



## Study on the Effect of Delayed Field Compaction Duration on the Properties of Subgrade Soil in Road Construction

Haroun Edris Abushaiba <sup>1\*</sup>, Abdulbaset Abdulrhman <sup>2</sup>,

Mohamed Alnoairi <sup>3</sup>, Abdulmuttaleb Bin Salim <sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Misurata University,  
Misurata, Libya

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, College of Technical Sciences, Bani Walid, Libya

### دراسة تأثير مدة تأخير الدمك الموقعي على خصائص الأساس الحبيبي المفروش في مسار الطرق على التدرج الحبيبي للتربة

هارون إدريس أبوشييبه <sup>1\*</sup>، عبد الباسط عبد الرحمن <sup>2</sup>، محمد النعيري <sup>3</sup>، عبد المطلب بن سليم <sup>4</sup>  
<sup>1,3,4</sup> قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا  
<sup>2</sup> قسم الهندسة المدنية، كلية العلوم التقنية، بني وليد، ليبيا

\*Corresponding author: [haroun.abushaiba@eng.misuratau.edu.ly](mailto:haroun.abushaiba@eng.misuratau.edu.ly)

Received: January 04, 2026

Accepted: March 29, 2026

Published: April 18, 2026

#### Abstract:

This study discusses the evaluation of the physical and mechanical changes occurring in the unbound granular base layer due to prolonged exposure to weathering and traffic loading prior to the final compaction and asphalt covering. The research adopted a comparative methodology encompassing three main phases. It began with the characterization of the source material and verification of its compliance with standard specifications (ASTM D422, AASHTO T180) in terms of particle size distribution and mechanical properties. In the second phase, a notable deterioration in the soil's structural framework was observed after one year of being laid bare, where storm water runoff and vehicle movements caused the particle size distribution to deviate from the allowable design limits, accompanied by a tangible increase in the percentage of fine particles and loss of layer stability. In its third phase, the study moved to the practical side by treating the deteriorated soil and re-adjusting its gradation instead of fully replacing it. The results showed that the process of "gradation adjustment" by adding precise proportions of sand and coarse aggregate (1% sand, 1.5% coarse aggregate of size 20–30 mm, and 1% aggregate of size 0–5 mm) succeeded in bringing the gradation curve back within the specification limits. The study concluded that leaving base layers exposed leads to substantial changes in their properties, necessitating engineering re-adjustment. It recommended conducting periodic verification tests and adopting localized addition techniques as an economical and sustainable solution for restoring the design efficiency of the road.

**Keywords:** Granular base, particle size distribution, weathering, engineering readjustment, Proctor test, road sustainability.

#### المخلص

تناقش هذه الدراسة تقييم التغيرات الفيزيائية والميكانيكية التي تطرأ على طبقة الأساس الحبيبي (Unbound Granular Base) نتيجة تعرضها الطويل للعوامل الجوية وحركة السير قبل مرحلة الدمك النهائي والتغطية الإسفلتية. اعتمد البحث منهجية مقارنة شملت ثلاث مراحل أساسية؛ بدأت بتوصيف مادة المصدر وتأكيد مطابقتها للمواصفات القياسية (ASTM D422, AASHTO T180) من حيث التدرج الحبيبي والخصائص الميكانيكية. في المرحلة الثانية، تم رصد تدهور ملحوظ في الهيكل الإنشائي للتربة بعد مرور عام من الفرش، حيث أدت مياه السيول وحركة المركبات إلى خروج التدرج الحبيبي عن الحدود التصميمية المسموح بها، مع زيادة ملموسة في نسبة المواد الناعمة وفقدان استقرار الطبقة.

انتقلت الدراسة في مرحلتها الثالثة إلى الجانب التطبيقي من خلال معالجة التربة المتدهورة وإعادة ضبط تدرجها بدلاً من استبدالها بالكامل. أظهرت النتائج أن عملية "التعديل الحبيبي" عبر إضافة نسب دقيقة من الرمل والركام الخشن (بنسب 1% رمل، 1.5% من ركام بمقاس (20-30) مم وكذلك إضافة 1% ركام بمقاس (0 - 5) مم، نسب الإضافة هذه نجحت في إعادة منحني التدرج إلى نطاق المواصفة. خلصت الدراسة إلى أن ترك طبقات الأساس مكشوفة يؤدي إلى تغيرات جوهرية في خصائصها تستوجب إعادة الضبط الهندسي، وأوصت بضرورة إجراء اختبارات تحقق دورية واعتماد تقنيات الإضافة الموضوعية كحل اقتصادي ومستدام لاستعادة الكفاءة التصميمية للطريق.

**الكلمات المفتاحية:** الأساس الحبيبي، التدرج الحبيبي، العوامل الجوية، إعادة الضبط الهندسي، اختبار بروكتور، استدامة الطرق.

## 1. مقدمة

تُعدّ طبقات تربة الأساس الحبيبية من أهم المكونات في البنية التحتية للطريق، حيث تساهم بشكل مباشر في توزيع الأحمال المرورية على الطبقات السفلية ومنع تراكم الإجهادات. في حين أنّ بقاء هذه الطبقات مكشوفة لفترات زمنية طويلة قبل تغطيتها بالطبقات الإسفلتية النهائية، يجعلها عرضة للتأثر بالعوامل الجوية المتغيرة مثل الرطوبة، الأمطار، التغيرات الحرارية، ودورات الجفاف والرطوبة المتعاقبة. هذه الظروف تؤدي إلى تدهور في البنية الحبيبية للتربة، مما يعكس على خصائصها الميكانيكية الأساسية مثل الكثافة الجافة، النفاذية، وقابلية التحمل [1].

إن التغيرات في هذه الخصائص بفعل العوامل المناخية قد تؤدي إلى فقدان التربة لكفاءتها التصميمية الأصلية، مما يستدعي إعادة ضبطها قبل الشروع في استكمال طبقات الرصف اللاحقة. وفي هذا الصدد أشارت دراسات عدة إلى أنّ دورات البلل والجفاف تؤدي إلى انخفاض ملحوظ في الكثافة وزيادة نسبة الفراغات، الأمر الذي يتطلب معالجة فعالة لضمان استعادة الخصائص المطلوبة [2]. كما أنّ الفترات الطويلة من التعرض للعوامل الجوية يمكن أن تزيد من حساسية التربة تجاه الإجهادات الميكانيكية الناتجة عن حركة المعدات أثناء الإنشاء، مما يبرز الحاجة إلى إجراءات إعادة ضبط دقيقة [3].

