

Bài báo khoa học

Phân tích, đánh giá các nguồn gây ô nhiễm chất lượng nước mặt tỉnh Long An, Đồng bằng Sông Cửu Long

Lê Việt Thắng^{1*}

¹ Viện Khoa học Công nghệ và Quản lý môi trường, Trường Đại học Công nghiệp thành phố Hồ Chí Minh; levietthangmt@gmail.com

*Tác giả liên hệ: levietthangmt@gmail.com; Tel.: +84-908552201

Ban Biên tập nhận bài: 25/10/2024; Ngày phản biện xong: 17/12/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2024

Tóm tắt: Nghiên cứu hiện tại nhằm phân tích theo không gian, thời gian và định lượng các nguồn gây ô nhiễm hệ thống nước mặt ở tỉnh Long An. Tổng cộng 1.736 mẫu nước mặt được lấy tại 62 điểm quan trắc phân bố trên 4 phân vùng không gian, tần suất 4 đợt mỗi năm vào mùa khô và mùa mưa từ năm 2017 đến năm 2023 và phân tích 15 thông số lý hóa, sinh học. Toàn bộ tập dữ liệu được phân tích thành phần chính (PCA/FA), phân tích phương sai hai chiều, và tính toán chỉ số chất lượng nước (WQI), đồng thời áp dụng phân tích hồi quy đa biến. Kết quả PCA/FA đã chỉ ra 05 nguồn ô nhiễm/nhân tố chính ảnh hưởng đến chất lượng nước mặt gồm: xâm nhập mặn; hoạt động nhân sinh; quá trình tích tụ/lắng đọng; dòng nước chảy tràn qua khu nông nghiệp; và các yếu tố thời tiết, thủy lực. Phân tích hồi quy đa biến chỉ ra rằng xâm nhập mặn, và hoạt động nhân sinh góp phần suy giảm đáng kể chất lượng nước ở khu vực. Tính toán cho thấy WQI giảm từ vùng nội địa ra ven biển, và mùa mưa cao hơn mùa khô. Nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc xây dựng các chiến lược quản lý chất lượng nước mặt hợp lý và chặt chẽ hơn trên địa bàn tỉnh Long An.

Từ khóa: Phân tích thống kê đa biến; Nguồn ô nhiễm; Long An; Chất lượng nước.

1. Mở đầu

Nước mặt có thể bị ô nhiễm vì nhiều lý do xuất phát từ hoạt động của con người và các yếu tố tự nhiên [1]. Các hoạt động của con người có thể bao gồm sản xuất công nghiệp và nông nghiệp, hoạt động dân cư và xả nước thải [2]. Các yếu tố tự nhiên có thể bao gồm biến đổi khí hậu (lượng mưa, độ ẩm và thoát hơi nước) và thiên tai (hạn hán, lũ lụt và lở đất) [3]. Đặc biệt, tài nguyên nước mặt ở các vùng ven biển có thể bị ảnh hưởng tổng hợp bởi các hoạt động của con người và các yếu tố tự nhiên [4]. Nước thải từ các khu vực nông nghiệp, công nghiệp và dân cư được xác định là một nguồn ô nhiễm quan trọng làm suy giảm chất lượng nước mặt ở nhiều vùng khác nhau [5, 6]. Chất lượng nước mặt cũng có thể thay đổi theo mùa, điều này liên quan đến chế độ thủy văn diễn ra ở vùng ven biển. Những điều đó chỉ ra rằng chất lượng nước mặt có thể thay đổi theo không gian và thời gian, điều này đòi hỏi nhiều nghiên cứu hơn. Hơn nữa, các nguồn ô nhiễm chính nước mặt cần được phân tích và đánh giá để phát triển các chiến lược quản lý phù hợp và xử lý ô nhiễm hiệu quả [7]. Phương pháp phân tích thống kê như (PCA/FA, ANOVA) đã được sử dụng nhiều trong các nghiên cứu trên thế giới về chất lượng nước mặt và xác định nguyên nhân gây ô nhiễm [8–13]. Những phát hiện này chỉ ra rằng nhiều nguồn ô nhiễm có thể góp phần làm suy thoái chất lượng nước mặt cần được phân tích và đánh giá để quản lý tốt hơn.

Tài nguyên nước mặt đóng vai trò quan trọng trong phát triển bền vững. Việt Nam là quốc gia có nguồn tài nguyên nước mặt dồi dào: với lượng mưa trung bình năm khoảng

2.000mm, hơn 3.500 con sông có chiều dài lớn hơn 10km, và 16 lưu vực sông chính [14]. Trong đó, lưu vực sông Cửu Long (LVSC) là lưu vực sông (LVS) quan trọng, chiếm tới 57% tổng lượng nước mặt của Việt Nam [14]. LVSC có tổng diện tích tự nhiên trong nước khoảng 39.945 km², bao gồm: 13 tỉnh, thành phố vùng Tây Nam Bộ của Việt Nam. LVSC có tiềm năng nông nghiệp lớn, trong nhiều năm qua, LVSC luôn đóng góp khoảng 50% sản lượng lúa gạo, 70% lượng trái cây của cả nước, và đóng góp 90% sản lượng gạo xuất khẩu, 60% sản lượng thủy sản xuất khẩu [15].

Hiện nay, LVSC đã và đang đối mặt với nhiều thách thức nghiêm trọng do tác động của biến đổi khí hậu; khai thác, sử dụng quá mức tài nguyên nước tại lưu vực và thượng nguồn sông Mê Kông [16]. Ô nhiễm nước mặt ở ĐBSCL có thể đe dọa sức khỏe con người, động vật và hệ sinh thái do nguồn nước này được sử dụng đa mục đích, đặc biệt cho sinh hoạt [4]. Theo Word Bank [14], ô nhiễm nước là mối đe dọa lớn nhất đối với nền kinh tế tại Việt Nam, nghiên cứu chỉ ra rằng ô nhiễm nước ảnh hưởng lên sức khỏe con người, có thể làm giảm 3,5% GDP vào năm 2035. Nước thải đô thị và công nghiệp không qua xử lý xả thải vào môi trường, hoạt động nông nghiệp là những nguyên nhân chính gây ra ô nhiễm nguồn nước mặt tại Việt Nam [14]. Ngoài ra, do địa hình thấp của Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), xâm nhập mặn là một mối quan tâm khác về chất lượng nước, đặc biệt là ảnh hưởng đến hoạt động nông nghiệp ở các vùng ven biển [17]. Nhiều nghiên cứu trong nước được thực hiện đã áp dụng công cụ phân tích thống kê đa biến để kiểm tra/đánh giá những thay đổi chất lượng nước theo không gian, thời gian tại các vùng nước mặt nội địa cũng như để phân bổ các nguồn ô nhiễm liên quan tại 12/13 tỉnh thuộc LV SC gồm: Tiền Giang [18, 19], Đồng Tháp [20, 21], Vĩnh Long [22], Trà Vinh [23], thành phố Cần Thơ [24], Hậu Giang [25, 26], Sóc Trăng [27, 28], Bến Tre [29], An Giang [30], Kiên Giang [31], Bạc Liêu [32] và Cà Mau [33].

Long An là tỉnh còn lại thuộc LVSC vẫn chưa có các nghiên cứu về đánh giá chất lượng nước mặt trên toàn địa bàn tỉnh theo không - thời gian, và xác định các nguồn ô nhiễm tiềm tàng ảnh hưởng đến nguồn nước tại địa phương. Một số nghiên cứu chủ yếu đánh giá chất lượng nước mặt tại một số thủy vực nhỏ trên địa bàn tỉnh [34]. Trong khi đó, Long An là địa phương phát triển kinh tế mạnh mẽ nhất vùng ĐBSCL và là tỉnh trong vùng có thể tiệm cận với sự phát triển của vùng Đông Nam Bộ [15]. Với địa thế nằm ở vùng giao thoa giữa hai vùng kinh tế lớn của cả nước là Đông Nam Bộ và Tây Nam Bộ, Long An có cơ hội để phát triển nền kinh tế đa dạng về các lĩnh vực công nghiệp, dịch vụ và nông nghiệp. Do đó, cùng với sự tăng trưởng kinh tế của địa phương trong những năm qua đã tạo nên áp lực đối với môi trường nước mặt của tỉnh. Ghi nhận của Sở TNMT tỉnh [35] cho thấy nước mặt tiếp nhận nước thải từ các khu đô thị và công nghiệp thường bị ô nhiễm chất hữu cơ, dinh dưỡng, kim loại nặng. Một số tuyến kênh rạch nội đồng bị ô nhiễm bởi chất hữu cơ, dinh dưỡng từ mức trung bình đến cao. Đặc biệt, xâm nhập mặn có xu hướng gia tăng ở mức độ sâu hơn so với giai đoạn trước. Điều này chứng tỏ cần phải có những nghiên cứu sâu hơn về chất lượng nước, phục vụ xây dựng chiến lược bảo vệ và quản lý cho tỉnh. Nghiên cứu hiện tại được thực hiện nhằm: (1) đánh giá chất lượng nước mặt trên toàn địa bàn tỉnh theo không - thời gian, và (2) xác định và định lượng các nguồn ô nhiễm/nhân tố tiềm tàng tác động đến nguồn nước mặt của tỉnh.

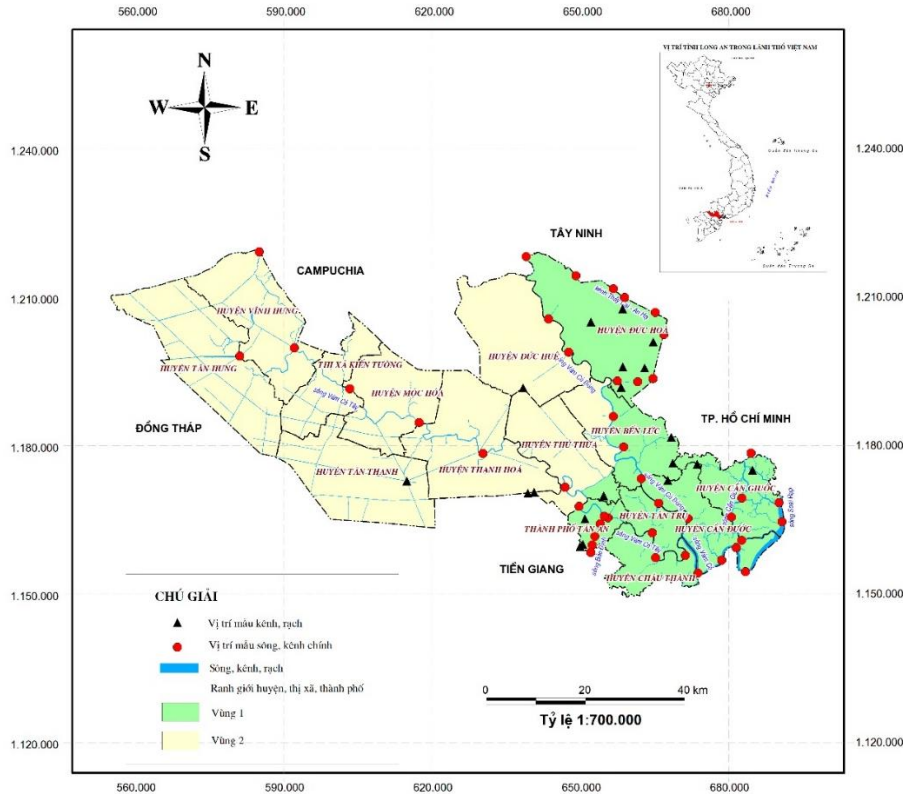
2. Số liệu và Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu hiện tại được triển khai trên địa bàn tỉnh Long An thuộc vùng ĐBSCL, Việt Nam. Với tổng diện tích 4.494,74 km², tỉnh Long An được chia thành 15 đơn vị cấp huyện, bao gồm 13 huyện, 01 thị xã và 1 thành phố. Mật độ dân số thay đổi từ 95 - 1.791 người/km², có thể chia làm 02 vùng: vùng có mật độ dân số thấp nằm ở phía Tây của tỉnh và mật độ dân

số cao nằm ở phía Đông của tỉnh nơi giáp ranh với tỉnh Tây Ninh và thành phố Hồ Chí Minh thuộc vùng Kinh tế trọng điểm phía Nam (Hình 1) [15].

Long An nằm ở hạ lưu của hệ thống lưu vực sông Vàm Cỏ, tổng chiều dài các sông kênh chính là 437 km, ngoài ra còn có các kênh rạch nhánh tạo nên các đường dẫn tải và tiêu nước phục vụ sản xuất và cung cấp nước sinh hoạt. Tỉnh Long An có nhiệt độ trung bình (26,6-28,2°C) và lượng mưa hàng năm 1417-1485 mm, được chia thành hai mùa, mùa mưa và mùa khô, mùa mưa chiếm 90% lượng mưa cả năm [35, 36]. Chế độ thủy văn của hệ thống nước mặt tỉnh chịu ảnh hưởng của 4 yếu tố: mưa trực tiếp; nước từ thượng nguồn sông Vàm Cỏ Đông và Vàm Cỏ Tây; lũ từ sông Tiền đổ về khu vực phía tây sông Vàm Cỏ Tây và phía bắc kênh Thủ Thừa; và chế độ bán nhật triều biển Đông. Xâm nhập mặn thường diễn ra từ tháng 12 năm trước đến tháng 6 năm sau và ngày càng khốc liệt [15].



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu và bố trí mẫu quan trắc trên địa bàn tỉnh Long An.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu tuân tự theo các bước sau: (1) Hình thành mục tiêu nghiên cứu và thiết kế thí nghiệm; (2) Lấy mẫu nước ngoài thực địa; (3) Phân tích mẫu nước trong phòng thí nghiệm; (4) xử lý dữ liệu và phân tích thống kê; (5) Trình bày kết quả làm nổi bật phát hiện mới; (6) Thảo luận và giải thích các phát hiện mới; (7) Kết luận.

2.2.1. Bố trí nghiên cứu

Nghiên cứu hiện tại được thiết kế hoàn toàn ngẫu nhiên, với 3 yếu tố thực nghiệm, trong đó 2 yếu tố liên quan đến không gian gồm: xâm nhập mặn của nước biển và đường thủy, và 1 yếu tố thời gian theo mùa.

Theo không gian: nguồn nước mặt trên địa bàn tỉnh đã được phân thành 6 vùng chức năng dựa: điều kiện tự nhiên, sử dụng nước, hệ thống thủy lợi, địa giới hành chính, yêu cầu về quản lý tài nguyên nước [15]. Trên cơ sở đó, trong nghiên cứu này, tác giả đã nhóm lại thành 02 vùng dựa trên các đặc điểm về mức độ ảnh hưởng của xâm nhập mặn nước biển, và phân bố không gian mật độ dân số. Theo đó, Vùng 1: là vùng chịu ảnh hưởng mạnh bởi sự xâm nhập mặn nước biển và có mật độ dân số cao, trung bình 917 người/km² thuộc vùng IV

đến vùng VI theo phân vùng chức năng nguồn nước của tỉnh, đây là vùng vùng tập trung các khu đô thị lớn, các khu - cụm công nghiệp, hoạt động trồng trọt và nuôi thủy sản nước lợ; Vùng 2: là vùng hầu như ít chịu ảnh hưởng bởi sự xâm nhập mặn nước biển và có mật độ dân số thấp, trung bình 219 người/km² thuộc vùng I đến vùng III theo phân vùng chức năng nguồn nước của tỉnh, đây là vùng chủ yếu phát triển nông nghiệp trồng trọt, chăn nuôi, nuôi thủy sản nước ngọt, và cũng chịu ảnh hưởng của nhiễm phèn vào mùa mưa (Hình 1) [15]. Ngoài ra, đối với không gian, chất lượng nước có thể chịu ảnh hưởng bởi các loại đường thủy khác nhau [19, 23], 02 loại đường thủy được thiết lập trong nghiên cứu này gồm: (1) Các sông chính có tính quyết định số lượng, chất lượng nước mặt của tỉnh (sông Vàm Cỏ Đông, sông Vàm Cỏ Tây, sông Vàm Cỏ, sông Bảo Định, kênh Thầy Cai và sông Cần Giuộc) [35]; (2) Các kênh, rạch nhánh nối các tuyến sông chính giúp dẫn tải và tiêu nước trong sản xuất và sinh hoạt. Như vậy, khu vực nghiên cứu được phân chia không gian thành 4 phân vùng thí nghiệm, bao gồm: Phân vùng KR1 (kênh rạch trong vùng 1 chịu ảnh hưởng mạnh của xâm nhập nước biển); phân vùng KR2 (kênh rạch trong vùng 2 ít chịu ảnh hưởng của xâm nhập nước biển); phân vùng SC1 (sông chính trong vùng 1 chịu ảnh hưởng mạnh của xâm nhập nước biển); và phân vùng SC2 (sông chính trong vùng 2 ít chịu ảnh hưởng của xâm nhập nước biển). Hơn nữa, chất lượng nước mặt tại các thủy hệ còn phụ thuộc vào sự biến đổi theo mùa (mưa và khô) [23, 37], đây là một yếu tố thực nghiệm khác của nghiên cứu hiện tại.

2.2.2. Phân tích thống kê

Trong nghiên cứu này, áp dụng 04 bước liên tiếp để xử lý thống kê số liệu: (1) Bước đầu tiên thực hiện phân tích thành phần chính (PCA/FA) trên bộ dữ liệu hoàn chỉnh để phân biệt các nguồn gây ô nhiễm; (2) Bước thứ hai là tính toán chỉ số chất lượng nước (WQI) để đánh giá; (3) Bước tiếp theo là thực hiện phân tích phương sai hai chiều (ANOVA) để so sánh chất lượng nước của bốn phân vùng thí nghiệm không gian; và (4) Phân tích hồi quy đa biến được thực hiện sau cùng để định lượng phần trăm đóng góp của các nguồn ô nhiễm khác nhau trên WQI.

Thực hiện PCA/FA để phân biệt các nguồn ô nhiễm trong nước mặt theo quy trình trong các nghiên cứu trước đây [24, 38]. Trước khi thực hiện PCA/FA, cần phải chuẩn hóa toàn bộ dữ liệu [38], Phương pháp chuẩn hóa min - max được sử dụng và phương pháp này có thể chia tỷ lệ dữ liệu thành 0-1 theo một tỷ lệ nhất định [39]. Kiểm tra tính chính xác của ma trận tương quan đối với PCA/FA bằng thử nghiệm Kaisere Meyere Olkin (KMO) và Bartlett's Sphericity [40]. KMO phải $\geq 0,5$ và ≤ 1 thì PCA/FA mới thích hợp [40], trong đó ngưỡng KMO [0,8-0,9], [0,7-0,8], [0,5-0,7] và $\geq 0,5$ lần lượt là tuyệt vời, tốt, trung bình và chấp nhận được. Theo nghiên cứu [41] mức ý nghĩa của Bartlett $< 0,05$, PCA/FA được thực hiện.

Dựa trên kết quả của PCA/FA, 15 thông số quan trắc được sử dụng để tính WQI [19, 42] theo phương trình (1). Phương pháp PCA/FA được sử dụng để tính WQI trong nghiên cứu hiện tại vì nó phản ánh tốt hơn chất lượng nước ở các vùng ven biển [31].

$$WQI = \sum_{i=1}^n w_i s_i \quad (1)$$

Trong đó n là số thông số quan trắc; w_i là trọng số của thông số thứ i ; và s_i là điểm của tham số thứ i .

w_i được xác định theo kết quả của PCA/FA (Bảng 2) và s_i là giá trị tiêu chuẩn của tất cả các giá trị đo được của 15 thông số và được xác định bằng các phương trình 3 và 4. Các thành phần chính có giá trị riêng > 1 được giữ lại để ước tính trọng số của các thông số quan trắc có giá trị tải cao ($> 0,5$) với thành phần chính tương ứng [19]. Trọng số được tính theo công thức (2).

$$w_i = \frac{e_i}{\text{Sum}} \quad (2)$$

Trong đó e_i là giá trị riêng của thành phần chính i ; và Sum là tổng giá trị riêng của tất cả các thành phần chính còn lại sau PCA/FA.

Các thông số quan trắc được chia thành ba nhóm, bao gồm “càng nhiều càng tốt”, “càng ít càng tốt” và “trung tính”. Nhóm “càng nhiều càng tốt” chỉ bao gồm thông số DO; nhóm “trung tính” bao gồm độ pH (từ 5,5 đến 9) [43], và nhóm “càng ít càng tốt” bao gồm 13 thông số còn lại. Đối với các thông số “càng nhiều càng tốt” và “trung tính”, giá trị của s_i được tính theo phương trình 3.

$$S_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

Đối với tham số “càng ít càng tốt”, s_i được xác định theo phương trình 4.

$$S_i = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (4)$$

Trong đó X_i , X_{\min} và X_{\max} lần lượt là các giá trị được phân tích, tối thiểu và tối đa của thông số i .

Phân tích phương sai hai chiều (ANOVA) được thiết kế hoàn toàn ngẫu nhiên với hai yếu tố thực nghiệm theo không gian là vùng liên quan đến xâm nhập mặn (Vùng 1 và vùng 2) và vùng liên quan đến đường thủy (vùng sông chính và vùng kênh, rạch). Khi kết ANOVA chỉ ra tác động quan trọng ở $p < 0,05$, sử dụng phép kiểm định Tukey (*Tukey's Honest Significant Difference*) để phân biệt các giá trị trung bình. Phân tích hồi quy đa biến được thực hiện để xác định tỷ lệ phần trăm của 5 nhân tố tiềm ẩn ảnh hưởng đến chất lượng nước được chiết xuất từ PCA/FA góp phần tạo ra WQI [19, 44]. Xử lý số liệu Phần mềm Rstudio 2023.06.0 Build 421 và Excel 2016.

2.3. Số liệu sử dụng

Nước mặt của 62 vị trí chọn trước được lấy để phân tích hóa học trong vòng 7 năm, từ năm 2017 đến năm 2023 (Hình 1). Các phân vùng KR1, KR2, SC1 và SC2 lần lượt bao gồm 15, 4, 33, và 10 địa điểm. Trong mỗi năm, có bốn đợt lấy mẫu, 2 đợt mùa khô (tháng 3 và 11) và 2 đợt mùa mưa (tháng 6 và 9). Tổng số mẫu nước mặt được lấy là $4 \times 62 \times 7 = 1.736$ mẫu; phân tích 15 chỉ tiêu: pH, oxy hòa tan (DO), nhiệt độ, độ dẫn điện (EC), độ mặn, độ đục, tổng chất rắn hoà tan (TDS), Tổng chất rắn lơ lửng (TSS), nhu cầu oxy sinh hóa (BOD₅), nhu cầu oxy hóa học (COD), Amoni (NH₄⁺), nitrat (NO₃⁻), Nitrit (NO₂⁻), photphat (PO₄³⁻), Clorua (Cl⁻). Phương pháp lấy mẫu và phân tích các thông số ô nhiễm được thực hiện theo quy định kỹ thuật quan trắc môi trường do Bộ Môi trường và Tài nguyên ban hành.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá chất lượng nước tổng thể

Các số liệu thống kê mô tả như giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của các chỉ tiêu chất lượng nước được tại Bảng 1. Kết quả cho thấy các thông số: DO, BOD₅, COD, TSS, NH₄⁺ và Cl⁻ đều không đạt mức A, B, C và D của QCVN: 08:2023/BTNMT; pH, NO₃⁻, PO₄³⁻ giá trị trung bình đạt mức A theo quy chuẩn, chất lượng nước tốt có thể cấp nước sinh hoạt sau khi áp dụng các biện pháp xử lý. Điều này chứng tỏ nước mặt trên địa bàn tỉnh đang có dấu hiệu ô nhiễm do các nguồn thải khác nhau.

Bảng 1. Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của 15 thông số quan trắc (từ năm 2017-2023).

Thông số	Đơn vị	Giá trị		Quy chuẩn nước mặt*			
		Trung bình	Độ lệch chuẩn	Mức A	Mức B	Mức C	Mức D
pH	-	6,80	0,53	6,5-8,5	6,0-8,5	6,0-8,5	<6,5 hoặc >8,5
DO	mg/L	3,95	0,76	6	5	4	2
Nhiệt độ	°C	30,3	1,1	-	-	-	-

Thông số	Đơn vị	Giá trị		Quy chuẩn nước mặt*			
		Trung bình	Độ lệch chuẩn	Mức A	Mức B	Mức C	Mức D
TDS	mg/L	1.349	2.949	-	-	-	-
Độ đục	NTU	66,72	70,72	-	-	-	-
EC	mS/cm	2,15	4,75	-	-	-	-
Độ mặn	%	0,14	0,47	-	-	-	-
BOD ₅	mg/L	13	20	4	6	10	>10
COD	mg/L	34	49	10	15	20	>20
TSS	mg/L	51	86	5	15	>15 và không có rác nổi	>15 và có rác nổi
NH ₄ ⁺ **	mg/L	1,93	4,38	0,3	0,9	0,9	>0,9
NO ₃ ^{-**}	mg/L	0,38	0,66	5	10	15	>15
NO ₂ ^{-**}	mg/L	0,055	0,14	0,05	0,05	0,05	>0,05
PO ₄ ^{3-**}	mg/L	0,12	0,35	0,2	0,3	0,5	>0,5
Cl ^{-**}	mg/L	561	1.421	250	350	350	>350

Ghi chú: (*) Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia Việt Nam về chất lượng nước mặt QCVN 08:2023/BTNMT

(**): Các thông số không có trong QCVN 08:2023/BTNMT, do đó tham khảo theo QCVN 08-MT:2015/BTNMT.

3.2. Xác định và định lượng các nguồn ô nhiễm/nhân tố chính ảnh hưởng đến CLN

3.2.1. Xác định các nguồn ô nhiễm/nhân tố chính theo PCA/FA

PCA/FA của 15 thông số quan trắc nước mặt được sử dụng để xác định nguồn gốc của các chất ô nhiễm khác nhau. Giá trị của kiểm định KMO là 0,73 > 0,5, đạt ở mức tốt theo Kaiser [40], và mức ý nghĩa của Bartlett dưới 0,0001 chỉ ra rằng toàn bộ tập dữ liệu trong nghiên cứu hiện tại đều phù hợp với PCA/FA. Năm nhân tố chính (F1 - F5 có giá trị riêng lớn hơn 1 [41, 46] chiếm 70,4% tổng phương sai được giải thích bằng PCA/FA (Bảng 2). Các hệ số tải trọng [0,3-0,5], [0,5-0,75] và > 0,75 được coi là yếu, trung bình và mạnh [47].

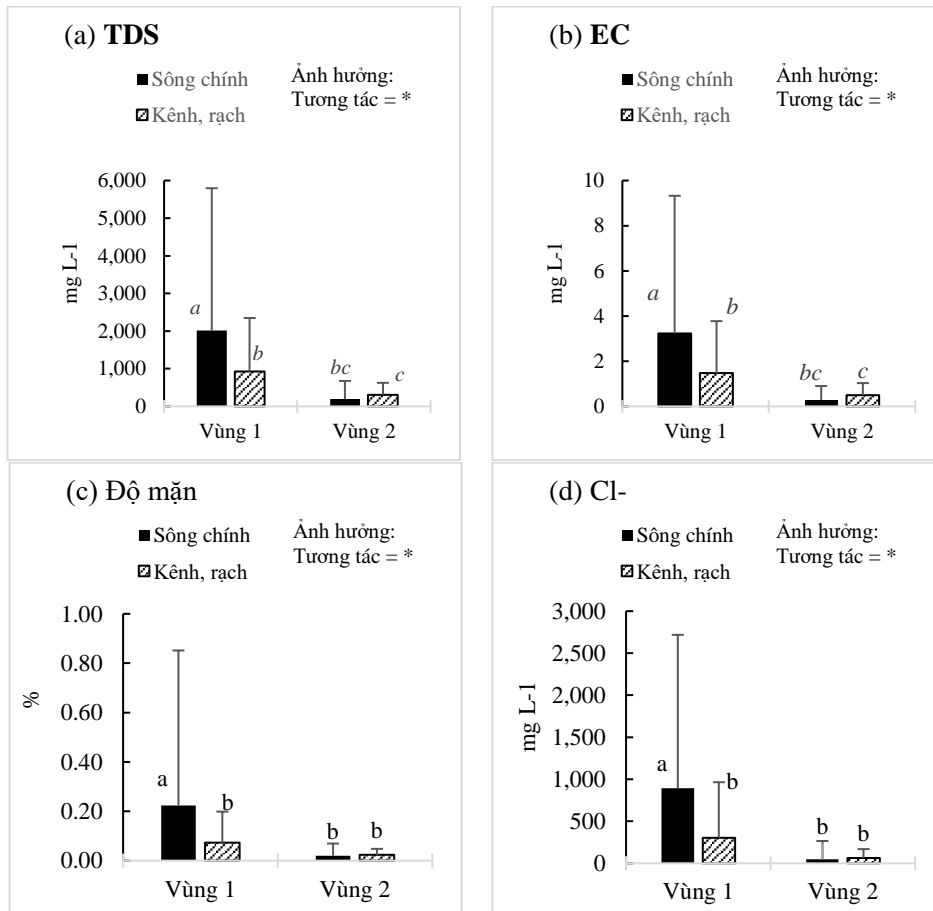
Bảng 2. Hệ số tải trọng của 15 thông số quan trắc trong phân tích PCA/FA. Chữ số tô đậm có giá trị lớn hơn 0,5.

Thông số	Yếu tố chính					Trọng số của thông số
	F1	F2	F3	F4	F5	
pH	0,07	-0,06	0,28	0,15	-0,56	0,03
DO	0,24	-0,62	0,13	0,14	0,09	0,07
Nhiệt độ	0,02	-0,02	0,07	0,09	0,73	0,03
TDS	0,96	-0,03	0,17	0,03	-0,02	0,10
Độ đục	0,14	0,00	0,86	0,02	-0,14	0,06
EC	0,97	-0,03	0,15	0,03	-0,01	0,10
Độ mặn	0,72	-0,02	0,01	0,01	0,00	0,10
BOD ₅	0,10	0,80	0,40	-0,10	0,19	0,07
COD	0,11	0,78	0,42	-0,10	0,21	0,07
TSS	0,23	0,10	0,88	-0,02	0,03	0,06
Amoni	-0,04	0,68	-0,09	0,34	-0,02	0,07
Nitrat	-0,06	-0,09	0,04	0,81	0,10	0,04
Nitrit	0,11	0,06	-0,03	0,80	-0,12	0,04
Phosphat	-0,03	0,54	-0,11	0,00	-0,39	0,07
Clo	0,96	-0,06	0,18	0,00	-0,01	0,10
Giá trị riêng	3,47	2,41	2,05	1,49	1,13	
% Phương sai	23,1	16,1	13,7	9,9	7,6	
% Phương sai cộng dồn	23,1	39,2	52,9	62,8	70,4	
Trọng số của yếu tố chính	0,33	0,23	0,19	0,14	0,11	

Nhân tố đầu tiên quan trọng nhất (F1), chiếm 23,1% tổng phương sai, có tải trọng dương mạnh trên TDS, EC, và Cl⁻, tải trọng dương trung bình trên độ mặn, các thông số này có thể đại diện cho nguồn ô nhiễm do nước biển xâm nhập mặn. Trong các hệ thống thủy sinh nội địa, độ mặn được thể hiện qua 3 thông số Cl⁻ hoặc TDS) hay EC [48]. Nước ngọt có độ mặn

trung bình là 0,146‰, nước lợ có độ mặn từ 1-10 ‰, trong khi độ mặn của nước biển thường nằm trong khoảng từ 10-45‰ [49]. Nước mặt tỉnh Long An có độ mặn vào khoảng 0,14‰ (1.4‰) (Bảng 1) thuộc vùng nước lợ, chịu sự ảnh hưởng của thủy triều biển Đông. Xâm nhập mặn là nguyên nhân chính làm tăng nồng độ EC và Cl⁻, và độ mặn trong nước mặt ở các lưu vực sông [19, 31]. Từ đó, gây suy giảm chất lượng nước, ảnh hưởng đến đời sống và sản xuất của người dân, đặc biệt là ở vùng cửa sông ven biển và đồng bằng phía Nam ở lưu vực Đồng Nai và ĐBSCL [50]. Hiện nay, xâm nhập mặn có xu hướng gia tăng ở các vùng cửa sông đồng bằng ven biển [50, 51] và được ghi nhận nghiêm trọng hơn trong những năm gần đây tại tỉnh Long An [35].

Tác động tương tác đáng kể giữa các vùng ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn và loại đường thủy tại các thông số của nhân tố F1 (nguồn ô nhiễm do nước biển xâm nhập: TDS, EC, độ mặn, Cl⁻) (Hình 2). Tại Vùng 1 kết quả đo các thông số trên cao hơn đáng kể so với vùng vùng 2, ghi nhận của các tác giả khác [19, 31] tại vùng ĐBSCL cũng thể hiện điều này. Giá trị của tất cả các thông số thuộc nhân tố F1 ở vùng sông chính, lớn hơn nhiều so với vùng kênh rạch, đặc biệt là tại khu vực gần biển sự ảnh hưởng này ghi nhận đáng kể ($p < 0,05$) và giá trị trung bình EC, độ mặn tại phân vùng SC1 này lần lượt là 3,2 mS.cm⁻¹ và 2,2‰ - nước có độ mặn trung bình, không thích hợp cho tưới tiêu nông nghiệp theo FAO [52]. Trong khi đó tại Vùng 2 (xa biển) mức độ này không rõ ràng ($p > 0,05$), do ít chịu ảnh hưởng của xâm nhập nước biển, minh chứng rõ hơn là 3 phân vùng còn lại KR1, SC2, KR2 đều có giá trị EC < 2mS.cm⁻¹, độ mặn < 1,5‰ - nước hơi mặn, vẫn thích hợp để tưới tiêu nông nghiệp [52]. Điều này có thể hàm ý rằng nước biển đã xâm nhập vào khu vực nghiên cứu thông qua dòng chảy thuộc các sông chính trên địa bàn tỉnh, và nó cũng gợi ý rằng xâm nhập nước biển thường đóng góp quan trọng trong việc xác định chất lượng nước mặt tại khu vực ven biển [19, 31].

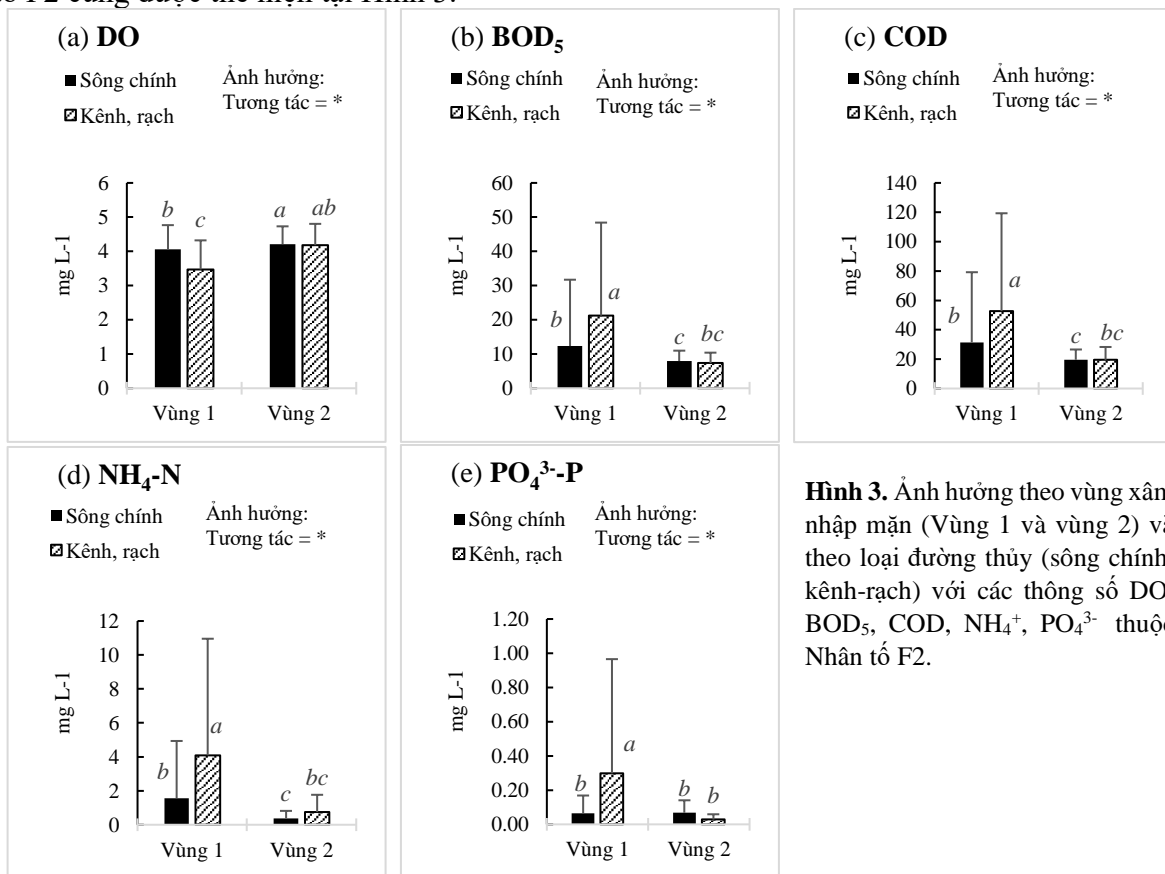


Hình 2. Ảnh hưởng theo vùng xâm nhập mặn (Vùng 1 và vùng 2) và theo loại đường thủy (sông chính, kênh - rạch) với các thông số TDS, EC, độ mặn, Cl⁻ thuộc Nhân tố F1. Thanh error bar: độ lệch chuẩn của giá trị trung bình. Sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$): các chữ cái a, b, c, ...

Dấu hoa thị (*): hiệu ứng tương tác giữa vùng và đường thủy được thử nghiệm có ý nghĩa thống kê và NS: hiệu ứng tương tác không có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Lưu ý nếu hiệu ứng tương tác giữa vùng và đường thủy có ý nghĩa, hiệu ứng đơn lẻ của đường thủy và vùng không được thử nghiệm.

Nhân tố thứ hai (F2) có tải trọng dương mạnh đối với BOD₅, COD tải trọng dương trung bình đối với NH₄⁺, PO₄³⁻, và tải trọng âm trung bình đối với DO. VF2 giải thích được khoảng 16,1% tổng phương sai (Bảng 2). Yếu tố này với tải trọng cao tại các thông số dinh dưỡng và hữu cơ có thể liên quan đến nước thải sinh hoạt, sản xuất công nghiệp, nuôi trồng thủy sản. BOD₅ và COD có mối quan hệ chặt chẽ, đặc biệt hình thành từ các loại nước thải trên, [53, 54], từ đó làm giảm hàm lượng DO trong nước. NH₄⁺, PO₄³⁻ đại diện cho ô nhiễm chất dinh dưỡng từ các nước thải nuôi trồng thủy sản và sinh hoạt [55–57].

Kết quả từ Hình 3 cho thấy BOD₅, COD, NH₄ và PO₄³⁻ ở vùng kênh rạch lớn hơn vùng sông, và ngược lại dẫn đến DO thấp hơn. Nguyên nhân có thể do vận tốc dòng chảy và thể tích thấp kết hợp với xả chất thải quá mức tại các kênh rạch dẫn đến sự tích tụ các chất ô nhiễm tại đây [4], đặc biệt là tại các kênh rạch vùng 1 - nơi có hoạt động kinh tế rất phát triển (dân cư, công nghiệp và dịch vụ) và là nơi tập trung phát triển thủy sản nước mặn của tỉnh với diện tích trên 4.000ha đất ngập mặn tập trung tại các huyện Châu Thành, Cần Giuộc và Cần Đức [15], dẫn đến mức độ ảnh hưởng khá rõ ràng ($p < 0,05$). Điều này cũng giải thích cho chất lượng nước tại vùng 2 - nơi cách xa biển tốt hơn so với vùng 1 ở Hình 3. Sự tương tác đáng kể giữa 2 yếu tố thực nghiệm (vùng, và loại đường thủy) đến các thông số thuộc nhân tố F2 cũng được thể hiện tại Hình 3.

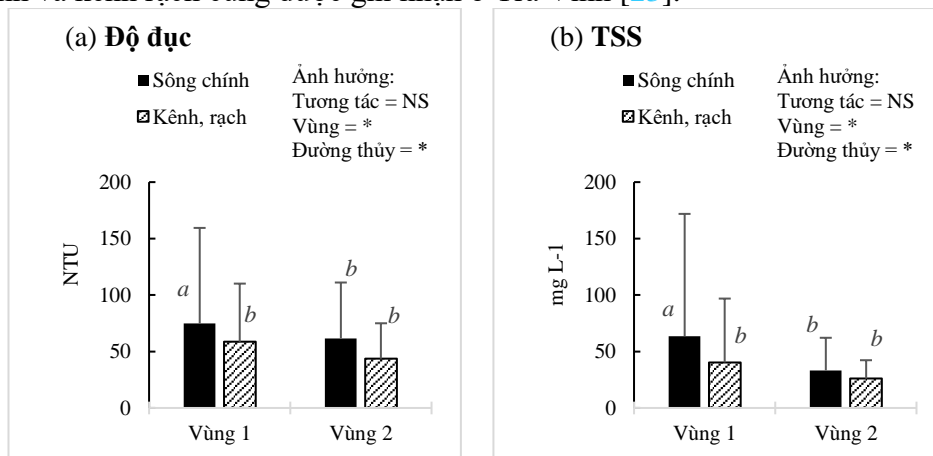


Hình 3. Ảnh hưởng theo vùng xâm nhập mặn (Vùng 1 và vùng 2) và theo loại đường thủy (sông chính, kênh-rạch) với các thông số DO, BOD₅, COD, NH₄⁺, PO₄³⁻ thuộc Nhân tố F2.

Nhân tố thứ 3 (F3), chiếm khoảng 13,7% tổng phương sai có tải trọng dương mạnh đối với Độ đục và TSS. Độ đục và TSS có thể đại diện cho kết quả xói mòn đất hoặc dòng nước thải dân cư, công nghiệp, nông nghiệp, thủy sản chảy vào [23, 24]. Chất rắn lơ lửng có nhiều trong nước thải sinh hoạt và nước thải nuôi trồng thủy sản có thể làm ô nhiễm nước mặt [54, 55]. Tại vùng ven biển ĐBSCL nuôi tôm là hoạt động chính dẫn đến nồng độ TSS lửng luôn ở mức cao [4], đây cũng là loài thủy sản chính tại khu vực nuôi trồng chính của tỉnh Long An [15]. Mùa mưa có thể làm tăng nồng độ TSS thông qua tác động dòng chảy từ đồng ruộng,

đường giao thông hoặc khu dân cư [58], trong khi mùa khô có thể làm tăng nồng độ chất rắn lơ lửng (hiệu ứng tích tụ/lắng đọng) do lượng nước đầu vào giảm [26]. Nghiên cứu tại tỉnh Tiền Giang cho thấy TSS là một trong những chỉ tiêu biến động theo mùa rõ rệt nhất của các khối nước, vào mùa mưa hàm lượng TSS cao hơn so với mùa khô, điều này có thể từ quá trình xói mòn đất do nước mưa [18]. Tuy vậy, kết quả của nghiên cứu này cho thấy thông tin ngược lại, với hàm lượng trung bình TSS, độ đục trong nước mặt trên địa bàn tỉnh Long An ở mùa khô cao hơn so với mùa mưa. Vào mùa khô giá trị TSS, độ đục lần lượt là 58 mg.L⁻¹, 70,9 NTU và vào mùa mưa là 43 mg.L⁻¹ và 62,6 NTU, đồng thời sự biến động theo mùa này có ý nghĩa (p < 0,05). Chứng tỏ nhân tố F3 (độ đục, TSS) trong nghiên cứu này đặc trưng bởi dòng nước thải chảy vào hệ thống thủy văn từ hoạt động dân cư, sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản, công nghiệp, và liên quan đến hiệu ứng tích tụ/lắng đọng chất ô nhiễm trong khối nước.

Thông số độ đục và TSS liên quan đến nhân tố F3 không bị ảnh hưởng bởi sự tương tác giữa vùng và loại đường thủy, mà bởi ảnh hưởng riêng lẻ của vùng, và loại đường thủy (Hình 4). Dao động mực nước lên tới vài mét mỗi ngày do ảnh hưởng của thủy triều có thể là nguyên nhân gây ra tốc độ dòng chảy ở các sông kênh ven biển góp phần làm độ đục, TSS tại vùng 1 cao hơn vùng 2 [4]. Kết quả quan trắc của các thông số ở nhân tố F3 tại các sông chính cao hơn so với các kênh rạch, nguyên nhân có thể là do sự tích lũy các chất ô nhiễm trong các kênh rạch nhánh được vận chuyển vào sông chính [23], và chế độ thủy triều ảnh hưởng đến các sông chính cao hơn kênh rạch. Ảnh hưởng tương tự của hàm lượng TSS theo các tuyến sông chính và kênh rạch cũng được ghi nhận ở Trà Vinh [23].

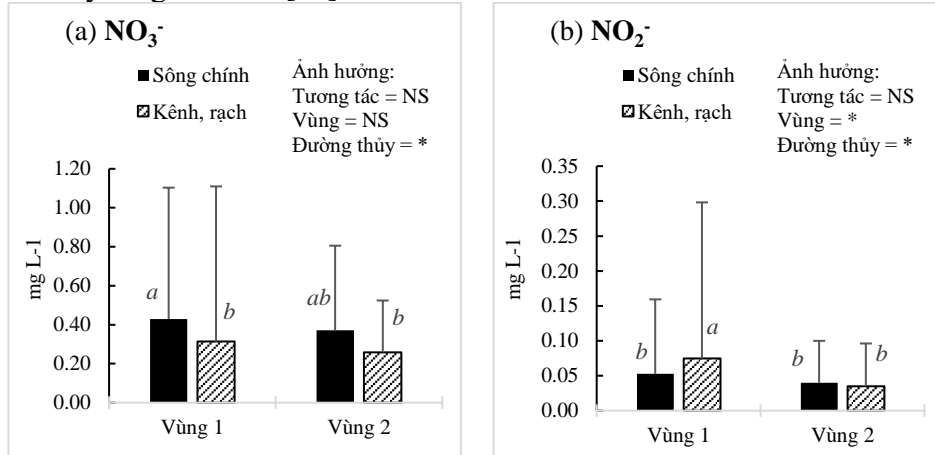


Hình 4. Ảnh hưởng theo vùng xâm nhập mặn (Vùng 1 và vùng 2) và theo loại đường thủy (sông chính, kênh - rạch) với các thông số Độ đục, TSS thuộc Nhân tố F3.

Nhân tố thứ 4 (F4), giải thích 9,9% tổng phương sai, có tải trọng dương mạnh trên NO₃⁻ và NO₂⁻, liên quan đến các chất dinh dưỡng vô cơ nitơ. Nước bề mặt giàu chất dinh dưỡng là dấu hiệu của các khu vực có dòng chảy nông nghiệp [59]. Các nghiên cứu tại vùng ĐBSCL [21, 26, 31] cho thấy chất thải thủy sản và dòng chảy tràn hoặc xói mòn từ vùng nông nghiệp có thể làm tăng thêm chất dinh dưỡng vào nguồn nước mặt. Nghiên cứu [4] cũng chỉ ra rằng, ngoài nước chảy tràn từ đất nông nghiệp được bón phân thì nước thải (chưa qua xử lý) cũng là nguồn chính của các chất dinh dưỡng trong nước mặt vùng ĐBSCL. Tuy vậy, theo kết quả của nghiên cứu này cho thấy NO₃⁻, NO₂⁻ là các thông số có ý nghĩa ảnh hưởng theo mùa (p < 0,05), vào mùa mưa giá trị trung bình 2 thông số này lần lượt là 0,42 mg/l và 0,062 mg/L và cao hơn so với mùa khô (0,34 mg/L và 0,048 mg/L). Điều này chứng tỏ nhân tố F4 (NO₃⁻ và NO₂⁻) trong nghiên cứu này đặc trưng bởi dòng chảy tràn của nước mưa qua khu vực sản xuất nông nghiệp.

Các thông số NO₃⁻ và NO₂⁻ liên quan đến nhân tố F4 không bị ảnh hưởng bởi sự tương tác giữa vùng và loại đường thủy, mà bởi ảnh hưởng riêng lẻ của loại đường thủy (đối với thông số NO₃⁻), và theo vùng, cũng như loại đường thủy (đối với thông số NO₂⁻) (Hình 5).

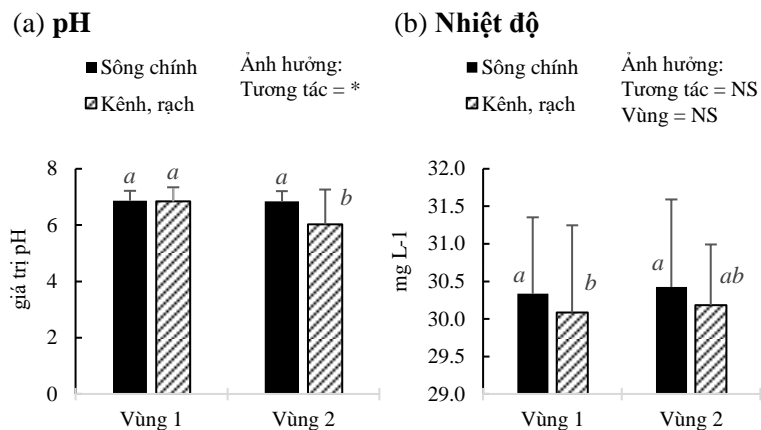
Tại khu vực sông chính giá trị NO_3^- cao hơn khu vực kênh rạch, trong khi giá trị NO_2^- ngược lại. Nguyên nhân, trong quá trình nitrat hóa, NO_2^- là chất trung gian không ổn định có xu hướng chuyển thành NO_3^- [4], quá trình nitrat hóa NO_2^- thành NO_3^- tại các kênh rạch nhánh, sau đó theo các dòng chảy đổ ra các vùng sông chính làm tăng nồng độ NO_3^- và giảm NO_2^- tại đây. NO_3^- và NO_2^- ở vùng 1 (gần biển), cao hơn vùng 2 (nội địa) trong nghiên cứu này, có thể liên quan đến dòng thải tại khu vực nuôi thủy sản chính của tỉnh ở vùng 1, kết quả tương tự được tìm thấy ở nghiên cứu [57].



Hình 5. Ảnh hưởng theo vùng xâm nhập mặn (Vùng 1 và vùng 2) và theo loại đường thủy (sông chính, kênh-rạch) với các thông số NO_3^- , NO_2^- thuộc Nhân tố F4.

Nhân tố chính cuối cùng (F5), chiếm khoảng 7,6% tổng phương sai, có tải trọng dương trung bình trên nhiệt độ và tải trọng âm trung bình trên pH. Các nguồn ảnh hưởng đến pH và nhiệt độ có thể là chế độ thủy văn và các yếu tố thời tiết [25]. Các nghiên cứu [27, 60] cho thấy pH, nhiệt độ là các thông số biến động theo mùa. Giá trị trung bình pH trong nghiên cứu này vào mùa mưa là 6,67 nhỏ hơn không nhiều so với mùa khô (6,78). Các nghiên cứu khác [4, 24] cũng cho thấy điều này, có thể là kết quả của dòng chảy tràn nước mặt cuốn theo lớp đất có tính axit (hay bị nhiễm phèn) trong mùa mưa cao hơn so với mùa khô tại khu vực [4]. Nhìn chung, pH trong nước mặt không dao động nhiều tại vùng nghiên cứu, giá trị pH ở mức trung tính và nằm trong phạm vi cho phép của quy chuẩn nước mặt cho mục đích cấp nước sinh hoạt. pH có tương quan nghịch với nhiệt độ khi ở mức trung tính theo ghi nhận của Ashton và cộng sự [61].

pH chịu sự ảnh hưởng tương tác giữa vùng và loại đường thủy, trong khi đó nhiệt độ chỉ chịu sự ảnh hưởng riêng lẻ của loại đường thủy (Hình 6). Nhiệt độ trong nước tại các kênh rạch thấp hơn không đáng kể, nhưng có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) so với các sông chính, đặc biệt tại vùng 1 gần biển. Điều này có thể giải thích do lưu lượng dòng chảy thấp hơn tại các kênh rạch so với sông chính [62]. Trong khi đó pH tại các kênh rạch thấp hơn so với sông chính và có ý nghĩa ($p < 0,05$) tại vùng 2 nội địa. Điều này chứng tỏ tại khu vực Đồng Tháp Mười thuộc vùng 2 trên địa bàn tỉnh đã diễn ra



Hình 6. Ảnh hưởng theo vùng xâm nhập mặn (Vùng 1 và vùng 2) và theo loại đường thủy (sông chính, kênh-rạch) với các thông số pH, nhiệt độ thuộc Nhân tố F5.

quá trình rửa trôi đất phèn (có tính axit) đưa vào các kênh rạch làm giảm độ pH so với các sông chính - nơi dòng chảy đã trung hòa pH. Nguyên nhân này cũng giải thích cho pH thấp hơn ở vùng 2 so với vùng 1.

3.2.2. Định lượng phần trăm đóng góp vào WQI của các nguồn ô nhiễm

Phân tích hồi quy đa biến cho thấy 5 nhân tố được trích ra từ phân tích PCA/FA, lần lượt chiếm 81,3%, 12,8%, 2,8%, 1,0% và 2,1% có mối tương quan đáng kể với cả tổng phương sai của chỉ số WQI (Bảng 3). Tất cả năm nhân tố cùng nhau giải thích 100% tổng phương sai của WQI. Có năm nguồn ô nhiễm/nhân tố chính có khả năng ảnh hưởng đến chất lượng nước mặt tỉnh Long An được rút ra từ phân tích PCA/FA ở trên cùng với sử dụng hồi quy đa biến chỉ số WQI.

Xâm nhập mặn của nước biển ngày càng gia tăng tại vùng nghiên cứu là nhân tố chính giải thích tới 81,3% chỉ số WQI. Nhân tố thứ hai chiếm khoảng 12,8% tổng phương sai của WQI đến từ hoạt động nhân sinh, bao gồm các hoạt động dân cư, công nghiệp, dịch vụ, nông nghiệp (nuôi trồng thủy sản) đã gia tăng nước thải vào hệ thống nước mặt. Nhân tố thứ 03 có thể bắt nguồn từ quá trình tích tụ/lắng đọng chất ô nhiễm tại các vùng nước mặt làm gia tăng chất ô nhiễm tại thủy vực, nhân tố này chiếm khoảng 2,8%. Nhân tố thứ tư chiếm khoảng 1,0% đóng góp vào chỉ số WQI là dòng chảy tràn của nước mưa qua các khu vực nông nghiệp. Ngoài ra còn có các yếu tố về thời tiết và thủy văn cũng góp phần ảnh hưởng đến chất lượng nước mặt trong nghiên cứu hiện tại với khoảng 2,1%.

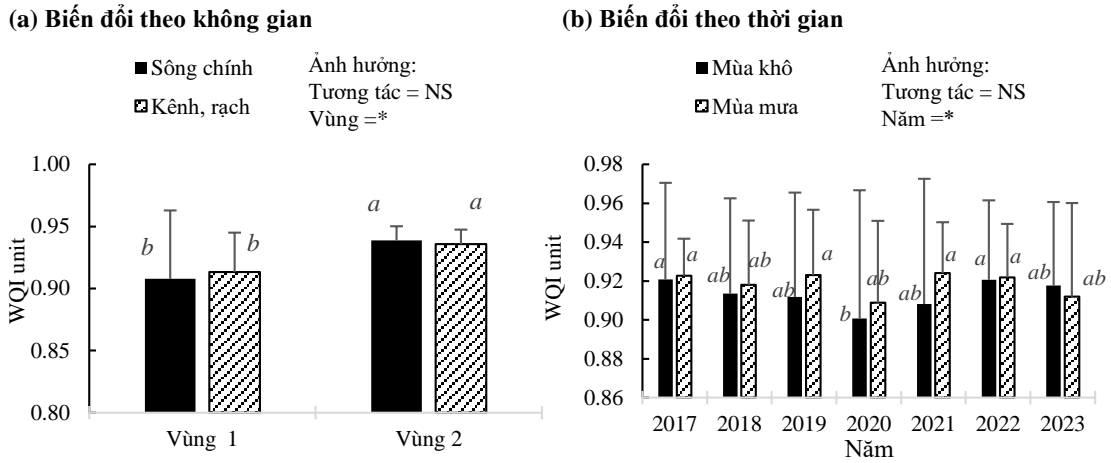
Bảng 3. Phần trăm đóng góp của các nhân tố chính từ PCA/FA giải thích tổng phương sai của WQI tại khu vực nghiên cứu ($p < 0,05$).

Nhân tố tiềm ẩn	Tổng bình phương	Đóng góp %	Giá trị p	Thông số ảnh hưởng	Nguồn ô nhiễm/Nhân tố chính
F1	2,48	81,3	<0,0001	TDS, EC, độ mặn, Clo	Xâm nhập mặn nước biển
F2	0,39	12,8	<0,0001	DO, BOD ₅ , COD, NH ₄ ⁺ , PO ₄ ⁻³	Hoạt động nhân sinh
F3	0,09	2,8	<0,0001	Độ đục, TSS	Quá trình tích tụ/lắng đọng chất ô nhiễm
F4	0,03	1,0	<0,0001	NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻	Dòng chảy tràn nông nghiệp
F5	0,06	2,1	<0,0001	pH, nhiệt độ	Yếu tố thời tiết, thủy văn
Tổng Phương sai	3,04	100,0			

3.3. Sự thay đổi theo không gian và thời gian chỉ số chất lượng nước mặt (WQI)

Về sự thay đổi không gian, các mẫu nước được thu thập từ vùng 2 xa biển có WQI cao hơn so với các mẫu nước được thu thập từ vùng 1 (gần biển) (Hình 7a). Phân tích Anova cho thấy ảnh hưởng theo vùng không gian này có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Nguyên nhân vì mỗi vùng không gian chịu tác động bởi các nguồn ô nhiễm khác nhau, có hai nguyên nhân chính: (1) Nguyên nhân quan trọng đầu tiên do xâm nhập mặn ở vùng 1 ón hơn so với vùng 2; (2) Nguyên nhân thứ hai là do tại khu vực vùng 1 có các hoạt động kinh tế xã hội diễn ra mạnh mẽ làm gia tăng phát thải vào vào hệ thống nước mặt nhiều hơn vùng 2 là nơi có mật độ dân số thấp, chủ yếu là đất nông nghiệp. Ngoài ra đóng góp ít hơn từ quá trình tích tụ/lắng đọng, dòng chảy tràn nước mưa, hay các yếu tố thời tiết, thủy văn nhưng không rõ ràng và cần được nghiên cứu sâu rộng hơn. Xu hướng giảm WQI từ vùng trên xuống vùng dưới cũng được thấy ở nhiều sông khác như sông Sài Gòn [63], sông Tiên [19], sông Hậu [23]. Mặt khác chỉ số WQI giữa khu vực sông chính và kênh rạch tại từng vùng không gian không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$). Điều này hàm ý rằng, trong quản lý chất lượng

nước, tỉnh nên chú trọng vào vùng không gian theo ảnh hưởng của yếu tố biển và hoạt động nhân sinh hơn là các tác nhân về thủy động lực khác nhau tại vùng sông chính và kênh rạch.



Hình 7. Biến đổi theo không và thời gian WQI tại khu vực nghiên cứu. Thanh error bar: độ lệch chuẩn của giá trị trung bình. Sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$): các chữ cái a, b; Dấu hoa thị (*): hiệu ứng tương tác giữa vùng và đường thủy được thử nghiệm có ý nghĩa thống kê và NS: hiệu ứng tương tác không có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Lưu ý nếu hiệu ứng tương tác giữa vùng và đường thủy có ý nghĩa, hiệu ứng đơn lẻ của đường thủy và vùng không được thử nghiệm.

Xét theo thời gian, chỉ số WQI mùa mưa cao hơn mùa khô (Hình 7b). Tuy nhiên, sự chênh lệch này không rõ ràng tại các mùa trong 07 năm quan trắc, thể hiện ở phân tích anova giữa hai mùa tại các năm đều không có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$). Dù vậy, phân tích cũng cho thấy WQI vào mùa khô năm 2020 nhỏ nhất trong 7 năm, nguyên do mùa khô năm 2020 xâm nhập mặn xảy ra rất khốc liệt theo ghi nhận [15, 64]. Sự thay đổi về WQI trong 7 năm qua là không đáng kể (Hình 7b), ngụ ý rằng công tác quản lý môi trường của tỉnh trong giai đoạn này ngày càng tốt hơn giúp lượng phát ra môi trường tăng không nhiều. Tuy nhiên, trong tương lai môi trường nước mặt của tỉnh có thể tiếp tục suy giảm do ảnh hưởng hưởng của biến đổi khí hậu và các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội mạnh mẽ của tỉnh làm gia tăng phát thải vào nguồn nước.

4. Kết luận

Chất lượng nước mặt tại tỉnh Long An có thể bị ảnh hưởng bởi 5 nguồn ô nhiễm/nhân tố chính, trong đó nguồn quan trọng nhất có thể liên quan đến xâm nhập mặn, đóng góp khoảng 81,3% vào WQI trong nghiên cứu hiện tại. Nguồn thứ hai chiếm 12,8% có thể liên quan đến hoạt động nhân sinh, công nghiệp, nuôi trồng thủy sản. Bên cạnh đó còn ba nguồn khác có mức độ đóng góp thấp hơn liên quan đến sự tích tụ/lắng đọng trên hệ thống sông, kênh rạch; quá trình chảy tràn nước mưa qua khu vực đất nông nghiệp; và cuối cùng là các yếu tố thời tiết, thủy lực. Theo WQI, chất lượng nước mặt có xu hướng giảm rõ rệt từ vùng nội địa ra ven biển, và mùa mưa cao hơn mùa khô đặc biệt là vào năm 2020, trong khi đó ảnh hưởng tại khu vực sông chính và kênh rạch không rõ ràng. Nghiên cứu chỉ ra rằng các biện pháp quản lý chất lượng nước của tỉnh cần chú trọng vào vùng không gian theo ảnh hưởng của thủy triều và hoạt động nhân sinh. Bài báo chưa xem xét tác động của ô nhiễm nước mặt đến sức khỏe con người và cần được làm rõ trong các nghiên cứu tiếp theo.

Lời cảm ơn: Tác giả xin bày tỏ lời cảm ơn chân thành tới Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Long An đã hỗ trợ, giúp đỡ, góp phần hoàn thành công trình nghiên cứu này.

Lời cam đoan: Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích.

Tài liệu tham khảo

1. Lin, L.; Yang, H.; Xu, X. Effects of water pollution on human health and disease heterogeneity: A review. *Front. Environ. Sci.* **2022**, *10*, 880246.
2. Sasáková, N. et al. Pollution of surface and ground water by sources related to agricultural activities. *Front. Sustain. Food Sys.* **2018**, *2*, 1–11.
3. Akhtar, M.; Memon, M. Biomass and nutrient uptake by rice and wheat: A three-way interaction of potassium, ammonium and soil type. *Pak. J. Bot.* **2009**, *41(6)*, 2965–2974.
4. Wilbers, G.J.; Becker, M.; Sebesvari, Z.; Renaud, F.G. Spatial and temporal variability of surface water pollution in the Mekong Delta, Vietnam. *Sci. Total Environ.* **2014**, *485*, 653–665.
5. Al-Hussainin, S.N.H.; Obaidy, A.H.A.; Al-Mashhady, A. Environmental assessment of heavy metal pollution of Diyala River within Baghdad City. *Appl. Water Sci.* **2018**, *8*, 87.
6. Karbassi, A.R.; Monavari, S.; Nabi, R.; Nouri, J.; Nematpour, K. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. *Environ. Monit. Assess.* **2008**, *147*, 107–116.
7. Tirkey, P.; Bhattacharya, T.; Chakraborty, S. Water quality indices- important tools for water quality assessment: A review. *Int. J. Adv. Chem.* **2013**, *1*, 15–28.
8. Vega, M.; Pardo, R.; Barrado, E.; Deban, L. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Res.* **1998**, *32*, 3581–3592.
9. Shrestha, S.; Kazama, F. Multivariate statistical techniques for the assessment of surface water quality of Fuji River Basin, Japan. *Water Sci. Technol.* **2006**, *50*, 13–18.
10. Qadir, A.; Malik, R.; Husain, S. Spatio-temporal variations in water quality of nullah aik-tributary of the River Chenab, Pakistan. *Environ. Monit. Assess.* **2008**, *140*, 43–59.
11. Oketola, A.; Okekunle, M.; Osibanjo, O. Water quality assessment of river ogun using multivariate statistical techniques. *J. Environ. Prot.* **2013**, *4*, 466–479.
12. Tengku Ibrahim, T.N.; Othman, F.; Mahmood, N.; Abunama, T. Seasonal effects on spatial variations of surface water quality in a tropical river receiving anthropogenic influences. *Sains Malaysiana* **2021**, *50*, 571–593.
13. Yang, S.; Liang, M.; Zesheng, Q.; Qian, Y.; Li, M.; Cao, Y. A novel assessment considering spatial and temporal variations of water quality to identify pollution sources in urban rivers. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 8714.
14. Group, W.B. Vietnam: Toward a safe, clean, and resilient water system. World Bank, 2019.
15. UBND tỉnh Long An. Báo cáo quy hoạch tỉnh Long An thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050. Long An, 2023.
16. Trung tâm quy hoạch và điều tra tài nguyên nước quốc gia. Báo cáo tổng hợp quy hoạch tổng hợp lưu vực sông Cửu Long thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050. Hà Nội, 2022.
17. Kotera, A.; Sakamoto, T.; Nguyen, D.K.; Yokozawa, M. Regional consequences of seawater intrusion on rice productivity and land use in coastal area of the Mekong River Delta. *Jpn. Agric. Res. Q.* **2008**, *42(4)*, 267–274.
18. Giao, N.T.; Cong, N.V.; Nhien, H.T.H. Using remote sensing and multivariate statistics in analyzing the relationship between land use pattern and water quality in Tien Giang province, Vietnam. *Water* **2021**, *13(8)*, 1093.

19. Nguyen, B.T.; Le, L.B.; Le, A.H.; Thai, N.V. The interactive effects of the seawater intrusion-affected zones and types of waterways on the surface water quality from the coastal Tien Giang Province, Vietnam. *Environ. Monit. Assess.* **2021**, *193*(4), 224.
20. Quoc, P.N. Spatial and temporal analysis of surface water pollution indices using statistical methods. *Civil Eng. J.* **2024**, *10*(6), 1828–1841.
21. Giao, N.T.; Anh, P.K.; Nhen, H.T.H. Spatiotemporal analysis of surface water quality in Dong Thap province, Vietnam using water quality index and statistical approaches. *Water* **2021**, *13*(3), 336.
22. Giao, N.T.; Dan, T.H.; Ni, D.V.; Anh, P.K.; Nhen, H.T.H. Spatiotemporal variations in physicochemical and biological properties of surface water using statistical analyses in Vinh Long Province, Vietnam. *Water* **2022**, *14*(14), 2200.
23. Le, T.; Duong, N.P.T.; Nguyen, B. Spatial and temporal analysis and quantification of pollution sources of the surface water quality in a coastal province in Vietnam. *Environ. Monit. Assess.* **2023**, *195*, 408.
24. Phung, D. et al. Temporal and spatial assessment of river surface water quality using multivariate statistical techniques: a study in Can Tho City, a Mekong Delta area, Vietnam. *Environ. Monit. Assess.* **2015**, *187*, 4474.
25. Giao, N.T. Spatial variations of surface water quality in Hau Giang province, Vietnam using multivariate statistical techniques. *Environ. Nat. Res. J.* **2020**, *18*(4), 400–410.
26. Nguyen, B.; Long, V.D.; Tong, X.; Nguyen, T.; Quang, N. The Interactive Effects of Natural Factor and Pollution Source on Surface Water Quality in the Lower Mekong River Basin, Southwestern Vietnam. *Water Resources*, **2020**, *47*, 865-876.
27. Giao, N.T.; Ly, N.H.T. Evaluating Surface Water Quality in a Coastal Province of Vietnamese Mekong Delta Using Water Quality Index and Statistical Methods. *Polish Journal of Environmental Studies*, **2023**, *32*(3).
28. Giao, N.T.; Diem, M.L.T.; Huynh, N.T.H. Pollution and risk level assessment of pollutants in surface water bodies. *Civil Engineering Journal*, **2023**, *9*(8), 1851–1862.
29. Giao, N.T.; Vo, Q.M. The categorized of surface water quality variation using multivariate statistical approaches: A case study of Ben Tre Province, Vietnam. *Trends Sci.* **2022**, *19*(8), 3468–3468.
30. Hong, T.T.K.; Giao, N.T. Analysis of surface water quality in upstream province of Vietnamese Mekong Delta using multivariate statistics. *Water* **2022**, *14*(12), 1975.
31. Le, T.; Do, D.; Nguyen, B. Spatiotemporal assessment and pollution-source identification and quantification of the surface water system in a coastal region of Vietnam. *Hydrol. Sci. J.* **2023**, *68*, 782–793.
32. Giao, N.T.; Nhen, H.T.H. Using multivariate statistical methods to identify key surface water pollutants in the dry season in a coastal province, Vietnam: Multivariate statistical methods to identify surface water pollutants in the dry season in a coastal province. *VN J. Agric. Sci.* **2022**, *5*(2), 1480–1491.
33. Giao, N.T. Analysis of surface water quality using multivariate statistical approaches: A case study in Ca Mau Peninsula, Vietnam. *Pollution* **2022**, *8*(2), 463–477.
34. Nhân, P.Q.; Trâm, T.T.N.; Lê, T.T. Ứng dụng trọng số Entropy tính toán chỉ số chất lượng nước (EWQI) vùng khan hiếm nước tỉnh Long An. *Tap chí khoa học Tài nguyên và Môi trường* **2024**, *52*, 26–35.
35. Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Long An. Báo cáo hiện trạng môi trường tỉnh Long An giai đoạn 2016-2020. Long An, 2020.
36. Quân, N.H.; Quế, T.N.C. Phân tích các hiện tượng cực đoan và xu hướng biến đổi của lượng mưa trong 30 năm gần đây ở tỉnh Long An bằng phương pháp thống kê. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, *638*, 6–11.

37. Gomes, P.I.; Fernando, B.A.; Dehini, G.K. Assessment of pollution sources, fate of pollutants, and potential instream interventions to mitigate pollution of earthen canals of urban to rural-urban fringe. *Water Air Soil Pollut.* **2019**, *230*(11), 262.
38. Fu, D.; Wu, X.; Chen, Y.; Yi, Z. Spatial variation and source apportionment of surface water pollution in the Tuo River, China, using multivariate statistical techniques. *Environ. Monit. Assess.* **2020**, *192*, 1–11.
39. Li, X.; Zhang, L.; Khan, F.; Han, Z. A data-driven corrosion prediction model to support digitization of subsea operations. *Process Saf. Environ. Prot.* **2021**, *153*, 413–421.
40. Kaiser, H.F. An index of factorial simplicity. *Psychometrika* **1974**, *39*(1), 31–36.
41. Hair, J.F.; Black, W.C.; Babin, B.J.; Anderson, R.E. Multivariate data analysis: Pearson new international edition PDF eBook. Pearson Higher Ed, 2013.
42. Mukherjee, A.; Lal, R. Comparison of soil quality index using three methods. *PLoS ONE* **2014**, *9*(8), e105981.
43. Bộ Tài nguyên và Môi trường. QCVN 08-MT:2015/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt. Hà Nội, 2015.
44. Putri, M.; Lou, C.H.; Syai'in, M.; Ou, S.H.; Wang, Y.C. Long-term river water quality trends and pollution source apportionment in Taiwan. *Water* **2018**, *10*, 1394.
45. Bộ Tài nguyên và Môi trường. QCVN 08:2023/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt. Thành phố Hà Nội, 2023.
46. Pekey, H.; Karakaş, D.; Bakoglu, M. Source apportionment of trace metals in surface waters of a polluted stream using multivariate statistical analyses. *Mar. Pollut. Bull.* **2004**, *49*(9-10), 809–818.
47. Huang, F.; Wang, X.; Lou, L.; Zhou, Z.; Wu, J. Spatial variation and source apportionment of water pollution in Qiantang River (China) using statistical techniques. *Water Res.* **2010**, *44*(5), 1562–1572.
48. Herbert, E.R.; et al. A global perspective on wetland salinization: ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. *Ecosphere* **2015**, *6*(10), 1–43.
49. Nichkova, L.; Sigora, G.; Khomenko, T.; Biriuk, V. Optimization of the seawater desalination method for a certain region. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2019**, *264*(1), 012020.
50. Pham, Q.N.; Nguyen, N.H.; Ta, T.T.; Tran, T.L. Vietnam's water resources: Current status, challenges, and security perspective. *Sustainability* **2023**, *15*(8), 6441.
51. Minderhoud, P.; Coumou, L.; Erkens, G.; Middelkoop, H.; Stouthamer, E. Mekong delta much lower than previously assumed in sea-level rise impact assessments. *Nat. Commun.* **2019**, *10*(1), 3847.
52. Rhoades, D.; Kandiah, A.; Mashali, A. The use of saline waters for crop production-FAO irrigation and drainage paper 48. ed: Rome: The Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992.
53. Hamed, M.A.R. Application of surface water quality classification models using principal components analysis and cluster analysis. Available at SSRN 3364401, 2019.
54. Huang, M.; Li, Y.; Gu, G.W. Chemical composition of organic matter in domestic wastewater. *Desalination* **2010**, *262*, 36–42.
55. Dauda, A.B.; Ajadi, A.; Tola-Fabunmi, A.S.; Akinwale, A. O. Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. *Aquac. Fish.* **2019**, *4*(3), 81–88.
56. Matta, G.; Nayak, A.; Kumar, A.; Kumar, P. Water quality assessment using NSFQI, OIP and multivariate techniques of Ganga River system, Uttarakhand, India. *Appl. Water Sci.* **2020**, *10*(9), 206.

57. Wehrheim, C.; Lübken, M.; Stolpe, H.; Wichern, M. Identifying key influences on surface water quality in freshwater areas of the Vietnamese Mekong Delta from 2018 to 2020. *Water* **2023**, *15*(7), 1295.
58. Rossi, L.; Fankhauser, R.; Chevre, N. Water quality criteria for total suspended solids (TSS) in urban wet-weather discharges. *Water Sci. Technol.* **2006**, *54*(6-7), 355–362.
59. Cooper, C. Biological effects of agriculturally derived surface water pollutants on aquatic systems - A review. *J. Environ. Quality* **1993**, *22*(3), 402–408.
60. Singh, K.P.; Malik, A.; Mohan, D.; Sinha, S. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) – A case study. *Water Res.* **2004**, *38*(18), 3980–3992.
61. Ashton, J.; Geary, L. The effects of temperature on pH measurement. *Tsp* **2011**, *1*(2), 1–7.
62. Booker, D.J.; Whitehead, A.L. River water temperatures are higher during lower flows after accounting for meteorological variability. *River Res. Appl.* **2022**, *38*(1), 3–22.
63. Nguyen, T.N.; Ha, N.; Sthiannopkao, S. Risk assessment of the Sai Gon river water quality for safety water supply to Ho Chi Minh city. *J. Sci. Technol.* **2011**, *9*, 1–10.
64. Lavane K.; et al. Nghiên cứu vận hành công trình thủy lợi trong điều kiện xâm nhập mặn: Trường hợp nghiên cứu tại huyện Vũng Liêm, tỉnh Vĩnh Long. *Tap chí Khoa học Đại học Cần Thơ* **2023**, *59*, 296–303.

Identification and qualification pollution sources of surface water in Long An province, Mekong Delta

Le Viet Thang^{1*}

¹ Institute for Environmental Science, Engineering and Management, Industrial University of Ho Chi Minh City; levietthangmt@gmail.com

Abstract: This study aims to evaluate temporal, spatial variations and fractionate the pollution sources of the surface water system in Long An province. From 2017 to 2023, a total of 1,736 surface water samples were collected from 62 sites, divided into 4 zones. During dry and rainy seasons, water samples were collected 4 times per year and analyzed for 15 physical, chemical and biological parameters. The entire data set was subjected to principal component analysis (PCA/FA), two-way analysis of variance, multivariate regression analysis and used to calculate water quality index (WQI). The PCA/FA results showed 05 main sources of pollution/factors affecting surface water quality, including: saline intrusion; human activities; accumulation/sedimentation; runoff through agricultural areas; and weather and hydraulic factors. Multivariate regression analysis indicated that saline intrusion and human activities contribute significantly to the deterioration of water quality in this area. The values of WQI reduced from inland to coastal areas, and these indexes in the rainy season tends to be higher than the dry season. These findings provide a scientific fundamental for developing enhanced and rigorous water quality management strategies in Long An province.

Keywords: Multivariate statistical analysis; Pollution sources; Long An; Water quality.