المجلة الدولية للهندسة وتقنية المعلومات
journal homepage:www.ijeit.misuratau.edu.ly

استخدام نفايات الكسارات لتحسين خواص التربة الطينية

معمر محمد الغويل
كلية التقنية الهندسية
مسلاته، ليبيا
mohamadoamar8@gmail.com

عبد المنعم مصطفى السوقي
كلية التقنية الهندسية
مسلاته، ليبيا
monaothman.151981@gmail.com

منى عثمان الدباح
المعهد العالي للعلوم والتقنية
الخمس، ليبيا
monem.8012.mm@gmail.com

الملخص ـــ **رمل الكسارات هو نفايات صلبة ناتجة عن طحن الصخر الأم بوحدات التكسير. التخلص من هذه النفايات أمر مهم وذلك لما يسببه من تلوث للهواء الذي بدوره يسبب الاخطار الصحية والبيئية والحياة بشكل عام. يمكن استخدام رمال الكسارات بشكل فعال لتحسين خصائص التربة الطينية، فضلا عن توفير مصدر رخيص لتحسين التربة. اشارت النتائج المعملية ان اضافة 10% من رمل الكسارات (SC) خفض لدونة التربة الطينية بشكل كبير وتحسين قيمة (CBR). قد يكون استخدام رمل الكسارات (نفايات الكسارات) تقنية فعالة في تعزيز خصائص التربة الطينية ضد احتمالية الانكماش والانتفاخ للتربة التحتية للطرق والهياكل خفيفة الوزن، وبالتالي اعادة تدوير هذه النفايات بشكل فعال في مثل هذه التطبيقات، واعتمدت هذه الدراسة على التجارب المعملية وفقا لنظام (ASTM)، كذلك على بعض الدراسات السابقة كمنهجية عمل قام بها البحاث للوصول إلى نتائج أكثر دقة لتحقيق نتائج عمل ذات جودة عالية.**

الكلمات المفتاحية: **تربة طينية، رمال الكسارات، حد اللدونة، انضغاط التربة، الانتفاخ أحادي البعد.**

1.المقدمة

رمل الكسارات هو منتج ثانوي يتم الحصول عليه من تكسير وطحن الأحجار في الكسرات. يمكن اعتبار رمل الكسارات نفايات لأنه غير قابل للتسويق في الوقت الحالي. يؤدي تراكم هذه النفايات إلى مشاكل بيئية. ويلاحظ أن كل كسارة من 10٪ إلى 60٪ من انتاجها يتكون من النفايات (رمل ومواد ناعمة)، من سجلات الكسارة المأخوذ منها الرمل الداخل في الدراسة ان وحدة التكسير تنتج يوميا من 600-700 متر مكعب من الركام و70-80 متر مكعب من النفايات (رمل ومواد ناعمة). التخلص من مثل هذه النفايات بسبب مشاكل ذات طبيعة بيئية مثل معالجة مدافن النفايات والتلوث البيئي، ومخاطر على الصحة العامة. أن رمل الكسارة لديه قوة بنسبة 20-30٪ من قوة الحجر الام ويمكن استخدامه كمواد استقرار للطرق والمنشئات الخفيفة .[1] أدت الزيادة في نسبة رمل الكسارات المضاف إلى التربة الطينية إلى زيادة في أقصى كثافة جافة. بالنظر إلى إضافة 30 ٪ من رمل الكسارات، تمت زيادة CBR بمقدار حوالي 50٪ [2]. وجد أن مع زيادة رمل الكسارات المضاف يخفض محتوى الرطوبة الأمثل بسبب محتوي الطين المنخفض، كذلك وجد أن أقصى كثافة جافة للتربة الطينية تتناقص كلما زادت نسبة رمل الكسارات المضاف لها أكبر من 25٪.[3] تم تخفيض حد السيولة من 70٪ إلى 43٪ والانتفاخ الحر من 58٪ إلى 10٪ مع زيادة محتوى الرمل، مع زيادة نسب محتوى الرمل من 10٪ إلى 40٪ نتج عنه تحسن ملحوظ في الخصائص الجيوتقنية للتربة [4]. توصلت دراسة أخرى إلى أنه عند إضافة رمل الكسارات بنسبة 20٪ إلى التربة الانتفاخية، تمت زيادة الكثافة الجافة القصوى من 1.58جم/سم^3 إلى 1.68 جم/سم^3، ومحتوى الماء الأمثل انخفض من 32٪ إلى 26٪ [5].

