

Ảnh hưởng của cát nghiền đến một số tính chất của bê tông

Nguyễn Văn Đoàn^{1*}, Phan Văn Quỳnh¹, Dương Thanh Qui¹

¹ Trung tâm Xi măng – Bê tông, Viện Vật liệu xây dựng

TỪ KHOẢ

Bê tông
Cát sông
Cát nghiền đá vôi
Cát nghiền đá granite
Cát nghiền đá bazan

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của các loại cát nghiền (cát nghiền đá vôi, cát nghiền đá granite, cát nghiền đá bazan) khi thay thế cát sông đến một số tính chất của bê tông, bao gồm: lượng nước trộn, khả năng duy trì độ sụt, khối lượng thể tích hỗn hợp bê tông, cường độ nén ở 7 ngày và 28 ngày và cường độ uốn 28 ngày. Kết quả cho thấy bê tông sử dụng cát nghiền nhìn chung có cường độ nén và cường độ uốn cao hơn so với sử dụng cát sông, đặc biệt rõ rệt với cát nghiền đá granite và cát nghiền đá vôi; trong khi đó, bê tông dùng cát nghiền đá bazan có cường độ thấp hơn ở tuổi sớm nhưng được cải thiện ở 28 ngày. Tuy nhiên, việc thay thế cát sông bằng cát nghiền làm giảm độ sụt, khả năng giữ độ sụt kém hơn, đồng thời làm tăng lượng nước trộn do đặc điểm hạt góc cạnh và hàm lượng hạt mịn cao. So sánh giữa các loại cát nghiền cho thấy: cát nghiền đá granite cho cường độ nén cao nhất (R28 đạt 67,85 MPa với cấp phối M500), cát nghiền đá vôi cũng làm gia tăng đáng kể cường độ, trong khi cát nghiền đá bazan có xu hướng làm giảm tính công tác và tăng lượng nước trộn, nhưng vẫn đáp ứng được yêu cầu về cường độ của bê tông. Các số liệu thí nghiệm sử dụng trong bài báo này trên cơ sở kết quả nghiên cứu của đề tài cấp Bộ Xây dựng RD 18-24.

KEYWORDS

Concrete
River sand
Limestone M-sand
Granite M-sand
Basalt M-sand

ABSTRACT

This study investigates the effects of different types of manufactured sand (limestone manufactured sand, granite manufactured sand, and basalt manufactured sand) as a replacement for river sand on several properties of concrete, including mixing water demand, slump retention, density, compressive strength at 7 and 28 days, and flexural strength at 28 days. The results indicate that concrete incorporating manufactured sand generally exhibits higher compressive and flexural strengths compared to that made with river sand, with the improvement being most pronounced for granite and limestone manufactured sands. In contrast, concrete with basalt manufactured sand shows lower early-age strength but improved performance at 28 days. However, replacing river sand with manufactured sand reduces workability and slump retention, while increasing the water demand due to the angular particle shape and higher fine content. Among the manufactured sands, granite sand produces the highest compressive strength (R28 = 67.85 MPa for M500 mix), limestone sand also provides a significant strength enhancement, whereas basalt sand tends to reduce workability and increase water demand, though it still satisfies the required strength of structural concrete. All experimental data in this study were obtained from the Vietnamese Ministry of Construction research project RD 18-24.

1. Giới thiệu

Trong những thập kỷ gần đây, nhu cầu phát triển hạ tầng và đô thị hóa nhanh chóng đã làm gia tăng mạnh mẽ nhu cầu về cát tự nhiên trong sản xuất bê tông. Tuy nhiên, việc khai thác cát sông quá mức đã gây ra nhiều hệ lụy nghiêm trọng như sạt lở bờ sông, mất cân bằng sinh thái và khan hiếm nguồn tài nguyên cốt liệu mịn [1]. Để giải quyết vấn đề này, cát nghiền từ các loại đá như đá vôi, granite, bazan đã được nghiên cứu và ứng dụng thay thế một phần hoặc toàn bộ cát sông trong sản xuất bê tông.

Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng bê tông sử dụng cát nghiền có thể đạt được hoặc vượt trội hơn so với bê tông truyền thống về cường

độ cơ học và độ bền lâu. Chẳng hạn, nghiên cứu tại Ấn Độ cho thấy khi thay thế 40 % cát sông bằng cát nghiền, cường độ nén của bê tông tăng từ 8–12 % [2]. Ở Trung Quốc, hỗn hợp 50:50 giữa cát nghiền và cát sông đã giúp cải thiện đáng kể khả năng chống thấm nước và giảm hệ số thấm ion clo [3]. Các nghiên cứu tại Brazil và châu Âu cũng ghi nhận sự cải thiện về tính chất cơ học và độ bền lâu, cũng như nhấn mạnh tầm quan trọng của việc kiểm soát hàm lượng hạt mịn và cấp phối hạt [4, 5].

Mặc dù có nhiều ưu điểm, việc sử dụng cát nghiền cũng tồn tại những hạn chế nhất định. Do hình dạng hạt góc cạnh và diện tích bề mặt riêng lớn, hỗn hợp bê tông dùng cát nghiền thường có tính công tác kém hơn, đòi hỏi nhiều nước trộn hoặc phụ gia siêu dẻo hơn so

*Liên hệ tác giả: doanvibm@gmail.com

Nhận ngày 16/09/2025, sửa xong ngày 30/10/2025, chấp nhận đăng ngày 19/12/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.06.2025.1130>

với bê tông dùng cát sông [6]. Ngoài ra, một số nghiên cứu chỉ ra rằng cát nghiền có thể làm tăng co ngót khô và nguy cơ nứt vi mô nếu không có giải pháp điều chỉnh cấp phối hợp lý [7]. Hàm lượng hạt mịn cao trong cát nghiền cũng là nguyên nhân làm tăng lượng nước trộn, ảnh hưởng xấu đến tính chất của bê tông [8]. Do đó, việc nghiên cứu thay thế cát sông bằng cát nghiền, đồng thời kết hợp với phụ gia hóa học, là cần thiết để nâng cao hiệu quả sử dụng loại vật liệu này trong điều kiện thực tế tại Việt Nam.

Hiện nay ở nước ta, cát nghiền đang ngày càng được quan tâm, sử dụng nhiều hơn để sản xuất bê tông. Nhà nước cũng đã ban hành các tiêu chuẩn, hướng dẫn, chỉ dẫn kỹ thuật sử dụng cát nghiền trong bê tông và vữa như TCVN 9205:2012 [9] và TCVN 9382:2012 [10]. Chất lượng của cát nghiền phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó chất lượng của loại đá gốc ảnh hưởng rất lớn đến tính chất của cát nghiền. Ở mỗi vùng miền lại có những loại đá gốc khác nhau phụ thuộc vào địa hình và điều kiện hình thành như đá vôi đa số ở miền Bắc và miền Trung trong khu vực miền Nam lại tập trung nhiều đá granite và đá bazan.

Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá ảnh hưởng của một số loại cát nghiền (cát nghiền đá vôi, cát nghiền đá granite và cát nghiền đá bazan) đến một số tính chất cơ lý cơ bản của bê tông, bao gồm: lượng nước trộn, tổn thất độ sụt, khối lượng thể tích hỗn hợp bê tông, cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông. Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần làm rõ khả năng ứng dụng cát nghiền cho bê tông trong bối cảnh nhu cầu vật liệu xây dựng bền vững ngày càng tăng cao.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên vật liệu sử dụng

Xi măng sử dụng để nghiên cứu tính chất của hỗn hợp bê tông là xi măng rời đóng bao PC40 Nghi Sơn. Tính chất của xi măng phù hợp theo TCVN 2682:2020 và được cho trong Bảng 1.

Cốt liệu nhỏ sử dụng cho nghiên cứu bao gồm cát vàng sông Lô, cát nghiền đá vôi, cát nghiền đá Granite và cát nghiền đá bazan. Tính chất cơ lý của các loại cát được trình bày trong Bảng 2.

