The Feasibility of Using Fly ash from Power Plants in Improving the Physical and Mechanical Properties of Clay and Silty Clay

Dr. Rami Hanna*

(Received 7 / 1 / 2023. Accepted 12 / 2 / 2023)

□ ABSTRACT □

Road construction requiers certain types of soils that must meet specific specifications that are sometimes difficult to secure, especially near the construction area. Therefore, the cost of construction increases significantly, except for the inability to use geotechnically and geometrically weak excavation materials in backfilling, which are later replaced with good materials suitable as foundation materials for road paving layers. . Therefore, the researchers resorted to the possibility of using the excavation outputs as new construction materials after treating them with additives such as cement, quick or slaked lime, and appropriate chemical additives. Later, fly ash appeared from power plants as an effective material for soil stabilization, especially at the end of the last century, as it gave good results, especially when stabilizing and strengthening the soil under the paving layers, and even as a new material (soil + fly ash that can be used in the paving layers). In our research, it was successfully tested. Improving the weak soil from two sites in Lattakia city by adding fly ash from the power generation station in Banias, so the C.B.R bearing capacity properties of the first soil improved by an amount of 125% when adding a percentage of ash that reached 15% of the weight of the soil, and for the second soil by 215% at the same percentage from the ashes.

Keywords: Fly ash, physical and mechanical properties of soil , C.B.R.soil stabilization.

* **Associate Professor - Department of Transportation and Transportation Engineering - Faculty of Civil Engineering - Tishreen University - Lattakia - Syria.**

جدوى استخدام الرماد المتطاير من محطات توليد الطاقة في تحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للغضار والغضار السيلتي

د. رامي حنا*

(تاريخ الإيداع 7 / 1 / 2023. قُبِل للنشر في 12/ 2 / 2023)

□ ملخّص □

إنشاء الطرق يتطلب أنواعاً معينة من الترب يجب أن تحقق مواصفات محددة يصعب أحياناً تأمينها وخاصة بالقرب من منطقة الإنشاء، لذلك تزداد بشكل ملحوظ تكلفة الإنشاء عدا عن تعذر استعمال مواد الحفر الضعيفة جيوتكنيكياً وهندسياً في أعمال الردم والتي تستبدل لاحقاً بمواد جيدة صالحة كمواد تأسيس لطبقات الرصف الطرقية. لذلك لجأ الباحثون إلى إمكانية استخدام نواتج الحفر كمواد إنشاء جديدة بعد معالجتها بالإضافات كالإسمنت والكلس الحي أو المطفأ والإضافات الكيميائية المناسبة. ظهر لاحقاً الرماد المتطاير من محطات توليد الطاقة كمادة فعالة لتثبيت التربة وخاصة في أواخر القرن الماضي حيث أعطت نتائج جيدة وخاصة عند تثبيت وتقوية التربة تحت طبقات الرصف وحتى كمادة جديدة (تربة +رماد متطاير fly ash يمكن استخدامها في طبقات الرصف). في بحثنا تم (اختبار و)بنجاح اختبار تحسين التربة الضعيفة من موقعين بمدينة اللاذقية بإضافة الرماد المتطاير من محطة توليد الطاقة ببانياس. فتحسنت خواص قدرة التحمل ال C.B.R،للتربة الأولى بمقدار وصل الى 125% عند إضافة نسبة من الرماد وصلت الى 15% من وزن التربة ، وللتربة الثانية 215% عند نفس النسبة من الرماد .

الكلمات المفتاحية: الرماد المتطاير ، الخواص الفيزيائية والميكانيكة للتربة، ، ال C.B.R،تثبيت التربة.

*أستاذ مساعد – قسم هندسة المواصلات والنقل – كلية الهندسة المدنية –جامعة تشرين –اللاذقية–سورية.

مقدمة:

تلعب التربة دوراً هاماً وأساسياً في إنشاء مشاريع الطرق والسكك الحديدية والمطارات ، وتتحكم إلى حد بعيد بديمومتها واقتصاديتها . فعندما تكون خواص المواد الحصوية والتربة المستخدمة في إنشاء المشاريع المذكورة جيدة ونخص منها الخواص الفيزيائية والميكانيكية ، بالإضافة إلى (أضف الى ذلك عندما تماثلها) جودة ترب أساسات المواقع (الأرض الطبيعية) أو تربة المسار، يمكن القول وبأمان أن ديمومة واستقرار المنشأة الطرقية طويل الامد . مما لاشك فيه أن استخدام (وتوفر) مواد محلية متوفرة بالقرب من مكان إنشاء الطريق له دور اقتصادي هام ولاسيما توفر مواد انشاء طبقات الرصف، والتي تكلف على الاغلب 60% من كلفة إنشاء الطريق ككل[3]. فعند الحاجة لاستبدال مواد الحفر الضعيفة بمواد تحقق الحد الادنى من المواصفات الفنية لطبقات الردم أو التأسيس لطبقات الرصف، تستدعي هذه الحالة استجرار مواد إنشاء جديدة مما يترتب عليه (وهذا لاشك يرتب) نفقات كبيرة لتنفيذ الطريق عدا عن الحاجة للتخلص من مواد الحفر وبأقل آثار بيئية ممكنة. من هنا برزت الحاجة لإيجاد طرائق لتحسين التربة المحلية بموقع الإنشاء من نواتج الحفر أو للمواد بالقرب منه بحيث تحقق الحد الادنى من المواصفات الفنية للمشروع قيد التنفيذ [3,13]. وكانت أهم الوسائل الناجعة لتحسين مواصفات الترب المحلية ونواتج الحفر هو تثبيتها وتقويتها بالإضافات من نوع واحد أو نوعين ونذكر من الإضافات، إضافة الكلس والاسمنت والنفايات الصناعية والمواد الكيميائية .

وتثبيت التربة هو مصطلح علمي هندسي يشمل كافة الطرائق الميكانيكية أو الفيزيائية أو الكيميائية أو الحيوية أو أكثر من طريقة والتي يتم توظيفها معاً لتحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للتربة الطبيعية والصناعية لكي تخدم الهدف الهندسي المطلوب والمحقق لمواصفات فنية محددة، وذلك من خلال زيادة درجة استقرارها وقوة تحملها وثبات حجمها ونفاذيتها للماء. في منتصف القرن الماضي أثبت الرماد المتطاير على أنه مادة جيدة في تثبيت التربة وخاصة في تحسين الخصائص الميكانيكية للتربة من حيث زيادة مقاومتها وثباتها أمام تأثيرات الرطوبة والحفاظ على الخواص الحجمية لخليط التربة المضاف لها [3,4].