تأخذ طبقات تربة الأساس الحبيبي دوراً أساسياً في توزيع الأحمال على طبقات الرصف السفلية، ومن ثم ضمان استقرار الطريق وكفائه على المدى الطويل. وقد أظهرت الأبحاث الحديثة أن تعرض هذه الطبقات للعوامل الجوية المختلفة — من أمطار ورياح وتقلبات حرارية ودورات البلل والجفاف — يؤثر بشكل مباشر على خصائصها الميكانيكية والهندسية الأساسية، بما في ذلك الكثافة الجافة، محتوى الرطوبة، التدرج الحبيبي، وقيمة CBR، فقد أظهرت دراسة أجريت في *Construction and Building Materials* عام 2021 أن دورات الجفاف — والبلل تؤدي إلى انخفاض ملموس في قيمة CBR وزيادة في نسب الفراغات في تربة الأساس الحبيبي، مما يجعل إعادة الدمك وحده غير كافي لاستعادة الخصائص التصميمية الأصلية [4]. وأكدت دراسة حالة منشورة في *Case Studies in Construction Materials* عام 2024 أن تكرار دورات البلل والجفاف يغير توزيع المواد الناعمة داخل الطبقة، ويؤثر في استقرار الهيكل الإنشائي لجسم تربة الأساس الحبيبي، ما يبرز أهمية قياس التدرج قبل وبعد التعرض للظروف الجوية قبل تحديد الحاجة لإجراءات إعادة الضبط الهندسي لمكونات الأساس الحبيبي [5].

كما بينت تقارير حديثة صادرة عن FHWA (2024-2025) أن منحني بروكتور للدمك (Moisture-Density curves) لتربة الأساس الحبيبي تتغير بعد تعرضها للعوامل الجوية، حيث يتحرك كل من محتوى الرطوبة الأمثل والكتلة الجافة القصوى عن القيم المصممة، مما يستدعي إعادة تقييم شروط الدمك قبل استكمال أعمال الرصف [6]. وفي سياق موازٍ، أظهرت مراجعة شاملة نشرت عام 2025 أن التدرج الحبيبي أن العوامل الأساسية التي تحدد استجابة طبقة الأساس الحبيبي للتغيرات البيئية؛ فالتغير في التدرج الناتج عن التعرض الطويل يزيد من حساسية التربة تجاه الرطوبة ويؤدي إلى انخفاض قدرة التحمل التصميمية لها [7].

من جانب آخر، أكدت دراسة نشرت في *Sustainability* عام 2022 أن زيادة محتوى الرطوبة عن القيمة الأمثل القريبة من نقطة الرطوبة المثلى تؤدي إلى انخفاض ملحوظ في مقاومة التربة الحبيبية (CBR)، بينما تبين أن الفترات الطويلة من التعرض للعوامل الجوية قد تؤدي أيضاً إلى تغير الكثافة الجافة ونسبة الفراغات، ما يتطلب إعادة الضبط وفق بروتوكولات محددة [8]. وأخيراً، أظهرت دراسات أخرى (2022-2025) أن تغير التدرج الحبيبي يؤثر في نفاذية الطبقة، ما يتطلب مراعاة هذه الخاصية عند تطبيق عمليات التجفيف أو إعادة الدمك، خاصة عند استخدام مواد معاد تدويرها أو خامات غير قياسية [9]–[11]، وفي هذه الدراسة سيتم تقييم تربة الأساس الحبيبي قبل وبعد فرشها في مسار طريق بعد تركها لمدة تقارب السنة الكاملة في المسار تعرضت فيها للظروف الجوية المختلفة ومن ثم إعادة ضبط تدرج تربة الأساس الحبيبي وتحسين خصائصها من جديد لضبط التدرج الحبيبي.

## 1. منهجية الدراسة:

تم تصميم الدراسة لتقييم وتحليل تأثير العوامل الزمنية والبيئية على خصائص تربة الأساس الحبيبي، وقد مرت الدراسة بثلاث مراحل متتابعة موضحة فيما يلي:

**المرحلة الأولى:** اختبارات تربة المصدر قبل الاستخدام وشملت مجموعة من الاختبارات الأساسية لتقييم صلاحية التوريد من المحجر إلى موقع التشوين من عدمه.

حيث تم جمع مجموعة من عينات تربة الأساس الحبيبي مباشرة من موقع التشوين للتربة الموردة من المحجر قبل استخدامها في الفرش في طبقة الأساس الحبيبي للطريق. واشتملت الاختبارات التي أقيمت على تربة الأساس الحبيبي قبل الاستخدام ما يلي:

### 1. التدرج الحبيبي (Sieve Analysis)

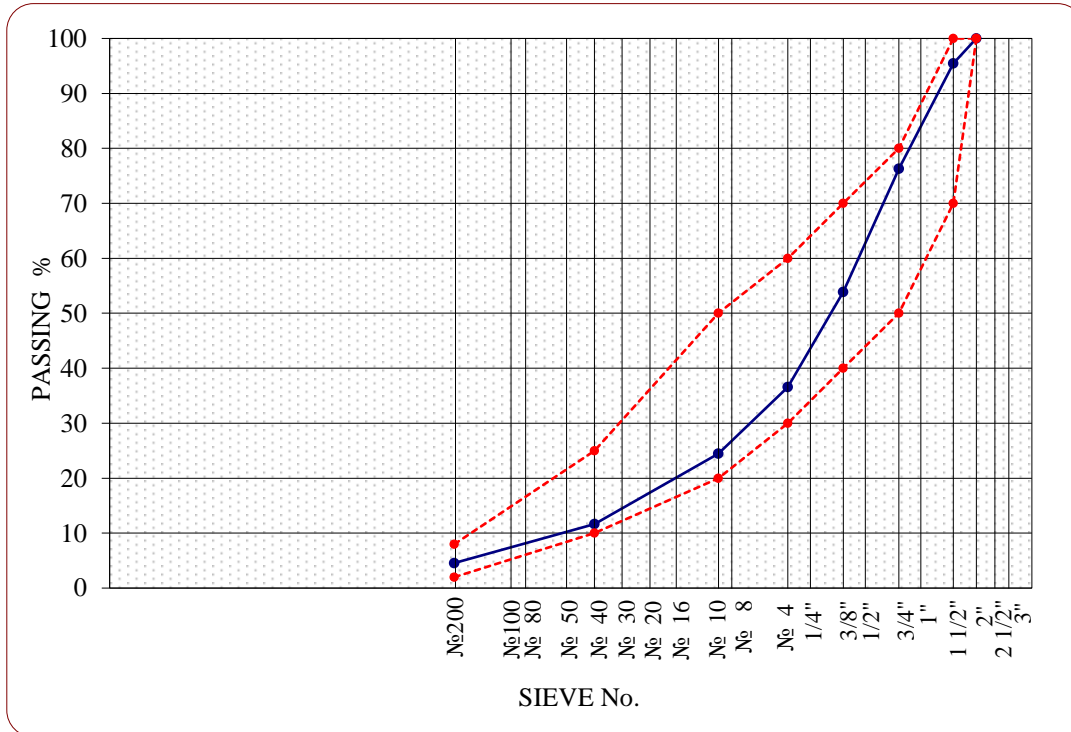
أجري هذا الاختبار وفقا للمواصفة [12] ASTM D422-63R07



