تحسين أداء القاعدة الترابية للرصف الإسفلتي باستخدام غبار مطحنة المواد الخام لمصانع الإسمنت

*م. أحمد الأبو حسين ** أ. د. مروان عاصي

(الإيداع: 15 نيسان 2019 ، القبول: 7 آب 2019)

الملخص:

إنّ خصائص القاعدة الترابية (تربة الاستناد) التي يصادفها مهندس الطرق _خاصة قدرة تحملها_ تحدد سماكات طبقات الرصف التي تحملها، وتؤمن أساساً متيناً للطريق.

جرى في هذا البحث دراسة إمكانية تحسين الأداء للقاعدة الترابية من خلال تحسين خصائصها الفيزيائية والميكانيكية باستعمال الغبار الذي يتم التقاطه بواسطة فلاتر خاصة خلال صناعة الإسمنت.

تم إضافة راجع فلتر مطحنة المواد الخام الكهربائي (REMF) _ مصنع الإسمنت في حماة _ إلى عينات من القاعدة الترابية وفق ثلاث نسب %(15-10-5) من الوزن الجاف للعينة، وأجريت التجارب المخبرية اللازمة على العينات المعالجة براجع الفلتر (REMF) لتحديد هذه الخصائص، ومقارنة النتائج بما أظهرته التجارب ذاتها على العينات المرجعية من القاعدة الترابية (تربة الاستناد).

خلص البحث إلى أن إضافة راجع الفلتر (REMF) إلى القاعدة الترابية (تربة الاستناد) قد حسن من أدائها، انخفض دليل اللدونة بنسبة 14%، كما أن قدرة التحمل زادت بمعدلات جيدة تبعاً لإضافة (REMF) التي تدل عليها قيم (CBR) والمسجلة على مرحلتين: الاولى حتى ثبات الانتفاخ(من 8.3 إلى 10.8)، والثانية بالغمر لمدة 7 أيام(من 6.7 إلى 10.5) وبذلك وصلت نسبة الزيادة إلى 55%. وتم التوصل إلى أن إضافة (REMF) بنسبة 15% من الوزن الجاف لعينات تربة الاستناد هي النسبة المثلى للإضافة.

الكلمات المفتاحية: غبار الإسمنت، القاعدة الترابية، تربة الاستناد، تحسين التربة، الاستفادة من المخلفات الصناعية، اختبارات الطرق.

*طالب دراسات عليا (ماجستير)، قسم هندسة المواصلات والنقل، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب.

**أستاذ في قسم هندسة المواصلات والنقل، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب.

Improving the Performance of Sub-grade of Asphalt Pavements Using Raw Materials Mill Dust of Cement Factories

*Eng. Ahmad Alabo Hussien Prof.Dr. Marwan Assi

(Received:15 April 2019, Accepted:7 August 2019)

Abstract:

The Properties of Sub-grade (Support Soil) which road engineer faces_ especially its endurance capacity _ determines thicknesses of pavement layers which carry them, and provide a consistent foundation for the Road.

In this research, we studied the potentiality of improving the performance of Sub-grade by improving its physical and mechanical features using the dust caught by means of special filters during cement manufacturing process.

A return of electrostatic raw materials mill filter (REMF) _at Hama cement factory_ was added to samples of Sub-grade by three rates (5, 10, 15)% from dry sample weight. And Laboratory experiments were performed to determine these characteristics on the treated samples using return of filter (REMF), and to compare the results of the same experiments on the reference samples from Sub-grade (Support soil).

The research concluded that adding the return of filter to Sub-grade (Support soil) improved its performance and Plasticity index decreased by 14%. Furthermore, endurance capacity also increased at good rates depending on adding (REMF) indicated by the (CBR) values recorded in two stages: the first is till the stability of swelling is proved(from 8.3 to 10.8), and the second is immersion for 7 days (from 6.7 to 10.5). So that, the value of (CBR) increased up to 55%. It was found that the addition of (REMF) at 15% of the dry weight of the Support soil samples were optimal ratios for improved performance.

Keywords: Cement dust, Sub-grade, Support soil, Soil improvement and stabilization, Utilization of industrial waste, Road tests.

*Postgraduate Student (MSc.), Dept. of Transport Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Aleppo.

**Prof.Dr. Dept. of Transport Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Aleppo.

1- مقدمة:

يعتبر الطريق منشأة هندسية تتألف من قاعدة ترابية (تربة استناد) ومنشأ فوقي (طبقتي الأساس وما تحت الأساس والطبقة السطحية الاسفلتية)، ويقصد بمصطلح تحسين أداء تربة الاستناد هو الوصول بها إلى خصائصٍ فيزيائية وميكانيكية أفضل (اللدونة – الرص – قدرة التحمل). وإنّ المواصفات والخصائص المحسّنة لها توصلنا إلى سماكات اقتصادية للرصف، كما وتقلل من احتمالية تشوهات الرصف مما يعني أعمال صيانة مستقبلية محدودة.

إنّ أحد المشاكل التي تواجه المهندس في موقع المشروع هي أن تؤدي خصائص تربة الموقع (تربة الاستناد) في بعض المواضع إلى سماكات كبيرة لطبقات الرصف التي تعلوها، وعند عدم وجود بدائل مجدية لتجنب تلك الترب، فلابد من إيجاد حلول ناجعة ومجدية من الناحية الاقتصادية لمعالجة المشكلة.

ويتم تحسين الأداء باستخدام مواد مضافة كروابط هيدروليكية أو فحمائية أو مواد صنعية منها (الإسمنت – الكلس – البيتومين – الجيوغريد). ويمكن أن يشكل البحث عن مخلفات صناعية تقترب في خواصها الكيميائية والفيزيائية من هذه المثبتات والمحسنات إنتاجاً علمياً له أهميته في الحفاظ على المواد الخام و مقدرات الطبيعة.