إن الرماد المتطاير (fly ash)بشكل عام يعتبر نوع من أنواع النفايات التي تنتج عند توليد الطاقة الكهربائية باستخدام الفيول أو الفحم الحجري أو الغاز مع الفحم أو الفيول . في بلدنا محطات توليد الطاقة تستخدم (على الأغلب) الفيول مع الغازغالباً كما هو الحال في محطة بانياس التي استجرينا منها الرماد المتطاير (fly ash) لاستخدامه في تثبيت نوعين من الترب الضعيفة المنتشرة في مدينة اللاذقية.

أما المركبات الرئيسية للرماد هي الكادميوم والكروم والنيكل والرصاص والمركبات العضوية مثل مركبات ثنائي الفينيل متعدد الكلور (Ca و Mg و K و P و S و B و Fe و Zn و Cu و بالتالي تتشكل من أكاسيد الحديد والألمنيوم والسيليسيوم **3 (SiO2+Al2O3+Fe2O)**، ومحتوى محدد من الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات. كما يحتوي على القليل من N أو يحتوي أو لا يحتوي على كربون عضوي. [1,4].

تجدر الإشارة إلى أن الرماد المتطاير استُخدم كذلك في صناعة البيتون (وأعطى الرماد للبيتون المضاف له)مما أعطاه مزايا جديدة أكسبته مقاومات أفضل وامتصاص أقل للماء[10].هذا يقودنا إلى (توجيه و) تسليط الضوء على استخدام الرماد المتطاير في الخلطات البيتونية الاسمنتية المستخدمة كبيتون مرصوص بالمداحي عند إنشاء الطرق ضمن المرافئ ومراكز التجميع والتخزين في الساحات.

تجدر الإشارة الى أن الرماد المتطاير استُخدم في تثبيت التربة الحصوية في السويد فكان الهدف من دراسة تأثير إضافة الرماد للحصويات الطرقية هو مقارنة الأقسام المختلفة من الطريق المثبتة والغير مثبتة بالرماد من خلال تعيين

مؤشرات الصلابة للطبقات المنفذة منها بالإضافة لدراسة الأثر البيئي. تم قياس قدرة التحمل للأقسام المختلفة للطريق باستخدام مقياس SPT وفق أربعة مناسيب مختلفة، تبين أن هناك زيادة ملحوظة في قدرة التحمل مع مرور الوقت ، وأثبتت التجارب أن نجاح استخدام الرماد المتطاير في تثبيت التربة كان بسبب محتواه العالي من الكالسيوم وأكاسيد السيليكات التي تعطي مزيج مواد الطرق خصائص بوزولانية (puzzolanic)وبالتالي قوة ضغط عالية وقدرة تحمل كبيرة [10,13].

اظهرت ابحاث عديدة جدوى تثبيت الترب الناعمة بالرماد المتطاير حيث تحسنت الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للتربة الغضارية الحمراء(قيمة CBR=3% بدون إضافات وأصبحت بإضافة 15% رماد CBR=36%، ، ومؤشر السيولة انخفض من 56% الى 26% عند إضافة نفس النسبة).وأكدت أبحاث عديدة تحسن الخصائص الميكانيكية للتربة الضعيفة الغضارية اللدنة حيث زادت قيمة قدرة التحمل (والتي كانت بدون إضافات CBR=3%) لتصبح CBR=51% عند اضافة 15% رماد.[10]

في بحثنا هذا وقع اختيارنا على استخدام مادة الرماد المتطاير من محطة توليد الطاقة ببانياس لتثبيت نوعين من التربة المحلية في مدينة اللاذقية من موقعين الأول في المنطقة الصناعية باللاذقية (وطى البسليس تربته رمادية إلى بنية غامقة اللون غضارية)، والثاني بمنطقة دمسرخو باللاذقية(تربة بنية إلى حمراء اللون غضارية سيلتية).بينت نتائج التجارب على كلا التربتين فعالية مادة الرماد في تحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية، وخاصة خصائص اللدونة والمقاومة على الضغط البسيط ومع الزمن وخصائص الC.B.R .

1. 1. تطبيقات التربة المثبتة بالرماد المتطاير

- **الردميات وطبقات الرصف الطرقية :**

لقد استخدمت المواد الضعيفة والمثبتة بالرماد المتطاير في إنشاء الردميات الطرقية العالية والمتوسطة الارتفاع في العديد من دول العالم ، كما يمكن وبفعالية استخدام التربة في إنشاء طبقات الرصف المرن وخاصة طبقات ماتحت الأساس والأساس. و تبين أن طبقات الرصف الطرقية التي تؤسس على طبقات التأسيس (تربة المسار أو الطبقات المحسنة منه) المثبتة بالرماد تتميز بثباتٍ أكبرٍ وينعكس بشكلٍ أفضل على سطحها الإنشائي.[5,7,10]

- **طبقات الرصف الحبيبيّة بدون طبقات تغطية اسفلتية :**

استخدمت المواد المثبتة بالرماد كطبقات تغطية نهائية أو تأسيس عند إنشاء الطرق القليلة الكثافة وذات الحمولات الخفيفة مثلا طرق الغابات والطرق الزراعية التخديمية ، حيث تأكد أن الطبقة النهائية الحصوية المضاف لها الرماد المتطاير تقوم بأداءٍ أفضل بدون الحاجة لطبقة تغطية بيتونية اسفلتية كطبقة تغطية نهائية ، والنتيجة الأفضل عند إضافة نسبة قليلة من الاسمنت البورتلاندي إلى المزيج (تربة +رماد) [5,7,8,10].

1. 2. فوائد تثبيت التربة بالرماد المتطاير :

- **فائدة اقتصادية وهندسية(تأمين مواد بديلة ورديفة لمواد بناء الطرق)**

تعتبر كلفة استعمال التثبيت بالرماد أرخص نسبياً من استخدام الحصويات(الطبيعية أو الصناعية) التي تعتبر (على الاغلب)صعبة المنال أو بعيدة عن مكان الإنشاء وتوفر هذه العملية عناء ترحيل الترب الضعيفة (تربة الموقع)من الموقع واستبدالها بمواد تأسيس أفضل وأنسب جيوتكنيكياً وهندسياً.ومما لاشك فيه أن التثبيت عملية قد تقدم حلول هندسية طرقية عملية(رشيقة وقليلة الابعاد). [5,7,8,10].

