

## Tổng quan về bã cà phê: Tiềm năng ứng dụng trong xử lý môi trường

### Coffee waste's potential applications in environmental treatment: A mini review

Trần Thị Kiều Ngân<sup>a</sup>, Lê Văn Thuận<sup>a,b\*</sup>, Phạm Thị Nga<sup>a</sup>, Hoàng Thị Kim Thùy<sup>a</sup>  
Tran Thi Kieu Ngan<sup>a</sup>, Le Van Thuan<sup>a,b\*</sup>, Pham Thi Nga<sup>a</sup>, Hoang Thi Kim Thuy<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Khoa Môi trường và Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

<sup>a</sup>Faculty of Environment and Natural Science, Duy Tan University, Danang, 550000, Vietnam

<sup>b</sup>Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

<sup>b</sup>Institute of Research and Development, Duy Tan University, Danang, 550000, Vietnam

(Ngày nhận bài: 30/01/2024, ngày phản biện xong: 20/03/2024, ngày chấp nhận đăng: 13/05/2024)

#### Tóm tắt

Nghiên cứu này nhằm mục đích giới thiệu về tiềm năng ứng dụng của bã cà phê. Bài báo tập trung vào việc phân tích cơ hội to lớn mà bã cà phê mang lại trong lĩnh vực xử lý môi trường và chế tạo vật liệu hấp phụ. Bài báo còn đặc biệt chú ý đến các hướng nghiên cứu gần đây về môi trường, nhất là trong việc xử lý kim loại nặng và chất nhuộm từ vật liệu hấp phụ có nguồn gốc từ bã cà phê. Điều này đưa ra một cơ sở vững chắc để phát triển các ứng dụng thực tế trong lĩnh vực xử lý nước và loại bỏ chất ô nhiễm. Từ tổng quan bài nghiên cứu, có thể thấy rằng còn nhiều hướng nghiên cứu có thể mở rộng trong tương lai cho việc xử lý bã cà phê với mục đích xử lý môi trường. Việc này mở ra nhiều cơ hội để tận dụng và phát triển các ứng dụng sáng tạo, đồng thời góp phần tích cực vào nỗ lực bảo vệ môi trường toàn cầu.

*Từ khóa:* bã cà phê; xử lý nước; vật liệu hấp phụ; tiềm năng ứng dụng; môi trường.

#### Abstract

The paper aims to provide an overview of the potential applications of coffee waste. The focus is on analyzing the significant opportunities presented by coffee waste in environmental treatment and the fabrication of adsorbent materials. The research particularly emphasizes recent environmental studies, notably in the removal of heavy metals and dyes using adsorbents derived from coffee waste. This establishes a solid foundation for practical applications in water treatment and pollution removal. The report's comprehensive overview suggests numerous avenues for future research in coffee waste treatment for environmental purposes, offering ample opportunities to leverage and develop innovative applications while actively contributing to global environmental conservation efforts.

*Keywords:* coffee waste; water treatment; adsorbent; potential application; environment.

### 1. Bã cà phê và tiềm năng ứng dụng

Bã cà phê (BCP) là chất rắn có kích thước hạt mịn, độ ẩm cao (trong khoảng từ 80 đến 85%), thu được trong quá trình xử lý bột cà phê thô bằng nước nóng hoặc hơi nước để pha chế cà phê

hòa tan. Nghiên cứu của Atabani và cộng sự (2019) đã xác định trong BCP có hơn một nghìn hợp chất hữu cơ, bao gồm protein, carbohydrate, tannin, chất xơ, caffeine, cellulose, phi protein, nitơ, axit béo, axit amin, polyphenol, khoáng

\*Tác giả liên hệ: Lê Văn Thuận

Email: levanthuan3@duytan.edu.vn

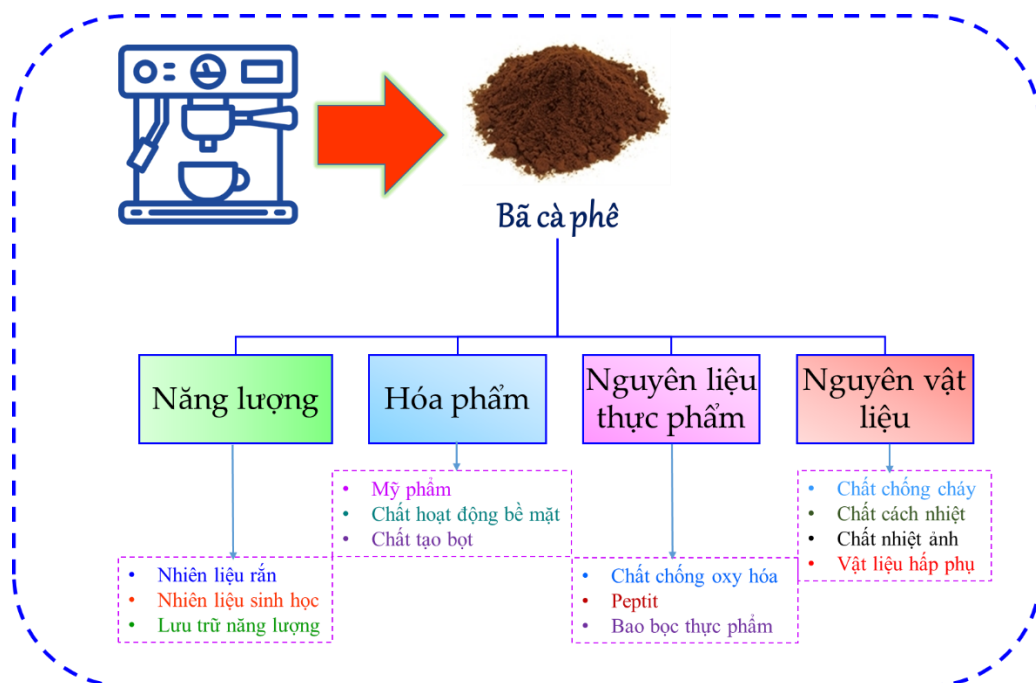
chất lignin và polysaccharides, galactomannans và arabinogalactans, trong đó có 700 chất dễ bay hơi [1].

Gần 50% sản lượng cà phê trên toàn thế giới được sử dụng sản xuất cà phê hòa tan. Do đó, BCP được tạo ra với số lượng lớn, với sản lượng hàng năm trên toàn thế giới là 6 triệu tấn. Mỗi tấn cà phê nhân tạo ra khoảng 650kg BCP, và để sản xuất 1kg cà phê hòa tan, khoảng 2kg BCP ướt được tạo ra [2].

Như là thường thấy đối với chất thải nông nghiệp, những nỗ lực đầu tiên để tìm ứng dụng cho BCP đã tập trung chủ yếu vào việc sử dụng nó làm nhiên liệu rắn và bổ sung thức ăn cho động vật [1]. Gần đây, các nghiên cứu đã đề xuất khả năng sử dụng của BCP trong nhiều quy trình như chiết xuất, transesterification, thủy phân, lên men, và nhiệt phân, tạo ra nhiều loại nhiên liệu rắn, biogas, bio-oil, biodiesel, bioethanol, chất tạo màu, và mỹ phẩm [6,7]. BCP đã cũng được chứng minh hữu hiệu trong việc cải thiện đất [8], đồng thời thúc đẩy sự hấp thụ chất dinh dưỡng của cây trồng. Phần lớn BCP hiện nay vẫn được xử lý như phân bón hoặc đưa về bãi chôn lấp [3].

Trong báo cáo của mình, Naem Hussain đã chỉ ra rằng than sinh học từ BCP có thể hấp phụ kim loại nặng như chì (Pb), crom (Cr(VI)) khỏi môi trường ô nhiễm [4]. Ngoài ra còn có rất nhiều dẫn chứng khác chứng minh rằng BCP có khả năng xử lý môi trường. Vì vậy, có một nguồn BCP dư thừa rất lớn có thể được tận dụng vào việc xử lý các vấn đề môi trường.