Nước dùng để trộn bê tông trong đề tài là nước máy được lấy từ viện Vật liệu xây dựng. Nước trộn thỏa mãn yêu cầu theo tiêu chuẩn TCVN 4506 :2012 “Nước trộn bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật”.

Phụ gia hóa học sử dụng cho bê tông là Viscocrete của hãng Sika. Đây là phụ gia siêu dẻo trên cơ sở phối trộn của PCE polyme thế hệ thứ 3 để sản xuất bê tông mềm, xốp dễ thi công. Các tính chất của phụ gia phù hợp với TCVN 8826:2024 và được trình bày trong Bảng 3.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Đề tài sử dụng 3 loại cát nghiền từ các nguồn đá Bazan, đá Granite và đá vôi cùng với cát sông làm cấp phối đối chứng, khảo sát ở các mức cường độ 300 MPa, 400 MPa và 500 MPa và hai loại độ sụt là 6÷8 cm và 14÷16 cm. Cấp phối bê tông được thiết kế theo TCVN 9382:2012 “Chỉ dẫn chọn thành phần bê tông sử dụng cát nghiền” và

được trình bày trong Bảng 4. Phụ gia hóa học được sử dụng với tỉ lệ từ 0,8 đến 1 % theo khuyến cáo của nhà sản xuất.

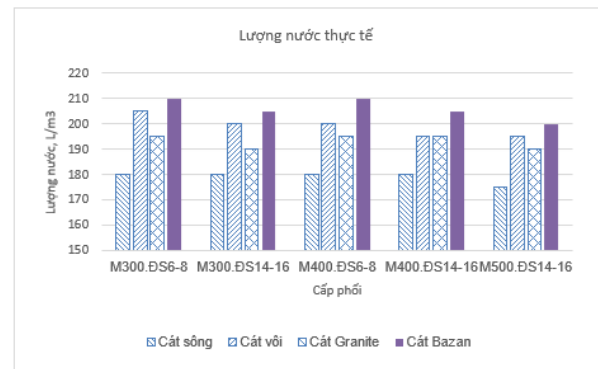
Hỗn hợp bê tông được trộn bằng máy trộn cưỡng bức 1 trục. Cường độ chịu nén được thí nghiệm trên mẫu lập phương $150 \times 150 \times 150$ mm theo TCVN 3118:2022 và cường độ chịu kéo khi uốn trên mẫu lăng trụ $100 \times 100 \times 400$ mm theo TCVN 3119:2022. Mẫu thử được bảo dưỡng ở điều kiện tiêu chuẩn trong phòng thí nghiệm cho đến khi thí nghiệm cường độ.

3. Kết quả và bàn luận

Cát sông và ba loại cát nghiền (đá vôi, đá granite, đá bazan) được sử dụng để nghiên cứu đánh giá các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông. Kết quả thí nghiệm được tổng hợp trong bảng 5.

3.1. Ảnh hưởng của loại cát nghiền đến lượng nước trộn

Kết quả lượng nước trộn của các cấp phối bê tông sử dụng loại cát nghiền khác nhau được thể hiện trên Bảng 5 và Hình 1.



Hình 1. Lượng dùng nước của hỗn hợp bê tông sử dụng các loại cát nghiền.