شكل 1 القيام باختبار تدرج العينة من المحجر قبل التوريد

جدول (1) يوضح الأوزان المحجوزة والمارة على كل منخل لتربة الأساس الحبيبي من المصدر

Sieve	2	1 1/2	3/4	3/8	No 4	No 10	No 40	No 200	Pan
Retained	0.0	380.0	1601.0	1872.0	1442.0	1015.0	1069.0	590.0	371.0
Retained %	0.00	4.55	19.17	22.42	17.27	12.16	12.80	7.07	4.44
Passing %	100.0	95.45	76.28	53.86	36.59	24.43	11.63	4.56	0.12

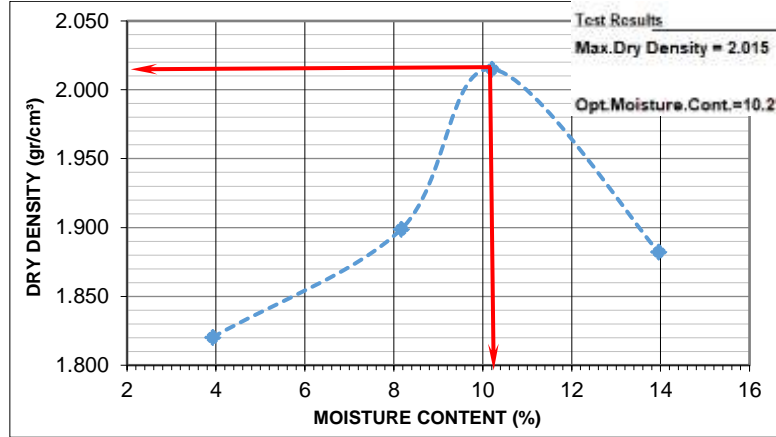


شكل (2) بين تدرج عينة الأساس الحبيبي قبل الفرش في مسار الطريق مقارنة بحدود المواصفة

يوضح الشكل (2) تدرج عينة تربة الأساس الحبيبي ووقوعها داخل حدود المواصفة مما يجعلها محققة للتدرج الحبيبي وفقا للمواصفة [12] ASTM D422-63R07.

## 2. اختبار البروكتور المعدل (Proctor Test):

وقد أجري هذا الاختبار وفقا للمواصفة [13] AASHTO T180-86 وقد هدف هذا الجزء من الدراسة إلى تحديد الخصائص الأساسية للتربة وتقييم مدى مطابقتها للمواصفات الفنية اللازمة لاستخدامها في أساس الطريق قبل البدء الفعلي في توريد التربة من المحجر.



شكل (3) اختبار بروكتور لتربة الأساس الحبيبي من المصدر قبل التوريد من المصدر.

## 3. اختبار نسبة تحميل كاليفورنيا (CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory):

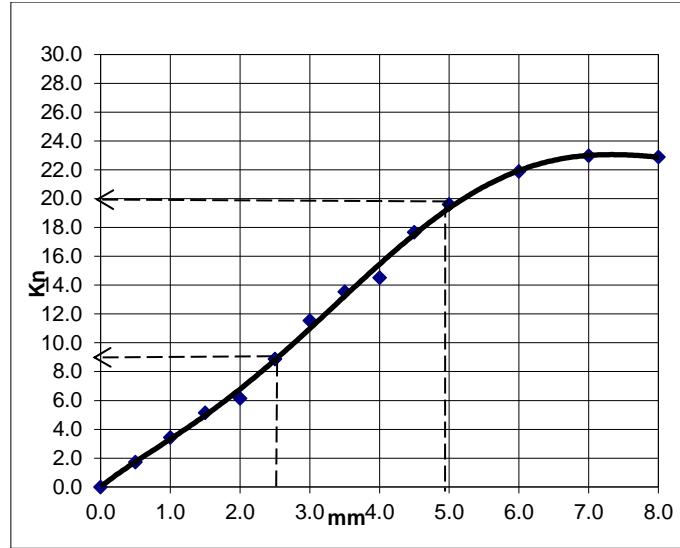
وقد أجري هذا الاختبار وفقا للمواصفة [14] ASTM D 1883

جدول (2) نتائج الاختبار لأحد العينات المأخوذة من المحجر قبل التوريد

Sample 1		
Number of layers		5
Blows per layer		56
Moisture	Before Soaking	10.16
Content	After Soaking	2.02
Dry	Before Soaking	2.022
Density	After Soaking	10.168
Surcharge at penetration (kg)		4.546

جدول (3) قيم الاختبار للعيينة من المصدر

Sample 1		
Penetration of piston	Load Dial	Penetration
	Reading	Force
mm	Mm	KN
0.0	0	0.00
0.5	71	1.72
1.0	142	3.44
1.5	213	5.15
2.0	254	6.15
2.5	367	8.88
3.0	477	11.54
3.5	560	13.55
4.0	600	14.52
4.5	730	17.67
5.0	810	19.60
6.0	905	21.90
7.0	950	22.99
8.0	946	22.89



