

Lớp vật liệu đắp K98 bằng vật liệu gia cố tro bay - xi măng trong xây dựng công trình giao thông

Capping stabilized layer with fly ash and portland cement in transportation infrastructure construction

> PGS.TS NGUYỄN THANH SANG^{1*}, TS TRẦN NGỌC HUY², TS BÙI TUẤN ANH³, TS THÁI MINH QUÂN¹

¹Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Giao thông vận tải; *Email: nguyenthansang@utc.edu.vn

²Viện Khoa học và Công nghệ Giao thông vận tải

³Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông vận tải

TÓM TẮT

Hiện nay, móng mặt đường K98 bằng vật liệu truyền thống là đất chọn lọc cho xây dựng đường tại khu vực phía Nam là rất khan hiếm. Nhiều công trình trọng điểm bị chậm tiến độ do không tìm ra được nguồn vật liệu thay thế cát sông và cấp phối đá dăm đạt yêu cầu để làm móng mặt đường. Để khắc phục điều đó, việc sử dụng cát đỏ, tro đáy thay thế cát sông và cấp phối đá dăm tạo ra các lớp móng cứng là một giải pháp tiềm năng. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu chế tạo các thành phần cấp phối tro bay, tro đáy, cát đỏ tại một số địa phương ở khu vực miền phía Nam dùng để làm móng mặt đường ô tô. Kết quả nghiên cứu cho thấy, các chỉ tiêu kỹ thuật như: Cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ và mô-đun đàn hồi đáp ứng các yêu cầu cần thiết theo tiêu chuẩn hiện hành để làm lớp subgrade của mặt đường. Hơn nữa, giải pháp sử dụng cát đỏ, tro đáy, tro bay có thể giảm chi phí xây dựng và cung cấp vật liệu kịp thời đảm bảo tiến độ xây dựng công trình.

Từ khóa: Tro đáy, tro bay, cát đỏ, móng mặt đường, xây dựng đường.

ABSTRACT

Currently, traditional pavement subgrade materials, such as selected soil used for road construction in the southern region. Many key infrastructure projects have been delayed because no suitable replacement materials for river sand and crushed stone aggregate could be found for pavement base construction. This article presents the results, utilizing red sand and bottom ash as substitutes for river sand and selected soil to form rigid subgrade layers is a promising solution. This paper presents the research findings on the composition of fly ash, bottom ash and red sand aggregates sourced from various locations in the southern region for use as pavement base materials. The research results indicate that key technical criteria, such as compressive strength, splitting tensile strength and elastic modulus, meet the necessary requirements of current standards for use in subgrade layers of pavements. Furthermore, the proposed solution of using red sand, bottom ash and fly ash can reduce construction costs and ensure timely material supply, helping maintain project schedules.

Keywords: Bottom ash, fly ash, red sand, pavement subgrade, road construction.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay ở Việt Nam, khối lượng vật liệu cần thiết để làm lớp móng đường K98 là rất lớn khoảng 2 tỷ m³. Vật liệu lớp móng đường K98 là vật liệu chọn lọc và hiện nay đang khan hiếm trong xây dựng đường. Trong khi đó, vật liệu chất thải công nghiệp tro bay, tro đáy còn tồn dư trữ lượng lớn theo số liệu tổng hợp từ các tập đoàn: EVN, PVN, TKV và các nhà máy nhiệt điện khác, hiện cả nước có 31 nhà máy nhiệt điện đốt than đang hoạt động. Năm 2024, tổng lượng tro, xỉ phát thải từ các nhà máy nhiệt điện trên cả nước khoảng hơn 19 triệu tấn, tăng hơn so với năm 2023 (năm 2023 là 18,07 triệu tấn). Lượng phát thải tập trung chủ yếu ở khu vực miền Bắc - hơn 12 triệu tấn, chiếm 66%; miền Trung gần 5 triệu tấn, chiếm 22,7% và miền Nam khoảng gần 2 triệu tấn, chiếm 11,3% tổng lượng thải. Lượng tro, xỉ phát thải từ 4 nhóm chủ đầu tư như sau: 12 nhà máy nhiệt điện của Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN) là 7,6 triệu tấn, chiếm 39,3% tổng lượng phát thải của cả nước; 6 nhà máy của Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) là 2,7 triệu