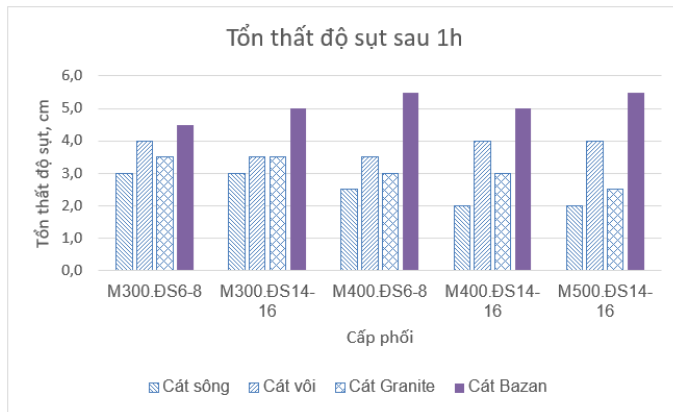
Kết quả thí nghiệm cho thấy lượng nước trộn cần thiết của hỗn hợp bê tông phụ thuộc mạnh mẽ vào loại cát sử dụng. Bê tông sử dụng cát sông có nhu cầu nước thấp nhất, chỉ khoảng 175–180 L/m³, trong khi đó các hỗn hợp dùng cát nghiền đều cần nhiều nước hơn. Cát nghiền đá vôi và đá granit yêu cầu trong khoảng 190–205 L/m³, còn cát nghiền đá bazan có giá trị cao nhất, đạt đến 210 L/m³. Sự gia tăng này được lý giải bởi hình dạng hạt góc cạnh và bề mặt nhám của cát nghiền, làm tăng ma sát nội và diện tích bề mặt cần bao phủ bởi hồ xi măng. Kết quả này phù hợp với nhiều nghiên cứu trước đây, vốn đã chỉ ra rằng bê tông sử dụng cát nghiền thường đòi hỏi lượng nước trộn và phụ gia hóa dẻo cao hơn để đạt cùng một độ sụt so với cát sông [6].

3.2. Ảnh hưởng của loại cát nghiền đến tổn thất độ sụt

Khả năng duy trì tính công tác được thể hiện thông qua tổn thất

độ sụt của bê tông sử dụng các loại cát khác nhau được trình bày trong Bảng 5 và Hình 2.

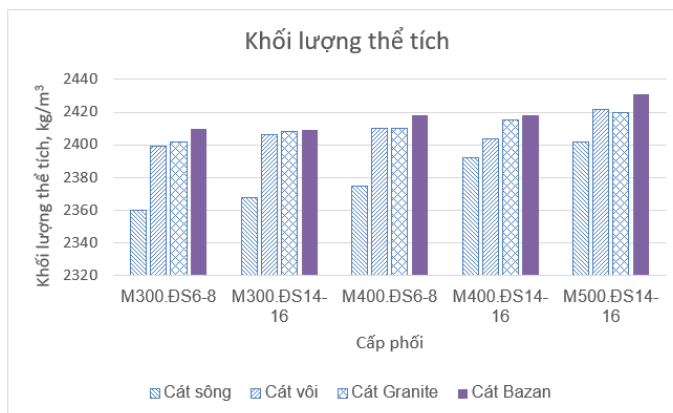
Từ kết quả cho thấy khả năng giữ độ sụt của bê tông sử dụng cát nghiền nhìn chung kém hơn so với bê tông dùng cát sông. Sau một giờ, bê tông dùng cát sông chỉ mất khoảng 2–3 cm độ sụt, trong khi với cát vôi và cát granit mức mất sụt tăng lên 3–4 cm, còn cát bazan là lớn nhất với 4,5–5,5 cm. Hiện tượng này phản ánh tính chất bề mặt của cát nghiền: gồ ghề, nhiều góc cạnh dễ hút nước, hàm lượng hạt mịn cao cũng làm tăng diện tích bề mặt, từ đó tăng độ hút nước khiến hỗn hợp nhanh giảm độ sụt. Điều này gây ra khó khăn trong quá trình vận chuyển, đổ và đầm bê tông, đặc biệt với bê tông thương phẩm hoặc các công trình có thời gian thi công kéo dài.



Hình 2. Tổn thất độ sụt của hỗn hợp bê tông sử dụng các loại cát nghiền.

3.3. Ảnh hưởng của loại cát nghiền đến khối lượng thể tích

Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông sử dụng cát loại cát nghiền khác nhau được thể hiện trong Bảng 5 và Hình 3.



Hình 3. KLTT của hỗn hợp bê tông sử dụng các loại cát nghiền.

