

# Cường độ và độ bền của vữa sử dụng bã cà phê thay thế một phần cốt liệu nhỏ

Nguyễn Đăng Nguyên<sup>1</sup>, Mai Thị Hồng<sup>2</sup>, Nguyễn Văn Dũng<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 Giải Phóng, phường Đồng Tâm, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup>Khoa Kỹ thuật, Công nghệ và Truyền thông, Trường Đại học Hồng Đức, 565 Quang Trung, phường Đông Vệ, TP Thanh Hóa, tỉnh Thanh Hóa, Việt Nam

Ngày nhận bài 14/4/2025; ngày chuyển phản biện 18/4/2025; ngày nhận phản biện 13/5/2025; ngày chấp nhận đăng 16/5/2025

## **Tóm tắt:**

Việt Nam là một quốc gia tiêu thụ cà phê lớn, qua đó tạo ra lượng bã cà phê (BCP) đáng kể. Trong khi đó, cát tự nhiên ngày càng cạn kiệt và cần thiết phải tìm kiếm các vật liệu khác để thay thế. Nghiên cứu này khảo sát khả năng sử dụng BCP thay thế một phần cát trong sản xuất vữa với hàm lượng lần lượt là 0, 2,5, 5, 7,5 và 10% theo khối lượng. Các tính chất cơ lý được đánh giá gồm: cường độ chịu nén khi ngâm trong nước và dung dịch  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  5%, độ hút nước, co khô và giãn nở do sun phát. Kết quả cho thấy, việc thay thế cát bằng BCP làm giảm cường độ chịu nén của vữa, đồng thời làm tăng độ hút nước, độ co khô và độ giãn nở sun phát. Các mẫu vữa có hàm lượng BCP từ 7,5% trở lên có hiện tượng phát triển cường độ chậm tại các ngày tuổi ban đầu và chúng còn có cường độ tương đương hoặc cao hơn khi ngâm trong dung dịch  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  so với các mẫu vữa ngâm trong nước. Mặt khác, tất cả các mẫu vữa chứa BCP vẫn đạt cường độ chịu nén 17-44 MPa tại 28 ngày tuổi, tương đương với các mẫu vữa thông thường đang được sử dụng hiện nay.

**Từ khóa:** ăn mòn sun phát, bã cà phê, cường độ chịu nén, độ hút nước, vữa xây dựng.

**Chỉ số phân loại:** 2.1, 2.5

## Strength and durability of mortar containing spent coffee grounds as a part of fine aggregate

Dang-Nguyen Nguyen<sup>1</sup>, Thi-Hong Mai<sup>2</sup>, Van-Dung Nguyen<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Building and Industrial Construction, Hanoi University of Civil Engineering, 55 Giai Phong Street, Dong Tam Ward, Hai Ba Trung District, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup>Faculty of Engineering, Technology, and Communication, Hong Duc University, 565 Quang Trung Street, Dong Ve Ward, Thanh Hoa City, Thanh Hoa Province, Vietnam

Received 14 April 2025; revised 13 May 2025; accepted 16 May 2025

## **Abstract:**

Vietnam is a major coffee-consuming country, generating a significant amount of spent coffee grounds. Meanwhile, natural sand is increasingly depleted, making it necessary to seek alternative materials. This study investigates the potential of using spent coffee grounds as a partial replacement for sand in mortar production, with replacement levels of 0, 2.5, 5, 7.5, and 10% by weight. The evaluated properties include compressive strength after immersion in water and 5%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  solution, water absorption, drying shrinkage, and sulfate expansion. The results show that replacing sand with spent coffee grounds reduces the compressive strength of mortar, while increasing water absorption, drying shrinkage, and sulfate expansion. Mortar samples containing 7.5% or more spent coffee grounds exhibited slower strength development at early ages and demonstrated equal or even higher strength when immersed in a  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  solution compared to those cured in water. On the other hand, all mortar samples containing spent coffee grounds achieved compressive strengths ranging from 17 to 44 MPa at 28 days, which is comparable to conventional mortars commonly used in practice.

**Keywords:** compressive strength, mortar, spent coffee grounds, sulfate corrosion, water absorption.

**Classification numbers:** 2.1, 2.5

\*Tác giả liên hệ: Email: nguyenvandung@hdu.edu.vn

## 1. Đặt vấn đề

Bã cà phê đã qua sử dụng là một loại chất thải rắn phát sinh trực tiếp từ quá trình tiêu thụ cà phê, một trong những sản phẩm được giao dịch phổ biến nhất trên toàn cầu. Lượng lớn BCP từ các quán cà phê thường bị thải bỏ vào các bãi chôn lấp, gây áp lực lên hệ thống xử lý chất thải và góp phần vào tình trạng thất thoát, lãng phí thực phẩm toàn cầu. Theo dự báo, lượng thực phẩm thất thoát sẽ đạt tới 2,1 tỷ tấn vào năm 2030, với tổn thất kinh tế ước tính lên tới 1,5 nghìn tỷ USD [1]. Tuy nhiên, vấn đề này cũng mở ra cơ hội trị giá 700 tỷ USD trong việc tìm kiếm giải pháp, bao gồm việc khám phá các thị trường mới cho chất thải hữu cơ [1]. Khoảng 7,4 triệu tấn BCP được sản xuất hằng năm trên toàn thế giới [2]. Do hàm lượng cao các hợp chất hữu cơ, BCP đòi hỏi một lượng lớn oxy để phân hủy cấu trúc hữu cơ hiệu quả hơn theo thời gian và phát thải một lượng lớn khí nhà kính như carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) và methane (CH<sub>4</sub>) trong quá trình phân hủy [3, 4]. Ngoài ra, caffeine, tannin và polyphenol trong BCP rất độc hại đối với môi trường [5]. Do đó, việc tìm kiếm các giải pháp để tái chế loại chất thải này thành các sản phẩm có giá trị sử dụng là hết sức cần thiết.

Trong những thập kỷ gần đây, nhiều nghiên cứu đã tìm kiếm các phương pháp xử lý BCP thân thiện với môi trường. J. McNutt và cs (2019) [6] đã thực hiện một tổng quan về các khả năng ứng dụng BCP trong các ngành công nghiệp khác nhau. Trong số những ứng dụng này, một số nghiên cứu đã đề xuất việc tái chế BCP vào các vật liệu xây dựng như gốm, bê tông và vữa. Phương pháp này có ưu điểm đặc biệt vì khi BCP được kết hợp vào vật liệu xây dựng, chúng sẽ trở nên vô hại và được trung hòa, từ đó giúp giải quyết các vấn đề môi trường liên quan. Trên thế giới cũng đã có một số nghiên cứu ứng dụng BCP trong lĩnh vực xây dựng. BCP có thể được phối trộn với một số chất kết dính và vật liệu phế thải khác để sản xuất vật liệu làm nền đường [7]. Ngoài ra, BCP còn được sử dụng trong sản xuất gạch như một loại phụ gia, giúp tăng khả năng hấp thụ nước và giảm độ dẫn nhiệt của gạch [8]. Ở tỷ lệ 1-2% BCP so với trọng lượng đất sét, gạch có cường độ chịu nén và có khả năng cách nhiệt thấp hơn so với gạch đất sét đối chứng không chứa BCP. Tuy nhiên, khi tăng tỷ lệ BCP lên 3-5%, gạch có mật độ thấp hơn, độ rỗng cao hơn, nhờ đó cải thiện đáng kể khả năng cách nhiệt nhưng vẫn đảm bảo độ bền cơ học phù hợp. Tỷ lệ BCP tối ưu là 3%, khi đó cường độ chịu nén của gạch còn cao hơn so với gạch đất sét thông thường [9].

Ngoài ra, BCP còn được nghiên cứu ứng dụng làm vật liệu cách âm [10], làm cốt liệu cho gốm đất sét nhẹ [11], hoặc sử dụng trong thạch cao để giảm độ dẫn nhiệt và khả năng khuếch tán nhiệt [12]. Một số nghiên cứu còn hướng đến việc phát triển vật liệu xây dựng bền vững bằng cách sử dụng tro của BCP để thay thế một phần xi măng Portland [13].

Nghiên cứu của S. Na và cs (2021) [14] đã khảo sát ảnh hưởng của BCP đến tính chất cơ học của vữa xi măng thông qua các tỷ lệ phối trộn khác nhau (0, 1, 1,5, 5 và 10% khối lượng xi măng). BCP được xử lý thành than hoạt tính bằng phương pháp carbon hóa vật lý ở nhiệt độ 600°C trong thời gian 1 giờ. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, với hàm lượng than hoạt tính dưới 1,5%, vữa không những đạt được cường độ chịu nén sớm cao hơn mà còn thể hiện khả năng chịu nén vượt trội so với mẫu chuẩn. Mặc dù kết quả nghiên cứu mở ra triển vọng ứng dụng BCP trong vữa xi măng, nhưng quy trình carbon hóa đòi hỏi tiêu tốn lượng lớn năng lượng, làm hạn chế tính khả thi trong thực tế. Gần đây, J.D. Lee và cs (2023) [15] điều tra tính khả thi của việc kết hợp BCP khô chưa qua xử lý trong vữa xây dựng. Các mẫu vữa đã được chế tạo với các tỷ lệ BCP theo khối lượng xi măng là 0,6, 0,9, 1,8, 3,0 và 6,0% tương ứng với các tỷ lệ thay thế cát theo thể tích là 1, 1,5, 3, 5 và 10%. Kết quả nghiên cứu cho thấy, các mẫu có 0,6 và 0,9% BCP thể hiện xu hướng hoàn toàn khác so với mẫu đối chứng, với mức giảm 24,5% và tăng 8,3% về cường độ nén, tương ứng. Đối với các mẫu có hơn 3,0% BCP, tính chất hút nước cao của BCP dẫn đến sự suy giảm cường độ do quá trình thủy hóa không hoàn chỉnh.

Cà phê là mặt hàng được giao dịch nhiều thứ hai trên thế giới sau dầu mỏ và Việt Nam là một trong những quốc gia sản xuất cà phê lớn trên thế giới, chỉ đứng sau Brazil. Điều này đồng nghĩa với việc lượng BCP thải ra tại Việt Nam là vô cùng lớn. Vì vậy, việc tìm ra giải pháp tái chế để biến loại chất thải này thành một nguồn tài nguyên có giá trị là cần thiết. Ngành xây dựng có tiềm năng lớn trong việc nâng cao tỷ lệ tái chế loại vật liệu phế thải này, góp phần thúc đẩy phát triển bền vững từ góc độ môi trường. Bên cạnh đó, quá trình đô thị hóa, phát triển cơ sở hạ tầng và xây dựng nhà ở cũng làm gia tăng nhu cầu sử dụng các nguyên vật liệu tự nhiên đang ngày càng khan hiếm, điển hình là cát.

Cát tự nhiên ngày càng khan hiếm, trong khi lượng lớn BCP được thải ra hàng ngày gây ô nhiễm môi trường. Chính vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá khả năng ứng dụng thực tế của BCP trong sản xuất vữa xây dựng. Khác với phần lớn các nghiên cứu trước thường sử dụng BCP đã qua xử lý nhiệt, nghiên cứu này tập trung vào việc ứng dụng trực tiếp BCP chưa qua xử lý. Trong nghiên cứu này, BCP được sử dụng để thay thế cát với các hàm lượng 0, 2,5, 5, 7,5 và 10%. Ảnh hưởng của hàm lượng BCP lên một số tính chất của vữa được khảo sát bao gồm: (1) cường độ chịu nén, (2) độ hút nước, (3) độ co khô, (4) độ giãn nở sun phát và (5) khả năng chịu nén trong môi trường sun phát.

## 2. Vật liệu và chương trình thí nghiệm

### 2.1. Vật liệu thí nghiệm

Các loại vật liệu sử dụng để chế tạo các mẫu vữa trong nghiên cứu này bao gồm: xi măng PCB40, vôi, cát sông tự nhiên, BCP và nước. Cụ thể, nghiên cứu sử dụng xi măng

PCB40 được sản xuất tại Nhà máy xi măng Bim Sơn, có khối lượng riêng là 3,12 tấn/m<sup>3</sup>. Thành phần hóa học chính của xi măng được thể hiện trong bảng 1. Xi măng chủ yếu bao gồm SiO<sub>2</sub> và CaO, với tổng hàm lượng lên đến 77,75% theo khối lượng. Vôi bột có khối lượng riêng là 2,21 tấn/m<sup>3</sup> được bổ sung với một lượng nhỏ (1% so với tổng hàm lượng chất kết dính) cho các mẫu có chứa BCP nhằm tăng khả năng đông kết nhanh của vữa. Cát tự nhiên được mua trên thị trường có khối lượng riêng là 2,62 tấn/m<sup>3</sup>; khối lượng thể tích ở trạng thái khô tự nhiên là 1,45 tấn/m<sup>3</sup>; độ ẩm là 0,53%; và độ hút nước là 0,42%. Cát được sàng trước khi sử dụng để loại bỏ các hạt có kích thước lớn hơn 1,25 mm và nhỏ hơn 0,15 mm. BCP được thu gom từ các cửa hàng cà phê trên địa bàn TP Thanh Hóa, sau đó được rửa sạch nhằm loại bỏ các tạp chất và phơi khô. BCP trong nghiên cứu này có khối lượng riêng khoảng 900 kg/m<sup>3</sup>, điều này chứng tỏ chúng có độ xốp cao tương tự như kết quả từ nghiên cứu trước [15]. Thành phần hóa học chính của BCP có thể được tìm thấy trong bài báo của B. Janissen và cs (2018) [16]. Trước khi sử dụng BCP được ngâm trong dung dịch NaOH 2% trong 2 giờ, tiếp theo là đun sôi ở nhiệt độ 90-100°C trong 2 giờ nhằm loại bỏ nốt các tạp chất còn lại như đường và sữa. Sau đó, BCP được đổ lên sàng có mắt lưới 0,15 mm để cho nước thoát hết. Như vậy, BCP sử dụng trong nghiên cứu này ở điều kiện bão hòa nước, điều này rất quan trọng vì BCP có độ rỗng cao, nếu sử dụng ở trạng thái khô cần bổ sung lượng nước lớn do độ hút nước của BCP cao. Hình 1 là hình ảnh của BCP sau khi trải qua các bước xử lý sơ bộ như đã mô tả ở trên. Phụ gia siêu dẻo loại F, với thành phần chính là Naphthalene Formaldehyde Sulfonate và khối lượng riêng là 1,15 tấn/m<sup>3</sup> được sử dụng để điều chỉnh tính công tác của vữa nhằm đạt được đường kính chảy xòe trong khoảng 16±2 cm, đảm bảo theo tiêu chuẩn TCVN 4314:2022 [17].

**Bảng 1. Thành phần hóa học chính của xi măng.**

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	LMKN*
Xi măng	22,30	6,68	4,73	55,45	2,40	1,28	0,74	0,45

LMKN\*: Lượng mất khi nung.



**Hình 1. Bã cà phê được thu gom và sơ chế.**

## 2.2. Thành phần cấp phối

Các mẫu vữa trong nghiên cứu này được thiết kế theo phương pháp thể tích tuyệt đối, với thành phần chi tiết được trình bày trong bảng 2. Vôi bột được sử dụng để thay thế 1,0% khối lượng xi măng cho các mẫu có BCP. Quá trình thực nghiệm đã chỉ ra rằng, các mẫu có BCP chậm đông rắn, vì vậy cần sử dụng thêm vôi bột để cải thiện khả năng này. Các mẫu được thiết kế với tỷ lệ cốt liệu trên chất kết dính là 2,0. Cốt liệu trong các mẫu vữa bao gồm cát và BCP, với tỷ lệ thay thế BCP cho cát lần lượt là 0, 2,5, 5, 7,5 và 10% theo khối lượng. Các mẫu vữa được ký hiệu là BCPx, trong đó “BCP” là viết tắt của BCP đã qua sử dụng và “x” biểu thị tỷ lệ phần trăm khối lượng BCP thay thế cát trong hỗn hợp. Tất cả các mẫu đều sử dụng phụ gia siêu dẻo để cải thiện tính công tác và không chế độ chảy xòe của các mẫu vữa như đã trình bày ở trên. Tất cả các hỗn hợp vữa được thiết kế với tỷ lệ nước trên chất kết dính (N/CKD) không đổi là 0,4. Mục tiêu của việc thiết kế hỗn hợp vữa thí nghiệm này là để đánh giá sự ảnh hưởng của hàm lượng BCP thay thế cát lên một số tính chất của vữa xây dựng như cường độ chịu nén, độ hút nước, độ co khô và khả năng chống ăn mòn sun phát (độ giãn nở sun phát và cường độ chịu nén khi ngâm trong dung dịch Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5%).

**Bảng 2. Thành phần hỗn hợp theo tỷ lệ.**

Hỗn hợp	Nước/ chất kết dính	Tỷ lệ các vật liệu (kg/m <sup>3</sup> )					
		Xi măng	Vôi	Cát	Bã cà phê	Nước	Phụ gia siêu dẻo
BCP00		671,4	0,0	1342,7	0,0	268,5	6,7
BCP2.5		648,2	6,5	1276,7	32,7	261,9	6,5
BCP5.0	0,40	633,1	6,4	1215,0	63,9	255,8	6,4
BCP7.5		618,6	6,2	1156,0	93,7	250,0	6,2
BCP10		604,9	6,1	1099,7	122,2	244,4	6,1

## 2.3. Chuẩn bị mẫu và phương pháp thí nghiệm

Dựa trên thành phần được trình bày trong bảng 2, tất cả các vật liệu bao gồm xi măng, vôi, cát và BCP đều được chuẩn bị và cân chính xác trước khi tiến hành trộn trong phòng thí nghiệm. Hình 2 minh họa các vật liệu được chuẩn bị cho một mẻ trộn. Hỗn hợp cốt liệu mịn (bao gồm cát tự nhiên và BCP) và chất kết dính (xi măng và vôi) được cho vào trộn đều trong vòng hai phút. Sau đó, nước đã được pha sẵn với phụ gia siêu dẻo được thêm vào hỗn hợp và trộn cho đến khi đạt được độ đồng nhất. Thí nghiệm xác định độ lưu động của vữa được thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 3121-3:2003 [18] để đảm bảo tất cả các mẫu đạt độ chảy trong khoảng 16±2 cm bằng cách điều chỉnh lượng phụ gia siêu dẻo. Khi đạt được độ chảy mong muốn, hỗn hợp vữa được đổ vào khuôn thép với các kích thước khác nhau tùy theo mục đích thí nghiệm. Hình 3 là hỗn hợp vữa được đúc trong các khuôn thép khác nhau.



Hình 2. Vật liệu khô để trộn.

Độ hút nước của vữa được xác định ở 28 và 56 ngày tuổi theo TCVN 3121-18:2003 [18] sử dụng các mẫu vữa có kích thước 50×50×50 mm. Độ co khô của vữa được xác định tại 1, 3, 7, 14, 28 và 56 ngày tuổi theo TCVN 8824:2011 [19] sử dụng các mẫu vữa kích thước 25×25×285 mm. Độ giãn nở sun phát được xác định ở 1, 3, 7, 14, 28 và 56 ngày khi ngâm các mẫu vữa kích thước 25×25×285 mm trong dung dịch Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5% xác định theo ASTM C1012 [20]. Giá trị trong bài báo là giá trị trung bình số học của ít nhất 3 mẫu vữa ở mỗi độ tuổi thử nghiệm.

Sử dụng các khuôn thép có kích thước 40×40×160 mm để đúc các mẫu chuẩn bị cho thí nghiệm xác định cường độ chịu nén. Các mẫu vữa được tháo khuôn sau một ngày kể từ khi đúc và được bảo dưỡng trong nước và ngâm trong dung dịch Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5% để xác định cường độ chịu nén và khả năng chịu lực trong môi trường xâm thực sun phát. Các thí nghiệm xác định cường độ chịu nén được thực hiện theo quy trình trong TCVN 3121-11:2003 [18]. Cường độ chịu nén được xác định tại các mốc 3, 7, 14, 28 và 56 ngày.

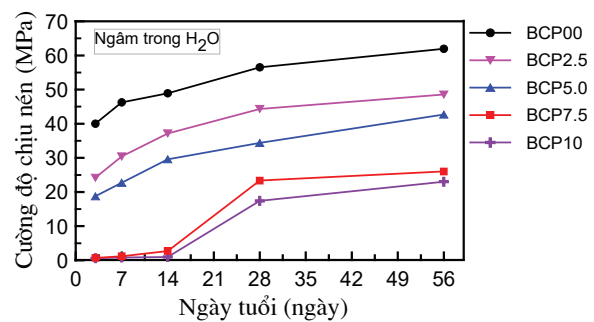
### 3. Kết quả và bàn luận

#### 3.1. Cường độ chịu nén

Cường độ chịu nén là thông số quan trọng dùng để đánh giá khả năng chịu lực của vữa. Trong nghiên cứu này, cường độ chịu nén của các mẫu vữa chứa BCP thay thế cát được xác định tại 3, 7, 14, 28 và 56 ngày tuổi và được thể hiện ở hình 4. Có thể thấy, cường độ chịu nén phát triển tăng dần theo thời gian như quan sát thấy ở hình 4. Ở 28 ngày tuổi, giá trị cường độ chịu nén của các mẫu vữa với hàm lượng BCP ở mức 0, 2,5, 5, 7,5 và 10% đo được lần lượt là 56,53, 44,34, 34,37, 23,35 và 17,4 MPa. Ở 56 ngày tuổi, cường độ chịu nén của các mẫu với cùng mức hàm lượng BCP này lần lượt đạt 61,95, 48,55, 42,69, 26,03 và 23,02 MPa. Sự gia tăng cường độ chịu nén theo thời gian chủ yếu do quá trình thủy hóa của xi măng diễn ra liên tục, góp phần làm cho cấu trúc của vữa trở nên đặc chắc hơn, từ đó nâng cao cường độ cơ học của vữa. Điều này cũng tương đồng với thực nghiệm của J.D. Lee và cs (2023) [15] về sử dụng BCP trong vữa xi măng.



Hình 3. Các mẫu vữa được chuẩn bị.



Hình 4. Sự phát triển cường độ chịu nén của các mẫu vữa theo thời gian.

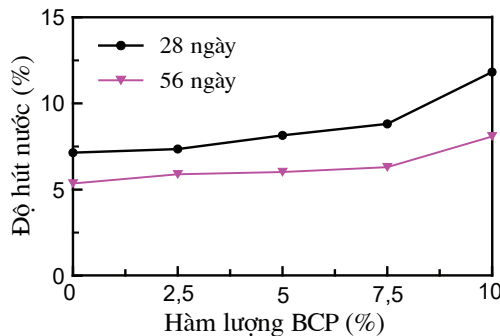
Kết quả thí nghiệm cho thấy, mẫu vữa không chứa BCP đạt cường độ chịu nén cao nhất so với các mẫu sử dụng BCP thay thế cát. Việc thay thế cát tự nhiên bằng BCP làm giảm đáng kể cường độ chịu nén của vữa, đặc biệt rõ rệt ở tỷ lệ thay thế 7,5 và 10%. Cụ thể, cường độ chịu nén sau 28 ngày của các mẫu vữa chứa 2,5, 5, 7,5 và 10% BCP đã giảm lần lượt 21,56, 39,20, 58,70 và 69,22% so với mẫu vữa không chứa BCP. Nguyên nhân là do BCP có cấu trúc xốp, rỗng và độ hút nước cao, làm giảm độ đặc chắc của vữa khi hàm lượng thay thế tăng.

Điều đặc biệt quan sát thấy ở hình 4 là các mẫu vữa với hàm lượng BCP từ 7,5 đến 10% có sự phát triển cường độ chậm trước 14 ngày đầu và chỉ thực sự có cường độ chịu nén sau 14 ngày tuổi. Mặc dù cường độ chịu nén của các mẫu chứa BCP thấp hơn đáng kể so với mẫu đối chứng (SCG00), tại tuổi 28 ngày, các mẫu vữa chứa BCP dao động từ 17,4 đến 44,34 MPa, vượt quá phạm vi yêu cầu từ 7,5 đến 30 MPa đối với vữa thông thường theo TCVN 4314:2022 [17]. Điều này cho thấy, BCP có thể được sử dụng với hàm lượng phù hợp trong sản xuất vữa tùy theo yêu cầu về cường độ cụ thể đối với mỗi công trình trong thực tế.

#### 3.2. Độ hút nước

Độ hút nước của vữa là chỉ tiêu gián tiếp phản ánh khả năng chống thấm và chống xâm thực của các tác nhân ăn mòn hóa học theo S.P. Zhang và cs (2014) [21]. Khi độ hút

nước thấp, độ rỗng của vật liệu giảm, từ đó cải thiện khả năng chống thấm, ngăn ngừa sự phát triển của nấm mốc, rong rêu và góp phần kéo dài tuổi thọ công trình. Hình 5 thể hiện sự thay đổi độ hút nước của các mẫu vữa tại 28 và 56 ngày với các hàm lượng BCP khác nhau. Kết quả cho thấy, độ hút nước giảm theo thời gian bảo dưỡng, do quá trình thủy hóa liên tục làm tăng độ đặc chắc của vữa. Tuy nhiên, việc sử dụng BCP thay thế cát trong cấp phối lại làm tăng độ hút nước của vữa. Ở 28 ngày tuổi, các giá trị độ hút nước lần lượt là 7,14; 7,35; 8,15; 8,81 và 11,82%, ứng với các hàm lượng BCP là 0; 2,5; 5; 7,5 và 10%. Đến ngày thứ 56, các giá trị độ hút nước giảm xuống còn 5,35; 5,88; 6,02; 6,30 và 8,08%. Khi thay thế 2,5% cát bằng BCP, độ hút nước tăng nhẹ 3,0% ở 28 ngày tuổi so với mẫu đối chứng (BCP00). Tuy nhiên, sự gia tăng đáng kể về độ hút nước được ghi nhận khi hàm lượng BCP từ 5, 7,5 đến 10% với mức tăng lần lượt là 14,09; 23,40 và 65,54% ở 28 ngày tuổi so với mẫu đối chứng (BCP00). Sự gia tăng độ hút nước theo hàm lượng BCP cũng được quan sát trong nghiên cứu của M. Guendouz và cs (2023) [22], tuy nhiên mức tăng trong nghiên cứu đó lớn hơn đáng kể so với nghiên cứu này. Khả năng hút nước cao hơn của BCP so với cát tự nhiên là nguyên nhân làm tăng độ hút nước của các mẫu vữa chứa BCP so với hỗn hợp đối chứng (BCP00).

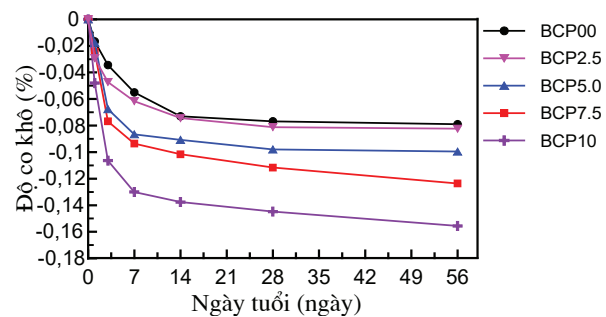


Hình 5. Ảnh hưởng của hàm lượng bã cà phê đến độ hút nước.

### 3.3. Độ co khô

Độ co khô là sự thay đổi chiều dài của mẫu vữa theo thời gian với kết quả đo được thể hiện trên hình 6. A.C.L. Wong và cs (2007) [23] cho rằng, độ co khô chủ yếu phát sinh từ sự mất nước do bay hơi, dẫn đến giảm thể tích của vữa. Quá trình này diễn ra mạnh ở giai đoạn đầu khi phản ứng thủy hóa xi măng xảy ra mãnh liệt, sinh nhiệt và làm thoát hơi nước dư thừa trong hỗn hợp, khiến kích thước mẫu bị thu nhỏ. Ở các giai đoạn sau, khi phần lớn xi măng đã phản ứng và tạo ra các sản phẩm thủy hóa ổn định, cấu trúc vật liệu trở nên bền vững hơn, dẫn đến tốc độ co khô giảm rõ rệt. Hình 6 cho thấy, độ co khô chủ yếu diễn ra trong 14 ngày đầu tiên, đặc biệt là trong 7 ngày đầu, sau đó chậm lại và dần đạt trạng thái ổn định ở các ngày tuổi sau. Đáng chú ý, độ co khô có xu hướng tăng theo hàm lượng BCP sử dụng trong cấp phối vữa. Tại thời điểm 28 ngày tuổi, độ co khô của các mẫu chứa BCP lần lượt là -0,0768; -0,0812;

-0,0980; -0,1116 và -0,1448%, tương ứng với hàm lượng BCP là 0; 2,5; 5; 7,5 và 10%. Đến ngày thứ 56, các giá trị này tăng nhẹ lên -0,0790; -0,0824; -0,0996; -0,1236 và -0,1556%. Việc thay thế 2,5% cát bằng BCP dẫn đến mức tăng độ co khô khiêm tốn, khoảng 5,73% sau 28 ngày so với mẫu đối chứng. Tuy nhiên, khi tỷ lệ BCP được nâng lên 5, 7,5 và 10%, độ co khô tăng đáng kể, lần lượt đạt mức 27,60, 45,31 và 88,54% so với mẫu không chứa BCP. Độ co khô cao hơn ở các mẫu chứa BCP so với mẫu đối chứng được lý giải là do BCP có độ rỗng và khả năng hút nước lớn hơn so với cát tự nhiên. Điều này khiến BCP giữ lại một lượng nước dư không tham gia vào quá trình thủy hóa. Khi mẫu khô dần, nước bị hút ra khỏi các lỗ rỗng, làm giảm thể tích của vật liệu và dẫn đến sự gia tăng độ co khô.

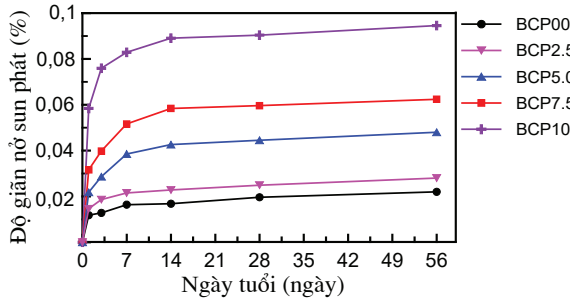


Hình 6. Ảnh hưởng của hàm lượng bã cà phê đến độ co khô.

### 3.4. Độ giãn nở sun phát

Độ giãn nở sun phát là một chỉ tiêu quan trọng trong đánh giá độ bền của vật liệu xây dựng, đặc biệt trong điều kiện môi trường có chứa ion sun phát như nước ngầm, đất hoặc không khí. Hình 7 thể hiện sự thay đổi độ giãn nở sun phát (hay còn gọi là sự thay đổi về chiều dài) của các mẫu vữa BCP00, BCP2.5, BCP5.0, BCP7.5 và BCP10 khi được ngâm trong dung dịch  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  5% trong 56 ngày, với các mốc thời gian đo tại ngày 1, 3, 7, 14, 28 và 56. Kết quả cho thấy, độ giãn nở của các mẫu tăng theo thời gian, với tốc độ giãn nở nhanh trong 14 ngày đầu và chậm lại ở các giai đoạn sau. Điều này phản ánh đặc điểm phản ứng giữa các sản phẩm hydrat hóa xi măng và ion sun phát diễn ra mạnh ở giai đoạn đầu. Tại thời điểm 28 ngày, sự thay đổi chiều dài của các mẫu vữa với tỷ lệ thay thế BCP là 0, 2,5, 5,0, 7,5 và 10% lần lượt được ghi nhận là 0,0196; 0,0249; 0,0445; 0,0596 và 0,0904%. Đến ngày thứ 56, các giá trị này tăng lên lần lượt là 0,0220; 0,0280; 0,0480; 0,0624 và 0,0946% tương ứng với các mức thay thế BCP. Có nghĩa là mức độ giãn nở sun phát tăng đáng kể khi hàm lượng BCP trong vữa tăng. Khi các muối sun phát thâm nhập vào mẫu vữa, các ion sun phát có thể phản ứng với các hợp chất trong xi măng, đặc biệt là canxi hydroxit được sinh ra trong quá trình thủy hóa, tạo thành khoáng ettringite và thạch cao. Ettringite và thạch cao được coi là tác nhân chính gây ra sự giãn nở, nứt vỡ và suy giảm độ bền cơ học của vật liệu theo thời gian [24-27]. Như thể hiện trong hình 7, khả năng chống xâm

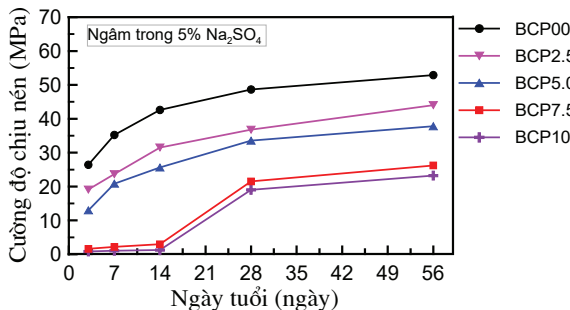
nhập ion sun phát của các mẫu vữa giảm khi mức thay thế BCP tăng. Hiện tượng này là do cấu trúc xốp và độ hút nước cao hơn của BCP như đã đề cập trước đó, dẫn đến độ rỗng cao hơn của vữa và độ hút nước cao, tạo điều kiện thuận lợi cho các phản ứng sinh ra ettringite và thạch cao. Do đó, các mẫu vữa chứa BCP không nên sử dụng trong các môi trường có tác nhân ăn mòn hóa học như ion sun phát.



Hình 7. Ảnh hưởng của hàm lượng bã cà phê đến độ giãn nở sun phát.

### 3.5. Cường độ nén khi ngâm trong dung dịch $Na_2SO_4$

Hình 8 thể hiện sự thay đổi giá trị cường độ chịu nén của các mẫu vữa khi ngâm trong dung dịch  $Na_2SO_4$  5%. Có thể nhận thấy rằng, cường độ chịu nén của các mẫu nhìn chung tăng dần theo thời gian ngâm mẫu. Tuy nhiên, khi hàm lượng BCP tăng, cường độ chịu nén của các mẫu lại có xu hướng giảm. Cường độ chịu nén tăng theo thời gian chủ yếu là kết quả của quá trình thủy hóa xi măng tiếp diễn, giúp cấu trúc vữa ngày càng đặc chắc và cải thiện khả năng chịu lực. Ngược lại, sự suy giảm cường độ khi tăng hàm lượng BCP được cho là do đặc tính xốp, rỗng và khả năng hút nước cao của vật liệu này, làm giảm độ liên kết và tính đặc của cấu trúc vữa. Tuy nhiên, cũng tương tự như khi ngâm mẫu trong nước, điều thú vị là cường độ của vữa với mức hàm lượng từ 7,5 đến 10% thì tăng chậm trong 14 ngày đầu và cường độ chỉ phát triển mạnh sau 14 ngày.

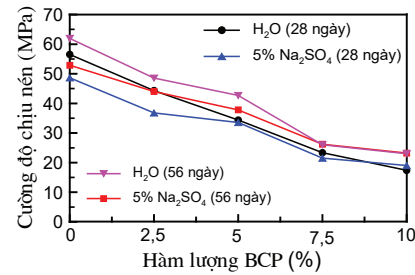


Hình 8. Sự phát triển của cường độ chịu nén khi ngâm trong  $Na_2SO_4$  5%.

Ở 28 ngày tuổi, giá trị cường độ chịu nén của các mẫu vữa ngâm trong dung dịch  $Na_2SO_4$  5% với hàm lượng BCP ở mức 0; 2,5; 5; 7,5 và 10% đo được lần lượt là 48,64; 36,78; 33,55; 21,52 và 19,02 MPa. Vào 56 ngày tuổi, cường độ chịu nén của các mẫu ngâm trong dung dịch  $Na_2SO_4$  5% với cùng mức hàm lượng BCP này lần lượt đạt 52,89; 44,02;

37,81; 26,21 và 23,22 MPa. Mặc dù cường độ chịu nén của các mẫu vữa khi ngâm trong dung dịch  $Na_2SO_4$  5% đều giảm khi tăng hàm lượng BCP, nhưng cường độ chịu nén nhỏ nhất là mẫu BCP10 là 19,02 MPa tại 28 ngày tuổi vẫn lớn hơn cường độ yêu cầu cho vữa mác M15.

Hình 9 thể hiện so sánh cường độ chịu nén của vữa ở 28 và 56 ngày tuổi khi ngâm vữa trong nước và dung dịch  $Na_2SO_4$  5%. Có thể thấy rằng, các mẫu vữa chứa BCP từ 0 đến 5% khi ngâm trong dung dịch  $Na_2SO_4$  5% cho cường độ chịu nén thấp hơn đáng kể so với khi ngâm trong nước. Tuy nhiên, với mẫu vữa hàm lượng BCP từ 7,5 đến 10%, cường độ chịu nén trong dung dịch  $Na_2SO_4$  5% lại tương đương với mẫu ngâm trong nước và thậm chí cao hơn (cụ thể ở 28 ngày tuổi với mẫu BCP7.5). Hiện tượng này có thể được lý giải là do ở hàm lượng BCP cao, mẫu vữa có nhiều lỗ rỗng hơn, dễ bị tấn công bởi  $SO_4^{2-}$ , dẫn đến sự hình thành thạch cao, sau đó là ettringite thông qua phản ứng giữa thạch cao và các sản phẩm thủy hóa của xi măng. Cả thạch cao và ettringite đều có tính trương nở làm tăng đáng kể thể tích pha rắn trong vữa, lấp đầy các lỗ rỗng và cải thiện cường độ của mẫu vữa. Các nghiên cứu sâu hơn có thể được tiến hành để giải thích rõ hơn hiện tượng này.



Hình 9. So sánh cường độ chịu nén của vữa khi ngâm trong nước và  $Na_2SO_4$  5%.

## 4. Kết luận

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá khả năng tái sử dụng BCP để thay thế cho một phần cát tự nhiên trong cấp phối vữa. Một số kết luận chính được rút ra từ kết quả thực nghiệm như sau:

1) Cường độ chịu nén của các mẫu vữa tăng theo thời gian và giảm khi tăng hàm lượng BCP. Tại 28 ngày tuổi, các mẫu vữa với hàm lượng BCP là 0; 2,5; 5; 7,5 và 10% có giá trị cường độ chịu nén lần lượt là 56,5; 44,3; 34,4; 23,4 và 17,4 MPa, đảm bảo yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 4314:2022.

2) Độ hút nước của mẫu vữa giảm theo thời gian và tăng theo hàm lượng BCP. Khi hàm lượng BCP là 2,5% thì độ hút nước tăng nhẹ 3,0% so với mẫu đối chứng và tăng lên hơn 14,09% khi hàm lượng BCP từ 5% trở lên.

3) Độ co khô và độ giãn nở sun phát của các mẫu vữa tăng nhanh ở 14 ngày đầu và có xu hướng ổn định ở các ngày tuổi về sau. Khi tăng hàm lượng BCP thay thế cát, độ co khô và độ giãn nở sun phát tăng. Tại thời điểm 28 ngày,

sự thay đổi chiều dài của các mẫu vữa với tỷ lệ thay thế BCP là 0, 2,5, 5,0, 7,5 và 10% lần lượt là 0,0196, 0,0249, 0,0445, 0,0596 và 0,0904%.

4) Với mức hàm lượng BCP từ 0 đến 5%, cường độ chịu nén khi ngâm trong nước cho giá trị cao hơn so với khi ngâm trong dung dịch  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  5%. Tuy nhiên, khi hàm lượng BCP từ 7,5 đến 10%, cường độ chịu nén của mẫu ngâm trong dung dịch  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  5% tương đương với mẫu ngâm trong nước và thậm chí còn cao hơn.

5) Trong điều kiện tài nguyên cát ngày càng khan hiếm, BCP có thể là một lựa chọn tiềm năng để thay thế một phần cát tự nhiên. Tuy nhiên, vữa chứa BCP không nên sử dụng trong môi trường bị xâm thực sun phat. Tỷ lệ BCP cần được xác định theo yêu cầu chịu lực của từng cấu kiện, đảm bảo đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật đặt ra. Với cấu kiện không chịu tải lớn như tường, lớp trát hoặc nền nhà, có thể dùng tỷ lệ BCP cao hơn; trong khi đó, các kết cấu chịu lực nên dùng tỷ lệ BCP ở mức thấp.

## LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin chân thành cảm ơn các giảng viên Bộ môn Kỹ thuật công trình, Trường Đại học Hồng Đức và học viên cao học Nguyễn Hữu Nam đã hỗ trợ trong suốt quá trình thí nghiệm.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] E. Hegnholt, S. Unnikrishnan, M.P. Larsen, et al. (2018), *Tackling The 1.6-Billion-Ton Food Loss and Waste Crisis*, The Boston Consulting Group, Food Nation, State of Green, pp.1-10.

[2] A. Arulrajah, T.A. Kua, C. Phetchuay, et al. (2016), "Spent coffee grounds-fly ash geopolymer used as an embankment structural fill material", *Journal of Materials in Civil Engineering*, **28(6)**, DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001496.

[3] C. Corro, U. Pal, S. Cebada (2014), "Enhanced biogas production from coffee pulp through deligninocellulosic photocatalytic pretreatment", *Energy Science & Engineering*, **2(4)**, pp.177-187, DOI: 10.1002/ese3.44.

[4] S.I. Mussatto, E.M.S. Machado, S. Martins, et al. (2011), "Production, composition, and application of coffee and its industrial residues", *Food Bioprocess Technology*, **4**, pp.661-672, DOI: 10.1007/s11947-011-0565-z.

[5] J. Kim, H. Kim, G. Baek, et al. (2017), "Anaerobic co-digestion of spent coffee grounds with different waste feedstocks for biogas production", *Waste Management*, **60**, pp.322-328, DOI: 10.1016/j.wasman.2016.10.015.

[6] J. McNutt, Q. He (2019), "Spent coffee grounds: A review on current utilisation", *Journal of Industrial Engineering and Chemistry*, **71**, pp.78-88, DOI: 10.1016/j.jiec.2018.11.010.

[7] A. Arulrajah, F. Maghoolpilehrood, M.M. Disfani, et al. (2014), "Spent coffee grounds as a non-structural embankment fill material: Engineering and environmental considerations", *Journal of Cleaner Production*, **72**, pp.181-186, DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.03.010.

[8] D.E. Quesada, C.M. García, M.L.M. Cartas, et al. (2011a), "The use of different forms of waste in the manufacture of ceramic bricks", *Applied Clay Science*, **52(3)**, pp.270-276, DOI: 10.1016/j.clay.2011.03.003.

[9] D.E. Quesada, L.P. Villarejo, F.J.I. Godino, et al. (2011b), "Incorporation of coffee grounds into clay brick production", *Advances in Applied Ceramics*, **110(4)**, pp.225-232, DOI: 10.1179/174367611Y.0000000006.

[10] F. Andreola, A. Borghi, S. Pedrazzi, et al. (2019), "Spent coffee grounds in the production of lightweight clay ceramic aggregates in view of urban and agricultural sustainable development", *Materials*, **12(21)**, DOI: 10.3390/ma12213581.

[11] B.Y. Yun, H.M. Cho, Y.U. Kim, et al. (2020), "Circular reutilisation of coffee waste for sound absorbing panels: A perspective on material recycling", *Environmental Research*, **184**, DOI: 10.1016/j.envres.2020.109281.

[12] A. Lachheb, A. Allouhi, M.E. Marhoune, et al. (2019), "Thermal insulation improvement in construction materials by adding spent coffee grounds: An experimental and simulation study", *Journal of Cleaner Production*, **209**, pp.1411-1419, DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.11.140.

[13] M. Saberian, J. Li, A. Donnoli, et al. (2021), "Recycling of spent coffee grounds in construction materials: A review", *Journal of Cleaner Production*, **289**, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.125837.

[14] S. Na, S. Lee, S. Youn (2021), "Experiment on activated carbon manufactured from waste coffee grounds on the compressive strength of cement mortars", *Symmetry*, **13(4)**, DOI: 10.3390/sym13040619.

[15] J.D. Lee, J. Kim, S. Lee (2023), "Study of recycled spent coffee grounds as aggregates in cementitious materials", *Recent Progress in Materials*, **5(1)**, DOI: 10.21926/rpm.2301007.

[16] B. Janissen, T. Huynh (2018), "Chemical composition and valued-adding applications of coffee industry by-products: A review", *Resources Conservation & Recycling*, **128**, pp.110-117, DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.001.

[17] Ministry of Science and Technology (2022a), *Vietnamese Standard TCVN 4314:2022, Mortar for Mansory - Specification* (in Vietnamese).

[18] Ministry of Science and Technology (2022b), *Vietnamese Standard TCVN 3121:2022, Mortar for Mansory - Test methods* (in Vietnamese).

[19] Ministry of Science and Technology (2011), *TCVN 8824:2011, Cements - Test Method for Drying Shrinkage of Mortar*, Vietnamese Standard (in Vietnamese).

[20] ASTM International (2009), *ASTM C1012/C1012m-09, Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to A Sulfate Solution*, West Conshohocken, PA, USA, DOI: 10.1520/C1012\_C1012M-09.

[21] S.P. Zhang, L. Zong (2014), "Evaluation of relationship between water absorption and durability of concrete materials", *Advances in Materials Science and Engineering*, **2014**, pp.1-8, DOI: 10.1155/2014/650373.

[22] M. Guendouz, D. Boukhelkhal, Z. Triki, et al. (2023), "Effect of using spent coffee grounds wastes as aggregates on physical and thermal properties of sand concrete", *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*, **9(3)**, pp.3256-3264.

[23] A.C.L. Wong, P.A. Childs, R. Berndt, et al. (2007), "Simultaneous measurement of shrinkage and temperature of reactive powder concrete at early-age using fibre Bragg grating sensors", *Cement and Concrete Composites*, **29**, pp.490-497, DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2007.02.003.

[24] S. Diamond (1996), "Delayed ettringite formation - Processes and problems", *Cement and Concrete Composites*, **18(3)**, pp.205-215, DOI: 10.1016/0958-9465(96)00017-0.

[25] M.M.A. Elahi, C.R. Shearer, A.N.R. Reza, et al. (2021), "Improving the sulfate attack resistance of concrete by using supplementary cementitious materials (SCMs): A review", *Construction and Building Materials*, **281**, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.122628.

[26] P.K. Mehta (1983), "Mechanism of sulfate attack on portland cement concrete - Another look", *Cement and Concrete Research*, **13(3)**, pp.401-406, DOI: 10.1016/0008-8846(83)90040-6.

[27] M.M. Rahman, M.T. Bassuoni (2014), "Thaumasite sulfate attack on concrete: Mechanisms, influential factors and mitigation", *Construction and Building Materials*, **73**, pp.652-662, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.034.