tấn, chiếm 14%; 3 nhà máy của Tập đoàn Dầu khí Việt Nam (PVN) là 2 triệu tấn, chiếm khoảng 10%; 10 nhà máy còn lại (BOT và các chủ đầu tư khác) phát thải khoảng 7 triệu tấn, chiếm 36,7% [1]. Khi đó, Thủ tướng Chính phủ đưa ra Chỉ thị 08/CT-TTg năm 2021 về việc triển khai các nhiệm vụ khoa học và công nghệ cấp tỉnh về nghiên cứu sử dụng tro, xỉ, thạch cao làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng và sử dụng trong công trình xây dựng [2]. Trung tâm Nhiệt điện Vĩnh Tân nằm trên khu vực xã Vĩnh Tân, huyện Tuy Phong, tỉnh Bình Thuận, tổng thể có 5 nhà máy nhiệt điện, trong đó có 1 nhà máy nhiệt điện mở rộng, công suất của mỗi nhà máy là 1.200 MW và công suất của nhà máy mở rộng là 600 MW, như vậy tổng công suất của toàn khu nhiệt điện gần 5,4 GW. Lượng tro xỉ thải ra hàng ngày nếu tất cả các nhà máy cùng đưa vào hoạt động là khoảng 15.000 tấn/1 ngày cần thể tích chiếm dụng là 17.000 m³ để chứa, lượng xả thải này là quá lớn. Hiện nay, bãi thải xỉ riêng của Nhà máy Vĩnh Tân 2 của khu Nhiệt điện Vĩnh Tân được đắp đê bao đến cốt cao độ là 27 m, trên diện tích khoảng 35 ha, cơ bản nay đã quá tải và sắp hết chỗ chứa. Các bãi

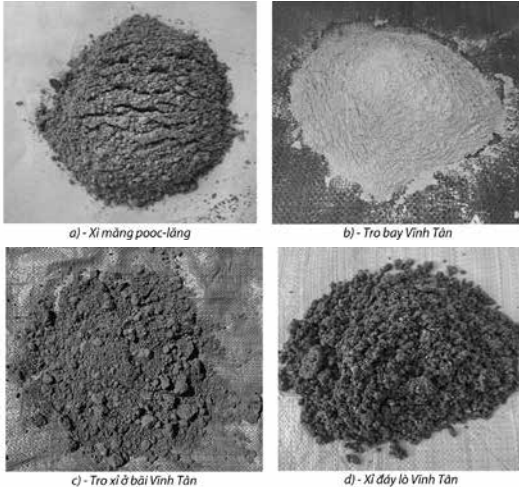
thải xỉ của các nhà máy khác đang xây dựng ở khu vực bên cạnh các nhà máy và cần một diện tích rất lớn (khoảng 100 ha).

Tro đáy, tro bay sản phẩm phụ của các nhà máy nhiệt điện cũng được sử dụng trong bê tông và móng đường. Mỹ sử dụng vật liệu gia cố tro bay vôi từ năm 1950 đến 1960, nay vẫn ổn định sau nhiều năm, và vật liệu tro xỉ gia cố bằng xi măng dùng cho các bãi đỗ xe và đường chịu tải trọng nặng. Trước năm 2000, các tiêu chuẩn các nước châu Âu như STAS 10473, năm 2002 xuất bản tiêu chuẩn chung châu Âu ENV 13282, năm 2004 nghiên cứu của Bin-Shafique và cộng sự bắt đầu kết hợp tro bay để làm lớp gia cố, 2010 tiêu chuẩn Ấn Độ IRC:SP:89 hướng dẫn vật liệu móng đường có tro bay [4], 2015 tiêu chuẩn Trung Quốc JTG/T F20 về móng cho đường bộ, EN 14227-4:2015 về móng đường tro bay. Vật liệu móng K98 không được từ vật liệu chọn lọc có thể tạo khối cứng bằng cách gia cố vôi hoặc xi măng nhất là khi sử dụng cốt liệu là tro xỉ. Theo đó, nghiên cứu kết hợp đồng thời tro bay, tro đáy, cát đỏ và xi măng làm lớp vật liệu móng mặt đường K98 là một hướng nghiên cứu tiềm năng để tận dụng nguồn vật liệu sẵn có, giảm chi phí xây dựng và bảo vệ môi trường.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Lớp vật liệu gia cố xi măng làm móng mặt đường K98

Các vật liệu đầu vào như cốt liệu, tro đáy, tro bay, xi măng pooc-lăng như Hình 1 để chế tạo mẫu CBR tiêu chuẩn sử dụng trong các thí nghiệm đo chỉ tiêu cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ và mô-đun đàn hồi.