يعتبر الغبار المتطاير من معمل صناعة الإسمنت مادة ذات أهمية كبيرة لإجراء العديد من الدراسات والأبحاث في كثير من المجالات قديماً وحديثاً، نظراً لأثره الضار على البيئة المحيطة به، لذلك فإن استعماله كمادة مثبتة ومحسنة لتربة الاستناد يعتبر أمراً هاماً لما له من أهمية في الحفاظ على الموارد الطبيعية من النضوب وتحقيق الوفر الاقتصادي، إضافة إلى حماية الإنسان والبيئة من هذه المخلفات.

توجد مصانع الإسمنت في مناطق متعددة من القطر العربي السوري، وتنتج كميات ضخمة من الإسمنت، ومن أشهر مخلفات هذه المصانع وأكبرها حجماً وأكثرها ضرراً هو الغبار الناتج عن كل من طحن وتداول المواد الخام، ومن تشغيل الأفران وتبريد الكلنكر، وطحن وتداول وتعبئة المنتجات.

ولقد شاع استخدام غبار الاسمنت المتطاير خلف الفرن والمبرد كمثبت ومحسن للترب، بعد أن أكدت أهميته أبحاث عديدة، لكن ما يزال **الغبار المتطاير من مطحنة المواد الخام _الملتقط من خلال الفلاتر الكهربائية_ كمحسن لأداء تربة الاستناد موضوع دراسة إلى الآن.**

2- هدف وأهمية البحث:

يهدف البحث إلى دراسة إمكانية تحسين الأداء لتربة الاستناد باستخدام غبار مصانع الإسمنت (راجع الفلتر الكهربائي لمطحنة المواد الخام) كمادةٍ مضافةٍ لبُنيتها، وذلك من خلال دراسة أثره على خصائصها الفيزيائية والميكانيكية من خلال الاختبارات المناسبة. وإيجاد معادلات خاصة تربط بين نسب الإضافة لراجع الفلتر (الغبار) ودلائل الاختبارات للوصول إلى النسبة الأمثل للإضافة.

وتتمثل أهمية البحث بثلاثة أبعاد:

أهمية علمية تتمثل بتحسين أداء القاعدة الترابية بمواد مضافة جديدة، وأخرى اقتصادية تتمثل في تحقيق سماكات اقتصادية للرصف والإقلال من الهدر في مقدرات الطبيعة، وكذلك أهمية بيئية من خلال تحسين الأثر البيئي الناتج عن الاستخدام الأمثل لمخلفات صناعة الإسمنت.

3- المراجعة البحثية والدراسات السابقة:

يشير مصطلح (Modification) أي التعديل إلى تحسين في مواصفات التربة يحدث خلال فترة قصيرة. وهذا التعديل يقلل اللدونة ويحسن الكثافة إلى الدرجة المطلوبة كما أنه يحسن المقاومة ضمن الشروط قصيرة الأمد (شروط قصيرة تعرف كالمقاومة التي نحصل عليها خلال أيام)، رغم عدم حصول تميه أو ترابط هام، لكن تغيرات النسج التي ترافق تحسن الكثافة

تؤدي إلى تحسن واضح في المقاومة أي أنه يشير إلى تغير ثانوي غير خطير في خواص التربة AASHTO (2009)، و karol (2003).

وبحسب الكود الأمريكي (ASTM D653) يعرّف تحسين التربة (Improvement) بأنه معالجة ميكانيكية صممت لزيادة ثبات كتلة التربة أو المحافظة عليها من أجل تحسين مواصفاتها الهندسية ASTM(1995). وتتم هذه المعالجة عن طريق إدخال مكون جديد إلى البنية الهندسية للتربة بهدف تحسين خصائصها الفيزيائية (اللدونة والرص) وخصائصها الميكانيكية (قدرة التحمل) وبالتالي الزيادة في مقاومة التربة الإنشائية. ومن العوامل المؤثرة على مقاومة التربة المحسنة:

- ❖ الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة.
- ❖ الشروط الجيولوجية و الهيدروجيولوجية في المنطقة.
- ❖ خواص وجودة الرابط.
- ❖ طريقة التثبيت.
- ❖ شروط الحفظ.

كما ويهدف تحسين الترب والذي عُمل به منذ العصور الرومانية والإغريقية إلى تلبية احتياجات الحركة المرورية المتزايدة المذيب (2015)، كما وتنوعت أساليبه ونوعية المواد المضافة ابتداءً من خلط الترب الرملية والغضارية إلى إدخال الرابط البوزولاني وحتى ادخال الإسمنت في تحسين تربة الاستناد أثناء إنشاء العديد من المطارات من قبل الألمان وحلفائهم خلال الحرب العالمية الثانية. ومع تطور الصناعات ولحظ الكميات الهائلة والمتزايدة من المخلفات الصناعية، عمد الباحثون ولفترات متلاحقة على دراسة كيفية الاستخدام الأمثل لهذه المخلفات. وكان للباحثين المتخصصين في الأعمال الطرقية نصيبهم من هذه الدراسات، وكذلك فإن الغبار المتطاير من مصانع الإسمنت كان له أهميته في هذه الأبحاث لدراسة تأثيره على أداء ترب الاستناد ومقارنة ذلك بالمحسنات الشهيرة سابقة الذكرة.

ومن الأبحاث والدراسات السابقة والتي تناولت فكرة البحث:

3-1 (تحسين التربة الغضارية باستخدام غبار أفران الإسمنت)

عمل الباحثون(كيرثي وزملاؤه عام 2013) في دولة الهند على دراسة إمكانية الاستفادة من غبار أفران الإسمنت (CKD) في تحسين أداء التربة، وكانت العينات المدروسة عبارة عن تربة غضارية أحضرت من ولاية اندرا براديش، وتمت المقارنة بين العينات غير المعالجة والمعالجة بنسبة إضافة 50% من (CKD) إلى الوزن الجاف من العينات. وتتلخص نتائجها بتشكل روابط كيميائية بين مكونات غبار أفران الإسمنت ومكونات التربة مما يضفي تحسناً على الخصائص الميكانيكية لها وزيادة قدرة تحملها keerthy وزملاؤه (2013).

