

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG SỬ DỤNG CÁT NHÂN TẠO (ĐÁ NGHIỀN) THAY THẾ CÁT TỰ NHIÊN TRONG THÀNH PHẦN CẤP PHỐI CHO BÊ TÔNG CÁC LOẠI TRÊN ĐỊA BÀN TỈNH BÌNH ĐỊNH

Trần Phi Dũng^{1*}, Nguyễn Văn Chín², Võ Hồng Thiện¹

¹Trường Đại học Quang Trung, 327 Đào Tấn, Phường Quy Nhơn Bắc, Tỉnh Gia Lai, Việt Nam

²Công ty Cổ phần xây dựng 47, 8 Biên Cương, Quy Nhơn Nam, Tỉnh Gia Lai, Việt Nam

* Tác giả liên hệ: tpdung@qtu.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận: 03/7/2025
Ngày hoàn thiện: 25/8/2025
Ngày chấp nhận: 03/9/2025
Ngày đăng: 05/9/2025

TỪ KHÓA

Cát nhân tạo
Bê tông bền vững
Khai thác cát
Bình Định
Kinh tế tuần hoàn.

TÓM TẮT

Việt Nam đang đối mặt với tình trạng cạn kiệt cát tự nhiên do khai thác quá mức, đặc biệt tại các tỉnh như Bình Định, dẫn đến sạt lở bờ sông và suy thoái môi trường. Nghiên cứu này đánh giá khả năng thay thế cát tự nhiên bằng cát nhân tạo (sản xuất từ đá nghiền) trong các loại bê tông thông dụng. Kết quả cho thấy cát nhân tạo có ưu điểm vượt trội: độ hút nước thấp (0.5–1.0%), hàm lượng tạp chất dưới 2%, và khả năng điều chỉnh kích thước hạt linh hoạt. Khi ứng dụng trong bê tông đầm lăn, vật liệu này giúp tiết kiệm 123,581đ/m³; với bê tông tự đầm, giảm 10–15% phụ gia siêu dẻo mà vẫn đạt cường độ 38.9 MPa sau 28 ngày. Đặc biệt, sử dụng cát nhân tạo giảm 80% tác động môi trường so với khai thác cát tự nhiên, đồng thời cắt giảm 25% lượng khí thải CO₂ nhờ hạn chế vận chuyển. Nghiên cứu khẳng định tiềm năng thay thế toàn phần cát tự nhiên, đề xuất hoàn thiện tiêu chuẩn kỹ thuật và chính sách ưu đãi để nhân rộng giải pháp này, góp phần phát triển bền vững ngành xây dựng.

RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF USING ARTIFICIAL SAND (CRUMPED STONE) TO REPLACE NATURAL SAND IN THE MIXING INGREDIENTS FOR CONCRETE OF ALL TYPES IN BINH DINH PROVINCE

Dung Tran Phi^{1*}, Chin Nguyen Van², Thien Vo Hong¹

¹Quang Trung University, 327 Dao Tan, Quy Nhon Bac Ward, Gia Lai Province, Vietnam

²47 Construction Joint Stock Company, 8 Bien Cuong, Quy Nhon Nam, Gia Lai Province, Vietnam

*Corresponding author: tpdung@qtu.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: Jul 03rd, 2025
Revised: Aug 25th, 2025
Accepted: Aug 03rd, 2025
Published: Sep 09th, 2025

KEYWORDS

Artificial sand
Sustainable concrete
Sand mining
Binh Dinh
Circular economy.

ABSTRACT

Vietnam is facing the depletion of natural sand due to over-exploitation, particularly in provinces like Binh Dinh, leading to riverbank erosion and environmental degradation. This study evaluates the feasibility of replacing natural sand with artificial sand (produced from crushed rock) in common types of concrete. The results demonstrate that artificial sand has superior advantages: low water absorption (0.5–1.0%), impurity content below 2%, and flexible particle size adjustability. When applied in roller-compacted concrete, this material saves 123,581 VND/m³; in self-compacting concrete, it reduces superplasticizer usage by 10–15% while still achieving a compressive strength of 38.9 MPa after 28 days. Notably, using artificial sand reduces 80% of environmental impact compared to natural sand extraction and cuts 25% of CO₂ emissions by minimizing transportation. The study confirms the potential for full replacement of natural sand and recommends refining technical standards and incentive policies to scale up this solution, contributing to sustainable construction development.

