



## تأثير الجسيمات النانوية والاعتيادية على خواص طبقة تأسيس الطريق: دراسة مقارنة

احمد منسي موسى

قسم الهندسة المدنية؛ كلية المنصور الجامعة؛ بغداد؛ العراق

Received 12 March 2017; Accepted 26 April 2017

### الخلاصة:

تهدف الدراسة الحالية الى المقارنة بين تأثير الجسيمات النانوية ونظيرتها الاعتيادية على خواص طبقة تأسيس الطريق. لتحقيق غرض الدراسة تم انتخاب اوكسيد المغنيسيوم النانوي ونظيره الاعتيادي كونها بدائل حديثة في تحسين خواص المواد الانشائية. كما تم انتخاب تربة من مدينة بغداد وتم معالجتها باستخدام جرعات مختلفة من المضاف المقترح بنوعيه النانوي والاعتيادي لدراسة التغير الحاصل في خواصها الهندسية. وتضمنت الدراسة اجراء فحوص مختبرية للمقارنة بين خواص التربة غير المحسنة والمحسنة بالمضاف النانوي وكذلك المحسنة بالمضاف الاعتيادي. بشكل اساسي؛ تم اعتماد فحص نسبة تحمل كاليفورنيا وفحص الانتفاخ وفحص الانضغاط ثلاثي المحاور بالحمل المتكرر. وبينت النتائج تفوق المضاف النانوي على نظيره الاعتيادي في تحسين خواص التربة. بعد ذلك؛ تم اجراء فحص القوة الهيدروجينية وفحوص الاشعة السينية لتبين التفاعلات الكيميائية التي اسهمت في تغيير خواص التربة. وبينت تلك الفحوص زيادة عالية في قلوية التربة عند اضافة المضاف اليها وكذلك بينت وجود تفاعلات مؤثرة كونت مركب هيدرات سليكات المغنيسيوم التي شكلت روابط قوية بين جسيمات التربة زادت من متانتها. كما بينت نتائج الفحوص الكيميائية ان استخدام المضاف النانوي يؤدي الى تفاعل اكثر حدة من استخدام نظيره الاعتيادي وهذا راجع الى الخواص الفريدة التي تتسم بها جسيماته النانوية ذات النعومة الفائقة.

**الكلمات المفتاحية:** طبقة تأسيس الطريق؛ تحسين الخواص؛ جسيمات النانو؛ نسبة تحمل كاليفورنيا؛

الجرعة المثلى؛ معامل المرونة

### 1. المقدمة

يسود العالم في الاونة الاخيرة ثورة في استخدام الجسيمات النانوية لتحسين خواص المواد الانشائية حيث اظهرت البحوث في هذا المجال نتائج استثنائية مقارنة بالمضافات التقليدية [1,2,3,4,5,6,7] وهذا المسعى في تزايد مضطرد [8,9]. تمتاز هذه المواد بحجم جسيماتها الصغير جدا ( 100 نانومتر او اقل) ومساحتها السطحية الفائقة ووجود تجاويف دقيقة على سطوحها وذلك يكسبها صفات فيزيائية وكيميائية تختلف بشكل ملحوظ عن نظيراتها الاعتيادية ( ذات الحجم الحبيبي الاكبر) رغم امتلاك الاخيرة نفس التركيب الكيميائي [10]. هذا التركيب الفريد للجسيمات النانوية [11,12,13] يجعلها ذات اثر فعال جدا في تحسين خواص المواد الانشائية [14,15]. ولكفاءة هذه الثورة العصرية؛ عدد معتد به من البحوث تبني توظيف تكنولوجيا النانو في مجال تحسين خواص طبقات رصف الطريق [16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36]. الا ان هذه التكنولوجيا لم توظف بشكل مؤثر في مجال تحسين خواص طبقة تأسيس الطريق حيث لا يوجد الا عدد محدود جدا من الابحاث في هذا الاتجاه [37,38]. ولدراسة الفرق الذي يحدثه استخدام الجسيمات النانوية مقارنة بنظيراتها ذات الحجم الاعتيادي؛ تبنت هذه الدراسة استخدام اوكسيد المغنيسيوم النانوي والاعتيادي في تحسين خواص تربة طبقة تأسيس الطريق لسد

الثغرة الموجودة في هذا المجال ولائراء البحث العلمي فيه حيث اظهرت المراجعة المستفيضة للادبيات المتخصصة عدم وجود بحوث في هذا المجال على حد علم الباحث. جدير بالذكر ان الطبقة المشار اليها تلعب دورا مهما في اسناد طبقات رصف الطريق الاخرى وضمان متانة هذه الطبقة يقلل بشكل كبير السمك المطلوب في تلك الطبقات الامر الذي يخفض كلفة انشاء الطريق بشكل كبير ويزيد من عمره الخدمي. وفي دراسة اقتصادية اجراها الباحث (ما زالت قيد النشر)؛ تبين ان زيادة نسبة تحمل كالفورنيا لطبقة تأسيس الطريق من 3.4% الى 48% يقلل كلفة الانشاء بمقدار 25.875 دولارا امريكا لكل متر مربع واحد من طبقات الرصف بينما تبلغ كلفة شراء اوكسيد المغنيسيوم بنوعيه بين 0.2 و 2 دولارا امريكا للكيلوغرام الواحد وحسب النقاوة والمنشأ. وباعتبار ان معدل سمك طبقة التأسيس هو 250 ملم وباحتساب الكثافة العظمى للتربة وباستخدام نسبة خلط 0.75% من وزن التربة الجافة يكون اقصى اضافة محتملة للكلفة هو 7 دولارا امريكا. وبهذا يكون صافي التخفيض في الكلفة هو 18.875 دولارا امريكا للمتر المربع الواحد على اقل تقدير.