3-2 (البنية والسلوك الهندسي للتربة المحسنة بغبار أفران الإسمنت)

تم إجراء الدراسة المخبرية (من قبل سولانكي ورفاقه عام 2011) لعينات مختلفة من التربة الطبيعية المحضرة من ولاية أوكلاهوما في الولايات المتحدة الأمريكية بعد إضافة غبار الإسمنت (CKD) بنسب مختلفة(5%,10%,15%) إلى الوزن الجاف من العينة، وتتلخص نتائجها بازدياد قيم معامل المرونة MR ومعامل اللدونة ME ومقاومة الضغط غير المحصور UCSللعينات المحسنة بغبار أفران الإسمنت solanki وزملاؤه (2011).

3-3 (تحسين التربة الرملية باستخدام غبار أفران الإسمنت)

تمت هذه الدراسة في دولة العراق (من قبل الدكتور ليث جواد عزيز عام 2010) على تربة رملية من منطقة النجف بإضافة غبار أفران الإسمنت إلى العينات وتتلخص نتائج هذه الدراسة بازدياد ثبات التربة الرملية بإضافة غبار أفران الإسمنت لها حتى نسبة إضافة 8% عزيز(2010).

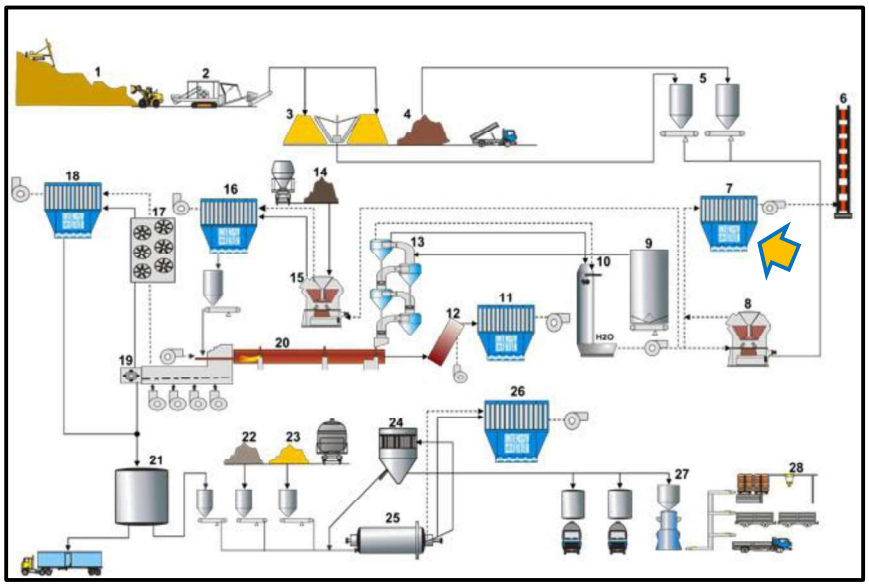
4- المواد والعمل المخبري:

4-1 المواد المستخدمة:

4-1-1 راجع فلتر مطحنة المواد الخام لدى مصنع الإسمنت في حماة:

يتم التقاط وتجميع الغبار المتطاير من مطحنة المواد الخام لمصـــنع الإســـمنت في حماة من خلال نوعين من الفلاتر (كهربائية Electrostatic Filters و قماشـية Baghouse Filters) وكذلك الأمر بالنسـبة للغبار المتطاير على كامل مراحل التصنيع. وكما مر سابقاً فقد اختيرت رواجع فلاتر مطحنة المواد الخام لدراسة أثرها على تحسين الأداء للتربة لعدة أسباب أهمها كمياتها الكبيرة وعدم التطرق إلى دراستها سابقاً في موضوع تحسين ترب الاستناد في أعمال الطرق.

و يبين الشـــكل(1) أجزاء مصـــنع الاســـمنت وتوزع الفلاتر بنوعيها على كامل مراحل التصـــنيع كما ويظهر موقع الفلتر الكهربائي لمطحنة المواد الخام الذي استخرجت منه مادة البحث:



الشكل رقم(1): أجزاء مصنع الإسمنت مع الفلاتر الكهربائية والقماشية

1- المقالع، 2- الكسارات، 3- عملية المجانسة، 4- عملية التجميع، 5- صوامع (خزانات) تغذية مطحنة المواد الخام، 6- المدخنة الرئيسية، 7- فلاتر كهربائية وقماشية، 8- مطحنة المواد الخام، 9- صوامع تغذية المواد الخام، 10- برج تعديل حرارة الغازات، 11- فلاتر، 12- غرف الخلط والمزج، 13- برج التسخين الأولي (الحلزوني)، 14- فحم خام، 15- مطحنة الفحم، 16- فلاتر، 17- مبرد أنبوبي، 18- فلاتر كهربائية وقماشية ، 19- مبرد كلنكر، 20- الفرن الدوار، 21- صوامع الكلنكر، 22- جبس/جص، 23- معادن متنوعة، 24- فارزة، 25- مطحنة الإسمنت (الإنهاء)، 26- فلاتر، 27- التعبئة والتغليف، 28- منصة التحميل والنقل.

ونظراً لأن الطاقة التجميعية للفلتر الكهربائي لمطحنة المواد الخام كبيرة إذا ما قورنت بطاقة الفلتر القماشي، فقد اهتم البحث بدراسة أثرها على الأداء، علماً أنّ الخصائص الفيزيائية والكيميائية للغبار الناتج عنهما متشابهة.