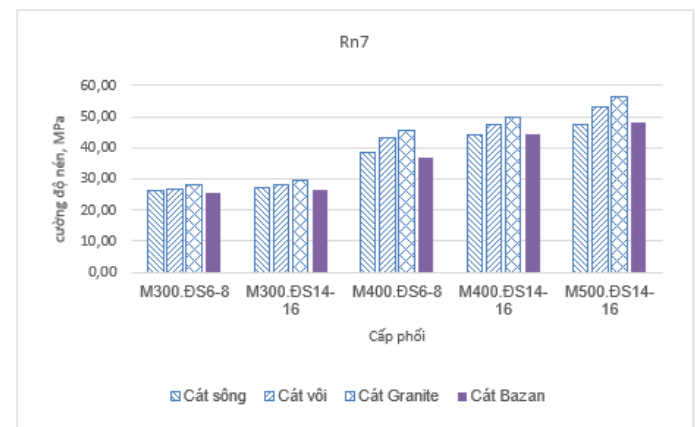
Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông dao động trong khoảng 2360–2430 kg/m³, trong đó bê tông cát sông có giá trị thấp nhất (khoảng 2338–2363 kg/m³), còn bê tông dùng cát nghiền đạt

mức cao hơn, đặc biệt với cát nghiền đá bazan (2431 kg/m³). Sự gia tăng này do cát nghiền có khối lượng riêng cao hơn cát sông.

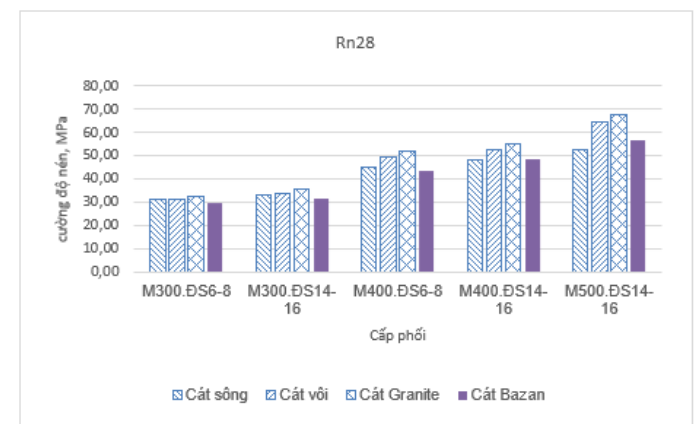
3.4. Ảnh hưởng của cát nghiền đến cường độ chịu nén của bê tông

Cường độ chịu nén 7 ngày và 28 ngày của bê tông sử dụng các loại cát khác nhau được thể hiện trong Bảng 5, Hình 4 và Hình 5.

Kết quả thí nghiệm nén cho thấy xu hướng rõ ràng: bê tông sử dụng cát nghiền có cường độ cao hơn so với cát sông, đặc biệt ở tuổi 28 ngày. Cường độ tuổi 28 ngày của mẫu cát sông chỉ đạt 31–53 MPa, trong khi mẫu sử dụng cát nghiền đá vôi và đá granit lần lượt đạt 31–64 MPa và 33–68 MPa. Cát nghiền đá bazan có kết quả kém, chỉ 30–56 MPa, nhưng vẫn nằm trong giới hạn yêu cầu của cấp phối thiết kế. Đáng chú ý, cát nghiền đá granit cho kết quả nổi trội, với cường độ nén tăng tới 20–25 % so với đối chứng ở cùng mức bê tông. Điều này cho thấy hình dạng góc cạnh và bề mặt gồ ghề của cát nghiền làm tăng liên kết giữa cốt liệu và hồ xi măng, cải thiện vùng ITZ, giúp tăng cường độ bê tông mặc dù tỉ lệ N/X tăng.



Hình 4. Cường độ nén 7 ngày của bê tông sử dụng các loại cát khác nhau.