استلمت الورقة بالكامل في 9 مارس 2022 وروجعت في 18 مارس 2022 وقبلت للنشر في 31 مايو 2022

ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 10 يونيو 2022

2. مشكلة الدراسة

نظرًا للاختلاف الكبير في درجات الحرارة ونسبة الرطوبة بين فصلي الصيف والشتاء، فإن تأثير المياه في التربة الطينية فيما يتعلق بدورات الانتفاخ خلال موسم الأمطار والانكماش خلال فصل الصيف يشكل خطرًا كبيرًا، خاصة على الهياكل خفيفة الوزن. هذه تسبب أيضًا أضرارًا انتفاخيه او انكماشية للهياكل التي تم إنشاؤها على أعماق سطحية. قد تشمل الهياكل المتضررة الأساسات والجدران والأرصفة والطرق ومهابط الطائرات وخطوط الأنابيب وشبكات الصرف الصحي[6] . لحل مشاكل التربة الطينية وتأمين البناء الآمن عليها، من الضروري تحسين وتقوية الأرضية من خلال اعتماد بعض الأساليب المناسبة والحديثة والرخيصة. تم استخدام تقنيات مختلفة لإظهار علامات التحسن في الخصائص الجيوتقنية للطين بحيث تلبي ضرورات الاستقرار والفعالية، ويشمل استقرار التربة الاستقرار الفيزيائي والاستقرار الكيميائي. الثبات الفيزيائي (الميكانيكي) هو عملية تحسين خواص التربة عن طريق إعادة ترتيب حبيبات التربة وذلك بضغط التربة وزيادة كثافتها باستخدام طرق مختلفة مثل الاهتزاز والأوزان الميكانيكية. أكثر طرق التثبيت الفيزيائي شيوعًا هي إعادة الترتيب لحبيبات التربة والإزالة والاستبدال [7]. عندما تكون الطرق الميكانيكية للتثبيت غير كافية أو عندما يكون استبدال التربة غير المرغوب فيها بالتربة المطلوبة غير ممكن أو مكلف للغاية، يتم استخدام مواد مضافة كيميائية. قد تشمل هذه المضافات الكيميائية الأسمنت، والجير، والرماد المتطاير، ورماد قشر الأرز، ودخان السيليكا، والمواد البيتومينية، ورمال الكسارات، ومسحوق الرخام أو المعالجة البيولوجية من أجل تثبيت التربة وتحسين خصائصها [8]. تتسبب التغييرات الحجمية التي تتعرض لها التربة الطينية بسبب تغير محتواها المائي الي اضرار جسيمة للأساسات الخرسانية والمباني بشكل عام، حيث تنتفخ هذه التربة عند زيادة محتوي الرطوبة ويزداد حجمها بنسبة 10% او أكثر حيث تتولد اجهادات وقوي ضغط تكون كافية للأضرار بالأساسات وهياكل وجدران المباني، كذلك ببنية الطرق. ومما يزيد من مشكلة التأسيس على طبقة من التربة الطينية انكماش حجمها عند فقدها لمحتواها المائي. هذه الدورة من الانكماش والانتفاخ تضع ضغطًا متكررًا على الأساسات الخرسانية ويمكن أن تخلق شقوقًا في التربة تسمح بتسرب المياه إلى الاساسات والجدران السفلية. والمشاكل التي تسببها التربة الانتفاخية تتوقف لحد كبير على اختلاف الضغوط تحت المنشأ من مكان لأخر، وهذا بسبب التوزيع غير المتساوي لمحتوى الرطوبة في التربة الحاملة للأساسات، ومن مشاكل التأسيس في التربة الطينية ما يلي:

- قابلية هذه التربة للتغير الحجمي عالية جداً اي انها قابلة للانتفاخ والانكماش، مما يجعل المبنى يتعرض لهبوط وارتفاع متتاليين.

