

XÂY DỰNG

TẠP CHÍ ĐIỆN TỬ CỦA BỘ XÂY DỰNG
JOURNAL OF CONSTRUCTION

TẠP CHÍ XÂY DỰNG - eISSN 3030-4482

Một nghiên cứu thực nghiệm về khối lượng thể tích ở trạng thái rời và đầm chặt của cát biển dùng trong xây dựng nền đường ô tô

A study on the bulk density of sea-sand with loosed and compacted states in roadbed construction

➤ ThS Nguyễn Thị Hiền¹, PGS. TS Nguyễn Đức Trọng^{2,*}, Bùi Thành Đạt², TS Trương Văn Đoàn³

¹BQLDA Đầu tư xây dựng các công trình giao thông TP Hồ Chí Minh

²Phân hiệu tại TP Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải

³Phân hiệu Trường Đại học Thủy Lợi

*Email: trongnd_ph@utc.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Chuyên mục: Khoa học công nghệ

Ngày nhận bài: 17/3/2026

Ngày sửa bài: 02/4/2026

Ngày chấp nhận đăng: 11/4/2026

Ngày xuất bản Online: 26/4/2026

Tác giả liên hệ:

Email: trongnd_ph@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này trình bày kết quả thực nghiệm về khối lượng thể tích xốp ở trạng thái rời và đầm chặt và một số chỉ tiêu cơ lý khác của cát biển sử dụng trong xây dựng nền đường ô tô. Các thí nghiệm xác định thành phần hạt, đầm nén tiêu chuẩn, khối lượng riêng, độ rỗng lớn nhất và nhỏ nhất được thực hiện với các mẫu cát từ bờ biển. Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng dung trọng khô lớn nhất của cát biển nằm trong phạm vi từ 1,637 đến 1,684 g/cm³ và độ ẩm tối ưu tương ứng từ 15,8 đến 16,2%. Độ rỗng của cát biển tương đối lớn, dao động từ 40% đến 50%. Hệ số rỗng của cát biển, từ 1,12 đến 1,15 và từ 1,15 đến 1,19 tương ứng với hệ số đầm chặt 0,95 và 0,98, là nhỏ hơn so với cát sông thông thường.

Từ khóa: Cát biển; vật liệu thay thế; xây dựng nền đường; khối lượng thể tích, hệ số rỗng.

ABSTRACT

This study illustrates the experimental results about the bulk density of sea-sand with loosed and compacted states and some mechanical properties of sea-sand used in

roadbed construction. The experiments included methods for particle - size analysis, Proctor Compaction Test, methods for determination of density, and Method for determination of bulk density and voids, were conducted with sea-sand. Experimental results showed that bulk density of sea-sand was in range from 1,637 đến 1,684 g/cm³, and the optimal moisture for compaction was between 15,8 and 16,2%. The content of air voids of sea-sand was relative low, from 40% to 50%. Spreading factor, was from 1,12 to 1,15 and from 1,15 to 1,19, corresponding to the compaction factor of 0,95 and 0,98, respectively, were lower than those of river-sand.

Keywords: Sea-sand; replacement material; Roadbed construction, bulk density, spreading factor.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự bùng nổ của các dự án hạ tầng giao thông trọng điểm tại khu vực phía Nam trong những năm gần đây đã dẫn đến tình trạng thiếu hụt nguồn vật liệu đắp nền đường, gây ảnh hưởng trực tiếp đến tiến độ và đẩy chi phí xây dựng lên cao. Trước thực trạng đó, việc khai thác và tận dụng nguồn cát biển dồi dào tại chỗ được xem là một chiến lược cấp thiết và mang tính bền vững. Tuy nhiên, bên cạnh các đặc tính về cơ học, các thông số về trạng thái vật lý của cát biển cũng như hệ số rải loại vật liệu này chưa được định lượng một cách cụ thể để phục vụ công tác quản lý thi công và lập dự toán xây dựng.