شكل (4) منحنى اختبار تحميل كاليفورنيا لترتبة الأساس الحبيبي من المصدر

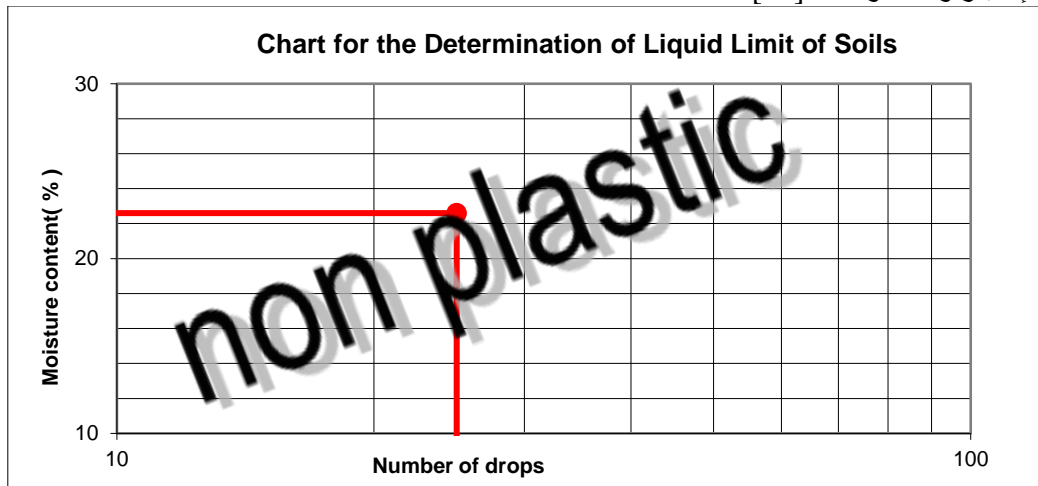
#### 4. اختبار لوس أنجلوس LOSS ANGELESS ABRASION TEST وقد أجري هذا الاختبار وفقا للمواصفة [15] ASTM C 131

جدول (4) نتيجة اختبار لوس أنجلوس

Fraction Size mm	passing	37.5 mm
	Retained	9.5 mm
Grade		B
Number Of Spheres		11
Number Of Revolutions		500
Original Weight - (g)		5000
Final Weight - (g)		3726
Loss Total Sample (%)		25.48

والنتيجة المتحصل عليها من اختبار لوس أنجلوس تعتبر مقبولة من ناحية استخدامها في مجال تأسيس الطرق وفقا لما تنص عليه المواصفات [15].

#### 5. اختبار Atterberg Limits Test أجري الإختبار وفقا للمواصفة [16] ASTM D 4318 – 93



شكل (5) اختبار حدود Atterberg لترتبة الأساس الحبيبي من المصدر

### المرحلة الثانية: تقييم تربة الأساس بعد التعرض للعوامل الجوية:

بعد مرور عام من فرش التربة في مسار الطريق، تم جمع عينات من تربة الأساس الحبيبي المفروشة في مسار الطريق لتقييم تأثير العوامل الجوية على خصائصها، والشكل (6) يبين غمر تربة الأساس الحبيبي بمياه السيول المحملة بالمواد الناعمة.

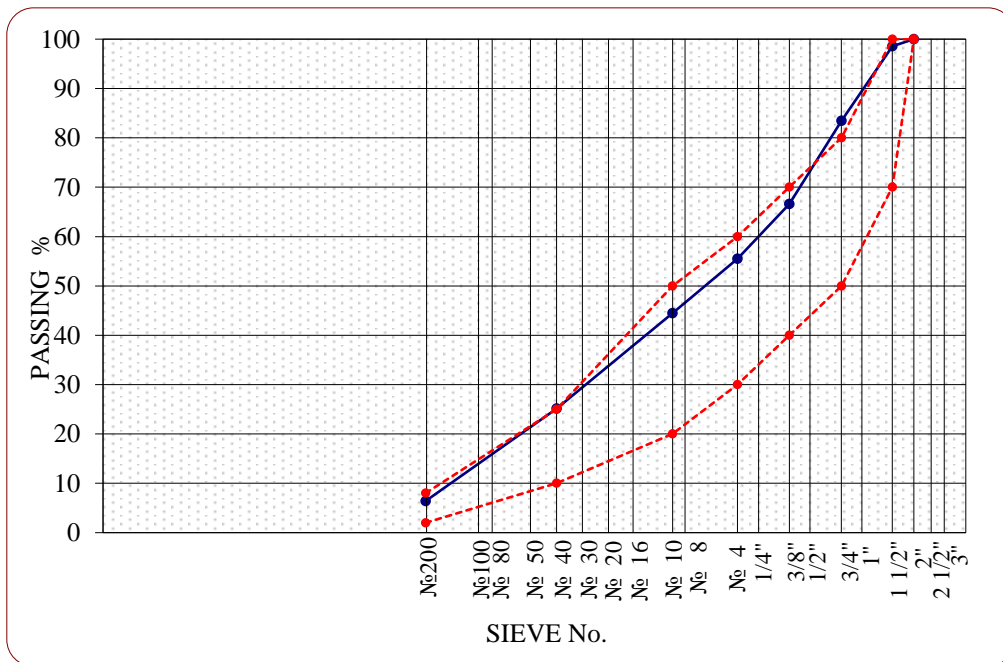


شكل (6) يبين تعرض تربة الأساس الحبيبي للغمر بمياه السيول

حيث أظهرت النتائج وجود تغيرات في بعض الخصائص ومنها: تغير التدرج الحبيبي وزيادة نسبة المواد الناعمة في تربة الأساس الحبيبي والشكل (7) يبين تدرج عينة تربة الأساس الحبيبي المأخوذة من مسار الطريق وذلك بعد مرور ما يقارب للسنة الكاملة دون أي دمك أو حماية من حركة السيارات عليها.

