Vol. 6, No. 10 and 11, P. (17-33)A, 2017

تحسين خواص اساس التبليط الضعيف باستخدام جسيمات اوكسيد المغنيسيوم النانوية

احمد منسي موسى

قسم الهندسة المدنية، كلية المنصور الجامعة، بغداد، العراق.

تاريخ الاستلام: 6 / 4 / 2017

تاريخ قبول النشر: 21 / 6 / 2017

Abstract

Construction of pavements layers on subgrade with good to excellent properties is an essential objective as it reduces the thickness of these layers and lead to great reduction in construction cost. However, construction of highways on a poor subgrade soils is unavoidable in several cases due to limitations of highway route. Therefore, improvement of poor subgrade soils facilitates construction of economic and tight pavements. Several additives are available for this purpose. However, they are, mostly, costly and require huge production energy which increases environmental pollution. Therefore, this study proposes Nano magnesium oxide as a modern alternative. In this study, a soil from Baghdad city was selected and treated with different doses of the proposed additive to investigate their effects on the engineering properties of the selected soil. The study involved laboratory tests to compare between the properties of soil before and after treatment. California Bearing Ratio (CBR) test was adopted to determine CBR values and swelling ratios in untreated and treated soils to investigate the changes in soils' properties and to determine the optimum dose. Afterward, potential of hydrogen and x-ray tests were performed to investigate the chemical reactions which contribute in improvement of subgrade soil properties. The results exhibited a significant improvement in soil properties. CBR value of soil treated with (0.75) % of the proposed additive was more than fifteen times of that for untreated soil. In addition, swelling ratio of soil treated with (0.75) % of the proposed additive reduced to about (9) % of that determined for untreated soil; (0.75) % was considered to be the optimum dose. The chemical tests exhibited high increase in alkalinity of the treated soil. In addition, chemical tests revealed effective reactions produced magnesium silicate hydrate which formed strong bonds among the soil particles increases its toughness.

Keywords

Subgrade, MgO Nano particles, Soil Improvement, CBR, Optimum MgO Dose.

الخلاصة

يعد انشـاء طبقات التبليط الخاصة بالطرق على تربة اسـاس متينة امرا جوهريا حيث يسـهم في تقليل سمك تلك الطبقات و بالتالي يؤدي الى تخفيض كبير في كلفة الانشاء. الا ان انشاء الطرق على ترب ضعيفة امر لا مفر منه في احيان كثيرةبسبب القيود التي يفرضها مسار الطريق. لذلك فان تحسين خواص الترب الضعيفة يساعد كثيرا في انشاء تبليط متين و اقتصادي. لذلك تقترح هذه الدراسـة استخدام اوكسيد المغنيسيوم النانوي لتحسين خواص التربة المستخدمة في اعمال اساس التبليط. في الدراسة الحالية؛ تم انتخاب تربة من مدينة بغداد و تم معالجتها باستخدام جرعات مختلفة من اوكسـيد المغنيسـيوم النانوي لدراسـة التغير الحاصل في خواصها الهندسـية. و تضمنت الدراسـة اجراء فحوص مختبريـة للمقارنة بين خواص التربة قبل و بعد التحسـين بالمضاف. كان في طليعة تلك الفحوص فحص نسـبة تحمل كاليفورنيا و قياس قيمة الانتفاخ لتحديد التغير في الخواص الهندسية و كذلك تحديد الجرعة المثلى. بعد ذلك؛ تم اجراء فحص القوة الهيدروجينية و فحوص الاشعة السينية لتبين التفاعلات الكيميائية التي اسهمت في تغيير خواص التربة. بينت النتائج تحسنا ملحوظا في خواص التربة حيث تضاعفت نسبة تحمل كاليفورنيا اكثر من خمسة عشر ضعفا مقارنة بقيمتهـا في التربة الاصليـة عند اضافة (0.75٪) من المضاف و كذلك انخفضت نسـبة الانتفـاخ الى (9٪) من تلك المسـجلة في التربـة الاصلية عند اضافة نفس الجرعة و التي عدت هي الجرعة المثـلى. بينت الفحوص الكيميائية زيادة عاليـة في قلوية التربة عنـد اضافة المضاف المقترح اليها وكذلك بينت وجود تفاعـلات مؤثرة كونت مركب هيدرات سليكات المغنيسيوم التي شكلت روابط قوية بين جسيمات التربة زادت من متانتها.

الكلمات المفتاحية

طبقة ما تحت الاساس، تحسين التربة،اوكسيد المغنيسيوم النانوي، نسبة تحمل كاليفورنيا، الجرعة المثلى من المضاف.

Vol. 6, No. 10 and 11, P. (17-33)A, 2017

1. المقدمة

تعد الطرق من اهم البنى التحتية التي تسهم في نمو اقتصاد البلدان و ازدهارها كونها الوسيلة الرئيسية في نقل الاشخاص والبضائع خصوصا في الدول النامية [1-3] . وتعد منظومة طبقات التبليط من اهم عناصر الطريق كونها مسؤولة عن حمل الاحمال المرورية المتكررة من المركبات سيما الثقيلة منها [4]. ويختلف سمك تلك الطبقات وفقا لمتانة طبقة الاساس التي تستقر عليها تلك الطبقات [5-8]. وعادة ما تكون طبقة الاساس هي التربة المحلية (الموقعية) وهي تختلف من حيث المتانة من موقع الى اخر. فان كانت طبقة الاساس متينة أمكن تصميم باقي الطبقات بسمك قليل نسبيا مما يقلل الكلفة بشكل مؤثر والعكس بالعكس. و لكن انشاء طبقات التبليط على تربة اساس متينة امر غير متاح في مواقع كثيرة حيث لا يمكن التحكم في خواص تلك التربة بسبب قيود الموقع الذي يمر به مسار الطريق [9-12]. ولضمان متانة تربة اساس التبليط يمكن استبدال تلك التربة بأخرى ذات خواص أفضل. ولكن هذا الاجراء مكلف وغير عملي بسبب ضخامة حجم مشاريع الطرق وامتدادها واختلاف المناطق التي يمر بها المسار [13]. ولحل المشكلة يمكن طرح بديل اخر وهو تحسين خواص التربة الموقعية بالمضافات [14, 15]. وفي هذا المجال؛ لطالما تم استخدام السمنت (البورلاندي) والنورة والاسفلت السائل [16-19]. ولكن تلك البدائل التقليدية مكلفة نسبيا من جهة وملوثة للبيئة من جهة اخرى حيث ان انتاجها يستهلك الكثير من الطاقة ويتسبب في إطلاق كميات كبيرة من الغازات الملوثة للبيئة. وعليه فان ايجاد بدائل اخرى يعد مطلبا ملحا لتقليل الكلفة والطاقة في اعمال الهندسة المدنية سيما مشاريع الطرق كونها من أكبر المشاريع المستخدمة للمواد الانشائية والطاقة. انتشرت في السنوات الاخيرة ثورة في استخدام تكنولوجيا النانو في مختلف مجالات الهندسة [21,20]. ولمواكبة تلك الثورة سيما في العراق والعالم العربي تقترح هذه الدراسة استخدام اوكسيد المغنيسيوم النانوي لتحسين خواص التربة الضعيفة في اعمال اساس التبليط بديلا عن المضافات التقليدية. في هذه الدراسة تم اختيار مادة اوكسيد المغنيسيوم النانوي وذلك لانخفاض كلفتها نسبيا لغرض تحسين خواص تربة اساس التبليط. بالإضافة الى ذلك فان طرح بديل جديد في هذا المجال يفتح بوابة للبحث العلمي قد تقود الى نتائج استثنائية تغني العاملين في صناعة التبليط عن البدائل التقليدية. تبنت هذه الدراسة بشكل رئيسي مقارنة مختبرية من خلال انتخاب تربة من حي الغدير في مدينة بغداد وتم تحليل خصائصها الفيزيائية والكيميائية. بعد ذلك؛ تم تهيئة عدد من النماذج للتربة الاصلية (بدون معالجة) وعدد اخر من النماذج تم خلطها مع جرعات مختلفة من اوكسيد المغنيسيوم النانوي وتم معالجتها في وسط رطب لمدة (28) يوما. تم اختيار مدة المعالجة بالاعتماد على المدة الشائعة في المعالجة في حال تحسين خواص التربة بالسمنت (البورتلاندي) والنورة والرماد وغيرها حيث تعد هذه المدة مناسبة من الناحية العملية [6, 10, 11, 14, 17, 19, 22-25]. بعد ذلك؛ تم اجراء فحوص مختبرية على النماذج الاصلية وتلك الحسنة بالمضاف وتم اجراء مقارنة بين النتائج لغرض التعرف على التغير في الخواص الهندسية للتربة الاصلية بعد المعالجة. اعتمدت هذه الدراسة بشكل رئيسي على فحص نسبة تحمل كاليفورنيا. وبينت النتائج تحسنا ملحوظا في خواص التربة المنتخبة بعد المعالجة. ولغرض تبين اسباب التحسن في الخواص؛ تم اجراء تحليلات كيميائية كفحص القوة الهيدروجينية وفحوص الاشعة السينية على نماذج من التربة الاصلية والمحسنة وتبين وجود تفاعل بين مكونات التربة الاصلية واوكسيد المغنيسيوم النانوي.