- لا ينصح التأسيس على التربة الطينية ويفضل إحلال تربة أخرى بدلا منها او تحسين خواصها الجيوتقنية، وعندما يكون سمك الطبقة الطينية كبير فانه من الضروري استخدام الاساسات الخازوقية للوصول الي طبقة يصلح التأسيس عليها وتنفيذ مثل هذه الاساسات مكلف ومعقد التنفيذ.

- لا تتماشى مع الأبنية المعقدة لعدم تحرك الأساس ككتلة واحدة.

3. المواد وطريقة الدراسة

3. 1. المواد

التربة المستخدمة في هذه الدراسة والتي تم جمعها من منطقة سيلين غرب مدينة الخمس ب 16كم هي تربة طينية انتفاخيه لونها يميل الي الاخضـــر الفاتح. رمل الكسارات (SC) المستخدم ناتج عن التكسير وطحن الحجر في كســـارات منطقة العلوص غرب مدينة الخمس ب 30 كم. رمل الكســـارات (SC) المســـتخدم في الدراســـة بحجم حبيبات مارة من 4.75 مم ومحجوزة على 0.425 مم والنسبة المستخدمة 10٪ من كتلة التربة في الحالة الجافة.

3. 2. الطريقة

تتضـمن المنهجية المسـتخدمة في هذا البحث إجراء مجموعة من التجارب وفقًا لمواصـــفات الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (ASTM) لتحديد الخصـــائص الجيوتقنية للتربة غير المعالجة (تربة طبيعية NS) والتربة المعالجة برمل الكسارات بنسبة 10%. اختبار بروكتور القياسي تم إجراؤه وفقًا للمواصفة ASTM D698 للتربة الطبيعية والخليط من التربة الطبيعية ورمل الكســـارات لتحديد أقصـــى كثافة جافة ومحتويات الرطوبة المثلى. تم إجراء اختبار نسبة تحمل كاليفورنيا CBR لعينة مغمورة وفقًا لـــ ASTM D1883 باستخدام خصائص الضغط المتوفرة في طريقة Proctor القياسية. اختبار الانتفاخ أحادي البعد تم تطبيق ASTM D4546-08 على عينات التربة المضغوطة بقطر 50 مم وارتفاع 15 ملم.

الخصائص الفيزيائية للتربة الطبيعية ورمال الكسارات المستخدم مبينة في الجدول 1 وتشـــمل هذه الخصـــائص، حدود القوام وتوزيع حجم الحبيبات وتصنيف التربة ورمل الكسارات حسب نظام التصنيف الموحد للتربة.

الجدول 1. الخصائص الفيزيائية للتربة الطبيعية ورمل الكسارات.

الخصائص	المواد	
	التربة الطبيعية NS	رمال الكسارات SC
اللون	اخضر فاتح	رمادي
رمل (4.75mm-75µm) %	14	64
ناعم (<75µm) %	86	36
حد السيولة %	62	
حد اللدونة %	31	غير لدن NP
مجال اللدونة %	31	
معامل الانتظام Cu	--	50
معامل الانحناء Cc	--	1.62
تصنيف التربة الموحد USC	CH طين غير عضوي عالي اللدونة	SM رمل طمي

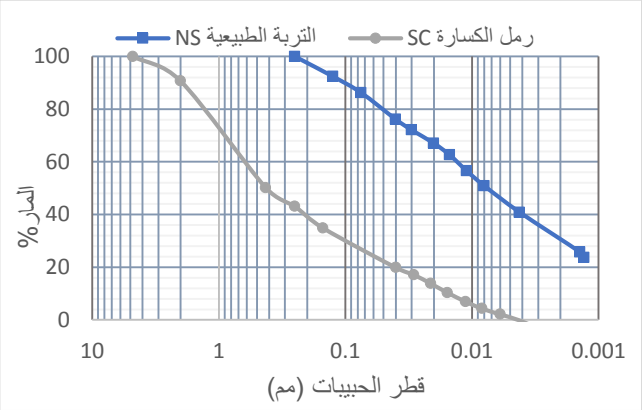
4. نتائج الاختبارات

4. 1 الخصائص الفيزيائية

تم تصنيف عينات التربة في مجموعتان. المجموعة الاولي هي تربة طبيعية ويشار إليها NS. المجموعة الثانية عبارة عن 10٪ رمل الكسارات *مضاف إليه تربة طبيعية (مزيج 10٪ SC).*