Khối lượng thể tích ở trạng thái rời và đầm chặt phụ thuộc mật thiết vào hình dáng và cấp phối hạt, độ ẩm vật liệu, hàm lượng bụi bùn sét, hữu cơ. Cát biển thường có bề mặt tròn trơn do quá trình mài mòn thủy động lực học lâu dài của dòng nước biển. Hình dáng hạt tròn đều của cát biển tạo ra một cấu trúc hạt có khả năng tự sắp xếp khác biệt so với cát sông có góc cạnh hơn. Điều này ảnh hưởng trực tiếp đến hệ số rỗng e_{max} , e_{min} . Nghiên cứu của Cho và cộng sự [1] chỉ ra rằng độ góc cạnh và độ nhám bề mặt hạt tỷ lệ thuận với khả năng duy trì hệ số rỗng lớn ở trạng thái rời. Do đó, cát biển với bề mặt trơn nhẵn thường có xu hướng đạt được khối lượng thể tích rời cao hơn cát sông có cùng cấp phối.

Đối với vật liệu hạt rời như cát biển, việc sử dụng khối lượng thể tích đầm chặt tiêu chuẩn đôi khi chưa phản ánh hết bản chất làm việc của nền đường. Việc xác định khối lượng thể tích ở trạng thái nhỏ và lớn nhất là tiền đề để tính toán độ chặt tương đối. Đây là chỉ số quan trọng khi đánh giá nguy cơ lún sụt của nền đường đắp bằng cát dưới tải trọng trùng phục xe chạy.

Sự chênh lệch giữa khối lượng thể tích ở trạng thái tự nhiên/rời và khối lượng thể tích sau khi đầm nén tại hiện trường quyết định hệ số tơi xốp. Nếu thiếu số liệu này dẫn đến sai số lớn trong việc tính toán khối lượng xe vận chuyển, định mức xây dựng đối với cát biển. Các kết quả thực nghiệm từ dự án thí điểm của Bộ GTVT trên tuyến cao tốc Hậu Giang - Cà Mau cho thấy, việc xác định chính xác hệ số rải của cát biển giúp tối ưu hóa công tác điều phối đất và kiểm soát hệ số tổn thất vật liệu. Việc đề xuất, nghiên cứu phương án khai thác sử dụng cát biển làm vật liệu san lấp cho một số dự án giao thông trọng điểm và cao tốc được thực hiện [2].

Đất cát nói chung và cát biển nói riêng thường nhạy cảm với độ ẩm và năng lượng đầm nén. Khối lượng thể tích khô lớn nhất thu được từ thí nghiệm đầm nén cải tiến thường cao hơn đáng kể so với đầm nén tiêu chuẩn đối với loại vật liệu này. Nghiên cứu của Võ N.T và cộng sự [3] khi khảo sát cát biển khu vực miền Trung cho rằng cát biển có đường cong đầm nén khá "phẳng", nghĩa là khối lượng thể tích khô không thay đổi quá đột ngột theo độ ẩm, điều này tạo thuận lợi cho việc thi công nền đường trong điều kiện thời tiết thay đổi.

Thực tế cho thấy, cát biển có những đặc thù riêng về hình dáng hạt và độ đồng đều nhất định, dẫn đến sự khác biệt về khả năng sắp xếp cấu trúc dưới tác động của công năng đầm nén so với cát sông. Nghiên cứu của W.Gutt và cộng sự [4] cho rằng nguồn gốc địa chất của hai loại cát có nhiều điểm tương đồng nhưng cấu tạo bề mặt hạt của cát biển lại có những đặc trưng riêng biệt, dẫn đến sự thay đổi về góc ma sát trong, ảnh hưởng đến các đặc tính cơ học của vật liệu. Nghiên cứu của Nguyễn Đ.T và Trần T.N [5] cho rằng cát biển thuộc nhóm A-2 và A-3 (theo AASHTO M145-91) có các chỉ tiêu cơ lý, hoá đủ điều kiện đắp nền đường theo TCVN 9436:2012. Trong nghiên cứu [6] cho rằng độ chặt tỷ lệ thuận với mô đun đàn hồi và mô đun độ lớn của cát biển. Còn Văn V.T.A và cộng sự [7] cũng cho kết quả các chỉ tiêu của cát biển được xác định bao gồm: Hàm lượng muối hòa tan, dung trọng khô, độ ẩm tối ưu và chỉ số CBR thỏa mãn yêu cầu đối với vật liệu nền đường. Do đó, việc tập trung phân tích các đặc trưng vật lý cơ bản thông qua việc xác định khối lượng thể tích của cát biển ở các trạng thái từ rời rạc đến đầm chặt nhất. Đây là những số liệu khoa học quan trọng, làm cơ sở để kiểm soát chặt chẽ cả về khối lượng vật liệu và chất lượng đầm nén trên công trường.