ولغرض تحقيق هدف الدراسة؛ تم انتخاب تربة من مدينة بغداد وتم اختبار خواصها الفيزيائية والكيميائية. بعد ذلك تم تهيئة عدد من النماذج وتمت معالجتها بجرعات مختلفة من اوكسيد المغنيسيوم النانوي وجرعات ماثلة من اوكسيد المغنيسيوم الاعتيادي وكانت الجرعات المختارة: (0.25)؛ (0.50)؛ (0.75)؛ (1.00)؛ (1.25)؛ و (1.50)% من وزن التربة الجافة. وتم تغليف النماذج المعالجة باكياس صماء للحفاظ على محتواها الرطوبي وتركت لمدة 28 يوما لضمان تفاعل المضافات مع مكونات التربة. بعد ذلك؛ اجري عدد من الفحوص المختبرية على النماذج المحسنة لتبين التغير في خواصها الهندسية. تضمنت تلك الفحوص: فحص نسبة كالفورنيا ونسبة الانتفاخ وفحص الانضغاط ثلاثي المحاور بالحمل المتكرر. بينت نتائج تلك الفحوص تحسنا ملحوظا في خواص التربة المنتخبة واطهرت ان اوكسيد المغنيسيوم النانوي اكثر تفوقا في تحسين الخواص من نظيره ذو الحجم الحبيبي الاعتيادي. ولتفسير تلك النتائج تم تبني فحص قياس القوة الهيدروجينية وفحص التركيب الكيميائي باستخدام فحص مطيافية تشتت الطاقة بالاشعة السينية.

## 2. المواد المستخدمة

تم انتخاب تربة من مدينة بغداد لاجراء دراسة مختبرية عليها قبل وبعد التحسين باستخدام مادة اوكسيد المغنيسيوم النانوي والاعتيادي. وشملت الدراسة اجراء عدد من الفحوص للتعرف على خواص التربة المستخدمة وكما مبين في الجدول (1). وكذلك تم تجهيز مادتي اوكسيد المغنيسيوم النانوي والاعتيادي؛ الجدول (2) يبين خصائص تلك المادتين.

## 3. برنامج الفحص

بالاضافة الى الفحوص المختبرية التي اجريت لتحديد خواص المواد المستخدمة (التربة غير المحسنة والمضافات)؛ تم تهيئة عدد من النماذج بعد مزجها بالجرعات المشار اليها سلفا من المضافات النانوية والاعتيادية وفقا للطرق القياسية وباستخدام نسبة الماء المثلى والكثافة الجافة القصوى وتم خفضها في اكياس غير منفذة للماء وتركت لمدة 28 يوما تحت المعالجة الرطبة لضمان حصول التفاعل الكيميائي. بعد ذلك؛ تم اجراء عدد من الفحوص الهندسية والكيميائية عليها. كما اجريت نفس الفحوص على التربة غير المحسنة. الجدول (3) يلخص برنامج الفحوص.

## جدول (1): خواص التربة الاصلية

A-7-6	تصنيف التربة وفقا لطريقة المؤسسة الامريكية للطرق والنقل	الخواص الهندسية
41%	حد السيولة	
25%	حد اللدونة	
2.76	الوزن النوعي	
1890 كغم/م <sup>3</sup>	الكثافة الجافة العظمى	
14.6%	محتوى الرطوبة المتلى	
3.39%	نسبة تحمل كاليفورنيا	
3.4%	نسبة الانتفاخ	
61.95%	SiO <sub>2</sub>	الخواص الكيميائية
29.83%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
4.76%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
1.13%	TiO <sub>2</sub>	
0.51%	K <sub>2</sub> O	
0.47%	MgO	
0.09%	SO <sub>3</sub>	
0.07%	CaO	
0.12%	اخرى	
5.2	القوة الهيدروجينية	

## جدول (2): الخواص الفيزيائية والكيميائية لمادة اوكسيد المغنسيوم النانوية والاعتيادية

الخواص الفيزيائية	اوكسيد المغنسيوم النانوي	اوكسيد المغنسيوم الاعتيادي
الشركة المصنع	The Central Drug House (P) Ltd/China	
اللون	ابيض	
معدل حجم الحبيبة	100-90 نانومتر	2-0.5 مايكروملم
المساحة السطحية	<50 م <sup>2</sup> /غم	<20 م <sup>2</sup> /غم
الكثافة	3.6 كغم/م <sup>3</sup>	
درجة الانصهار	2850 درجة سيليزية	
درجة الغليان	3600 سيليزية	
النقاوة	94.96%	99.46%
الذوبان في الحمض 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 الكيميائي		
MgO	94.96%	99.46%
CaO	0.58%	0.2%
SO <sub>3</sub>	3.93%	0.17%
SiO <sub>2</sub>	0.09%	0.11%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09%	-
اخرى	0.35%	0.06%

