

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

HỒ VĂN HÒA

ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỘNG  
TÀI NGUYÊN NƯỚC MẶT VÀ HẠN HÁN ĐẾN SẢN XUẤT LÚA  
VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Ngành: **Kỹ thuật Tài nguyên nước**

Mã số ngành: **9580212**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2024

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn 1: PGS.TS. Châu Nguyễn Xuân Quang

Người hướng dẫn 2: PGS.TS. Nguyễn Thị Bảy

Phản biện độc lập:

Phản biện độc lập:

Phản biện:

Phản biện:

Phản biện:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....

.....

vào lúc            giờ            ngày            tháng            năm

# MỞ ĐẦU

## 1. Đặt vấn đề

Đồng bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL) được coi là vùng cung cấp lương thực quan trọng của quốc gia và khu vực, có diện tích 4,092 triệu ha, chiếm khoảng 13% diện tích Việt Nam [1]. Vùng ĐBSCL thường sản xuất 2-3 vụ lúa trong năm với tổng diện tích gieo trồng khoảng 4 triệu ha, đạt năng suất trung bình khoảng 6 tấn/ha, giúp mang lại sản lượng lúa cả năm của vùng này là khoảng 24,07 triệu tấn, chiếm khoảng 56% sản lượng lúa gạo cả nước [1–3]. Nhưng trong hơn 30 năm qua, ĐBSCL đã và đang bị các tác động của thay đổi môi trường sinh thái khá mạnh mẽ như là sự biến động tài nguyên nước mặt (TNNM), hạn hán, xâm nhập mặn (XNM) và biến đổi khí hậu (BĐKH),...[5–8]. Những biến động TNNM như sự suy giảm mực nước mùa lũ 10% [8] và mùa khô 46% [9], tổng lượng dòng chảy về ĐBSCL sau năm 2012 giảm từ -2,6% đến -11,8% [10], XNM đến sớm hơn 1-2 tháng và gia tăng nồng độ mặn ở vùng cửa sông, thêm nữa có sự gia tăng hạn hán trên diện rộng [3], [9], [11]. Sự biến động các yếu tố này đã và đang ảnh hưởng đến nhiều hoạt động KT-XH, trong đó tác động đến sản xuất lúa (SXL) gồm gây ra biến động sản lượng lúa và tính dễ bị tổn thương sinh kế của 75% người dân vùng nông thôn ĐBSCL là đáng quan tâm nhiều nhất [3], [11]–[13]. Tuy nhiên việc đánh giá cụ thể về xu thế và xác định nguyên nhân, thời điểm xảy ra biến động các yếu tố TNNM và hạn hán ở các vùng sinh thái ĐBSCL chưa rõ ràng. Bên cạnh đó, công việc đánh giá định lượng mức độ tác động của biến động TNNM và yếu tố khí hậu (mưa, hạn hán) đến 2 yếu tố chính của SXL là tính dễ bị tổn thương sinh kế và năng suất lúa cũng chưa được nghiên cứu sâu cho một số vùng SXL quan trọng của ĐBSCL. Cuối cùng, các giải pháp phi công trình và công trình cũng cần được đề xuất dựa trên các biến động này nhằm thích ứng với điều kiện thay đổi các yếu tố khí hậu và phi khí hậu ở hiện trạng và tương lai. Do đó, đề tài “*Đánh giá tác động của biến động tài nguyên nước mặt và hạn hán đến sản xuất lúa vùng Đồng bằng sông Cửu Long*” được thực hiện nhằm bổ sung các kiến thức còn thiếu sót các vấn đề ở trên, phục vụ

cho công tác quy hoạch TNNM và phát triển bền vững nền sản xuất nông nghiệp của vùng ĐBSCL.

## **2. Mục tiêu nghiên cứu**

Từ các phân tích nêu trên, mục tiêu nghiên cứu trong đề tài này được xác định như sau: (i) Xây dựng được phương pháp luận phù hợp để đánh giá các mục tiêu của luận án; (ii) Đánh giá được xu thế và xác định nguyên nhân biến động các yếu tố TNNM (tổng lượng, mực nước, lưu lượng và XNM) trên sông chính và các yếu tố hạn hán (lượng mưa, hạn khí tượng) ở ĐBSCL; (iii) Đánh giá được biến động SXL vùng ĐBSCL và định lượng được mối tương quan ảnh hưởng của yếu tố TNNM, hạn hán đến năng suất lúa và tính dễ bị tổn thương sinh kế nông hộ ở các vùng nghiên cứu điển hình; (iv) Đưa ra các giải pháp điển hình phù hợp với biến động TNNM, hạn hán và gia tăng sự thích nghi cho nền SXL vùng ĐBSCL và đánh giá được quả của các giải pháp này.

## **3. Nội dung nghiên cứu**

Luận án này thực hiện 4 nội dung nghiên cứu chính sau đây:

Nội dung 1: Thu thập, tổng hợp dữ liệu, khảo sát trực tuyến, phỏng vấn thực địa, và xây dựng khung pháp luận nghiên cứu liên quan đến các mục tiêu luận án.

Nội dung 2: Đánh giá xu thế và xác định nguyên nhân ảnh hưởng đến biến động các yếu tố TNNM và hạn hán ở ĐBSCL.

- Nghiên cứu cơ sở lý thuyết và xây dựng các công cụ phù hợp đánh giá biến động TNNM và hạn hán ĐBSCL;
- Thống kê và đánh giá xu thế biến mực nước, lưu lượng và tổng lượng trên sông chính Mê Công từ Kratie ra đến biển Đông và XNM vùng cửa sông Tiền và Hậu;
- Thống kê và đánh giá xu thế biến động lượng mưa và hạn khí tượng ĐBSCL;

Nội dung 3: Đánh giá biến động SXL dưới tác động của các yếu tố TNNM và hạn hán ở một số vùng điển hình của ĐBSCL (An Giang và Bến Tre).

- Đánh giá tổng quát xu thế biến động sản lượng, năng suất và diện tích lúa ĐBSCL;
- Đánh giá định lượng mối tương quan riêng lẻ và xây dựng mô hình hồi quy đa biến giữa năng suất lúa và các yếu tố TNNM, hạn hán cho tỉnh An Giang và tỉnh Bến Tre;
- Đánh giá tính dễ bị tổn thương sinh kế (LVI) hộ nông dân SXL 3 vụ dưới ảnh hưởng biến động TNNM và hạn hán cho vùng ngập lũ điển hình An Giang.

*Nội dung 4:* Đề xuất giải pháp thích ứng, giảm nhẹ tác động của các biến động TNNM, hạn hán lên SXL và đánh giá hiệu quả.

- Giải pháp phi công trình: Đầu tư sản xuất, chuyển dịch sinh kế, mùa vụ... chọn lựa theo dựa trên kinh nghiệm của nông hộ SXL và chuyên gia. Đánh giá định lượng hiệu quả năng suất lúa theo giải pháp chuyển dịch mùa vụ lúa ĐX ở An Giang và Bến Tre theo mô hình hồi quy đa biến ở nội dung 3;
- Giải pháp công trình: Đập di động, đánh giá tính hiệu quả sự hiện diện của đập bằng mô hình toán 1D.

#### **4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

Đối tượng nghiên cứu: là biến động các yếu tố TNNM (tổng lượng, mực nước, lưu lượng và XNM), biến động hạn hán (lượng mưa, hạn khí tượng) và biến động sản xuất lúa (năng suất, tính dễ bị tổn thương sinh kế).

Phạm vi nghiên cứu: Đối với yếu tố TNNM chỉ nghiên cứu trên sông chính Mê Công từ Kratie về ĐBSCL chạy dọc theo sông Tiền và sông Hậu ra đến cửa biển Đông. Đối với hạn hán nghiên cứu toàn vùng ĐBSCL. Đối với tác động các yếu tố này đến SXL, nghiên cứu tập trung nghiên cứu ở 2 vùng điển hình tỉnh An Giang (vùng thượng - ngập lũ) và tỉnh Bến Tre (vùng ven biển - ảnh hưởng mặn).

## **5. Ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn**

Về mặt khoa học, đề tài có ý nghĩa khoa học trong việc cung cấp cái nhìn tổng quan, định lượng xu thế và xác định nguyên nhân biến động TNNM, hạn hán ở ĐBSCL. Thêm nữa, nghiên cứu này cũng góp phần nâng cao kiến thức giúp hiểu rõ hơn về mối tương quan giữa biến động TNNM và hạn hán với năng suất lúa cũng như đến tính dễ bị tổn thương sinh kế nông hộ ĐBSCL bởi các biến động này.

Về mặt thực tiễn, kết quả nghiên cứu có thể sử dụng làm tài liệu tham khảo phục quản lý TNN trong việc giảm nhẹ các rủi ro có liên quan đến biến động TNNM (XNM) và hạn hán. Đóng góp các giải pháp thích hợp giảm nhẹ tác động của biến động TNNM và hạn hán đến SXL. Kết quả đánh giá về mức độ tổn thương sinh kế hộ SXL phục vụ cho các nhà quản lý trong quy hoạch phát triển bền vững ĐBSCL.

## **6. Tính mới của đề tài**

Tính mới của đề tài là:

- (1) Xác định được biến động TNNM trên sông chính và hạn hán (lượng mưa, hạn khí tượng) và định lượng tác động của các yếu tố này đến SXL cho ĐBSCL.
- (2) Xây dựng được hàm hồi quy đa biến quan hệ giữa năng suất lúa với các yếu tố TNNM, XNM và hạn hán: Năng suất lúa = Hàm số (Mức nước; lưu lượng; tổng lượng; độ mặn và hạn khí tượng) cho 2 vùng nghiên cứu điển hình ở An Giang và Bến Tre.
- 3) Định lượng được tính dễ bị tổn thương sinh kế nông hộ SXL dưới biến động môi trường sinh thái và ĐKKH.

## **7. Cấu trúc của Luận án**

Luận án này được trình bày thành gồm phần Mở Đầu và 03 chương: Chương 1 – Tổng quan các vấn đề nghiên cứu; Chương 2 – Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu; Chương 3 – Kết quả và thảo luận; và cuối cùng, là Kết luận và kiến nghị.

# CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN CÁC VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

## 1.1 Tổng quan về biến động tài nguyên nước mặt và hạn hán

### 1.1.1 Nghiên cứu về biến động tài nguyên nước mặt

Vấn đề lớn nhất của TNNM lưu vực Mê Công (MK) hiện nay, đã được nói đến trong nhiều nghiên cứu, đó là sự biến động mực nước và lưu lượng ở các trạm trên dọc sông chính MK, phía cửa sông ĐBSCL thì có sự gia tăng XNM [14]–[19]. Cụ thể đối với lưu vực Mê Công, các nghiên cứu của ICEM & MRC (2010); Piman *et al.* (2013) ; Cochrane *et al.*(2014); Li *et al.* (2017), và Keovilignavong *et al.* (2023), đã chỉ ra rằng các đập, hồ chứa đã tác động đến chế độ thủy văn hạ lưu MK, cụ thể năm thủy văn bình thường giảm dòng chảy mùa lũ, tăng dòng chảy, mực nước mùa kiệt, nhưng những năm hạn hán gây cực hạn thủy văn ở vùng hạ lưu MK [14], [17], [20]–[22]. Còn riêng đối với vùng ĐBSCL, các nghiên cứu của VKHTLMN (2015), DHI (2015), Elsami *et al.* (2019), Bộ NNPTNT (2020) và Doan *et al.* (2021) cũng đưa ra các bằng chứng rằng, ĐBSCL đang bị suy giảm nguồn TNNM (lưu lượng, mực nước, tổng lượng) và phía cửa sông thì có sự gia tăng mực nước và XNM. Sự biến động TNNM này do các yếu tố BĐKH, hồ chứa, hạ thấp lòng dẫn, NBD và cũng do các công ngăn mặn của hệ thống thủy lợi vùng cửa sông [9], [13], [19], [23], [24].