Hiện nay, các công bố khoa học làm rõ hệ số rỗng cũng như xác định khối lượng thể tích ở các trạng thái của cát biển tại Việt Nam còn hạn chế nên nghiên cứu này góp phần làm phong phú thêm cơ sở dữ liệu tin cậy giúp các cơ quan quản lý xây dựng định mức, xác định hệ số tơi xốp phù hợp của cát biển. Điều này có ý nghĩa then chốt trong việc lập dự toán, quản lý chi phí đầu tư và tối ưu hóa phương án vận chuyển, tập kết vật liệu cho các dự án hạ tầng giao thông sử dụng cát biển trong tương lai.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá một số chỉ tiêu cơ lý của cát biển sử dụng trong xây dựng nền đường ô tô, bao gồm: (1) xác định khối lượng thể tích khô lớn nhất và độ ẩm tối ưu cho việc đầm nén tương ứng, (2) xác định độ rỗng của cát biển, (3) tính toán hệ số rỗng thích hợp sử dụng khi thi công lớp nền đường sử dụng cát biển.

2. CHƯƠNG TRÌNH THÍ NGHIỆM

Chương trình thí nghiệm được thực hiện để xác định khối lượng thể tích ở trạng thái rời và đầm chặt của cát biển sử dụng trong xây dựng nền đường ô tô. Các chỉ tiêu bao gồm: Thành phần hạt, độ ẩm tốt nhất và dung trọng khô lớn nhất, độ rỗng lớn nhất, độ rỗng nhỏ nhất của cát. Từ kết quả các chỉ tiêu ở trên, hệ số rỗng của cát biển trong xây dựng đường được tính toán, đánh giá.

2.1. Vật liệu

Nghiên cứu này sử dụng cát biển được khai thác từ 3 vị trí tại bờ biển Sóc Trăng. Mỗi vị trí (mỗi cụm) lấy 1 tổ hợp gồm 3 mẫu thử, trong đó cụm mẫu thử số 1 bao gồm M1, M2, M3, cụm tổ hợp mẫu thử số 2 bao gồm M4, M5, M6, cụm tổ hợp mẫu thử số 3 bao gồm M7, M8, M9. Sau khi hoàn tất quy trình lấy mẫu và bảo quản theo tiêu chuẩn, các mẫu vật được chuyển về phòng Lab để kiểm tra các thông số vật lý.

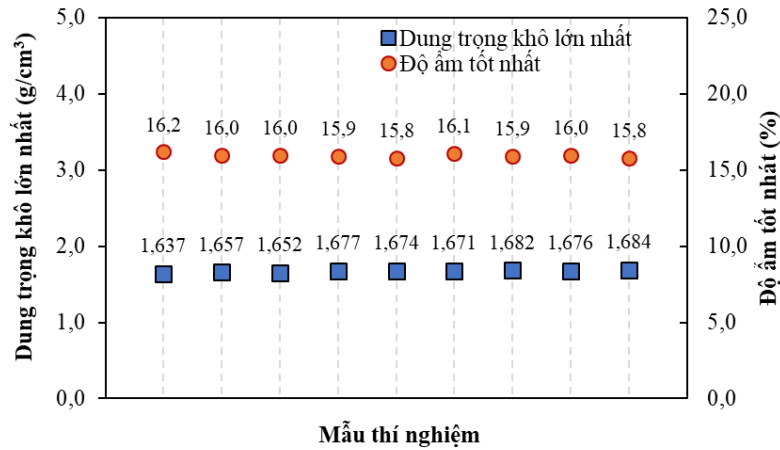
2.2. Phương pháp thí nghiệm

Các chỉ tiêu cơ lý của cát biển được xác định theo các phương pháp thí nghiệm như sau:

- Thành phần hạt và mô đun độ lớn của cát được xác định theo TCVN 4198:2014 [8].
- Độ ẩm tốt nhất và dung trọng khô lớn nhất được xác định theo TCVN 12790:2020 [9]. Trong thí nghiệm này, phương pháp II-A được thực hiện sử dụng chày 4,5 kg.
- Khối lượng riêng của cát được xác định theo TCVN 4195:2012 [10].
- Độ rỗng lớn nhất e_{\max} (ở trạng thái tơi xốp nhất), được xác định theo TCVN 7572-6:2006 [11]. Độ rỗng lớn nhất e_{\max} được xác định bằng công thức:

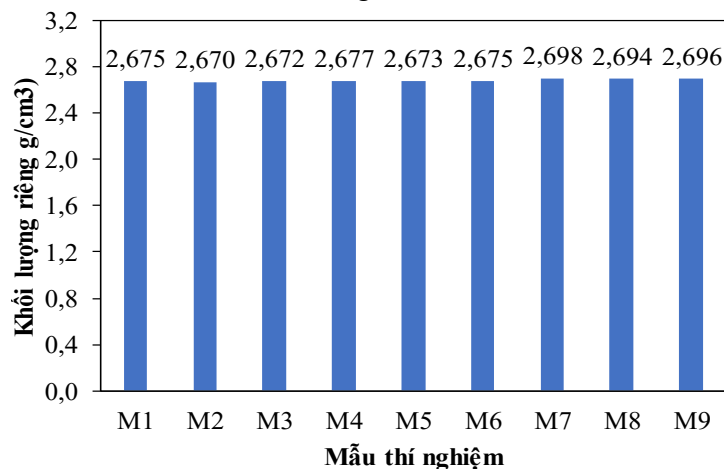
$$e_{\max} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{\gamma_{d,\min}} - 1 \quad (1)$$

Dung trọng khô lớn nhất (g/cm ³)	1,637	1,657	1,652	1,677	1,674	1,671	1,682	1,676	1,684
Độ ẩm tốt nhất (%)	16,2	16,0	16,0	15,9	15,8	16,1	15,9	16,0	15,8



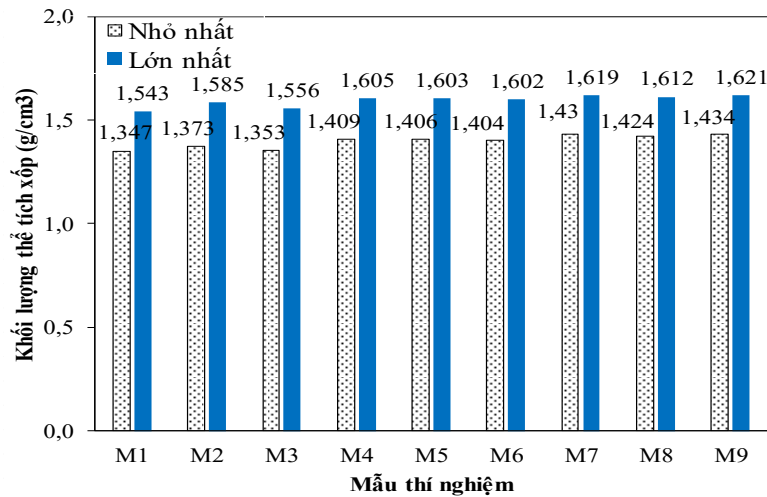
Hình 2. Dung trọng khô lớn nhất và độ ẩm tốt nhất khi đầm nén của cát biển.

Hình 3 miêu tả kết quả thí nghiệm xác định khối lượng riêng của cát biển. Kết quả thí nghiệm cho thấy khối lượng riêng của cát biển dao động từ 2,67 đến 2,7 g/cm³, và kích cỡ hạt của cát biển càng lớn cho giá trị khối lượng riêng càng cao. So sánh với cát sông thông thường có khối lượng riêng từ 2,65 đến 2,66 g/cm³ có thể thấy rằng khối lượng riêng của cát biển là lớn hơn khoảng từ 0,7 đến 1,7%.