1. Giới Thiệu

Việt Nam đang đối mặt với tình trạng cạn kiệt nguồn cát tự nhiên do khai thác quá mức, đặc biệt là tại các tỉnh như Bình Định. Theo báo cáo của Bộ Tài nguyên và Môi trường, trữ lượng cát tự nhiên tại các con sông lớn như sông Kôn, sông Hà Thanh đã giảm đáng kể, thậm chí có nguy cơ cạn kiệt vào năm 2035 nếu không có biện pháp quản lý hiệu quả. Việc khai thác cát tự nhiên không chỉ gây suy giảm tài nguyên mà còn dẫn đến hàng loạt hệ lụy như sạt lở bờ sông, mất cân bằng sinh thái, ô nhiễm môi trường nước và ảnh hưởng đến đời sống của người dân ven sông. Đặc biệt, tại Bình Định, nơi có tốc độ đô thị hóa và xây dựng cơ sở hạ tầng diễn ra mạnh mẽ, nhu cầu sử dụng cát xây dựng ngày càng tăng cao, trong khi nguồn cung cát tự nhiên ngày càng khan hiếm. Điều này đặt ra bài toán cấp bách về việc tìm kiếm giải pháp thay thế bền vững, vừa đáp ứng nhu cầu vật liệu xây dựng, vừa bảo vệ môi trường.

Trong bối cảnh đó, cát nhân tạo (đá nghiền) nổi lên như một giải pháp tiềm năng. Được sản xuất từ các loại đá tự nhiên như đá vôi, đá granite, đá bazan có sẵn tại địa phương, cát nhân tạo sở hữu nhiều ưu điểm vượt trội so với cát tự nhiên. Thành phần hạt đồng đều, khả năng điều chỉnh kích thước hạt linh hoạt, cùng với việc kiểm soát chặt chẽ tạp chất giúp cát nhân tạo đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật khắt khe trong xây dựng. Hơn nữa, việc sử dụng cát nhân tạo còn góp phần giảm thiểu áp lực khai thác cát tự nhiên, từ đó hạn chế tác động tiêu cực đến môi trường và hệ sinh thái. Tuy nhiên, tại Bình Định, việc ứng dụng cát nhân tạo trong xây dựng vẫn còn nhiều hạn chế, chủ yếu do thiếu các nghiên cứu cụ thể về tính chất cơ lý, khả năng tương thích với các loại bê tông khác nhau, cũng như đánh giá toàn diện về hiệu quả kinh tế và môi trường.

Xuất phát từ thực tế đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá chi tiết khả năng thay thế cát tự nhiên bằng cát nhân tạo trong thành phần cấp phối của các loại bê tông phổ biến tại Bình Định, bao gồm bê tông thông thường, bê tông cường độ cao, bê tông đầm lăn và bê tông tự đầm. Nghiên cứu không chỉ tập trung vào việc so sánh các chỉ tiêu kỹ thuật giữa cát nhân tạo và cát tự nhiên mà còn phân tích hiệu quả kinh tế, lợi ích môi trường, từ đó đề xuất các giải pháp ứng dụng phù hợp với điều kiện địa phương. Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần thúc đẩy việc sử dụng cát nhân tạo tại Bình Định, hướng đến mục tiêu phát triển bền vững trong ngành xây dựng, đồng thời mở ra hướng đi mới trong việc khai thác và sử dụng tài nguyên thiên nhiên một cách hợp lý.

2. Mục tiêu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Mục tiêu

Đánh giá tính chất vật lý và cơ học của cát nhân tạo so với cát tự nhiên

So sánh các chỉ tiêu như khối lượng riêng, độ hút nước, thành phần hạt, và độ bền để xác định sự phù hợp của cát nhân tạo trong xây dựng.

Phân tích ưu điểm và nhược điểm của cát nhân tạo so với cát tự nhiên.

Xác định tỷ lệ thay thế tối ưu cát nhân tạo trong các loại bê tông:

Thử nghiệm ứng dụng cát nhân tạo cho các loại bê tông đặc thù như bê tông đầm lăn (RCC), bê tông tự đầm (SCC), và bê tông cường độ cao (HPC).

Đánh giá hiệu quả kỹ thuật và khả năng đáp ứng các yêu cầu thiết kế.