4. 1. 1. التوزيع الحبيبي

تم اختبار التربة الطبيعية ورمل الكسـارة بطريقة الغربلة بالغسـيل ومقياس الهيدروميتر، وفقًا للمواصـــفة ASTM D422 وASTM D1140. من توزيع حجم الحبيبات للتربة المدروســة، يتضـح أن عينة التربة تحتوي على 16٪ رمـل نـاعم (4.75mm-75µm)، ومن 84٪ تمر عبر المنخـل 0.075 مم، 54٪ طمي (µm75 - µm2)، و30 ٪ طين أصـــغر من 2 µm. تحتوي عينة رمل الكســـارة على 72٪ من الرمل الناعم والجزء الذي يمر عبر المنخـل 0.075 مم، 32٪ عبـارة عن طمي (µm75 - µm2) و4٪ عبارة عن طين اصغرمن 2 µm. الشكل 1 يبين التوزيع الحبيبي للتربة الطبيعية وعينة رمل الكسارة.



الشكل 1 توزيع حجم الحبيبات للتربة الطبيعية ورمال الكسارات.

4. 1. 2. حدود القوام

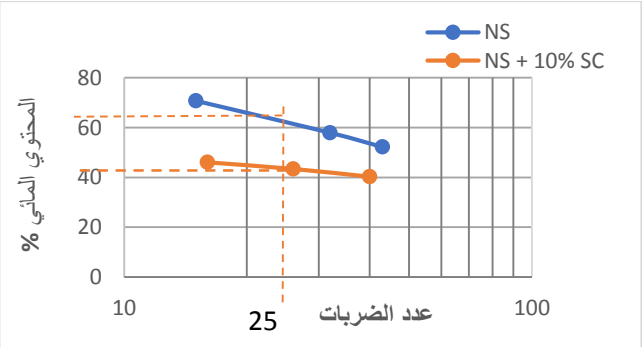
تمت اختبارات حدود القوام وفقا ASTM 4318 واظهرت النتائج ان حد السـيولة وحد اللدونة للتربة الطبيعية هو 62% و31% على التوالي وبالتالي فان التربة عالية اللدونة ومجال اللدونة لها 31%. بينما عند اختبار حدود القوام لرمل الكسـارة اتضـح انه غير لدن. بعد إضـافة 10٪ من رمل الكسـارة للتربة الطبيعية انخفض حد السـيولة الي 44% وانخفض حد اللدونة الي 21% وبالتالي انخفض مجال اللدونة الي 23%.

يوضـح الجدول 2 حدود اللدونة للتربة الطبيعية وخليط رمل الكسـارة بعد إضـافة 10٪ إلى التربة الطبيعية. انخفضـت حدود اللدونة بشـكل كبير التي تتفق جيدًا مع دراسات (Akinwumi and Booth) [9].

الجدول 2. حدود اللدونة للتربة الطبيعية والخليط.

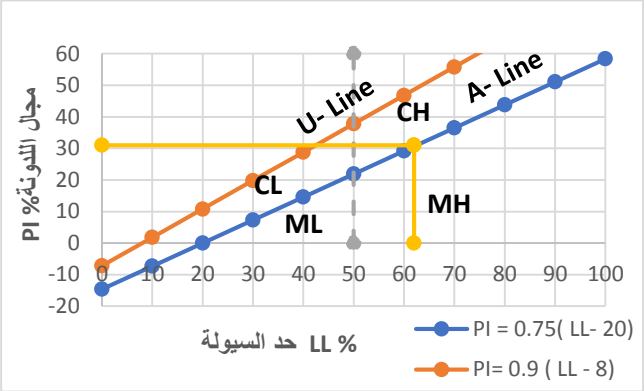
نوع التربة/حدود القوام	LL%	PL%	PI%
NS	62	31	31
MIX 10% SD	44	21	23

يوضح الشكل.2 مخطط السيولة للتربة الطبيعية وخليط 10% كما في الشكل أدناه.



شكل 2 مخطط السيولة للتربة الطبيعية وخليط 10% من رمل الكسارة.