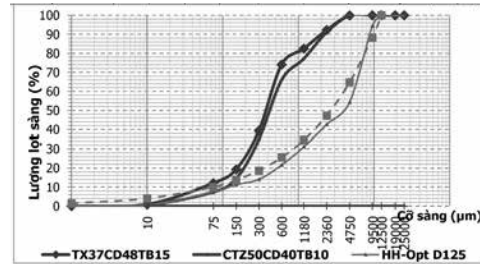
Hình 1. Vật liệu chế tạo lớp vật liệu K98 gia cố xi măng-tro bay

2.2. Thiết kế thành phần cấp phối các hỗn hợp vật liệu gia cố xi măng-tro bay

Dựa vào chỉ tiêu cơ lý, thành phần hạt của tro đáy, cát đỏ và chất kết dính xi măng, tro bay mà thành phần cấp phối theo tỉ lệ hợp lý theo Tiêu chuẩn TCVN 12792:2020 [8] đã thiết kế các cấp phối trình bày chi tiết trong Bảng 2. Nguyên tắc thiết kế như sau: Hỗn hợp coi là cốt liệu bao gồm tro đáy, cát nghiền và sỏi, đá 5 - 10 Tazon, cát đỏ, tro bay được coi là cốt liệu cho hỗn hợp, hỗn hợp cốt liệu được dựa vào nguyên lý tốt nhất của đường cong cấp phối Fuller đối với các cỡ hạt quy định đây gồm có cỡ hạt loại D4,75 mm và D12,5 mm tỷ lệ lựa chọn tối ưu cho từng cấp phối được thiết kế trong Bảng 2.

Bảng 2. Các cấp phối cho 1 m³ vật liệu gia cố để làm lớp K98

Tên cấp phối	% XM	% Cát Tà Zôn	% Tro đáy	% Cát đỏ	% Đá 5-10 TZ	% Tro bay	KLTT CKD gia cố	CBR (chưa gia cố XM (%))	Độ ẩm tối ưu (%)
TX37CD48TB15	3	0	37	48	0	15	1.759	29,5	9,2
CTZ50CD40TB10	3	50	0	40	0	10	2.124	42,8	5,68
HH-OptD125	3	0	45	0	58	11	2.219	56,8	5,13



Hình 2. Cấp phối hỗn hợp cốt liệu lựa chọn tối ưu làm lớp K98

2.3. Chế bị mẫu để xác định các chỉ tiêu kỹ thuật vật liệu K98

Các mẫu chế tạo CBR thực hiện theo Tiêu chuẩn TCVN 12792:2020 [8] với tổng cộng 3 cấp phối đã tối ưu về thành phần hạt, các mẫu được bảo dưỡng theo đúng quy trình.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ của vật liệu gia cố làm lớp K98

Để đánh giá cường độ của lớp vật liệu gia cố xi măng và tro bay dùng giá trị cường độ đặc trưng theo công thức sau:

$$R_{dt} = R_{tb} (1 - Z_{\alpha} \cdot C_v) \quad (1)$$

Trong đó: R_{dt} - Giá trị cường độ đặc trưng; R_{tb} - Cường độ trung bình của lô mẫu; Z_{α} =1,645 ứng với xác suất đạt yêu cầu 95% áp dụng cho đường cao tốc, đường cấp I, Z_{α} =1,282 ứng với xác suất đạt yêu cầu 90% áp dụng cho đường cấp II trở xuống. C_v - Hệ số biến động cường độ của lô mẫu thử nghiệm, hệ số biến động cường độ của vật liệu gia cố có thể lấy từ 10%~15%. Cường độ đặc trưng lớn hơn giá trị quy định trong tiêu chuẩn $R_{dt} \geq [R]$ ([R] - Giá trị cường độ quy định trong tiêu chuẩn hiện hành).