Phân tích hiệu quả kinh tế và môi trường:

Tính toán chi phí sản xuất, vận chuyển và lợi ích kinh tế khi sử dụng cát nhân tạo.

Đánh giá tác động môi trường, bao gồm giảm khai thác cát tự nhiên và giảm phát thải khí nhà kính.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp thí nghiệm:

Tiến hành các thí nghiệm cơ lý (theo TCVN 9205:2012 và TCVN 7570:2006) để so sánh cát nhân tạo và cát tự nhiên về khối lượng riêng, độ hút nước, thành phần hạt, và hàm lượng tạp chất.

Sử dụng thiết bị đo lường tiêu chuẩn để đảm bảo độ chính xác.

2.2.2. Phương pháp thực nghiệm:

Thiết kế các cấp phối bê tông sử dụng cát nhân tạo với tỷ lệ thay thế khác nhau.

Đánh giá tính công tác, cường độ nén, độ chống thấm và độ bền thông qua các mẫu thử nghiệm trong phòng lab và hiện trường.

2.2.3. Phương pháp phân tích kinh tế:

Thu thập dữ liệu về chi phí sản xuất, vận chuyển và giá thành của cát nhân tạo so với cát tự nhiên.

Phân tích hiệu quả kinh tế dựa trên khối lượng sử dụng và tiết kiệm chi phí cho các dự án cụ thể.

2.2.4. Phương pháp đánh giá vòng đời sản phẩm (LCA):

Phân tích các giai đoạn từ khai thác nguyên liệu, sản xuất, vận chuyển đến sử dụng và xử lý chất thải.

Đánh giá tác động môi trường như tiêu thụ năng lượng, phát thải CO₂ và ảnh hưởng đến hệ sinh thái.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc tính vật lý và cơ học

Bảng 1: So sánh đặc tính kỹ thuật giữa cát nhân tạo và cát tự nhiên

Chỉ tiêu	Cát nhân tạo	Cát tự nhiên	Tiêu chuẩn áp dụng
Khối lượng riêng (g/cm ³)	≥2.65	2.60-2.63	TCVN 7572-4:2006

Chỉ tiêu	Cát nhân tạo	Cát tự nhiên	Tiêu chuẩn áp dụng
Độ hút nước (%)	0.5-1.0	1.5-3.0	TCVN 7572-4:2006
Hàm lượng tạp chất (%)	<2.0	3.0-5.0	TCVN 7572-8:2006
Modul độ lớn	1.0-3.2 (điều chỉnh)	2.5-3.5 (cố định)	TCVN 7572-2:2006
Hạt mịn <0.075mm (%)	6-18	3-8	TCVN 9205:2012

Kết quả nghiên cứu về đặc tính vật lý và cơ học của cát nhân tạo so với cát tự nhiên cho thấy những ưu điểm vượt trội về khả năng kiểm soát chất lượng và tính linh hoạt trong ứng dụng. Theo Bảng 1, cát nhân tạo có khối lượng riêng $\geq 2.65 \text{ g/cm}^3$, tương đương với cát tự nhiên ($2.60\text{--}2.63 \text{ g/cm}^3$), nhưng ổn định hơn nhờ quy trình sản xuất công nghiệp. Đặc biệt, độ hút nước của cát nhân tạo chỉ dao động từ 0.5–1.0%, thấp hơn đáng kể so với cát tự nhiên (1.5–3.0%), giúp giảm thiểu nguy cơ co ngót và nứt vỡ trong bê tông.

Về hàm lượng tạp chất, cát nhân tạo chứa ít hơn 2% bùn, bụi và sét, trong khi cát tự nhiên thường có tỷ lệ từ 3–5%, làm giảm chất lượng bê tông. Một ưu điểm nổi bật khác là khả năng điều chỉnh modul độ lớn (1.0–3.2) của cát nhân tạo, phù hợp với nhiều loại bê tông khác nhau, trong khi modul của cát tự nhiên cố định ở 2.5–3.5. Ngoài ra, cát nhân tạo có hàm lượng hạt mịn (<0.075 mm) cao hơn (6–18%) so với cát tự nhiên (3–8%), giúp cải thiện độ dẻo và khả năng lấp đầy khuôn của hỗn hợp bê tông, đặc biệt quan trọng đối với bê tông tự đầm (SCC) và bê tông đầm lăn (RCC).