- الخصائص الفيزيائية والكيميائية لراجع فلتر مطحنة المواد الخام:

يظهر الجدولان (1) و(2) الخواص الفيزيائية والكيميائية لراجع الفلتر من خلال الدراسة المخبرية على عينات أحضرت من الموقع والذي رمز إليه بـــــ (Return of Electrostatic Mill Filter, REMF) كما ويظهر الجدول(2) الخصـــائص الفيزيائية له:

الجدول رقم (1): الخصائص الكيميائية لـ(REMF)

REMF	المكون	PF	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Total	L.S.F	S.M	A.M
	النسبة	38.47	7.47	2.65	1.42	48.30	1.48	99.79	193.51	1.84	1.86

الجدول رقم (2): الخصائص الفيزيائية لـ(REMF)

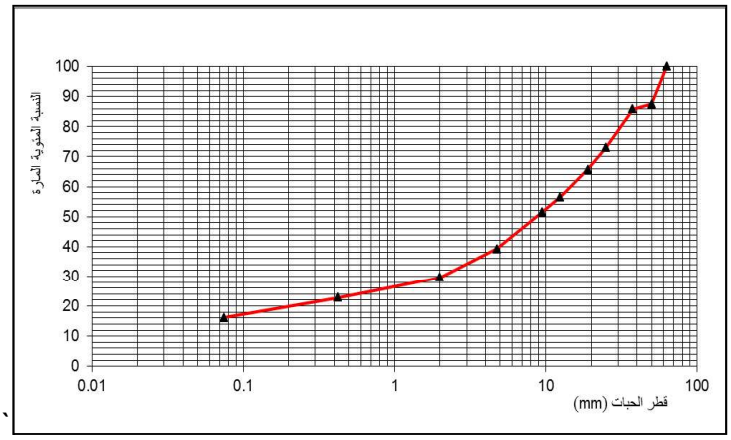
الوزن النوعي	2.69
السطح النوعي cm^2/gr	7812
الرطوبة %	0.7

4-1-2 القاعدة الترابية:

أحضرت عينات من تربة الاستناد _كحالةٍ دراسية من أرض الموقع_ إلى المختبر معبئة بأكياس بلاستيكية ليسهل حملها، وذلك على طريق حلب – تل الضمان، حيث أخذت الكمية المطلوبة بعد أعمال تسوية السطح و تنظيفه من بقايا الأغصان والأوساخ. ويظهر الجدول(3) خصائص تربة الاستناد المحضرة من الموقع.

الجدول رقم(3): خصائص تربة الاستناد

الخاصية (property)		القيمة (value)
حدود أتربرغ (Atterberg Limit)	حد السيولة (Liquid Limit)LL%	45
	حد اللدونة (Plastic Limit)pL%	26
	دليل اللدونة (Plasticity Index)pI%	18
التحليل الحبي (التدرج) (Grain Size Analysis)	المواد الناعمة (Clay and silt)%	16
	الرمل(Sand)%	23
	الحصى(Gravel)%	61
المنحني الحبي		الشكل(2)
الرص بروكتور المعدلة (Modified Proctor)	الكثافة الجافة الأعظمية MDD (gr/cm^3)	1.893
	محتوى الرطوبة الأمثل OMC (%)	11.8
تصنيف التربة (Soil Classification)	نظام الجمعية الأمريكية للطرق AASHTO	A-2-7
نسبة تحمل كاليفورنيا California Bearing Ratio , CBR		8.3



الشكل رقم (2): المنحني الحبي الخاص بتربة الاستناد

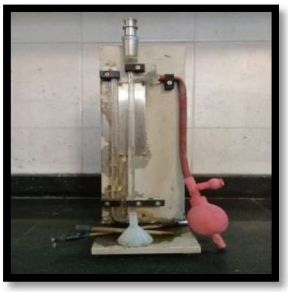
وعينات هذه الحالة الدراسية بحسب تصنيف **AASHTO** عبارة عن مزيج **حصوي رملي غضاري**.

2-4 العمل المخبري:

توزع العمل المخبري والتجارب المجراة على عينات البحث المرجعية (REMF0)، والمعالجة بإضـــافة راجع الفلتر بنســـب (5%,10%,15%) والتي رمز لها على الترتيب (REMF5, REMF10, REMF15) على مخابر الشـــركة الســـورية لصناعة الإسمنت ومواد البناء في حماة وعلى مخبر الطرق في كلية الهندسة المدنية بحلب.

1-2-4 الاختبارات والأجهزة المستخدمة في مخابر مصنع الإسمنت:

جهاز X-RAY للتحليل الكيميائي



جهاز PLAINE لقياس السطح النوعي (النعومة)

زجاجة لوشاتولييه لقياس الوزن النوعي

جهاز MOISTURE ANALYZER لقياس رطوبة المواد الناعمة

4-2-2 الاختبارات والأجهزة المستخدمة في مخبر كلية الهندسة المدنية – جامعة حلب:

التدرج الحبي للتربة
(Particle size distribution of soil)

حدود أتربرغ (Atterberg limits)

تجربة بروكتور المعدلة (Modified Proctor Test)

نسبة تحمل كاليفورنيا (California Bearing Ratio, CBR)

5- تحليل النتائج والمناقشة:

سُجلت قراءات الاختبارات المتعلقة بالخصائص الفيزيائية والميكانيكية لتربة الاستناد المجراة على العينات المدروسة والتي رمز لها تبعاً لنسبة الإضافة بـ **(REMF0, REMF5, REMF10, REMF15)** ضمن جداول برنامج **EXCEL**. وحُللت النتائج ومُثلت بخطوط بيانية لتربة الاستناد المعالجة براجع الفلتر (REMF) وذلك وفق المراحل التالية:

المرحلة الأولى: خصائص اللدونة (دلائلها: حد السيولة LL وحد اللدونة PL ودليل اللدونة PI).