2. المواد المستخدمة

تم تجهيز كمية من تربة منتخبة من حي الغدير في مدينة بغداد لإجراء الفحوص عليها قبل وبعد التحسين باستخدام مادة اوكسيد المغنيسيوم النانوية. وتم اجراء عدد من الفحوص المختبرية للتعرف على خواص التربة المستخدمة وكما مبين في الجدول (1). بالاعتماد على الحجم الحبيبي للتربة وحدي السيولة واللدونة تبين ان التربة يمكن ان تصنف ضمن المجموعة A-7-6 وفقا لطريقة المؤسسة الامريكية للطرق والنقل والتي تعد تربة ضعيفة إذا ما استخدمت اساسا للتبليط بدون معالجة [26]. ومن الجدول (1) يتضح ان قوام مركبات التربة المستخدمة هو السليكا (SiO_2) والالومينا (Al_2O_3) وهي المركبات الرئيسية في تركيب الطين [27]. وكذلك يبين الجدول ان قيمة القوة الهيدروجينية بلغت 5.2 وهذا يدل على انخفاض قاعدية التربة وارتفاع حامضيتها [28, 29, 30]. كذلك تم تجهيز كمية من مادة اوكسيد المغنيسيوم النانوية والمبين خصائصها في الجدول (2).

جدول (1):خواص التربة الاصلية

الخواص الفيزيائية	
تصنيف التربة وفقا لطريقة المؤسسة الامريكية للطرق و النقل	A-7-6
الحجم الحبيبي	اصغر من 0.075 ملم
حد السيولة	41%
حد اللدونة	25%
الوزن النوعي	2.76
الكثافة الجافة العظمى	1890 كغم/ م^3
محتوى الرطوبة المثلى	%14.6
نسبة تحمل كاليفورنيا	3.39%
نسبة الانتفاخ	3.4%
التركيب الكيميائي	
SiO_2	61.95%
Al_2O_3	29.83%
Fe_2O_3	4.76%
TiO_2	1.13%
K_2O	0.51%
MgO	0.47%
ZrO_2	0.02%
SO_3	0.09%
CaO	0.07%
اخرى	0.10%
القوة الهيدروجينية	5.2

3. برنامج الفحص

بالإضافة الى الفحوص المختبرية التي اجريت لتحديد خواص المواد المستخدمة؛ تم اجراء عدد من الفحوص الهندسية والكيميائية على التربة الاصلية وكذلك على التربة المحسنة باستخدام المضاف المشار اليه وكما مبين في الفقرات التالية. تم اجراء الفحوص الفيزيائية والهندسية في مختبرات كلية المنصور الجامعة بينما تم اجراء الفحوص الكيميائية بالأشعة السينية في هيئة المسح الجيولوجي العراقية.

جدول (2): الخواص الفيزيائية والكميائية لمادة اوكسيد المغنسيوم النانوية (المصدر: كتيب تعليمات الشركة المصنعة)

الخواص الفيزيائية	
الشركة المصنعة	The Central Drug House (P) Ltd/China
اللون	ابيض
معدل حجم الحبيبة	90-100 × 10^{-9} متر
المساحة السطحية	20 $م^2$/غم
الكثافة	3.6 كغم/ $م^3$
درجة الانصهار	2850 درجة سيليزية
درجة الغليان	3600 سيليزية
النقاوة	94.96%
الذوبان في حامض الهيدروكلوريك المخفف	97%
فقدان الكتلة بالحرق في درجة حرارة 900 سيليزيه	%9
المواد غير قابلة للذوبان في حمض الخليك	%0.1
المواد غير قابلة للذوبان في حمض الهيدروكلوريك	%0.1
التركيب الكميائي	
MgO	% 94.96
CaO	% 0.58
SO_3	% 3.93
SiO_2	%0.09
Al_2O_3	%0.09
اخرى	% 0.35

1.3. فحص نسبة تحمل كاليفورنيا

تم اجراء فحص نسبة تحمل كاليفورنيا وفقا لمواصفة المؤسسة الامريكية للفحوص والمواد (D1883) على نماذج للتربة الاصلية واخرى معالجة بجرعات مختلفة من اوكسيد المغنيسيوم النانوي لغرض تبين التغير في خواص التربة بعد المعالجة بالمضاف. وكانت النسب المختارة: (0.25) ٪؛ (0.50) ٪؛ (0.75) ٪؛ (1.00) ٪؛ (1.25) ٪؛ و(1.50)٪ من وزن التربة الجافة. تم اعداد النماذج وفقا للطريقة القياسية وباستخدام نسبة الماء المثلى وبعد ذلك تم تغليفها في اكياس محكمة للحفاظ على المحتوى المائي فيها وتركت لمدة (28) يوما لضمان حصول التفاعل. بعد انتهاء مدة المعالجة؛ تم غمر النماذج بالماء لمدة (4) ايام ومن ثم تم قياس نسبة الانتفاخ في التربة وفقا للطريقة القياسية المحددة في المواصفة. بعد ذلك اجري فحص الاختراق بالمكبس القياسي لغرض احتساب نسبة تحمل كاليفورنيا. يعطي هذا الفحص قيم نسبية حيث ان نسبة تحمل كاليفورنيا هي قيمة الاجهاد المسجل عند اختراق التربة بالمكبس القياسي بمقدار (2.5) ملم مقسوما على ذلك الاجهاد المسجل للصخر القياسي في ولاية كاليفورنيا لنفس الاختراق. وهذه القيمة تعكس قوة المواد المستخدمة في انشاء طبقة اساس التبليط ومن خلالها يتم حساب معامل مرونة تلك الطبقة والذي في ضوؤه يتم تحديد سمك طبقات التبليط وزيادة هذه القيمة يعني تقليل في سمك تلك الطبقات. بالإضافة الى ذلك؛ تعطي نسبة الانتفاخ تصورا عن مقدار التغير الحجمي لتربة اساس التبليط في الاوساط المشبعة بالماء. وكلما كانت نسبة الانتفاخ اقل كانت التربة أكثر ملائمة كأساس للتبليط [18,19,22,24,31,32]. حيث ان انتفاخ اساس التبليط يسبب اضرارا بالغة في طبقات التبليط المستقرة فوقه مما يزيد من كلفة الصيانة ويقلل العمر الخدمي للتبليط. تم تحديد النسبة المثلى للمضاف من خلال نتائج الفحص.

2.3. فحص القوة الهيدروجينية

بالإضافة الى قياس قيمة القوة الهيدروجينية للتربة الاصلية؛ تم قياس قيمة القوة الهيدروجينية للتربة الممزوجة مع النسبة المثلى للمضاف بعد المعالجة الرطبة لغرض معرفة التغير الحاصل فيها قبل وبعد المزج مع المضاف وذلك لاعتمادها في تفسير التفاعلات الكيميائية الحاصلة بين جسيمات التربة واوكسيد المغنيسيوم النانوي. تم اجراء هذا الفحص وفقا لمواصفة المؤسسة الامريكية للفحوص والمواد (D 4972).

3.3. فحص حيود الاشعة السينية

تم اعتماد هذا الفحص لعينات التربة الاصلية والتربة الممزوجة مع النسبة المثلى من المضاف في وسط جاف وعينات لمزيج التربة والمضاف بعد المعالجة الرطبة وفقا للمحتوى المائي الامثل ولمدة (28) يوما. تم اجراء هذا الفحص وفقا لمواصفة المؤسسة الامريكية للفحوص والمواد (STP479). يهدف هذا الفحص الى التحري عن وجود تفاعل بين مكونات التربة واوكسيد المغنيسيوم النانوي من خلال المقارنة بين نتائج الفحوص للعينات المشار اليها.