Những kết quả này khẳng định rằng cát nhân tạo không chỉ đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành (TCVN 7572, TCVN 9205) mà còn mang lại chất lượng ổn định và khả năng tùy biến cao, phù hợp với yêu cầu khắt khe của các công trình xây dựng hiện đại. Điều này mở ra tiềm năng lớn trong việc thay thế cát tự nhiên, góp phần giải quyết tình trạng khan hiếm tài nguyên và bảo vệ môi trường.

3.2. Hiệu quả ứng dụng trong các loại bê tông

Bảng 2: Đánh giá hiệu quả theo loại bê tông

Loại bê tông	Ưu điểm nổi bật	Hiệu quả kinh tế	Cường độ đạt được
Bê tông đầm lăn (RCC)	Bổ sung hạt mịn 6-18%	Tiết kiệm 123,581đ/m ³	30-40MPa
Bê tông tự đầm (SCC)	Độ chảy cao, ít phân tầng	Giảm 10-15% phụ gia	38.9MPa (28 ngày)

Bê tông cường độ cao	Giảm 35kg XM/m ³	Giảm 5-7% chi phí	670 daN/cm ²
----------------------	-----------------------------	-------------------	-------------------------

Kết quả đánh giá hiệu quả ứng dụng cát nhân tạo trong các loại bê tông chuyên dụng (Bảng 2) cho thấy những ưu thế vượt trội cả về kỹ thuật lẫn kinh tế. Đối với bê tông đầm lăn (RCC), khả năng bổ sung hạt mịn 6-18% từ cát nhân tạo giúp cải thiện đáng kể độ đặc chắc và khả năng chống thấm, đồng thời mang lại hiệu quả kinh tế rõ rệt với mức tiết kiệm lên tới 123,581đ/m³. Cường độ bê tông đạt 30-40MPa, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật cho các công trình thủy lợi quy mô lớn.

Trong ứng dụng cho bê tông tự đầm (SCC), cát nhân tạo thể hiện ưu điểm nổi bật về độ chảy cao và hạn chế hiện tượng phân tầng nhờ thành phần hạt được kiểm soát chặt chẽ. Đặc biệt, việc sử dụng cát nhân tạo giúp giảm 10-15% lượng phụ gia siêu dẻo mà vẫn đảm bảo cường độ đạt 38.9MPa sau 28 ngày, phù hợp cho các kết cấu phức tạp, mật độ cốt thép dày đặc.

Đối với bê tông cường độ cao, nghiên cứu ghi nhận khả năng giảm tới 35kg xi măng/m³ khi sử dụng cát nhân tạo, dẫn đến tiết kiệm 5-7% chi phí sản xuất. Đáng chú ý, cường độ đạt 670 daN/cm² chứng tỏ khả năng ứng dụng cho các công trình đòi hỏi yêu cầu kỹ thuật cao như nhà cao tầng, cầu lớn. Nghiên cứu khẳng định cát nhân tạo không chỉ đáp ứng đa dạng yêu cầu kỹ thuật của các loại bê tông đặc chủng mà còn mang lại lợi ích kinh tế đáng kể thông qua việc tối ưu hóa thành phần cấp phối và giảm chi phí vật liệu đầu vào.

3.3. Phân tích hiệu quả tổng thể

Bảng 3: Đánh giá đa tiêu chí

Tiêu chí	Cát nhân tạo	Cát tự nhiên	Mức độ cải thiện
Chất lượng ổn định	Cao (kiểm soát được)	Thấp	+30%
Chi phí vận chuyển	Thấp (sản xuất tại chỗ)	Cao	-25%
Bảo vệ môi trường	Giảm 80% tác động	Gây sạt lở	+50%
Tuổi thọ công trình	Tăng 15-20%	Bình thường	+15%

Kết quả đánh giá đa tiêu chí (Bảng 3) cho thấy cát nhân tạo mang lại những cải thiện vượt trội trên nhiều phương diện so với cát tự nhiên truyền thống. Về chất lượng ổn định, khả năng kiểm soát quy trình sản xuất giúp cát nhân tạo đạt mức cải thiện thêm 30%, giải quyết triệt để tình trạng biến động chất lượng thường gặp ở cát tự nhiên. Đặc biệt, ưu thế về chi phí vận chuyển (giảm 25%) nhờ khả năng sản xuất tại chỗ đã tạo ra lợi thế cạnh tranh đáng kể cho các dự án quy mô lớn.

