Stabilization of Soils Using Chemical Admixtures: A Review

Mohammed N J Alzaidy

Civil Engineering Department, Mosul University, Nineveh Province, Iraq

mohammednawaf@uomosul.edu.iq

Submission date:- 17/12/2018	Acceptance date:- 8/1/2019	Publication date:- 13/1/2019

Abstract

Searching for the best soil stabilizer to overcome problems occur by the soft soils are still being the main concern, not only to achieve the required soil engineering properties but also by considering the cost and the effect to the environment. This review paper presents the results of experimental researches on soil stabilization by using the most chemical admixtures, which involved cement, lime and fly ash, and their effectiveness in the engineering properties of soil. Based on the literature review, the results show that addition of these chemical additives lead to significant improvement in workability, strength, durability and mechanical behaviour. On the other hand, it lead to a reduction in shrinkage, plasticity, compressibility and swell characteristics of soil. Also, the curing duration had significantly improved the strength properties of the stabilized soil with chemical additives. Using of each chemical additive and its suitability for a specific soil is highlighted in the research.

Keywords: Cement, Lime, Fly ash, Chemical admixtures, Soil stabilization

Journal of University of Babylon for Engineering Sciences by ***University of Babylon*** is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

تثبيت الترب باستخدام المضافات الكيميائية: مراجعة

محمد نواف جرجيس الزيدي

قسم الهندسة المدنية، جامعة الموصل، محافظة نينوى، العراق

mohammednawaf@uomosul.edu.iq

ألخلاصة

إن عملية البحث عن أفضل مادة لتثبيت التربة لغرض التغلب على مشاكل الترب الضعيفة ما زالت جارية، ليس فقط من أجل الحصول على الخصائص الهندسية المطلوبة في التربة ولكن أيضاً أخذ كلفة هذه المادة بعين الاعتبار وتأثيرها البيئي. يعرض هذا البحث مراجعة للدراسات العملية السابقة الخاصة بتثبيت التربة باستخدام المضافات الكيميائية الشائعة الاستخدام والتي تشمل السمنت والنورة والرّماد المتطاير وتأثيرها في الخصائص الهندسية للترب. بينت نتائج تلك الدراسات بأن إضافة تلك المواد الكيميائية إلى التربة تؤدي إلى تحسن ملحوظ في كل من قابلية التشغيل والمقاومة والديمومة والسلوك الميكانيكي للتربة. من جهةٍ أخرى وُجد بأنها تؤدي إلى تقليل الانكماش واللدونة وخصائص الانضغاط والانتفاخ لتلك التربة. كذلك فقد لُوحظ بأن لمدة الإنضاج تأثير واضح في تحسّن خصائص المقاومة للتربة المثبتة. إن عملية استخدام كل مادة من هذه المواد الكيميائية المذكورة آنفاً وملاءمتها للاستخدام لتثبيت تربة معينة قد تم تفصيلها وذكرها في متن البحث.

الكلمات الدالة: السمنت، النورة، الرّماد المتطاير، المضافات الكيميائية، تثبيت التربة

1. المقدمة Introduction

تُعد التربة واحدة من أهم المتطلبات الأساسية والرئيسة التي يجب أن تؤخذ بالحسبان في الأعمال الإنشائية. حيث إن المقاومة والديمومة لأي منشأ تعتمد بصورة أساسية على مقاومة التربة الموجودة تحته. في السنوات الأخيرة أصبحت عملية إنشاء طبقة الأساس للطرق تتم باستبدال طبقة التربة الضعيفة بمادة الحصى الخابط أو ما تُعرف بالتيكلة الجبلية. إن كلفة الاستبدال عالية، لذا قادت هذه المسألة الباحثين إلى إيجاد طرق بديلة لحل هذه المشكلة والتقليل من الكلفة وذلك عن طريق البحث لتحسين خصائص التربة الهندسية الضعيفة الموجودة في الموقع دون الحاجة إلى عملية استبدالها بالحصى الخابط. ويتم ذلك باستخدام طرق ميكانيكية لرص التربة وتحسين خصائصها أو باستخدام مضافات كيميائية تتفاعل مع التربة وتغير من خصائصها الهندسية وهذا ما يُعرف بعملية تثبيت التربة، [1] و [2].

إن عملية تثبيت التربة تُعرف على نطاق واسع بأنها طريقة بديلة وفعّالة لتحسين خصائص التربة الهندسية عن طريق ربط جزيئات التربة مع بعضها. وقد تكون هذه العملية إما طرق ميكانيكية أو كيميائية. حيث أن التثبيت الميكانيكي هي عملية زيادة كثافة التربة باستخدام طاقة رص ميكانيكية. أما التثبيت الكيميائي فيشمل على مزج أو حقن التربة باستخدام مركبات كيميائية فعّالة مثل السمنت والنورة والرّماد المتطاير والكالسيوم وكلوريد الصوديوم أو باستخدام مواد مرنة ولزجة مثل القار. من بين هذه المواد المذكورة أكثرها استخداماً هي السمنت والنورة والرّماد المتطاير، [3]. إن استخدام المادة المناسبة لتثبيت منطقة معيّنة تعتمد أساساً على نوع التربة ونوع المنشأ المراد إقامته ومدى توافر هذه المادة المراد استخدامها، [4]. يؤدي التفاعل الكيميائي الذي يحدث عند إضافة المادة الكيميائية المعنيّة إلى تحسين الخصائص الفيزيائية والهندسية للتربة، مثل استقرار الحجم وتعجيل الهبوط وزيادة المقاومة والديمومة والتقليل من الانضغاطية والانتفاخ الذي يحدث في التربة. كذلك فإن المضافات الكيميائية تعمل على تلبيد الجزيئات (Flocculation) وتعزيز الترابط الكيميائي بين الجزيئات. حيث يؤدي التلبيد إلى انجذاب جزيئات الطين كهربائياً مع بعضها البعض وتجمعها مما يعمل على زيادة الحجم الفعلي لجزيئات الطين المتلبّدة فتتحول نتيجةً لذلك إلى حجم مكافئ للغرين الناعم (Fine silt). كذلك فإن قوى الربط الكيميائي بين جزيئات التربة المنفردة تتطور مع الوقت، حيث تعتمد قوى الربط الكيميائي الناتجة على نوع المثبّت الكيميائي المستخدم، [5].

إن الهدف من هذا البحث هو مراجعة ما تو صّلت إليه الدرا سات العملية الـ سابقة والخا صة بتثبيت الترب بالم ضافات الكيميائية الأكثر ا ستخداماً وهي الـ سمنت والنورة والرّماد المتطاير، ودرا سة ومناق شة مدى تأثيرها في الخ صائص الفيزيائية والهند سية للترب المختلفة.