## جدول (3): ملخص برنامج الفحوص

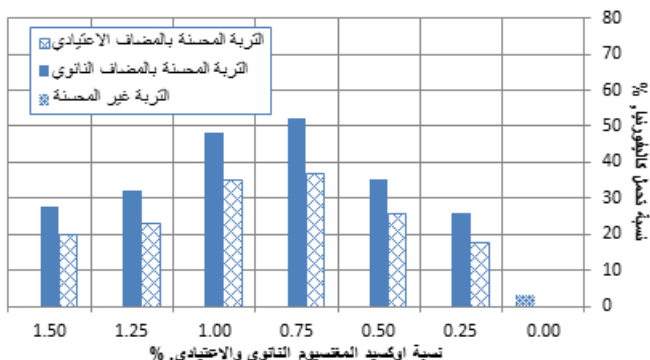
اسم الفحص	الغرض من الفحص	اصدار المؤسسة الامريكية للفحوص والمواد
نسبة تحمل كاليفورنيا	تحديد قيم نسبة تحمل كاليفورنيا (%) الذي يبين قابلية طبقة تأسيس الطريق لتحمل الاحمال المرورية	D 4429
نسبة الانتفاخ	تحديد نسبة الانتفاخ في التربة ( ملم ) والذي يبين التغيرات الحجمية الحاصلة في طبقة تأسيس الطريق	D 4429
الانضغاط ثلاثي المحاور بالحمل المتكرر	تحديد معامل مرونة التربة والذي يبين قابلية التربة على تحمل الاحمال المرورية وكذلك يحدد السمك التصميمي لطبقات رصف الطريق	D 4123
فحص القوة الهيدروجينية	تحديد قيمة القوة الهيدروجينية والذي يعكس تحفز المواد للتفاعل الكيميائي	D 4972
فحص مطيافية تشتت الطاقة بالاشعة السينية	تحديد تراكيز العناصر في المادة والذي يعكس التغيرات الحاصلة في التركيب الكيميائي للمواد بعد التفاعل	E 1508

## 4. النتائج

من خلال الفحوص التي تم اجراءها على التربة غير المحسنة والمبينة في الجدول (1)؛ اتضح انها تربة فقيرة نسبيا اذا تم استخدامها كطبقة تأسيس. وعليه يجب ان تصمم طبقات رصف الطريق بسمك كبير نسبيا لضمان استقرار تلك الطبقات فوق ذلك الاساس دون حدوث تشوهات معدت بها تحت تأثير الاحمال المرورية خلال عمرها الخدمي. وتصميم تلك الطبقات بسمك كبير يزيد من كلفة المشروع بشكل كبير اذ ان قوام كلفة مشاريع الطرق يصرف على انشاء تلك الطبقات. كما بينت تلك الفحوص ان التربة غير المحسنة لها قابلية متوسطة على الانتفاخ بوجود الرطوبة وهو امر قد يؤدي الى اضرار بالغة في منظومة طبقات رصف الطريق سيما تحت الظروف المشبعة بالماء. وفي ضوء تلك النتائج تتضح ضرورة تحسين خواص التربة لزيادة كفاءتها وخدميتها. تبين الفقرات التالية النتائج التي تم الحصول عليها من الفحوص الاخرى والمشار اليها سلفا.

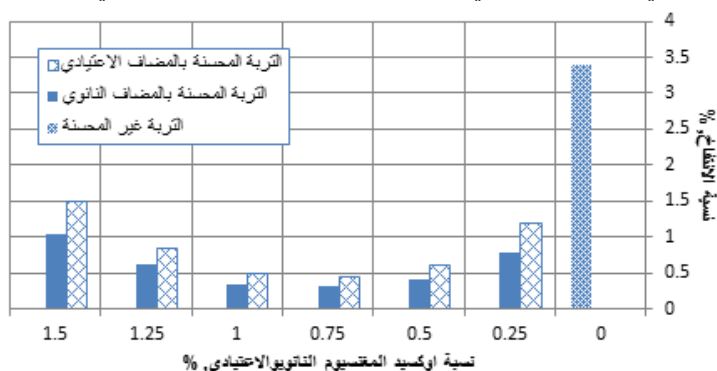
## 1.4. نتائج فحص نسبة تحمل كاليفورنيا

اظهرت نتائج فحص التربة غير المحسنة ان نسبة تحمل كاليفورنيا تبلغ (3.39)% كما تم بيانه سلفا. كما بينت نتائج الفحوص 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 اوكسيد المغنيسيوم النانوي وتصل الى اقصاها عند الجرعة (0.75%) من وزن التربة الجافة (حيث بلغت بحدود (15.75)% من تلك الخاصة بالتربة غير المحسنة) ثم تبدأ بالانخفاض بزيادة الجرعات. وكانت قيم نسبة تحمل كاليفورنيا (26%؛ 35%؛ 52%؛ 48%؛ 32%؛ و 28%) باضافة (0.25%؛ 0.5%؛ 0.75%؛ 1%؛ 1.25%؛ و 1.5%) من اوكسيد المغنيسيوم النانوي على التوالي. وبملاحظة [الشكل-1] يتضح نمط مشابه بالنسبة للنماذج المحسنة باوكسيد المغنيسيوم الاعتيادي حيث كانت قيم نسبة تحمل كاليفورنيا (18%؛ 26%؛ 37%؛ 35%؛ 23%؛ و 20%) باضافة (0.25%؛ 0.5%؛ 0.75%؛ 1%؛ 1.25%؛ و 1.5%) من اوكسيد المغنيسيوم الاعتيادي على التوالي. وتمثل نسبة تحمل كاليفورنيا للتربة المحسنة باستخدام (0.75)% من المضاف النانوي حوالي (140)% من تلك التي تم تحصيلها باضافة نفس النسبة من المضاف الاعتيادي. تعكس هذه النتائج تحسنا هائلا في خواص طبقة تأسيس الطريق وزيادة مؤثرة في قابليتها على تحمل الاحمال المرورية العالية وبالتالي يؤدي الى تخفيض كبير في سمك طبقات رصف الطريق والذي يقود بدوره الى انخفاض كبير في كلفة الانشاء.