المرحلة الثانية: خصـــائص الرص (بروكتور المعدلة ودلائلها: الكثافة الجافة الأعظمية MDD ومحتوى الرطوبة الأمثل OMC).

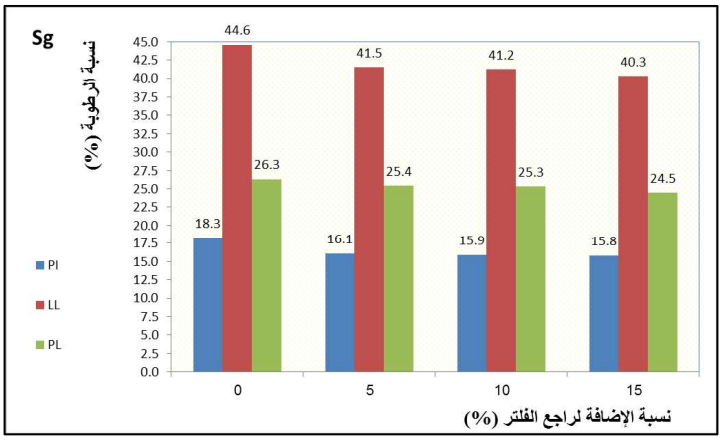
المرحلة الثالثة: خصائص ميكانيكية (نسبة تحمل كاليفورنيا ودليلها CBR).

5-1 خصائص اللدونة:

يظهر الجدول(5) تغيرات خصائص اللدونة لتربة الاستناد تبعاً لتغيرات نسبة الإضافة لراجع الفلتر (REMF) كما يوضح مخطط الأعمدة الشكل (4) ذلك:

الجدول رقم (5): تغيرات قيم LL و PL و PI تبعاً لـ REMF

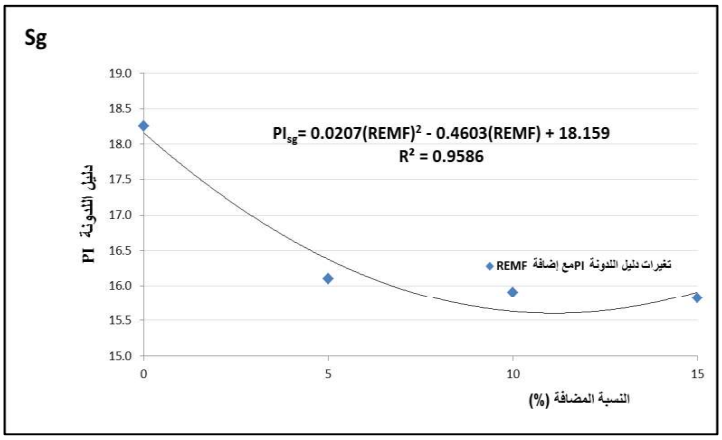
رقم العينة	العينة	حد السيولة LL	حد اللدونة PL	دليل اللدونة PI
1	**REMF0**	44.6	26.3	18.3
2	**REMF5**	41.5	25.4	16.1
3	**REMF10**	41.2	25.3	15.9
4	**REMF15**	40.3	24.5	15.8



الشكل رقم (4): تغيرات قيم LL و PL و PI تبعاً لـ REMF

لوحظ أن قيمة دليل اللدونة للعينات نقصت من قيمة 18.3 للعينة المرجعية إلى 15.8 عند نسبة إضافة 15% من (REMF) _ وتوافق هذه النتائج ما توصلت إليه الدراسات السابقة المشابهة لموضوع البحث والمتعلقة بإضافة المادة الناعمة المتطايرة خلف الأفران في مصانع الإسمنت إلى القاعدة الترابية للطريق_ من حيث تكتل حبات راجع الفلتر الناعمة وتلاصقها مع حبات التربة مما يخفض من السطح النوعي للحبات وتقليل كمية المياه الملتصقة بها وكذلك ملاءة حبات المادة المضافة (REMF) لفراغات التربة.

ويظهر الشكل(5) العلاقة بين دليل اللدونة (PI) ونسبة الإضافة من (REMF) لتربة الاستناد والمعادلة التحليلية الخاصة التي تربط بينهما:



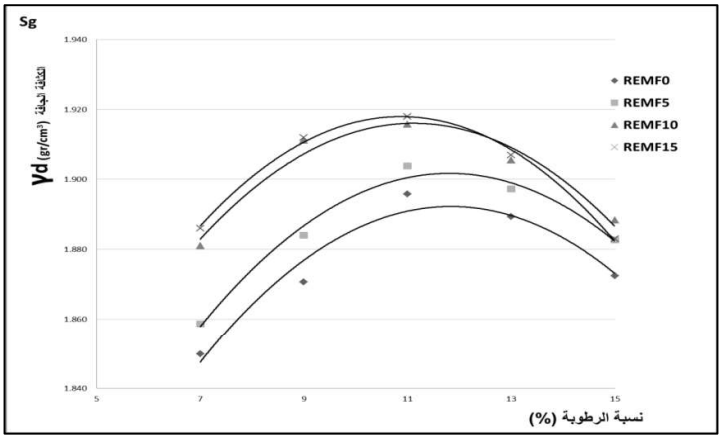
الشكل رقم (5): العلاقة بين دليل اللدونة ونسبة الإضافة من REMF لتربة الاستناد

2-5 خصائص الرص:

يظهر الجدول (6) تغيرات قيم الكثافة الجافة للعينات المرجعية والمعالجة من تربة الاستناد تبعاً لمحتوى الرطوبة المقدم للعينات وذلك وفق كل نسبة من نسب إضافة (REMF)، كما ويظهر في الشكل (6) تغيرات منحنيات الرص (منحنيات بروكتور) المستنتجة والمقابلة لكل نسبة إضافة من (REMF):