4.3. فحص مطيافية تشتت الطاقة بالاشعة السينية

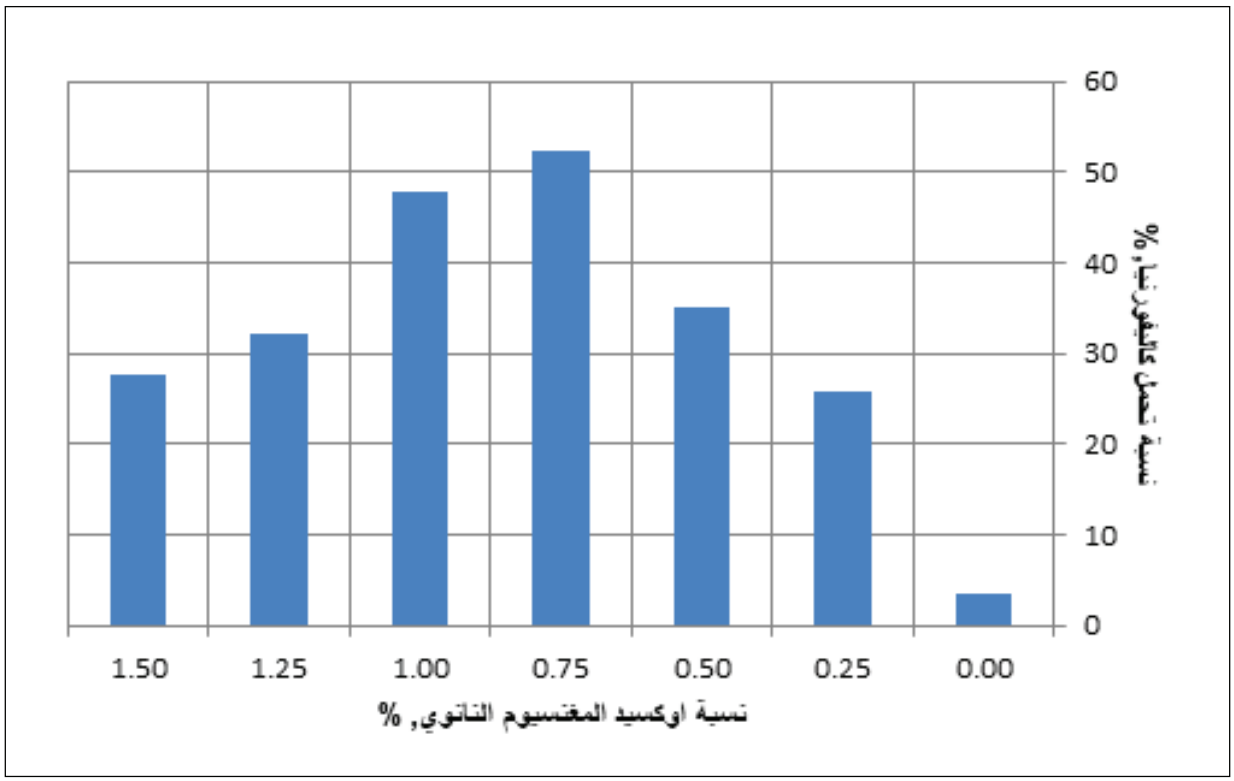
تم اجراء هذا الفحص على عينات من التربة الاصلية والتربة الممزوجة مع المضاف في وسط جاف واخرى لتربة ممزوجة مع اوكسيد المغنيسيوم النانوي بعد المعالجة الرطبة وفقا للمحتوى المائي الامثل ولمدة (28) يوما لغرض تبين التغير في تراكيز العناصر الاساسية الداخلة في تركيب التربة قبل وبعد المزج وكذلك بعد المعالجة الرطبة. تم اجراء هذا الفحص وفقا لمواصفة المؤسسة الامريكية للفحوص والمواد (E 1508).

4. النتائج

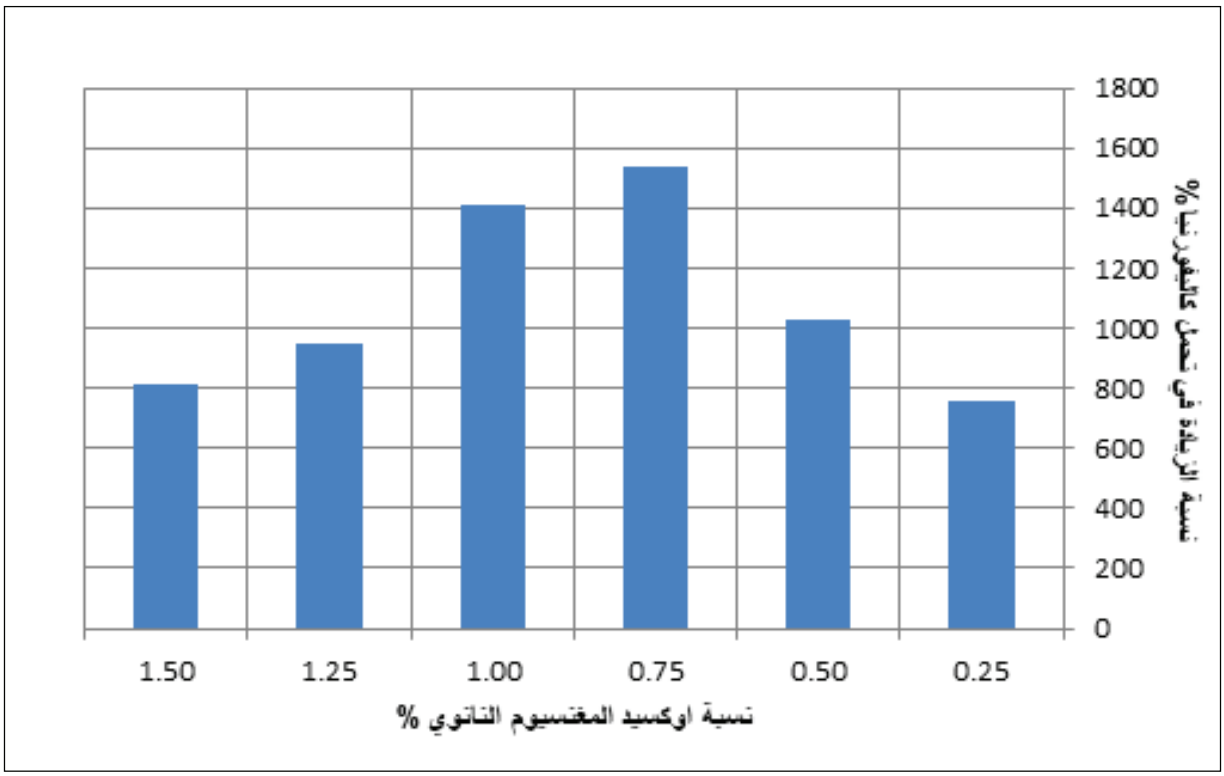
من خلال الفحوص التي اجريت على التربة الاصلية والمبينة في الجدول (1)؛ تبين انها تربة ضعيفة اذا ما استخدمت اساسا لطبقات التبليط. بالاضافة الى ذلك فان التربة الاصلية ذات خصائص انتفاخ متوسطة. لذلك فان تحسين خواص هذه التربة مطلب ملح في هذا المجال. تم بيان نتائج الفحوص الاخرى المستخدمة في هذا الدراسة في الفقرات التالية:

1.4. نتائج فحص نسبة تحمل كاليفورنيا

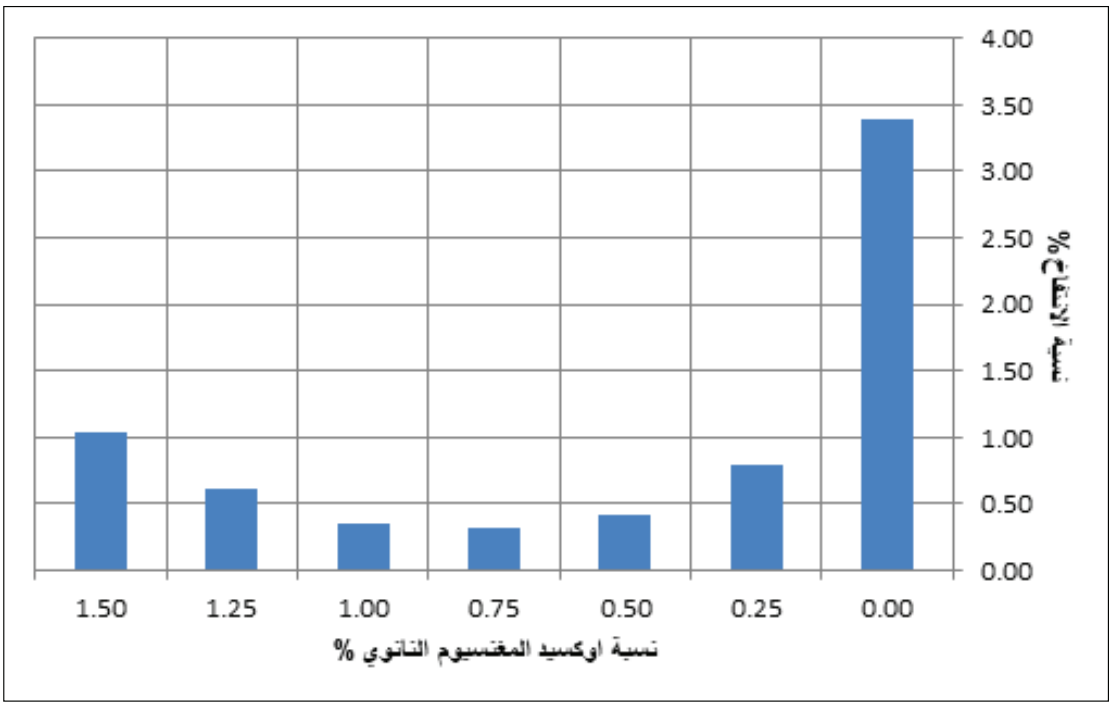
بينت نتائج هذا الفحص ان نسبة تحمل كاليفورنيا للتربة المحسنة بالمضاف اعلى من تلك المسجلة للتربة الاصلية كما مبين في الشكل (1). يلاحظ من خلال الشكل ان نسبة تحمل كاليفورنيا تتزايد بزيادة جرعات المضاف وتصل الى اقصاها عند الجرعة (0.75) ٪ من وزن التربة الجافة ثم تبدأ بالانخفاض بزيادة الجرعات. وقد بلغت نسبة تحمل كاليفورنيا أكثر من (15) ضعفا من تلك المسجلة للتربة الاصلية بعد اضافة (0.75) ٪ من اوكسيد المغنسيوم النانوي والمعالجة الرطبة لمدة (28) يوما كما مبين في الشكل (2). وهذا يعكس تحسن هائل في خواص تربة اساس التبليط وبالتالي يؤدي الى تخفيض كبير في سمك طبقات التبليط. اما بخصوص نسبة انتفاخ التربة فقد انخفضت بشكل ملحوظ في العينات المحسنة بالمضاف مقارنة بتلك الخاصة بالتربة الاصلية وبلغت أدنى قيمة لها عند العينات المحسنة بجرعة (0.75)٪ من اوكسيد المغنيسيوم النانوي كما مبين في الشكلين (3) و(4). وقد بلغت نسبة الانتفاخ الدنيا حوالي (9)٪ من نسبة الانتفاخ المسجلة في التربة الاصلية. وفي ضوء تلك النتائج يمكن اعتبار نسبة (0.75)٪ من اوكسيد المغنيسيوم النانوي هي النسبة المثلى التي ينصح باستخدامها لتحسين هذا النوع من الترب الضعيفة لأغراض استخدامها في اساس تبليط الطرق. هذا التحسن في خواص التربة يمكن ان يعود الى تشكل اواصر قوية (كيميائية وكهربائية) بين جسيمات التربة من خلال التفاعل الكيميائي بين اوكسيد المغنيسيوم ومكونات التربة عن طريق المعالجة الرطبة [28,33]. ولغرض تفسير التفاعل الكيميائي تم اجراء الفحوص بالأشعة السينية كما مبين في الفقرات التالية.



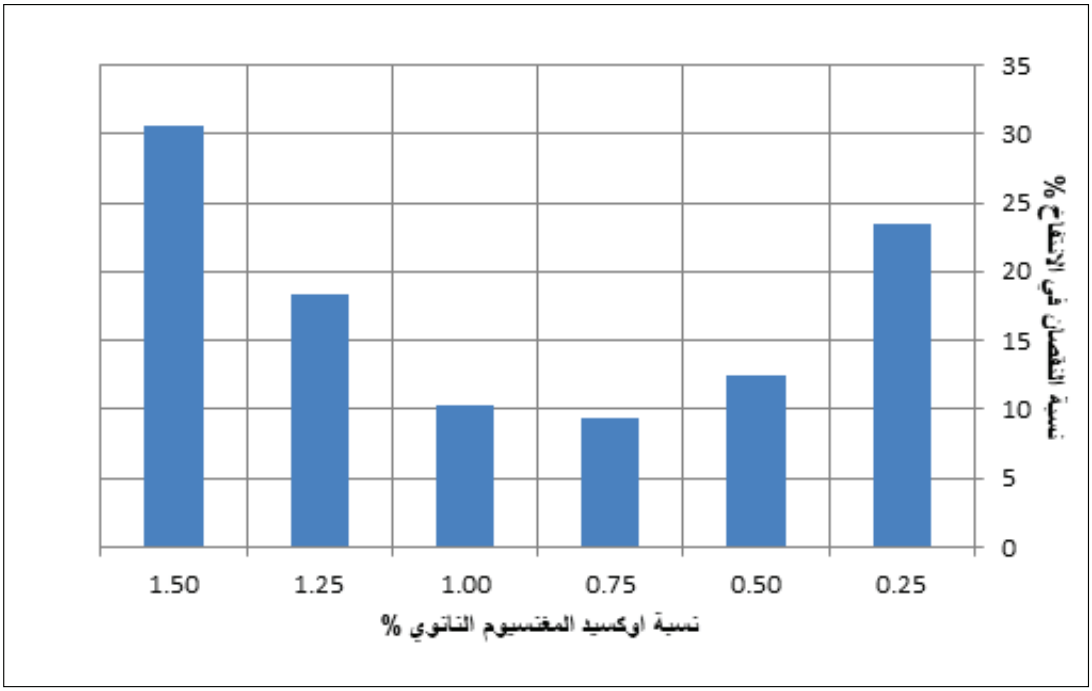
الشكل (1):نسب تحمل كاليفورنيا للتربة الاصلية و تلك المحسنة بجرعات مختلفة من اوكسيد المغنسيوم النانوي



الشكل (2): الزيادة الحاصلة في قيم تحمل كاليفورنيا للنماذج المحسنة باستخدام اوكسيد المغنسيوم النانوي كنسبة مئوية من تلك الخاصة بالتربة الاصلية



الشكل (3): نسب الانتفاخ لنماذج التربة الاصلية و تلك المحسنة بجرعات مختلفة من اوكسيد المغنسيوم النانوي



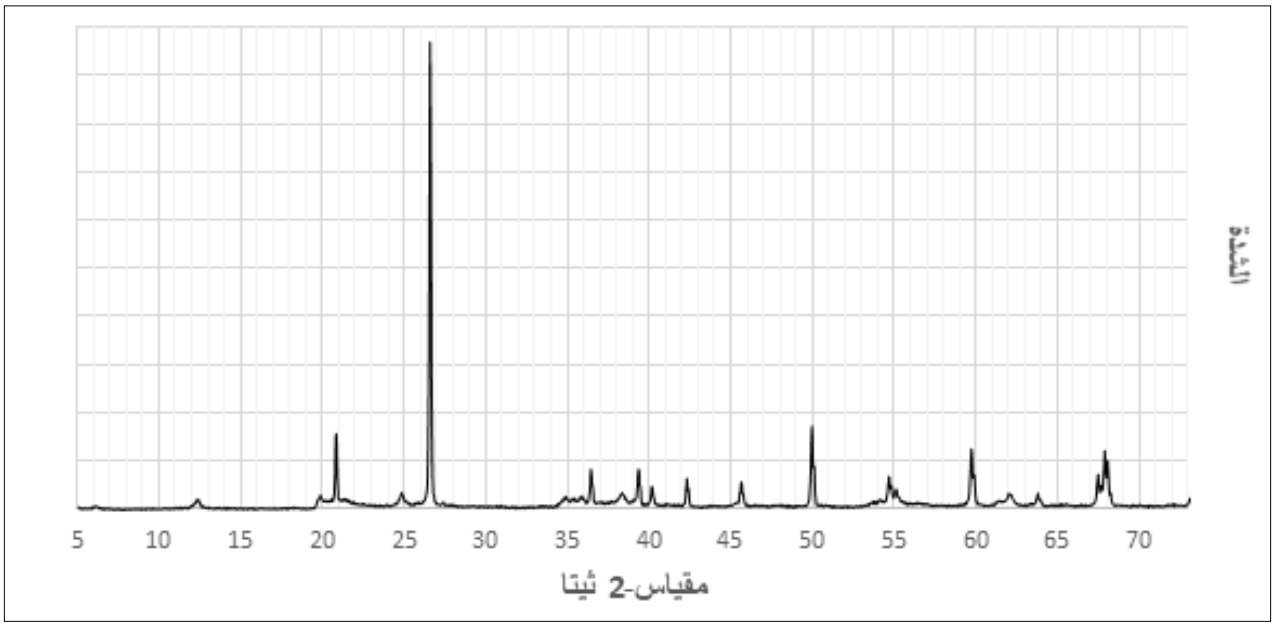
الشكل (4): الانخفاض الحاصل في الانتفاخ للنماذج المحسنة باستخدام اوكسيد المغنسيوم النانوي كنسبة مئوية من ذلك الخاص بالتربة الاصلية