Các nghiên cứu cho thấy việc sử dụng chất thải BCP gần đây đã tăng lên trong nhiều ứng dụng do thành phần cellulose và lignin của chúng cũng như hàm lượng đáng kể của alcohol, aldehyde, phenolic, cacboxylic và các nhóm chức năng khác, thuận lợi trong việc hấp thụ các chất bẩn [5]. Kích thước hạt BCP rất nhỏ, hơn nữa lại chứa 50% là chất xơ, ngoài ra còn có một số thành phần như là lignin có cấu trúc phân tử phức tạp, diện tích bề mặt riêng lớn. Hạt BCP còn được xem như là vật liệu nhúng tannin với cấu trúc polyhydroxyl polyphenol rất thích hợp cho việc hấp phụ chất bẩn, trong đó có hấp phụ kim loại nặng [6]. Tóm tắt minh họa tổng quan về tiềm năng sử dụng BCP đã qua sử dụng được trình bày ở Hình 1.



Hình 1. Một số tiềm năng ứng dụng của BCP

## 2. Vật liệu hấp phụ có nguồn gốc từ bã cà phê

Các nghiên cứu gần đây đã cho thấy rằng BCP có khả năng rất tốt trong việc xử lý môi trường, đặc biệt là trong quá trình hấp phụ kim loại nặng. Một số ví dụ điển hình bao gồm việc sử dụng BCP biến tính với canxi alginate để xử lý Ni(II) và Cd(II) [7], cũng như sử dụng BCP thô và vỏ hạt cà phê thô để hấp phụ Pb(II), Cu(II), và Cr(VI) [8], và nhiều nghiên cứu khác được trình bày ở Bảng 1.

Nghiên cứu của tác giả Roberto và đồng nghiệp tập trung vào việc sử dụng composite Calcium Alginate/bã cà phê (CA-BCP) để hấp phụ Ni<sup>2+</sup> hoặc Cd<sup>2+</sup> từ dung dịch nước. Nghiên cứu này đã thực hiện ba chu kỳ hấp phụ/đào thải và sử dụng các phương pháp phân tích như kính hiển vi quét kết hợp với phổ X-ray phân tán năng lượng, phổ hồng ngoại biến đổi Fourier và phổ Raman. Kết quả cho thấy mô hình Sips là phù

hợp nhất với quá trình hấp phụ, và CA-BCP có khả năng hấp phụ là 91.18mg/g cho cadmium và 20.96mg/g cho nickel, chứng tỏ sự hiệu quả trong loại bỏ kim loại nặng [7].

Nghiên cứu của Medhanit nhằm mục đích xác định hiệu suất hấp phụ của vỏ cà phê và BCP đối với việc xử lý Pb(II), Cu (II) và Cr(VI) từ dung dịch nước. Kết quả cho thấy rằng chất hấp phụ từ vỏ cà phê và BCP có thể loại bỏ hiệu quả các kim loại nặng từ dung dịch nước ở các điều kiện thử nghiệm nhất định. Nghiên cứu này đặc biệt chú ý đến các yếu tố như pH, thời gian tiếp xúc, lượng chất hấp phụ, tốc độ khuấy, và nồng độ ban đầu của ion kim loại, và đưa ra các điều kiện tối ưu cho hiệu suất hấp phụ tốt nhất [8]. Cả hai nghiên cứu đều chứng minh rằng BCP có tiềm năng lớn làm vật liệu hấp phụ trong việc giải quyết vấn đề ô nhiễm kim loại nặng trong nước.

