

ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG VÀ DỰ BÁO CHẤT LƯỢNG NƯỚC TRONG HỆ THỐNG THỦY LỢI TỨ GIÁC LONG XUYỀN: TIẾP CẬN MÔ HÌNH HÓA VÀ VIỄN THÁM

Phạm Văn Tùng

Viện Kỹ thuật Biển

Tóm tắt: Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu tích hợp giữa quan trắc thực địa, viễn thám và mô hình hóa để đánh giá hiện trạng và dự báo chất lượng nước mặt trong hệ thống công trình thủy lợi vùng Tứ Giác Long Xuyên (TGLX), khu vực có vai trò trọng yếu trong sản xuất nông nghiệp ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Trong bối cảnh khai thác thượng nguồn sông Mê Công, biến đổi khí hậu, gia tăng xâm nhập mặn, ô nhiễm nguồn nước từ sản xuất nông nghiệp và xả thải sinh hoạt đang làm suy giảm chất lượng nước mặt, việc xây dựng hệ thống giám sát – dự báo chất lượng nước theo thời gian thực là cấp thiết. Nghiên cứu tiến hành thu thập, phân tích 126 mẫu nước tại 14 điểm quan trắc cố định từ tháng 2 đến tháng 6 năm 2024 với 12 thông số môi trường, tính toán chỉ số WQI, đồng thời sử dụng mô hình MIKE 11 để dự báo các thông số DO, BOD₅, NH₄⁺ và độ mặn. Kết quả cho thấy chất lượng nước tại nhiều vị trí ở mức trung bình đến tốt nhưng có xu hướng suy giảm vào cuối mùa khô, đặc biệt ở khu vực ven biển và hạ lưu. Mô hình MIKE 11 được hiệu chỉnh và kiểm định có độ tin cậy cao ($R^2 > 0.7$), cho thấy tiềm năng trong ứng dụng dự báo chất lượng nguồn nước. Ngoài ra nghiên cứu này đã sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel-1 và Sentinel-2 cho phép đánh giá mùa vụ và biến động thảm thực vật, từ đó hiểu rõ hơn mối liên hệ giữa canh tác nông nghiệp và chất lượng nước. Trên cơ sở đó đề xuất tăng cường ứng dụng công nghệ mô hình hóa – viễn thám, đồng thời thiết lập cơ chế phối hợp vận hành công trình thủy lợi giữa các địa phương để ứng phó hiệu quả với thách thức nguồn nước trong vùng TGLX.

Từ khóa: Chất lượng nước, Tứ Giác Long Xuyên, mô hình MIKE 11, viễn thám, WQI, dự báo chất lượng nước.

Summary: This paper presents the results of an integrated study between field monitoring, remote sensing and modeling to assess the current status and forecast surface water quality in the Long Xuyên Quadrangle (TGLX) irrigation system, an area that plays a key role in agricultural production in the Mekong Delta. In the context of climate change, increased salinity intrusion, water pollution from agricultural production and domestic wastewater discharge that are degrading surface water quality, the construction of a real-time water quality monitoring and forecasting system is urgent. The study collected and analyzed 126 water samples at 14 fixed monitoring points from February to June 2024 with 12 environmental parameters, calculated the WQI index, and used the MIKE 11 model to forecast the parameters DO, BOD₅, NH₄⁺, and salinity. The results show that water quality at many locations is average to good but tends to decline at the end of the dry season, especially in coastal and downstream areas. The calibrated and validated MIKE 11 model has high reliability ($R^2 > 0.7$), showing potential in water resource forecasting and management applications. The use of Sentinel-1 and Sentinel-2 satellite images allows for the assessment of crop and vegetation changes, thereby better understanding the relationship between agricultural cultivation and water quality. The study recommends increasing the application of remote sensing and modeling technology, while establishing a mechanism for coordinating the operation of irrigation works between localities to effectively respond to water resource challenges in the TGLX region.

Keywords: Water quality, Long Xuyên Quadrangle, MIKE 11 model, remote sensing, WQI, water quality forecasting.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

TGLX là một trong những vùng sản xuất nông

nghiệp trọng điểm của ĐBSCL, đóng vai trò quan trọng trong an ninh lương thực và phát triển kinh tế của khu vực. Vùng này nằm trên địa bàn các tỉnh An Giang, Kiên Giang và một phần thành phố Cần Thơ, có hệ thống kênh rạch chằng chịt và được kiểm soát thủy lợi bởi

Ngày nhận bài: 02/10/2025

Ngày thông qua phản biện: 07/11/2025

Ngày duyệt đăng: 28/11/2025

các công trình quy mô lớn nhằm đảm bảo cấp nước, tiêu thoát, kiểm soát mặn và rửa phèn.

Tuy nhiên, trong những năm gần đây, TGLX đang đối mặt với những thách thức nghiêm trọng về môi trường nước do nhiều nguyên nhân. Sự gia tăng xả thải từ sinh hoạt, sản xuất công nghiệp, nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản (NTTS) khiến tải lượng ô nhiễm hữu cơ và vô cơ vào hệ thống sông kênh ngày càng tăng [[1]][[2]][[14]][[16]]. Đồng thời, ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, đặc biệt là tình trạng nước biển dâng và biến động dòng chảy từ thượng nguồn sông Mekong, đã làm gia tăng nguy cơ xâm nhập mặn vào sâu trong nội đồng, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng và trữ lượng nguồn nước mặt phục vụ sản xuất [[3]][[9]][[14]][[18]].

Trong bối cảnh đó, việc giám sát và dự báo chất lượng nước một cách chủ động và chính xác trở thành nhu cầu bức thiết để hỗ trợ công tác vận hành hệ thống thủy lợi, bảo vệ sản xuất và đảm bảo an ninh nguồn nước. Phương pháp tích hợp quan trắc môi trường, công nghệ viễn thám và mô hình toán học MIKE 11 cho phép cung cấp thông tin có hệ thống, cập nhật và hỗ trợ kịp thời cho các nhà quản lý và người dân. Nghiên cứu này nhằm mục tiêu trình bày kết quả đánh giá hiện trạng chất lượng nước trong hệ thống thủy lợi TGLX và xây dựng mô hình dự báo các chỉ tiêu ô nhiễm chủ yếu phục vụ sản xuất nông nghiệp và quản lý tài nguyên nước bền vững.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được thực hiện từ tháng 2 đến tháng 6 năm 2024, bao gồm các bước chính sau:

- **Thiết kế mạng lưới quan trắc chất lượng nước:** Lựa chọn 14 điểm quan trắc cố định phân bố đều trên hệ thống kênh rạch chính trong vùng TGLX. Các điểm này đại diện cho các vùng nước đầu vào hệ thống, giữa vùng và cuối nguồn, chịu ảnh hưởng của sản xuất nông

ng nghiệp, NTTS và xâm nhập mặn. [[18]]