2.4. نتائج فحص القوة الهيدروجينية

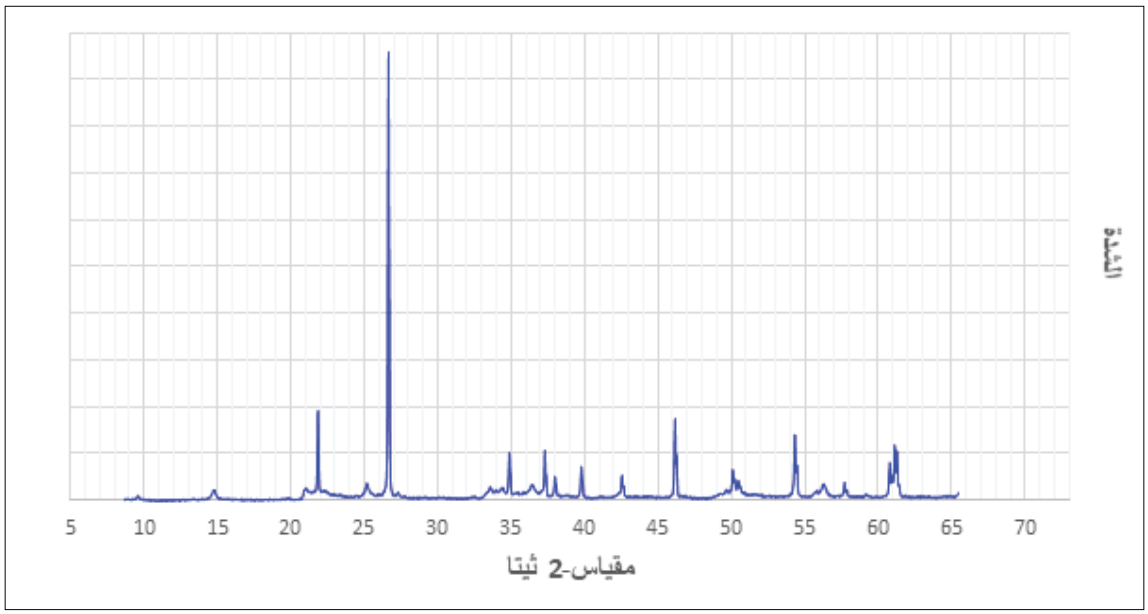
بينت نتائج هذا الفحص ان قيمة القوة الهيدروجينية للتربة المزدوجة بالمضاف بعد المعالجة الرطبة تبلغ (11.1) وهي اعلى من تلك الخاصة بالتربة الاصلية بكثير حيث كانت (5.2). وهذا التغير في قيمة القوة الهيدروجينية يدل على ازدياد في قلوية التربة المحسنة [29,30].

3.4. نتائج فحص حيود الاشعة السينية

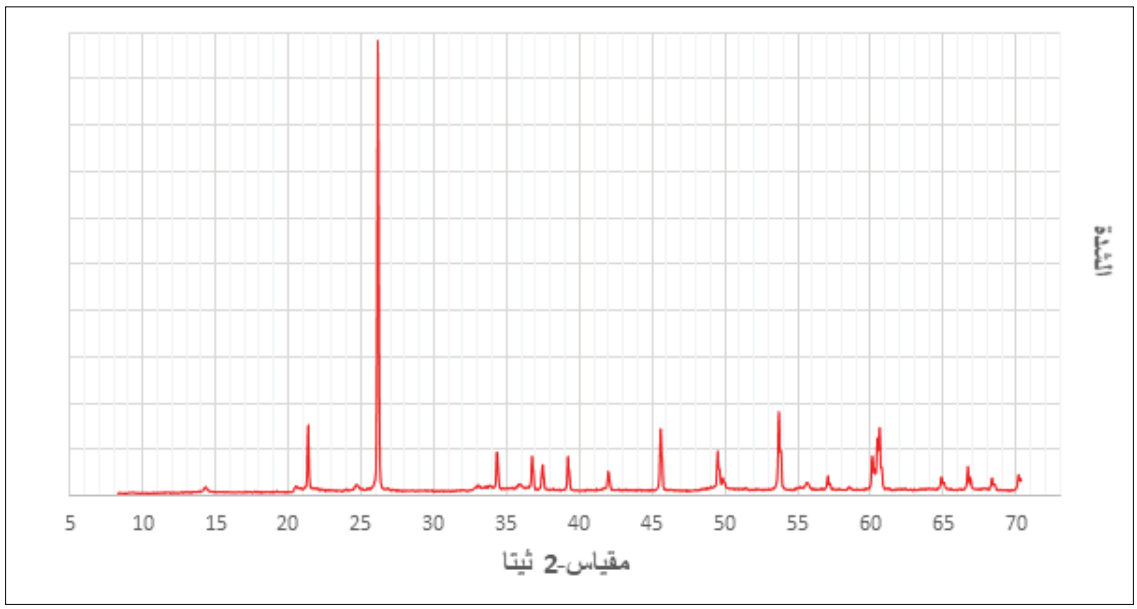
تم اجراء فحص حيود الاشعة السينية على عينات من التربة الاصلية والتربة الممزوجة مع المضاف واخرى لتربة ممزوجة مع المضاف بعد المعالجة بالماء لمدة (28) يوما لغرض التعرف على امكانية حدوث تفاعل بين التربة والمضاف من خلال المقارنة بين النتائج لتلك العينات. الاشكال (5) و(6) و(7) تبين نتائج تلك الفحوص لعينات التربة الاصلية والمزيج الجاف والمزيج بعد المعالجة الرطبة على التوالي. من خلال المقارنة بين النتائج في الشكلين (5) و (6)، يتضح التطابق بين اعلى القمم للتربة الاصلية والمزيج الجاف على المحور العمودي (مقياس الشدة) وكذلك على المحور الافقي مقياس (2 – ثيتا) حيث تلتقي تلك القمم عند زاوية (26.6) درجة على مقياس (–2 ثيتا) مما يدل على عدم حدوث تفاعل في الاوساط الجافة [34,35,36]. بالمقابل وبالمقارنة بين الشكلين (5) و (6) من جهة والشكل (7) من جهة اخرى؛ نجد ان اعلى قمة في الشكل (7) ترتفع عن القمتين (الاعلى) الأخيريتين على مقياس الشدة كما انها تنحرف عنهما بمقدار معتد به على مقياس (–2 ثيتا) وهذا يدل على تغير في البنية البلورية للتربة المستخدمة بعد اضافة اوكسيد المغنيسيوم النانوي والمعالجة الرطبة [36].