من النظام الموحد لتصنيف التربة USCS ومن تمثيل حد السيولة ومجال اللدونة على مخطط كازا جراند للدونة التربة شكل 3، فالتربة الطبيعية متمثلة على المخطط CHطين غير عضوي مع لدونة عالية، عند اضافة 10% من رمل الكســارة الي التربة فأنها تتحول حســب حدود القوام الي CL وهو طين غير عضوي مع لدونة منخفضة.



شكل 3 مخطط اللدونة لكازاجراند.

4. 1. 3 الكثافة النوعية

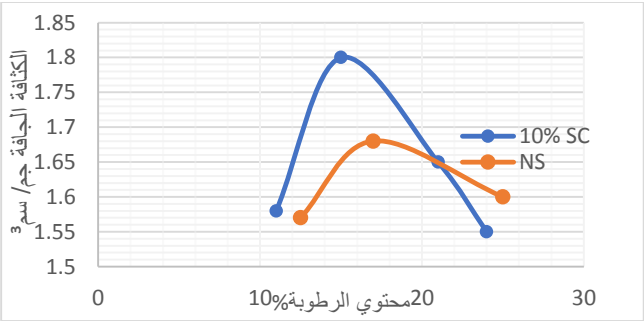
بطريقة البكنوميتر ووفقا للمواصفة ASTM D 854 تم حساب الكثافة النوعية للتربة الطبيعية ولخليط التربة مع 10% رمل الكسارة وهذه النتائج موضحة في الجدول 3.

الجدول 3 الكثافة النوعية للتربة الطبيعية وللخليط.

المادة	الكثافة النوعية (Gs)
التربة الطبيعية (NS)	2.69
رمل الكسارة (SC)	2.66
تربة مع 10% رمل الكسارة	2.68

4. 2 اختبار الدمك

تم تطبيق اختبار الدمك القياسي Proctor على التربة الطبيعية والتربة المعالجة برمل الكسارة 10% SC من أجل تحديد الكثافة الجافة القصوى والقيم المثلى لمحتوى الماء. منحنيات Proctor للتربة الطبيعية والتربة المعالجة موضحة في الشكل 4.



الشكل 4. منحنيات الدمك القياسية للتربة الطبيعية ولخليط التربة المعالجة.

تم الحصول على أقصى كثافة جافة للتربة الطبيعية 1.68جم\سم³ وزادت إلى 1.80 جم\سم³ بعد إضافة 10٪ SC بينما انخفض المحتوى المائي الأمثل من 17% للتربة الطبيعية الي 15% لخيط 10% SC.

4. 3 اختبار نسبة تحمل كاليفورنيا CBR

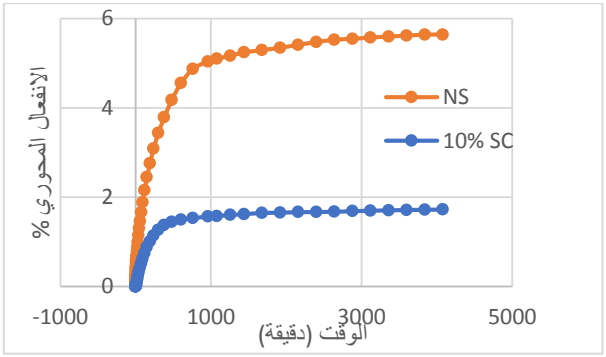
أجريت اختبارات CBR المغمورة على التربة الطبيعية والمعالجة. بلغت قيمة CBR للتربة الطبيعية 4.29٪ وازدادت بإضافة 10٪ من رمل الكسارة الي 4.57%. مع ملاحظة أن الزيادة لم تكن مهمة عند مقارنتها بقيم CBR للتربة الطبيعية. ويوضح الجدول 4 نتائج اختبار دمك بروكتر القياسي واختبار نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) للتربة الطبيعية وخليط 10% SC.

الجدول 4. نتائج اختبار دمك بروكتور القياسي واختبار نسبة تحمل كاليفورنيا.