الجدول رقم (6): تغيرات قيم الكثافة الجافة تبعاً لمحتوى الرطوبة للعينات المرجعية والمعالجة لتربة الاستناد

الرطوبة (%)	الكثافة الجافة (gr/cm3)			
	REMF0	REMF5	REMF10	REMF15
7	1.850	1.859	1.881	1.886
9	1.871	1.884	1.911	1.912
11	1.896	1.904	1.916	1.918
13	1.889	1.897	1.906	1.907
15	1.872	1.883	1.888	1.883



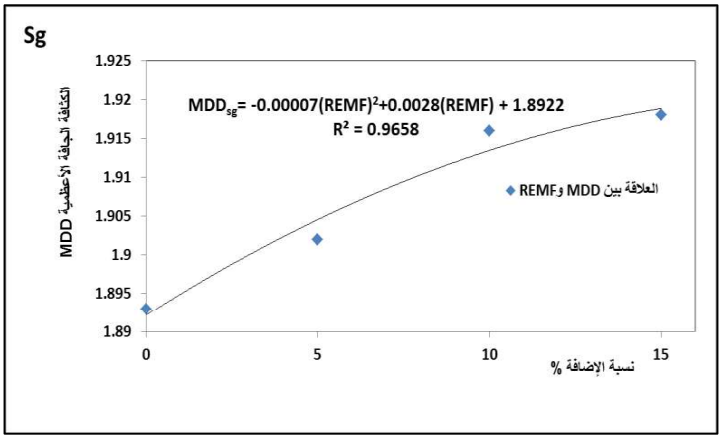
الشكل رقم (6): تغيرات منحني الرص لتربة الاستناد تبعاً لنسب الإضافة من REMF

ويظهر الجدول(7) تغيرات قيم الكثافة الجافة الأعظمية MDD ومحتوى الرطوبة الأمثل OMC تبعاً لنسبة الإضافة من (REMF):

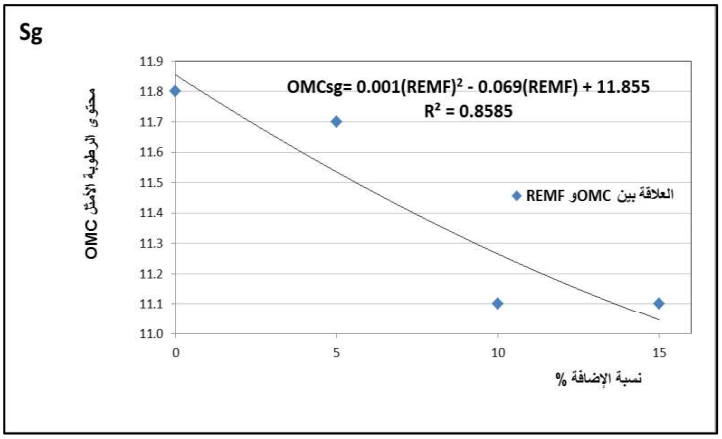
الجدول رقم (7): تغيرات قيم MDD و OMC الموافقة لنسبة الإضافة من REMF لتربة الاستناد

رقم العينة	العينة	نسبة الإضافة (%)	OMC	MDD
1	**REMF0**	**0**	11.8	**1.893**
2	**REMF5**	**5**	11.7	**1.902**
3	**REMF10**	**10**	11.1	**1.916**
4	**REMF15**	**15**	11.1	**1.918**

ويبين الشكل(7) العلاقة بين MDD ونسبة الإضافة من (REMF) لتربة الاستناد والمعادلة التحليلية الخاصة التي تربط بينهما. أما الشكل(8) فيبين العلاقة بين OMC ونسبة الإضافة من (REMF) لتربة الاستناد والمعادلة التحليلية الخاصة التي تربط بينهما:



الشكل رقم (7): العلاقة بين MDD ونسبة REMF لتربة الاستناد



الشكل رقم (8): العلاقة بين OMC ونسبة REMF لتربة الاستناد بعد الغمر

لوحظت الزيادة في قيمة الكثافة الجافة الأعظمية (MDD) ونقصان محتوى الرطوبة الأمثل (OMC) وذلك مع ازدياد نسبة الإضافة من راجع الفلتر، مما يؤدي إلى الزيادة في الاكتناز (ملاءة المادة للفراغات) مما يعني زيادة في المقاومة الميكانيكية للتربة. وتوقفت عملية الإضافة لـــراجع الفلتر (REMF) للتقارب الحاصل في قيم التغيرات المقابلة لنسبتي الإضافة 10- 15%.

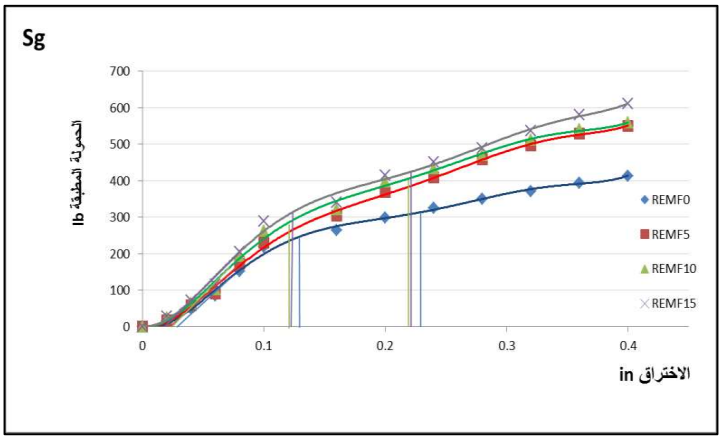
5-3 الخصائص الميكانيكية:

أجريت تجربة الـ CBR على العينات على مرحلتين وذلك بعد رصها في قالب الـ CBR مع الأخذ بعين الاعتبار الرطوبة المثالية الموافقة للكثافة الجافة الأعظمية لكل من العينات (كلٌ على حده).