Bảng 1. Hiệu suất hấp phụ kim loại nặng của một số vật liệu trên cơ sở BCP

Tên vật liệu	Ion kim loại	Hiệu suất (%)/ Dung lượng (mg/g) hoặc mmol/g	TLTK
BCP hoạt hóa với Calcium Alginate	Ni(II)	20.96mg/g	[7]
	Cd(II)	91.18mg/g	
Vỏ cà phê thô (kích thước hạt < 200µm)	Pb(II)	94.2%	[8]
	Cu(II)	97.6%	
	Cr(VI)	93.5%	
BCP thô (kích thước hạt < 200µm)	Pb(II)	96.5 %	
	Cu(II)	97.6%	
	Cr(VI)	94.46%	
Vỏ cà phê thô (kích thước hạt > 200µm)	Pb(II)	93.2%	
	Cu(II)	97.2%	
	Cr(VI)	92.4%	
BCP thô (kích thước hạt > 200µm)	Pb(II)	96.06%	
	Cu(II)	83.00%	
	Cr(VI)	94.46%	
BCP thô	Cd(II)	71.19 %	[6]
BCP thô	Cu(II)	0.18mmol/g	[9]
	Pb(II)	0.17mmol/g	
	Zn(II)	0.12mmol/g	
	Ni(II)	0.10mmol/g	
Than sinh học từ tính từ bã cà phê	Cd(II)	10.42mg/g	[4]
Composite bã cà phê/ PVA từ tính	Pb(II)	78.12%	[10]
Than hoạt tính/chitosan/trà xanh có nguồn gốc từ bã cà phê	Ni(II)	108.70mg/g	[11]

Cùng với kim loại nặng, phẩm màu nhuộm là một trong những chất gây ô nhiễm môi trường quan trọng, xuất hiện với lượng lớn trong nước thải không chỉ từ ngành công nghiệp dệt may mà còn từ các nhà máy nhựa, thuộc da, mỹ phẩm, dược phẩm, ngành công nghiệp thực phẩm, in ấn và giấy [12]. Nhu cầu sử dụng thuốc nhuộm ở các doanh nghiệp ngày càng mở rộng. Nước thải phẩm màu nhuộm ảnh hưởng trực tiếp đến sinh vật sống và là một vấn đề môi trường nghiêm trọng. Nước thải dạng này gây độc với các sinh vật thủy sinh, môi trường sống của chúng, cũng như cản trở quá trình quang hợp của sinh vật thủy sinh [5]. Bên cạnh việc xử lý kim loại nặng, thì BCP còn có tiềm năng xử lý nước thải màu nhuộm. BCP có thể được dùng để xử lý phốt pho methyl nitrat, thông qua phương pháp hoạt hóa với KOH-ure và NaOH-ure [13], cũng như sử dụng làm nguồn nguyên liệu sản xuất than hoạt tính bằng phương pháp hoạt hóa với  $MnO_2$  [14] và nhiều phương pháp khác (Bảng 2).

Nghiên cứu của Bayaraa (2020) đã sử dụng BCP để tạo ra vật liệu carbon không chứa kim loại nặng thông qua quá trình hoạt hóa với KOH-urea và NaOH-urea. Vật liệu carbon sau khi nhiệt phân ở  $800^\circ C$  đã cho thấy diện tích bề mặt lớn ( $1665.45 m^2/g$ ) và khả năng hấp thụ methylene blue (MB) vượt trội. Mô hình động học (giả kiến bậc một và giả kiến bậc hai) và các mô hình đồ thị hấp thụ (Langmuir, Freundlich và

Temkin) đã được sử dụng để đánh giá hiệu suất hấp thụ. Kết quả cho thấy tiềm năng lớn trong việc tổng hợp vật liệu carbon từ BCP để loại bỏ hiệu quả màu nhuộm từ nước [13].