- **فائدة بيئية (حماية البيئة)**

تعد الفائدة الأساسية من استعمال المواد الرماد المتطاير هي التقليل من خطر تأثير هذه النفايات على البيئة، حيث تشكل نفايات الرماد المتطاير حوالي 3% من إجمالي الفيول المستخدم في توليد الطاقة والتي تقدر بحوالي ملايين الاطنان سنوياً من محطة توليد بانياس، ومن خلال عملية إعادة التدوير هذه يمكن التقليل من حجم النفايات وإعادة استخدامها في مجالات (ميادين هندسية) متعددة[5,7,8,10,12].

أهميّة البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث كونه يدرس تقوية خلائط تربة غضارية سيلتية من مواد مستعارة أو نواتج الحفر(ضعيفة جيوتكنيكاً وهندسياً لاتصلح بوضعها الخام في الإنشاء الطرقي) لاستخدامها في الرصف الطرقي وذلك بإضافة الرماد المتطاير(fly ash) بعد اتباع منهجية علمية تقدم آلية بسيطة لتثبيت هذه التربة بالرماد المتطاير من محطات توليد الطاقة ، ليصبح المزيج الجديد(تربة ضعيفة +رماد متطاير) مادة تحقق المتطلبات الفنية لاستخدامها في المكان والزمان المناسبين، سواء استُخدم (إن كان) كمادة ردم أو مواد لإنشاء الرصف الطرقي.

1. إشكالية البحث:

مواد الرصف والخلائط الحصوية الصالحة لأعمال إنشاء الطرق تعتبر قليلة ونادرة أحياناً وتتسبب بزيادة كلفة إنشاء الطريق خاصة إذا كان مكان توريدها بعيداً عن موقع الإنشاء، ولاشك أن إنشاء الطرق يترتب عليه مواد حفر ومواد ردم وعلى الأغلب مواد الحفر تستبعد من موقع الإنشاء لرداءة خواصها الجيوتكنيكية الهندسية وهذا يرتب أعباءً اقتصادية كبيرة (أحيانا)و أعباءً بيئية للتخلص منها، زد على ذلك لازال التثبيت بالتربة محلياً بالرماد المتطاير من محطات توليد الطاقة معدوم ولاتوجد له تطبيقات عملية ،كما ولا توجد استراتيجيات قريبة أو بعيدة المدى لتوفير بدائل للمواد الطرقية المرتفعة التكلفة فبحثنا هذا يوفر مثالاً للحد من استجرار المواد من (مكامن)أماكن مرتفعة التكلفة والحد من تراكم النفايات الغير نافعة اقتصادياً والضارة بيئياً، (مع) والجدير بالذكر أنه (عالمياً) هناك ازدياد عالمي ملحوظ للإعتماد على الترب المثبتة المحلية بالرماد المتطاير في إنشاء الطرق والمواصلات .

2. أهداف البحث:

يقع هذا البحث في مجال هندسة المواصلات والنقل ويتخصص في تحسين خواص الترب المحلية الضعيفة جيوتكنيكياً وهندسياً، ويهدف هذا البحث إلى:

1. التحقق من إمكانية تثبيت الترب الضعيفة بالرماد المتطاير من محطة توليد الطاقة في بانياس .
2. وضع منهجية سليمة لإضافة الرماد المتطاير كمادة للترب الضعيفة والتوصل إلى نسب خلط مثالية للإضافة أو نسب تحقق المواصفات الفنية لمواد إنشاء الرصف والردميات الطرقية وبالتالي توفير منهج علمي لتثبيت فكرة استبعاد نواتج الحفر الضعيفة من موقع اللإنشاء واستخدامها في إنشاء الردميات وطبقات الرصف الطرقية .

طرائق البحث ومواده:

1. منهجيّة الدراسة:

1-1 – دراسة وتقييم الرماد المتطاير مصدر محطة توليد الطاقة في بانياس :

وقع الاختيار في الحصول على الرماد المتطاير من محطة توليد الطاقة بانياس كونها تنتج بشكل مستمر نوعية ثابتة من الرماد .و(كنا)اعتمادا على البحث المجرى في جامعة تشرين 2016 (و)نورد في الجدول التالي رقم(1) العمود الثاني النسب الكيميائية المسجلة في ذلك البحث أما العمود الرابع فهو نتيجة التحليل الذي قمنا به 2019

جدول رقم 1 يمثل نتائج التحليل الكيميائي للبحث [1] والنتائج التحليل الكيميائي لبحثنا

التركيب الكيميائي لعينة رماد منبعث من المحطة الحرارية في بانياس مأخودة عام 2019		**التركيب الكيميائي لعينة رماد منبعث من محطة حرارية]1 [**	
المكون	المحتوى % WT	المكون	%المحتوى WT
SiO_2	56.8	SiO_2	59.0
Al_2O_3	19.9	Al_2O_3	21.0
Fe_2O_3	4.3	Fe_2O_3	3.70
CaO	9.8	CaO	6.90
MgO	1.3	MgO	1.40
SO_3	1.1	SiO_3	1.00
K_2O	0.78	K_2O	0.90
Loos of Ignation	4.9	الضياع بالحرق Loos of Ignation	4.62

لكن نبين فيما يلي بالجدول رقم (2) تصنيف ال AASHTO للرماد المستخدم في إنشاء الطرق [5]

جدول رقم 2 تصنيف الرماد في أعمال إنشاء الطرق

AASHTO M 295 (ASTM C 618) - Classes F and C

Chemical Requirements		**Class F**	**Class C**
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	min %	70	50
SiO_3	max %	5	5
Moisture Content	max %	3	3
Loss on Ignition (LOI)	max %	5[1]	5[1]
Optional Chemical Requirements			
Available Alkalies	max %	1.5	1.5

بالنتيجة نلاحظ أن تصنيف الرماد المأخوذ من محطة بانياس هو من التصنيف F وهو يصلح لأعمال إنشاء الطرق وفي تطبيقات تثبيت التربة [5].