5-3-1 المرحلة الأولى: غمرت العينات ضمن الماء وذلك حتى ثبات الانتفاخ وصادف ذلك مدة 48 ساعة _عادةً ما تستمر حتى 96 ساعة_ المذيب (2015). ويظهر الجدول(8) قيم الأحمال المطبقة والموافقة لمقدار الاختراق، كما ويظهر في الشكل(9) تغيرات منحني (CBR) وفق نسب الإضافة (REMF) لتربة الاستناد وذلك بعد غمر العينات لمدة 48 ساعة حتى ثبات الانتفاخ:

الجدول رقم (8): قيم الأحمال المطبقة وفقاً لمقدار الاختراق بعد غمر 48 ساعة تربة الاستناد

الاختراق (inch)	الحمولة (lb)			
	REMF0	REMF5	REMF10	REMF15
0	0	0	0	0
0.02	15	17	24	29
0.04	50	59	65	72
0.06	85	91	102	117
0.08	152	173	194	206
0.1	**218**	**231**	**263**	**289**
0.16	265	304	321	341
0.2	**298**	**369**	**398**	**415**
0.24	326	410	435	452
0.28	351	458	470	490
0.32	372	497	512	537
0.36	395	529	540	581
0.4	414	551	559	611

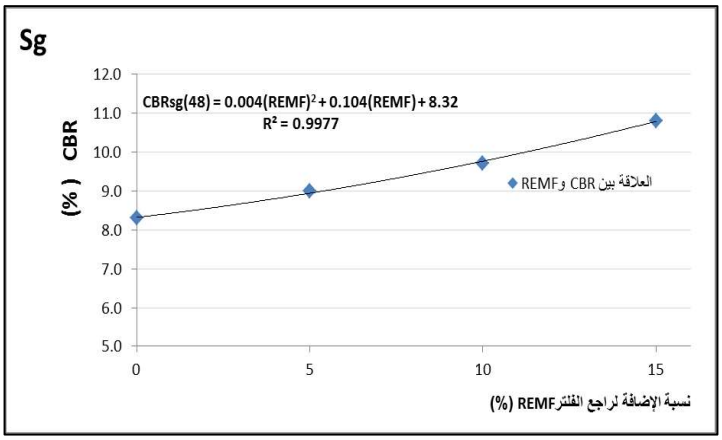


الشكل رقم (9): تغيرات منحني CBR بعد غمر 48 ساعة لتربة الاستناد

كما يظهر الجدول (9) تغيرات قيم CBR المصححة لتربة الاستناد، تبعاً لنسبة الإضافة من (REMF)، ويبين الشكل(10) العلاقة بينهما والمعادلة التحليلية الخاصة التي تربط بينهما:

الجدول رقم (9): قيم الحمولة المصححة لـ CBR لتربة الاستناد

P1 (lb)	250.0	270.0	290.0	325.0
P2(lb)	**315.0**	**390.0**	**410.0**	425.0
CBR0.1 (%)	**8.3**	**9.0**	**9.7**	10.8
CBR0.2 (%)	**7.0**	**8.7**	**9.1**	9.4
CBR (%)	**8.3**	**9.0**	**9.7**	10.8



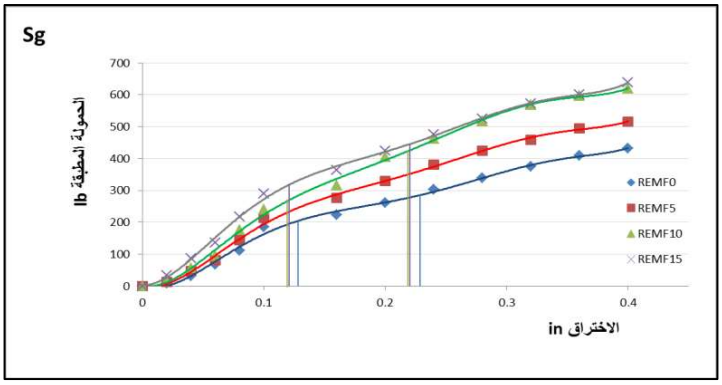
الشكل رقم (10): العلاقة بين CBR ونسب الإضافة من REMF لتربة الاستناد 48 ساعة

2-3-5 المرحلة الثانية: غمرت عينات أخرى شبيهة بالأولى وذلك بعد إعادة رصها ضمن القوالب ومن ثم تم غمرها بالماء لمدة 7 أيام، وذلك من أجل محاكاة الحالة الأكثر خطورة.

ويظهر الجدول(10) قيم الأحمال المطبقة والموافقة لمقدار الاختراق، كما ويظهر في الشكل(11) تغيرات منحني (CBR) وفق نسب الإضافة (REMF) لتربة الاستناد:

الجدول رقم (10): قيم الأحمال المطبقة وفقاً لمقدار الاختراق بعد غمر 7 أيام لتربة الاستناد

قيم الأحمال المطبقة وفقاً لمقدار الاختراق بعد غمر 7 أيام لتربة استناد				
الاختراق (inch)	الحمولة (lb)			
	REMF0	REMF5	REMF10	REMF15
0	0	0	0	0
0.02	8	13	17	34
0.04	31	46	57	86
0.06	67	81	95	135
0.08	112	143	176	217
0.1	**185**	**213**	**241**	**289**
0.16	224	276	316	364
0.2	**261**	**329**	**405**	**425**
0.24	302	381	462	475
0.28	338	425	517	525
0.32	375	459	568	573
0.36	409	495	596	601
0.4	432	516	620	638