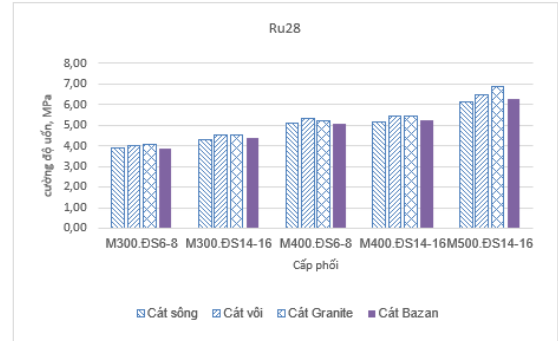


Hình 5. Cường độ nén 28 ngày của bê tông sử dụng các loại cát khác nhau.

3.5. Ảnh hưởng của cát nghiền đến cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông

Kết quả cường độ chịu uốn của bê tông sử dụng các loại cát nghiền khác nhau được thể hiện trên Bảng 5 và Hình 6.

Cường độ uốn ở tuổi 28 ngày có sự biến thiên cùng xu hướng với cường độ nén. Cụ thể, bê tông cát sông đạt 3,91–6,11 MPa, trong khi cát nghiền đá vôi và đá granit lần lượt đạt 4,28–6,49 MPa và 4,47–6,89 MPa. Cát nghiền đá bazan có giá trị thấp hơn, chỉ 4,06–6,25 MPa. Sự gia tăng cường độ uốn cho thấy cát nghiền không chỉ cải thiện cường độ nén mà còn nâng cao khả năng kháng nứt và chịu kéo của bê tông.



Hình 6. Cường độ uốn 28 ngày của bê tông sử dụng các loại cát khác nhau.

Bảng 1. Các chỉ tiêu cơ lý của xi măng PC40 Nghi Sơn.

TT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị	PC40 Nghi Sơn
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	3,1
2	Độ mịn, theo phương pháp Blaine	cm ² /g	4250
3	Lượng sót sàng 0,075 mm	%	2,4
4	Lượng nước tiêu chuẩn	%	27,5
5	Thời gian đông kết		
	- Bắt đầu	phút	125
	- Kết thúc	phút	190
6	Cường độ chịu nén		
	- 3 ngày	MPa	32,5
	- 28 ngày	MPa	54,3

Bảng 2. Tính chất cơ lý của cốt liệu nhỏ

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Cát vàng	Cát nghiền Bazan	Cát nghiền Granit	Cát nghiền đá vôi
1	Độ ẩm	%	1,49	3,45	2,63	2,17
2	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,64	2,7	2,72	2,68
3	Khối lượng thể tích	g/cm ³	2,57	2,68	2,70	2,66
4	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	1495	1540	1560	1520
5	Mô đun độ lớn		2,66	3,02	3,21	3,09
6	Hàm lượng bột mịn < 0,075 mm	%	-	1,35	2,24	2,88

Bảng 3. Tính chất của phụ gia hóa học.

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả
1	Tỷ trọng	g/cm ³	1,06
2	Hàm lượng chất khô	%	36,49
3	Hàm lượng ion clorua	%	-
4	Khả năng giảm nước so với mẫu đối chứng	%	26
5	Tăng cường độ so với mẫu đối chứng	%	
	- 3 ngày (days)		141
	- 7 ngày (days)		146
	- 28 ngày (days)		144
6	Thời gian đông kết		
	- Bắt đầu	Giờ-phút	07:50
	- Kết thúc	Giờ-phút	10:15

Bảng 4. Cấp phối thí nghiệm bê tông sử dụng cát nghiền.