2. المضافات الكيميائية المستخدمة في تثبيت التربة Chemical admixtures used in soil stabilization

2. 1. السمنت Cement

يُعد السمنت من أقدم المواد المستخدمة في تثبيت التربة منذ اختراع تقنية تثبيت الترب في عام 1960 ولاسيما في إنشاء الطرق، مثل طبقة التربة الأساس تحت الطرق ومدارج المطارات والسدود الأرضية. يمكن عدُّ السمنت كمادة تثبيت أساسية أو مادة رابطة متميأة، حيث يـستخدم لوحدهِ في التثبيت دون أي م ضاف ثانٍ معطياً النتيجة المطلوبة في التثبيت. يمكن ا ستخدام الـ سمنت في تثبيت أنواع عديدة من الترب وكما موضح في الجدول رقم (1). عند زيادة نسبة الطين في التربة، تصبح التربة أكثر صعوبة للاسحق والعمل، في مثل هذه الحالة تحتاج التربة إلى كميات إضافية أكثر من السمنت للوصول للنتيجة المرغوبة. إن التفاعل الذي يحدث بين السمنت والتربة لا يعتمد على المعادن الأسا سية المكونة للتربة، وإنما على تفاعل الـ سمنت الذي يحدث مع الماء والذي يكون موجوداً في أي تربة، وهذا ما يفسر سبب استخدام السمنت في تثبيت عدد من الترب وعلى نطاقٍ واسعٍ، [6].

في هذه التقنية، يتم مزج السمنت مع الماء والتربة باستخدام أجهزة خاصة في الموقع. يؤدي مزج السمنت مع التربة إلى حدوث تفاعلات كيميائية. و ضع الـ سمنت يؤدي إلى تحويل التربة إلى مادة غروية دون أن يؤثر ذلك على البنية المكونة للتربة. يؤدي ذلك إلى تصلب التربة المثبتة بالسمنت، وتعتمد عملية التصلب هذه على عدد من العوامل من أهمها:

- محتوى الرطوبة للتربة
- كمية ونوع السمنت المستخدم في التثبيت
- طريقة المزج والرص
- الظروف المحيطة بالعمل ووقت الإنضاج
- طبيعة ومكونات التربة

إن أكثر الترب ملاءمةً للتثبيت بالـ سمنت هي التربة المتكونة من مزيج متدرج من الرمل والحـ صى أو ما تُعرف بالتيكلة النهرية ذات التدرج الجيد. كذلك فقد وجد العديد من الباحثين بأن التثبيت بالســـمنت يُعدُّ أكثر ملاءمةً للترب الحبيبية (Granular soil) وكذلك للتربة الطينية التي لديها دليل لدونة واطئ، [4]. يمكن استخدام أي نوع من أنواع السمنت المختلفة، ولكن الأكثر استخداماً في التثبيت هو سمنت بورتلاند الإعتيادي (OPC) وذلك بـ سبب سهولة الحـ صول عليه في أي مكان وكذلك خـ صائص الـ سيطرة النوعية المتوافرة فيه. يوضح الجدول رقم (2) التركيب الكيميائي لـسمنت بورتلاند الاعتيادي. أما فيما يخص كمية الـسمنت المستخدمة في التثبيت فهي بصورة عامة تتراوح بين 4-14% كنســـبة مئوية من وزن التربة الجافة. كذلك فقد وجد الباحثون بأن وجود المادة العضـــوية أو الكبريتات في التربة يعمل بصورة عامة على منع السمنت من التصلب والترابط الجيد مع جزيئات التربة، [5].

الجدول (1): المضافات الكيميائية المستخدمة في التثبيت وملاءمتها مع الترب، [7]

المادة المستخدمة في التثبيت	التربة الأكثر ملاءمة
السمنت	يستخدم بصورة عامة في تثبيت التربة الحبيبية ذات التدرج الجيد والترب الناعمة ذات اللدونة القليلة، يستخدم بصورة أساسية من أجل تحسين المقاومة والصلابة في التربة.
النورة	يستخدم في تثبيت الترب ذات اللدونة العالية من أجل تقليل اللدونة ويعمل على زيادة قابلية التشغيل والتقليل من الإنتفاخ وكذلك زيادة المقاومة
الرّماد المتطاير	مادة بوزولانية تتفاعل مع النورة أو السمنت، لذلك لا يستخدم لوحده وإنما كمادة إضافية مع السمنت أو النورة في تثبيت الترب الناعمة ذات اللدونة العالية
السمنت–النورة–الرّماد المتطاير	تستخدم بنجاح في تثبيت أنواع مختلفة من الترب مثل الترب الحبيبة والناعمة.

الجدول (2): التركيب الكيميائي لسمنت بورتلاند الاعتيادي، [6]

المركب الكيميائي	النسبة المئوية (%)
Alumina (Al_2O_3)	9–5
Silica (SiO_2)	25–19
Calcium oxide (CaO)	64–60
Ferric Oxide (Fe_2O_3)	4–2
Tri-calcium silicate (C_3S), Di-calcium silicate (C_2S), Tetra-calcium aluminates	9–5

إن اكتساب المقاومة للتربة عند تثبيتها بالسمنت يحدث نتيجةً لعدد من التفاعلات والتي تشمل التميؤ والتبادل الأيوني والكربنة والتفاعلات البوزولانية، [8] وأدناه توضيح هذه التفاعلات:

التميؤ: تبدأ عملية التميؤ عند إضافة الماء إلى السمنت. إن عملية تميؤ السمنت هي سريعة نسبياً وتؤدي إلى اكتساب المقاومة للتربة المثبتة. ينتج خلال عملية التميؤ النورة المطفأة (Hydrated lime, Ca(OH)2). لهذه النورة القابلية على التفاعل بوزولانياً مع التربة عندما تكون قيمة الـــPH للتربة عالية. ينتج نتيجة لهذا التفاعل مواد رابطة مثل سليكات الكالسيوم المطفأة وألومينات الكالسيوم المطفأة والتي توفر الترابط الوثيق الذي يحدث بين جزيئات التربة.