الشكل(5):نتائج فحص حيود الاشعة السينية للتربة الاصلية



الشكل(6):نتائج فحص حيود الاشعة السينية التربة الاصلية الجافة مع اوكسيد المغنسيوم النانوي



الشكل(7):نتائج فحص حيود الاشعة السينية التربة الاصلية مع اوكسيد المغنسوم النانوي بعد المعالجة الرطبة

4.4. نتائج فحص مطيافية تشتت الطاقة بالاشعة السينية

تم اجراء هذا الفحص على عينات من التربة الاصلية والتربة الممزوجة مع اوكسيد المغنيسيوم واخرى لتربة ممزوجة مع اوكسيد المغنيسيوم النانوي بعد المعالجة الرطبة لمدة (28) يوما لغرض التعرف على التغير في تراكيز العناصر الاساسية الداخلة في تركيب التربة قبل وبعد المزج وكذلك بعد المعالجة الرطبة. الاشكال (8) و (9) و (10) تبين نتائج تلك الفحوص لعينات التربة الاصلية والمزيج الجاف والمزيج بعد المعالجة الرطبة على التوالي. بينت النتائج تغيرا ملحوظا في تراكيز العناصر الرئيسية للتربة قبل وبعد المزج وبعد المعالجة الرطبة كما مبين في الشكل (11). من خلال المقارنة بين الشكلين (11 – أ) و (11 – ب)، يتضح زيادة تركيزي المغنيسيوم

والاوكسجين وانخفاض في تركيزي الالمنيوم والسيليكون في العينة الخاصة بالمزيج الجاف مقارنة بتلك الخاصة بالتربة الاصلية بمقدار يتناسب مع نسبة المضاف وهذا يدل على عدم حصول تفاعل في الوسط الجاف. اما عند المقارنة بين الشكلين (11 –ب) و (11 –ج) فيتضح وجود زيادة اخرى في تركيزي الاوكسجين والمغنيسيوم مقابل تراجع في تركيزي الالمنيوم والسيليكون وهذا دليل واضح على حصول تفاعل كيميائي بين اوكسيد المغنيسيوم ومكونات التربة. ويمكن تفسير التفاوت في تراكيز تلك المواد بالنقاط التالية:

اولاً: تفاعل اوكسيد المغنيسيوم والماء كون مركب هيدروكسيد المغنيسيوم [37,38] وكما مبين في المعادلتين (1) و(2). ومما يعزز تكون هذا المركب هو زيادة قلوية المزيج بعد المعالجة الرطبة والذي أثبته فحص القوة الهيدروجينية حيث ان زيادة قيمة القوة الهيدروجينية يدل على زيادة القلوية [29, 30].

ثانيا: تم اذابة نسبة من الالمنيوم والسيليكون في محلول الهيدروكسيد والذي أثبته انخفاض تركيزهما في المزيج.

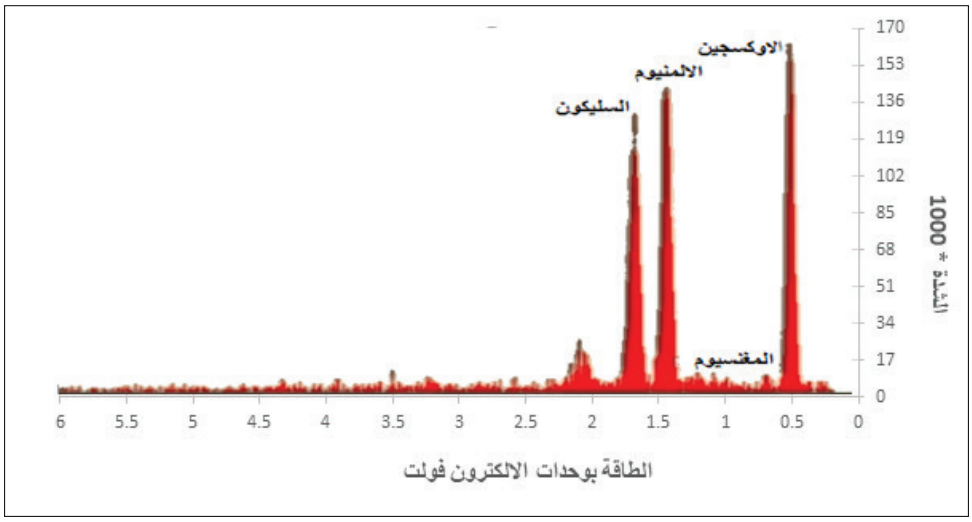
ثالثا: بانخفاض تركيزي الالمنيوم والسيليكون في المزيج ارتفع تركيزي المغنيسيوم والاوكسجين على حسابهما (الشكل 11).

رابعا: بالإضافة الى زيادة تركيز الاوكسجين على حساب انخفاض تركيزي الالمنيوم والسيليكون؛ توجد زيادة اضافية لتركيز الاوكسجين سببها تفاعل اوكسيد المغنيسيوم النانوي مع الماء والمشار اليه في المعادلتين (1) و(2) حيث اضاف ذلك التفاعل ذرة اوكسجين اخرى مصدرها الماء. هذه التفاعلات يمكن ان تكون مركب هيدرات سليكات المغنيسيوم ($Mg_8Si_8O_{20}(OH)_8.12H_2O$) الذي يتكون من تفاعل هيدروكسيد المغنيسيوم مع السليكا الموجودة في التربة الاصلية وحسب المعادلة (3) [28, 33] وهو مركب مسؤول عن انشاء قوى ترابط قوية بين جسيمات التربة. هذا التفاعل شبيه بتفاعل السمنت (البورتلاندي) مع الترب الطينية والذي يكون مركب هيدرات سليكات الكالسيوم [34,39]. ساهمت نعومة اوكسيد المغنيسيوم الفائقة والمشار اليها في الجدول 2 في زيادة حدة التفاعل وبالتالي ادت الى زيادة المركبات الرابطة بين جسيمات التربة وحسنت خواصها الهندسية.

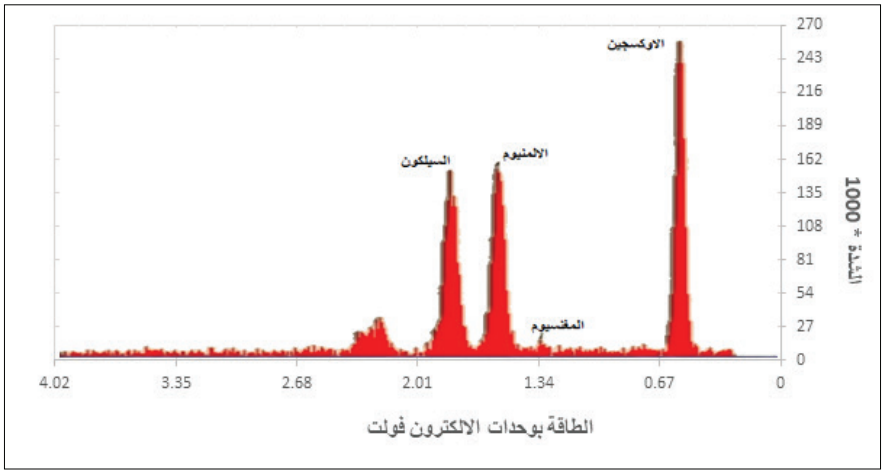
$$MgO + H_2O \longrightarrow Mg(OH)_2 \quad (1)$$

$$Mg(OH)_2 \longrightarrow Mg^{+2} + 2(OH)^{-1} \quad (2)$$

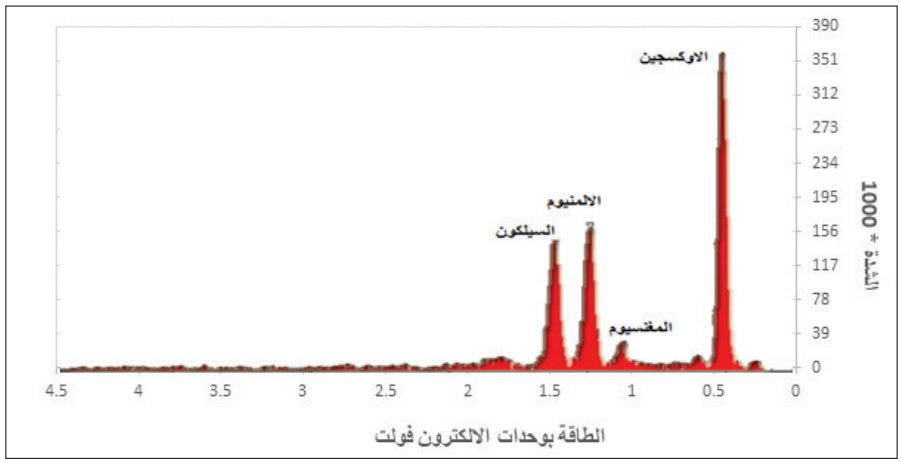
$$8MgO + 8SiO_2 + 16H_2O \longrightarrow Mg_8Si_8O_{20}(OH)_8.12H_2O \quad (3)$$