TT	Loại cát nghiền	Mác thiết kế	Yêu cầu ĐS	Thành phần cấp phối 01 mét khối bê tông					
				PC40 (kg)	Cát sông (kg)	Cát nghiền (kg)	Đá dăm (5-20) (kg)	PGHH (lít)	Nước
1	Cát sông	M300.ĐS6-8.CS	6 ÷ 8 cm	259	798	0	1127	0,00	180
2		M300.ĐS14-16.CS	14 ÷ 16 cm	259	812	0	1107	2,07	180
3		M400.ĐS6-8.CS	6 ÷ 8 cm	337	753	0	1107	0,00	180
4		M400.ĐS14-16.CS	14 ÷ 16 cm	337	765	0	1088	2,69	180
5		M500.ĐS14-16.CS	14 ÷ 16 cm	414	714	0	1069	4,14	175
6	Cát vôi	M300.ĐS6-8.CG	6 ÷ 8 cm	259	0	807	1127	0,00	210
7		M300.ĐS14-16.CG	14 ÷ 16 cm	259	0	822	1107	2,07	205
8		M400.ĐS6-8.CG	6 ÷ 8 cm	337	0	761	1107	0,00	210
9		M400.ĐS14-16.CG	14 ÷ 16 cm	337	0	774	1088	2,69	205
10		M500.ĐS14-16.CG	14 ÷ 16 cm	414	0	723	1069	4,14	200
11	Cát granit	M300.ĐS6-8.CV	6 ÷ 8 cm	259	0	810	1127	0,00	215
12		M300.ĐS14-16.CV	14 ÷ 16 cm	259	0	825	1107	2,07	210
13		M400.ĐS6-8.CV	6 ÷ 8 cm	337	0	764	1107	0,00	215
14		M400.ĐS14-16.CV	14 ÷ 16 cm	337	0	776	1088	2,69	210
15		M500.ĐS14-16.CV	14 ÷ 16 cm	414	0	725	1069	4,14	205
16	Cát vôi	M300.ĐS6-8.CB	6 ÷ 8 cm	259	0	810	1127	0,00	220
17		M300.ĐS14-16.CB	14 ÷ 16 cm	259	0	825	1107	2,07	215
18		M400.ĐS6-8.CB	6 ÷ 8 cm	337	0	764	1107	0,00	220
19		M400.ĐS14-16.CB	14 ÷ 16 cm	337	0	776	1088	2,69	215
20		M500.ĐS14-16.CB	14 ÷ 16 cm	414	0	725	1069	4,14	210

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm bê tông sử dụng cát nghiền thay thế cát sông.

TT	Loại cát	Cấp phối bê tông	Độ sụt yêu cầu	Lượng nước thực tế (L)	Tổn thất độ sụt sau 1h (cm)	Khối lượng thể tích (kg/m³)	Cường độ chịu nén (MPa)		Cường độ chịu kéo khi uốn (MPa)
							7 ngày	28 ngày	
1	Cát sông	M300.ĐS6-8.CS	6 ÷ 8 cm	180	3,0	2360	26,15	31,19	3,91
2		M300.ĐS14-16.CS	14 ÷ 16 cm	180	3,0	2368	27,11	33,19	4,31
3		M400.ĐS6-8.CS	6 ÷ 8 cm	180	2,5	2375	38,30	44,96	5,09
4		M400.ĐS14-16.CS	14 ÷ 16 cm	180	2,0	2392	44,22	48,00	5,16
5		M500.ĐS14-16.CS	14 ÷ 16 cm	175	2,0	2402	47,48	52,89	6,11
6	Cát vôi	M300.ĐS6-8.CG	6 ÷ 8 cm	205	4,0	2399	26,89	30,96	4,28
7		M300.ĐS14-16.CG	14 ÷ 16 cm	200	3,5	2406	28,00	33,70	4,35
8		M400.ĐS6-8.CG	6 ÷ 8 cm	200	3,5	2410	43,26	49,66	5,35
9		M400.ĐS14-16.CG	14 ÷ 16 cm	195	4,0	2404	47,26	52,87	5,37
10		M500.ĐS14-16.CG	14 ÷ 16 cm	195	4,0	2422	53,19	64,52	6,49
11	Cát granit	M300.ĐS6-8.CV	6 ÷ 8 cm	195	3,5	2402	28,22	32,67	4,47
12		M300.ĐS14-16.CV	14 ÷ 16 cm	190	3,5	2408	29,48	35,56	4,54
13		M400.ĐS6-8.CV	6 ÷ 8 cm	195	3,0	2410	45,63	52,15	5,23
14		M400.ĐS14-16.CV	14 ÷ 16 cm	195	3,0	2415	49,78	55,26	5,45
15		M500.ĐS14-16.CV	14 ÷ 16 cm	190	2,5	2420	56,30	67,85	6,89
16	Cát Bazan	M300.ĐS6-8.CB	6 ÷ 8 cm	210	4,5	2410	25,33	29,93	4,06
17		M300.ĐS14-16.CB	14 ÷ 16 cm	205	5,0	2409	26,67	31,41	4,46
18		M400.ĐS6-8.CB	6 ÷ 8 cm	210	5,5	2418	36,74	43,41	5,05
19		M400.ĐS14-16.CB	14 ÷ 16 cm	205	5,0	2418	44,44	48,81	5,24
20		M500.ĐS14-16.CB	14 ÷ 16 cm	200	5,5	2431	48,22	56,52	6,25