### 1.1.2 Nghiên cứu về hạn hán

Vấn đề thứ hai, hạn hán là hiện tượng khí tượng thủy văn cực đoan gây ra thiếu nước nghiêm trọng so với điều kiện bình thường, cường độ và phạm vi ảnh hưởng của nó đang ngày càng tăng trên toàn thế giới nói chung và ĐBSCL nói riêng, [17], [25]. Cụ thể, các đánh giá của NOAA (2023) chỉ ra rằng những năm 1998, 2010, 2015-2016 và 2019-2020 là những năm El-Nino có xu thế tăng nền nhiệt cao hơn so với trung bình nhiều năm ở Đông Thái Bình Dương [26]. Thao *et al.* (2019) và Tô *et al.* (2020) đánh giá rằng các năm 2015-2016 và 2019-2020 vùng ĐBSCL bị khô hạn [3], [27]. Bên cạnh đó, nghiên cứu của Tian, *et al.* (2020) và Keovilignavong *et al.* (2023) đã đánh giá sự thay đổi lượng mưa và chỉ số hạn khí tượng- SPEI nhằm nhận diện biến động hạn hán lưu vực MK [17], [28].

## **1.2 Tổng quan về các yếu tố tác động đến sản xuất lúa**

Biến động tình hình SXL được quan tâm đầu tiên là thay đổi sản lượng (lúa). Năng suất lúa là bị tác động bởi nhiều yếu tố, trong đó yếu tố tự nhiên nguồn nước là khá quan trọng vì ngành sản xuất nông nghiệp (SXL) là sử dụng nhiều nước sạch nhất trên thế giới với mức sử dụng trên 70%-80% tổng lượng tài nguyên nước[29]. Điển hình, trong các nghiên cứu của Shinsuke *et al.* (2003) cho vùng đông bắc Thái Lan và Hejazi *et al.* (2023) cho vùng Pakistan có nói đến khi yếu tố nguồn nước, nhiệt độ, mực nước nội đồng, khả năng cung cấp nước cho nông nghiệp (SXL) khi bị biến động (tăng/giảm) có ảnh hưởng đến sản lượng lúa [30], [31]. Còn đối với SXL vùng ĐBSCL, nghiên cứu của Dang *et al.* (2011), CGIAR, (2016) và Clauss *et al.* (2018) chỉ ra rằng khi có suy giảm nguồn nước, gia tăng hạn hán và XNM đã tác động đến năng suất lúa và vùng ven biển vào mùa khô năng suất lúa bị ảnh hưởng nhiều hơn khác vùng khác [32]–[34].

Đối với biến động tình hình SXL ở khía cạnh sinh kế nông hộ là sự gia tăng tính dễ bị tổn thương sinh kế khi có tác động của BĐKH và gia tăng áp lực môi trường đến các yếu tố TNNM và hạn hán [5], [36], [37]. Trong những năm vừa qua, nhiều nghiên cứu đã được triển khai về đánh giá rủi ro hoặc đánh giá tổn thương, như nghiên cứu của các tổ chức GIZ, ADB, World Bank, UNDP, WWF, hay nghiên cứu của Carew – Reid, *et al.* (2008) và Madhuri *et al.* (2015) cũng đã cho rằng chỉ số tổn thương sinh kế (LVI) đã được sử dụng như là một trong những phương pháp phù hợp để đánh giá tính tổn thương sinh kế dưới nhiều biến đổi như BĐKH và gia tăng áp lực môi trường cho các vùng đồng bằng trên thế giới trong đó có khu vực hạ lưu MK [37], [38].

## **1.3 Tổng quan về các giải pháp thích nghi và giảm nhẹ với biến động tài nguyên nước mặt và hạn hán**

### **1.3.1 Giải pháp phi công trình**

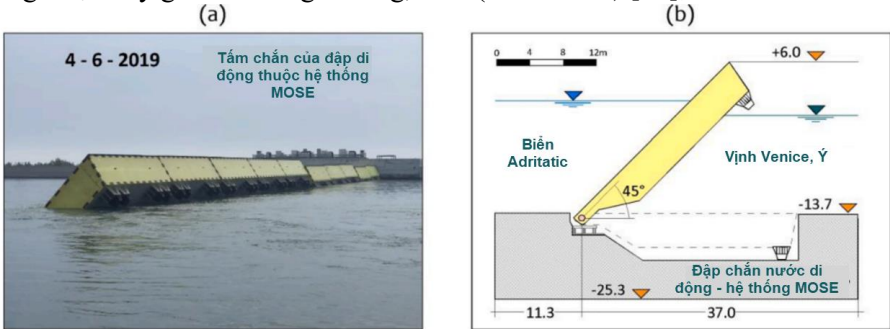
Các nghiên cứu gần đây, nhận thấy được ảnh hưởng tiêu cực của biến động nguồn nước ở năm hạn hán và XNM gia tăng lên hoạt động SXL, nhiều giải pháp phi công trình như chuyển dịch cơ cấu sản xuất (thời vụ và cây trồng) phù hợp với hiện trạng được đề xuất để thích nghi với điều này [3], [39]. Điển hình, nghiên



cứu của Tô *et al.* (2020) đã sử dụng mô hình AQUACROP để thử nghiệm mô phỏng giải pháp dịch chuyển thời vụ SXL ĐX và Hè Thu các tỉnh ven biển tránh các đợt hạn hán, XNM và khai thác lợi thế giảm lũ, kết quả cho thấy hiệu quả giảm thiệt hại vụ ĐX trong năm 2020 [3].

### 1.3.2 Giải pháp công trình

Từ ngàn năm trước con người đã biết sử dụng các đập, đê, công là công trình cố định dâng nước. Càng về sau này, sự phát triển của kỹ thuật khoa học tiên tiến đã giúp họ chế tạo ra những công/đập có khả năng di động các cấu kiện nâng/hạ các khối ngăn dòng chảy để dâng và giữ nước mà vẫn đảm bảo lưu thông thủy. Điển hình như ở Hà Lan có đập Haringvliet (1970), ở Hàn Quốc có đập sông Nakdong (1987) và ở Ý có hệ thống đập di động “mobile barrier” MOSE (2022) có khả năng nâng các tấm chắn khi được bơm và rút nước ra khỏi các tấm rỗng (Hình 2-1), ... là những công trình đồ sộ ghi danh kỷ lục lịch sử [40]. Ở Việt nam, điển hình có hệ thống công đập trụ đỡ Cái Lớn, Cái Bé (2022) ở vùng ven biển tây ĐBSCL [41] và công trình đập xả lan di động, điển hình như đập Thảo Long được xây gần cửa sông Hương, Huế (2006-2007) [42], ...



Hình 1-1. Hệ thống đập di động MOSE: (a) Hình ảnh tấm chắn MOSE (chụp 2020) và mô phỏng cắt dọc đập di động MOSE (b) (R.A. Mel *et al.* [40])

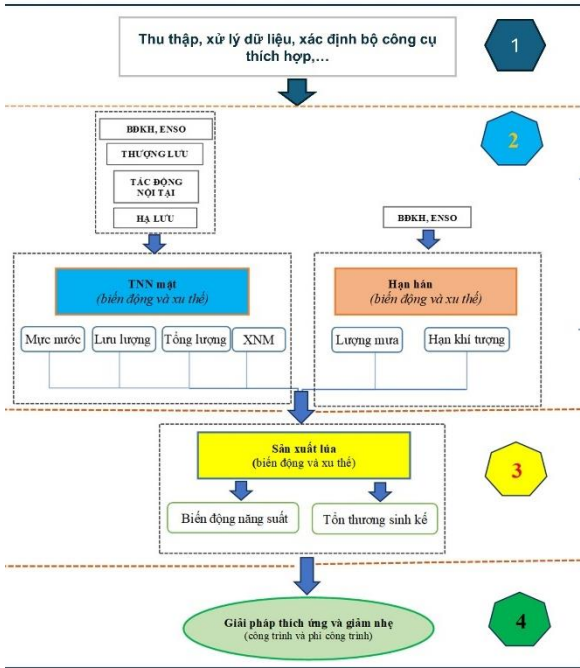
Để đánh giá mô phỏng hiệu quả của giải pháp công trình các nghiên cứu gần đây hay sử dụng công cụ mô hình toán 1D đã được xây dựng bởi các hãng phần mềm lớn như DHI, HEC, SOBEK... Điển hình, gần đây nhất trong nghiên cứu Nghi *et al* (2020), cũng đã sử dụng mô hình Mike 1D để mô phỏng hiệu quả của giải

pháp nâng cấp việc trữ nước trong các kênh rạch vùng Đồng Tháp Mười, ĐBSCL[43],...

## CHƯƠNG 2 DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1 Khung nghiên cứu

Khung phương pháp luận nghiên cứu được xây dựng gồm 3 cụm công việc (1) nghiên cứu biến động TNNM và hạn hán dưới tác động của các yếu tố khí hậu và phi khí hậu chính; (2) nghiên cứu biến động SXL dưới tác động của TNNM và hạn hán; (3) nghiên cứu giải pháp thích nghi và giảm nhẹ “biến động TNNM hạn hán và tác động của nó đến SXL vùng ĐBSCL” xem sơ đồ khung nghiên cứu Hình 2-1:



Hình 2-1. Tóm tắt khung nghiên cứu luận án

### 2.2 Dữ liệu

Nghiên cứu này sử dụng các dữ liệu sau đây:

- **Dữ liệu khí tượng:** Dữ liệu 10 trạm mưa chính độ dài 34-36 năm nguồn Đài khí tượng thủy văn Nam Bộ.
- **Dữ liệu thủy văn:** 5 trạm lưu lượng: Tân Châu(TC), Châu Đốc (CĐ), Vàm Nao (VN), Cần Thơ (CT), Mỹ Thuận (MT) và 7 trạm quan trắc mực nước độ dài 36 năm nguồn Đài khí tượng thủy văn Nam Bộ và Ủy hội sông MK (MRC).
- **Dữ liệu mặn:** nội đồng: Hòa Bình, Đại Ngãi (ĐN), Trà Vinh (TV), Cầu Quan, Gò Quao; và dữ liệu mặn các trạm ngoài biển: Bến Trại, Trần Đề, Gành Hào, Sông Đốc độ dài 20-30 năm từ nguồn Viện KHTLMN, và Đài khí tượng thủy văn Nam Bộ.
- **Dữ liệu đặc trưng lưu vực:** mạng lưới sông kênh rạch, dữ liệu mặt cắt sông, địa hình, các công trình thủy lợi hiện hữu, .... nguồn dữ liệu từ các đề tài của Viện KHTLMN và trung tâm quản lý nước và BDKH (WACC).
- **Dữ liệu BDKH và ENSO:** từ mô hình khí hậu toàn cầu (GCM) & cục quản lý Đại dương và Khí quyển Quốc gia của Hoa Kỳ (NOAA).
- **Dữ liệu điều tra, phỏng vấn:** tình hình SXL vùng ĐBSCL nguồn niên giám thống kê; tham gia phỏng vấn ý kiến của 300 hộ nông dân SXL về biến động TNNM và SXL nguồn dữ liệu của bài báo [44] và tham gia biên soạn và phỏng vấn ý kiến 30 chuyên gia về giải pháp giảm nhẹ thích nghi với các biến động TNNM và hạn hán của báo cáo hội thảo [45].