2-1- دراسة وتقييم التربة الضعيفة جيوتكنيكياً وهندسياً من مصدرين الأول A الثاني B :

وقع اختيارنا على نوعين من التربة الأولى رمزنا لها ب A والثانية B ونبين بالجدول رقم (3) أهم الخصائص الجيوتكنيكية الهندسية:

جدول رقم (3)(يمثل) خصائص التربة بدون إضافات

التربة		A	B
1- G_S الوزن النوعي ASTM854-58		$27.2KN/M^3$	$27.10N/M^3$
2-التركيب الحبي ASTM 422-63 نسبة المار من المنخل - N0200 %		(94.2)	(88.6)
3-حدود اتربرغ ASTM- 93- D 4318 ASTM- D 4318 -93	حد السيولة%LL	LL=58%	LL=47%
	حد اللدونة% PL	PL=31%	PL=26%
	قرينة اللدونة% PI	PI=27%	PI=21%
التحليل الحبي المنخلي(نسبة المار من المنخل 200) %		92.9	84.1
4-نتائج تجربة بروكتور المعدلة AASHTO T-180	الكثافة الجافة الأعظمية ¥dmax kN/m^3	16.8	17.9
	الرطوبة الأصولية%W	17.3	14.9
5-نسبة التحمل الكاليفورنيةC.B.R ASTM 1883-94	C.B.R% بعد الإشباع	2.3	4.6%
	الانتفاخ النسبي %	7.3	5.4
7-المقاومة على الضغط البسيط لعينات أسطوانية D= H=5cm بالحالة المشبعة		p=0.21Mpa	p=0.361Mpa
9-تصنيف التربة وفق AASHTO وفق (U.S.C)		(CH)غضار عالي اللدونة	(CL)غضار منخفض اللدونة

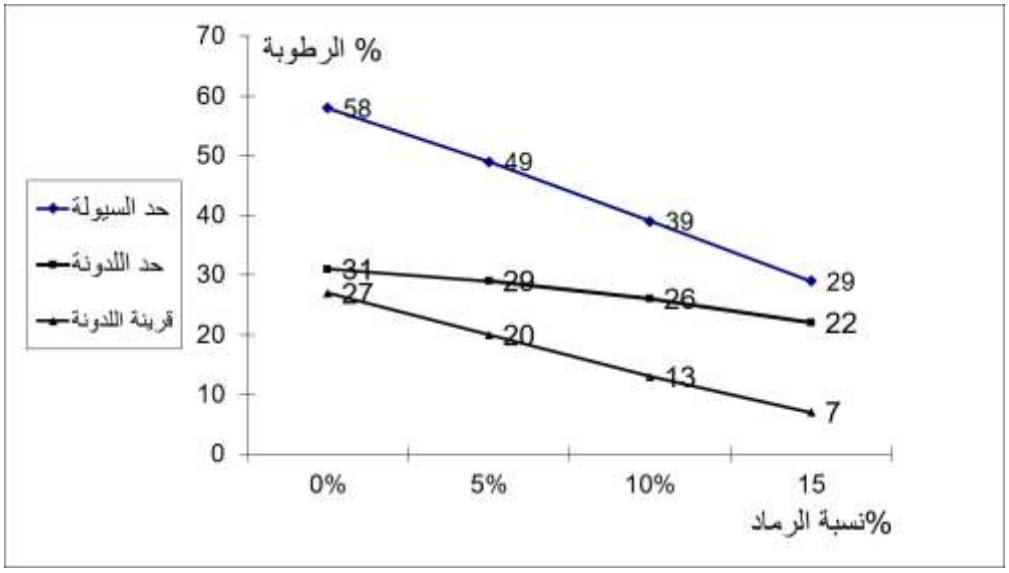
2-1 - دراسة وتقييم الخلائط (المواد الضعيفة جيوتكنيكيا وهندسياً +نسب 5%و10 % و15 % FLY ASH):

تم تحضير خلائط من التربة الأولىA مع نسب إضافة (5%و10 % و15 %)،، FLY ASH وذلك وزنا من التربة الجافة و كل نسبة على حده ، كما تم تحضير خلائط من التربة الثانية B مع نسب 5%و10 % و15 % FLY ASH كل على حدة. تم (على الخلائط كل منها) دراسة خصائص بروكتور، وحصائص اللدونة، وقدرة التحمل النسبية ال C.B.R على كل الخلائط(فقط بعمر اربع اسابيع للعينات)، وتطور المقاومات على الضغط البسيط مع الزمن (عينات بعمر أسبوع وأسبوعين وأربعة أسابيع)و .نبين فيما يلي نتائج الدراسات والتجارب السابقة بالجدول رقم (4):

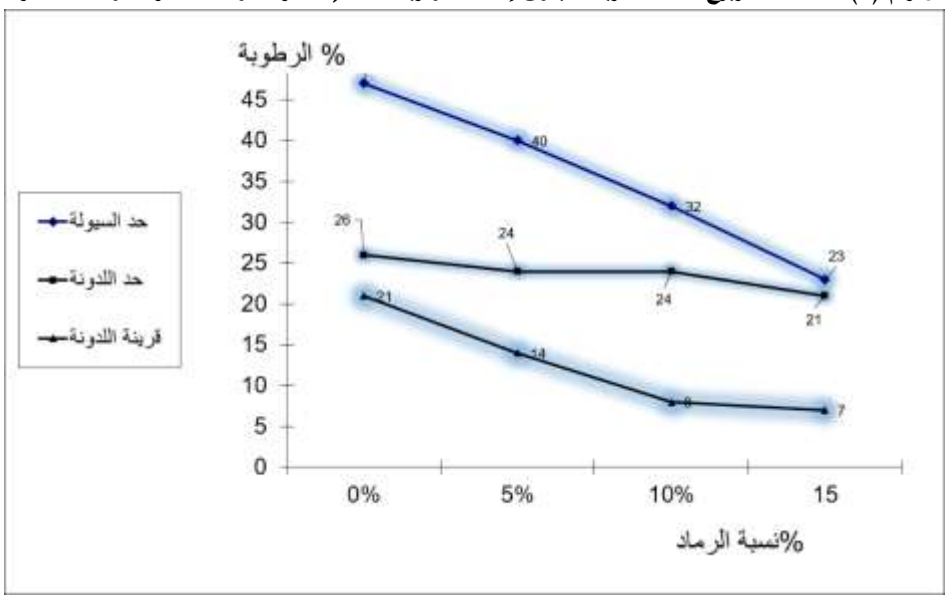
جدول(4)يمثل نتائج تجارب حدود اتربرغ وبروكتور المعدلة و التجارب على الضغط البسيط لخلائط تربة + نفاية ونتائج ال C.B.R

التربة	A				B			
نسبة النفاية المضافة%	حدود اتربرغ				حدود اتربرغ			
		LL%	PL%	PI		LL%	PL%	PI
	0.0	58	31	27	0.0	47	26	21
	5	49	29	20	5	40	24	14
	10	39	26	13	10	32	24	8
	15	29	22	7	15	23	21	2
نسبة النفاية المضافة%	خواص بروكتور				خواص بروكتور			
		الكثافة الجافة الأعظمية γ_{dmax} kN/m³		الرطوبة الأصولية W%		الكثافة الجافة الأعظمية γ_{dmax} kN/m³		الرطوبة الأصولية W%
	0.0	1.68		17.3	0.0	1.79		14.7
	5	1.63		17.5	5	1.77		16.4
	10	1.6		20.0	10	1.75		17.5
	15	1.61		22.0	15	1.71		18.4
نسبة النفاية المضافة%	المقاومة على الضغط البسيط بعمر Mpa			خواص ال C.B.R بالحالة المشبعة		المقاومة على الضغط البسيط بعمر Mpa		خواص ال C.B.R بالحالة المشبعة
	أسبوع	أسبوعان	أربع أسابيع	الانتفاخ النسبي %	ال C.B.R %	أسبوع	أسبوعان	أربع أسابيع	الانتفاخ النسبي %	ال C.B.R %
	مشبعة	مشبعة	مشبعة		مشبعة	مشبعة	مشبعة	مشبعة		مشبعة
0.0	0.21			7.3	2.3	0.39			5.4	4.6
5	0.36	0.67	0.96	2.9	13	0.96	1.65	2.04	2.1	22
10	0.56	0.91	1.315	1.55	19	1.61	1.97	2.43	1.32	38
15	0.82	1.34	1.82	0.92	26	1.96	2.38	2.94	0.6	43

من الجدول رقم (4) يمكننا أن نمثل تبدل خواص اتربرغ لكلا التربتين A,B، حيث نمثل على الشكل رقم (1) مخططات اتربرغ للخلائط تربةA بدون إضافات وتربة A+(5% رماد و +10%رماد و +15% رماد)وعلى الشكل رقم (2) مخططات اتربرغ للخلائط تربةB بدون إضافات وتربة B (+ 5% رماد و +10%رماد و +15% رماد) .



الشكل رقم (1) مخططات اتربرغ للخلائط تربةA بدون إضافات وتربة 5% (+A رماد و +10%رماد و +15% رماد)



شكل رقم (2) مخططات اتربرغ للخلائط تربةB بدون إضافات وتربة B+رماد5% و +10%رماد و +15% رماد)

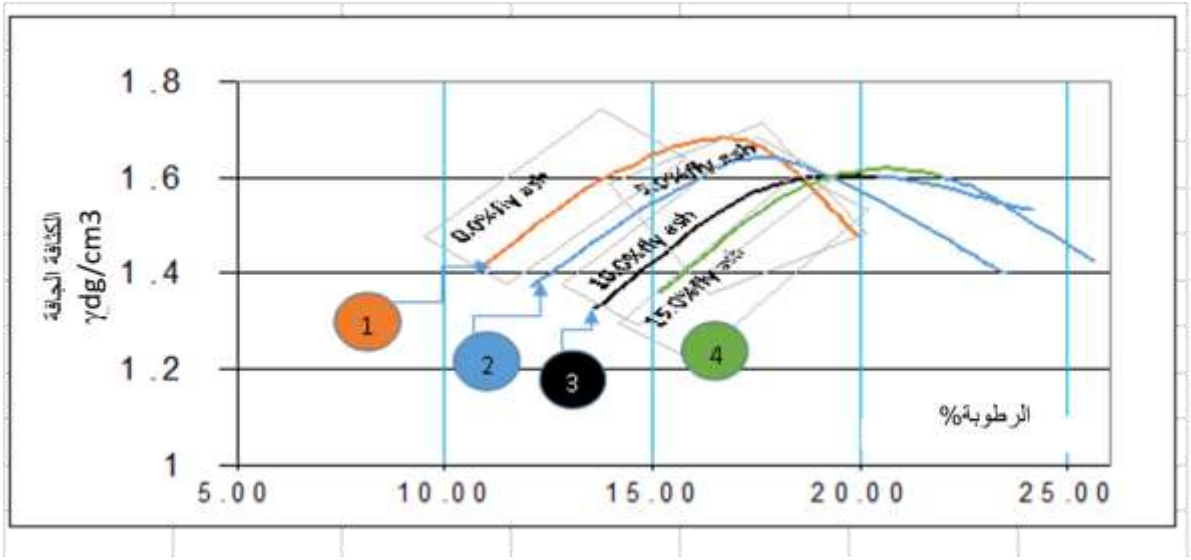
نلاحظ من الشكل رقم (1) والشكل رقم(2) والجدول رقم (4) تحسن خصائص اتربرغ لكلا التربتين وخاصة حدي السيولة واللدونة لكن التربة B كان التحسن فيها أكبر كونها بالأصل خصائص اتربرغ أفضل وهذا بسبب احتوائها على نسب أعلى من السيلت والرمل قياساً بالتربة A لكن يمكن اعتبار التربتين بعد التحسين بإضافة الرماد بنسب حتى 15% صالحتين لأعمال الرصف والردم الطرقي .

