّسبة للتّربة المتوسّطة اللّدونة .

6- المراجع (References) :

[1] Aldeeky H. & Al-Hattamleh O. ,(2017). Experimental Study on the Utilization of Fine Steel Slag on Stabilizing High Plastic Subgrade Soil-,Advances in Civil Engineering-Volume2017,Article ID 9230279,11 pages.

[2]Al-Jabban, W.,(2019)."Soil Modification by Adding Small Amounts of Binders: A Laboratory Study". Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering. PhD: Printed by Luleå University of Technology, Sweden, Graphic Production 2019. www.ltu.se .

[3] Al-Swaidani A., Hammoud I. & Meziab A. ,(2016).“Effect of adding natural pozzolana on geotechnical properties of lime stabilized clayey soil,” Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, vol. 8, no. 5, pp. 714–725.

[4]ASTM,(1993) Annual Book of ASTM Standards,(Soil and Rock) USA, Vol.04-08.

[5] Attom M. F. & Al-Sharif M. M.,(1998)_Soil stabilization with burned olive waste, Applied Clay Science, vol. 13, no. 3, pp. 219–230.

[6]Bariši´c I., Grubeša I.N., Dokšanovi´c T.& Markovi´c B.,(2019). Feasibility of Agricultural Biomass Fly Ash Usage for Soil Stabilization of Road Works. Materials Jour.,p.12, 1375. www.mdpi.com/journal/materials.

[7] Behak L.,(2017). "Soil Stabilization with Rice Husk Ash". Book: Rice-Technology and Production. Chapter 3.pp.29-45. http://dx.doi.org/10.5772/66311

[8] Bose B.,(2012)."Geo-Engineering Properties of Expansive Soil Stabilized with Fly Ash". EJGE, Vol. 17, pp. 1339-1353.

[9] Chen, F.H., 1975. Foundations on Expansive Soils. Amsterdam : Elsevier Scientific Publishing Company, 1975.

[10]Chew S.H., Kamruzzaman A.H.M.& Lee F.H.,(2004). Physico-chemical and engineering behavior of cement treated clays. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering,130(7) , pp.696-706.

[11]Drief A., Martinez-Ruiz F. ,Nieto F. ,Velilla Sanchez N.,(2002). "Transmission electron microscopy evidence for experimental illitization of smectite in K-enriched seawater solution at 50C and basic pH. Clay Miner 2002;50(6):pp746–756.

[12] Elert, K., Azañón, J.M., Nieto, F., (2018). Smectite formation upon lime stabilization of expansive marls . Applied Clay Science. No.(158) pp.(29–36).Engineering,©ASCE, ISSN 0899-1561/pp. (0-11).

[13] Fazal E. J., Yongfu X., Babak J.& Shazim A. M.,(2020)." On the

Recent Trends in Expansive Soil Stabilization Using Calcium-Based Stabilizer Materials (CSMs):A Comprehensive Review". Advances in Materials Science and Engineering .Volume 2020, Article ID 1510969, 23 pages

[14] Hassan, M. (2009). Engineering characteristics of cement stabilized soft Finnish clay–a laboratory study. Licentiate's thesis. Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland.

[15] Hossain, K.& Mol, L.,(2011)_Some engineering properties of stabilized clayey soils incorporating natural pozzolans and industrial wastes,Constr.[1]Mater.,25, 3495–3501.

[16] Hussey, N. L., Cerato, A. B., Grasmick, J. G., Holderby, E. S., Miller, G. A.,and Tabet, W.,(2010). "An Assessment of Soil Parameters Governing Soil Strength Increases With Chemical Additives," GeoFlorida 2010: Advances in Analysis, Modelling & Design, West Palm Beach, FL, February 20–24, ASCE, Reston, VA, pp. 2702–2711.

[17]Ikeagwuani C.C.& Nwonu D.C.,(2018)." Emerging trends in expansive soil stabilisation: A review". Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering,

[18] JAFER H. M.,(2017)."Soft Soil Stabilization Using A Novel Blended Cementitious Binder Produced From Waste Fly Ashes" Liverpool John Moores University. PhD

[19] Janz, M. and Johansson, S.E., 2002. The function of different binding agents in deep stabilization. Swedish deep stabilization research centre, report, 9,pp.1-35.

[20] Jayanthi P.N.V. & Singh D.N.,(2016)."Utilization of Sustainable Materials for Soil Stabilization: State-of-the-Art" Advances in Civil Engineering Materials Vol. 5, No. 1, 2016, pp. 46–79, doi:10.1520/ACEM20150013. ISSN 2165-3984.

[21] Johnes, L. D. & Jefferson, I. (2012). Expansive soils. In: BURLAND,J. (ed.) Ice manual of geotechnical engineering. London, UK.

[22]Makusa G.P.,(2012). "SOIL STABILIZATION METHODS AND MATERIALS" Luleå: Luleå tekniska universitet, 2013.,p. 35.

[23]MOSA A.M., BANYHUSSAN Q.S. & YOUSIF R.A.,(2017)- Improvement of expansive soil properties used in earthworks of highways and railroads using cement kiln dust.- Journal of Advanced Civil Engineering Practice and Research 2017;4:13-24.

[24]Nalbantoglu Z. & Tawfiq S., (2006)_"Evaluation of the effectiveness of olive cake residue as an expansive soil stabilizer," Environmental Geology, vol. 50, no. 6, pp. 803–807.

[25]NELSON J.D. & MILLER J. D.,(1992).Expansive Soils -Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering , John Wiley & Sons,New York, NY, USA, 1992
[26] Samantasinghar S.,(2014)."Geo-engineering properties of lime treated plastic soils". MS Thesis. Orissa, India: National Institute of Technology.
[27] Saride, S., Puppala, A.J. & Chikyala, S.R.,(2013). "Swell-shrink and strength behaviors of lime and cement stabilized expansive organic clays". Applied Clay Science, 85, pp.39-45.
[28] Seco A., Ramirez F., Miqueleiz L., Urmeneta P., Garcia B., Prieto E., (2012)_Types of waste for the production of pozzolanic materials– a review, In:Show KY, editor. Industrial waste. Shanghai, Intech ; pp.141–150.
[29]Şenol A., Bin-Shafique, Edil T.B., & Benson C.H., (2002)_Use of class C fly ash for stabilization of soft subgrade, Fifth International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul Technical University, Turkey.
[30]Solanki P. & Zaman M.,(2012)."Microstructural and mineralogical characterization of clay stabilized using calcium-based stabilizers". Kazmiruk V, editor. Scanning electron microscopy. Rijeka: Intech; pp.771–798.
[31] Ureña C., Dimitriadi M., Fenton C.,Sim W., Cheeseman C. & Azañon J.M.,(2016) _"Sustainable improvement of an expansive soil using recycled materials", ΤΑ ΝΕΑ ΤΗΣ ΕΕΕΕΓΜ – Αρ. 87 – ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2016.
[32] Ureña C.,(2014)." A study on the use of non-conventional additives for stabilisation of expansive soils" PhD thesis, University of Granada .
[33] Utkan M.,(2013)- Clay Improvement with Burned Olive Waste Ash. The Scientific World Journal Volume 2013, Article ID 127031, 4 pages.
[34] Wegman D. E., Sabouri M., Korzilius J.& Kuehl R.,(2017). "Base Stabilization Guidance and Additive Selection for Pavement Design and Rehabilitation". Minnesota Local Road Research Board. http://mndot.gov/research/reports/2017/2017RIC02.pdf