## 2.3 Phương pháp nghiên cứu

### 2.3.1 Phương pháp thu thập, kế thừa dữ liệu

Các số liệu thực đo được thu thập và kế thừa từ đề tài, dự án trước đây và các đề tài, dự án đang triển khai. Sau đó, tổng hợp, xử lý các số liệu đã thu thập bằng chương trình Excel và chương trình R.

### 2.3.2 Phương pháp điều tra, khảo sát, phỏng vấn

#### 2.3.2.1 Điều tra nông hộ

Để đánh giá nhận thức của người nông dân trước tác động của biến đổi khí hậu và áp lực môi trường đến SXL của họ. Nghiên cứu đã phân tích dữ liệu phỏng vấn của 300 hộ nông dân tham gia SXL vào cuối năm 2019 (thuộc 3 huyện Châu Phú, Tri Tô và Chợ Mới) thuộc tỉnh An Giang.

### 2.3.2.2 *Phỏng vấn chuyên gia*

Phần này sử dụng phương pháp lấy mẫu ngẫu nhiên đơn giản gửi bảng hỏi đến các chuyên gia qua hình thức trực tuyến vào năm 2020. Khảo sát quan điểm của 30 chuyên gia về lĩnh vực tài nguyên nước và môi trường về các giải pháp thích nghi và giảm nhẹ trước các biến động TNNM và hạn hán cho vùng ĐBSCL.

### 2.3.3 *Phương pháp đánh giá tính dễ tổn thương sinh kế (LVI)*

Phương pháp LVI đo lường mỗi phần con trên một thang đo khác nhau, cần phải được chuẩn hóa trước khi trở thành một chỉ số. Điều này được thực hiện bằng cách sử dụng phương trình được đề xuất bởi Hahn et al. 2019 [46] :

$$Index_{S_d} = \frac{S_d - S_{min}}{S_{max} - S_{min}} \quad (2.1)$$

Trong đó:  $S_d$  là thành phần phụ của từng khía cạnh của các huyện thí điểm.  $S_{max}$  và  $S_{min}$  lần lượt là giá trị nhỏ nhất và lớn nhất của mỗi thành phần. Sau khi các thành phần phụ được chuẩn hóa, giá trị trung bình được tính theo công thức sau:

$$M_d = \frac{\sum_{i=1}^n Index_{S_{d_i}}}{n} \quad (2.2)$$

$M_d$  là một trong bảy thành phần chính trong các khu d hoặc một trong các chỉ số đo lường mức độ dễ bị tổn thương.  $Index_{S_{d_i}}$  là giá trị chỉ số của thành phần/chỉ số thứ i, n là số lượng thành phần phụ trong mỗi thành phần chính. Chỉ số LVI (3):

$$LVI_d = \frac{\sum_{i=1}^7 w_{M_i} M_{d_i}}{\sum_{i=1}^7 w_{M_i}} \quad (2.3)$$

Trong đó,  $LVI_d$  là chỉ số tổn thương sinh kế đối với sự nhạy cảm với BĐKH hoặc áp lực môi trường ở khu vực nghiên cứu. Trọng số của mỗi thành phần chính,  $w_{M_i}$ , được xác định bởi số lượng phần con đóng góp vào thành phần chính.

### 2.3.4 *Phương pháp thống kê*

#### 2.3.4.1 *Kiểm định Mann-Kendall*

Kiểm định Mann-Kendall được dùng để so sánh độ lớn tương đối của các phần tử trong chuỗi dữ liệu theo thời gian để có thể tránh được các giá trị cực đại hoặc cực tiểu cục bộ của chuỗi số liệu. Khi đó chỉ số thống kê Mann-Kendall S được định nghĩa:

$$S = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2.4)$$

$$\text{Trong đó: } \text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{khi } x_j - x_i > 0 \\ 0 & \text{khi } x_j - x_i = 0 \\ -1 & \text{khi } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

Giá trị  $S > 0$  chỉ xu thế tăng,  $S < 0$  chỉ xu thế giảm. Tuy nhiên cần phải tính toán xác suất đi kèm với  $S$  để xác định mức ý nghĩa của xu hướng.

Phương sai của  $S$  được tính theo công thức:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [m(m-1)(2m+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (2.6)$$

Gán xác suất của  $S$  là  $Z_{mk}$

$$Z_{mk} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{khi } S > 0 \\ 0 & \text{khi } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{khi } S < 0 \end{cases} \quad (2.7)$$

Giá trị  $Z$  tới hạn  $Z_{1-\alpha/2} = 1,96$ ; xu thế tăng hoặc giảm của dữ liệu chỉ có ý nghĩa thống kê khi  $|Z_{mk}| \geq 1,96$ , những giá trị  $|Z_{mk}| < 1,96$  thì xu thế không có ý nghĩa thống kê. Trong luận án chọn  $\alpha = 5\%$ .

#### 2.3.4.2 Ước lượng độ dốc Sen

Để ước tính độ lớn của xu thế chuỗi  $X$  (độ dốc đường xu thế) (tốc độ tăng hay giảm trung bình trong 1 bước thời gian) ta dùng ước lượng Sen.  $\beta_{ss}$  là trung vị của chuỗi  $m(m-1)/2$  phần tử trong công thức sau:

$$\beta_{ss} = \text{median} \left\{ \frac{x_l - x_k}{l - k}, \text{ với } k = 1, 2, \dots, m-1, l > k \right\} \quad (2.8)$$

#### 2.3.4.3 Kiểm định Pettitt

Kiểm định Pettitt là phương pháp kiểm định phi tham số dùng để xác định tính đồng nhất của chuỗi dữ liệu theo thời gian [47]. Thống kê sử dụng trong kiểm định Pettitt được định nghĩa như sau:

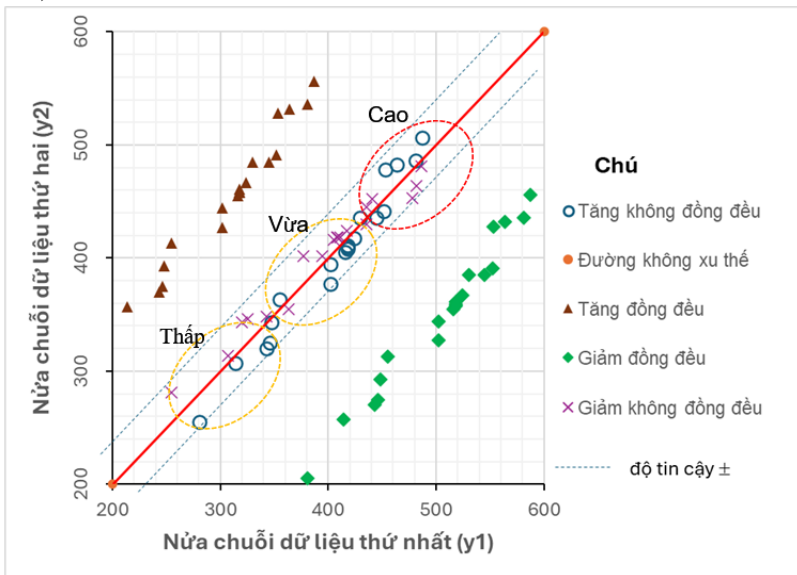
$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^T D_{ij} \quad (2.9)$$

Trong đó:  $D_{ij} = \text{sgn}(x_i - x_j)$  tương tự công thức (2.5)

Điểm (hay năm) thay đổi tại thời điểm thứ T khi:  $K_T = \max_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}|$

### 2.3.4.4 Phương pháp phân tích xu thế cải tiến (ITA)

Phương pháp xác định xu thế đổi mới này được đề xuất bởi Sen, 2012; Şen, 2017. Trong phương pháp đồ thị ITA có thể phân dữ liệu thành ba cụm dữ liệu con cường độ “thấp”, cường độ “vừa” và cường độ “cao”, cách phân này dựa vào tần suất xuất hiện của từng cụm dữ liệu hay phân cấp khí tượng thủy văn [48] ( xem Hình 2-2).



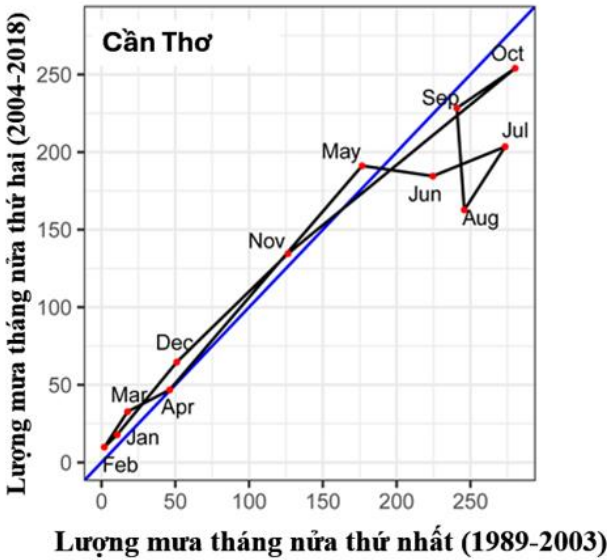
( Nguồn: Dabanli et al., 2021; Şen, 2017; Z. Sen, 2012 [48] )

Hình 2-2. Biểu diễn đồ thị chuỗi dữ liệu theo phân tích ITA với các xu thế

### 2.3.4.5 Phân tích xu thế bằng phương pháp đa giác cải tiến (IPTA) với khái niệm ngôi sao

IPTA là một trong những phương pháp cải tiến phân tích xu thế bởi đồ thị trong lý thuyết đề xuất bởi (Şen et al. 2019) [52]. Phương pháp này có thể tính toán kích thước và độ dốc của các sự chuyển đổi xu hướng giữa các giai đoạn liên kế

(ví dụ, tháng, tuần) (Hình 2-3). Độ dốc của đường trên trục hoành được gọi là độ dốc của xu hướng. Một đường thẳng chia biểu đồ thành hai phần trong hệ tọa độ Descartes tỷ lệ 1:1 (45°). Nếu các điểm phân phối nằm phía trên (phía dưới) đường 1:1, thì xu hướng tăng (giảm) (Şen, 2012). Trong phương pháp IPTA, chỉ số ý nghĩa thống kê có thể được tính bằng phần trăm sai số tương đối ( $\alpha$ ) giữa hai nửa chuỗi [53].



Hình 2-3. Mẫu ứng dụng IPTA cho một trạm mẫu Cần Thơ đánh giá biến đổi xu thế mưa theo tháng

2.3.4.6 Mô hình hồi quy tuyến tính đa biến

Phương pháp này được phát triển từ phương pháp hồi quy tuyến tính, nhưng số lượng biến tăng lên nhiều hơn 2. Điều kiện để mô hình hồi quy đa biến đạt hiệu suất tốt khi hệ số tương quan R đa biến thuộc khoảng  $0,5 \leq r < 1$  [55].

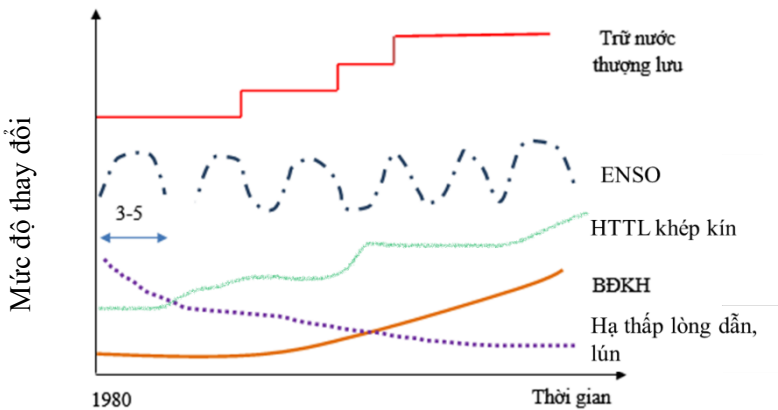
Mô hình hồi quy tuyến tính đa biến được thể hiện dưới phương trình sau.

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n + b \tag{2.10}$$

Trong đó: Y: Là biến kết quả của mô hình  $a_i$ : chỉ số độ dốc ( $i=1,2,\dots,n$ ); b: giá trị phần dư;  $X_i$ : là các biến liên qua đến kết quả của mô hình (đơn vị các biến này không cần thiết giống nhau).

### 2.3.4.7 Phương pháp phân tích nguyên nhân biến động xu thế theo yếu tố phát triển tự nhiên, kinh tế xã hội của lưu vực

Đường quá trình dòng chảy (lưu lượng, mực nước) là biểu hiện tổng hợp của các đặc trưng khí hậu và địa – vật lý đã chi phối các mối quan hệ mưa rào – dòng chảy của một lưu vực cụ thể [56]. Nguyên nhân gây ra biến đổi chế độ dòng chảy trên lưu vực sông do mức độ thay đổi của các yếu tố (hồ chứa, HTTL khép kín, hạ thấp lòng dẫn, lún, BĐKH và ENSO) theo thời gian (Hình 2-4). Để xác định và kiểm định điểm sự thay đổi xu thế dữ liệu bởi các yếu tố trên, nghiên cứu áp dụng phương pháp kiểm định Pettitt để xác định thời điểm có sự thay đổi tính chất các chuỗi dữ liệu (change point) nào trùng với yếu tố phát triển tự nhiên, KT-XH. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng tiến hành đối chiếu so sánh với các nghiên cứu trước đó và rút ra nguyên nhân gây biến động các yếu tố TNNM.



Hình 2-4. Minh họa các yếu tố chính có thể tác động đến đặc trưng TNNM

### 2.3.5 Phương pháp đánh giá hạn hán khí tượng bằng chỉ số SPEI

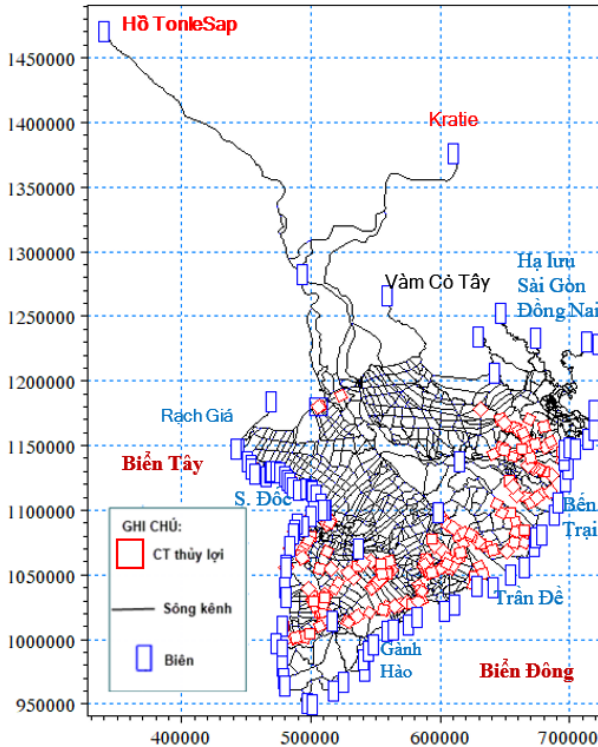
Chỉ số chuẩn hóa mưa và bốc hơi hay chỉ số SPEI lần đầu tiên được đề xuất bởi Vicente-Serrano *et al.* (2010) như là một chỉ số hạn hán cải tiến, đặc biệt phù hợp cho nghiên cứu về tác động của nó trên mức độ nghiêm trọng của hạn hán do hiện tượng nóng lên toàn cầu. Tập tin đầu vào ở dạng Excel (.csv) sau đó được đọc và tính toán bằng phần mềm R với gói “SPEI”. Nghiên cứu này tính chỉ số SPEI tỉ lệ 4 tháng đại diện hạn khí tượng vụ SXL.



### 2.3.6 Phương pháp mô hình toán

#### 2.3.6.1 Mô hình thủy lực 1D

Mô hình MIKE11 được thiết lập cho toàn bộ vùng đồng bằng châu thổ MK từ vị trí hồ Tonle Sap và Kratie thuộc lãnh thổ Campuchia kéo dài đến biển Đông, biển Tây, hạ lưu Sài Gòn Đồng Nai và bao gồm toàn bộ vùng ĐBSCL (Hình 2-5).



Hình 2-5. Sơ đồ tính mô hình thủy lực MIKE 11 khu vực ĐBSCL và các công trình thủy lợi vận hành mùa khô

#### 2.3.6.2 Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Công việc hiệu chỉnh và kiểm định hệ số nhám và vận hành các công trình trong mô hình 1D ĐBSCL cho 2 thời đoạn mùa khô 2016 và 2020.

Kết quả so sánh giá trị mô phỏng và thực đo của hai giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực cho mực nước tại 5 trạm TC, CĐ, Vàm Nao, CT và MT cho thấy rằng mô hình mô phỏng khá phù hợp về giá trị thống kê hệ số Nash từ

0,84-0,95 $\geq$  0,7, sai số trung bình MAE và sai số trung phương MSE của mực nước ở 5 trạm không lớn <20% nên đều ở mức tốt. Còn kết quả hệ số NASH lưu lượng tại 5 trạm TC, CĐ, Vàm Nao, CT và MT từ 0,70-0,95  $\geq$  0,7 là tốt, nên mô hình 1D-ĐBSCL đáng tin cậy để chạy các KB mùa khô.

### **2.3.7 Phương pháp phân tích tổng hợp**

Nghiên cứu tiến hành phân tích tổng hợp tóm gọn các kết quả thống kê các xu thế TNNM và hạn hán. Nối tiếp, nghiên cứu cũng phân tích tổng hợp để nhận định tình hình SXL (sản lượng và sinh kế) vùng ĐBSCL trong tương lai. Bên cạnh, đó nghiên cứu tiến hành phân tích tổng hợp các tài liệu nghiên cứu trước để đối chiếu sự tương đồng với kết quả với kết quả luận án để tăng tính đúng đắn của các kết quả của nghiên cứu.

### **2.3.8 Phương pháp kỹ thuật GIS**

Gồm các công việc như số hóa dữ liệu mạng lưới sông/kênh, phân tích không gian sự thay đổi XNM, lượng mưa, hạn khí tượng và sau đó biên tập, trình diễn kết quả.

## **CHƯƠNG 3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

### **3.1 Đánh giá biến động tài nguyên nước mặt và hạn hán**

#### **3.1.1 Biến động tài nguyên nước mặt**

##### *a) Mực nước*

Bảng 3.1 tóm tắt kết quả xu thế mực nước ngày (MNN) sông chính MK từ Kratie đến cửa sông ĐBSCL, được đánh giá qua 8 giá trị thống kê MNN cho 7 trạm (Kratie, Châu Đốc (CĐ), Tân Châu (TC), Cần Thơ (CT), Mỹ Thuận (MT), Đại Ngãi (ĐN) và Trà Vinh (TV)) trong giai đoạn 1985-2020 bởi phương pháp MK-Sen và ITA. Phương pháp MK-Sen phát hiện được 44 giá trị có xu thế tăng và giảm, còn 12 giá trị không có xu thế. Còn phương pháp ITA xác định được 51 giá trị có xu thế (tăng/giảm), còn 6 giá trị không có xu thế.

Bảng 3.1 Tổng hợp kết quả xu thế MNN với MK-Sen và ITA tại các trạm

Tên trạm	Kiểm định MK								ITA								
	Xu thế MNN H (m)								Xu thế MNN H (m)								
	Cả năm	Mùa lũ	Mùa khô	Max	95%	mean	5%	min	Cả năm	Mùa lũ	Mùa khô	Max	95%	mean	5%	min	
Kratie																	
CE																	
TC																	
CT																	
MT																	
ĐN																	
TV																	
<i>Chú ý: có xu thế với ý nghĩa thống kê 95%</i>																	

Kết quả trên cho thấy những năm gần đây đặc biệt sau giai đoạn 2008-2009 do động lực phát triển các đập thủy điện lớn trên dòng chính MK dẫn đến xu thế TNNM có sự suy giảm. Diễn hình ở yếu tố MNN ở mức giá trị mực nước “cao” và “vừa” tại Kratie và các trạm vùng thượng ĐBSCL bị giảm vào mùa lũ và mùa khô từ 2010 đến 2020. Đối với mực nước “thấp” tại Kratie và vùng thượng ĐBSCL là có xu thế tăng động lực gây ra điều này là hồ, đập trữ thượng nguồn. Nhưng những năm 2016 và 2020 MNN “thấp” cũng bị xuống giảm đánh kể so với trung bình nhiều năm do hồ chứa kết hợp với hạn hán.