لكن فيما يخص خصائص بروكتور فهناك تطور في خصائص بروكتور لكلا التربتين A و B ولو كان تبدلاً طفيفاً، حيث انخفضت كثافة التربة مع زيادة إضافة نسبة الرماد وهذا بسبب كون الرماد مادة خفيفة الوزن ومتطايرة ووزنها النوعي أخف من الوزن النوعي للتربة .نبين فيما يلي على الشكل رقم (3) مخططات بروكتور للخلائط تربةA بدون

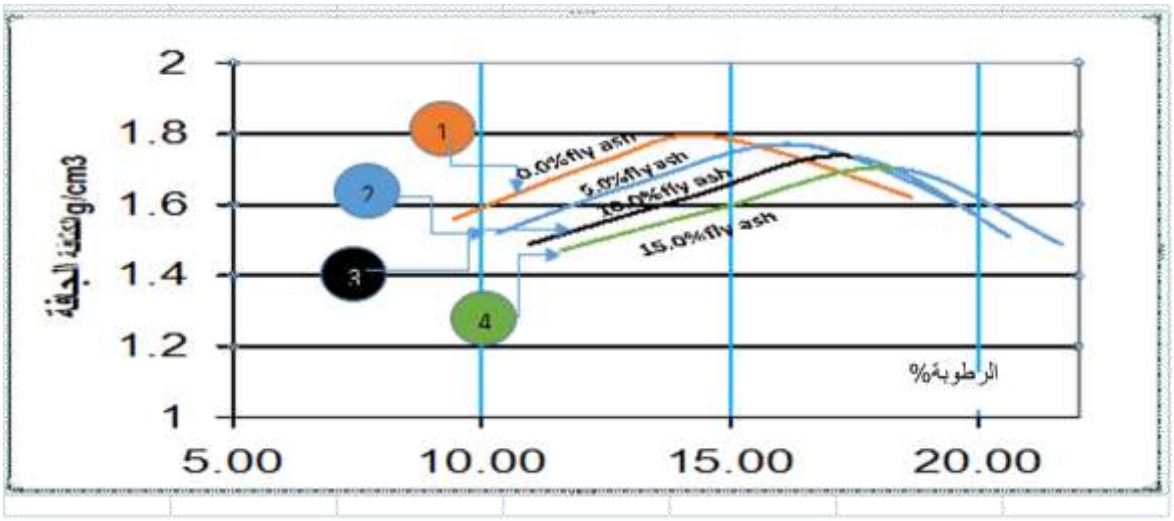
إضافات وتربة A+(5% رماد و +10%رماد و +15% رماد)وعلى الشكل رقم (4) مخططات بروكتور للخلائط تربةB بدون إضافات وتربة B (+ 5% رماد و +10%رماد و +15% رماد) .

فيما يخص الخصائص الميكانيكية لخلائط التربتين A,B بينت نتائج الاختبارات تطور ملحوظ لخصائص المتانة على الضغط البسيط وخصائص الC.B.R ,لكن كان التطور أكبر وقيم المقاومات على الضغط البسيط أكبر لخلائط التربة A منها للتربة B وذلك بسبب أن التكوين البنيوي للتربة A أفضل من حيث التركيب الحبي وخاصة نسبة المار من المنخل رقم 200 (راجع الجدول رقم (3) .نبين على الشكل رقم (3) مخططات تطور المقاومة مع الزمن على الضغط البسيط لخلائط تربةA (+ 5% رماد و +10%رماد و +15% رماد)على الشكل الرقم (4) تطور المقاومة مع الزمن على الضغط البسيط لخلائط تربةB + (5% رماد و +10%رماد و +15% رماد) كل على حدة .

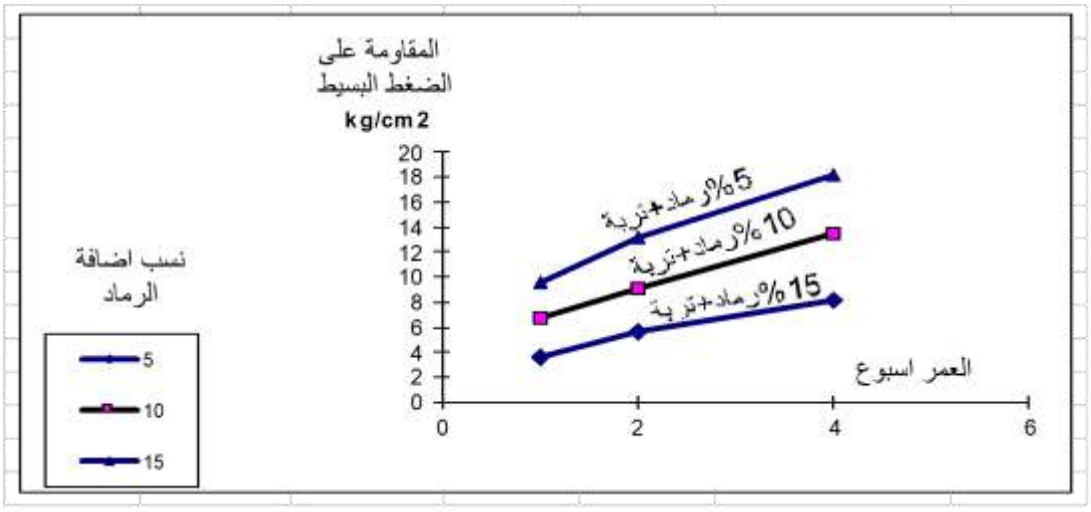
كما نبين على الشكل رقم (5) مخططات تطور قدرة التحمل ال C.B.R لخلائط تربةA+ ((5% رماد و +10%رماد و +15% رماد) و خلائط تربةB+ (5% رماد و +10%رماد و +15% رماد)كل على حده .



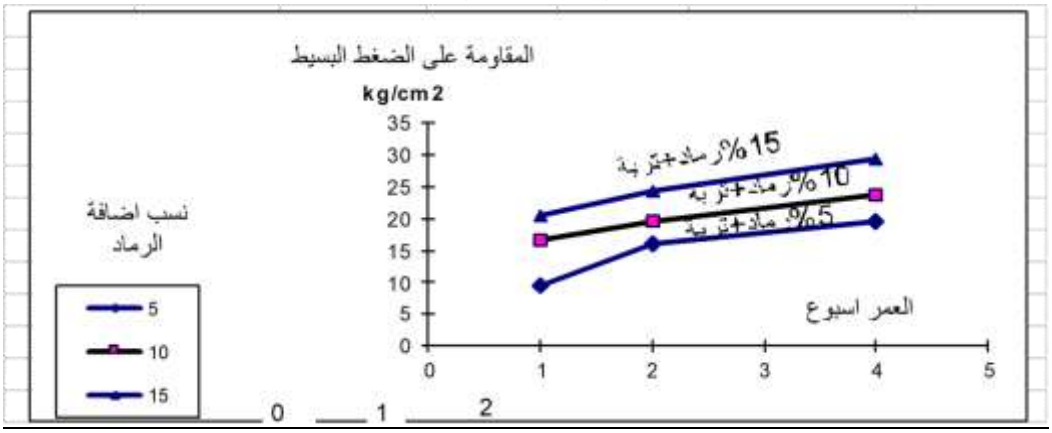
شكل رقم (3) (يمثل) مخططات بروكتور للخلائط 1 تربة Aبدون اضافات و2 تربة A +5% رماد و 3 تربة A +10% *رماد* 4 تربة A +15% رماد