Hình 1: Bản đồ vị trí các điểm giám sát chất lượng nước vùng TGLX năm 2024

- **Quan trắc và phân tích mẫu nước:** Thực hiện lấy mẫu định kỳ 9 đợt trong thời gian mùa khô – đầu mùa mưa năm 2024 (05 tháng, từ tháng 2 đến tháng 6/2024). Tổng cộng 126 mẫu nước được phân tích tại phòng thí nghiệm với 12 chỉ tiêu: pH, DO, BOD₅, COD, TSS, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, Fe_{TS} (sắt tổng), Coliform và độ mặn. Phương pháp lấy mẫu, đo đạc và bảo quản tuân thủ tiêu chuẩn TCVN 6663-6:2018 và quy định tại Thông tư 24/2017/TT-BTNMT. So sánh kết quả phân tích với QCVN 08:2023/BTNMT, theo các mục đích sử dụng nước: Cột A1 dùng cho cấp nước sinh hoạt sau xử lý đơn giản; Cột A2 dùng cho cấp nước sinh hoạt sau xử lý thông thường; Cột B1 dùng cho tưới tiêu và NTTS hoặc giao thông thủy; Cột B2 dùng cho các mục đích khác thấp hơn. [[18]]

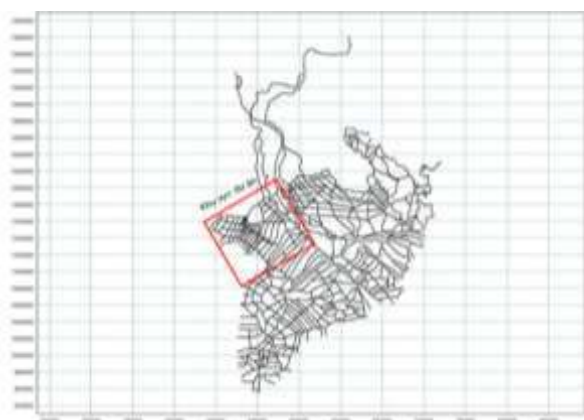
- **Tính toán chỉ số WQI:** Dựa theo hướng dẫn tại Quyết định số 1460/QĐ-TCMT của Tổng cục Môi trường, chỉ số chất lượng nước (WQI) được tính tại từng điểm quan trắc theo từng đợt nhằm phản ánh tổng hợp mức độ ô nhiễm. [[15]]

Bảng 1: Thang đánh giá chất lượng nước theo WQI

Loại	Giá trị WQI	Chất lượng nước	Mức đánh giá chất lượng nước	Thang màu
I	91 – 100	Rất tốt	Sử dụng tốt cho mục đích cấp nước sinh hoạt	
II	76 – 90	Tốt	Sử dụng cho mục đích cấp nước sinh hoạt nhưng	

Loại	Giá trị WQI	Chất lượng nước	Mức đánh giá chất lượng nước	Thang màu
			cần các biện pháp xử lý phù hợp	
III	51 - 75	Trung bình	Sử dụng cho mục đích tưới tiêu và các mục đích tương đương khác	
IV	26 - 50	Kém	Sử dụng cho giao thông thủy và các mục đích tương đương khác	
V	10 – 25	Ô nhiễm nặng	Nước ô nhiễm nặng, cần các biện pháp xử lý trong tương lai	
VI	<10	Ô nhiễm rất nặng	Nước nhiễm độc, cần có biện pháp khắc phục, xử lý	

- **Ứng dụng công nghệ viễn thám:** Sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel-1 (Radar, phân cực VH) và Sentinel-2 (chỉ số NDVI) được truy xuất từ tháng 8 năm 2023 đến tháng 7 năm 2024 từ danh mục Google Earth Engine (GEE) để thành lập bản đồ mùa vụ lúa và thảm thực vật theo chuỗi thời gian. Phương pháp phân loại không giám định K-mean được áp dụng để xác định lớp phủ đất và phân tích biến động theo không gian – thời gian. [[11]]



Hình 2: Sơ đồ mạng lưới tính toán cho khu vực nghiên cứu

- **Mô hình hóa chất lượng nước:** Sử dụng mô hình MIKE 11 của Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI), kết hợp ba mô-đun: thủy lực (HD), tải và khuếch tán (AD), và sinh thái (Ecolab). Mô hình mô phỏng phục vụ dự báo chất lượng nước trong HTTL TGLX được kế thừa từ mạng lưới tính toán cho toàn vùng ĐBSCL do Viện Kỹ Thuật Biển thiết lập và cập nhật, bổ

sung qua nhiều năm. Mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định dựa trên dữ liệu thực đo, sau đó được sử dụng để dự báo 4 thông số: DO, BOD₅, NH₄⁺ và độ mặn theo thời gian tại các điểm quan trắc. [[4]][[6]] [[12]] [[13]][[16]][[17]][[18]]

- **Phân tích và đánh giá:** So sánh kết quả thực đo và kết quả mô phỏng nhằm đánh giá độ tin cậy của mô hình. Đồng thời, phân tích sự tương quan giữa mùa vụ, thảm thực vật và chất lượng nước để hiểu rõ mối quan hệ nhân quả. [[18]]

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

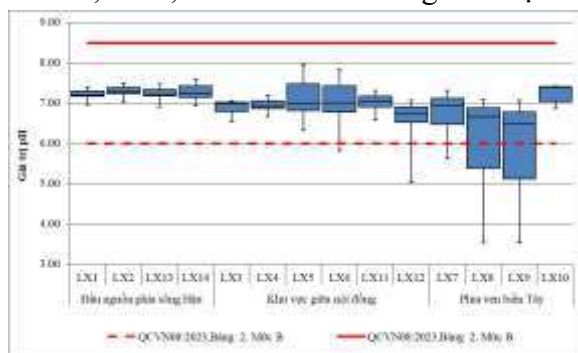
3.1. Hiện trạng chất lượng nước mặt vùng TGLX

Chất lượng nước mặt tại vùng TGLX có sự phân hóa rõ rệt theo không gian và thời gian, chịu ảnh hưởng trực tiếp từ hoạt động sản xuất nông nghiệp, NTTS, sinh hoạt dân cư và diễn biến của thời tiết - thủy văn, đặc biệt là trong mùa khô [[18]]. Qua kết quả phân tích 126 mẫu nước từ 14 điểm quan trắc trong 9 đợt thực hiện từ tháng 2 đến tháng 6 năm 2024, có thể đưa ra những nhận định như sau:

Giá trị pH dao động trong khoảng 6,3 – 7,8, đa số nằm trong giới hạn cho phép của tất cả các cột quy chuẩn (6,0–8,5). Một số điểm như LX6, LX10 ghi nhận pH thấp hơn vào đầu mùa mưa, cho thấy ảnh hưởng của nước phèn và thấm thấu từ vùng đất acid sunfat.