Bảng 3.2 Tóm tắt xu thế và động lực chính gây ra biến động MNN “lớn” và MNN “nhỏ” ở các trạm

Tên trạm	Xu thế MNN “lớn”	Động lực gây biến động				Xu thế MNN “nhỏ”	Động lực gây biến động			
		Dung tích hồ chứa thượng lưu tăng	Hạ thấp lòng dẫn	Đê bao khép kín	NBD		Dung tích hồ chứa thượng lưu tăng	Hạ thấp lòng dẫn	Đê bao khép kín	NBD
Kratie	Giảm	☒				Tăng	☑			
Châu Đốc	Giảm	☒				Tăng	☑	☑		

Tân Châu	Giảm	☒	☒			Không			
Cần Thơ	Tăng			☑		Tăng		☑	☑
Mỹ Thuận	Giảm	☒	☒			Không			
Đại Ngãi	Tăng		☒	☑	☑	Tăng		☑	☑
Trà Vinh	Tăng			☑	☑	Tăng		☑	☑

Ghi chú:



: Động lực giảm

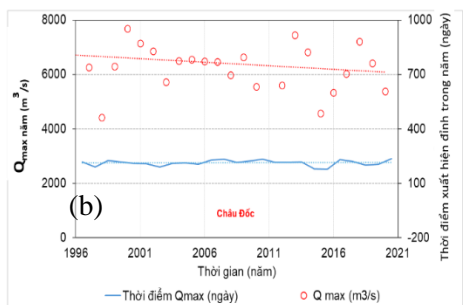
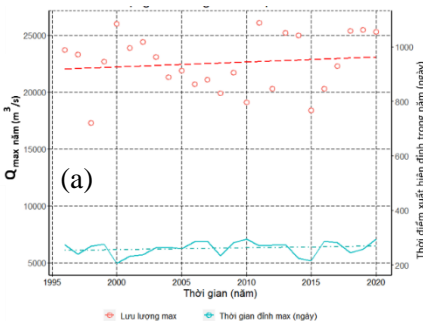


: Động lực tăng

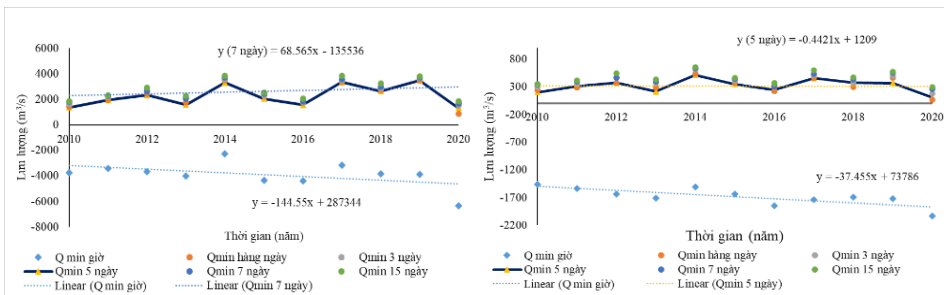
Đối với các vùng giữa và cửa sông ven biển, thì kết quả nghiên cứu này cho thấy xu thế mực nước tại Mỹ Thuận, sông Tiền có xu thế suy giảm mạnh nguyên nhân chính là do hạ thấp lòng dẫn và sự giảm tổng lượng nước ở thượng nguồn về. Thêm nữa, mực nước các vùng cửa sông đều có xu thế dâng cao. Tóm lại, các động lực gây biến động TNNM ở yếu tố MNN là được chỉ ra ở Bảng 3.2.

### b) Lưu lượng

Nghiên cứu xác định được, về biến động lưu lượng dòng chảy mùa lũ lớn nhất tại TC và CĐ có xu thế không rõ ràng vì xu thế phát hiện không có ý nghĩa kê, tương tự lưu lượng dòng chảy thấp nhất ngày mùa khô về ĐBSCL qua 2 trạm TC và CĐ cũng có xu hướng không rõ ràng trong giai đoạn 1996-2020 và thời gian đỉnh xuất hiện đỉnh dòng chảy lớn nhất và nhỏ nhất có xu thế xảy ra sớm hơn (Hình 3-1 và Hình 3-2). Nhưng nghiên cứu tìm thấy điều chắc chắn rằng, dòng chảy ngược dòng (dấu “-“) hướng từ biển lên CĐ và TC lại có xu thế tăng từ 43,0 đến gần 112 m<sup>3</sup>/s/năm đều này cho thấy đang có sự gia tăng mức ảnh hưởng dòng triều tại vị trí vùng thượng nguồn sông chính (Hình 3-2 và Hình 3-3).



Hình 3-1 Xu thế dòng chảy lớn nhất vùng thượng ĐBSCL và thời điểm xuất hiện các giá trị cực trị tại trạm Tân Châu (a) và Châu Đốc (b)



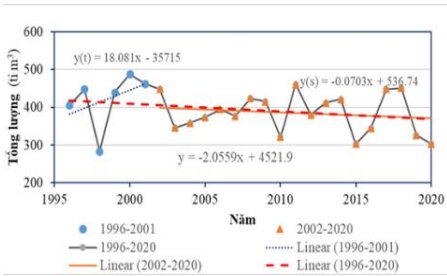
Hình 3-2 Xu hướng của lưu lượng thấp nhất và lưu lượng dòng ngược (Q “-“) tại trạm Tân Châu.

Hình 3-3 Xu hướng của lưu lượng thấp nhất và lưu lượng dòng ngược (Q “-“) tại trạm Châu Đốc

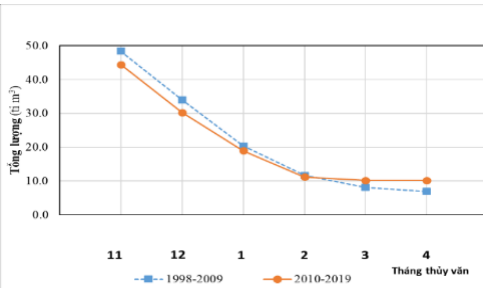
Năm 2020 có dòng chảy nhỏ nhất trong các năm từ 1996-2020. Mặc dù năm đó ít hạn hán hơn vì chỉ số ONI thấp hơn năm 2016, nguyên nhân được chỉ ra rằng do sự hình thành các cửa thủy điện lớn, đặc biệt, dự án thủy điện Xayaburi, Lào vào năm 2019 đi vào vận hành [17].

### c) Tổng lượng

Nghiên cứu sử dụng MK-Sen và Pettitt để phân tích dữ liệu tổng lượng dòng chảy  $W$  (tỉ  $m^3$ ) về TC và CĐ trong giai đoạn 1996-2020. Kết quả cho thấy rằng, Về tổng lượng dòng chảy trung bình nhiều năm 1996-2020 qua TC+CĐ khoảng 398 tỉ  $m^3$ . Thêm nữa, tổng lượng dòng chảy qua 2 trạm TC và CĐ có xu thế giảm nhẹ  $-2$  tỉ  $m^3$ /năm (nhưng không có ý nghĩa thống kê) (Hình 3-4). Điểm đáng chú ý, sau giai đoạn 2009, khi hình thành thêm các đập siêu lớn trên dòng chính MK đã gây ra sự suy giảm đáng kể tổng lượng trung bình  $-1,2$  tỉ  $m^3$  ở các tháng 11 đến tháng 2 năm sau của giai đoạn 2010-2020 so với giai đoạn 1996-2009. Điều này là nguyên nhân gây ra đỉnh mặn xảy ra sớm ở vùng cửa sông ĐBSCL. Đặc biệt ở năm cực hạn 2015-2016 và 2019-2020, tổng lượng dòng chảy trung bình tháng 11 đến tháng 4 giảm từ 39,4% và 29,0% so trung bình nhiều năm theo thứ tự Hình 3-5.



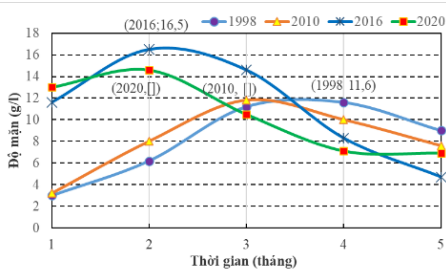
Hình 3-4 Xu thế tổng lượng (tỉ m<sup>3</sup>) về ĐBSCL tại trạm Tân Châu và Châu Đốc



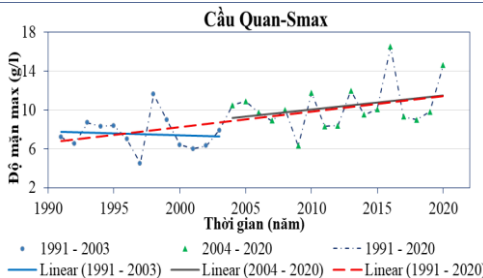
Hình 3-5 So sánh tổng lượng trung bình tại trạm TC + CD các tháng giữa hai giai đoạn 1998-2009 và 2010-2019

d) *Xâm nhập mặn*

Theo kết quả số liệu thu thập thống kê, nghiên cứu cũng chỉ ra mối tương đồng giữa sự gia tăng dòng chảy cực tiểu  $Q_{\min}$  giờ tại TC và CD (dòng chảy ngược từ biển có giá trị âm) hướng về thượng nguồn có xu hướng tăng lên với sự gia tăng chiều dài XNM của ranh mặn 4 (g/l) năm 2020 (65 km) vào sâu hơn năm 2016 (60 km) là chênh hơn 5 km trên sông Hậu, gần giáp đến TP. Cần Thơ. Thêm nữa, đường đẳng mặn 4 (g/l) năm 2016 và 2020 cũng vào sâu hơn khá nhiều so với TBNN (47 km) là chênh hơn 18 km và 21 km trên sông Tiền, theo thứ tự năm.



Hình 3-6 Diễn biến đỉnh mặn từ tháng 1 đến tháng 5 tại trạm Cầu Quan-sông Hậu qua các thời kỳ



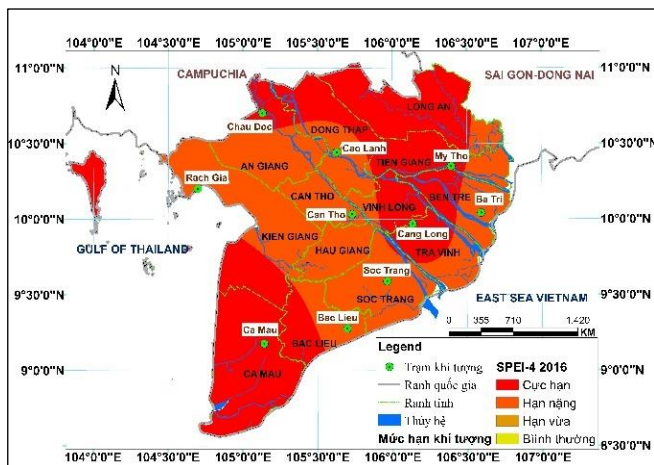
Hình 3-7 Xu thế độ mặn trạm Cầu Quan, sông Hậu 1991 – 2020

Thêm nữa, kết quả phân tích nồng độ mặn tối đa tại Cầu Quan trên sông Hậu tăng với tỉ lệ độ mặn lần lượt là 0,17 g/l/năm, trong giai đoạn 1991-2020. Điều này cho thấy những năm gần đây mặn xâm nhập gay gắt hơn so với trước đây ở vùng cửa sông Hình 3-7. Bên cạnh đó, đỉnh mặn xảy ra sớm hơn từ 1 đến 2 tháng ở vùng cửa sông ĐBSCL (Hình 3-6).

### **3.1.2 Biến động hạn hán**

Về biến động lượng mưa, kết quả đánh giá xu thế theo phương pháp IPTA phát hiện ở các trạm ĐBSCL, BĐKH đã làm lượng mưa xu hướng giảm đóng vai trò chính vào tháng 4, tháng 7 và Tháng 10. Trong khi đó, xu hướng tăng đóng vai trò chính vào các tháng 5, 9, 11, 12 và 1. Bên cạnh đó phương pháp IPTA ngôi sao cũng giúp định lượng được sự chuyển dịch được lượng mưa giữa các tháng, điển hình như lượng mưa tháng 4 giảm đi có xu thế chuyển qua gia tăng ở tháng 5 hầu hết ở các trạm.

Về biến động hạn hán khí tượng, kết quả chỉ số SPEI-4 phát hiện tốt các hiện tượng hạn hán theo diễn biến thời gian, cường độ, tần suất và phân bố không gian, cũng như là biến đại diện đánh giá hạn hán ảnh hưởng đến SXL vùng ĐBSCL. Sự kiện hạn hán cực đoan từ các sự kiện từ tháng 10 năm 2013 đến tháng 9 năm 2016 là cường độ cao nhất và thời gian kéo dài nhất trong số mười sự kiện hạn hán cực đoan (1985-2020). Có sự gia tăng tần suất và cường độ hạn hán khí tượng vào mùa khô là do BĐKH và ENSO (El-Nino) làm gia tăng nhiệt độ, gây suy giảm lượng mưa một số tháng mùa khô. Điều này làm, các đợt hạn hán diễn ra nghiêm trọng hơn trong những năm gần đây và có xu hướng bao trùm khắp vùng ĐBSCL (Hình 3-8).



Hình 3-8 Phân bố không gian giá trị SPEI-4<sub>min</sub> trong năm 2016

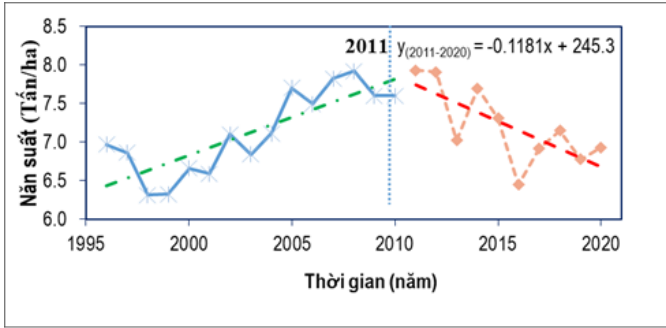
## 3.2 Đánh giá biến động sản xuất lúa

### 3.2.1 Biến động diện tích, sản lượng, năng suất lúa

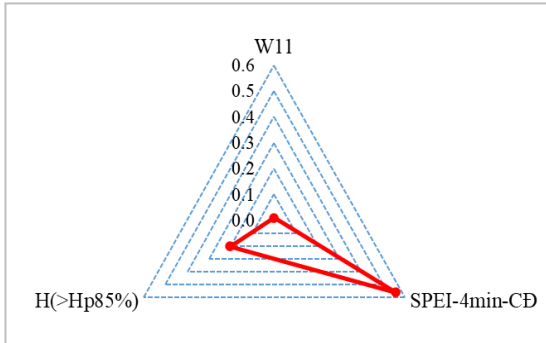
Theo kết quả thống kê, diện tích gieo trồng lúa ĐBSCL năm 1995 là 3,2 triệu ha tăng đến năm 2000 đạt gần 3,95 triệu ha, theo đó sản lượng lúa cũng tăng theo từ 12,83 triệu tấn ở năm 1995 và đạt đến 16,7 triệu tấn vào năm 2000 [58]. Trong những năm từ 2009 đến 2020 sản lượng lúa ĐBSCL có những điểm sụt giảm, mặc dù diện tích sản xuất gia tăng, giống lúa và trình độ kỹ thuật sản xuất đã đạt chất lượng cao. Điển hình năm 2009, diện tích gieo trồng đạt 3,87 triệu ha lớn hơn năm 2008 (3,865 triệu ha), nhưng sản lượng lúa lại thấp hơn năm 2008 là 0,15 triệu tấn. Thêm nữa, năm 2016 và 2017 diện tích gieo trồng lúa ĐBSCL cao hơn năm 2012, nhưng ngược lại sản lượng lúa thu hoạch được lại thấp hơn năm 2012 từ 0,5-0,7 triệu tấn. Cụ thể, sau năm 2015, trong các vụ mùa ĐX thì sản lượng lúa suy giảm mạnh nhất: giảm từ 0,54-1,65 triệu tấn, hai vụ Hè Thu và vụ Mùa giảm 0,06-0,59 triệu tấn/ha. Bởi vậy, nguyên nhân gây ra điều này được kết quả nghiên cứu chỉ ra do biến động TNNM và hạn hán có mức độ ảnh hưởng đến năng suất lúa của từng vùng của ĐBSCL như sau:

Cụ thể, kết quả nghiên cứu tìm thấy năng suất lúa huyện An Phú, An Giang bị suy giảm từ sau năm 2010 với tỉ lệ -0,18 tấn/ha/năm (Hình 3-9).





Hình 3-9 Biểu đồ thay đổi sản lượng lúa tại huyện An Phú, tỉnh An Giang. Sự suy giảm năng suất lúa ĐX của vùng này bị tác động gia tăng hạn khí tượng qua chỉ số chuẩn hóa mưa và bốc hơi SPEI-4<sub>min</sub> nhiều nhất, sau đó ảnh hưởng do suy giảm yếu tố mực nước cao mùa lũ ( $H \geq H_{p85\%}$ ) đã tác động nhiều thứ hai và sau đó là yếu tố TNNM khác (Hình 3-10).



Hình 3-10 Chỉ số tương quan (CI) của các biến tài nguyên nước mặt, hạn hán với năng suất lúa Đông Xuân, huyện An Phú-An Giang.

Bên cạnh đó, nghiên cứu có thiết lập được phương trình giữa Y (năng suất lúa vụ ĐX) khu vực huyện An Phú, An Giang với các yếu tố TNNM và hạn hán với hệ R đa biến = 0,70, được biểu thị như sau:

$$Y_d = 0,0064 X_1 + 0,417 X_2 + 0,023 X_3 + 7,06 \quad (3.1)$$

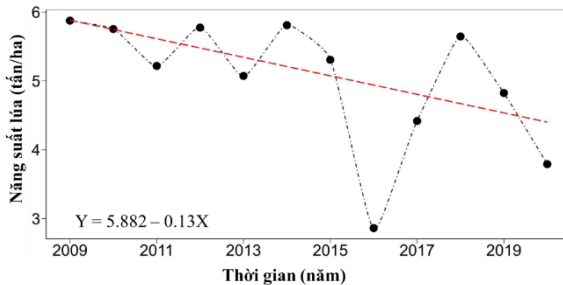
Trong đó:  $Y_d$  = Năng suất sản lượng lúa của vụ lúa mùa Xuân đầu tiên tại huyện An Phú từ năm 2011 đến 2020 (từ 11-đến tháng 2 hoặc tháng 3) (tấn/ha).  $X_1$ : Tổng lượng nước về TC và CD vào tháng 11 (có xu thế giảm)  $W_{11}$  (tỷ m<sup>3</sup>).  $X_2$ : Chỉ số SPEI-4<sub>min</sub> cho 4 tháng mùa vụ ĐX ở An Giang từ tháng 11 đến tháng 2

(chú ý SPEI min thường dấu âm) và  $X_3$ : Mức nước lên cao trung bình ( $\bar{H} \geq H_{p85\%}$ ) tại các trạm thủy văn TC và CD (m).

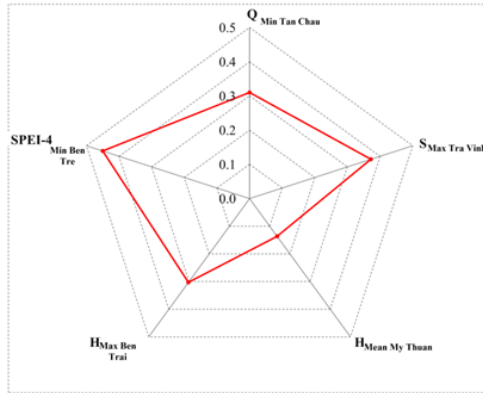
Còn đối SXL, năng suất lúa vụ ĐX của tỉnh Bến Tre cho thấy một sự suy giảm đáng kể về mặt thống trong giai đoạn từ 2009 đến 2020, với tốc độ trung bình khoảng 0,13 tấn/ha mỗi năm (Hình 3-11). Năng suất lúa vùng Bến Tre bị tác động nhiều nhất theo thứ tự là do gia tăng hạn khí tượng qua chỉ số chuẩn hóa mưa và bốc hơi SPEI-4<sub>min</sub>, thứ hai yếu tố XNM, thứ 3 là mực nước lớn nhất tại trạm Bến Trại và lưu lượng Q<sub>min</sub> (giờ) các tháng mùa khô về thượng nguồn (chủ yếu là dòng chảy ngược) và cuối cùng là yếu tố mực nước trung bình tại trạm MT (Hình 3-12). Bên cạnh đó, nghiên cứu có thiết lập phương trình giữa Y (năng xuất lúa vụ ĐX) khu vực Bến Tre và với các yếu tố TNNM và hạn hán với hệ số R đa biến =0.95, được biểu thị như sau:

$$Y_d = -0,181X_1 - 0,171 X_2 - 0,00013X_3 - 0,036X_4 + 0,619 \text{ SPEI-4}_{\min} + 40,58 \quad (3.2)$$

Trong đó:  $Y_d$  = Năng suất sản lượng lúa của vụ ĐX tại Bến Tre từ năm 2009 đến 2020 (từ 1 đến tháng 4) (tấn/ha).  $X_1$ :  $H_{\text{MaxBT}}$  mực nước lớn nhất tháng 1 đến tháng 4 tại Bến Trại (m).  $X_2$ :  $S_{\text{TV}}$  độ mặn lớn nhất từ tháng 1 đến tháng 4 tại trạm TV (g/l).  $X_3$ :  $Q_{\text{minTC}}$  lưu lượng nhỏ nhất về TC, trên sông Tiền từ tháng 1 đến tháng 4 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).  $X_4$ :  $H_{\text{MT}}$  mực nước trung bình từ tháng 1 đến tháng 4 tại trạm MT trên sông Tiền (m) và  $X_5$ : Chỉ số SPEI-4<sub>min</sub> cho 4 tháng mùa vụ ĐX ở Bến Tre từ tháng 1 đến tháng 4 (chú ý SPEI<sub>min</sub> thường dấu âm).



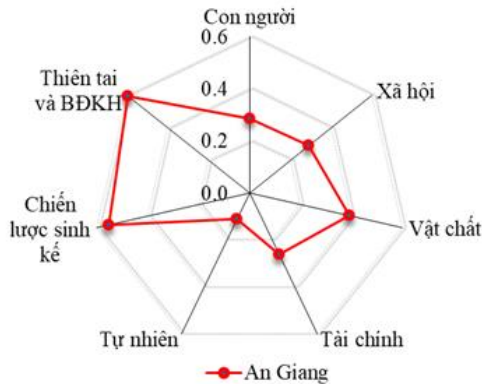
Hình 3-11 Biểu đồ thay đổi năng suất lúa vụ Đông Xuân tại tỉnh Bến Tre



Hình 3-12 Chỉ số tương quan của các biến TNNM và hạn hán với năng suất lúa Đông Xuân tỉnh Bến Tre

### 3.2.2 Biến động tính dễ bị tổn thương sinh kế hộ sản xuất lúa

Bên cạnh đó, BĐKH và thiên tai gây ra thay đổi TNNM và gia tăng hạn hán cũng ảnh hưởng đến tính dễ bị tổn thương sinh kế của hộ SXL. Cụ thể, sơ đồ nhện (Hình 3-13) cho kết quả các yếu tố dễ bị tổn thương LVI tính toán nằm trong khoảng từ 0 (ít bị tổn thương nhất) đến 0,6 (dễ bị tổn thương nhất). Trong đó, các chỉ số khảo sát giá trị từng thành phần LVI của nghiên cứu này cho thấy rằng nông dân trồng lúa ba vụ vùng ngập lũ đang chịu tổn thương đặc biệt nặng nề bởi

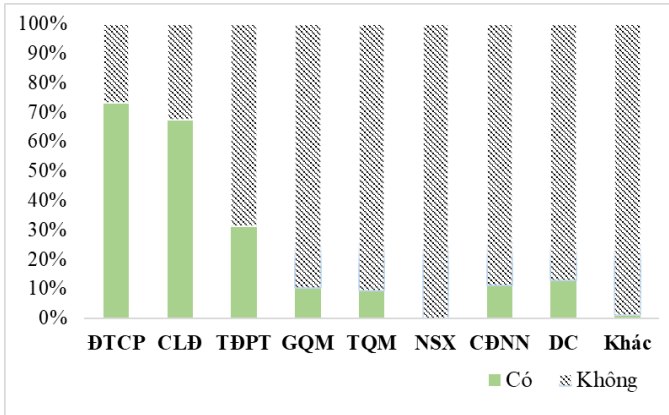


Hình 3-13 Sơ đồ đánh giá tổn thương hình nhện các thành phần chính của chỉ số LVI cho của nông hộ sản xuất lúa 3 vụ tỉnh An Giang

### 3.3 Giải pháp giảm nhẹ và thích ứng

#### 3.3.1 Đề xuất giải pháp phi công trình

Kết quả điều tra cho thấy các biện pháp thích ứng của nông dân trong việc đối phó với BĐKH và môi trường (gồm biến động chính như lượng mưa, nhiệt độ, gia tăng hạn hán) và biến động TNNM (lũ, kiệt và XNM) trong 5 năm qua (Hình 3-14).

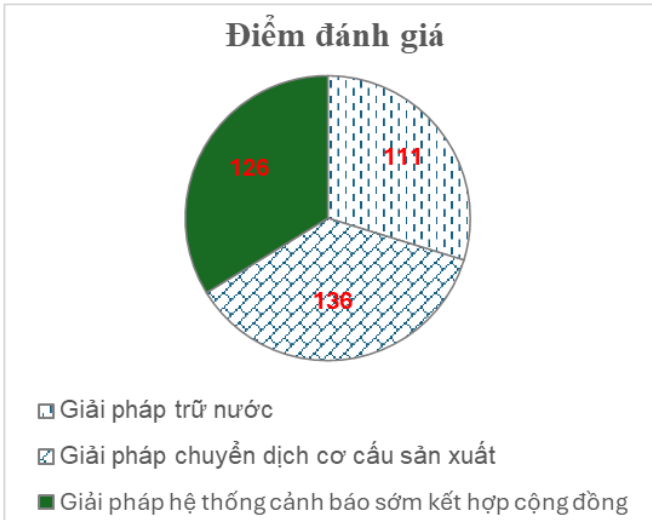


Hình 3-14 Các biện pháp thích ứng của nông dân với những thay đổi của khí hậu và môi trường (ĐTCP: Đầu tư chi phí nhiều hơn, CLĐ: Tăng công lao động, TĐPT: Thay đổi phương thức sản xuất, GQM: Giảm quy mô, TQM: Tăng quy mô, NSX: Ngừng sản xuất, CĐNN: Chuyển đổi nghề nghiệp, DC: Di cư qua vùng khác)

Nhiều nông dân SXL đã phải tăng đầu tư chi phí sản xuất và dành nhiều thời gian lao động và nhân lực hơn cho SXL, chiếm lần lượt 73% và 67% số người được phỏng vấn. Tiếp theo, nông dân phải thay đổi phương thức SXL (31%), di cư đến các vùng khác để kiếm sống (13%) và chuyển đổi nghề nghiệp (11%). Bên cạnh đó, khoảng 10% nông dân cho biết họ phải giảm quy mô sản xuất.

Thêm nữa, kết quả từ bản khảo sát 30 chuyên gia về các đề xuất giải pháp thích ứng và giảm nhẹ trước sự biến động TNNM và hạn hán ĐBSCL. Đứng đầu là các giải pháp phi công trình chuyển dịch cơ cấu sản xuất để thuận theo tự nhiên đạt 136 điểm, đứng thứ hai là giải pháp cảnh báo sớm kết hợp với cộng đồng

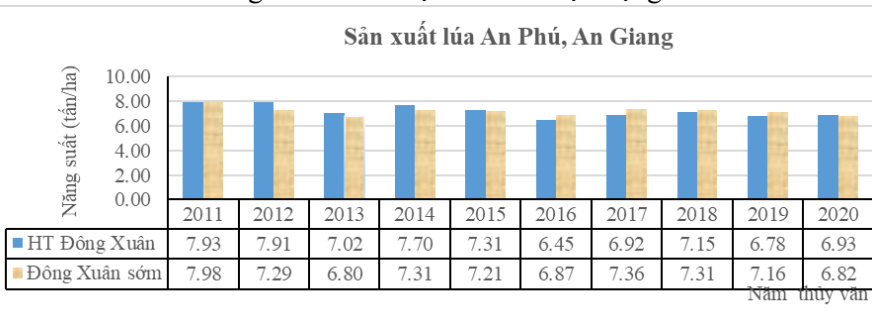
tham gia hỗ trợ cũng cao là 129 điểm, cuối cùng là giải pháp công trình trữ nước ở mức thấp thứ ba với mức là chiếm 111 điểm (Hình 3-15).



Hình 3-15 Quan điểm của các chuyên gia về giải pháp giảm tác động của biến động TNNM và hạn hán

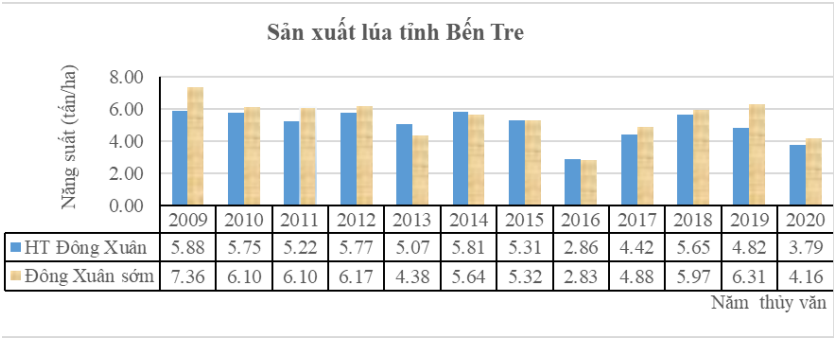
Từ cơ sở khoa học trên, nghiên cứu tiến hành đánh giá định lượng mức độ hiệu quả của 2 giải pháp phi công trình chuyển dịch cơ cấu sản xuất là chuyển dịch thời vụ SXL vụ lúa ĐX ở 2 khu vực nghiên cứu điển hình An Giang và Bến Tre.

Kết quả phân tích trên cho thấy những năm gần đây có sự thay đổi TNNM (giảm lũ, XNM xảy ra sớm 1-2 tháng) và sự gia tăng hạn hán vào mùa khô. Nên nghiên cứu đề xuất, giải pháp dịch chuyển mùa vụ canh tác lúa ĐX tỉnh An Giang và Bến Tre sớm hơn 1 tháng so với thời vụ canh tác hiện trạng.



Hình 3-16 Năng suất lúa vụ ĐX và ĐX sớm vùng An Phú, An Giang

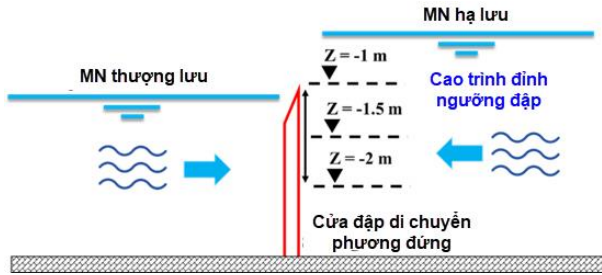
Kết quả tính toán với các mô hình hồi quy ở các phương trình (4.1 và 4.2), cho thấy rằng sự chuyển dịch này đã giúp cho năng suất lúa trung bình 2011-2020 của vụ ĐX sớm ở An Giang tăng 0,15 tấn/ha/năm (xem Hình 3-16). Tương tự, kết quả áp dụng dịch chuyển mùa vụ canh tác lúa ĐX tỉnh Bến Tre sớm hơn 1 tháng đã giúp cho năng suất lúa trung bình 2009-2020 tăng 0,35 tấn/ha/năm (xem Hình 3-17).



Hình 3-17 Năng suất lúa vụ ĐX và ĐX sớm vùng Bến Tre

### 3.3.2 Đề xuất giải pháp công trình

Về giải pháp công trình, luận án đề xuất xây dựng các đập tràn nhằm dâng cao nước trên dòng chính và vùng thượng ĐBSCL đang bị suy giảm vào một số thời đoạn điển hình được thí nghiệm lắp đặt ở CT, sông Hậu và MT, sông Tiền Hình 3-19.



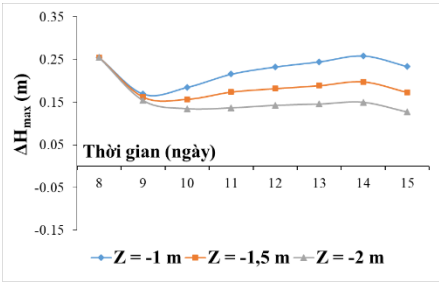
Hình 3-18 Minh họa về các ngưỡng vận hành cho các đập

Nghiên cứu tiến hành mô phỏng vận hành đập trong các kịch bản ngưỡng độ cao khác nhau (Z), cụ thể là ở các ngưỡng  $Z = -1\text{ m}$ ,  $-1.5\text{ m}$  và  $-2\text{ m}$  để đánh giá hiệu quả của việc nâng mực nước các đập trên sông Tiền và sông Hậu cho vùng nội

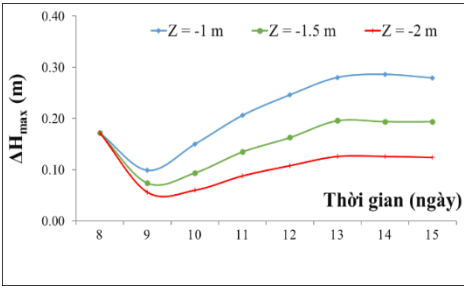
đồng TGLX và ĐTM lúc triều cao từ ngày 8-15 tháng 3 năm 2020, minh họa trong Hình 3-18.



Hình 3-19 Vị trí đập di động



Hình 3-20 Độ chênh lệch mực nước tối đa tại kênh An Bình với KB Z



Hình 3-21 Độ chênh lệch mực nước tối đa tại kênh Ba Thê với KB Z

Kết quả mô phỏng trên các Hình 3-20 và Hình 3-21, chỉ ra rằng các kịch bản (KB) vận hành ngưỡng đập di động  $Z = -2, -1,5$  và  $-1\text{m}$  đã giúp nâng cao mực nước (cực đại, trung bình và thấp nhất) từ  $0,1-0,85\text{m}$  trên sông chính và 2 vùng TGLX và ĐTM vào năm siêu kiệt 2020.

## **KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

### **Kết luận**

Các đóng góp mới của Luận án như sau:

1) Xây dựng được khung phương pháp luận tổng hợp đánh giá được mục tiêu chính và 4 nội dung công việc của luận án...