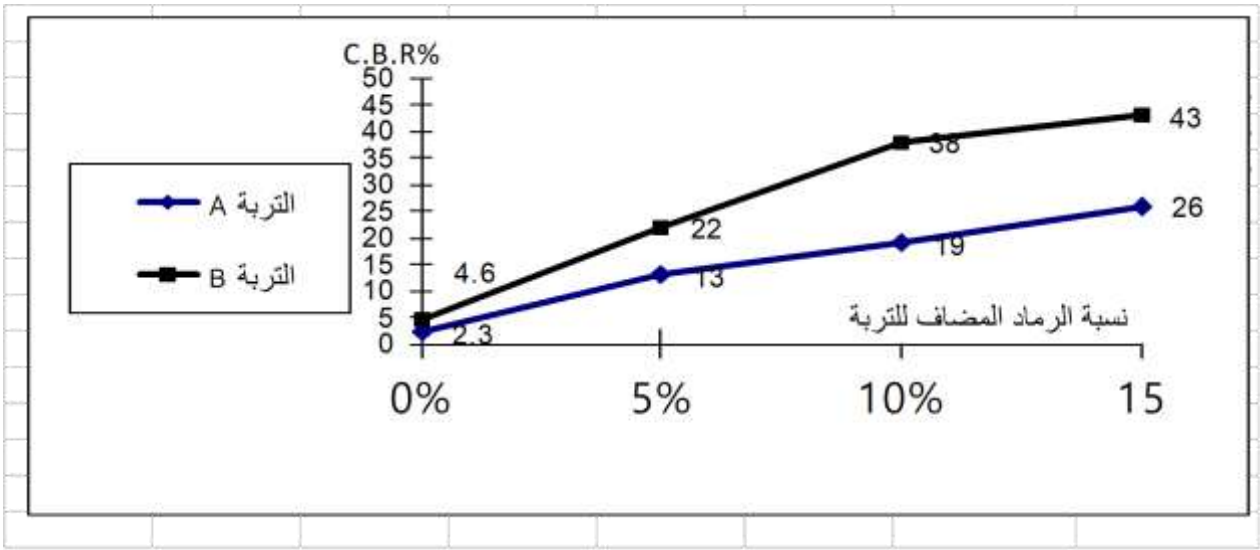
شكل رقم (4) (يمثل) مخططات بروكتور للخلائط –(1) تربة Bبدون اضافات و–(2) تربة B +5% رماد و–(3) تربة B +10% رماد – (4)تربة B +15% رماد



شكل رقم (5) (يمثل)مخططات تطور المقاومة على الضغط البسيط تربة A +5% رماد و تربة A +10% رماد تربة A +15% رماد



شكل رقم (6) (يمثل)مخططات تطور المقاومة على الضغط البسيط تربة B +5% رماد و تربة B +10% رماد تربة B +15% رماد



شكل رقم (7) (يمثل)تطور قدرة التحمل ال.C.B.R لخلائط التربة A وB مع النسب المتزايدة من إضافة الرماد لها كل على حدة(تربة +5:% وتربة+10:%" وتربة+15:%)

الاستنتاجات والتوصيات:

اولاً–أظهرت التجارب أنه من الممكن تحسين الخصائص الجيوتكنيكية الهندسية للتربة الغضارية والغضارية السيلتية بإضافة الرماد المتطاير من محطة توليد الكهرباء في بانياس:

أ– بالنسبة للتربة A

1"– مع زيادة نسبة الرماد المضافة تحسنت خصائص اللدونة بشكل ملحوظ انخفضت قيمة السيولة بمقدار 15,5% عند إضافة 5% رماد ودليل اللدونة انخفض بمقدار 26 %، أما عند إضافة 10% رماد للتربة خفض حد السيولة بمقدار 32.7% ودليل اللدونة بمقدار 51.8%. وعند إضافة 15% رماد أصبح انخفاض حد السيولة بنسبة 50% ودليل اللدونة بمقدار 74 % .

2"– بالنسبة لخواص بروكتور انخفضت الكثافة الجافة العظمى وزادت نسبة الرطوبة الأصلية مع تزايد النسبة المضافة للتربة من الرماد المتطاير: حيث انخفضت الكثافة الجافة العظمى بمقدار 3% عند إضافة 5% رماد وبمقدار 4.7% عند إضافة 10 % رماد و4.2% عند إضافة 15% أما الرطوبة على التوالي فقد زادت بمقدار 1.1% و18,5 % و18.5% .

3"– فيما يخص تطور المقاومات على الضغط البسيط فقد تطورت المقاومات بشكل ملحوظ مع الزمن فزادت بمقدار : 71.4% عند إضافة 5% رماد للعينات بعمر أسبوع وبمقدار 219% عند إضافة 10 % رماد للعينات بعمر أسبوع وبمقدار 357% عند أضافة 15 % أما عند إضافة 5% و10% و15% رماد للتربة، زادت المقاومات على الضغط البسيط للعينات بعمر أسبوعين على التوالي بمقدار 219% و 334% و 538% . أما عند إضافة 5% و10% و15% رماد للتربة، زادت المقاومات على الضغط البسيط للعينات بعمر أربع أسابيع على التوالي بمقدار 357% و 526% و 767% .

4"– أما قدرة التحمل ال C.B.R للمزيج (تربة+رماد) فقد زادت عند إضافة الرماد للتربة بمقدار 5و10 و15% على التوالي : 465% و 726% و1030 % .

ب- بالنسبة للتربة B

1"- مع زيادة نسبة الرماد المضافة تحسنت خصائص اللدونة بشكل ملحوظ انخفضت قيمة السيولة بمقدار 14,9% عند إضافة 5% رماد ودليل اللدونة انخفض بمقدار 33.4 %، أما عند إضافة 10% رماد للتربة انخفض حد السيولة بمقدار 31.9% ودليل اللدونة بمقدار 61.9%. وعند إضافة 15% رماد أصبح انخفاض حد السيولة بنسبة 51% ودليل اللدونة بمقدار 91 % .