شكل رقم (1): نسب تحمل كالفورنيا للتربة المحسنة والمحسنه بجرعات مختلفة من اوكسيد المغنسيوم النانوي والاعتيادي

اما فيما يتعلق بنسبة الانتفاخ في تربة طبقة التأسيس؛ فقد اظهرت نتائج فحص التربة غير المحسنة ان نسبة الانتفاخ تبلغ (3.4)% كما تم بيانه سلفا. كما بينت نتائج الفحوص ان نسبة الانتفاخ للتربة المحسنة بالمضاف اقل من تلك المسجلة للتربة الاصلية كما مبين في [الشكل-2]. يلاحظ من خلال الشكل ان نسبة الانتفاخ تنخفض بزيادة جرعات اوكسيد المغنسيوم النانوي وتصل الى ادناها عند الجرعة (0.75)% من وزن التربة الجافة (حيث بلغت بحدود (9)% من تلك الخاصة بالتربة غير المحسنة) ثم تبدأ بالارتفاع بزيادة الجرعات. وكانت قيم نسبة الانتفاخ (0.79%؛ 0.42%؛ 0.32%؛ 0.35%؛ 0.62%؛ و 1.04%) باضافة (0.25%؛ 0.5%؛ 0.75%؛ 1%؛ 1.25%؛ و 1.5%) من اوكسيد المغنسيوم النانوي على التوالي. وبملاحظة [الشكل-2] يتضح نمط مشابه بالنسبة للنماذج المحسنة باوكسيد المغنسيوم الاعتيادي حيث كانت قيم نسبة الانتفاخ (1.2%؛ 0.6%؛ 0.45%؛ 0.5%؛ 0.85%؛ و 1.5%) باضافة (0.25%؛ 0.5%؛ 0.75%؛ 1%؛ 1.25%؛ و 1.5%) من اوكسيد المغنسيوم الاعتيادي على التوالي. وتمثل نسبة الانتفاخ للتربة المحسنة باستخدام (0.75)% من المضاف النانوي حوالي (70)% من تلك التي تم تحصيلها باضافة نفس النسبة من المضاف الاعتيادي. وهذا الانخفاض الكبير في الانتفاخ يدل على تحسن كبير في قابلية التربة لمقاومة التغيرات الحجمية تحت الاوساط المشبعة بالماء بشكل جزئي او تام؛ الامر الذي يؤدي الى ضمان سلامة طبقات رصف الطريق من اضرار الانتفاخ وبالتالي انخفاض كبير في كلفة الصيانة وكذلك زيادة ملحوظة في عمر الطريق الخدمي.

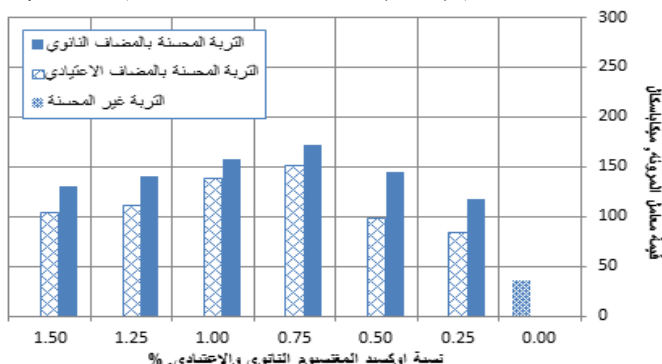


شكل رقم (2): نسب الانتفاخ للتربة غير المحسنة والمحسنه بجرعات مختلفة من اوكسيد المغنسيوم النانوي والاعتيادي

#### 2.4. نتائج فحص الانضغاط ثلاثي المحاور بالحمل المتكرر

من خلال هذا الفحص تم تحديد قيم معامل مرونة طبقة تأسيس الطريق للنماذج غير المحسنة والمحسنه بالمضاف المقترح بنوعيه (النانوي والاعتيادي) كما مبين في [الشكل-3]. يتضح من الشكل ان النماذج تظهر سلوكا مشابها لما هو عليه في حالة فحص نسبة تحمل كالفورنيا كما هو متوقع اذ ان معامل مرونة التربة يعكس متانتها وقابليتها على تحمل الاحمال المرورية. وبلغت اقصى قيمة لمعامل المرونة (172) ميكاباسكال وذلك للتربة المحسنة باستخدام (0.75)% من اوكسيد المغنسيوم النانوي. وهذه القيمة تمثل حوالي خمس

اضعاف نظيرتها للتربة غير المحسنة والبالغة (35) ميكاباسكال. كما ان هذه القيمة (172) ميكاباسكال اكبر من تلك المسجلة للتربة المحسنة باستخدام (0.75)% من اوكسيد المغنيسيوم الاعتيادي.



شكل رقم (3): قيم معامل المرونه للتربة غير المحسنة والمحسنة بجر علت مختلفة من اوكسيد المغنيسيوم النانوي والاعتيادي

من خلال نتائج هذا الفحص وفحص نسبة تحمل كاليفورنيا وكذلك فحص نسبة الانتفاخ؛ يمكن اعتبار نسبة (0.75)% من اوكسيد المغنيسيوم النانوي هي النسبة المثلى التي ينصح باستخدامها لتحسين هذا النوع من الترب الضعيفة لاغراض استخدامها في طبقة تأسيس الطريق. 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. ولغرض تفسير التفاعل الكيميائي تم تبني فحص القوة الهيدروجينية ومطيافية تشتت الطاقة بالاشعة السينية كما مبين في الفقرات التالية.