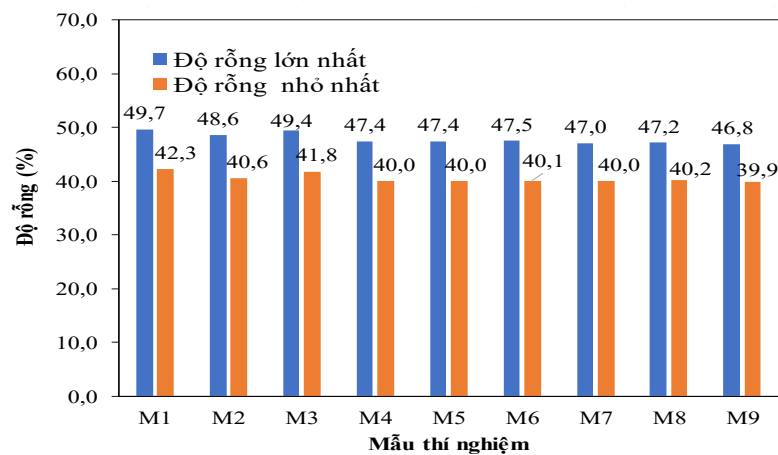


Hình 3. Khối lượng riêng của cát biển.

Hình 4 thể hiện khối lượng thể tích xốp của cát biển, trong khi Hình 5 thể hiện độ rỗng của nó ở trạng thái độ rỗng lớn nhất và nhỏ nhất tương ứng. Kết quả thí nghiệm ở Hình 4, Hình 5 cho thấy khối lượng thể tích xốp nhỏ nhất và lớn nhất của các mẫu cát biển nằm trong phạm vi tương ứng 1,347 - 1,434 g/cm³ và 1,543 - 1,621 g/cm³. Độ rỗng lớn nhất và nhỏ nhất nằm trong phạm vi tương ứng là 39,9 - 42,3% và 46,8 - 49,7%. Từ kết quả này có thể thấy rằng, sự phân tán khối lượng thể tích xốp của cát biển là tương đối lớn. Như vậy, ngay cả khi đầm chặt bằng phương pháp Proctor cải tiến thì độ rỗng cũng còn khá cao (khoảng từ 37,4 - 38,8%). Số liệu thí nghiệm chỉ ra rằng khối lượng thể tích xốp của cát biển có giá trị lớn hơn so với cát sông khi cùng nhóm cỡ hạt.



Hình 4. Khối lượng thể tích xốp cát biển.



Hình 5. Độ rỗng cát biển.

Bảng 2 thống kê kết quả tính hệ số rỗng của cát biển tương ứng với độ chặt yêu cầu $K = 0,95$ và $K = 0,98$. Như thể hiện ở Bảng 3, hệ số rỗng lần lượt là 1,12-1,15 và 1,15-1,19 tương ứng với hệ số đầm chặt $K = 0,95$ và $K = 0,98$. Có thể thấy rằng, hệ số rỗng này của cát biển là nhỏ hơn so với cát sông cùng loại. Vì khối lượng thể tích xốp của cát biển lớn nên hệ số rỗng khá nhỏ.

Bảng 2. Hệ số rỗng của cát biển.

Tên chỉ tiêu	Mẫu cát biển								
	Cụm 1			Cụm 2			Cụm 3		
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Hệ số rỗng ứng với $K = 0,95$	1,155	1,147	1,160	1,131	1,131	1,130	1,117	1,118	1,116
Trung bình	1,15			1,13			1,12		
Hệ số rỗng ứng với $K = 0,98$	1,191	1,183	1,197	1,166	1,167	1,166	1,153	1,154	1,151
Trung bình	1,19			1,17			1,15		

3.2. Thảo luận

Các mẫu cát biển trong nghiên cứu này có thành phần hạt thuộc nhóm A-3 theo AASHTO M145-91 [12]. Kết quả đầm nén theo phương pháp II-A cho thấy dung trọng khô lớn nhất và độ ẩm tốt nhất của cát biển tương đương với cát sông khi cùng nhóm mô đun độ lớn nhưng khối lượng thể tích xốp của cát biển cao hơn cát sông. Kết luận này có thể giải thích như sau: Cát biển thường chịu tác động của sóng và thủy triều lâu

ngày, các hạt có xu hướng bị mài mòn nên tròn trịa và nhẵn hơn so với cát sông, do đó cát biển dễ dàng đạt được độ chặt tự nhiên cao hơn (khối lượng thể tích xấp xỉ lớn hơn) so với cát sông khi có cùng thành phần cấp phối. Kết quả thí nghiệm trong phòng cho thấy hệ số rải của cát biển cho giá trị nhỏ hơn so với cát sông cùng loại. Khối lượng thể tích xấp xỉ của cát phụ thuộc các yếu tố như: Độ ẩm vật liệu, hàm lượng hữu cơ, hàm lượng bụi bùn sét, hình dạng và kích thước hạt. Do đó, khi dùng cát biển để lập dự toán xây dựng cũng như triển khai thi công ngoài thực tế cần phải xem xét đến những yếu tố này để đề xuất hệ số rải hợp lý.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu này trình bày kết quả thực nghiệm về khối lượng thể tích ở trạng thái rời và trạng thái đầm chặt của cát biển được sử dụng trong xây dựng nền đường. Một số kết luận được rút ra từ kết quả thực nghiệm như sau:

- Kích cỡ hạt cát biển càng lớn thì khối lượng thể tích xấp xỉ và độ chặt đầm nén càng cao: Dung trọng khô lớn nhất cát biển đạt từ 1,637 đến 1,684 g/cm³ và độ ẩm tối ưu tương ứng từ 15,8 đến 16,2%;

- Cát biển cho khối lượng thể tích xấp xỉ nhỏ nhất và lớn nhất khá phân tán, có giá trị nằm trong phạm vi lần lượt là 1,347 - 1,434 g/cm³ và 1,543 - 1,621 g/cm³, tương ứng độ rỗng lớn nhất, nhỏ nhất là 39,9 - 42,3% và 46,8 - 49,7%;

- Hệ số rải của cát biển nhỏ hơn so với cát sông: hệ số rải $K_{rãi} = 1,12-1,15$ và $1,15-1,19$ ứng với hệ số đầm chặt $K = 0,95$ và $K = 0,98$. Do hệ số rải cát biển còn phụ thuộc nhiều yếu tố khác nhau nên khi triển khai thi công đại trà cần làm đoạn thí điểm để quyết định hệ số rải phù hợp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] S. H. Cho, J. S. Lee, Y. H. Kim, and J. C. Santamarina, Characterization of the Geometry of Soil Particles, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol.132, no.11, pp.1447-1456, 2006.

[2] <https://dantri.com.vn/xa-hoi/lan-dau-tien-khoi-cong-khai-thac-cat-bien-lam-duong-cao-toc-20240629081133302.htm>, 29/06/2024.

[3] Võ N. T., Nguyễn Q. H., Nguyễn T. T., và cộng sự, Nghiên cứu đặc tính đầm nén và các chỉ tiêu cơ lý của cát biển vùng duyên hải miền Trung phục vụ xây dựng nền đường, Tạp chí Giao thông vận tải, vol.63, no.12, pp.62-65, 2022.

[4] W. Gutt, R.J. Collins, Sea-dredged aggregates in concrete, Build. Res.Establish Watford, UK (7), 1987.

[5] Nguyễn Đ.T, Trần T.N, Nghiên cứu một số chỉ tiêu cơ lý của cát biển dùng trong xây dựng nền đường ô tô ở khu vực Phía Nam, Tạp chí GTVT, 64, pp.30-33, 9/2024.

[6] Nguyễn Đ. T, Nghiên cứu ảnh hưởng của độ chặt đến mô đun đàn hồi cát biển dùng trong xây dựng nền đường cấp thấp, Tạp chí Xây dựng, vol. 680, no.3, pp.112-115, 2026.

[7] Văn V. T. A, Nguyễn V. P, Bùi P. D, Hoàng T, Vật liệu đắp nền đường và khả năng sử dụng cát nhiễm mặn để đắp nền đường ô tô tại Việt Nam, Tạp chí Khoa học Công nghệ Đại học Kiến Trúc, 45, pp.29-33, 2022.

[8] TCVN 4198:2014, Tiêu chuẩn Quốc gia, “Đất xây dựng - Phương pháp phân tích thành phần hạt trong phòng thí nghiệm”, 2014.

[9] TCVN 12790:2020, Tiêu chuẩn Quốc gia, “Đất, đá dăm dùng trong công trình giao thông - đầm nén Proctor”, 2020.

[10] TCVN 4195:2012, Tiêu chuẩn Quốc gia, “Đất xây dựng - phương pháp xác định - khối lượng riêng trong phòng thí nghiệm”, 2012.

[11] TCVN 7572-6:2006, Tiêu chuẩn Quốc gia, “cốt liệu cho bê tông và vữa - phương pháp thử - phần 6: Xác định khối lượng thể tích xấp xỉ và độ hồng”.

[12] Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes, AASHTO M145-91, 2021.