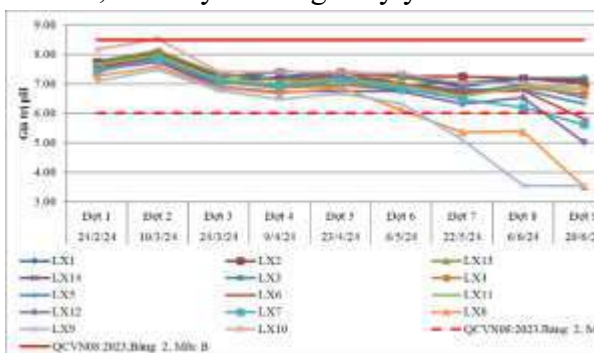
- Giá trị DO trung bình dao động từ 2,8 – 5,5 mg/L. Khoảng 20–30% mẫu đo có DO dưới

ngưỡng B1 (≥ 4 mg/L), đặc biệt là tại các điểm như LX7, LX8, LX9 vào các tháng khô hạn –



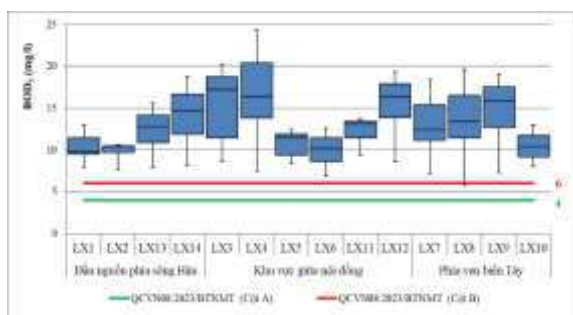
Hình 3: Biểu đồ giá trị pH tại các vị trí quan trắc năm 2024

phản ánh tình trạng thiếu oxy do phân hủy chất hữu cơ, bùn đáy và dòng chảy yếu.



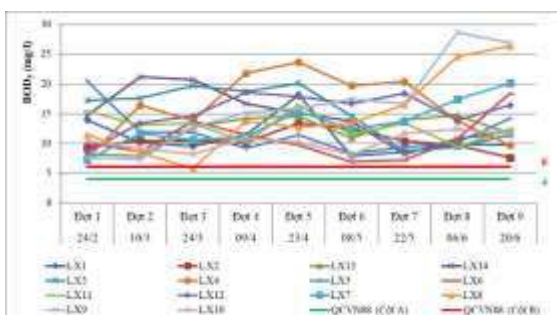
Hình 4: Biểu đồ giá trị pH qua các đợt thu mẫu năm 2024

- Nhu cầu oxy sinh học (BOD_5) có nhiều điểm vượt ngưỡng B1 (≤ 6 mg/L), một số vượt ngưỡng B2 (≤ 15 mg/L), tập trung ở vùng NTTS, khu dân cư và đô thị hóa như LX6,



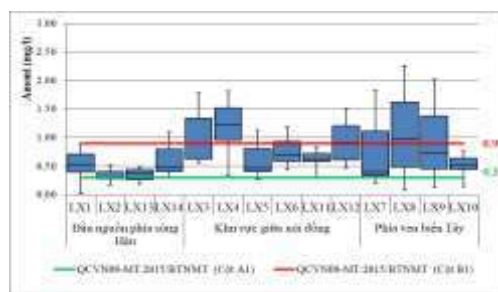
Hình 5: Biểu đồ giá trị BOD_5 tại các vị trí quan trắc năm 2024

LX7, LX11, có xu hướng tăng cao hơn vào cuối mùa khô (tháng 4 đến đầu tháng 5) phản ánh tình trạng ô nhiễm hữu cơ từ nước thải sinh hoạt và NTTS chưa qua xử lý.



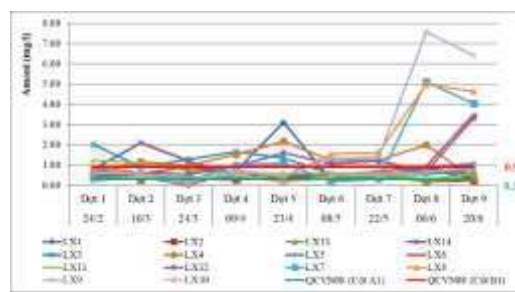
Hình 6: Biểu đồ giá trị BOD_5 qua 9 đợt quan trắc năm 2024

Nồng độ Amoni dao động từ 0,2 – 2,5 mg/L, một số điểm vượt ngưỡng cột B1 ($\leq 0,5$ mg/L) và cột B2 (≤ 1 mg/L), có xu hướng tăng cao hơn vào cuối mùa khô (tháng 4 đến đầu tháng



Hình 7: Biểu đồ giá trị Amoni tại các vị trí quan trắc năm 2024

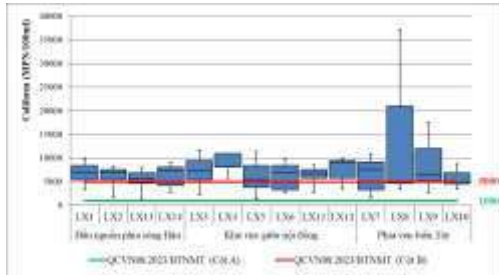
5). Hàm lượng Amoni cao nhất thường xuất hiện tại các điểm cuối dòng, gần đô thị hoặc vùng nuôi cá – chỉ ra nguy cơ ô nhiễm dinh dưỡng và ảnh hưởng đến sinh vật thủy sinh.



Hình 8: Biểu đồ giá trị Amoni qua 9 đợt quan trắc năm 2024

- Giá trị Coliform dao động rất lớn (từ 2.000 đến trên 40.000 MPN/100ml), phần lớn vượt ngưỡng A2 và B1, đặc biệt tại các điểm gần khu dân cư như LX7, LX8, LX11, có xu hướng tăng cao hơn vào cuối

mùa khô (tháng 4 đến đầu tháng 5). Kết quả cho thấy tình trạng ô nhiễm vi sinh khá phổ biến, có thể ảnh hưởng đến sức khỏe nếu sử dụng nước cho sinh hoạt hoặc tưới rau màu.



Hình 9: Biểu đồ giá trị Coliform tại các vị trí quan trắc năm 2024



Hình 10: Biểu đồ giá trị tổng Coliform qua 9 đợt quan trắc năm 2024

- Tổng chất rắn lơ lửng (TSS) dao động 30 – 180 mg/L; tại các điểm như LX4, LX5, LX8 ghi nhận giá trị cao trong thời gian mưa lớn đầu mùa cho thấy tác động của dòng chảy mặt, xói mòn đất và hoạt động nạo vét, xả thải, làm tăng nồng độ TSS.