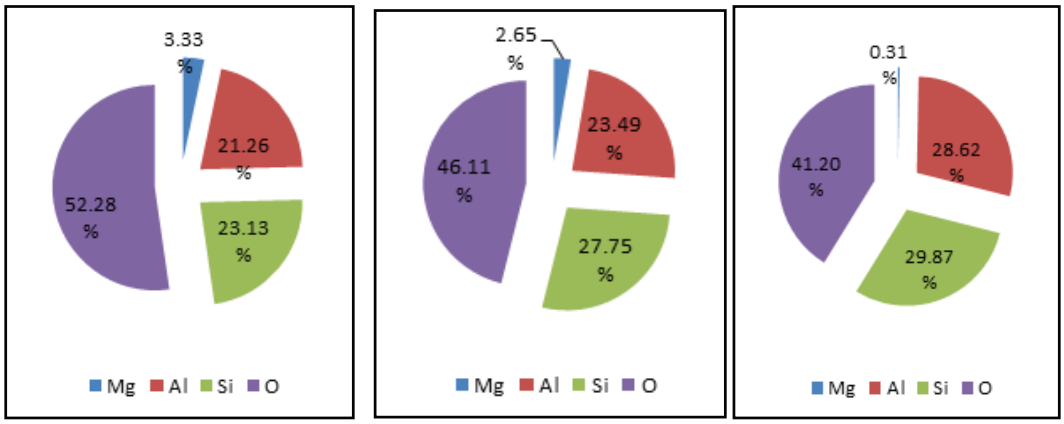
الشكل(8):نتائج فحص مطيافية تشتت الطاقة بالاشعة السينية للتربة الاصلية



الشكل (9):نتائج فحص مطيافية تشتت الطاقة بالاشعة السينية للتربة الاصلية الجافة مع اوكسيد المغنسيوم النانوي



الشكل (10):نتائج فحص مطيافية تشتت الطاقة بالاشعة السينية للتربة الاصلية مع اوكسيد المغنسوم بعد المعالجة الرطبة



ا. التربة الاصلية	ب. التربة الاصلية الجافة مع اوكسيد المغنسيوم	ج. التربة الاصلية مع اوكسيد المغنسوم بعد المعالجة الرطبة

الشكل(11):تراكيز العناصر الرئيسية للتربة قبل و بعد المزج و بعد المعالجة الرطبة

5. الجدوى الاقتصادية

لغرض معرفة الجدوى الاقتصادية لاستخدام اوكسيد المغنيسيوم النانوي في تحسين خواص التربة؛ تم اجراء مقارنة بين استخدامه واستخدام النورة كونها احدى أشهر المضافات في هذا المجال. بالإضافة الى التربة الاصلية؛ تضمنت المقارنة اضافة الجرعة المثلى من اوكسيد المغنيسيوم النانوي (0.75) ٪ من وزن التربة الجافة مقابل اضافة (7) ٪ من النورة حيث تبين انها الجرعة المثلى من خلال دراسة اجريت على نفس التربة. علما ان جرعات النورة التي لها دور في تحسين خواص التربة تقع بين (3-9) ٪ من وزن التربة الجافة [60]. في هذه المقارنة تم تصميم طبقات التبليط لنموذج معد وفقا لطريقة المؤسسة الامريكية للطرق والنقل. وتم تطبيق هذه الطريقة في ثلاث حالات بالاعتماد على معامل مرونة طبقة اساس التبليط للتربة الاصلية والتربة المحسنة بالنورة والتربة المحسنة باستخدام اوكسيد المغنيسيوم النانوي مع تثبيت باقي العوامل لمعرفة مقدار التوفير في الكلفة.

جدول (3): الحسابات الخاصة بتصميم طبقات تبليط مستقرة على اساس من التربة الاصلية و تربة محسنة بالنورة و اخرى محسنة باوكسيد المغنيسيوم النانوي

الطبقة	معامل الطبقة	معامل البزل	تحمل كاليفورنيا (%)	معامل المرونة (ميكاباسكال)	السمك (ملم)		
					قبل التحسين	بعد التحسين بالنورة	بعد التحسين باوكسيد المغنيسيوم النانوي
الطبقة الاسفلتية	0.44	-	-	3100	215	150	90
طبقة القاعدة	0.14	0.90	100	213	15	15	15
طبقة الحصى الخابط	0.11	0.80	30	103	225	225	225
طبقة الاساس بدون تحسين	-	-	3.4	35	250	250	250
طبقة الاساس المحسنة بالنورة			13	72	250	250	250
طبقة الاساس المحسنة باوكسيد المغنيسيوم النانوي			52	172	250	250	250
البيانات التصميمية الاخرى: الحمل المروري = 6000000، معامل الخدمية الابتدائي =4.5، معامل الخدمية النهائي = 2.5، الانحراف المعياري الاجمالي = 0.45، مستوى الموثوقية =95%							

الجدول (3) يلخص الحسابات الخاصة بالتصميم في الحالات الثلاثة. ومن خلال الجدول يتبين ان السمك الكلي للطبقة الاسفلتية هو (215) ملم (150) ملم و (100) ملم في الحالات الثلاثة (التربة الاصلية؛ التربة المحسنة بالنورة؛ والتربة المحسنة بأوكسيد المغنيسيوم النانوي على التوالي). وبتقليل سمك الطبقة الاسفلتية تقل كلفة الانشاء بمقدار (27.42) $/ م2 باستخدام اوكسيد المغنيسيوم النانوي بينما تقل الكلفة بمقدار (16.19) $/ م2 في حال استخدام النورة. ومن خلال المقارنة يتضح الفرق الذي يشكله استخدام اوكسيد المغنيسيوم من الناحية الاقتصادية. تم تلخيص حسابات الكلفة في الجدول (4). في تلك الحسابات تم اعتماد الكثافة الجافة القصوى للتربة كما تم اعتبار ان معدل سمك طبقة اساس التبليط تساوي (250) ملم. ومن الناحية العملية؛ يمكن ان يعد اوكسيد المغنيسيوم النانوي أكثر ملائمة من حيث النقل والمزج مقارنة بالنورة حيث ان النسبة المثلى من النورة تبلغ حوالي (10) اضعاف النسبة المثلى من اوكسيد المغنيسيوم النانوي.

جدول (4):ملخص حسابات الكلفة

اساس التبليط	سمك الطبقة الاسفلتية (ملم)	مقدار التقليل بالسمك	التقليل بالكلفة ($/ م^2)	الكلفة الاضافية للتحسين ($/ م^2)	صافي تقليل الكلفة ($/ م^2)
التربة الاصلية	215	0	0	0	0
التربة المحسنة بالنورة	150	65	19.5	*3.31	16.19
التربة المحسنة باوكسيد المغنيسيوم النانوي	100	115	34.5	**7.08	27.42

سعر المتر المربع من الطبقة الاسفلتية بسمك (10) ملم =(3) $

سعر النورة = (0.1) $/ كغم

سعر اوكسيد المغنيسوم النانوي = (2) $/ كغم

*كلفة اضافة النورة =0.07×0.1 دولار/ كغم × 1890 كغم/ م^3×0.25 م^2/ م^3 =(3.31) $/ م^2

**كلفة اضافة اوكسيد المغنيسيوم =0.0075×2 دولار/ كغم × 1890 كغم/ م^3×0.25 م^2/ م^3 = (7.08) $/ م^2

6. الاستنتاجات

تبنت الدراسة الحالية مقاربة تجريبية تعتمد بشكل رئيسي على اجراء فحوص مختبرية على تربة مختارة تم تحسين خواصها من خلال مزجها بأوكسيد المغنيسيوم النانوي. وبينت النتائج تحسنا ملحوظا في الخواص الهندسية للتربة المختارة. ومن خلال تلك النتائج تم التوصل الى الاستنتاجات التالية.

1. استخدام اوكسيد المغنيسيوم النانوي يزيد من نسبة تحمل كاليفورنيا بشكل مؤثر حيث بلغ اقصى تحسن عند اضافة (0.75) ٪ من وزن التربة الجافة ومثلت تلك النسبة أكثر من خمسة عشر ضعفا من النسبة المسجلة للتربة الاصلية.
2. استخدام المضاف المقترح يقلل من نسبة انتفاخ التربة بشكل ملحوظ حيث بلغت أدنى قيمة لها عند اضافة (0.75) ٪ من اوكسيد المغنيسيوم النانوي ومثلت (9) ٪ من نسبة الانتفاخ المسجلة في التربة الاصلية.
3. يمكن اعتبار الجرعة المشار اليها اعلاه هي الجرعة المثلى للترب الطينية الضعيفة والمستخدمة كأساس للتبليط في الطرق.
4. اضافة اوكسيد المغنيسيوم النانوي الى التربة الطينية يقلل من حامضيتها ويزيد من قلويتها حيث تزداد قيمة القوة الهيدروجينية من (5.1) في التربة الاصلية الى (11.1) في التربة المحسنة باستخدام (0.75) ٪ من اوكسيد المغنيسيوم النانوي.
5. تفاعل اوكسيد المغنيسيوم النانوي مع السليكا الموجودة في التربة يمكن ان يكون مركب هيدرات سليكات المغنيسيوم والذي يكون روابط بين حبيبات التربة ويزيد من متانتها.
6. استخدام اوكسيد المغنيسيوم النانوي في تحسين خواص اساس التبليط يمكن ان يقلل سمك طبقات التبليط بشكل ملحوظ وبالتالي يؤدي الى تقليل كلفة الانشاء.