3.2. Cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ

Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ trên mẫu CBR tiêu chuẩn theo TCVN 8858:2023 [10] trình bày trong Bảng 3 và Hình 3, Hình 4 cho cấp phối cát đỏ-tro đáy gia cố xi măng. Trường hợp này vật liệu gia cố dùng riêng xi măng pooc-lăng được không dùng thêm tro bay.

Có hai loại cấp phối là cỡ hạt nhỏ từ 4,75 mm trở xuống bao gồm có hỗn hợp: Tro đáy nhiệt điện, cát đỏ và tro bay nhiệt điện Vĩnh Tân (TX37CD48TB15); cát nghiền Tazon, cát đỏ và tro bay nhiệt điện Vĩnh Tân (CTZ50CD40TB10) và HH-Opt D125 là hỗn hợp bao gồm đá 5-10, tro đáy nhiệt điện và tro bay nhiệt điện Vĩnh Tân. Các hỗn hợp được lựa chọn sao cho gần với đường cong Fuller nhất với từng cỡ hạt bằng phương pháp tính toán tối ưu tương tự như thiết kế cấp phối cho bê tông Asphalt; HH-Opt D125 thỏa mãn điều kiện cấp phối để làm lớp vật liệu móng kết cấu mặt đường. Các kết quả thí nghiệm được trình bày trong Bảng 3, cường độ được đo là chịu nén, ép chẻ và mô-đun đàn hồi.

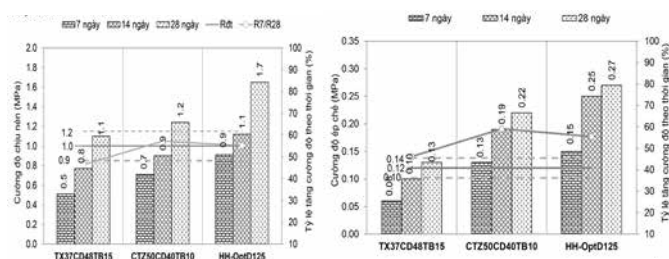
Bảng 3. Kết quả một số thử nghiệm của các hỗn hợp gia cố xi măng-tro bay

Tên cấp phối	R_{n7}	R_{n14}	R_{n28}	R_{ec7}	R_{ec14}	R_{ec28}	E_{28}	R_{n7}/R_{n28}	R_{ec7}/R_{ec28}
TX37CD48TB15	0,51	0,77	1,11	0,06	0,10	0,14	156	46	55
CTZ50CD40TB10	0,71	0,90	1,24	0,13	0,19	0,22	302	57	59
HH-OptD125	0,91	1,12	1,76	0,15	0,25	0,27	645	55	56

Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén, cường độ ép chẻ trên mẫu CBR tiêu chuẩn theo TCVN 10186:2014 [10] trình bày trong Bảng 3 và Hình 3, Hình 4 cho cấp phối vật liệu làm móng mặt đường K98 gia cố xi măng và tro bay. Hệ chất kết dính thông

thường dùng cho gia cố tro bay là xi măng, tro bay Vĩnh Tân thuộc loại F, để tạo ra liên kết cho hỗn hợp cấp phối tối ưu về thành phần hạt của các vật liệu thải từ nhà máy nhiệt điện. Các kết quả cường độ chịu nén, cường độ ép chèn được xác định ở tuổi 7 ngày, 14 ngày và 28 ngày theo TCVN quy định nhưng có xét đến ngày sớm là tuổi 7 ngày, tuổi 14 ngày dùng cho đánh giá tương tự như lớp cấp phối đá dăm gia cố xi măng, còn tuổi 28 ngày là tuổi dùng cho móng cát gia cố xi măng. Do trong hỗn hợp lượng tro bay lớn nhất là tro bay được xem là một phần cốt liệu của hỗn hợp vật liệu đắp K98, do đó tuổi đánh giá lấy là 28 ngày.