- Giá trị độ mặn vượt 1‰ tại các điểm ven biển và hạ lưu (LX7–LX10) vào cuối tháng 5, đầu tháng 6/2024 – vượt giới hạn sử dụng cho nước tưới cây. Cảnh báo nguy cơ xâm nhập mặn trong mùa khô, đặc biệt nếu không có điều tiết công trình hợp lý.

- Chỉ số chất lượng nước (WQI) dao động từ 30 đến 85. Phân loại theo thang WQI: ~15% điểm đạt loại **Tốt** (WQI 76–90), có thể sử dụng cho mục đích cấp nước sinh hoạt sau xử lý thông thường; ~60% điểm ở mức **Trung bình** (WQI 51–75) – phù hợp tưới tiêu, NTTS; ~25% điểm ở mức **Kém** (WQI 26–50), phản ánh chất lượng nước thấp, có dấu hiệu ô nhiễm hữu cơ hoặc vi sinh, chủ yếu phân bố vào thời điểm cuối mùa khô và tại các vị trí hạ lưu, nơi tiếp nhận nhiều nguồn thải – cần kiểm soát nguồn thải.

Bảng 2: Bảng giá trị WQI các đợt giám sát năm 2024

Vị trí		Đợt 1	Đợt 2	Đợt 3	Đợt 4	Đợt 5	Đợt 6	Đợt 7	Đợt 8	Đợt 9	TB năm 2024
		24/2	10/3	24/3	9/4	23/4	8/5	22/5	6/6	20/6	
Đầu nguồn sông Hậu	LX1	66	73	69	60	31	68	73	50	57	61
	LX2	76	81	66	70	68	72	74	69	74	72
	LX13	72	75	65	75	63	73	58	71	67	69
	LX14	67	55	29	73	67	75	71	59	60	62
Khu vực giữa nội đồng	LX3	66	68	30	32	46	63	70	69	51	55
	LX4	62	53	51	30	31	32	31	32	79	45
	LX5	66	73	75	88	70	70	81	51	60	70
	LX6	70	76	53	64	79	89	66	57	42	66
	LX11	69	70	60	58	64	60	63	67	59	63
Phía ven biển	LX12	68	71	69	46	47	48	31	55	4	49
	LX7	79	75	76	50	54	65	75	32	22	59
	LX8	74	76	76	69	80	38	4	4	3	47
	LX9	79	79	72	63	65	32	3	3	6	45

Vị trí		Đợt 1	Đợt 2	Đợt 3	Đợt 4	Đợt 5	Đợt 6	Đợt 7	Đợt 8	Đợt 9	TB năm
		24/2	10/3	24/3	9/4	23/4	8/5	22/5	6/6	20/6	2024
Tây	LX10	81	83	72	79	84	79	73	63	61	75
Trung bình đợt		71	72	62	61	61	62	55	49	46	60



Hình 11: Bản đồ chất lượng nước theo WQI trong HTTL TGLX đợt 1 ngày 24/2



Hình 12: Bản đồ chất lượng nước theo WQI trong HTTL TGLX đợt 5 ngày 23/4



Hình 13: Bản đồ chất lượng nước theo WQI trong HTTL TGLX đợt 7 ngày 22/5



Hình 14: Bản đồ chất lượng nước theo WQI trong HTTL TGLX đợt 9 ngày 20/6

Ngoài ra, chất lượng nước tại một số điểm có tính biến động cao giữa các đợt quan trắc, cho thấy ảnh hưởng mạnh từ điều kiện thời tiết cực đoan và hoạt động vận hành công trình thủy lợi (đóng mở cống, điều tiết lấy nước). Đây là yếu tố quan trọng cần được xem xét trong các mô hình cảnh báo và dự báo CLN trong tương lai. Các điểm có chỉ số WQI thấp chủ yếu tập trung tại khu vực hạ lưu các kênh lớn như Kênh Vĩnh Tế, Kênh T4-T5 (Kiên Giang), nơi tiếp nhận dòng chảy từ vùng canh tác lúa và NTTs.

3.2. Kết quả mô hình hóa chất lượng nước

Để đánh giá và dự báo chất lượng nước trên hệ

thống thủy lợi TGLX, mô hình MIKE 11 được áp dụng với ba mô-đun chính: thủy lực (HD), truyền tải và khuếch tán chất (AD), và phản ứng sinh hóa (Ecolab). Dữ liệu đầu vào bao gồm đặc trưng địa hình thủy văn, lưu lượng đầu vào, điều kiện biên mặn và nồng độ các chất ô nhiễm tại các điểm giám sát.

Mô hình thủy lực đã được thông qua quá trình hiệu chỉnh, kiểm định nhằm đảm bảo độ tin cậy giá trị dự báo. Bộ thông số thủy lực được hiệu chỉnh và kiểm định hằng năm theo dữ liệu mực nước và lưu lượng tại các trạm Cần Thơ, Hòa Bình, Tân Châu, Châu Đốc; Mô hình cùng bộ thông số thủy lực được hiệu chỉnh và

kiểm định lại bằng số liệu mực nước thực đo tại các trạm Tân Hiệp, Long Xuyên, Tri Tôn theo tần suất 4 ớp/ngày vào tháng 1/2024.

Mô hình tính toán và dự báo chất lượng nước cùng bộ thông số lan truyền chất và sinh hóa được hiệu chỉnh và kiểm định liên tục trong nhiều năm. Đặc biệt mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định với toàn bộ số liệu phân tích mẫu nước 4 chỉ tiêu (DO, BOD₅, NH₄⁺ và độ mặn)

năm 2023 trước khi được đưa vào tính toán, dự báo CLN cho vùng TGLX năm 2024 và kiểm định lại theo số liệu phân tích mẫu từng đợt năm 2024. [[18]]

Chỉ số thống kê R² dao động từ 0.72 đến 0.88 và RMSE dưới 15%, cho thấy mô hình có khả năng mô phỏng chính xác các thông số chất lượng nước trong điều kiện thực tế tại khu vực nghiên cứu.