جدول (5) النسب المؤوية للتربة المحجوزة والمارة من المناخل لعينة تربة مأخوذة من مسار الطريق

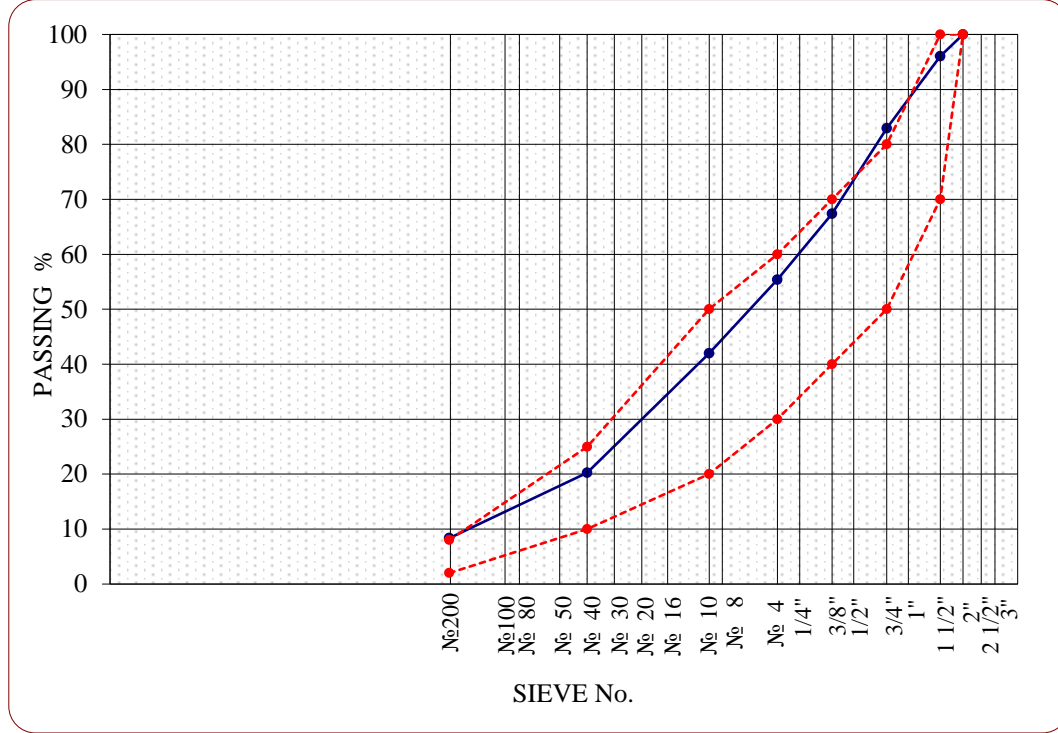
Sieve	جرام			8510	وزن العينة				
	2	1 1/2	3/4		No 4	No 10	No 40	No 200	Pan
Retained	0.0	120.0	1290.0	1435.0	940.0	940.0	1645.0	1595.0	536.0
Retained %	0.00	1.41	15.16	16.86	11.05	11.05	19.33	18.74	6.30
Passing %	100.0	98.59	83.43	66.57	55.52	44.48	25.15	6.40	0.1



شكل (7) يبين تدرج إحدى العينات المأخوذة من مسار الطريق

**جدول (6) النسب المؤوية للتربة المحجوزة والمارة من المناخل لعينة التربة الثانية المأخوذة من مسار الطريق**

Sieve	جرام			8500		وزن العينة			
	2	1 1/2	3/4	3/8	No 4	No 10	No 40	No 200	Pan
Retained	0.0	335.0	1115.0	1325.0	1020.0	1135.0	1850.0	1010.0	695.0
Retained %	0.00	3.94	13.12	15.59	12.00	13.35	21.76	11.88	8.18
Passing %	100.0	96.06	82.94	67.35	55.35	42.00	20.24	8.35	0.18



**شكل (8) يبين تدرج العينة الثانية المأخوذة من مسار الطريق**

حيث نلاحظ من خلال منحنيات التدرج خروج تدرج العينة عن حدود المواصفة عند المنخل (3/4") للعينات الموقعية مع قرب التدرج للحدود العليا للمواصفة في جميع المناخل الأخرى، ويعزى هذا التغير في تدرج تربة الأساس الحبيبي للطريق لعدة أسباب منها مرور السيارات على التربة الموجودة في الطريق قبل القيام بعملية الدمك لها، وكذلك تعرض طبقة التربة المفروشة في الطريق خلال هذه المدة إلى مياه الأمطار والسيول والرياح خلال المدة التي تركت فيها التربة في مسار الطريق بدون عملية دمك، حيث سببت مياه الأمطار إلى تجميع المواد الناعمة أثناء جريانها على جوانب الطريق. والشكل (9) يوضح البدء بأعمال إزالة تربة الأساس الحبيبي من مسار الطريق بعد تأثر التدرج الحبيبي للتربة بفعل العوامل الجوية.



**شكل (9) البدء بأعمال إزالة تربة الأساس الحبيبي من مسار الطريق**

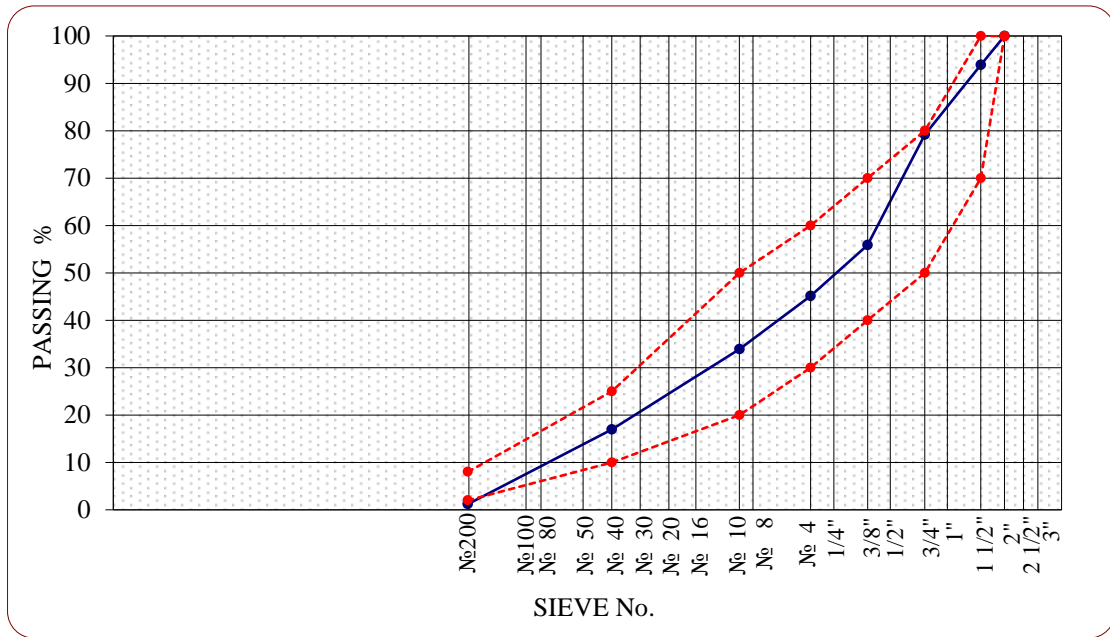
**المرحلة الثالثة:** تحسين خواص تربة الأساس الحبيبي بعد إزالتها من مسار الطريق: تمت إزالة التربة من مسار الطريق الموجودة به، وذلك لغرض دراسة إمكانية وطرق تحسين خصائصها وإعادة استخدامها من جديد، حيث ركز هذا البحث على إعادة ضبط تدرج تربة الأساس الحبيبي في المرحلة الأولى والتي مرت بعدة مراحل من ضبط التدرج على النحو التالي:

### 1. المحاولة الأولى من عملية ضبط تدرج العينة:

بناء على ما تحصلنا عليه من نتائج للتحليل المنخلي لتربة الأساس الحبيبي المزالة من مسار الطريق وجدنا أن التربة عند المناخل (No 200 , No 3/4) كانت نسبة المار منها كبيرة جداً، مما سبب في خروج منحنى التدرج من حدود المواصفة ASTM D422-63 عند المقاسين، عليه اقترح الباحث إضافة نسبة 1% من كمية الأساس الحبيبي للعينة المستخدمة لدراسة ضبط التدرج، حيث تمت عملية إضافة الرمل والخلط باستخدام الآلات في موقع التشوين بعد الإزالة من مسار العمل، حيث تم الخلط الجيد للرمل المضاف بالنسبة المذكورة ومن ثم أخذت عينة من هذه التربة لرسم منحنى التدرج الحبيبي. والجدول (7) والشكل (10) يبينان النتائج المتحصل عليها بعد المحاولة الأولى من عملية ضبط التدرج.

**جدول (7) النسب المؤوية للمار والمحجوز للتربة المزالة للمحاولة الأولى لضبط تدرج التربة المزالة من المسار**

وزن العينة		8400					جرام		
Sieve	2	1 1/2	3/4	3/8	No 4	No 10	No 40	No 200	Pan
Retained	0.0	515.0	1235.0	1955.0	905.0	940.0	1425.0	1325.0	95.0
Retained %	0.00	6.13	14.70	23.27	10.77	11.19	16.96	15.77	1.13
Passing %	100.0	93.87	79.17	55.89	45.12	33.93	16.96	1.19	0.06



**شكل (10) تدرج العينة بعد المحاولة الأولى لضبط التدرج**

### 1. المحاولة الثانية من ضبط التدرج:

في هذه المحاولة تمت إضافة نسبة 1% رمل مع 1.5% من ركام بمقاس يتراوح من (20 – 30) مم ومن ثم إضافة نسبة 1% من (0-5) مم وبعدها تم الخلط والتقليب الجيد لعينة المحاولة الثانية وقد أخذت عينة من هذا التعديل لتحديد مدى مطابقته لحدود مواصفة التدرج.



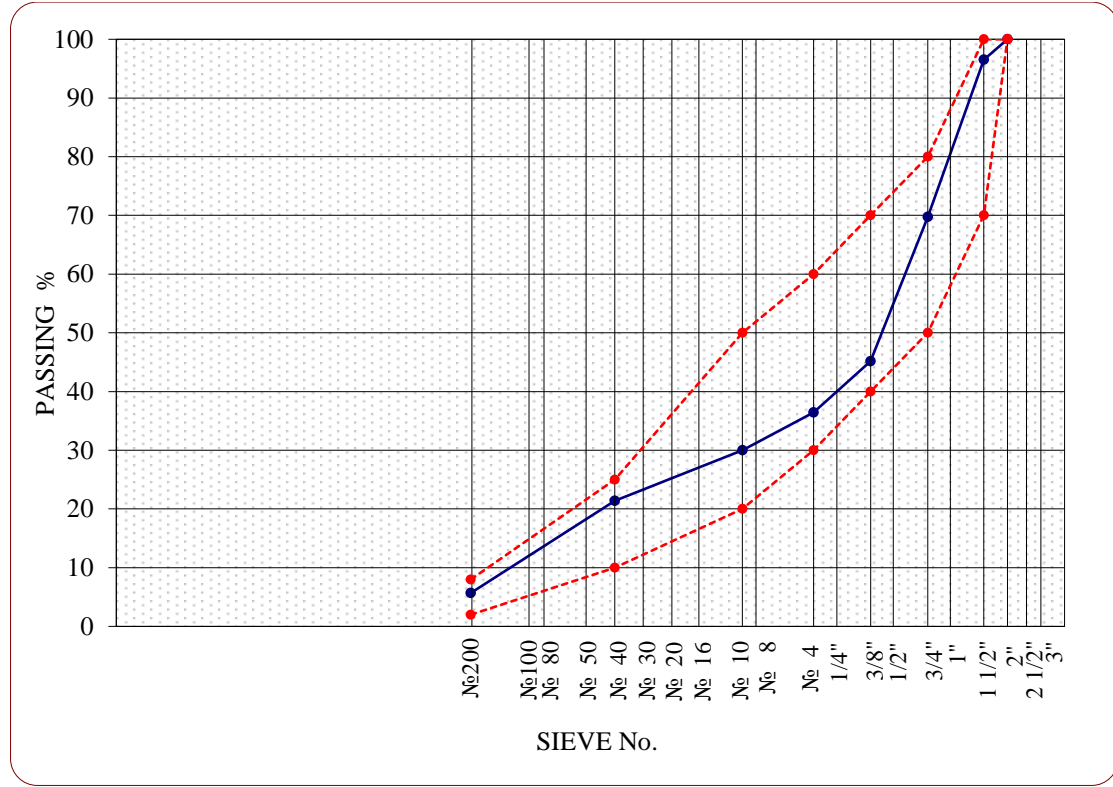
شكل (11) جزء من عملية الخلط وضبط التدرج في موقع التشوين