المصادر

[1] Mosa, A. M.; Taha, M. R.; Ismail, A.; Rahmat, R. A. O. K. A diagnostic expert system to overcome construction problems in rigid highway pavement. Journal of Civil Engineering and Management, 19, 846-861, (2013).

[2] Oluwasola, E. A.; Hainin, M. R.; Aziz, M. M. A. Evaluation of asphalt mixtures incorporating electric arc furnace steel slag and copper mine tailings for road construction. Transportation Geotechnics, 2, 47-55, (2015).

[3] Mosa, A. M.; Atiq, R.; Raihantaha, M.; Ismail, A. A knowledge base system to control construction problems in rigid highway pavements. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5, 1126-113, (2011).

[4] Ranadive, M. S.; Tapase, A. B. Parameter sensitive analysis of flexible pavement. International Journal of Pavement Research and Technology, 9, 466-472, (2016).

[5] Kraszewski, C.; Rafalski, L. Laboratory Examination of Frost-heaving Properties of Road Unbound Mixtures Based on Fines Content and Plasticity Index. Procedia Engineering, 143, 836-843, (2016).

[6] Abu-Farsakh, M.; Dhakal, S.; Chen, Q. Laboratory characterization of cementitiously treated/stabilized very weak subgrade soil under cyclic loading. Soils and Foundations, 55, 504-516, (2015).

[7] Karpushko, E. N.; Bartolomei, I. L.; Karpushko, M. O. Study of Using the Possibility of Textile Sand Piles at the Base of the Automobile Road Folded by Saline Soils. Procedia Engineering, 150, 2287-2292, (2016).

[8] Bozbey, I.; Demir, B.; Komut, M.; Saglik, A.; Comez, S.; Mert, A. Importance of Soil Pulverization Level in Lime Stabilized Soil Performance. Procedia Engineering, 143, 642-649, (2016).

[9] Venmans, A. A. M.; van de Ven, R.; Kollen, J. Rapid and Non-intrusive Measurements of Moisture in Road Constructions Using Passive Microwave Radiometry and GPR – Full Scale Test. Procedia Engineering, 143, 1244-1251, (2016).

[10] Ozdemir, M. A. Improvement in Bearing Capacity of a Soft Soil by Addition of Fly Ash. Procedia Engineering, 143, 498-50, (2016).

[11] Puppala, A. J. Advances in ground modification with chemical additives: From theory to practice. Transportation Geotechnics, 9, 123-138, (2016).

[12] Heitor, A.; Indraratna, B.; Rujikiatkamjorn, C. Small Strain Behaviour of a Compacted Subgrade Soil. Procedia Engineering , 143, 260-267, (2016).

[13] Gomes Correia, A.; Winter, M. G.; Puppala, A. J. A review of sustainable approaches in transport infrastructure geotechnics. Transportation Geotechnics , 7,

, 96, 1269-1276, (2013).

[21] Salemi, N.; Behfarnia, K. Effect of nano-particles on durability of fiber-reinforced concrete pavement. Construction and Building Materials , 48, 934-941, (2013).

[22] Chen L, Lin D-F. Stabilization treatment of soft subgrade soil by sewage sludge ash and cement. Journal of Hazardous Materials. 162:321-7, (2009).

[23] Misra A, Biswas D, Upadhyaya S. Physico-mechanical behavior of self-cementing class C fly ash–clay mixtures. Fuel. 84:1410-22, (2005).

[24] Ismaiel HA, Badry MM. Lime chemical stabilization of expansive deposits exposed at El-Kawther Quarter, Sohag Region, Egypt. Geosciences. 3:89-98, (2013).

[25] Lin D-F, Lin K-L, Hung M-J, Luo H-L. Sludge ash/hydrated lime on the geotechnical properties of soft soil. Journal of Hazardous Materials. 145:58-64. (2007).

[26] Garber NJ, Hoel LA. Traffic and Highway Engineering. 4th ed: Cengage Learning; (2009).

[27] Das BM. Advanced soil mechanics: CRC Press; (2013).

[28] Zhang T, Cheeseman CR, Vandeperre LJ. Development of low pH cement systems forming magnesium silicate hydrate (M-S-H). Cement and Concrete Research. 41:439-42. (2011).

[29] Malmström M, Banwart S. Biotite dis-

21-28, (2016).

[14] Silvani, C.; Braun, E.; Masuero, G. B.; Consoli, N. C. Behavior of Soil–Fly Ash–Lime Blends under Different Curing Temperatures. Procedia Engineering , 143, 220-228, (2016).

[15] Uzer, A. U. Use of Biofuel Co-product for Pavement Geo-materials Stabilization. Procedia Engineering , 125, 685-691.

[16] Al-Taie, A.; Disfani, M. M.; Evans, R.; Arulrajah, A.; Horpibulsuk, S. Swell-shrink Cycles of Lime Stabilized Expansive Subgrade. Procedia Engineering , 143, 615-622, (2016).

[17] Amadi, A. A.; Osu, A. S. Effect of curing time on strength development in black cotton soil – Quarry fines composite stabilized with cement kiln dust (CKD). Journal of King Saud University - Engineering Sciences.

[18] Knopp, J.; Moormann, C. Ettringite Swelling in the Treatment of Sulfate-Containing Soils Used as Subgrade for Road Constructions. Procedia Engineering , 143, 128-137, (2016).

[19] Hasan, H.; Dang, L.; Khabbaz, H.; Fatahi, B.; Terzaghi, S. Remediation of Expansive Soils Using Agricultural Waste Bagasse Ash. Procedia Engineering , 143, 1368-1375, (2016).

[20] Yang, J.; Tighe, S. A Review of Advances of Nanotechnology in Asphalt Mixtures. Procedia - Social and Behavioral Sciences

crete Research., 38:803-15, (2008).

[36] García MA, Chimenos JM, Fernández AI, Miralles L, Segarra M, Espiell F. Low-grade MgO used to stabilize heavy metals in highly contaminated soils. Chemosphere.56:481-91, (2004).

[37] Mo L, Panesar DK. Effects of accelerated carbonation on the microstructure of Portland cement pastes containing reactive MgO. Cement and Concrete Research.;42:769-77, (2012).

[38] Mastronardo E, Bonaccorsi L, Kato Y, Piperopoulos E, Lanza M, Milone C. Thermochemical performance of carbon nanotubes based hybrid materials for MgO/H2O/Mg(OH)2 chemical heat pumps. Applied Energy.181:232-43, (2016).

[39] Peethamparan, S.; Olek, J.; Diamond, S. Mechanism of stabilization of Na-montmorillonite clay with cement kiln dust. Cement and Concrete Research, 39, 580-589, (2009).

solution at 25°C: The pH dependence of dissolution rate and stoichiometry. Geochimica et Cosmochimica Acta. 61:2779-99. (1997).

[30] Kjeldsen AM, Flatt RJ, Bergström L. Relating the molecular structure of comb-type superplasticizers to the compression rheology of MgO suspensions. Cement and Concrete Research.36:1231-9. (2006).

[31] Muntohar AS. The swelling of expansive subgrade at wates-purworejo roadway sta. 8 127. Civil Engineering Dimension. 8:pp. 106-10, (2006).

[32] Tailor RM, Shah NC. Performance Improvement of Flexible Pavement on Swelling Subgrade Using Geotextile. Journal of Traffic and Logistics Engineering;2. (2014).

[33] Zhang T, Vandeperre LJ, Cheeseman CR. Formation of magnesium silicate hydrate (M-S-H) cement pastes using sodium hexametaphosphate. Cement and Concrete Research. 65:8-14, (2014).

[34] Chaunsali, P.; Peethamparan, S. Evolution of strength, microstructure and mineralogical composition of a CKD–GGBFS binder. Cement and Concrete Research, 41, 197-208, (2011).

[35] Peethamparan S, Olek J, Lovell J. Influence of chemical and physical characteristics of cement kiln dusts (CKDs) on their hydration behavior and potential suitability for soil stabilization. Cement and Con-