Bảng 3: So sánh giá trị thực đo và mô phỏng diễn hình (giá trị TB T4/2024)

Thông số	Địa điểm	DO (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Độ mặn (‰)
Thực đo	LX5	4.8	5.2	0.38	2.1
Mô phỏng	LX5	4.6	5.0	0.41	2.3
R ²		0.84	0.79	0.76	0.88

Mô hình cho thấy độ mặn có xu hướng tăng cao vào tháng 4, đạt đỉnh vào cuối tháng do ảnh hưởng của xâm nhập mặn khi lượng nước từ thượng nguồn giảm và hoạt động xả thải nông nghiệp gia tăng, kết hợp với nhu cầu lấy nước cao phục vụ canh tác vụ Hè Thu. Đây là giai đoạn cần đặc biệt lưu ý trong điều hành công – trạm bơm tại vùng ven biển. Kết quả mô phỏng cho thấy:

- Giá trị DO tại các điểm giữa vùng giảm 10–15% so với trung bình tháng 3.
- Nồng độ NH₄⁺ tăng mạnh tại các điểm gần vùng sản xuất, có thể vượt 0,5 mg/L nếu không có biện pháp điều tiết công rửa mặn hợp lý.
- Độ mặn tiếp tục lan sâu vào nội đồng nếu không có nguồn nước bổ sung từ hệ thống kênh cấp chính.

Bảng 4: Giá trị DO thực đo và dự báo - diễn hình (đơn vị mgO₂/l)

Đợt thu mẫu	Khu vực	Đầu nguồn phía s.Hậu				Khu vực giữa nội đồng						Phía ven biển Tây			
	Trạm quan trắc	LX1	LX2	LX13	LX14	LX3	LX4	LX5	LX6	LX11	LX12	LX7	LX8	LX9	LX10
Đợt 2 (ngày 10/3)	Thực đo	4,3	5,1	6,2	6,3	4,9	5,6	5,5	5,4	6,3	6,4	4,9	5,7	5,0	6,4
	Dự báo	4,9	5,2	5,1	5,7	5,2	5,4	4,3	4,6	4,6	5,6	4,5	5,8	5,6	4,5
	Ch. lệch	0,6	0,1	-1,1	-0,6	0,3	-0,2	-1,2	-0,8	-1,8	-0,8	-0,5	0,1	0,6	-1,9
Đợt 5 (ngày 23/4)	Thực đo	5,2	5,9	6,0	6,4	6,0	6,3	5,9	6,6	5,4	5,6	5,8	5,5	6,8	6,3
	Dự báo	5,0	6,0	5,5	6,1	5,5	4,3	6,0	6,0	4,8	6,0	5,5	5,7	5,7	5,4
	Ch. lệch	-0,2	0,1	-0,5	-0,3	-0,5	-2,0	0,1	-0,7	-0,6	0,4	-0,3	0,2	-1,0	-1,0
Đợt 8 (ngày 6/6)	Thực đo	5,68	6,13	6,3	5,97	5,55	4,9	6,41	6,62	5,54	5,26	6,38	6,8	5,92	6,35
	Dự báo	5,0	5,6	5,6	5,8	5,3	5,1	6,0	5,5	5,7	5,4	5,4	5,6	5,5	5,7
	Ch. lệch	-0,7	-0,5	-0,7	-0,1	-0,2	0,2	-0,5	-1,1	0,2	0,1	-1,0	-1,2	-0,5	-0,7

Bảng 5: Nồng độ BOD₅ thực đo và dự báo - diễn hình (đơn vị mg/l)

Đợt	Khu vực	Đầu nguồn phía s.Hậu				Khu vực giữa nội đồng						Phía ven biển Tây			
-----	---------	----------------------	--	--	--	-----------------------	--	--	--	--	--	-------------------	--	--	--

thụ mẫu	Trạm quan trắc	LX1	LX2	LX13	LX14	LX3	LX4	LX5	LX6	LX11	LX12	LX7	LX8	LX9	LX10
Đợt 2 (ngày 10/3)	Thực đo	10,2	10,5	7,9	21,2	17,6	16,4	11,9	8,6	13,1	13,4	11,7	8,4	7,3	9,2
	Dự báo	10,6	9,2	8,0	10,6	11,5	8,4	13,5	9,4	9,5	8,4	8,3	12,1	9,2	9,3
	Ch. lệch	0,4	-1,3	0,1	-10,6	-6,1	-8,0	1,6	0,8	-3,6	-5,0	-3,4	3,7	1,9	0,2
Đợt 5 (ngày 23/4)	Thực đo	18,2	13,4	14,5	15,1	20,1	23,7	11,4	9,7	16,4	17,9	15,4	12,7	15,9	10,2
	Dự báo	11,8	10,0	9,7	15,3	16,3	15,9	13,6	10,1	10,1	12,4	8,8	12,9	14,8	9,3
	Ch. lệch	-6,4	-3,4	-4,8	0,2	-3,8	-7,8	2,2	0,4	-6,3	-5,5	-6,6	0,2	-1,1	-0,9
Đợt 8 (ngày 6/6)	Thực đo	9,8	9,7	14,7	10,8	9,4	13,8	10,2	10,7	9,42	13,9	17,4	24,6	28,7	12,4
	Dự báo	8,4	10,4	11,8	8,3	10,0	15,4	9,5	8,2	16,4	12,6	12,3	16,0	11,0	11,2
	Ch. lệch	-1,4	0,7	-2,9	-2,5	0,6	1,6	-0,7	-2,5	7,0	-1,3	-5,1	-8,6	-17,7	-1,2

Bảng 6: Giá trị $\text{NH}_4^+\text{-N}$ thực đo và dự báo - điển hình (đơn vị mg/l)

Đợt thu mẫu	Khu vực	Đầu nguồn phía s.Hậu				Khu vực giữa nội đồng						Phía ven biển Tây			
	Trạm quan trắc	LX1	LX2	LX13	LX14	LX3	LX4	LX5	LX6	LX11	LX12	LX7	LX8	LX9	LX10
Đợt 2 (ngày 10/3)	Thực đo	0,44	0,29	0,58	2,11	0,90	1,17	0,41	0,59	1,09	0,61	0,40	0,48	0,45	0,57
	Dự báo	0,33	0,63	0,26	0,69	1,75	0,53	0,79	0,91	0,83	0,44	0,32	0,84	0,29	0,46
	Ch.lệch	-0,10	0,34	-0,32	-1,41	0,85	-0,64	0,38	0,33	-0,27	-0,16	-0,08	0,36	-0,16	-0,11
Đợt 5 (ngày 23/4)	Thực đo	3,09	0,40	0,21	0,28	1,34	2,17	0,61	0,44	0,60	1,61	1,11	0,39	0,50	0,15
	Dự báo	0,37	0,67	0,42	0,49	2,32	0,58	0,80	0,95	0,66	0,59	1,12	0,37	0,93	0,30
	Ch.lệch	-2,72	0,27	0,20	0,21	0,98	-1,59	0,19	0,52	0,06	-1,02	0,02	-0,02	0,43	0,16
Đợt 8 (ngày 6/6)	Thực đo	0,85	0,18	0,19	0,77	0,55	1,99	0,87	0,95	0,30	0,68	5,11	4,99	7,57	0,68
	Dự báo	0,39	0,70	0,31	0,52	0,84	1,12	0,43	1,04	0,71	1,07	0,39	0,96	1,00	0,90
	Ch.lệch	-0,46	0,52	0,12	-0,25	0,29	-0,87	-0,45	0,09	0,40	0,39	-4,72	-4,03	-6,56	0,23

Bảng 7: Giá trị Độ mặn dự báo và thực đo - điển hình (đơn vị ‰)

Đợt thu mẫu	Khu vực	Đầu nguồn phía sông Hậu				Khu vực giữa nội đồng						Phía ven biển Tây			
	Trạm quan trắc	LX1	LX2	LX13	LX14	LX3	LX4	LX5	LX6	LX11	LX12	LX7	LX8	LX9	LX10
Đợt 2 (ngày 10/3)	Thực đo	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	24,10
	Dự báo	0,08	0,09	0,10	0,08	0,06	0,05	0,06	0,01	0,02	0,07	0,01	0,06	0,02	26,03
	Ch. lệch	-0,02	-0,01	0,00	-0,02	-0,04	-0,05	-0,04	-0,29	-0,08	-0,03	-0,09	-0,04	-0,18	1,93
Đợt 5 (ngày 23/4)	Thực đo	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,70	0,10	0,20	4,90	0,70	1,00	25,60
	Dự báo	0,06	0,02	0,05	0,08	0,00	0,03	0,07	0,00	0,02	0,07	0,03	0,08	0,05	23,93
	Ch. lệch	-0,04	-0,08	-0,05	-0,02	-0,20	-0,17	-0,13	-0,70	-0,08	-0,13	-4,87	-0,62	-0,95	-1,67
Đợt	Thực đo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	0,10	0,20	23,10

Đợt thu mẫu	Khu vực	Đầu nguồn phía sông Hậu				Khu vực giữa nội đồng						Phía ven biển Tây			
	Trạm quan trắc	LX1	LX2	LX13	LX14	LX3	LX4	LX5	LX6	LX11	LX12	LX7	LX8	LX9	LX10
8 (ngày 6/6)	Dự báo	0,02	0,02	0,05	0,05	0,06	0,07	0,02	0,10	0,03	0,00	0,09	0,09	0,15	22,86
	Ch. lệch	0,02	0,02	0,05	0,05	0,06	0,07	0,02	0,00	0,03	0,00	-0,01	-0,01	-0,05	-0,24

3.3. Ứng dụng viễn thám và phân tích mối liên hệ với canh tác

Công nghệ viễn thám có khả năng thu nhận dữ liệu liên tục, diện rộng và theo thời gian thực, được ứng dụng trong nghiên cứu nhằm xác định diễn biến lớp phủ thực vật và đánh giá mối quan hệ giữa mùa vụ nông nghiệp và chất lượng nước mặt tại vùng TGLX. Trong khuôn khổ nghiên cứu này, ảnh vệ tinh Sentinel-1 (Radar, phân cực VH) và Sentinel-2 (quang học đa phổ) được sử dụng để xây dựng bản đồ mùa vụ và chỉ số thực vật NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). [[18]]

Ảnh Sentinel-2, chuỗi thời gian từ tháng 2 đến tháng 6/2024 được tiền xử lý (hiệu chỉnh hình học và bức xạ, loại mây), sau đó tính toán NDVI để xác định mức độ phát triển thảm thực vật. Chỉ số NDVI cao (từ 0.4 trở lên) thể hiện các vùng trồng lúa ổn định và đang trong giai đoạn sinh trưởng mạnh, trong khi NDVI thấp (dưới 0.2) cho thấy các vùng không canh

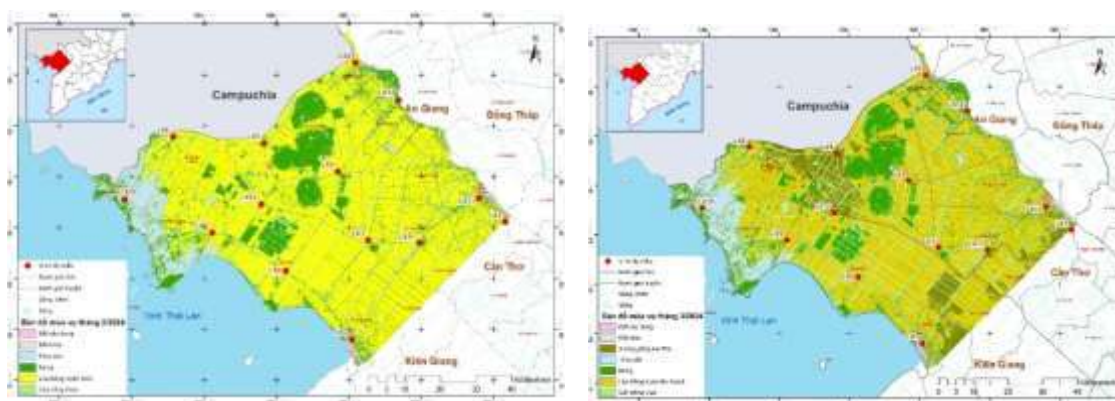
tác hoặc đang được sử dụng cho NTTS xen canh hoặc luân canh.

Kết quả phân tích cho thấy có sự tương quan rõ rệt giữa lớp phủ NDVI và chất lượng nước:

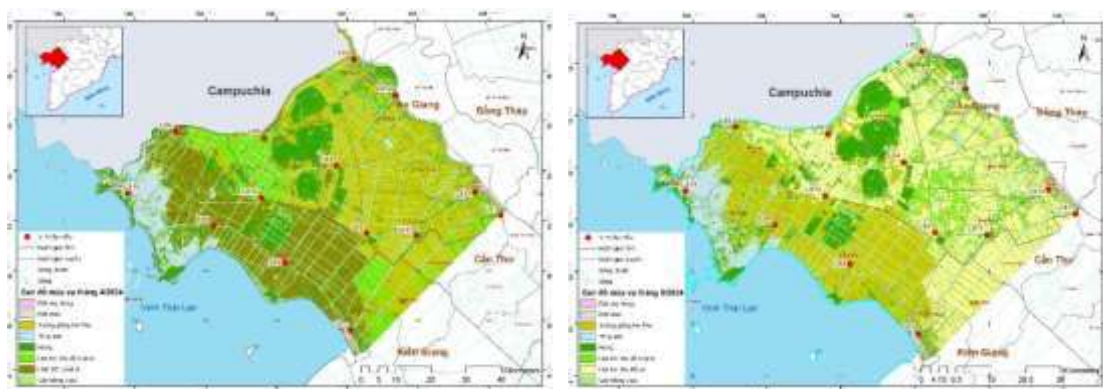
- Tại các khu vực có NDVI cao và ổn định tương ứng với vùng trồng lúa (như vùng Thoại Sơn – An Giang), chất lượng nước tương đối tốt, WQI duy trì mức A2–B và nồng độ NH_4^+ thấp ($< 0.25 \text{ mg/L}$).