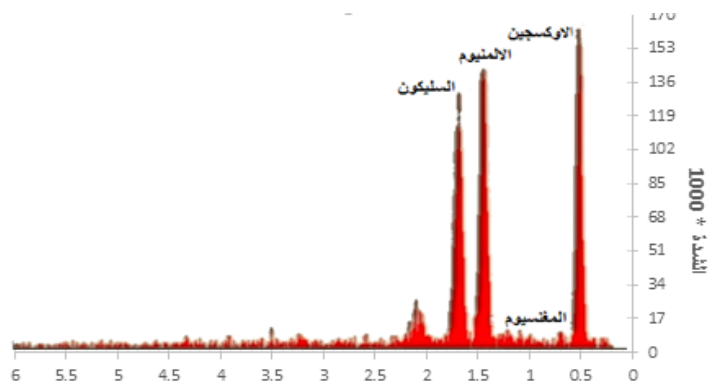
#### 3.4 نتائج فحص القوة الهيدروجينية

بينت نتائج هذا الفحص ان قيم القوة الهيدروجينية للتربة المزوجة بالنسبة المثلى من المضاف النانوي والاعتيادي بعد المعالجة الرطبة تبلغ (11.1) و (10.2) على التوالي وهي اعلى من تلك الخاصة بالتربة غير المحسنة بكثير حيث كانت قيمتها (5.2). ومن نتيجة الفحص يتضح ان المضاف النانوي اكثر فعالية من نظيره الاعتيادي في زيادة قلوية التربة. حيث ان هذا التغير في قيمة القوة الهيدروجينية يدل على ازدياد في قلوية التربة المحسنة والذي يمكن ان يكون مسؤولا عن اذابة بعض مكونات التربة وتحفيز التفاعلات الكيميائية والمساهمة في تكوين مركبات مترابطة زادت من متانة التربة. بالاضافة الى ذلك فان زيادة قيمة القوة الهيدروجينية يساعد على تكثف جسيمات التربة مما يحسن التركيب الهيكلي لها وهو مما يزيد في متانتها ايضا [39، 40].

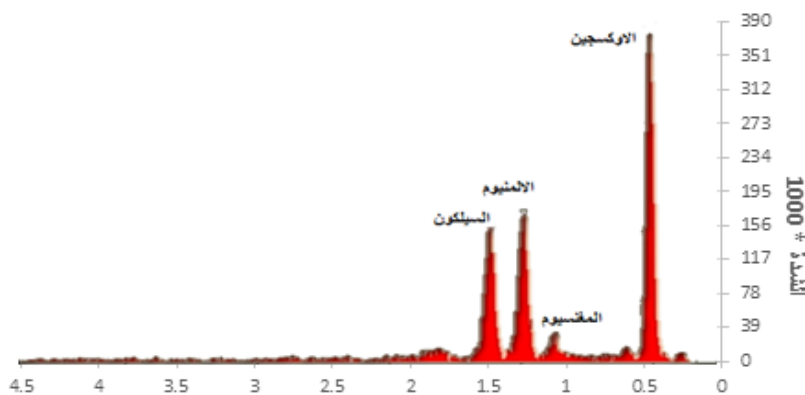
#### 4.4 نتائج فحص مطيافية تشتت الطاقة بالاشعة السينية

تبين [الاشكال-4، 5، 6] نتائج تلك الفحوص لعينات التربة غير المحسنة وتلك المحسنة باستخدام النسبة المثلى من المضاف النانوي والاعتيادي على التوالي. وتظهر النتائج تغيرا ملحوظا في تراكيز العناصر الرئيسية للتربة قبل التحسين وبعد التحسين بالمضاف النانوي والاعتيادي كما مبين في [الشكل-7]. من خلال المقارنة بين الشكلين [الشكل 7-أ] والخاص بالتربة غير المحسنة و[الشكل 7-ب] والخاص بالتربة المحسنة بالمضاف النانوي؛ يتضح وجود زيادة مؤثرة في تركيزي الاوكسجين والمغنيسيوم مقابل تراجع في تركيزي الالمنيوم والسيليكون وهذا دليل واضح على حصول تفاعل كيميائي بين اوكسيد المغنيسيوم النانوي ومكونات التربة. اذ ان تفاعل اوكسيد المغنيسيوم النانوي والماء كون مركب هيدروكسيد المغنيسيوم. زيادة قلوية المزيج بعد المعالجة الرطبة والذي اثبته فحص القوة الهيدروجينية والمشار اليه سلفا يعزز هذا الاستنتاج. بعد ذلك؛ تم ذوبان نسبة من الالمنيوم والسيليكون في محلول الهيدروكسيد وذبوانهما انخفض تركيزهما في المزيج وبالتالي ارتفع تركيزي المغنيسيوم والاكسجين على حسابهما. بالاضافة الى زيادة تركيز الاوكسجين على حساب انخفاض تركيزي الالمنيوم والسيليكون؛ توجد زيادة اضافية لتركيز الاوكسجين سببها تفاعل اوكسيد المغنيسيوم النانوي مع الماء حيث اضاف ذلك التفاعل ذرة اوكسجين اخرى مصدرها الماء.