المادة	الكثافة الجافة القصوى (g/cm3)	المحتوي المائي الامثل %	قيمة CBR %
التربة الطبيعية (NS)	1.68	17	4.29
خليط 10% (SC)	1.80	15	4.57

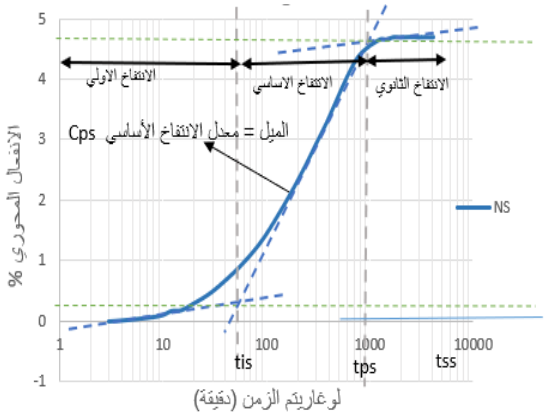
4. 4 الانتفاخ أحادي البعد

تم رسم علاقة الانفعال المحوري مقابل الزمن للحصول على امكانية الانتفاخ للتربة الطبيعية وخليط 10% SC. حيث كان مؤشر الانتفاخ للتربة الطبيعية 4.7% وتوصف هذا النوع من التربة انها تربة عالية الانتفاخ. تم تقليل مؤشر الانتفاخ الي 1.7% لخيط التربة 10% SC بنسبة تخفيض 63.82% ويوصف هذا المؤشر بان الخليط منخفض الانتفاخ. يوضح الشكل 5 منحنيات الانتفاخ للتربة الطبيعية والخليط المعالج برمال الكسارات.

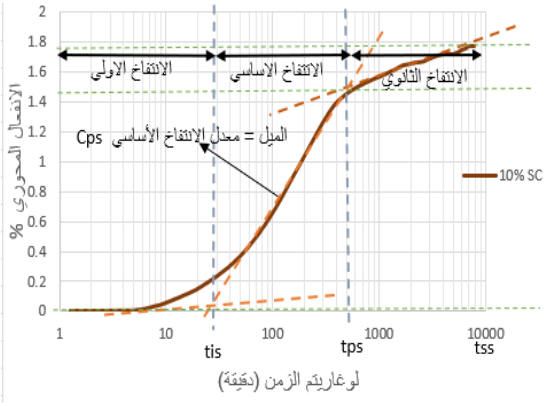


الشكل 5. منحنيات الانتفاخ للتربة الطبيعية والخليط المعالج برمل الكسارة 10% SC.

عند رسم منحنيات الانتفاخ وفقا للوغاريتم الزمن المبينة في الشكل 6 والشكل 7 ، وبناء علي هذه المنحنيات يمكن تحديد معاملات الانتفاخ للتربة الطبيعية وخليط التربة المعالجة برمل الكسارة المبينة في الجدول 5، حيث خفض زمن الانتفاخ الابتدائي initial swelling time (tis) من 60 دقيقة للتربة الطبيعية الي 30 دقيقة لخليط التربة المعالجة 10% SC ، وزمن الانتفاخ الاساسي time of primary swelling (tps) خفض من 990 دقيقة للتربة الطبيعية الي 490 دقيقة لخليط 10% SC بنسبة انخفاض 51.50%،معدل الانتفاخ الاساسي primary swelling rate (Cps) خفض من6.6 للتربة الطبيعية الي 3.05 لخيط التربة الطبيعية مع رمل الكسارة بنسبة 10%.



شكل 6 منحنى تطور الانتفاخ للتربة الطبيعية بمرور الوقت



شكل 7 منحنى تطور الانتفاخ للخليط المعالج برمل الكسارة 10% SC بمرور الوقت.

الجدول 5. معاملات الانتفاخ للتربة الطبيعية وخليط التربة المعالجة برمل الكسارة.

معلمات الانتفاخ	التربة الطبيعية (NS)	خليط 10% (SC)
مؤشر الانتفاخ (%SP)	4.7	1.7
زمن الانتفاخ الابتدائي (tis)(دقيقة)	60	30
زمن الانتفاخ الاساسي (Tps)(دقيقة)	990	490
معدل الانتفاخ الاساسي (Cps)	6.60	3.05

5. مناقشة النتائج

تعرض هذه الدراســة نتائج اختبارات معملية لاســتخدام رمل الكســارات في تحسين الخواص الجيوتقنية وتقليل سلوك الانتفاخ للتربة الطينية. الاستنتاجات التالية مستمدة من نتائج هذه الاختبارات.