- Ngược lại, tại các vùng NDVI biến động mạnh, xen canh giữa lúa – tôm (như Giồng Riềng, Hòn Đất – Kiên Giang), giá trị BOD_5 và NH_4^+ có xu hướng cao hơn, WQI dao động mức C.

Ngoài ra, ảnh Sentinel-1 VH được xử lý để xác định độ ẩm đất và trạng thái canh tác đất ruộng. Các khu vực có chỉ số VH thấp cho thấy khả năng giữ nước kém, dễ bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn hoặc khô hạn. Khi kết hợp với dữ liệu mực nước và mô hình MIKE 11, có thể xác định các vùng có nguy cơ cao về ô nhiễm cục bộ hoặc suy giảm chất lượng nước nhanh.



Hình 15: Bản đồ tham thực vật tháng 2 (trái) và tháng 3 (phải) năm 2024 vùng TGLX



Hình 16: Bản đồ tham thực vật tháng 4 (trái) và tháng 5 (phải) năm 2024 vùng TGLX

3.4. Thảo luận

Tổng hợp kết quả từ quan trắc thực địa, mô hình MIKE 11 và phân tích ảnh viễn thám cho thấy chất lượng nước vùng TGLX chịu ảnh hưởng tổng hợp bởi ba nhóm yếu tố chính: điều kiện thủy văn – khí hậu, tác động từ hoạt động sản xuất và chế độ vận hành công trình thủy lợi. Sự suy giảm chất lượng nước có xu hướng gia tăng vào các tháng cao điểm của mùa khô (tháng 3–4), khi lượng dòng chảy từ thượng nguồn giảm mạnh, kết hợp với hoạt động xả thải tập trung từ nông nghiệp và NTTS.

Phân tích không gian cho thấy sự phân hóa chất lượng nước theo vùng rõ rệt:

- Các vùng thượng lưu và giữa hệ thống (An Giang, phía Bắc Cần Thơ) có chất lượng nước khá tốt, ổn định theo thời gian do ít chịu ảnh hưởng của mặn và có hệ thống thủy lợi điều tiết tốt.
- Các khu vực hạ lưu giáp biển (Hòn Đất, Giồng Riềng – Kiên Giang) có nguy cơ cao về xâm nhập mặn và tích tụ ô nhiễm hữu cơ từ canh tác lúa – tôm.

Mô hình MIKE 11 không chỉ mô phỏng hiệu quả sự biến động theo thời gian của các thông số như DO, BOD₅, NH₄⁺ và độ mặn, mà còn cho phép xây dựng các kịch bản điều hành – ứng phó, đặc biệt hữu ích trong bối cảnh biến đổi khí hậu và hạn mặn gia tăng.

Phân tích ảnh vệ tinh Sentinel giúp định lượng sự thay đổi lớp phủ thực vật và chỉ số NDVI – từ đó xác định được những vùng nhạy cảm về môi trường nước. Dữ liệu NDVI và VH radar cho thấy sự trùng khớp cao giữa khu vực NDVI thấp (biến động mùa vụ, nuôi thủy sản xen canh) với khu vực có WQI thấp và NH₄⁺ cao, gợi mở hướng tích hợp dữ liệu không gian – thời gian trong cảnh báo và điều hành sản xuất nông nghiệp.

4. KẾT LUẬN – KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đã ứng dụng tích hợp phương pháp mô hình hóa và công nghệ viễn thám để đánh giá hiện trạng và dự báo chất lượng nước trong hệ thống thủy lợi TGLX – một trong những vùng trọng điểm sản xuất nông nghiệp và chịu ảnh hưởng mạnh bởi biến đổi khí hậu ở ĐBSCL.

Kết quả phân tích hiện trạng cho thấy chất lượng nước trong hệ thống có sự biến động theo không gian và thời gian, phụ thuộc vào các yếu tố như nguồn xả thải sinh hoạt và nông nghiệp, chế độ vận hành công trình thủy lợi, điều kiện khí tượng thủy văn và diễn biến xâm nhập mặn. Một số khu vực, đặc biệt là ở hạ lưu và vùng giáp ranh với biển, đã ghi nhận chỉ số chất lượng nước vượt ngưỡng cho phép vào mùa khô, đe dọa đến an toàn nguồn nước cho sản xuất và sinh hoạt.

Việc áp dụng mô hình MIKE 11 cho thấy khả năng hiệu quả trong mô phỏng và dự báo diễn

biến chất lượng nước theo các kịch bản khác nhau. Dữ liệu viễn thám (Sentinel-2, Landsat 8...) cũng góp phần quan trọng trong việc giám sát biến động mặt nước, nồng độ chất lơ lửng (TSS) và diễn biến xâm nhập mặn. Các kết quả mô hình dự báo cho thấy nếu không có các biện pháp quản lý nguồn thải và điều tiết vận hành hợp lý, chất lượng nước có xu hướng suy giảm nghiêm trọng hơn, đặc biệt vào thời điểm cuối mùa khô.

Một số đề xuất, khuyến nghị:

- Về kỹ thuật và giám sát: Mở rộng số lượng trạm quan trắc và tăng tần suất lấy mẫu để nâng cao độ chi tiết về diễn biến chất lượng nước theo chu kỳ thủy văn; Bổ sung các chỉ tiêu phục vụ NTTS như dư lượng thuốc bảo vệ thực vật, *Vibrio* spp., tải độc để phục vụ giám sát xung đột giữa canh tác lúa và NTTS.

- Về nâng cấp và áp dụng công nghệ: Đầu tư xây dựng hạ tầng thủy lợi thông minh tích hợp công nghệ 4.0 trong giám sát, thu thập và chia sẻ dữ liệu chất lượng nước theo thời gian thực, cảnh báo sớm; Thiết lập cơ chế phối hợp vận hành hệ thống công trình thủy lợi liên tỉnh, đặc biệt trong mùa khô và thời kỳ xâm nhập mặn cao; Tích hợp công cụ phân tích không gian GIS với quan trắc, mô hình hóa để cung cấp bản đồ cảnh báo nhanh trực tuyến phục vụ

người dân và nhà quản lý.

- Về chính sách quản lý và pháp luật: Tăng cường giám sát và xử phạt các hành vi xả thải trái phép ra kênh rạch nội đồng, đặc biệt tại các khu dân cư nông thôn và cơ sở sản xuất nhỏ lẻ; Cần xây dựng cơ chế phối hợp liên ngành giữa ngành Nông nghiệp & Môi trường và các tổ chức nông dân trong quản lý tài nguyên nước vùng TGLX.