Trên phương diện môi trường, cát nhân tạo thể hiện vai trò then chốt khi giảm 80% tác động so với phương pháp khai thác truyền thống vốn là nguyên nhân chính gây sạt lở bờ sông và suy thoái hệ sinh thái thủy sinh. Đáng chú ý, việc ứng dụng cát nhân tạo còn góp phần nâng cao 15-20% tuổi

thợ công trình nhờ cải thiện độ bền và tính ổn định của kết cấu bê tông.

Những phát hiện này đặc biệt có ý nghĩa đối với các vùng khan hiếm cát như Đồng bằng sông Cửu Long, nơi đang đối mặt với tình trạng thiếu hụt nghiêm trọng (42.3 triệu m³). Giải pháp cát nhân tạo không chỉ đáp ứng nhu cầu vật liệu mà còn tạo ra sự cân bằng giữa phát triển công trình và bảo vệ môi trường, mở ra hướng tiếp cận bền vững cho ngành xây dựng trong bối cảnh biến đổi khí hậu hiện nay.

3.4. Tác động môi trường

Việc ứng dụng cát nhân tạo mang lại lợi ích kép quan trọng về mặt môi trường:

Thứ nhất: giải pháp này giảm đáng kể việc khai thác tài nguyên thiên nhiên, thể hiện qua khả năng hạn chế 80% tình trạng sạt lở bờ sông - vốn là hệ quả nghiêm trọng của hoạt động nạo vét cát truyền thống. Đồng thời, nó góp phần bảo vệ hệ sinh thái thủy sinh thông qua việc duy trì cân bằng trầm tích và giảm thiểu ô nhiễm nguồn nước.

Thứ hai: cát nhân tạo thể hiện rõ giá trị trong mô hình kinh tế tuần hoàn khi tận dụng hiệu quả các nguồn phế thải xây dựng và đá thải từ khai thác mỏ. Quan trọng hơn, quy trình sản xuất cát nhân tạo giúp giảm 25% lượng phát thải CO₂ so với phương pháp khai thác và vận chuyển cát tự nhiên truyền thống, góp phần đáng kể vào việc giảm phát thải khí nhà kính trong ngành xây dựng. Những kết quả này không chỉ giải quyết bài toán môi trường cấp bách mà còn mở ra hướng phát triển bền vững cho ngành vật liệu xây dựng trong tương lai.

4. Kết luận và kiến nghị

4.1. Kết luận

Nghiên cứu đã chứng minh rằng cát nhân tạo có thể thay thế hoàn toàn cát tự nhiên trong các loại bê tông, đáp ứng đầy đủ các yêu cầu về chất lượng và tiêu chuẩn kỹ thuật.

Không chỉ giải quyết vấn đề khan hiếm cát tự nhiên, cát nhân tạo còn mang lại hiệu quả kinh tế vượt trội (tiết kiệm chi phí, chủ động nguồn cung) và lợi ích môi trường rõ rệt (giảm khai thác cát sông, hạn chế sạt lở và ô nhiễm). Để phát huy tối đa tiềm năng của vật liệu này, cần có sự phối hợp đồng bộ giữa nhà quản lý, doanh nghiệp và nhà khoa học để hoàn thiện công nghệ sản xuất và hệ thống tiêu chuẩn ứng dụng.

4.2. Kiến nghị

Hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn: Bổ sung các quy chuẩn thử nghiệm chuyên biệt cho cát nhân tạo (hiện chỉ có TCVN 9205:2012), đặc biệt cho các ứng dụng bê tông đặc chủng như SCC, RCC và bê tông cường độ cao.

Cơ chế khuyến khích phát triển: Áp dụng ưu đãi thuế cho doanh nghiệp đầu tư dây chuyền sản xuất hiện đại (máy nghiền VSI, hệ thống rửa cát tuần hoàn); Hỗ trợ vốn nghiên cứu để tối ưu hóa công nghệ và mở rộng ứng dụng trong các lĩnh vực xây dựng khác.

Nâng cao nhận thức và đào tạo: Tổ chức đào tạo kỹ thuật cho các nhà thầu về thiết kế cấp phối và thi công bê tông sử dụng cát nhân tạo; Tăng cường truyền thông về lợi ích kinh tế - môi trường, thúc đẩy thị trường chấp nhận vật liệu mới.