4. Kết luận

Nghiên cứu đã phân tích ảnh hưởng của các loại cát nghiền (đá vôi, đá granit, đá bazan) khi thay thế cát sông đến một số tính chất của bê tông. Từ đó có thể rút ra như sau:

- Bê tông sử dụng cát nghiền đòi hỏi lượng nước trộn cao hơn và có khả năng duy trì độ sụt kém hơn so với bê tông dùng cát sông, đặc biệt rõ rệt với cát nghiền đá bazan. Việc này phản ánh đặc trưng hạt góc cạnh và hàm lượng hạt mịn cao của cát nghiền.
- Bê tông sử dụng cát nghiền có khối lượng thể tích cao hơn (2400–2430 kg/m³) so với bê tông cát sông (2360–2390 kg/m³), ngoài việc khối lượng riêng của cát nghiền cao hơn cát sông thì còn cho thấy cấu trúc đặc chắc hơn và ít lỗ rỗng hơn.
- Bê tông với cát nghiền đá granit và đá vôi đạt cường độ cao hơn so với bê tông cát sông. Cát granit đặc biệt cho kết quả nổi bật ở cấp phối M500 (R28 đạt 67,85 MPa). Trong khi đó, cát bazan cho kết quả thấp hơn ở tuổi sớm nhưng cải thiện ở 28 ngày.
- Việc thay thế cát sông bằng cát nghiền hoàn toàn có thể đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của bê tông từ mức M300 đến M500, đồng thời góp phần giảm khai thác cát tự nhiên và hướng đến phát triển bền vững ngành xây dựng.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Padmalal, D. (Damodharan); Maya, K. (2014). Sand mining: environmental impacts and selected case studies. *Ambio*, 46, 324–334.
- [2]. Ilangovana, R., Mahendrana, N., Nagamanib, K. (2008). Strength and durability properties of concrete containing quarry rock dust as fine aggregate. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(5), 20–26.
- [3]. Sumbo Zheng, Jiajian Chen, & Wenxue Wang (2022). Effects of Fines Content on Durability of High-Strength Manufactured Sand Concrete. *Materials*, 15(1), 27.
- [4]. Ali Mardani, Murat Tuyan and Kambiz Ramyar (2014). Mechanical and durability performance of concretes with crushed granite fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 210, 198–208.
- [5]. Westerholm, M., Lagerblad, B., Silfwerbrand, J., Forssberg, E. (2008). Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars. *Cement and Concrete Composites*, 30(4), 274–282.
- [6]. Japhet tiegoum Wembe, et al. (2023). Physical, mechanical properties and microstructure of concrete made from river and crushed sands. *Case Studies in Construction Materials*.
- [7]. Mingming Zhang, Jin Xu, Meng Li and Xiaosa Yuan (2023). Influence of Stone Powder Content from Manufactured Sand Concrete on Shrinkage, Cracking, Compressive Strength, and Penetration. *Buildings*, 13(7).
- [8]. Hoàng Minh Đức, Lê Văn Thắng. Ảnh hưởng của hàm lượng hạt mịn đến độ sụt của hỗn hợp bê tông sử dụng cát nghiền. *Tạp chí KHCN Xây dựng*, số 1/2021. 57-62.
- [9]. TCVN 9205:2012. *Cát nghiền cho bê tông và vữa*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [10]. TCVN 9382:2012. *Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông sử dụng cát nghiền*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam