

TREND ANALYSIS RELATING TO TOTAL COLIFORM IN THE SURFACE WATER OF THE SAIGON AND DONG NAI RIVERS, PASSING THROUGH BINH DUONG PROVINCE

Nguyen Dinh Tuong¹, Tran Thanh Thai^{2,3}, Phan Thi Thanh Huyen¹, Pham Ngoc Hoai^{1,2*}

¹Thu Dau Mot University

²Graduate University of Science and Technology - Vietnam Academy of Science and Technology

³Institute of Tropical Biology - Vietnam Academy of Science and Technology

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	08/8/2023	Assessment of coliform criteria in surface water is an essential part of monitoring programs and ensuring water quality. Therefore, this study was conducted with the aim of evaluating the fluctuation trends of total coliforms in the Saigon and Dong Nai Rivers sections flowing through Binh Duong province using regression modeling and Mann–Kendall test. The coliform ranged from 1921 to 2145 MPN/100mL and from 1969 to 2064 MPN/100mL in the the Saigon and Dong Nai Rivers, respectively. Most of the coliform values were within permissible levels in the national technical regulation on surface water quality. However, the Mann–Kendall test results revealed an increasing trend in coliform levels at monitoring stations on both rivers from 2015 to 2021. This is an alarming indication of the deteriorating water quality trend. It requires careful monitoring in the future since the Saigon and Dong Nai Rivers are the primary sources of water supply for production and domestic use in Binh Duong province.
Revised:	03/10/2023	
Published:	03/10/2023	
KEYWORDS		
Mann-Kendall test		
Monitoring		
Regression		
Urbanization		
Water pollution		
Water quality		

ĐÁNH GIÁ XU HƯỚNG BIẾN ĐỘNG CỦA TỔNG COLIFORM TRONG NƯỚC MẶT SÔNG SÀI GÒN VÀ ĐỒNG NAI ĐOẠN QUA TỈNH BÌNH DƯƠNG

Nguyễn Đình Tường¹, Trần Thành Thái^{2,3}, Phan Thị Thanh Huyền¹, Phạm Ngọc Hoài^{1,2*}

¹Trường Đại học Thủ Dầu Một

²Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

³Viện Sinh học nhiệt đới - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	08/8/2023	Đánh giá chỉ tiêu coliform trong nước mặt là một phần quan trọng trong các chương trình quan trắc và đảm bảo chất lượng nước. Do đó, nghiên cứu này được tiến hành với mục tiêu đánh giá xu hướng biến động của tổng coliform trong nước mặt sông Sài Gòn và sông Đồng Nai đoạn chảy qua địa bàn Bình Dương bằng mô hình hồi quy và kiểm định Mann–Kendall. Lượng coliform sông Sài Gòn từ 1921 đến 2145, sông Đồng Nai từ 1969 đến 2064 MPN/100mL. Hầu hết giá trị coliform đều nằm trong mức cho phép theo quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt. Tuy nhiên, kết quả kiểm định Mann–Kendall cho thấy lượng coliform ở các trạm quan trắc có xu hướng tăng dần ở cả 2 sông từ 2015 đến 2021. Đây là dấu hiệu cảnh báo chất lượng nước có xu hướng biến đổi tiêu cực. Điều này cần quan tâm theo dõi trong thời gian tới vì sông Sài Gòn và Đồng Nai là nguồn cung cấp nước chính cho sản xuất và sinh hoạt ở tỉnh Bình Dương.
Ngày hoàn thiện:	03/10/2023	
Ngày đăng:	03/10/2023	
TỪ KHÓA		
Chất lượng nước		
Đô thị hóa		
Hồi quy		
Kiểm định Mann-Kendall		
Ô nhiễm nước		
Quan trắc		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.8509>

* Corresponding author. Email: hoai@tdmu.edu.vn

1. Giới thiệu

Bùng nổ dân số và phát triển kinh tế thường đi kèm với các nguy cơ ô nhiễm vượt quá khả năng tự làm sạch của môi trường [1], [2]. Các hệ sinh thái dưới nước thường chịu tác động tổng hợp của nhiều yếu tố gây ô nhiễm, bao gồm chất dinh dưỡng, mầm bệnh, nhựa, và các hóa chất khác như kháng sinh, kim loại nặng và thuốc trừ sâu [3]. Các hoạt động của con người là nguyên nhân gây ra ô nhiễm cho các con sông ở hầu hết các quốc gia [4], [5]. Ví dụ, ngành công nghiệp sản xuất kali gây ô nhiễm các ion chiếm ưu thế là Cl^- , PO_4^{3-} , Na^+ , Mg^{2+} , và SO_4^{2-} cho các con sông ở Đức [6], [7]; dư lượng thuốc trừ sâu và chất dinh dưỡng chảy tràn từ các hoạt động nông nghiệp đến nước mặt cũng đe dọa đa dạng sinh học các thủy vực nước ngọt ở Liên minh Châu Âu [8], [9]; thuốc trừ sâu và các hóa chất khác cũng đi vào sông từ một nguồn điểm, ví dụ các nhà máy xử lý nước thải [10]. Ô nhiễm sông và các thủy vực có thể làm mất đa dạng sinh học và suy thoái các chức năng của hệ sinh thái dưới nước. Nitơ (N) và photpho (P) có liên quan trực tiếp đến hiện tượng phú dưỡng và tảo độc nở hoa [11], một trong những yếu tố chính làm thay đổi sức khỏe của hệ sinh thái. Các sinh vật dưới nước, bao gồm quần xã động vật không xương sống, cũng có thể bị ảnh hưởng đáng kể nếu độ mặn tăng lên [12]. Hơn nữa, thuốc trừ sâu (ví dụ, neonicotinoids, pyrethroid, và fipronil) có tác động tàn phá đối với côn trùng và động vật giáp xác dưới nước do độc cấp tính và mãn tính của chúng [13], dẫn đến các hệ sinh thái dưới nước bị xáo trộn [14]. Bên cạnh đó, ô nhiễm sông là một trong những nguyên nhân hàng đầu gây ra nhiều vấn đề sức khỏe nghiêm trọng khác nhau ở con người [15].

Trong các năm gần đây, ô nhiễm môi trường nước đã trở thành vấn đề được quan tâm hàng đầu ở nước ta và nhiều quốc gia trên thế giới. Bình Dương là một tỉnh thuộc miền Đông Nam bộ và nằm trong Vùng kinh tế trọng điểm phía Nam, khu vực kinh tế năng động nhất trong cả nước. Bên cạnh đó, mức độ đô thị hóa trên địa bàn diễn ra nhanh chóng trong các năm gần đây. Do đó, các áp lực từ hoạt động phát triển công nghiệp và đô thị hóa lên môi trường nước ngày một gia tăng và gây ra ô nhiễm sông, suối và kênh rạch trên địa bàn tỉnh, dẫn đến nguy cơ gây ra các vấn đề sức khỏe và môi trường [16]. Hiện nay, xã hội đầu tư rất ít vào các cơ sở xử lý chất thải hoặc giám sát chất lượng nước [17]. Ví dụ, về quan trắc chất lượng nước mặt, Bộ Tài nguyên và Môi trường khuyến nghị rất nhiều thông số quan trắc (như thông số vật lý, chất dinh dưỡng, kim loại, thuốc trừ sâu) và tần suất quan trắc nhất định (từ tự động, hàng tháng, hoặc hàng quý). Tuy nhiên, phạm vi của chương trình giám sát chất lượng nước mặt của các tỉnh hoặc thành phố khác nhau phụ thuộc nhiều vào khả năng ngân sách.

Coliform là một nhóm vi khuẩn phổ biến trong môi trường và bao gồm nhiều loại vi khuẩn, trong đó có một số vi khuẩn từ phân của động vật có máu nóng và người [18]. Tổng coliform là chỉ tiêu bắt buộc trong các chương trình quan trắc chất lượng môi trường nước mặt theo khuyến nghị từ tổ chức Y tế Thế giới [19]. Chỉ tiêu coliform trong nước mặt có ý nghĩa quan trọng trong đánh giá chất lượng và sự an toàn của nguồn nước [20]. Hơn nữa, coliform cũng được sử dụng để đánh giá hiệu quả của các hệ thống xử lý nước và quá trình làm sạch để loại bỏ vi khuẩn và các tác nhân gây bệnh có nguồn gốc từ phân [21], [22], [19]. Khi có mặt coliform trong nước là dấu hiệu cho thấy có khả năng nước đã bị nhiễm phân và có thể có sự hiện diện của các tác nhân gây bệnh từ nguồn này. Số lượng coliform có thể cho thấy mức độ ô nhiễm của nguồn nước. Nếu nước có nhiều coliform, điều này chỉ ra mức độ ô nhiễm nước cao và có nguy cơ gây ra các vấn đề sức khỏe và môi trường. Nghiên cứu ở Palestine cho thấy số lượng người dân mắc bệnh tiêu chảy và nhiễm trùng ruột non *Giardia* có tương quan cao với lượng coliform trong nước sinh hoạt với hệ số tương quan (r) lần lượt là 0,98 và 0,7 [23], [24]. Số trẻ em dưới 5 tuổi mắc bệnh viêm dạ dày cấp tính và tiêu chảy tăng cao ở khu vực có nguồn nước nhiễm coliform [25]. Theo ước tính của WHO, khoảng 80% bệnh truyền nhiễm trên thế giới là do đường nước [26]. Ở Ấn Độ 75% bệnh tật và 80% số ca tử vong ở trẻ em là do ô nhiễm nguồn nước [26]. Sông Sài Gòn - Đồng Nai là nguồn cung cấp nước chính cho vùng Đông Nam Bộ và TP. Hồ Chí Minh, đây được xem là vùng kinh tế hàng đầu của Việt Nam hiện nay và trong nhiều năm tới, cho nên quản lý

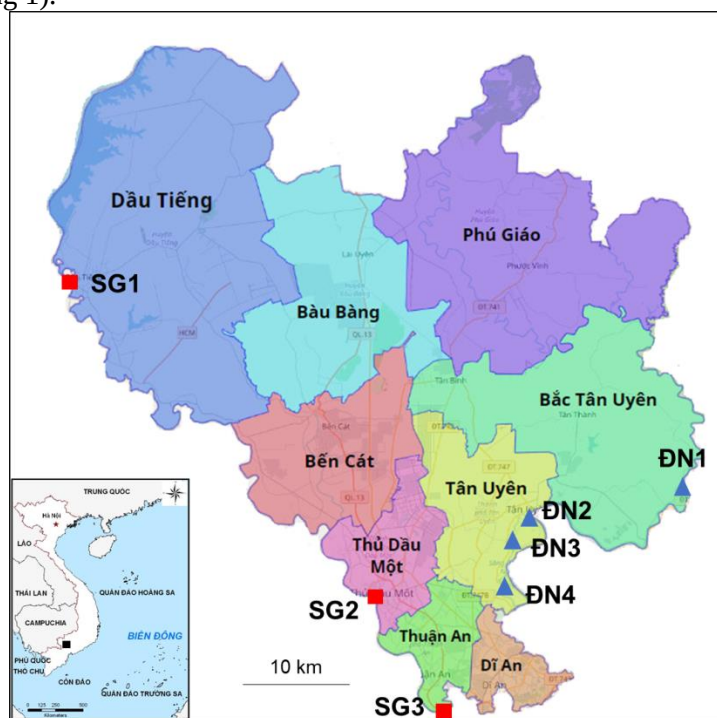
nguồn nước, nhất là chỉ tiêu coliform được xem là vấn đề cấp thiết, quan trọng hàng đầu của khu vực này.

Do đó, nghiên cứu này được tiến hành với mục tiêu: (1) Đánh giá tổng coliform trong nước mặt sông Sài Gòn và sông Đồng Nai, đoạn chảy qua địa bàn tỉnh Bình Dương; (2) Phân tích xu hướng biến động của tổng coliform trong giai đoạn 2015 đến 2021.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Sông Sài Gòn đoạn chảy qua tỉnh Bình Dương dài khoảng 143 km. Ở thượng nguồn đã có hồ Dầu Tiếng đóng vai trò rất lớn trong phát triển nông nghiệp và cấp nước cho khu vực TP. Hồ Chí Minh, Tây Ninh và Bình Dương, có tác động tích cực đến khí hậu và nước ngầm của khu vực. Đoạn sông từ Dầu Tiếng đến Thủ Dầu Một rộng khoảng 100 m, từ Thủ Dầu Một trở xuống rộng khoảng 200 m, độ dốc nhỏ (0,7%), khá thuận lợi cho phát triển giao thông đường thủy và chịu ảnh hưởng triều. Chiều dài của sông Đồng Nai đoạn qua tỉnh Bình Dương khoảng 30-40 km. Điểm chính mà sông Đồng Nai chảy qua tỉnh Bình Dương là ở phía Đông Bắc của tỉnh, trước khi tiếp tục chảy vào tỉnh Đồng Nai và cuối cùng đổ vào biển Đông. Trên sông Sài Gòn có 03 trạm quan trắc (SG1, SG2, và SG3) và có 04 trạm quan trắc trên sông Đồng Nai (ĐN1, ĐN2, ĐN3, ĐN4) (Hình 1, Bảng 1).



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu và các vị trí thu mẫu quan trắc tổng coliform trên sông Sài Gòn và Đồng Nai, đoạn qua tỉnh Bình Dương

Bảng 1. Đặc điểm các trạm quan trắc trên sông Sài Gòn và Đồng Nai, đoạn qua tỉnh Bình Dương

Trạm		Tọa độ		Mô tả
Sông	Kí hiệu vị trí thu mẫu	Kinh độ	Vĩ độ	
Sông Sài Gòn	SG1	106°21'15"	11°17'17"	
				Cách đập Dầu Tiếng 2 km. Đánh giá chất lượng nước thượng nguồn sông Sài Gòn khu vực bắt đầu chảy qua địa phận tỉnh Bình Dương

Trạm		Tọa độ		Mô tả
Sông	Kí hiệu vị trí thu mẫu	Kinh độ	Vĩ độ	
Sông Đồng Nai	SG2	106°38'36"	10°58'55"	Hợp thu nước nhà máy nước Thủ Dầu Một. Đánh giá chất lượng nguồn nước mặt cung cấp cho mục đích sinh hoạt trên địa bàn TP. Thủ Dầu Một
	SG3	106°42'48"	10°51'01"	Cách ngã 3 rạch Vĩnh Bình - sông Sài Gòn 50 m về phía hạ lưu. Đánh giá chất lượng nước sông Sài Gòn bị tác động bởi nước thải từ các khu công nghiệp trên địa bàn TP. Dĩ An, TP. Thuận An và các cơ sở sản xuất trên địa bàn TP. Hồ Chí Minh
	ĐN1	106°55'31"	11°63'31"	Cách ngã ba sông Đồng Nai-Sông Bé 1 km. Đánh giá chất lượng nước mặt tại hợp lưu của sông Đồng Nai và sông Bé
	ĐN2	106°43'02"	11°03'09"	Hợp thu nước nhà máy nước Tân Hiệp. Đánh giá chất lượng nước mặt bị tác động bởi hoạt động nuôi cá bè và hoạt động sản xuất của một số nhà máy
	ĐN3	106°47'09"	11°03'04"	Cầu mới bắc qua cù lao Bạch Đằng. Đánh giá chất lượng nước mặt đầu vào cho nhà máy cấp nước Tân Hiệp
	ĐN4	106°42'55"	10°57'55"	Hợp thu nước nhà máy nước Tân Ba. Đánh giá chất lượng nước mặt đầu vào cho nhà máy cấp nước Tân Ba và khu vực hạ lưu sông Đồng Nai thuộc địa phận Bình Dương

2.2. Thu thập và tiền xử lý dữ liệu

Dữ liệu tổng coliform từ năm 2015 đến 2021 tại các trạm quan trắc được thu thập từ Trung tâm quan trắc kỹ thuật Tài nguyên Môi trường thuộc Sở Tài nguyên và Môi trường Bình Dương. Tại mỗi điểm quan trắc tiến hành lấy 01 mẫu trộn (bờ bên trái, bờ bên phải và giữa dòng) và theo tầng nước 0,5 m và 1 m. Tại các điểm có triều lấy mẫu ở đỉnh triều và chân triều gồm các điểm SG2, SG3, ĐN2, ĐN3, ĐN4. Các điểm quan trắc còn lại lấy một mẫu tại thời điểm chân triều. Phân tích tổng coliform theo TCVN 6187-2-1996 với giới hạn phát hiện là 3 MPN/100mL.

Theo Quyết định số 918/2012/QĐ-UBND ngày 06/04/2012 của UBND tỉnh Bình Dương về việc phê duyệt Quy hoạch mạng lưới quan trắc tài nguyên và môi trường cấp tỉnh thì năm 2015 có tần suất quan trắc là 6 lần/năm; từ 2016 đến 2021 là 12 lần/năm. Dữ liệu được tiền xử lý qua ba bước trước khi được đưa vào phân tích: i) Loại bỏ các giá trị Null, đồng thời thay thế các giá trị đó bằng giá trị nội suy (theo phương pháp Linear Interpolation trong thư viện Pandas của Python); ii) Giá trị ngoại lai khác thường được kiểm tra lại, nếu đó là giá trị lỗi thì thay thế bằng trung bình của 4 giá trị gần đó [27].

2.3. Phương pháp đánh giá xu hướng Mann-Kendall

Phương pháp Mann-Kendall là một phương pháp thống kê phi tham số được sử dụng để kiểm tra xu hướng và tính ổn định của dữ liệu không tuân hoàn theo thời gian [28], [29]. Xét chuỗi dữ liệu $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}, x_n$ biểu diễn n điểm giá trị, trong đó x_j là giá trị dữ liệu tại thời điểm j . Khi đó chỉ số thống kê Mann-Kendall S được tính bởi công thức (1):

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

Trong đó, $\text{sgn}(x) = 1$ nếu $x > 0$; $\text{sgn}(x) = 0$ nếu $x = 0$ và $\text{sgn}(x) = -1$, nếu $x < 0$.

Phương sai của S được tính theo công thức (2):

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g (tp-1)(2tp+5)] \quad (2)$$

Trong đó, g là số các nhóm có các giá trị dữ liệu giống nhau, t_p là số các điểm dữ liệu trong nhóm thứ p . Chỉ số Mann–Kendall Z được tính như công thức (3):

$$\begin{aligned} Z &= \frac{S-1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}}, S > 0 \\ Z &= 0, S = 0 \\ Z &= \frac{S+1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}}, S < 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Nếu $Z > Z_\alpha$: Bác bỏ giả thuyết H_0 , tức là tồn tại xu hướng; ngược lại, nếu như $Z < Z_\alpha$: Chấp nhận giả thuyết H_0 (không tồn tại xu hướng biến động). Nếu Z mang giá trị dương thì xu hướng tăng, âm là xu hướng giảm [30]. Nghiên cứu sử dụng mức ý nghĩa thông kê $\alpha = 0,05$. Phân tích Mann–Kendall bằng package “pymannkendall” trong ngôn ngữ lập trình Python [31].

3. Kết quả và thảo luận

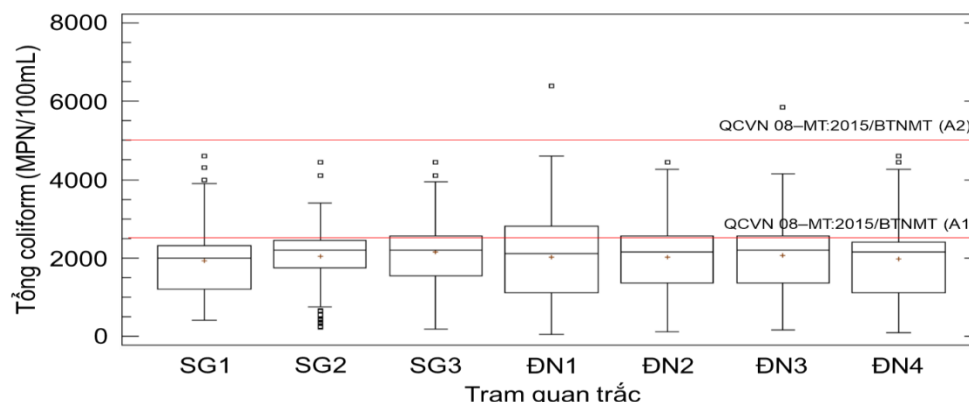
3.1. Tổng coliform trong nước mặt tại các trạm quan trắc trên sông Sài Gòn và Đồng Nai

Kết quả mô tả thống kê bộ dữ liệu tổng coliform tại các trạm quan trắc về số lượng dữ liệu, trung bình, độ lệch chuẩn, giá trị nhỏ - lớn nhất, điểm phân vị thứ 25, 50, và 75 ở bảng 2, cho thấy Tổng-Coliform tại các trạm quan trắc trên sông Sài Gòn từ 1921 đến 2145 MPN/100mL và có xu hướng tăng dần từ thượng nguồn xuống hạ nguồn sông Sài Gòn (từ SG1 xuống SG3). Tổng coliform trên sông Đồng Nai từ 1969 đến 2064 MPN/100mL, coliform cũng tăng dần từ thượng nguồn xuống hạ nguồn sông Đồng Nai (từ ĐN1 xuống ĐN3), tuy nhiên, lượng coliform lại giảm ở trạm ĐN4. Nhìn chung, lượng coliform trên sông Sài Gòn và Đồng Nai vẫn nằm trong giới hạn cho phép theo QCVN 08–MT:2015/BTNMT cột A2 là nước mặt dùng cho mục đích cấp nước sinh hoạt nhưng phải áp dụng công nghệ xử lý phù hợp (coliform ≤ 5000 MPN/100mL), trừ giá trị coliform của trạm ĐN1 vào tháng 7 năm 2018 (6400 MPN/100mL) và ĐN3 vào tháng 4 năm 2017 (5850 MPN/100mL). Ngoài ra, giá trị trung bình của tổng coliform thậm chí vẫn nằm trong giới hạn cho phép theo QCVN 08–MT:2015/BTNMT cột A1 là nước mặt dùng cho mục đích cấp nước sinh hoạt nhưng phải áp dụng công nghệ xử lý thông thường (coliform ≤ 2500 MPN/100 mL) (Hình 2).

Lượng coliform trong nước mặt sông Sài Gòn và Đồng Nai đoạn qua tỉnh Bình Dương cao hơn lượng coliform trong nước mặt sông Hậu (1156–1657 MPN/100 mL) [32] nhưng thấp hơn một số khu vực thuộc tỉnh Hậu Giang (3225–15275 MPN/100 mL) [32], An Giang (11067–31363 MPN/100 mL) [33], Đồng Tháp (1708–25300 MPN/100 mL) [34], Trà Vinh (153229 MPN/100 mL) [35], thành phố Cần Thơ (19140–28600 MPN/100mL) [36]. Khác với khu vực Đông Nam Bộ (ví dụ Bình Dương), ô nhiễm vi sinh vật đã trở thành một vấn đề đáng lo ngại tại vùng Tây Nam Bộ. Nguyên nhân dẫn đến sự hiện diện cao của coliform, thậm chí vượt quá quy định quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước mặt, có thể liên quan đến việc xả lượng lớn chất thải hữu cơ vào sông. Các nguồn chính của chất thải này là các trang trại nuôi thủy sản, ruộng lúa, các ngành công nghiệp chế biến thủy sản và các hoạt động công nghiệp khác [37]. Sử dụng nước có mức độ coliform cao có thể dẫn đến một số vấn đề sức khỏe con người như bệnh đường ruột, sốt, tiêu chảy [38].

Bảng 2. Thống kê mô tả dữ liệu tổng coliform tại các trạm quan trắc từ năm 2015 đến 2021

Đặc điểm dữ liệu	SG1	SG2	SG3	ĐN1	ĐN2	ĐN3	ĐN4
Số dữ liệu (N)	78	78	78	78	78	78	78
Trung bình (Mean, MPN/100ml)	1921	2048	2145	2010	2021	2064	1969
Độ lệch chuẩn (Std, MPN/100ml)	974	845	863	1183	985	999	1042
Cực tiểu (Min, MPN/100ml)	400	220	175	40	100	145	80
25% (MPN/100ml)	1200	1750	1550	1100	1350	1350	1100
50% (MPN/100ml)	1100	700	1000	1700	1200	1200	1300
75% (MPN/100ml)	2300	2450	2550	2800	2550	2550	2400
Cực đại (Max, MPN/100ml)	4600	4450	4450	6400	4450	5850	4600



Hình 2. Biểu đồ hộp thể hiện phân phối dữ liệu tổng coliform tại các trạm quan trắc từ năm 2015 đến 2021

3.2. Đánh giá xu hướng biến động tổng coliform tại các trạm quan trắc trên sông Sài Gòn và Đồng Nai

Kết quả kiểm định Mann–Kendall cho thấy ở tổng coliform có xu hướng tăng, có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) ở tất cả các trạm quan trắc trên sông Sài Gòn và Đồng Nai (Bảng 3). Trên sông Đồng Nai, tổng coliform ở trạm ĐN3 có xu hướng tăng mạnh nhất ($Z = 5,04$, độ dốc-slope = 24), sau đó là ĐN4 ($Z = 4,97$, slope = 24) và ĐN2 ($Z = 4,42$, slope = 22,22). Do trạm ĐN2, ĐN3, ĐN4 đánh giá chất lượng nước mặt đầu vào cho nhà máy cấp nước Tân Hiệp và Tân Ba nên cần phải chú ý theo dõi lượng coliform trong thời gian tiếp theo. Trên sông Sài Gòn, tổng coliform ở trạm SG1 có xu hướng tăng mạnh nhất ($Z = 4,98$, slope = 20), sau đó là SG2 ($Z = 3,68$, slope = 13,63). Trạm SG1 và SG2 quan trắc chất lượng nước đầu vào cho nhà máy ở thành phố Thủ Dầu Một nên lượng coliform cũng phải được lưu ý trong thời gian sắp tới. Mô hình hồi quy cũng cho thấy xu hướng tăng dần của tổng coliform ở tất cả các trạm quan trắc từ 2015 đến 2021. Vị trí SG1, ĐN2, ĐN3, ĐN4 là các trạm có xu hướng tăng mạnh nhất với hệ số xác định (R^2) lần lượt là 34,34; 35,63; 38,29; 33,26 (Hình 3, Bảng 4). Xu hướng tăng coliform ở sông Đồng Nai mạnh hơn sông Sài Gòn.

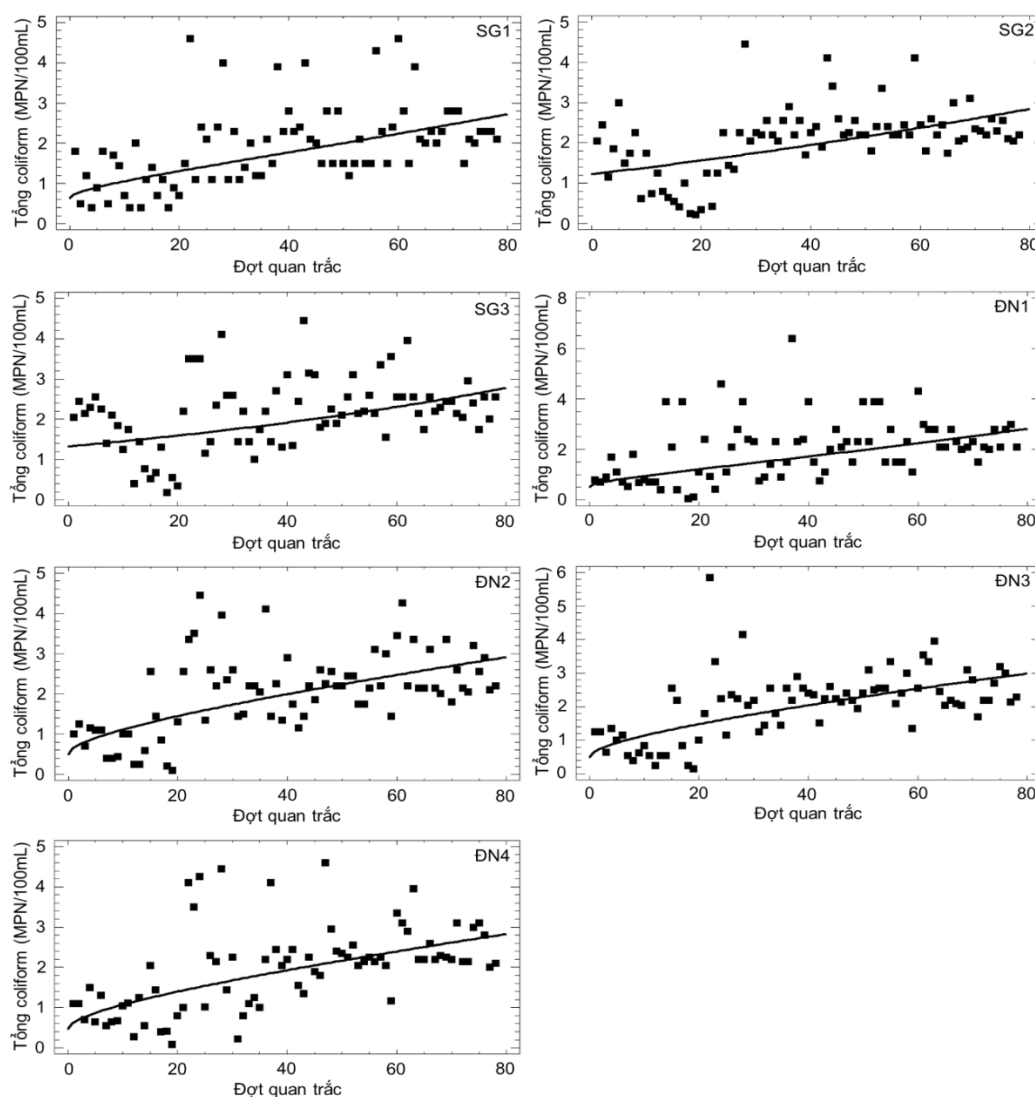
Sự gia tăng của tổng coliform trong nguồn nước mặt sông Sài Gòn và Đồng Nai có thể đến từ nhiều nguyên nhân nhưng chủ yếu từ nước thải, chất thải sinh hoạt và nông nghiệp. Tỉnh Bình Dương có nhiều đô thị lớn như TP. Thủ Dầu Một, TP. Dĩ An, TP. Thuận An, TP. Tân Uyên, với nước thải đô thị khoảng 320.000 m³/ngày [39]. Giá trị trung bình của tổng coliform nhìn chung vẫn còn nằm trong giới hạn cho phép; tuy nhiên, tổng coliform liên tục tăng trong giai đoạn 2015 đến 2021, chứng tỏ hệ thống các nhà máy xử lý nước thải ở Bình Dương đang phải đối mặt với áp lực xử lý ngày càng lớn. Ngoài ra, tình hình xử lý chất thải, nước thải nông nghiệp và sinh hoạt ở các khu vực nông thôn của tỉnh Bình Dương cũng cần phải đặc biệt quan tâm vì coliform có trong chất thải của người và vật nuôi có thể bị rò rỉ thải ra nguồn nước mặt dẫn đến tăng coliform trong thời gian qua. Ngoài ra, nhóm vi khuẩn coliform có thể phát triển mạnh trong điều kiện môi trường nước bị phú dưỡng và nhiều chất lơ lửng [40]. Hồ Dầu Tiếng và Trị An là nguồn cung cấp nước cho sông Sài Gòn và Đồng Nai đang bị phú dưỡng từ các hoạt động nuôi cá bè, nước thải sinh hoạt, và rửa trôi bề mặt [41] – [43]. Đây cũng là nguyên nhân góp phần vào xu hướng tăng dần của tổng coliform ở tất cả các trạm quan trắc trên sông Sài Gòn và Đồng Nai.

Để có giải pháp quản lý hiệu quả coliform trong nguồn nước trên sông Sài Gòn và Đồng Nai, địa phương cần triển khai một số nội dung: (i) Đánh giá công suất và hiệu quả của các nhà máy xử lý nước thải trên địa bàn; (ii) Xử lý và quản lý chặt chẽ nguồn chất thải, nước thải nông nghiệp và sinh hoạt ở khu vực nông thôn; (iii) Đánh giá mối quan hệ chi phối của một số yếu tố môi trường (nhiệt độ, pH,...) đến tổng coliform, biến động trong các yếu tố môi trường là dấu

hiệu cảnh báo tăng/giảm lượng coliform trong nước mặt; (iv) Khi tổng coliform tăng cao, cần chú ý theo dõi một số nhóm vi sinh vật gây bệnh như *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Vibrio* spp., *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*,...

Bảng 3. Kết quả phân tích Mann–Kendall xu hướng biến động tổng coliform tại các trạm quan trắc từ 2015 đến 2021. Giá trị $p < 0,05$ được in đậm

Trạm	Xu hướng	Z	p	Tau	S	Var S	Slope	Intercept
SG1	Tăng	4,98	6,15e-07	0,38	1152	53281	20	1230
SG2	Tăng	3,68	0,0001	0,29	895	53417	13,63	1675
SG3	Tăng	2,72	0,006	0,21	632	53570	11,11	1772
ĐN1	Tăng	3,99	6,43e-05	0,30	924	53342	20,31	1317
ĐN2	Tăng	4,42	9,84e-06	0,34	1024	53556	22,22	1294
ĐN3	Tăng	5,04	4,52e-07	0,38	1169	53587	24	1276
ĐN4	Tăng	4,97	6,67e-07	0,38	1169	53587	24	1276



Hình 3. Biểu đồ xu hướng biến động tổng coliform ($\times 1000$) tại các trạm quan trắc từ 2015 đến 2021. Năm 2015 (Đợt 1 - 6), 2016 (Đợt 7 - 18), 2017 (Đợt 19 - 30), 2018 (Đợt 31 - 42), 2019 (Đợt 43 - 54), 2020 (Đợt 55 - 66), 2021 (Đợt 67 - 78)

Bảng 4. Mô hình hồi quy xu hướng biến động tổng coliform tại các trạm quan trắc từ 2015 đến 2021.
Giá trị $p < 0,05$ được in đậm

Trạm	Mô hình	R^2	F	p -value
SG1	Coliform (SG1) = $\exp(6,44 + 0,16 \cdot \sqrt{\text{Thời gian}})$	34,34	39,76	<0,0001
SG2	Coliform (SG2) = $(34,96 + 0,22 \cdot \text{Thời gian})^2$	24,07	24,10	<0,0001
SG3	Coliform (SG2) = $\exp(7,18 + 0,009 \cdot \text{Thời gian})$	13,78	12,15	0,0008
ĐN1	Coliform (ĐN1) = $\exp(6,25 + 0,18 \cdot \sqrt{\text{Thời gian}})$	23,04	22,75	<0,0001
ĐN2	Coliform (ĐN2) = $(22,15 + 3,55 \cdot \sqrt{\text{Thời gian}})^2$	35,63	42,08	<0,0001
ĐN3	Coliform (ĐN3) = $(22,32 + 3,61 \cdot \sqrt{\text{Thời gian}})^2$	38,29	47,17	<0,0001
ĐN4	Coliform (ĐN4) = $(21,54 + 3,53 \cdot \sqrt{\text{Thời gian}})^2$	33,26	37,88	<0,0001

Phân tích xu hướng biến động chất lượng nước có ý nghĩa quan trọng trong việc đề ra các chính sách bảo vệ nguồn nước. Phương pháp áp dụng kỹ thuật thống kê bằng phân tích xu hướng Mann–Kendall là giải pháp hữu hiệu cho vấn đề này. Thông qua đó có thể biết được chiều hướng biến động tích cực hay tiêu cực thực trạng chất lượng của nguồn nước. Phương pháp phân tích xu hướng đã được ứng dụng rộng rãi và đáng tin cậy trong việc đánh giá tổng thể chất lượng nước mặt ở nhiều địa phương ở Việt Nam như hạ lưu sông Cu Đê, Đà Nẵng [44], Huế [18]. Ngoài ra, phân tích xu hướng cũng được ứng dụng rộng rãi để đánh giá biến động của các yếu tố khí tượng như lượng mưa [45], [46], nhiệt độ [47], mực nước [48]. Do đó, phân tích xu hướng là phương pháp thống kê đơn giản nhưng rất hiệu quả trong việc đánh giá tổng quát để đưa ra chiến lược quản lý và sử dụng bền vững nguồn tài nguyên nước.

4. Kết luận

Nghiên cứu này cung cấp thông tin khoa học về tổng coliform trong nước mặt sông Sài Gòn và sông Đồng Nai đoạn chảy qua địa bàn tỉnh Bình Dương. Nhìn chung, giá trị trung bình của tổng coliform vẫn nằm trong giới hạn cho phép về chất lượng nước mặt; tuy nhiên, nghiên cứu cho thấy lượng coliform có xu hướng tăng dần ở cả 2 sông từ 2015 đến 2021. Sông Đồng Nai có xu hướng tăng mạnh hơn sông Sài Gòn. Đây là dấu hiệu chất lượng nước mặt có xu hướng biến đổi xấu đi trong những năm gần đây. Do đó, chất lượng môi trường nước cần quan tâm theo dõi trong thời gian tới vì sông Sài Gòn và Đồng Nai là nguồn cung cấp nước chính cho sản xuất và sinh hoạt ở tỉnh Bình Dương.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được thực hiện với sự hỗ trợ của Trường Đại học Thủ Dầu Một.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] N. J. Zinia and C. Kroeze, "Future trends in urbanization and coastal water pollution in the Bay of Bengal: the lived experience," *Environment, Development and Sustainability*, vol. 17, no. 3, pp. 531-546, 2015, doi: 10.1007/s10668-014-9558-1.
- [2] W. Liang and M. Yang, "Urbanization, economic growth and environmental pollution: Evidence from China," *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 21, pp. 1-9, 2019, doi: 10.1016/j.suscom.2018.11.007.
- [3] C. Kroeze, S. Gabbert, N. Hofstra, A. A. Koelmans, A. Li, A. Löhr, and J. van Wijnen, "Global modelling of surface water quality: a multi-pollutant approach," *Current opinion in environmental sustainability*, vol. 23, pp. 35-45, 2016, doi: 10.1016/j.cosust.2016.11.014.
- [4] A. Bojarczuk, Ł. Jelonkiewicz, and A. Lenart-Boroń, "The effect of anthropogenic and natural factors on the prevalence of physicochemical parameters of water and bacterial water quality indicators along the river Białka, southern Poland," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, no. 10, pp. 10102-10114, 2018, doi: 10.1007/s11356-018-1212-2.
- [5] A. L. C. Soares, C. C. Pinto, and S. C. Oliveira, "Impacts of anthropogenic activities and calculation of the relative risk of violating surface water quality standards established by environmental legislation: a case study from the Piracicaba and Paraopeba river basins, Brazil," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, no. 12, pp. 14085-14099, 2020, doi: 10.1007/s11356-020-07647-1.

- [6] H. Ziemann and C. J. Schulz, "Methods for biological assessment of salt-loaded running waters—fundamentals, current positions and perspectives," *Limnologica*, vol. 41, no. 2, pp. 90-95, 2011.
- [7] C. J. Schulz and M. Cañedo-Argüelles, "Lost in translation: the German literature on freshwater salinization," *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, vol. 374, no. 1764, 2019, Art. no. 20180007.
- [8] E. Malaj, C. Peter, M. Grote, R. Kühne, C. P. Mondy, P. Usseglio-Polatera, and R. B. Schäfer, "Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 111, no. 26, pp. 9549-9554, 2014.
- [9] S. Stehle and R. Schulz, "Pesticide authorization in the EU-environment unprotected?," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 22, no. 24, pp. 19632-19647, 2015.
- [10] J. Campo, A. Masiá, C. Blasco, and Y. Picó, "Occurrence and removal efficiency of pesticides in sewage treatment plants of four Mediterranean River Basins," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 263, pp. 146-157, 2013.
- [11] D. J. Conley, H. W. Paerl, R. W. Howarth, D. F. Boesch, S. P. Seitzinger, K. E. Havens, and G. E. Likens, "Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus," *Science*, vol. 323, no. 5917, pp. 1014-1015, 2009.
- [12] U. Braukmann and D. Böhme, "Salt pollution of the middle and lower sections of the river Werra (Germany) and its impact on benthic macroinvertebrates," *Limnologica*, vol. 41, no. 2, pp. 113-124, 2011.
- [13] M. A. Beketov and M. Liess, "Acute and delayed effects of the neonicotinoid insecticide thiacloprid on seven freshwater arthropods," *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, vol. 27, no. 2, pp. 461-470, 2008.
- [14] T. C. V. Dijk, M. A. V. Staalduinen, and J. P. V. der Sluijs, "Macro-invertebrate decline in surface water polluted with imidacloprid," *PloS One*, vol. 8, no. 5, 2013, Art. no. e62374, doi: 10.1371/journal.pone.0062374
- [15] A.P.S. Chabba, "Water-Borne Diseases in India 2013," 2021. [Online]. Available: <https://en.reset.org/blog/water-borne-diseases-india>. [Accessed August 8, 2023].
- [16] Binh Duong Provincial People's Committee, "Report on environmental status of Binh Duong province in the period 2016-2020 (in vietnammes)," *People's Committee of Binh Duong province*, 2020. [Online]. Available: <https://www.binhduong.gov.vn/chinhquyen/Pages/Van-ban-Chi-dao-Dieu-hanh-chi-tiet.aspx?ItemID=4330>. [Accessed August 8, 2023].
- [17] H. Q. Nguyen, "Modeling of Nutrient Dynamics during Flood Events at Catchment Scale in Tropical Regions, in Leichtweiß- Institute for Hydraulics and Water Resources (LWI)," Ph.D. Thesis, University of Braunschweig, Braunschweig, Germany, 2010.
- [18] M. K. Nguyen and N. H. Lam, "Analysis of changing trend of fecal coliform levels at lakes in Hue Citadel, Vietnam," *Environment and Natural Resources Journal*, vol. 14, no. 1, pp. 1-7, 2016.
- [19] WHO, "Guidelines for drinking-water quality, fourth edition," Geneva: World Health Organization, 2011.
- [20] J. Standridge, "E. coli as a public health indicator of drinking water quality," *Journal-American Water Works Association*, vol. 100, no. 2, pp. 65-75, 2008.
- [21] H. Leclerc, D. Mossel, S. Edberg, and C. Struijk, "Advances in the bacteriology of the coliform group: their suitability as markers of microbial water safety," *Annual Reviews in Microbiology*, vol. 55, pp. 201-234, 2001.
- [22] P. Tallon, B. Magajna, C. Lofranco, and K. T. Leung, "Microbial indicators of faecal contamination in water: a current perspective," *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 166, pp. 139-166, 2005.
- [23] S. S. A. Amr and M. M. Yassin, "Microbial contamination of the drinking water distribution system and its impact on human health in Khan Yunis Governorate, Gaza Strip: seven years of monitoring (2000-2006)," *Public Health*, vol. 122, no. 11, pp. 1275-1283, 2008.
- [24] M. M. Yassin, S. S. A. Amr, and H. M. Al-Najar, "Assessment of microbiological water quality and its relation to human health in Gaza Governorate, Gaza Strip," *Public Health*, vol. 120, no. 12, pp. 1177-1187, 2006.
- [25] M. Fida, P. Li, Y. Wang, S. K. Alam, and A. Nsabimana, "Water contamination and human health risks in Pakistan: a review," *Exposure and Health*, vol. 15, no.3, pp. 1-21, 2022, doi:10.1007/s12403-022-00512-1.
- [26] P. Pal, "Detection of coliforms in drinking water and its effect on human health - A review," *International Letters of Natural Sciences*, vol. 17, pp. 122-131, 2014, doi: <https://doi.org/10.56431/p-xjfc00>.
- [27] M. Pan, H. Zhou, J. Cao, Y. Liu, J. Hao, S. Li, and C. H. Chen, "Water Level Prediction Model Based on GRU and CNN," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 60090-60100, 2008.
- [28] H.B. Mann, "Nonparametric tests against trend," *Econometrica*, vol. 13, pp. 245-259, 1945.
- [29] M.G. Kendall, *Rank correlation methods*, Griffin, London, UK, 1975.

- [30] D. O. Gameda, D. Korecha, and W. Garedew, "Evidences of climate change presences in the wettest parts of southwest Ethiopia," *Heliyon*, vol. 7, no. 9, pp. 1-13, 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08009.
- [31] M. Hussain and I. Mahmud, "pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests," *Journal of Open Source Software*, vol. 4, no. 39, 2019, Art. no. 1556.
- [32] G. T. Nguyen and H. T. H. Nhien, "Phytoplankton-Water Quality Relationship in Water Bodies in the Mekong Delta, Vietnam," *App. Envi. Res.*, vol. 42, no. 2, pp. 1-12, Apr. 2020.
- [33] T. K. H. Tran and G. T. Nguyen, "Analysis of Surface Water Quality in Upstream Province of Vietnamese Mekong Delta Using Multivariate Statistics," *Water*, vol. 14, no. 12, p. 1975, 2022, doi: 10.3390/w14121975.
- [34] G. T. Nguyen, V.C. Nguyen, and H. T. H. Nhien, "Using remote sensing and multivariate statistics in analyzing the relationship between land use pattern and water quality in Tien Giang province, Vietnam," *Water*, vol. 13, no. 8, 2021, Art. no. 1093.
- [35] V. T. Le, P. T. D. Nguyen, and T. B. Nguyen, "Spatial and temporal analysis and quantification of pollution sources of the surface water quality in a coastal province in Vietnam," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 195, no. 3, 2023, Art. no. 408.
- [36] F. G. Mutea, H. K. Nelson, H. V. Au, T. G. Huynh, and U. N. Vu, "Assessment of water quality for aquaculture in Hau River, Mekong Delta, Vietnam using multivariate statistical analysis," *Water*, vol. 13, no. 22, 2021, Art. no. 3307.
- [37] T. N. M. Nguyen, A. Vanreusel, L. Lins, T. T. Tran, T. N. Bezerra, and X. Q. Ngo, "The Effect of a Dam Construction on Subtidal Nematode Communities in the Ba Lai Estuary, Vietnam," *Diversity*, vol. 12, no. 4, 2020, Art. no. 137.
- [38] A. H. Divya and P. A. Solomon, "Effects of Some Water Quality Parameters Especially Total Coliform and Fecal Coliform in Surface Water of Chalakudy River," *Procedia Technology*, vol. 24, pp. 631-638, 2016.
- [39] Binh Duong Department of Natural Resources and Environment, "Binh Duong continues to invest in implementing urban wastewater treatment projects in the province (in vietnammes)," *Environmental Protection Agency of Binh Duong province*, 2021. [Online]. Available: <https://stnmt.binhduong.gov.vn/chi-tiet-bai-viet/-/view-article/1/1541066076402/1633592031752>. [Accessed May 9, 2023].
- [40] H. Hong, J. Qiu, and Y. Liang, "Environmental factors influencing the distribution of total and fecal coliform bacteria in six water storage reservoirs in the Pearl River Delta Region, China," *Journal of Environmental Sciences*, vol. 22, no. 5, pp. 663-668, 2010.
- [41] T. L. Pham, T. S. Dao, N. D. Tran, J. Nimptsch, C. Wiegand, and U. Motoo, "Influence of environmental factors on cyanobacterial biomass and microcystin concentration in the Dau Tieng Reservoir, a tropical eutrophic water body in Vietnam," *Annales de Limnologie -International Journal of Limnology*, vol. 53, pp. 89-100, 2017.
- [42] T. H. Y. Tran, T. T. Tran, V. T. Nguyen, X. Q. Ngo, and T. L. Pham, "Environmental Factors Influencing Chlorophyll-a Concentration in Tri An Reservoir, Vietnam," *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, vol. 37, no. 2, pp. 13-23, 2021.
- [43] T. H. Y. Tran, T. T. Tran, V. T. Nguyen, X. Q. Ngo, and T. L. Pham, "Nutrients in sediment regulate benthic algal assemblages in the tropical Tri An reservoir of Vietnam," *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering*, vol. 62, no. 4, pp. 43-48, 2020.
- [44] M. K. Nguyen, "Monitoring and evaluating of water quality trend at Cu De River in the Da Nang city," (in Vietnamese)," *Can Tho University Journal of Science*, vol. 34, pp. 100-107, Nov. 2014.
- [45] N. X. Q. Chau, H. N. G. Ngo, V. H. Ho, and K. Q. Pham, "Analysis of rainfall trends in period 1982-2019 at Tan Son Hoa Meteorological Station, Ho Chi Minh City," *VNUHCM Journal of Earth Science and Environment*, vol. 5, no. SI1, pp. SI58-SI64, Nov. 2021.
- [46] V. T. Nguyen, T. V. Can, H.A. Nguyen, D. D. Tran, T. V. A. Vu, and T. V. Can, "Analysis of the trends of annual rainfall in Central Highlands region during the periods from 1990 to 2021," (in Vietnamese), *Viet Nam Journal Hydrometeorological*, vol. 744, no. 1, pp. 15-25, 2022, doi: 10.36335/VNJHM.2022(744(1)).
- [47] T. V. H. Dinh, "Trending of rainfall and temperature in Kien Giang province (In Vietnamese)," *Viet Nam Journal Hydrometeorological*, vol. 747, pp. 54-69, 2023.
- [48] S. H. Pham, H. Ki-Young, V. T. Nguyen, D. M. Le, and V. T. Ho, "Trend of sea level in Khanh Hoa water area, estimation for sea level rise," (in Vietnamese), *Sea Conference 2022*, Nha Trang, September 13-14, 2022, pp. 732-744.