Với những giải pháp đồng bộ này, cát nhân tạo sẽ trở thành nguồn vật liệu bền vững, góp phần phát triển ngành xây dựng theo hướng xanh hóa và tuần hoàn, đồng thời giải quyết các thách thức về an ninh tài nguyên và biến đổi khí hậu.

Lời cảm ơn: Bài nghiên cứu này là sản phẩm của đề tài: “Nghiên cứu khả năng sử dụng cát nhân tạo (đá nghiền) thay thế cát tự nhiên trong thành phần cấp phối cho bê tông các loại trên địa bàn tỉnh Bình Định”. Mã số đề tài: ĐTCB/09/2025. Bài nghiên cứu này được trường Đại học Quang Trung tài trợ kinh phí và hỗ trợ thời gian thực hiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Chính phủ (2017). Nghị quyết số 46/NQ-CP ngày 9 tháng 6 năm 2017 của Chính phủ, kết luận Phiên họp Chính phủ thường kỳ tháng 5 năm 2017.
- [2] Chính phủ (2020). Quyết định số 1266/QĐ-TTg ngày 18 tháng 8 năm 2020, Phê duyệt Chiến lược phát triển vật liệu xây dựng Việt Nam thời kỳ 2021 - 2030, định hướng đến năm 2050.
- [3] Nguyễn Văn Đoàn (2018). Sử dụng cát nghiền để chế tạo bê tông và vữa xây dựng. Tuyển tập Báo cáo Hội thảo KHCN toàn quốc - Cát nghiền thay thế cát tự nhiên - Vật liệu thân thiện môi trường. Nhà xuất bản Xây dựng, 116-129.
- [4] Nam, H. P., Trí, V. H. (2021). Xử lý đá phế phẩm thành cát nghiền và nghiên cứu tính công tác của hỗn hợp bê tông thương phẩm sử dụng cát nghiền. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, (1):35-40.
- [5] Dũng, L. V., Kiên, T. T., Thành, Đ. T., Lâm, N. B. (2021). Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá khả năng sử dụng cát nghiền nguồn gốc đá vôi cho cột bê tông công trình chịu nén. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, (3V):93-103.
- [6] Lâm, T.V., Mạnh, N. V., Chức, N. T. (2023). Khả năng sử dụng cát nghiền nguồn gốc đá vôi cho bê tông cường độ cao. Hội thảo Khoa học Quốc gia: Phát triển và quản lý bền vững tài nguyên và môi trường: Từ miền núi tới ven biển. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ: 18-27.
- [7] Sabatini, P. J., Tanyu, B., Armour, T., Groneck, P., Keeley, J. (2005). Micropile Design and Construction. National Highway Institute.
- [8] TCVN 2682:2020. Xi măng Poóc lăng. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [9] ASTM C136/136M:2017. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. American Society for Testing and Materials.
- [10] TCVN 4506:2012. Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [11] TCVN 9205:2012. Cát nghiền cho bê tông và vữa. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

[12] TCVN 9382:2012. Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông sử dụng cát nghiền. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

[13] TCVN 9204:2012. Vữa xi măng khô trộn sẵn không co. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

[14] TCVN 7570:2006 - Cốt liệu cho bê tông và vữa.

[15] Phuoc, H. T., Khang, L. T., Binh, P. T., Phuong, P. H., (2021). Application of self-produced artificial sand in the production of green mortar. *Transport and Communications Science Journal*: 72(4), 468-476.

[16] Singh, S. B., Munjal, P., Thammishetti, N., (2015). Role of water/cement ratio on strength development of cement mortar. *Journal of Building Engineering*: 4 (2015), 94-100.

[17] TCVN 9205:2012 - Cát nghiền cho bê tông và vữa.

[18] TCVN 7570:2006 - Cốt liệu cho bê tông và vữa.

[19] Báo cáo Ngân hàng cát cho Đồng bằng sông Cửu Long (WWF, 2023).

[20] Sepehr Eslami (2022), Dự báo trữ lượng cát tự nhiên tại Việt Nam.

[21] UNEP (2022), Báo cáo về cuộc khủng hoảng cát toàn cầu.

[22] Công ty CP Xây dựng 47 (2024), Kết quả thí nghiệm cấp phối bê tông sử dụng cát nghiền