شكل (12) تجهيز العينة للقيام بالتحليل المنخل عليها

حيث أدرجت نتائج التحليل المنخلي في الجدول (8) ومنحنى التدرج الحبيبي في الشكل (13) جدول (8) النسب المؤوية للمار والمحجوز للتربة المزالة للمحاولة الثانية لضبط تدرج التربة المزالة من المسار

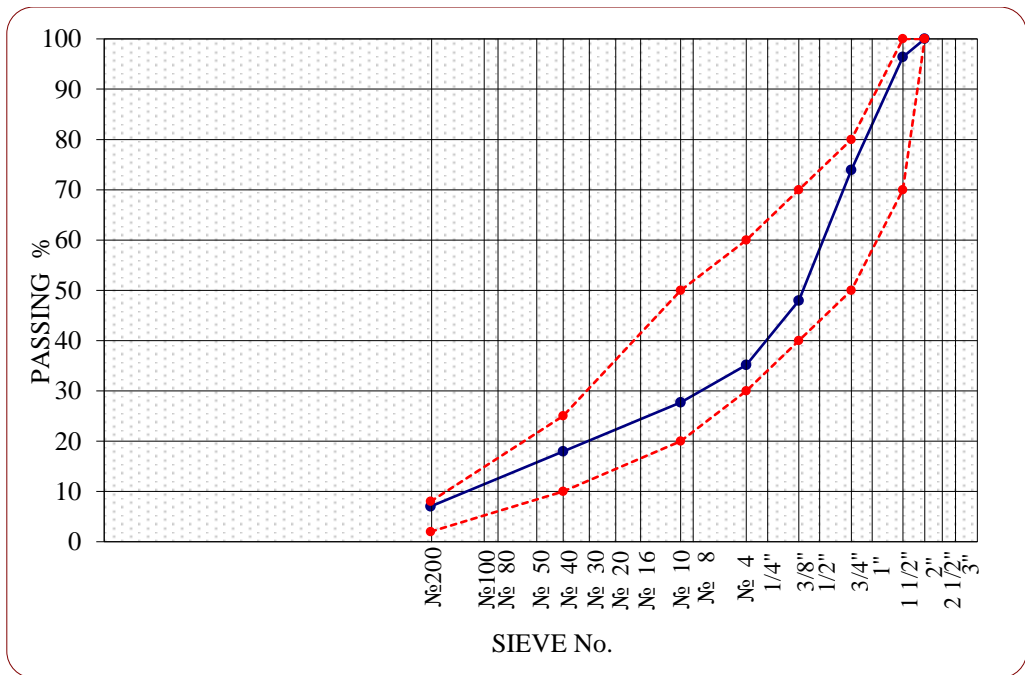
Sieve	8430					وزن العينة			
	2	1 1/2	3/4	3/8	No 4	No 10	No 40	No 200	Pan
Retained	0.0	295.0	2255.0	2075.0	735.0	540.0	725.0	1325.0	475.0
Retained %	0.00	3.50	26.75	24.61	8.72	6.41	8.60	15.72	5.63
Passing %	100.0	96.50	69.75	45.14	36.42	30.01	21.41	5.69	0.06



شكل (13) تدرج العينة بعد المحاولة الثانية لضبط التدرج

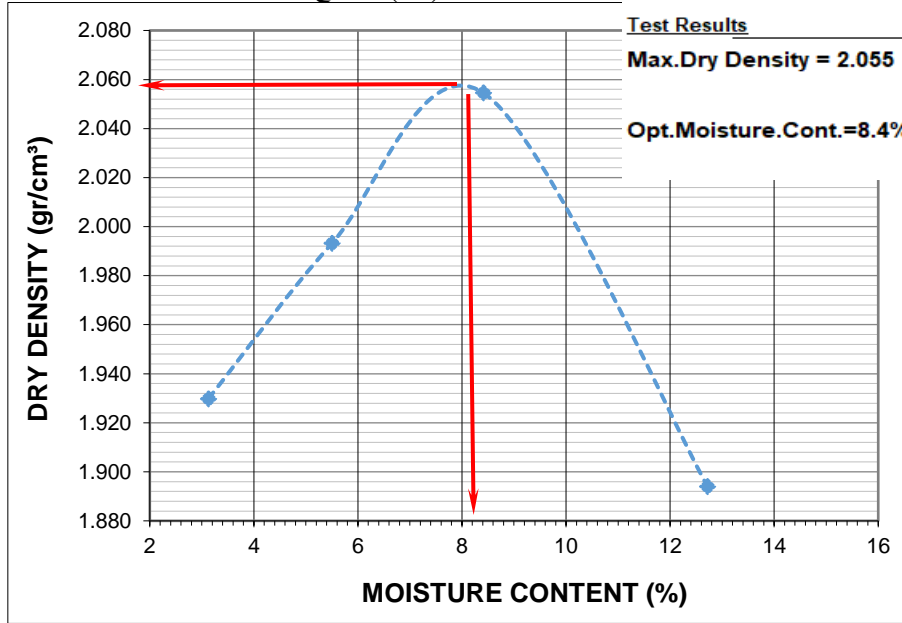
جدول (9) النسب المؤوية للمار والمحجوز للتربة المزالة للمحاولة الثالثة لضبط تدرج التربة المزالة من المسار

Sieve	وزن العينة								
	2	1 1/2	3/4	3/8	No 4	No 10	No 40	No 200	Pan
Retained	0.0	385.0	2415.0	2795.0	1375.0	800.0	1050.0	1175.0	750.0
Retained %	0.00	3.58	22.47	26.00	12.79	7.44	9.77	10.93	6.98
Passing %	100.0	96.42	73.95	47.95	35.16	27.72	17.95	7.02	0.05



شكل (14) تدرج العينة بعد المحاولة الثالثة والنهائية لضبط التدرج للتربة

وبعد عدة محاولات من ضبط تدرج تربة الأساس الحبيبي في موقع التشوين بعد الإزالة من مسار الطريق تم القيام باختبار بروكتور للمدك المعدل لتحديد أقصى كثافة جافة معملية والشكل (15) يوضح ذلك:



شكل (15) منحنى المدك القياسي لتربة الأساس الحبيبي بعد ضبط التدرج

#### 1. النتائج والمناقشة (Results and Discussion)

أظهرت نتائج الاختبارات المعملية والموقعية التي أجريت بعد مرور عام من تعرض الطبقة للعوامل الجوية أن عينات التربة المأخوذة من الموقع قد سجلت انحرافاً عن حدود المواصفة القياسية [12]، وتحديدًا عند المنخل رقم (3/4)، حيث تسببت حركة المعدات ودورات الجفاف والبلل في تفنتت الحبيبات وزيادة نسبة المواد الناعمة، وهو ما يتفق مع ما أشارت إليه الدراسات حول تأثير العوامل المناخية على استقرار البنية الحبيبية [4]. كما وأنه من خلال المحاولات الثلاث لإعادة ضبط التدرج، أثبتت المحاولة الثالثة (إضافة مزيج من الركام الخشن والناعم) نجاحاً كبيراً في إعادة تأهيل منحنى التدرج الحبيبي إلى داخل النطاق التصميمي المعتمد، مما أدى بالتبعية إلى تحسين قيم الكثافة الجافة القصوى عند إعادة اختبار بروكتور [13].

#### 4. الخلاصة (Conclusions)

إن بقاء طبقة الأساس الحبيبي مكشوفة لفترات طويلة يؤدي إلى تغير في خصائصها الفيزيائية نتيجة عوامل "التجوية" الميكانيكية والكيميائية، مما يؤثر على كفاءة توزيع الأحمال [1]، كما أنه لا تكفي عملية إعادة المدك (Re-compaction) وحدها بمعالجة الخلل إذا حدث خلل كبير في التدرج؛ بل يجب إجراء تصحيح حبيبي (Soil Stabilization/Grading) لضمان استعادة الهيكل الإنشائي السليم للطبقة [9]، في حين أثبتت التجارب أن دورات الرطوبة المتعاقبة تزيد من حساسية التربة للإجهادات، مما يقلل من جساءة وقوة تربة الأساس الحبيبي ما لم يتم حمايتها بطبقة عازلة في الوقت المناسب [12].

#### 5. التوصيات (Recommendations)

وبناءً على ما توصلت إليه الدراسة فإنه يجب تقليص الفارق الزمني بين فرش طبقة الأساس الحبيبي وعملية التسوية والمدك النهائي والقيام برش مادة التشريب عليها يعطي الطبقة حماية أفضل من تركها مفروشة في مسار الطريق بدون دمك ومعرضة لحركة المركبات الآلية، وفي حال توقف العمل لمدة تتجاوز 6 أشهر، يجب إلزام المقاول بإعادة إجراء اختبارات التدرج الحبيبي واختبار بروكتور المعدل وفقاً للمواصفة AASHTO T180 [13] قبل السماح له القيام بالمدك النهائي للتربة مع القيام بضبط تدرج الركام كحل تقني بديل وغير مكلف بدلاً من استبدال كامل التربة، بشرط القيام بالخلط المتجانس في موقع العمل.

#### Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

## قائمة المراجع:

- [1] M. Tarefder, S. Nazarian, and K. R. Maser, "Impact of Environmental Exposure on Unbound Granular Base Materials," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 20, no. 9, pp. 617–624, Sep. 2008, doi: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:9(617).
- [2] T. Vennapusa and M. White, "Influence of Moisture and Freeze–Thaw Cycles on Resilient Modulus of Subgrade Soils," *Transp. Res. Rec.*, vol. 2101, no. 1, pp. 101–107, Jan. 2009, doi: 10.3141/2101-12.
- [3] A. J. Puppala, S. S. C. Congress, S. Saride, and B. C. S. Chittoori, "Long-term Performance of Unbound Granular Layers in Roadway Sections," *Constr. Build. Mater.*, vol. 147, pp. 132–142, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.103
- [4] S. Arshad, J. Ahmad, M. J. Munir, and S. M. S. Kazmi, "The Effect of Weathering on the Engineering Properties of Laboratory Compacted Unbound Granular Materials," *Constr. Build. Mater.*, vol. 288, p. 123044, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123044.
- [5] A. Al-Swaidani and S. Al-Rashed, "Effect of Wetting and Drying Cycles on CBR and Related Properties of Unbound Granular Materials," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 20, p. e02742, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.cscm.2023.e02742.
- [6] Federal Highway Administration, "TechBrief: Modulus-Based Construction Specification for Compacted Geomaterials," FHWA-HIF-17-046, 2017. [Online]. Available: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/>
- [7] A. G. Gkyrtis, A. F. Armeni, and A. Loizos, "Resilient Modulus of Unbound Granular Materials for Pavement Design: A Review," *Transp. Geotech.*, vol. 44, p. 101168, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.trgeo.2023.101168.
- [8] S. Ullah, J. Xie, J. S. Ahmed, and M. Y. Khan, "Effect of Moisture Variation and Gradation on the Resilient Modulus of Unbound Granular Materials," *Sustainability*, vol. 14, no. 19, p. 12513, Sep. 2022, doi: 10.3390/su141912513.
- [9] S. N. Osuji and I. C. Onuoha, "Effect of Particle Distribution on Permeability of the Base Coarse," *Am. J. Eng. Res. (AJER)*, vol. 12, no. 5, pp. 64–71, May 2023. [Online]. Available: [www.ajer.org](http://www.ajer.org)
- [10] A. Solanki and L. Zaman, "Effect of Freeze–Thaw and Wetting–Drying Cycles on the CBR and Shear Strength of Granular Soils," *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 23, no. 8, pp. 2715–2727, Jun. 2022, doi: 10.1080/10298436.2020.1864506.
- [11] M. A. Saleem, M. N. Amin, and K. Khan, "Recent Advances and Applied Studies on Recycled Coarse Aggregates (RCA) Under Environmental Exposure: A Comprehensive Review," *Constr. Build. Mater.*, vol. 411, p. 134321, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.134321.
- [12] ASTM D422-63R07, "Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007.
- [13] American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) Drop, AASHTO Designation: T180-86, Washington, D.C., USA, 1986.
- [14] ASTM International, Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils, ASTM D1883-21, West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2021.
- [15] ASTM International, "ASTM C131/C131M-20: Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine," ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2020.
- [16] ASTM International, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM D4318-93, West Conshohocken, PA, USA, 1993.

**Disclaimer/Publisher's Note:** The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of AJAPAS and/or the editor(s). AJAPAS and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.