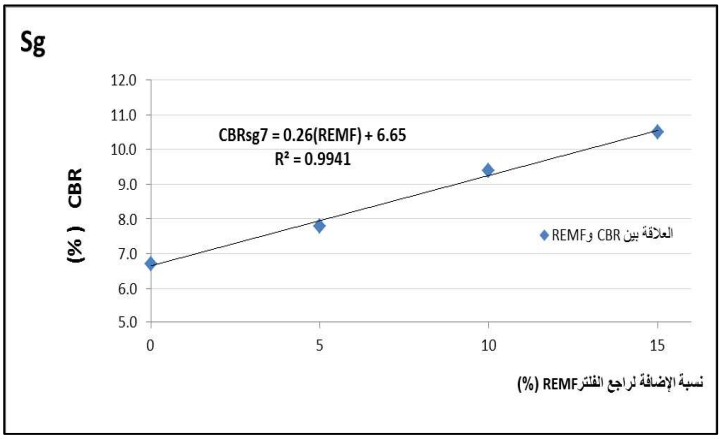


الشكل رقم (11): تغيرات منحني CBR بعد غمر 7 أيام لتربة الاستناد

كما يظهر الجدول (11) تغيرات قيم CBR المصححة لتربة الاستناد، تبعاً لنسبة الإضافة من (REMF)، ويبين الشكل(12) العلاقة بينهما والمعادلة التحليلية الخاصة التي تربط بينهما:

الجدول رقم (11): قيم الحمولة المصححة لـ CBR لتربة الاستناد

P1(lb)	200.0	230.0	270.0	315.0
P2(lb)	275.0	350.0	425.0	450.0
CBR0.1 (%)	6.7	7.7	9.0	10.5
CBR0.2 (%)	6.1	7.8	9.4	10.0
CBR (%)	6.7	7.8	9.4	10.5



الشكل رقم (12): العلاقة بين CBR ونسب الإضافة من REMF لتربة الاستناد 7 أيام

إن زيادة قيم (CBR) بشكل مطرد مع زيادة نسبة الإضافة من (REMF) يدل على زيادة قدرة تحمل تربة الاستناد، وذلك يؤكد النتائج التي تم التوصل إليها من خلال منحنيات الرص، كون المادة المضافة (REMF) عملت على ملء الفراغات مما زاد من اكتناز التربة. ويمكننا القول أن هذه المادة المضافة (REMF) يمكن اعتبارها رابطاً هيدروليكياً لبدء تأثيرها بالظهور أكثر بعد سبعة أيام من الغمر.

6- الخلاصة والتوصيات:

تتمثل الخلاصة بالنقاط المحورية التالية:

- إضافة **راجع الفلتر** الكهربائي لمطحنة المواد الخام **(REMF)** إلى القاعدة الترابية (تربة الاستناد) **يحسّن** من خصائصها **الفيزيائية والميكانيكية**.
- **انخفاض** دليل اللدونة للعينات المعدلة براجع الفلتر **(REMF)** لتربة الاستناد بنسبة **14%** وذلك عند نسبة إضافة **15%** من راجع الفلتر إلى الوزن الجاف للعينة.
- ارتفاع نسبة تحمل كاليفورنيا **(CBR)** للعينات المعدلة بنسبة **15%** من راجع الفلتر **(REMF)** لتربة الاستناد بنسبة تصل إلى **55%**.
- النسبة الأمثل لإضافة **(REMF)** إلى تربة الاستناد كانت **15%**.

وإننا نوصي بـ:

- استخدام راجع الفلتر **(REMF)** في تحسين الخصائص **الفيزيائية والميكانيكية** لتربة الاستناد في أعمال الطرق.
- دراسة تأثير مزيج من راجع فلتر مطحنة المواد الخام **(REMF)** وغبار أفران الإسمنت **(CKD)** على أداء طبقات الرصف المختلفة، والوصول إلى النسبة الاقتصادية.
- **التوسع في دراسة أثر راجع الفلتر (REMF) على:**

1) مختلف أنواع ترب الاستناد.
2) طبقات الأساس وما تحت الأساس وفق مواد حصوية ذات مصادر مختلفة (فراتية – بازلتية – كلسية.....إلخ).
3) الخلطات الإسفلتية.

REFERENCES:

المراجع العربية:

1- **المذيب** أيمن، 2015 – **تأثير إضافات البوزولانا الطبيعية والكلس على تحسين مواصفات التربة الغضارية لاستخدامها في الطابق الترابي لأعمال الطرق.** رسالة ماجستير مقدمة لجامعة دمشق، كلية الهندسة المدنية، 75 صفحة.

2- **عزيز** ليث، 2010 – **زيادة كثافة التربة الرملية المرصوصة باستخدام غبار الاسمنت. مجلة الكوفة الهندسية،** المجلد الأول، العدد الثاني، ص: 1- 19.

المراجع الأجنبية:

3- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) and Federal Highway Administration., 2009- **Recommended Practice for Stabilization of Sub-grade Soils and Base Materials**, USA.

4- **ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS**, (1995), Soil and Rock,No.04,Washington DC.

5- Karol R., 2003-**Chemical Grouting and Soil Stabilization**. Marcel Dekker,3rd ed, THE UNITED STATES OF AMERICA, NEW YORK, 583P.

6- KEERTHI, Y., DIVYA KANTHI, P., TEJASWI, N., SHYAM CHAMBERLIN, K.,& ATYANARAYANA, B. (2013,April). **Stabilization of Clayey Soil using Cement Kiln Waste**. *International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering, 02*(02), 1-5.

7- **Solanki**, Pranshoo., **Khoury**, , Naji., & **Zaman**, Musharraf. B.(2011). Engineering Behavior and Microstructure of Soil Stabilized with cement Kiln Dust. Retrieved March 15, 2017 from https://ascelibrary.org/doi/10.1061/40916%28235%296.