- Về truyền thông và cộng đồng: Đẩy mạnh tuyên truyền nâng cao nhận thức cộng đồng về bảo vệ nguồn nước, đặc biệt là nông dân – đối tượng trực tiếp sử dụng và gây áp lực lên tài nguyên nước; Khuyến khích áp dụng thực hành nông nghiệp tốt (GAP) và mô hình sinh kế xanh gắn với bảo vệ nguồn nước tại các vùng trọng điểm ô nhiễm.

- Về nghiên cứu tiếp theo: Bổ sung đánh giá chất lượng nước theo mục tiêu chuyên biệt hơn như: nước tưới cây trồng mẫn cảm, nước NTTS theo từng đối tượng nuôi; Kết hợp mô hình thủy văn – chất lượng nước với mô hình kinh tế – môi trường, hướng tới tối ưu hóa chi phí xử lý và hiệu quả vận hành; Xây dựng cơ sở dữ liệu không gian về hiện trạng CLN gắn với mùa vụ, phục vụ quản lý rủi ro và quy hoạch chuyển đổi canh tác thích ứng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Anh, “Kiên Giang trước áp lực xử lý hơn 1.400 tấn chất thải rắn mỗi ngày”, 2022. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://laodong.vn/xa-hoi/kien-giang-truoc-ap-luc-xu-ly-hon-1400-tan-chat-thai-ran-moi-ngay-1108444.lido>. [Truy cập 24/10/2022].
- [2] Đ.T. Chánh, “Mỗi năm Kiên Giang thải 755 tấn bao gói thuốc bảo vệ thực vật”, 2024. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://nongnghiep.vn/moi-nam-kien-giang-phat-sinh-755-tan-bao-goi-thuoc-bao-ve-thuc-vat-sau-su-dung-d381404.html>. [Truy cập 4/4/2024].
- [3] Chi cục Thủy lợi tỉnh Kiên Giang, *Báo cáo số 24/BC-CCTL ngày 12 tháng 4 năm 2024 về Báo cáo nhanh tình hình nguồn nước, hạn hán, xâm nhập mặn năm 2024 trên địa bàn tỉnh Kiên Giang*, 2024.
- [4] Cục thống kê tỉnh An Giang, *Niên giám thống kê tỉnh An Giang năm 2023*. Nhà xuất bản Thanh niên, 2024.

- [5] Cục thống kê tỉnh An Giang, *Báo cáo số 652/BC-CTK ngày 02/10/2024 về Tình hình kinh tế - xã hội tháng 9 và 9 tháng năm 2024*, 2024.
- [6] Cục thống kê tỉnh Kiên Giang, *Niên giám thống kê tỉnh Kiên Giang năm 2023*. Nhà xuất bản Thanh niên, 2024.
- [7] Cục thống kê tỉnh Kiên Giang, *Báo cáo số 198/BC-CTK ngày 02 tháng 10 năm 2024 về Tình hình kinh tế - xã hội tháng 9 và 9 tháng năm 2024*, 2024.
- [8] Dương Thị Trúc và cộng sự, “*Chất lượng nước mặt của sông Tiền chảy qua địa phận Tân Châu, tỉnh An Giang*”. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, Tập 55, Số 2, Tr: 53 – 60, 2019.
- [9] Nguyễn Thị Kim Liên và cộng sự, “*Chất lượng nước trên sông chính và sông nhánh thuộc tuyến sông Hậu*”. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, Số 43, Tr. 68 – 79, 2016.
- [10] Huỳnh Phú, Nguyễn Lý Ngọc Thảo và Huỳnh Thị Ngọc Hân, “*Nghiên cứu đánh giá chất lượng nước vùng tứ giác Long Xuyên và đề xuất các giải pháp quản lý bảo vệ nguồn nước*”, Tạp chí Khí tượng thủy văn, Số 723, Tr. 13 – 22, 2021.
- [11] Rudiyanto; Soh, N.C.; Shah, R.M.; Giap, S.G.E.; Setiawan, B.I.; Minasny, B, “*High-Resolution Mapping of Paddy Rice Extent and Growth Stages across Peninsular Malaysia Using a Fusion of Sentinel-1 and 2 Time Series Data in Google Earth Engine*”. Remote Sens. No. 14, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14081875>.
- [12] Sở Nông nghiệp và PTNT tỉnh An Giang, *Kế hoạch sản xuất và tiêu thụ trong lĩnh vực trồng trọt vụ Đông Xuân, vụ Hè Thu, 2023-2024*.
- [13] Sở Nông nghiệp và PTNT tỉnh Kiên Giang, *Thông báo khung lịch thời vụ thả giống tôm nước lợ năm 2024 trên địa bàn tỉnh Kiên Giang*, 2024.
- [14] Tô Văn Thanh và cộng sự, “*Nghiên cứu đánh giá các tác động tích cực và những tồn tại, đề xuất các giải pháp để nâng cao hiệu quả kinh tế - xã hội và môi trường của hệ thống công trình kiểm soát lũ vùng Tứ Giác Long Xuyên*”. Đề tài cấp Nhà nước KC08.20/11-15, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Việt Nam, 2015.
- [15] Tổng cục Môi trường, *Quyết định số 1460/QĐ-TCMT về việc ban hành Hướng dẫn kỹ thuật tính toán và công bố chỉ số chất lượng nước Việt Nam (VN_WQI)*, 2019.
- [16] Ủy ban nhân dân tỉnh An Giang, *Công văn số 52/UBND-KTN ngày 15 tháng 1 năm 2024 về việc Phê duyệt, cập nhật danh mục khu, điểm ô nhiễm môi trường, cơ sở ô nhiễm môi trường cần được xử lý trên địa bàn tỉnh An Giang*, 2024.
- [17] Ủy ban nhân dân tỉnh Kiên Giang, *Báo cáo tổng hợp quy hoạch tỉnh Kiên Giang thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050*, 2023.
- [18] Ủy ban nhân dân tỉnh Kiên Giang, *Phương án số 2505/PA-UBND ngày 10/10/2023 về việc phòng, chống hạn hán, thiếu nước, xâm nhập mặn, đảm bảo nguồn nước phục vụ sản xuất nông nghiệp và dân sinh trong mùa khô giai đoạn 2023-2024 trên địa bàn tỉnh Kiên Giang*, 2023.
- [19] Viện Kỹ thuật Biển, 2024, “*Giám sát, dự báo chất lượng nước trong hệ thống công trình thủy lợi TGLX phục vụ lấy nước SXNN*”. Nhiệm vụ thường xuyên năm 2024 của Bộ

NN&PTNT.