I. ادت اضـــافة 10% من رمل الكســـارة SC الي خفض مؤشـــر اللـدونـة للتربـة الطبيعيـة من 31% للتربـة الطبيعيـة الي 23% لخليط التربة مع رمل الكسارة.

II. فيما يتعلق بخصـــائص الدمك القياســـي، اظهرت النتائج زيادة في الكثافة الجافة القصـــوى وخفض المحتوي المائي الامثل بإدراج 10% من SC الي التربة الطبيعية.

III. بإضافة 10٪ SC، تم تحسين قيمة CBR للعينات المغمورة.

IV. ادت اضـــافة 10% SC الي عينة التربة الطبيعية الي انخفاض كبير في امكـانيـة الانتفـاخ المحتمـل بنســـبـة 63.82%، ووقت الانتهاء من الانتفاخ الاســـاســـي primary swell potential المحتمل للتربة الطبيعية وهو المكون الرئيســـي للانتفاخ الكلي قد انخفض بنسبة 50.51%.

6.التوصيات

يمكن الاستنتاج أن استخدام نفايات الكسارات (رمل الكسارات) الناتجة من تكسير الاحجار في وحدات الكسارات تكون عامل استقرار للتربة الطينية الانتفاخية وتحسين من خواصها، وبأقل التكاليف، ونستنتج أيضا أنه بإضافة رمل الكسارة للتربة الطينية يقلل من كمية النفايات الناتجة من الكسارات وذلك عن طريق إعادة تدويرها. ولهذا نوصى بالتالي:

1. اســـتخدام هذه التقنية للهياكل خفيفة الوزن ولتثبيت قاعدة الطرق المصممة للأوزان الخفيفة والمتوسطة.
2. التحقق من متانة هذه التقنية مع مراعاة التأثيرات المناخية للتربة.
3. نوصى بإجراء دراسات وأبحاث أكثر تفصيلاً حول تأثير الأحجام والأشـــكال والنســـب المختلفة لنفايات الكســـارات من رمل ومادة ناعمة.

المراجع

[1] Satyanarayana P.V.V., Chandra K. L., Nandan T. H. and Gopala Raju S.S.S.V. (2013). "A Study on the Utilization of Recycled Aggregate and Crusher Dust Mixes as Sub-Base and Base Materials", International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), Vol 4, Issue 5, September – October, pp. 122-129, IAEM E, ISSN 0976 – 6308 (Print), ISSN 0976 – 6316 (Online).

[2] Naman Agarwal. (2015). Effect of Stone Dust on Some Geotechnical Properties of Soil, Journal of Mechanical and Civil Engineering, 2320-334X, Volume 12.

[3] Sonthwal, V., and Gaurav, S. (2016). Stabilization of Soil Reinforced with Quarry Dust, International Journal of Recent Trends in Engineering & Research (IJRTER) Volume 02, Issue 9; September - 2016 [ISSN: 2455-1457].

[4] Aditya, C., and Yadav, R. K. (2016). Effect of Quarry Dust on Index Properties of Black Cotton Soil, International Journal for Scientific Research & Development Vol. 4, Issue 02.

[5] Sitaram, J., and Purohit, D.G.M. (2017). Stabilization of Bentonite Soil with Stone Dust,
(IJRASET), ISSN: 2321-9653; IC Value: 45.98; Impact Factor 6.887, Volume 5. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology.

[6] Chen, F. H. (1995). Foundations on Expansive Soils, Elsevier Scientific Pub. Co., Amsterdam,

[7] Nelson, J. D. and Miller, D. J. (1992). Expansive soils, problems, and practice in foundation and pavement engineering, Wiley, New York.

[8] Ouhadi and A. R. Goodarzi. (2006). Assessment of the stability of a dispersive soil treated by alum, Engineering Geology, vol. 85.

[9] Akinwumi II, Booth CA (2015) Experimental insights of using waste marble fines to modify the geotechnical properties of a lateritic soil. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 23(2):121–128.