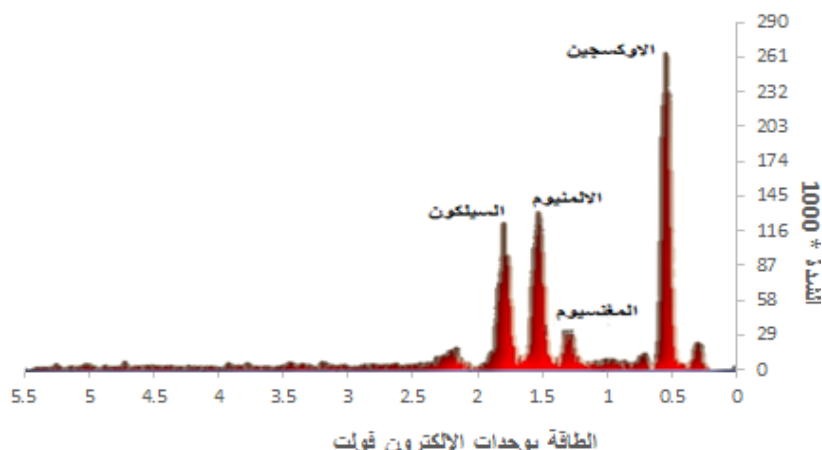
هذه التفاعلات يمكن ان تكون مركب هيدرات سليكات المغنيسيوم الذي يتكون من تفاعل هيدروكسيد المغنيسيوم مع السيليكا الموجودة في التربة الاصلية وهو مركب مسؤول عن انشاء قوى ترابط قوية بين جسيمات التربة. هذا التفاعل شبيه بتفاعل السمنت البورتلاندي مع الترب الطينية والذي يكون مركب هيدرات سليكات الكالسيوم [39، 41]. وبمقارنة [الشكل 7-أ] والخاص بالتربة غير المحسنة بالشكل [الشكل 7-ج] والخاص بالتربة المحسنة بالمضاف الاعتيادي يمكن ملاحظة سلوك مشابه لذلك الذي تم تحصيله في حالة التربة المحسنة بالمضاف النانوي الا ان تركيزي الاوكسجين والسليكون كانا اقل وتركيزي الالمنيوم والمغنيسيوم كانا اكبر في حالة استخدام المضاف الاعتيادي مقارنة بالنانوي الامر الذي يشير الى حدة تفاعل اقل. وفي ضوء ذلك يمكن القول ان الخصائص الفريدة للمضاف النانوي كالنعومة الفائقة والمساحة السطحية الكبيرة والتجاويف السطحية ساهمت بشكل ملحوظ في زيادة حدة التفاعل وبالتالي ادت الى زيادة المركبات الرابطة بين جسيمات التربة وحسنت خواصها الهندسية بشكل اكثر تأثيرا من النظير الاعتيادي.



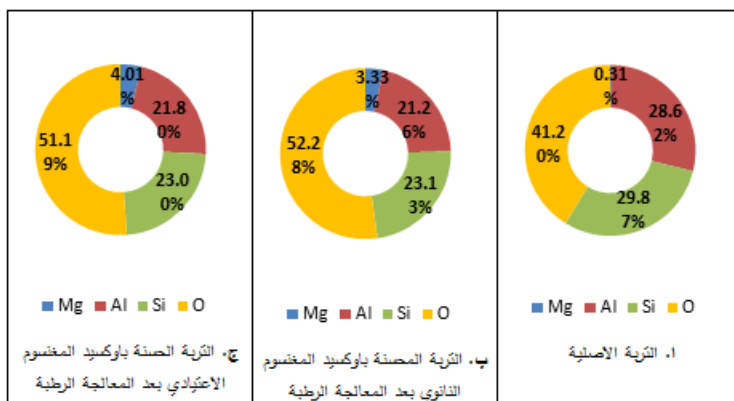
شكل رقم (4): نتائج فحص مطيافية تشتت الطاقة بالاشعة السينية للتربة غير المحسنة



شكل رقم (5): نتائج فحص مطيافية تشتت الطاقة بالاشعة السينية للتربة المحسنة بلوكسيد المغنسيوم النانوي بعد المعالجة الرطبة



شكل رقم (6): نتائج فحص مطيافية تشتت الطاقة بالإشعة السينية للتربة المحسنة بأكسيد المغنسيوم الاعتيادي بعد المعالجة الرطبة



شكل رقم (7): تراكيز العناصر الرئيسية للتربة قبل وبعد المزج مع المضاف النانوي والاعتيادي بعد المعالجة الرطبة

## 5. الاستنتاجات

1. استخدام اوكسيد المغنيسيوم بنوعيه النانوي والاعتيادي يحسن خواص طبقة تأسيس الطريق بشكل ملحوظ مما يزيد من متانته. وبزيادة متانته يمكن تقليل السمك التصميمي لطبقات رصف الطريق (طبقة الحصى الخابط؛ طبقة القاعدة؛ الطبقة السطحية) مما يقلل كلفة الانشاء بشكل كبير. وكذلك فان تحسن خواص طبقة تأسيس الطريق يزيد من عمره الخدمي ويقلل كلف الصيانة.
2. بلغ اقصى تحسن باضافة (0.75)% من المضاف النانوي والاعتيادي نسبة الى وزن التربة الجافة وعليه يمكن اعتبار هذه النسبة هي الجرعة المثلى في تحسين هذا النوع من الترب المستخدمة كطبقة تأسيس.
3. تعد الجرعة المشار اليها اعلاه صغيرة جدا بالمقارنة مع الجرعات المطلوبة في المضافات التقليدية الامر الذي يمكن ان يعد نقلة نوعية في مجال انشاء الطرق حيث ان استخدام كميات صغيرة من هذه المادة الاقتصادية نسبيا لا يضيف الا كلف محدودة على الكلفة الكلية. بالاضافة الى ذلك فانه يقلل من تلوث البيئة ويدعم ثورة الهندسة المستدامة.
4. اضافة اوكسيد المغنيسيوم الى التربة الطينية يقلل من حامضيتها ويزيد من قلويتها كما بينه فحص القوة الهيدروجينية حيث ازادت قيمة القوة الهيدروجينية من (5.2) في التربة غير المحسنة الى (11.1) و(10.2) للترب المحسنة بالمضاف النانوي والاعتيادي على التوالي. زيادة قلوية التربة تعزز اذابة مكوناتها وتساعد على تفاعل تلك المكونات مع المضاف مما يشكل مركبات كيميائية جديدة كما بينته نتائج فحص مطيافية تشتت الطاقة بالإشعة السينية. ويؤدي تشكل مركبات جديدة الى تكوين قوى ترابط بين جسيمات التربة كما انه يساعد في تكتلها وبالتالي تحسين خواصها الهندسية وزيادة متانتها كما اشارت المصادر [39، 40، 41].