Trong một nghiên cứu khác [14], BCP đã được sử dụng để tạo nanocomposite thông qua phương pháp carbon hóa một bước tại nhiệt độ  $550^\circ C$ , thời gian 2 giờ, và tỷ lệ khối lượng của BCP/ $MnSO_4 \cdot H_2O$  là 1:0.5. Vật liệu  $Mn_3O_4$ /than hoạt tính ( $Mn_3O_4/AC$ ) đã được sử dụng để hấp phụ MB. Cơ chế hình thành  $Mn_3O_4/AC$  đã được làm sáng tỏ một cách toàn diện, và các đặc điểm hình thái học và cấu trúc của nó được xác định bằng các phương pháp hóa lý hiện đại như XRD, SEM, FTIR, TEM và BET. Các kết quả đã chứng minh sự hấp phụ của  $Mn_3O_4/AC$  đối với MB đạt tối đa là  $77.02 mg/g$ . Mô hình thích hợp nhất để dự đoán động học hấp thụ đã được xác định là mô hình động học bậc một và phương trình đẳng nhiệt Freundlich. Hơn nữa, hợp chất này đã thể hiện khả năng tái sử dụng và ổn định đáng kể, duy trì hơn 90% hiệu suất loại bỏ MB ngay cả sau năm chu kỳ tái sử dụng. Cơ chế hấp thụ của chất nhuộm đã được làm sáng tỏ dựa trên các tính chất vật lý của chất hấp thụ, bao gồm tương tác xếp chồng, lấp đầy lỗ, liên kết hydrogen và tương tác điện tích. Hợp chất  $Mn_3O_4/AC$  hứa hẹn sẽ được nghiên cứu trong tương lai liên quan đến nước thải chứa chất nhuộm.

Bảng 2. Vật liệu hấp phụ phẩm màu nhuộm từ chất thải BCP

Tên vật liệu	Chất màu	Hiệu suất (%) / Dung lượng (mg/g)	TLTK
BCP hoạt hóa với NaOH-ure	MB	39.71mg/g	[13]
BCP hoạt hóa với KOH-ure	MB	209.07mg/g	
Than hoạt tính từ vỏ hạt cà phê	MB	88.1mg/g	[5]
BCP thô	MB	23.40mg/g	[12]
Than hoạt tính từ bã cà phê	MB	986.80mg/g	[15]
Than hoạt tính từ bã cà phê	Aniline yellow	2.58mg/g	
BCP thô	Congo Red	149.1mg/g	[16]
BCP thô	MB	189.03mg/g	
BCP thô qua xử lý	Congo Red	699.30mg/g	
BCP thô qua xử lý	MB	189.75mg/g	

Nanocomposite than hoạt tính/Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> từ bã cà phê	MB	77.02mg/g	[14]
Than sinh học biến tính từ vỏ hạt cà phê	Reactive Yellow 145	83.7%	[17]
	Reactive red 195	71.1%	
	Reactive Blue 222	59.6%	
BCP thô	Eriochrome Black T	4.95mg/g	[18]
Vỏ hạt cà phê	Crystal Violet	94%	[19]
BCP	MB	312.515mg/g	[20]
Hydrochar carbon	MB	415.8mg/g	[21]

### 3. Tiềm năng xử lý môi trường của vật liệu bã cà phê trong tương lai

Cà phê đã qua sử dụng không chỉ là một nguồn chất thải, mà còn là mối đe dọa đối với môi trường do chứa đựng một lượng lớn hữu cơ độc hại. Do đó, sự chuyển đổi BCP thành các sản phẩm hữu ích có thể mở ra những tiềm năng lớn trong việc giải quyết vấn đề môi trường. Một số ứng dụng tiềm năng của BCP bao gồm việc chế biến thành vật liệu hấp phụ thông qua quá trình nhiệt phân, tạo ra than sinh học, và biến đổi thành than hoạt tính. Các sản phẩm này không chỉ có thể giúp tái chế cà phê đã qua sử dụng mà còn có thể phục vụ cho các mục đích quan trọng trong xử lý môi trường.

Với sự tiên bộ trong công nghệ vật liệu hấp phụ, chúng ta có thể nâng cao hiệu suất của các vật liệu này bằng cách bổ sung các hợp chất có khả năng tăng cường quá trình hấp thụ. Sự sáng tạo trong việc kết hợp BCP với các yếu tố khác có thể mở ra cánh cửa cho những giải pháp xanh hơn và hiệu quả hơn trong xử lý môi trường. Do đó, tương lai của việc tận dụng BCP trong lĩnh vực này hứa hẹn mang lại những đóng góp tích cực và bền vững cho môi trường của chúng ta.