التبادل الأيوني: عند إضـــافة الســـمنت إلى التربة تحدث بعض التفاعلات بين النورة المطفأة التي تنتج من التفاعل الأول وبين جزيئات التربة. بعض هذه التفاعلات يحدث بصـــورة آنية، في حين أن البعض الآخر يكون بطيء الحدوث. ويُعدُّ التبادل الأيوني (Ion exchange) واحداً من أسرع التفاعلات التي تحدث. من المعروف أن سطح جزيئات الطين يمتلك شحنة سالبة، ما يؤدي إلى انجذاب الأيونات الموجبة الشحنة على سطحها مثل الصوديوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والهيدروجين. إن شحنة الكالسيوم الموجبة الموجودة في السمنت تُعدُّ أقوى من شحنات العناصر السابقة الذكر، فيحل الكالسيوم محل الشحنات الموجبة الضعيفة للعناصر أعلاه (Na^+, Mg^{+2}, K^+ or H^+)، بالتالي يكون سطح جزيئات الطين مشحوناً بأيون الكالسيوم الموجب الشحنة. تؤدي هذه العملية بالنتيجة إلى تقليل اللدونة للتربة الطينية.

التفاعل البوزولاني: بعد اكتمال التفاعل السابقة فإن أي كمية إضافية من السمنت سوف تتفاعل كيميائياً مع معادن الطين الموجودة في التربة. يحتوي السمنت في تركيبه الكيميائي على الكالسيوم والسيليكا (موضحة في الجدول رقم 2) وهذه المركبات هي الأساسية في حدوث التفاعلات البوزولانية. على خلاف النورة، فإن السمنت يحتوي أساساً على عنصر السيليكا الضروري في التفاعلات البوزولانية دون الحاجة إلى عنصر السيليكا الموجود في جزيئات التربة الطينية، لذلك فإن التثبيت باستخدام السمنت لا يعتمد على خصائص مكونات التربة كما هو الحال عند التثبيت باستخدام النورة. تتفاعل مواد الألومينا والسيليكا الموجودة في التربة الطينية مع النورة الموجودة في السمنت وعند وجود الماء لتكون مادة جلاتينية رابطة والتي تعمل على زيادة المقاومة والديمومة للخليط. هذه التفاعلات البوزولانية هي بطيئة الحدوث وقد تستغرق مُدّةً طويلةً من الزمن لإكمال التفاعل قد يصل إلى عدة سنوات في بعض الأحيان.

تفاعلات الكربنة: تحدث تفاعلات الكربنة في تثبيت التربة بالسمنت. فعند تعرض السمنت للهواء الطلق سوف يؤدي ذلك إلى تفاعله مع ثاني أوكسيد الكاربون الموجود في الجو، ينتج من هذا التفاعل كاربونات الكالسيوم غير القابلة للذوبان. لذلك يجب الاهتمام بخزن السمنت والتأكد من عدم تعرضه للهواء الطلق لتجنب حدوث مثل هذه التفاعلات، [6].

2. 2. النورة Lime

النورة هي المضاف الكيميائي الثاني الشائع استخداماً في تثبيت الترب الطينية. إن عملية اختيار الكمية الملائمة من النورة في تثبيت التربة الطينية تعتمد أساساً على قيمة الـــــPH لتلك التربة. فقد يكون التثبيت بالنورة غير فعّالاً عندما يكون تركيز المضاف غير كافٍ لإكمال التفاعل وإحداث نتائج ملموسة. إن كمية النورة المستخدمة في تثبيت الترب الطينية تتراوح عادةً بين 4–10% كنسبة مئوية من وزن التربة الجافة. ممكن إضافة النورة إلى التربة إما في المعمل أو في موقع العمل أو عن طريق تحويل النورة إلى رغوة ومن ثم حقنها في التربة، مما يؤدي إلى تحسين خصائص تلك التربة، [9]. تُنتج النورة من الحجر الجيري أو الرخام عند تسخينه بدرجات حرارة عالية (حوالي 900° سيليزية). هنالك عدة أنواع من النورة المتوافرة وهي:

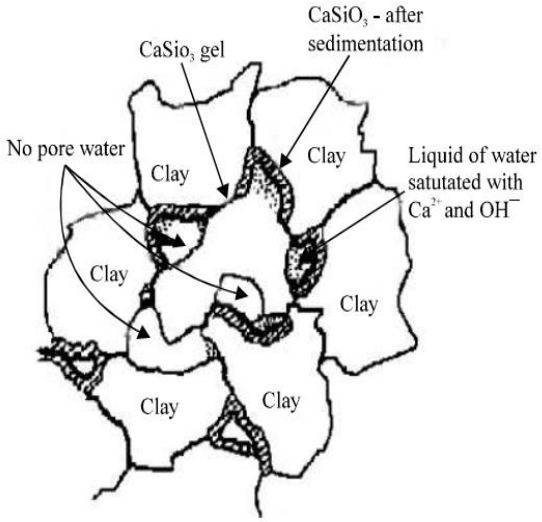
- النورة الحية (CaO)
- النورة المطفأة الحاوية على أوكسيد المغنيسيوم ($Ca(OH)_2.MgO$)
- النورة المطفأة ($Ca(OH)_2$)
- النورة الحية الدولوميت

تُعدُّ النورة الحية هي الأكثر فاعلية في إحداث تغيير في مقاومة التربة مقارنةً بالنورة المطفأة إلا أنها تُعدُّ خطرة جداً على الصحة. عند إضافة النورة إلى التربة فإن سلسلة من التفاعلات الكيميائية سوف تحدث والتي تشمل التبادل الأيوني والتجمع والتليبد والتفاعلات البوزولانية. إن تفاعلات التبادل الأيوني والتجمع والتليبد هي نتيجةً للتغيير في نسيج التربة، حيث تتجمع صفائح الطين مع بعضها البعض لتشكل جزيئات أكبر حجماً كما موضح في الشكل رقم (1)، [5]. نتيجةً لهذه التفاعلات فإن قيمة حد السيولة للتربة سوف يقل، في حين أن حد اللدونة سوف يزداد. كنتيجةً لذلك فإن دليل اللدونة للتربة (Plasticity index) سوف يقل وحد الإنكماش سوف يزداد، لذلك فإن قابلية التشغيل في التربة سوف تتحسن وكذلك مقاومة التربة للتشوه. أما التفاعل البوزولاني فيشمل على التفاعل القائم بين النورة مع عناصر السيليكا والألومينا الموجودة في التربة الطينية لتشكل نتيجةً لذلك مادة رابطة. هذا التفاعل قد يأخذ مُدّةً طويلةً من الزمن، وينتج من هذا التفاعل حرارة عالية ويؤدي إلى زيادة المقاومة للتربة المثبتة بالنورة.

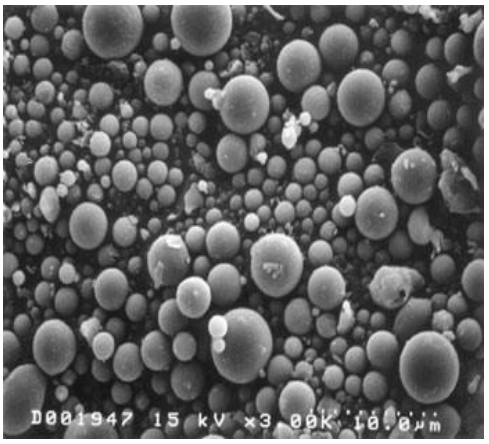
2. 3. الرّماد المتطاير Fly Ash

في السنوات الأخيرة الماضية، تحرّى العديد من الباحثين عن إمكانية استخدام المصادر الطبيعية والمعادن الصناعية في عمليات تثبيت التربة، وكان الهدف منها هو لتقليل الكلفة الاقتصادية لعملية تثبيت الترب، [10]. حيث تم في هذا المجال استخدام الرّماد المتطاير كمضاف كيميائي في تثبيت الترب. يُعرّف الرّماد المتطاير بأنه جزيئات ناعمة ناتجة من عملية حرق الفحم المسحوق، حيث ينتج كناتج عرضي من عملية حرق الفحم الذي يستخدم في محطات توليد الطاقة الكهربائية، على خلاف السمنت والنورة والتي تُعدُّ مواداً مصنّعةً. يستخدم الرّماد المتطاير بصورة عامة كمادة بوزولانية في عملية تثبيت التربة. حيث أن المادة البوزولانية تكون غنية بالسيليكا أو السيليكا والألومينا، حيث تتفاعل هذه العناصر بوجود الماء مع هيدروكسيد الكالسيوم تحت درجات الحرارة الاعتيادية لتنتج المادة الرابطة والتي تربط جزيئات التربة مع بعضها البعض. تكون جزيئات الرّماد المتطاير أنعم من جزيئات السمنت والنورة، حيث تكون كروية الشكل

بـ صورة عامة كما مو ضح في الـ شكل رقم (2) وذات حجم مقارب لحجم جزيئات الغرين ويتراوح بين 10–100 مايكرون، [11]. تُعدُّ النعومة المتوافرة في الرّماد المتطاير من أهم الخصائص والتي تؤدي إلى التفاعل البوزولاني في الرّماد المتطاير. يتكون بصورة أساسية من أوكسيدات السيليكا والألومينا والحديد والكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والصوديوم والتيتانيوم وفي بعض الأحيان وبدرجة قليلة الكبريتات، [11].



الشكل (1): أساسيات التفاعل بين النورة والتربة الطينية، [5]



الشكل (2): جزيئات الرّماد تحت المجهر×2000 مرة تكبير، [11]

يُصنّف الرّماد المتطاير المستخدم في عملية تثبيت الترب بناءً على التركيب الكيميائي له إلى صنفين أساسيين هما الصنف (C) وهي مادة ذاتية الترابط (Self-cementing) والصنف (F) وهي مادة غير ذاتية الترابط (Non self-cementing). اقترحت ASTM C618 (2003) التركيب الكيميائي لكل صنف وهو الموضح في الجدول رقم (3). حيث يحتوي الصنف (C) على كمية كافية من النورة CaO لا تقل عن 20%، وما تبقى من تركيبها الكيميائي فمعظمه يتكون من السيليكا والألومينا إضافةً إلى تراكيب كيميائية أخرى بنسب قليلة، لذلك فعند مزجها بالماء سيحدث تفاعل تميؤ مشابه لذلك الذي يحدث للسمنت عند مزجه بالماء، وينتج من هذا التفاعل النورة المطفأة والتي ستتفاعل بدورها مع المواد البوزولانية الموجودة في الرّماد المتطاير وهي السيليكا والألومينا لإحداث التفاعل البوزولاني. أو قد تتفاعل بوزولانياً مع السيليكا والألومينا الموجودة في جزيئات الطين للتربة. أما الصنف (F) فهو يحتوي على كمية قليلة من النورة CaO أقل من 10%، وما تبقى من تركيبها الكيميائي فمعظمه يتكون من الـ سيليكا والألومينا إ ضافةً إلى تراكيب كيميائية أخرى بنـ سب قليلة. إن تفاعل هذه المواد البوزولانية يحتاج هنا إلى مضاف كيميائي يوفر النورة CaO لإحداث التفاعل البوزولاني، لذلك فلا بُد من إضافة النورة أو السمنت مع هذا الصنف من الرّماد المتطاير لإتمام التفاعل البوزولاني. إن تفاعلات التميؤ والتفاعلات البوزولانية والتي تحدث عند مزج الرّماد المتطاير بالماء سينتج عنه المادة الرابطة التي تربط جزيئات التربة مع بعضها البعض لتحسين خصائص المقاومة لها. إنّ التفاعلات التي تحدث عند تثبيت التربة بالرّماد المتطاير تتباين بـصورة كبيرة وتعتمد أساساً على نوع الرّماد المتطاير المستخدم في التثبيت وعلى التركيب الكيميائي له. بـ صورة عامة فإن الـ صنف (C) يتفاعل بـ سرعة بعد عملية التميؤ، في حين أن الـ صنف (F) والمضاف مع السمنت أو النورة ينتج تفاعلات بطيئة مقارنةً باستخدام النورة أو السمنت في التثبيت، [6].

يعرض الجدول رقم (3) التركيب الكيميائي للرماد المتطاير بصنفيه، [12]. من الجدول يمكن ملاحظة بأن المحتوى CaO والنسبة CaO/SiO2 للـ صنف (F) هي أقل من تلك الموجودة في الـ صنف (C)، لذلك فإن الـ صنف (C) يُعدُّ أكثر فعالية عند استخدامه كمادة بديلة في تثبيت التربة وأكثر اقتصادية، وذلك بسبب خصائصه البوزولانية مما يعطي فرصة للتطبيقات العملية لاستخدامه كبديلاً

عن السـمنت أو النورة، [13]. إنّ كمية الرّماد المتطاير المسـتخدمة في البحوث العملية تتراوح بين 5–20% كنسـبة من وزن التربة الجافة.

الجدول (3): التركيب الكيميائي للرماد المتطاير القياسي، [12]

المركب الكيميائي	النسبة المئوية (%)	
	الصنف C	الصنف F
Silica (SiO_2)	40	55
Alumina (Al_2O_3)	16	26
Ferric Oxide (Fe_2O_3)	6	7
Calcium oxide (CaO)	24	9
Magnesium oxide (MgO)	2	2
Sulfate oxide (SO_3)	3	1
Loss of ignition (LOI)	6	6

3. النتائج التي توصّلت إليها الدراسات السابقة Results based on the literature review

3. 1. السمنت Cement

درس الباحثون Huat et al., (2005)، [5] تأثير م ضافات الـ سمنت والنورة على الخ صائص الدليلية والميكانيكية لتربة الخث (Peat soil) وهي تربة حاوية على نسبة عالية من المواد العضوية. درس الباحثون تأثير كل من مُدد الإنضاج ومحتوى السمنت والنورة بالإضافة إلى محتوى المواد العضوية وتأثيرها على حدود أتربرك وخصائص الرص ومقاومة الانضغاط غير المحصور. تم إضافة نسب مئوية مختلفة من سمنت بورتلاند الإعتيادي والنورة المطفأة تراوحت بين 5–15% و5–25% من وزن التربة الجافة على التوالي. وجد الباحثون بأنه مع زيادة ن سبة كل من الـ سمنت أو النورة يقل حد الـ سيولة للتربة، أما فيما يتعلق بخ صائص الرص فقد وجدوا بأن الكثافة الجافة العظمى (MDD) تزداد، في حين محتوى الرطوبة الأمثل (OMC) يقل. كذلك فقد وجدوا بأن مقاومة الانضغاط غير المحصور تزداد بصورة واضحة ولاسيما بعد مُدد الإنضاج الطويلة. كذلك فإنه عندما تكون نسبة المواد العضوية عالية في التربة فإنها تؤثر بشكل سلبي على التأثير الإيجابي للمضافات الكيميائية (السمنت والنورة) في تحسين الخصائص الميكانيكية للتربة.

ودرس الباحثان Sas and Gluchowski (2013)، [14] تأثير التثبيت بالـ سمنت على الخ صائص الميكانيكية لتربة متما سكة طينية حاوية على غرين ورمل Sandy silty clay. تم إ ضافة ن سب مئوية مختلفة من الـ سمنت تراوحت بين 2–8% من وزن التربة الجافة ودراسة تأثيرها على خصائص الرص للتربة. كذلك فقد تم دراسة مقاومة الإنضغاط لنماذج التربة المثبتة بالسمنت في مُدد إنضاج مختلفة (7 و28 يوماً) لنماذج مغمورة وغير مغمورة. وجد الباحثان بأن الكثافة الجافة العظمى تزداد من 2.18–2.25 غم/سم3، ومحتوى الرطوبة من 10.7–11.5% عند زيادة ن سبة الـ سمنت من 2–8%. كذلك فإن لمُدّة الإن ضاج تأثيراً كبيراً على مقاومة الان ضغاط للتربة ولاسيما بالنسبة للنماذج غير المغمورة بالماء، فقد ازدادت مقاومة الانضغاط لهذه النماذج من 1047–2838 كيلوباسكال عندما تراوحت مُدد الإنضاج من 7–28 يوماً، أما بالنسبة للنماذج المغمورة فقد كان تأثير مُدد الإنضاج عليها أقل حيث تراوحت مقاومة الانضغاط لهذه النماذج من 1024–1516 كيلوباسكال عند تغير مُدد الإنضاج من 7–28 يوماً.

ودرس الباحثان Pandey and Rabbani (2017)، [4] تأثير التثبيت بالـ سمنت لتربة رملية حاوية على غرين وطين Clayey silty sand على بعض الخصائص الجيوتكنيكية والتي اشتملت على خصائص اللدونة والرص ومقاومة الإنضغاط غير المحصور وتأثير مُدد الإنضاج المختلفة على خصائص المقاومة. تم إضافة نسب مئوية مختلفة من الـسمنت تراوحت بين 1–5% من وزن التربة الجافة. لاحظ الباحثان بأن هنالك زيادة في حدود القوام مع زيادة ن سبة الـ سمنت المـ ضافة، في حين أن دليل اللدونة يبقى ثابتاً بـ صورة تقريبية. كذلك فقد وجدا بأن مقاومة التربة تزداد بـ صورة وا ضحة مع زيادة كل من ن سبة الـ سمنت ومُدد الإن ضاج للنماذج المثبتة بالـ سمنت. فقد

ازدادت قيمة مقاومة الإذ ضغاط غير المحـ صور من 80–700 كيلوبا سكال عندما تغيرت ن سبة الـ سمنت من 1–5% لمُدّة إذ ضاج يوماً واحداً، في حين أصبحت القيمة 1070 كيلوباسكال عندما تم فحص النماذج بعد 14 يوماً من الإنضاج.

3. 2. النورة Lime

درس الباحثان Nadgouda and Hegde (2010)، [15] وكذلك الباحثان Singh and Vasaikar (2015)، [16] تأثير تثبيت الترب الانتفاخية با ستخدام ن سب مختلفة من مـ ضافات النورة على الخـ صائص الهند سية لها والمتمثلة بدليل القوام والرص وفحص ن سبة التحمل الكاليفورني ونسبة الانتفاخ وضغط الانتفاخ. وجد الباحثون بأنه مع زيادة نسبة النورة المضافة للتربة فإن دليل القوام للتربة وكذلك دليل اللدونة ينخف ضان. في حين أن صلادة التربة تزداد مع زيادة ن سبة النورة المـ ضافة. أما فيما يخص خـ صائص الرص فقد وجد الباحثون بأن الكثافة الجافة العظمى للتربة تزداد مع زيادة ن سبة النورة، في حين أن محتوى الرطوبة الأمثل يقل بن سبة ضئيلة. أما ن سبة التحمل الكاليفوني فقد وُجد بأنها تزداد بـ شكل وا ضح مع زيادة كل من ن سبة النورة المـ ضافة ومُدد الإذ ضاج، في حين أن ن سبة الانتفاخ وضغطه انخفضا بشكل كبير. كذلك فقد وجد الباحثون بأن النسبة المثلى للنورة المستخدمة لمثل هذا النوع من التربة تراوحت بين 3.5–4.5% من وزن التربة الجافة.

ودرس الباحثان Sharma and Sahoo (2012)، [17] تأثير إ ضافة كل من النورة والرّماد المتطاير على خـ صائص المقاومة والخـ صائص الكيميائية لتربة طينية على المـ ستوى الجزيئي. وجد الباحثان بأن النسبة المثلى للرّماد المتطاير كانت 20% من وزن التربة الجافة. كذلك فقد وجد الباحثان تأقلم إضافة الرّماد المتطاير مع النورة وامكانية استخدامها مجتمعة في تثبيت التربة الطينية. وجد الباحثان بأن ن سبة النورة المثلى كانت 8.5% من وزن التربة الجافة للحـ صول على أفـ ضل نتائج للمقاومة. كذلك فقد وجد الباحثان بأن ا ستخدام الرّماد المتطاير لوحده في تثبيت التربة الطينية يعمل على تحسين الخصائص الجيوتكنيكية لها ولكن بكفاءة أقل من استخدام النورة.

ودرس الباحثون Ahmed et al., (2013)، [18] تحـ سين خـ صائص المقاومة لتربة طينية با ستخدام مـ ضافات الـ سمنت والنورة معاً. حيث تم إ ضافة ن سب مختلفة من الـ سمنت والنورة تراوحت بين 1–9% من وزن التربة الجافة ولمُدّتي إذ ضاج (3 و7) أيام. تم فحص مقاومة الانـ ضغاط للتربة المثبتة وكذلك مقاومة القص للتربة. وجد الباحثون بأن مقاومة القص للتربة المثبتة بالـ سمنت أو النورة قد ازدادت بـ شكل ملحوظ. كذلك وجدوا بأن معاملات مقاومة القص تزداد بزيادة كل من ن سبة المـ ضاف ومُدّة الإذ ضاج. أما عند مقارنة مقاومة القص للتربة المثبتة بالسمنت مع تلك المثبتة بالنورة وللنسب المئوية نفسها للمضاف، فقد وُجد بأن الأولى كانت نتائجها أعلى.

ودرس الباحثان Ochepo and Joseph (2014)، [19] تأثير إضـــافة النورة على خصـــائص المقاومة لتربة طينية وكذلك مساهمة زيت المركبات على خـ صائص المقاومة للتربة الطينية. تم إ ضافة ن سب مئوية مختلفة من النورة تراوحت بين 0–8% من وزن التربة الجافة. تم دراسة التأثير على ن سبة التحمل الكاليفورني ولمُدّة إنضاج 4 أيام، وكذلك التأثير على مقاومة الانـ ضغاط غير المحصور ولمُدد إنضاج مختلفة (7 و14 و28 يوماً). تو صّل الباحثان بأن قيم كل من ن سبة التحمل الكاليفورني ومقاومة الانـ ضغاط غير المحـ صور تزداد بشكل واضح عن زيادة كل من ن سبة النورة المـ ضافة ومدة الإنضاج. كذلك فقد بيّنت الدراسة بأن لزيت المركبات تأثير سلبي على مقاومة التربة المثبّتة بالنورة، حيث وجد ان ن سبة الانخفاض في مقاومة الانـ ضغاط غير المحـ صور لنماذج التربة المثبتة بالنورة ولمُدد الإنضـــاج المختلفة (7 و14 و28 يوماً) كانت 46% و23% و13% على التوالي، في حين إنّ نســـبة الانخفاض في فحص التحمل الكاليفورني كانت 35%. كذلك فقد لاحظ الباحثان بأن التأثير الســـلبي لزيت المركبات على مقاومة التربة الطينية المثبتة بالنورة يقل مع زيادة كل من نسبة النورة المضافة ومُدّة الإنضاج.

3. 3. الرّماد المتطاير Fly Ash

معظم الرّماد المتطاير الذي يتم إضـــافته في تثبيت التربة يُعدّ مادة رابطة ثانوية، إذ لا تكفي هذه المادة منفردةً أن تُعطي النتائج المرغوبة من تحسين للخصائص الهندسية المختلفة للتربة، لذلك فإنه لا بُدّ من استخدام مادة إضافية مثل السمنت أو النورة معها لإحداث التفاعلات الكيميائية والحـ صول على النتائج المطلوبة. فعلى سبيل المثال، الرّماد المتطاير صنف (F) تُعدُّ مادة خاملة غير فعّالة كمثبّت كيميائي مالم يتم إضافة النورة أو السمنت مع الخليط كمصدر للكالسيوم لإحداث التفاعلات التي سبق ذكرها، [9].

درس الباحثون (Shah et al., 2003)، [20] تأثير تثبيت تربة طينية حاوية على غرين واطئة اللدونة بنسب مختلفة من النورة–الاسمنت–الرّماد المتطاير، وكذلك مساهمة زيت المركبات على الخصائص الهندسية لها. وجد الباحثون بأن استخدام المزيج النورة–السمنت–الرّماد المتطاير إلى التربة يؤدي بشكل واضح إلى تحسين الخصائص الهندسية لها. أفضل نتائج تم الحصول عليها عند استخدام نسب 10%–5%–5% للنورة– الاسمنت– الرّماد المتطاير من وزن التربة الجافة على التوالي. كذلك فقد لاحظ الباحثون بأن مساهمة زيت المركبات قد حسن من الخصائص الهندسية للتربة، وعلّل الباحثون السبب إلى أن زيت المركبات قد سهّل من تفاعلات التبادل الأيوني والتجمع والتلبيد لجزيئات التربة مع بعضها البعض إضافةً إلى التفاعلات البوزولانية.

ودرس الباحثون (Jongpradist et al., 2012)، [21] تأثير إضافة نسب مختلفة من الرّماد المتطاير على الاسمنت واستخدام المزيج في تثبيت تربة طينية وملاحظة تأثيرها على خصائص التربة الهندسية وذلك من خلال إجراء سلسلة من فحوصات مقاومة الانضغاط غير المحصور والفحوصات الفيزيائية. لاحظ الباحثون أنه باستخدام كمية مناسبة من السمنت، فإن إضافة الرّماد المتطاير إلى الاسمنت ومن ثم استخدام المزيج في تثبيت التربة يعمل بكفاءة على تحسين خصائص المقاومة والخصائص الفيزيائية الأخرى للتربة. حيث تزداد المقاومة عند زيادة كل من المحتوى الرطوبي للتربة إلى حد معيّن والمادة الرابطة المتمثلة بالاسمنت والرّماد المتطاير إضافةً إلى مُدّة الإضاج. كذلك فقد لاحظ الباحثون بأن كفاءة الرّماد المتطاير المضاف إلى المزيج يعتمد على نسبته وكذلك نسبة الاسمنت المضاف ومحتوى الرطوبة للمزيج.

ودرس الباحثان (Kalyanshetti and Thalange (2013)، [22] والباحثون (Thomas et al., (2015)، [23] تأثير إضافة الرّماد المتطاير على الخصائص الهندسية لتربة طينية. لاحظ الباحثون بأن إضافة الرّماد المتطاير يعمل على تحسين الخصائص الدليلية للتربة. كذلك فإن الكثافة الجافة العظمى للتربة وبالتالي مقاومتها قد ازدادت، أما محتوى الرطوبة الأمثل وخصائص الانتفاخ فقد قل مع زيادة نسبة الرّماد المتطاير المضاف للتربة.

ودرس الباحثان (Kumar and Preethi (2014)، [24] تأثير إضافة كل من النورة ورماد قشور الرز على خصائص الرص والمقاومة لطبقة تربة أساس طينية ضعيفة. تم إضافة نسب مئوية مختلفة من النورة والرّماد المتطاير ودراسة تأثيرها إضافة إلى مُدد الإضاج المختلفة (4 و7 و14 يوماً). وجد الباحثان بأن إضافة مزيج النورة–الرّماد المتطاير يعمل بشكل ملحوظ على زيادة خصائص المقاومة للتربة والمتمثلة بفحوصات مقاومة الانضغاط غير المحصور ونسبة التحمل الكاليفورني. إن النسبة المثلى من النورة–الرّماد المتطاير التي وجدها الباحثان والتي تعطي أفضل نتائج للمقاومة كانت 6%–10% من وزن التربة الجافة على التوالي، واستنتج الباحثان بأنه يمكن التقليل من سمك طبقة التربة الأساس تحت الطرق.

ودرس الباحث (Zumrawi (2015)، [6] التأثير الناتج من تثبيت تربة طينية انتفاخية باستخدام كل من الرّماد المتطاير والسمنت على الخصائص الجيوتكنيكية لها. حيث تم دراسة تثبيت التربة باستخدام نسب مئوية مختلفة من الرّماد المتطاير صنف (F) مع نسبة محددة من الاسمنت. وجد الباحث بأن إضافة مزيج الاسمنت–الرّماد المتطاير إلى التربة له تأثير كبير على خصائص هذه التربة. حيث استنتج الباحث بأن النسبة المثلى من الرّماد المتطاير كانت 15% تضاف إلى نسبة مئوية من الاسمنت وهي 5% تحقق بالنتيجة تحسُّن كبير في المقاومة والديمومة والتقليل من خصائص الانتفاخ واللدونة لمثل هذا النوع من التربة.

ودرس الباحث (Mir (2015)، [25] التأثير الناتج من تثبيت تربة طينية انتفاخية باستخدام كل من الرّماد المتطاير والنورة على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لها. حيث تم دراسة تثبيت التربة باستخدام نسب مئوية مختلفة من الرّماد المتطاير صنف (C) و(F) مع نسبة محددة من النورة والتي كانت 8.5% من وزن التربة الجافة وملاحظة تأثيرها على كل من الخصائص الدليلية وخصائص الرص والانضغاطية والنفاذية والمقاومة. وجد الباحث بأن الخصائص الدليلية للتربة تتحسن بشكل ملحوظ عند إضافة المزيج النورة–الرّماد المتطاير إلى التربة وكذلك قابلية التشغيل للتربة. كذلك فقد لاحظ بأن إضافة 10% من الرّماد المتطاير إلى النورة يعمل على تقليل نسبة الإنتفاخ بنسبة 40%. كذلك فإن دليل الانتفاخ ومعامل الانضمام يقل مع زيادة نسبة الرّماد المتطاير المضاف إلى المزيج. كذلك فإن مقاومة الانضغاط غير المحصور قد زادت بشكل ملحوظ مع زيادة كل من نسبة الرّماد المتطاير المضاف ومُدّة الاضاج. أخيراً فقد لاحظ الباحث بأن إضافة النوع الأول من الرّماد المتطاير (صنف C) يُعد مفيداً جداً في تقليل النفاذية للتربة.

ودرس الباحثون (2017) ,.Nath et al، [2] تأثير إ ضافة الرّماد المتطاير صنف (C) و(F) في تثبيت تربة طينية ع ضوية عالية اللدونة. وجد الباحثون بأن إضافة الرّماد المتطاير يعمل وبشكل ملحوظ على تقليل دليل اللدونة لهذه التربة. في حين أن حد السيولة واللدونة قد ازدادا ولكن بنسب متفاوتة. كذلك فإن كل من مقاومة الانضغاط غير المحصور والكثافة الجافة العظمى للتربة قد ازدادت، أما محتوى الرطوبة الأمثل فقد قل مع زيادة نسبة الرّماد المتطاير المضاف للتربة. كذلك فإن استخدام النوع الأول من الرّماد المتطاير (صنف C) يعطي نتيجة أف ضل للمقاومة مقارنة مع النوع الثاني (صنف F) وهذا يعود إلى ذ سب التركيب الكيميائي العائد لكل نوع ولاسيما نسبة CaO و SiO2.

4. الاستنتاجات والتوصيات للدراسات المستقبلية Conclusions and recommendations for future works

تم في هذا البحث عرض مراجعة سريعة لأهم ما تو صلت إليه الدرا سات العملية الـ سابقة المتعلقة بإ ضافة بعض الم ضافات الكيميائية للتربة والتي شملت النورة والسمنت والرّماد المتطاير بصنفيه، بناءً على ذلك فقد تم استنتاج بعض الملاحظات والمدرجة أدناه:

- يمكن استخدام الرّماد المتطاير لإحداث تحسّن ملحوظ في الخصائص الدليلية والهندسية للترب الناعمة. إلا أن الرّماد المتطاير يُعدّ مادة رابطة ثانوية لا يمكنها إحداث التحسن الملحوظ في خصائص التربة منفردةً كونها تفتقر لعنصر الكالسيوم ولاسيما بالنسبة للصنف (F)، لذلك فلا بدّ من استخدام مادة رابطة إضافية مثل النورة أو السمنت لإحداث تفاعلات كيميائية حقيقية بين جزيئات التربة.
- معظم الباحثين الذين تم استعراض نتائجهم درسوا تأثير هذه المضافات على الخصائص الدليلية وخصائص الرص والمقاومة المتمثلة بفحصي الانضغاط غير المحصور ونسبة التحمل الكاليفورني وتأثيرها على خصائص الانتفاخ للتربة. أما تأثير المضافات على خصائص الانضمام ومعاملات مقاومة القص والصلادة والتوصيلية الهيدروليكية لم يتم التطرّق لها من قبل معظم الباحثين.
- اقتصرت البحوث على تأثير المضافات على التربة الناعمة، أما تاثيرها على التربة الخشنة فهي محدودة جداً.
- بالنسبة لسلوك التربة المثبتة بهذه المضافات الكيميائية وتأثير تعرّضها للأحمال المتكررة لم يتم التطرّق لها.
- لا يوجد هنالك دراسات عملية حقلية، وانما اقتصرت كل الدراسات على الفحوصات المختبرية فقط.
- توصي الدراسة الحالية الباحث أو مهندس الجيوتكنيك في النظر إلى الهدف الرئيسي من استخدام المضاف الكيميائي واستخدام الأنسب منها والأكثر فاعليّة في تحسين خصائص التربة الهندسية.
- أدناه جدول يوضح مقارنة بسيطة بين المضافات الكيميائية الثلاث، مصادرها وكيفية وملاءمة استخدامها مع الترب المختلفة.