5. النعومة الفائقة لأكسيد المغنيسيوم النانوي تساهم بشكل مؤثر في زيادة حدة التفاعلات وتثبيت تفوقه على نظيره الاعتيادي حيث كانت تراكيز الاوكسجين والسيلكون في التربة المحسنة باستخدام المضاف النانوي اعلى مما هي عليه في التربة غير المحسنة وكذلك المحسنة باستخدام المضاف الاعتيادي كما بينه فحص مطيافية تشتت الطاقة بالاشعة السينية. وهذا التفاوت الملحوظ في تراكيز تلك المواد يدل على حدة تفاعل بين التربة والمضاف النانوي اعلى من تلك التي تمت باستخدام المضاف الاعتيادي.

#### المصادر

- [1] Durgun, M,Y, and Atahan, H, N, (2017), "Rheological and fresh properties of reduced fine content self-compacting concretes produced with different particle sizes of nano SiO<sub>2</sub>", Construction and Building Materials, 142:431-443.
- [2] Hasan-Nattaj, F, and Nematzadeh, M, (2017), "The effect of forta-ferro and steel fibers on mechanical properties of high-strength concrete with and without silica fume and nano-silica", Construction and Building Materials, 137:557-572.
- [3] Li, W, Long, C, Tam, V, W, Y, Poon, C-S, and Hui Duan, W, (2017), " Effects of nano-particles on failure process and microstructural properties of recycled aggregate concrete", Construction and Building Materials, 142:42-50.
- [4] Meng, T, Yu, Y, and Wang, Z, (2017), "Effect of nano-CaCO<sub>3</sub> slurry on the mechanical properties and micro-structure of concrete with and without fly ash", Composites Part B: Engineering, 117:124-129
- [5] Wei, Y, Liang, S, and Gao, X, (2017), "Indentation creep of cementitious materials: Experimental investigation from nano to micro length scales", Construction and Building Materials, 143:222-233.
- [6] Wu, Z, Khayat KH, and Shi, C, (2017), "Effect of nano-SiO<sub>2</sub> particles and curing time on development of fiber-matrix bond properties and microstructure of ultra-high strength concrete" Cement and Concrete Research, 95:247-256.
- [7] Dai, D, Fan, M, and Collins, P, (2013), "Fabrication of nanocelluloses from hemp fibers and their application for the reinforcement of hemp fibers", Industrial Crops and Products, 44:192-199
- [8] Gordelyi, E, Mogilevskaya, S, G, and Crouch, S, L, (2009), "Transient thermal stresses in a medium with a circular cavity with surface effects" International Journal of Solids and Structures, 46:1834-1848.
- [9] Ji, T, (2005), "Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO<sub>2</sub>" Cement and Concrete Research, 35:1943-1947.
- [10] Gajewicz, A, Rasulev, B, Dinadayalane, T,C, et al, (2012), "Advancing risk assessment of engineered nanomaterials: Application of computational approaches", Advanced Drug Delivery Reviews, 64:1663-1693.
- [11] Konsta-Gdoutos, M, S, Metaxa, Z, S, and Shah, S, P, (2010), "Highly dispersed carbon nanotube reinforced cement based materials", Cement and Concrete Research, 40:1052-1059.
- [12] Pinyochotiwong, Y, Rungamomrat, J, and Senjuntichai, T, (2013), "Rigid frictionless indentation on elastic half space with influence of surface stresses", International Journal of Engineering Science, 71:15-35.
- [13] Hu, J, and Shipley, H, J, (2012), "Evaluation of desorption of Pb (II), Cu (II) and Zn (II) from titanium dioxide nanoparticles", Science of The Total Environment, 431:209-220.
- [14] Li, H, Xiao, H-g, and Ou, J-p, (2004), "A study on mechanical and pressure-sensitive properties of cement mortar with nanophase materials", Cement and Concrete Research 34:435-438.
- [15] Intarit, P, Senjuntichai, T, Rajapakse, R, (2010), "Dislocations and internal loading in a semi-infinite elastic medium with surface stresses", Engineering Fracture Mechanics, 77:3592-3603.
- [16] Salemi, N, and Behfarnia, K, (2013), "Effect of nano-particles on durability of fiber-reinforced concrete pavement", Construction and Building Materials, 48:934-941.
- [17] Tanzadeh, J, and Shahrezagamasaei, R, (2017), "Laboratory Assessment of Hybrid Fiber and Nano-silica on Reinforced Porous Asphalt Mixtures", Construction and Building Materials, 144:260-270.
- [18] Sun, L, Xin, X, Ren, J, (2017), "Asphalt modification using nano-materials and polymers composite considering high and low temperature performance", Construction and Building Materials, 133:358-366.
- [19] Sounthararajah, D, P, Loganathan, P, Kandasamy, J, and Vigneswaran, S, (2017), "Removing heavy metals using permeable pavement system with a titanate nano-fibrous adsorbent column as a post treatment", Chemosphere, 168:467-473.