### 4. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đã cung cấp một cái nhìn tổng quan đến tiềm năng lớn mà BCP mang lại trên phạm vi toàn cầu, với khả năng ứng dụng đa dạng trong lĩnh vực xử lý nước và loại bỏ các chất ô nhiễm. Báo cáo cũng trình bày về các nghiên cứu sử dụng BCP như là vật liệu hấp phụ xử lý môi trường nhằm cung cấp cơ sở thông

tin quan trọng để nắm bắt tính chất hóa học và vật lý của chất hấp phụ, làm nền tảng cho việc phát triển ứng dụng thực tế trong các lĩnh vực xử lý môi trường khác nhau. Hướng nghiên cứu về sử dụng vật liệu từ BCP để hấp phụ đã được thảo luận một cách chi tiết, đặc biệt là trong ngữ cảnh của việc chuyển đổi chúng thành vật liệu hấp phụ có hiệu suất cao. Điều này làm nổi bật tiềm năng tận dụng BCP trong việc giải quyết các thách thức môi trường và sản xuất vật liệu có giá trị từ nguồn tài nguyên này. Tóm lại, nghiên cứu về tiềm năng và ứng dụng của BCP không chỉ giúp chúng ta hiểu rõ hơn về cây cà phê và chất thải liên quan mà còn mở ra những cơ hội mới trong lĩnh vực nghiên cứu khoa học và ứng dụng công nghệ môi trường. Việc tận dụng tối đa tài nguyên từ BCP không chỉ là một hướng đi có triển vọng trong việc bảo vệ môi trường mà còn là một chiến lược thông minh về sử dụng nguồn lực.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Duy Tân.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Anastopoulos, I., Karameouti, M., Athanasios, C. M., and George, Z. K. (2017). A review for coffee adsorbents. *Journal of Molecular Liquids*, 229, 555–65. doi: 10.1016/j.molliq.2016.12.096.
- [2] Blinová, L., and Maroš, S. (2019). Utilization of spent coffee grounds for removal of hazardous substances from water: A review. *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, 27(44), 145–52. doi: 10.2478/rput-2019-0015.
- [3] Campos, R. C., Vinícius, R. A. P., Laura, F. M., Samuel, J. S. S. R., and Jane, S. C. (2021). New sustainable perspectives for coffee wastewater and other by-products: A critical review. *Future Foods*, 4, 100058. doi: 10.1016/j.fufo.2021.100058.