الخاصيّة	النّورة	السّمنت	الرّماد المتطاير
مصدر المادة	مُصنّعة تجارياً	مُصنّعة تجارياً	ناتج عرضي من عملية حرق الفحم في محطات توليد الطاقة الكهربائية
الكلفة	مكلف جداً	مكلف	قليل الكلفة
الملاءمة للإستخدام	الترب الناعمة وخاصةً ذات اللدونة العالية	الترب الحبيبية المتدرجة وكذلك كل أنواع الترب الناعمة والخشنة	الترب الناعمة وخاصةً ذات اللدونة العالية
الهدف من الاستخدام	تقليل اللدونة وزيادة قابلية التشغيل والمقاومة والتقليل من الانتفاخ	تحسين المقاومة والصلابة للترب	تقليل اللدونة وزيادة قابلية التشغيل والمقاومة والتقليل من الانتفاخ
نسب المزج (%) من وزن التربة الجافة	10–4	14–4	20–5
كيفية استخدامها	تستخدم كمادة تثبيت أساسية	تستخدم كمادة تثبيت أساسية	تستخدم كمادة تثبيت ثانوية تحتاج إلى السمنت أو النورة لإحداث التفاعلات الكيميائية

CONFLICT OF INTERESTS.

- There are no conflicts of interest.

References المصادر

[1] Zaliha S. Z. S., Kamarudin H., Al Bakri A. M. M., Binhussain M. and Salwa M. S. S., "Review on soil stabilization techniques", Australian Journal of Basic and Applied Sciences, vol. 7, no. 5, pp. 258-265, 2013.

[2] Nath B. D., Md. Molla K. A., and Sarkar G., "Study on strength behavior of organic soil stabilized with fly ash", International Scholarly Research Notices, Article ID 5786541, pp. 1-6, 2017.

[3] Petry T. M. and Little D. N., "Review of stabilization of clays and expansive soils in pavement and lightly loaded structures history, practice and future", Journal of materials in civil engineering, vol. 14, no. 6, 2002.

[4] Pandey A. And Rabbani A., "Soil stabilization using cement", International journal of civil engineering and technology, vol. 8, no. 6, pp. 316-322, Jun. 2017.

[5] Huat B. B. K., Maail S., and Mohamed T. A., "Effect of chemical admixtures on the engineering properties ot tropical peat soils", American journal of applied sciences, vol. 2, no. 7, pp. 1113-1120, 2005.

[6] Zumrawi M. M. E., "Stabilization of pavement subgrade by using fly ash activated by cement", American journal of civil engineering and architecture, vol. 3, no. 6, pp. 218-224, 2015.

[7] Budge A. S. and Burdorf M. J, "Subgrade stabilization ME properties evaluation and implementation", Final report, Center for Transportation Research and Innovation Minnesota State University, Mankato, 2012.

[8] Little D. N., Males E. H., Prusinski J. R. and Stewart B., "Cementitious stabilization" ,79th Millennium *Rep. Series, Transportation Research Board*, Washington, D. C., 2000.

[9] Gaafer., Manar., Bassioni., Hesham., Mostafa., and Tareq., "Soil improvement techniques", International journal of scientific and engineering research, vol. 6, no. 12, pp. 217-222, 2015.

[10] Amiralian S., Chegenizadeh A., and Nikraz H., "A review on the lime and fly ash application in soil stabilization", International Journal of Biological, Ecological and Environmental Sciences, vol. 1, no. 3, pp. 124-126, 2012.

[11] American Coal Ash Association, "Fly ash for Highway Engineers", *fhwa.dot.gov*, Jun. 27, 2017. [Online], Available: https://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/fach01.cfm. [Accessed: Jan. 5, 2018].

[12] ASTM. Annual Book of ASTM Standards. Section 4, vol. 4.02, 4.08 and 4.09, West Conshohocken, 2003.

[13] Senol A., Edil T. B., Bin-Shafque M. S., Acosta H. A., and Benson C. H., "Soft subgrades stabilization by using various fly ashes", Resources, Conservation and Recycling, vol. 46, no. 4, pp. 365–376, 2006.

[14] Sas W. and Gluchowski A., "Effects of stabilization with cement on mechanical properties of cohesive soil sandy-silty clay", Annual of Warsaw university of life sciences, vol. 45, no. 2, pp. 193-205, 2013.

[15] Nadgouda K. A. and Hegde R. A., "The effect of lime stabilization on properties of black cotton soil", Indian Geotechnical Conference, geological trends, pp. 511-514, Dec. 2010.

[16] Singh S. and Vasaikar H. B., "stabilization of black cotton soil using lime", International Journal of Science and Research, vol. 4, no. 5, pp. 2090-2094, May 2015.

[17] Sharma N. and Sahoo U. C., "Stabilization of a clayey soil with fly ash and lime: A micro level investigation", Geotechnical and Geological Engg., DOI 10.1007/s10706-012-9532-3, Jun. 2012.

[18] Ahmed B., Abdul Alim M., Abu Sayeed M., "Improvement of soil strength using cement and lime admixtures", *Science Publishing Group, Earth Science*, vol. 2, no. 6, pp. 139-144, 2013.

[19] Ochepo J. and Joseph V., "Effect of oil contamination on lime stabilized soil", Jordan Journal of Civil Engineering, vol. 8, no. 1, pp. 88-96, 2014.

[20] Shah S. J., Shroff A. V., Patel J.V., Tiwari K. C., Ramakrishnan D. R., "Stabilization of fuel oil contaminated soil - A case study", *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 21, pp. 415–427, 2003.

[21] Jongpradist P., Jomlongrach N., Youwai S., and Chucheepsakul S., "Influence of fly ash on unconfined compressive strength of cement-admixed clay at high water content", Journal Materials in Civil Eng., vol. 22, no. 1, pp. 49-58, 2012.

[22] Kalyanshetti M. G. and Thalange S. B., "Effect of fly ash on the properties of expansive soil", International Journal of Scientific and Engineering Research, vol.4, no.5, pp. 37-40, May 2013.

[23] Thomas A., Kumar K., Tandon L., and Prakash O., "Effect of fly ash on the engineering properties of soil", *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, vol.2, no.3, pp. 16-18, Jun. 2015.

[24] Kumar B. S. and Preethi T.V., "Behavior of clayey soil stabilized with rice husk ash & lime", International Journal of Engineering Trends and Technology, vol. 11, no. 1, pp. 44-48, May 2014.

[25] Mir B. A., "Some studies on the effect of fly ash and lime on physical and mechanical properties of expansive clay", International Journal of Civil Engineering, vol. 13, no. 3, pp. 1-12, Dec. 2015.