2"- بالنسبة لخواص بروكتور انخفضت الكثافة الجافة العظمى وزادت نسبة الرطوبةالأصلية مع تزايد النسبة المضافة للتربة من الرماد المتطاير: حيث انخفضت الكثافة الجافة العظمى بمقدار 1.1% عند إضافة 5% رماد وبمقدار 2.2% عند إضافة 10 % رماد و4.4% عند إضافة 15% أما الرطوبة على التوالي فقد زادت بمقدار 11.0% و05 % و25.2% .

3"- فيما يخص تطور المقاومات على الضغط البسيط فقد تطورت المقاومات بشكل ملحوظ مع الزمن فزادت بمقدار : 146.0% عند إضافة 5% رماد للعينات بعمر أسبوع وبمقدار 313% عند إضافة 10 % رماد للعينات بعمر أسبوع وبمقدار 403% عند إضافة 15 % أما عند إضافة 5% و10% و15% رماد للتربة، زادت المقاومات على الضغط البسيط للعينات بعمر أسبوعين على التوالي بمقدار 323% و 405% و 510% . أما عند إضافة 5% و10% و15% رماد للتربة، زادت المقاومات على الضغط البسيط للعينات بعمر أربع أسابيع على التوالي بمقدار 423% و 523% و 654% .

4"- أما قدرة التحمل ال C.B.R للمزيج (تربة+رماد) فقد زادت عند إضافة الرماد للتربة بمقدار 5و10 و15% على التوالي : 378% و 726% و835% .

ثانيا- إن كلا التربتين A,B تصلحان لإنشاء طبقات الرصف المرن [2,5,7,11,12,13] (ما تحت الأساس وأعمال الردم والتحسين تحت طبقات الرصف) وتعتبر النسب العالية المضافة من الرماد أكثر فعالية في التثبيت ويمكن زيادة النسب المضافة من الرماد للتربة وزنيا للحصول على نتائج أفضل كون التركيب الكيميائي للرماد شبيه بصيغه الكيميائية للاسمنت البورتلاندي وهو يتمتع بخواص بوزولانية طويلة الأمد. وعلى المصمم اختيار النسب المضافة من الرماد للتربة حسب المتطلبات الفنية الخاصة بتصميم وإنشاء كل طريق وطبقات رصفه.

References:

[1] Hadad, M., The Study of Evaluating the Contamination of Soil and Plant of the Eastern- Northern Side of Banias Thermal Station. Scientific Master Thesis, Department of Soil and Water- Agriculture Engineering- Tishreen University- 2017-2018.

[2] The General Technical Conditions and Terms for Roads and Bridges- Puplic Institution of Transportation- Damascus- 2002-2012.

[3] Al-Hadidy A.I., Yi-qiu Tan (2009), "Effect of polyethylene on life of flexible pavements", Construction and Building Materials, Vol. 23.

[4] Yue Huang, Roger N. Bird, Oliver Heidrich 2.,(2007), "A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements", Resources, Conservation and Recycling, Vol.52, School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, UK, pp 58-73.

[5] Khan Amjad, Gangadhar, Murali Mohan Murali and Raykar Vinay,(1999) "Effective Utilization of Waste Plastics in Asphalting of Roads", R.V. College Of Engineering, Bangalore.
[6] S.E. Zoorob, L.B. Suparma.,(2000), "Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt)", Cement & Concrete .Composites Vol. 22, School of Civil Engineering, (CEMU), The University of Leeds,
[7] American Coal Ash Association FHWA-IF -03-019 –Fly Ash Facts for Highway Engineering Technical Report Documentation Federal Highway Admenstration-Washington 2003
[8] Annette R. Hill, Andrew R. Dawson, Michael Mundy.,(2001), "Utilisation of aggregate materials in road construction and bulk fill", Resources, Conservation and Recycling, Vol. 32,
[9] I.Vegas, J.A. Iban˜ez, J.T. San Jose´, A. Urzelai.,(2008), "Construction demolition wastes, Waelz slag and MSWI bottom ash: A comparative technical analysis as material for road construction", Waste Management, Vol. 28, pp 565–574.
[10] Afaf Ghais Abadi Ahmed Fly Ash Utilization in Soil Stabilization International Conference on Civil, Biological and Environmental Engineering (CBEE-2014) May 27-28, 2014 Istanbul (Turkey)
[11] R. Chhabra, S. Marik ,(2014) "A Review Literature On The Use Of Waste Plastics And Waste Rubber Tyres In Pavement." International Journal of Core Engineering & Management (IJCEM) VOL. 1, Issue 1, April 2014.
[12]Salar Shirkhanloo 1 , Mohammad Najafi 1 , Vinayak Kaushal 1,* and Mehrdad Rajabi 2 A Comparative Study on the Effect of Class C and Class F Fly Ashes on Geotechnical Properties of High-Plasticity Clay .CivilEng 2021, 2, 1009–1018. https://doi.org/10.3390/civileng2040054
[13]Michiel Willem Heyns Fly Ash as an Alternative Stabiliser for Road Pavement Materials: a case study in South MASTER of ENGINEERING in CIVIL ENGINEERING Africa 2016

Class C fly ash can be used as a stand-alone material because of its self-cementitious properties. Class F fly ash can be used in soil stabilization applications with the addition of a cementitious agent (lime, lime kiln dust, CKD, and cement). The self-cementitious behavior of fly ashes is determined by ASTM D 5239. This test provides a standard method for determining the compressive strength of cubes made with fly ash and water (water/fly ash weight ratio is 0.35), tested at seven days with standard moist curing. The self-cementitious characteristics are ranked as shown below:

Very self-cementing	> 500 psi (3,400 kPa)
Moderately self-cementing	100 - 500 psi (700 - 3,400 kPa)
Non self-cementing	< 100 psi (700 kPa)

It should be noted that the results obtained from ASTM D 5239 only characterizes the cementitious characteristics of the fly ash-water blends and does not alone provide a basis to evaluate the potential interactions between the fly ash and soil or aggregate.
The use of fly ash in soil stabilization and soil modification may be subject to local environmental requirements pertaining to leaching and potential interaction with ground water and adjacent water courses.