- [4] Cheruiyot, G. K., Wycliffe, C. W., Joyce, J. K., and Esther, N. M. (2019). Adsorption of toxic crystal violet dye using coffee husks: Equilibrium, kinetics and thermodynamics study. *Scientific African*, 5, e00116. doi: 10.1016/j.sciaf.2019.e00116.
- [5] Dai, Z., Peng, G. R., Hua, Z., Xin, G., and Yan, L. J. (2021). Nitrogen-doped and hierarchically porous carbon derived from spent coffee ground for efficient adsorption of organic dyes. *Carbon Letters*, 31(6), 1249–60. doi: 10.1007/s42823-021-00248-z.
- [6] Deivasigamani, P., Kumar, P. S., Sathish, S., Michael, R. S., Renita, A. A., Bektenov, K. M., Baigenzhenov, N. O., Venkatesan, D., and Kumar, A. J. (2023). Deep insights into kinetics, optimization and thermodynamic estimates of methylene blue adsorption from aqueous solution onto coffee husk (coffee arabica) activated carbon. *Environmental Research*, 236(P2), 116735. doi: 10.1016/j.envres.2023.116735.
- [7] Gora, E. H., Samuel, G. S., Lauren, M. C., Victor, C. S., Olga, A. G., and Rebecca, L. S. (2022). Effect of exhausted coffee ground particle size on metal ion adsorption rates and capacities. *ACS Omega*, 7(43), 38600–612. doi: 10.1021/acsomega.2c04058.
- [8] Hussain, N., Suchada, C., Thitipone, S., and Khampho, P. (2020). Cadmium (II) removal from aqueous solution using magnetic spent coffee ground biochar: Kinetics, Isotherm and thermodynamic adsorption. *Nuclear Fusion*, 60(10), 106006. doi: 10.1088/1741-4326/abab52.
- [9] Jamhour, Rasheed M. A. Q., and Rand, A. (2023). Adsorptive removal of hazardous eriochrome black t and its metal complexes from aqueous media using spent coffee grounds. *Research Square*, 1–35.
- [10] Kim, M. S., and Jeong, G. K. (2020). Adsorption characteristics of spent coffee grounds as an alternative adsorbent for cadmium in solution. *Environments*, 7(4), 1–12. doi: 10.3390/environments7040024.
- [11] Kosaiyakanon, C., and Suratsawadee, K. (2020). Adsorption of reactive dyes from wastewater using cationic surfactant-modified coffee husk biochar. *Environment and Natural Resources Journal*, 18(1), 21–32. doi: 10.32526/enrj.18.1.2020.03.
- [12] Thuan, L. V., Uyen, D. M., Sinh, L. H., Lam, T. D., Dat, D. V., and Thuong, N. H. (2020). Adsorption of Ni(II) ions by magnetic activated carbon/chitosan beads prepared from spent coffee grounds, shrimp shells and green tea extract. *Environmental Technology*, 41(21), 2817–32. doi: 10.1080/09593330.2019.1584250.
- [13] Thuan, L. V., Minh, P. T., Dat, D. V., Lebedeva, O. G., and Thuong, N. H. (2019). removal of pb(ii) ions from aqueous solution using a novel composite adsorbent of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/PVA/Spent coffee grounds. *Separation Science and Technology*, 54(18), 3070–3081. doi: 10.1080/01496395.2019.1565770.
- [14] Thuan, L. V., Ngan, T. T. K., Khoa, D. N., Dat, D. V., Vy, T. A., Yasser, V., and Tejraj, M. A. (2023). Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Activated carbon nanocomposites for adsorptive removal of methylene blue. *Chemical Engineering Journal*, 474, 145903. doi: 10.1016/j.cej.2023.145903.
- [15] McNutt, J., and Quan, S. H. (2019). Spent coffee grounds: A review on current utilization. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 71, 78–88. doi: 10.1016/j.jiec.2018.11.054.
- [16] Pagalan, E., Michell, S., Shaina, G., Sheena, J. S., Renzey, A., Aira, J. M., Cherry, J., Alexander I., and Renato, A. (2020). Activated carbon from spent coffee grounds as an adsorbent for treatment of water contaminated by aniline yellow dye. *Industrial Crops and Products*, 145, 111953. doi: 10.1016/j.indcrop.2019.111953.
- [17] Savcı, S., and Fatma, K. (2020). Fast adsorption of methylene blue by filter coffee waste. *NWSA Academic Journals*, 15(4), 111–20. doi: 10.12739/nwsa.2020.15.4.5a0138.
- [18] Sukhbaatar, B., Bongyoung, Y., and Jae, H. L. (2021). Metal-free high-adsorption-capacity adsorbent derived from spent coffee grounds for methylene blue. *RSC Advances*, 11(9), 5118–27. doi: 10.1039/d0ra09550h.
- [19] Torres-Caban, R., Carmen, A. V., and Nairmen, M. C. (2019). Adsorption of Ni<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> from water by calcium alginate/spent coffee grounds composite beads. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(21). doi: 10.3390/app9214531.
- [20] Hien, T. T., Anh, L. H., Thien, P. H., Dinh, N. T., Soon, W. C., Woo, J. C., and Duc, N. D. (2020). Adsorption isotherms and kinetic modeling of methylene blue dye onto a carbonaceous hydrochar adsorbent derived from coffee husk waste. *Science of the Total Environment*, 725, 138325. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138325.
- [21] Yifira, M. T., Mesfin, B. D., and Camerun, K. K. (2023). Coffee husk and coffee ground as an adsorbent for the removal of lead, copper and chromium from aqueous solution. *Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry*, 24(1), 106–17. doi: 10.21743/pjaec/2023.06.10.