Giá trị cường độ đặc trưng ở công thức (1) dùng làm giá trị đánh giá đối với các vật liệu K98 gia cố xi măng và tro bay này, tương tự như bê tông xi măng, trong đó hệ số $Z_a=1,282$ ứng với xác suất đạt yêu cầu 90% áp dụng cho đường cấp II trở xuống và biến động cường độ của vật liệu K98 lấy bằng 15%. Đây cũng là một điểm mới trong quan điểm đánh giá xác suất thống kê theo các tiêu chuẩn trên thế giới hiện nay, thay cho việc dùng các giá trị trung bình để so sánh đánh giá. Sau khi tính toán được giá trị trung bình từ lô mẫu sẽ tính toán được giá trị đặc trưng theo yêu cầu và so sánh với tiêu chuẩn.



Hình 3. Kết quả cường độ chịu nén của vật liệu lớp K98 gia cố xi măng ở các ngày tuổi

Cường độ chịu nén của các hỗn hợp vật liệu đắp nền K98 gia cố xi măng và tro bay đã được nghiên cứu ở trên với các tỷ lệ cốt liệu khác nhau. Với hỗn hợp vật liệu đắp nền K98 gia cố xi măng và tro bay ở mức cố định lựa chọn 3% cường độ chịu nén tăng theo tỷ lệ ngày tuổi và tỷ lệ xi măng gia cố đúng với quy luật của vật liệu cát gia cố xi măng. Theo cát gia cố làm lớp khác (có thể coi là lớp K98), TCVN 10186 là cường độ chịu nén $R_{n28dt} \geq 1,0$ MPa. Vậy để đạt được yêu cầu này thì lượng xi măng gia cố từ 6% trở lên theo nghiên cứu trên đây khi chưa xử lý về cấp phối tối ưu dùng cho làm đường, tương tự tiêu chuẩn Trung Quốc để làm lớp Base với tải trọng trung bình và cấp đường từ cấp II trở xuống thì cường độ chịu nén 7 ngày từ [3 MPa - 4 MPa], để đạt được giá trị này thì lượng xi măng gia cố cũng từ 6% trở lên. Cường độ ép chèn của các hỗn hợp theo yêu cầu là $R_{ech28dt} \geq 0,12$ MPa tương ứng với lượng xi măng gia cố cũng từ 6% trở lên theo các nghiên cứu trước đây [9]. Như vậy, cường độ chịu nén đạt được với loại TX37CD48TB15, CTZ50CD40TB10 và HH-OptD125 lần lượt ở 28 ngày tuổi là 1,11 MPa, 1,24 MPa và 1,76 MPa đều lớn hơn theo yêu cầu của tiêu chuẩn cát gia cố xi măng là $R_{n28dt} \geq 1,0$ MPa; tương tự cường độ ép chèn đạt được với loại TX37CD48TB15, CTZ50CD40TB10 và HH-OptD125 lần lượt ở 28 ngày tuổi là 0,14 MPa, 0,22 MPa và 0,27 MPa đều lớn hơn theo yêu cầu của tiêu chuẩn cát gia cố xi măng là $R_{ech28dt} \geq 0,12$ MPa.

3.3. Mô-đun đàn hồi

Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén, cường độ ép chèn trên mẫu CBR tiêu chuẩn theo TCVN 10186:2014 [10], tuy nhiên trong quy định của tiêu chuẩn về yêu cầu của vật liệu móng gia cố chất kết dính vô cơ dùng làm lớp Base, Subbase lớp khác, tức là K98 trong xây dựng đường chủ yếu là cường độ chịu nén và ép chèn ở các tuổi 7 ngày, 14 ngày và 28 ngày. Còn mô-đun đàn hồi là giá trị quan trọng trong tính toán kết cấu áo đường được quy định trong 22TCN-211-

06 quy định E cho lớp CTB đối với lớp móng dưới mọi trường hợp từ [400 MPa - 600 MPa], còn đối với lớp vật liệu K98 không quy định mô-đun đàn hồi, trong nghiên cứu này chọn ra các hỗn hợp tối ưu và đánh giá mô-đun đàn hồi ở 28 TX37CD48TB15, CTZ50CD40TB10 và HH-OptD125 lần lượt ở 28 ngày tuổi là 106 MPa, 302 MPa và 645 MPa, với mô-đun đàn hồi như vậy thì loại HH-OptD125 có thể làm lớp CTB.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu có thể đưa ra một số kết luận như sau:

- Hỗn hợp cốt liệu để làm lớp vật liệu đắp K98 khi sử dụng có tro bay nhiệt điện nên coi tro bay nhiệt điện là một thành phần cốt liệu nhỏ trong vật liệu đắp;
- Có thể chế tạo được vật liệu đắp K98 từ vật liệu không truyền thống như đất chọn lọc bằng cách sử dụng tổ hợp các hỗn hợp vật liệu thải bao gồm: Đá mi bụi, tro đáy nhiệt điện, tro bay nhiệt điện đạt được CBR để làm lớp móng mặt đường K98;
- Thi công hỗn hợp gồm 3 loại vật liệu thải đá mi bụi, tro đáy nhiệt điện, tro bay nhiệt điện nên dùng công nghệ trộn tại đường bằng các máy trộn sâu hoặc thùng trộn di động làm tương tự như bê tông đầm lăn đối với vật liệu đắp K98 này;
- Sử dụng phương pháp tối ưu hóa hỗn hợp cốt liệu cho vật liệu đắp K98 để đảm bảo đạt được CBR yêu cầu cho lớp vật liệu K98 theo yêu cầu của tiêu chuẩn Pháp là 25%, do đó có thể dùng vật liệu hạt nhỏ $D < 4,75$ mm như cát đều có thể làm vật liệu đắp K98;
- Khi gia cố thành vật liệu liên khối làm lớp K98 với mức xi măng là rất ít 3% thì các hỗn hợp cốt liệu tối ưu đều đạt được cường độ chịu nén, cường độ ép chèn để làm lớp móng mặt đường.
- Cần sớm tiến hành thử nghiệm đoạn đường hiện trường bằng vật liệu K98 gia cố đã nghiên cứu để có một đánh giá tổng quát hơn cũng như là công nghệ thi công như thế nào để thuận lợi trong kiểm soát chất lượng của vật liệu gia cố làm móng cứng hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ Xây dựng, Báo cáo số 27/BC-BXD ngày 18/02/2025 về việc kết quả triển khai thực hiện Chỉ thị số 08/CT-TTg năm 2021.
- [2]. Thủ tướng Chính phủ, Chỉ thị số 08/CT-TTg ngày 26/3/2021 về việc đẩy mạnh xử lý, sử dụng tro, xỉ, thạch cao của các nhà máy nhiệt điện, hóa chất, phân bón làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng và trong công trình xây dựng.
- [3]. W. Gutt, R.J. Collins (1987), Sea-dredged aggregates in concrete, Build. Res. Establish Watford, UK (7).
- [4]. IRC-SP-89-2010-Stabilized Pavements-Conventional Stabilizers, INDIAN ROADS CONGRESS Kama Koti Marg.
- [5]. Văn. V. T. A., Nguyễn. V. P., Bùi. P. D., Hoàng. T. (2022), Vật liệu đắp nền đường và khả năng sử dụng cát nhiễm đỏ để đắp nền đường ô tô tại Việt Nam, Tạp chí Khoa học Công nghệ, Trường Đại học Kiến trúc, 45, tr.29-33.
- [6]. Yang, Q.; Liu, Y.; Zou, H.; Wang, X.; Gong, G.; Cheng, Y.; Zhang, L.; Jiang Z. (2022), Experimental Application of Cement-Stabilized Pavement Base with Low-Grade Metamorphic Rock Aggregates, Buildings 2022, 12, 589, <https://doi.org/10.3390/buildings12050589>.
- [7]. Gelu rawzvan gimiga, Silviu Cristian iriciuc and diana Nicoletedima (2022), Determination off the physical-Mechanical characteristics of non-cohesive sub-grade layers stabilized with Fly Ash (Part 1), Faculty of Civil Engineering and Building Services, Iasi, Romania.
- [8]. Tiêu chuẩn Quốc gia, Vật liệu nền, móng mặt đường - phương pháp xác định tỷ số CBR trong phòng thí nghiệm, TCVN 12792:2020, Việt Nam.
- [9]. Tiêu chuẩn Quốc gia, Đất xây dựng-phương pháp xác định-khối lượng riêng trong phòng thí nghiệm, TCVN 4195:2012, Việt Nam.
- [10]. Tiêu chuẩn Quốc gia, Móng cát gia cố xi măng trong kết cấu áo đường ô tô - thi công và nghiệm thu, TCVN 10186:2014, Việt Nam.