- [20] Li, R, Xiao, F, Amirkhanian, S, You, Z, Huang, J, (2017), "Developments of nano materials and technologies on asphalt materials – A review", *Construction and Building Materials*, 143:633-648.
- [21] Kordi, Z, and Shafabakhsh, G, (2017), "Evaluating mechanical properties of stone mastic asphalt modified with Nano Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>", *Construction and Building Materials*, 134:530-539.
- [22] Faramarzi, M, Golestani, B, and Lee, K, W, (2017), "Improving moisture sensitivity and mechanical properties of sulfur extended asphalt mixture by nano-antistripping agent", *Construction and Building Materials*, 133:534-542.
- [23] Chelovian, A, and Shafabakhsh, G, (2017), "Laboratory evaluation of Nano Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> effect on dynamic performance of stone mastic asphalt", *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10:131-138.
- [24] Zhang, H-l, Su, M-m, Zhao, S-f, Zhang, Y-p, and Zhang, Z-p, (2016), "High and low temperature properties of nano-particles/polymer modified asphalt", *Construction and Building Materials*, 114:323-332.
- [25] Wang, Y-Y, Su, J-F, Schlangen, E, Han, N-X, Han, S, and Li, W, (2016), "Fabrication and characterization of self-healing microcapsules containing bituminous rejuvenator by a nano-inorganic/organic hybrid method", *Construction and Building Materials*, 121:471-482.
- [26] Sivakumar, M, and Anjaneyulu, M, (2016), "Fatigue Characteristics of Nano-clay Modified Bituminous Concrete", *Transportation Research Procedia*, 17:124-133.
- [27] Omar, H, A, Yusoff, N, M, Sajuri, Z, Ceylan, H, Jakarni, M, and Ismail, A, (2016), "Determining the effects of aging on halloysite nano-tube modified binders through the pull-off test method", *Construction and Building Materials*, 126:245-252.
- [28] Mansour, F, and Vahid, V, (2016), "Effect of Liquid Nano Material and Hydrated Lime in Improving the Moisture Behaviour of HMA", *Transportation Research Procedia*, 17:506-512.
- [29] Iskender, E, (2016), "Evaluation of mechanical properties of nano-clay modified asphalt mixtures", *Measurement*, 93:359-371.
- [30] Fang, C, Yu, X, Yu, R, Liu, P, and Qiao, X, (2016), "Preparation and properties of isocyanate and nano particles composite modified asphalt", *Construction and Building Materials*, 119:113-118.
- [31] Shafabakhsh, G, H, and Ani, O, J, (2015), "Experimental investigation of effect of Nano TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> modified bitumen on the rutting and fatigue performance of asphalt mixtures containing steel slag aggregates", *Construction and Building Materials*, 98:692-702
- [32] Li, R, Pei, J, and Sun, C, (2015), "Effect of nano-ZnO with modified surface on properties of bitumen", *Construction and Building Materials*, 98:656-661.
- [33] Jamshidi, A, Mohd Hasan, M, R, Yao, H, You, Z, and Hamzah, M, O, (2015), "Characterization of the rate of change of rheological properties of nano-modified asphalt", *Construction and Building Materials*, 98:437-446.
- [34] Zhang, M-h, and Li, H, (2011), "Pore structure and chloride permeability of concrete containing nano-particles for pavement", *Construction and Building Materials*, 25:616-608.
- [35] Li, H, Zhang, M-h, and Ou, J-p, (2007), "Flexural fatigue performance of concrete containing nano-particles for pavement", *International Journal of Fatigue*, 29:1292-1301.
- [36] Li, H, Zhang, M-h, and Ou, J-p, (2006), "Abrasion resistance of concrete containing nano-particles for pavement", *Wear*, 260:1262-1266.
- [37] Lin, D-F, Luo, H-L, Chen, C-T, and Cai, M-D, (2016), "Study properties of soft subgrade soil stabilized by sewage sludge/lime and nano-SiO<sub>2</sub>", *Geomechanics and Engineering*, 10:793-806.
- [38] Mostafa, A, Ouf, MS, and Elgendy, M, (2016), "Stabilization of Subgrade Pavement Layer Using Silica Fume and Nano Silica", *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7.
- [39] Chaunsali, P, and Peethamparan, S, (2011), "Evolution of strength, microstructure and mineralogical composition of a CKD–GGBFS binder", *Cement and Concrete Research*, 41:197-208.
- [40] Mahmoued, E, K, (2010), "Cement kiln dust and coal filters treatment of textile industrial effluents", *Desalination*, 255:175-178.
- [41] Peethamparan, S, Olek, J, and Diamond, S, (2009), "Mechanism of stabilization of Na-montmorillonite clay with cement kiln dust", *Cement and Concrete Research*, 39:580-589.

## INFLUENCE OF NANO AND ORDINARY PARTICLES ON PROPERTIES OF SUBGRADE: A COMPARATIVE STUDY

### ABSTRACT

This study aims to compare between usage of Nano-particles and ordinary-particles in enhancement of subgrade properties. To attain this purpose, Nano-magnesium oxide and ordinary-magnesium oxide were selected as modern alternatives in improvement of construction materials. A selected soil supplied from Baghdad city was treated with different dosages of the proposed additives to investigate the changes in engineering properties of the selected soil. The study involved laboratory tests to compare the properties of untreated and treated soils with Nano-additive and ordinary-additive. Basically, this study adopted California bearing ratio, swelling ratio, and repeated triaxial compression tests. The results revealed the preponderance of Nano additive over the ordinary one in enhancement of subgrade properties. Afterward, chemical tests and tests by x-ray were implemented to reveal the chemical reaction that changed the properties of subgrade. These tests revealed high increase in alkalinity of treated samples. In addition, the results revealed effective chemical reaction generated magnesium silicate hydrate which produce strong bond among the particles. Moreover, chemical tests results exhibited that using Nano additive lead to more intense chemical reaction compared to ordinary one. This behavior may be attributed to the unique properties of Nano particles with super fineness and large surface area.

**Keywords:** Subgrade, Nano Particles, Properties Improvement, CBR, Optimum Dosage, Resilience Modulus