2) Xây dựng được các công cụ phân tích thống kê theo xu thế cải tiến ITA và IPTA cho ĐBSCL giúp phát hiện được nhiều xu thế các yếu tố TNNM và lượng mưa hơn phương pháp MK-Sen. Thêm nữa, ITA giúp đánh giá được xu thế của 3 cụm chuỗi dữ liệu “cao”, “vừa” và “thấp” của MNN ĐBSCL.

3) Xác định được xu thế biến động của các yếu tố TNNM và đánh giá được xu thế của các cấp MNN “cao”, “vừa” và “thấp” tại các trạm đo:

- ❖ Trên sông Tiền từ Tân Châu đến Mỹ Thuận MNN  $H_{\text{cá năm}}$  hạ thấp nhiều nhất, ở vùng cửa sông thì ngược lại.
- ❖ Trên sông Hậu từ cửa sông đến Cần Thơ MNN  $H_{\text{cá năm}}$  tăng mạnh nhất, từ Cần Thơ đến Châu Đốc ngược lại.
- ❖ MNN  $H_{\text{cá năm}}$  ở thượng lưu sông Tiền giảm nhiều hơn thượng lưu sông Hậu, còn vùng cửa sông Tiền MNN lại tăng nhanh hơn vùng cửa sông Hậu.
- ❖ Ở thượng nguồn sông Hậu và sông Tiền có sự suy giảm mạnh của các cấp giá trị MNN “cao” và “vừa” ( $H_{p>50\%}$ ), ngược lại MNN “thấp” ( $H_{p<25\%}$ ) có xu thế tăng nhẹ.
- ❖ Tại Châu Đốc lưu lượng có xu thế giảm trong đoạn 1996-2020.
- ❖ Tổng lượng nước về TC+CD có xu thế giảm, đặc biệt là từ tháng 11 đến tháng 2 giảm mạnh giai đoạn 2010-2020.



- ❖ Đỉnh mặn đến sớm hơn 1-2 tháng và gia tăng XNM ở khu vực cửa sông Tiền và Hậu

4) Xác định được thời điểm và các động lực chính gây ra biến động TNNM:

- ❖ Vùng thượng: Đập trữ nước thượng lưu và hạ thấp lòng dẫn tác động chính đến xu thế TNNM sau giai đoạn 2008-2009.
- ❖ Vùng giữa: trên sông Tiền do hạ thấp lòng dẫn tác động chính đến TNNM sau giai đoạn 2008, trên sông Hậu do HTTL khép kín tác động chính xu thế TNNM sau năm 1999-2000.
- ❖ Vùng cửa sông: do lún, NBD và HTTL khép kín tác động chính xu thế TNNM ở giai đoạn 1999-2000 đối với sông Hậu và ở giai đoạn 2007-2008 đối với sông Tiền.

5) Định lượng được biến động hạn khí tượng theo không gian và thời gian:

- ❖ Kết quả cho thấy ở ĐBSCL, xu thế mưa bị giảm mưa nhiều nhất ở tháng 4 (~35%) và các đợt hạn hán diễn ra nghiêm trọng, kéo dài thời gian hơn và có xu hướng bao trùm khắp vùng trong những năm gần đây và hạn hán có liên quan chặt chẽ với các sự kiện ENSO.
- ❖ Bến Tre gia tăng cường độ hạn hán và số lần xuất hiện trận hạ nặng nhiều hơn An Giang trong giai đoạn 2015-2018.

6) Xác định được mức độ ảnh hưởng của biến động các yếu tố hạn hán và TNNM đến SXL, theo thứ tự ảnh hưởng là hạn khí tượng, MNN, XNM, tổng lượng,...

7) Xây dựng được các hàm hồi quy đa biến giữa năng suất lúa và các yếu tố TNNM, hạn hán:

- ❖ Năng suất vụ ĐX An Giang:  $Y_d = 0,0064 \times W_{11} + 0,417 \times SPEI-4_{\min} + 0,023 \times H_{p>85\%} + 7,06$  có (R đa biến = 0,70).
- ❖ Năng suất vụ ĐX Bến Tre:  $Y_d = -0,181 \times H_{\max BT} - 0,171 \times S_{\max TV} - 0,00013 \times Q_{\min TC} - 0,036 \times H_{\text{mean MT}} + 0,619 \times SPEI-4_{\min} + 40,58$  (R đa biến = 0,95)

8) Định lượng được tính dễ bị tổn thương (LVI=0,405) của nông hộ SXL 3 vụ ở An Giang là cao, do biến động môi trường sinh thái và BDKH.

9) Đề xuất và đánh giá hiệu quả các giải pháp điển hình nhằm giảm biến động TNNM và tăng năng suất lúa.

### **Kiến nghị**

Luận án kiến nghị các nội dung nghiên cứu tiếp theo trong tương lai như sau:

(1) Nghiên cứu dự báo biến động TNNM và hạn hán khi các đặc trưng lưu vực thay đổi (tăng dung tích hồ chứa thượng lưu, BDKH,...) bằng mô hình toán phục vụ kế hoạch SXL.

2) Nghiên cứu sự tác động của các yếu tố xã hội và quản lý nguồn nước đến SXL.

3) Tính toán thực nghiệm thêm vị trí lắp đặt đập di động phục vụ tối ưu giảm mặn trên các sông chính và gia tăng mực nước nội đồng vào mùa khô.

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

### Tạp chí quốc tế

1. Thi Thanh Van Pham, **Van Ho Hoa\***, Tran Duc Dung., Pham Duy Tien., Huynh Ngoc Duc, & Chau Nguyen Xuan Quang, “Impact of water resources variation on winter–spring rice yield in the upper Vietnamese Mekong Delta: A case study of An Giang Province,” *Irrig. and Drain*, 2023, doi: <https://doi.org/10.1002/ird.2907> (SCIE-Q2)
2. Tran Duc Dung; Quang Chau Nguyen Xuan\*; Tien Pham Duy; Pham Gia Tran; Pham Kim Long; **Van Hoa Ho.**; Ngoc Hoang Giang Ngo.; Thi Thu Ha, Le. Livelihood Vulnerability and Adaptation Capacity of Rice Farmers under Climate Change and Environmental Pressure on the Vietnam Mekong Delta Floodplains. *Water* 2020, 12, 3282 (SCIE-Q1)
3. Mehmet Berkant Yildiz, Murat Kankal, Sinan Nacar, Nguyen Thi Thuy Linh, **Ho Van Hoa**, Van Thai Nam, 2023.”Investigation of the Effect of Climate Change on Precipitation in Vietnam's lower Mekong Delta River Basin by Innovative Trend Analysis Methods. *Theor. Appl. Climatol.*, 2024, doi: 10.1007/s00704-024-05221-0 (SCIE-Q2)

### Kỹ yếu hội thảo quốc tế (Scopus-Q4)

4. **Van Hoa Ho**, Nguyen Xuan Quang Chau\*, Ngoc Hoang Giang Ngo, Ngoc Hai Pham, and Thi Bay Nguyen, “Exploring the relationship of the winter-spring crop’s rice yield with meteorological drought and water resources in Ben Tre province,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1345, no. 1, p. 12010, 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1345/1/012010. (Scopus-Q4)
5. **Van Hoa Ho**, Nguyen Xuan Quang Chau\*, Ngoc Hoang Giang Ngo, and Duc Dung Tran, “An initial assessment of mobile dam efficiency in raising low-flow water levels in the Vietnamese Mekong Delta,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1345, no. 1, p. 12023, 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1345/1/012023. (Scopus-Q4)
6. Chau Nguyen Xuan Quang, **Ho Van Hoa**, Ngo Ngoc Hoang Giang, and Nguyen Thi Hoa, “Assessment of meteorological drought in the Vietnamese Mekong delta in period 1985-2018,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 652, no. 1, p. 012020, Feb. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/652/1/012020 (Scopus-Q4)
7. Chau Nguyen Xuan Quang, **Ho Van Hoa**, Ngo Ngoc Hoang Giang” Impacts of upstream reservoirs on flow pattern changes at the Kratie hydrological station, Mekong River basin,” vol. 3, pp. 1882–1889. *Proceedings of the*

### Tạp chí trong nước

8. Đường Huyền Trang, Phạm Huỳnh Thanh Vân, Phạm Duy Tiến, **Hồ Văn Hòa**. “Chuyển đổi cơ cấu cây trồng vùng đồng bằng để thích ứng với suy giảm nguồn nước tại tỉnh An Giang và những giải pháp”. 05/2024, Vol 10, pp 72-79. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. ISSN 1859-4581.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tổng cục thống kê, “Niên giám thống kê Việt Nam năm 2022,” Nhà xuất bản Thống kê: Hà Nội, Việt Nam, 2023.
- [2] P. L. Pingali and X. T. Vo, “Vietnam: decollectivization and rice productivity growth,” *Econ. Dev. Cult. Chang.*, vol. 40, no. 4, pp. 697–718, 1992, doi: 10.1086/451973.
- [3] Q. T. Tô et al., “Nghiên cứu biến động nguồn nước thượng lưu, điều kiện khí hậu cực đoan ở Đồng Bằng sông Cửu Long và đề xuất các giải pháp chuyển đổi cơ cấu sản xuất. Báo cáo tổng kết đề tài KC 08.04/16-20.” Viện KHTHLMN, SWRR: TP. Hồ Chí Minh, p. 300, 2020.
- [4] V. M. Nguyen, V. D. Nguyen, N. H. Nguyen, M. Kumm, B. Merz, and H. Apel, “Future sediment dynamics in the Mekong Delta floodplains: Impacts of hydropower development, climate change and sea level rise,” *Glob. Planet. Change*, vol. 127, pp. 22–33, 2015, doi: 10.1016/j.gloplacha.2015.01.001.
- [5] L. A. Nguyen et al., “Impact of Climate Change on the Technical Efficiency of Striped Catfish, *Pangasianodon hypophthalmus*, Farming in the Mekong Delta, Vietnam,” *J. World Aquac. Soc.*, vol. 49, no. 3, pp. 570–581, 2017, doi: 10.1111/jwas.12488.
- [6] Q. Dinh, S. Balica, I. Popescu, and A. Jonoski, “Climate change impact on flood hazard, vulnerability and risk of the Long Xuyen Quadrangle in the Mekong Delta,” *Int. J. River Basin Manag.*, vol. 10, no. 1, pp. 103–120, 2012, doi: 10.1080/15715124.2012.663383.
- [7] V. K. T. Nguyen et al., “Future projections of flood dynamics in the Vietnamese Mekong Delta,” *Sci. Total Environ.*, vol. 742, p. 140596, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140596.

- [8] E. Park *et al.*, “Science of the Total Environment Dramatic decrease of flood frequency in the Mekong Delta due to river-bed mining and dyke construction,” *Sci. Total Environ.*, vol. 723, p. 138066, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138066.
- [9] V. B. Doan *et al.*, “Effects of riverbed incision on the hydrology of the Vietnamese Mekong Delta,” *Hydrol. Process.*, vol. 35, no. 2, pp. 1–21, 2021, doi: 10.1002/hyp.14030.
- [10] T. Đ. Thắng, “Nghiên cứu diễn biến nguồn nước, chất lượng nước và đề xuất các giải pháp khai thác thích hợp nhằm nâng cao hiệu quả và hạn chế rủi ro thiên tai (hạn mặn) vùng nuôi thủy sản, trồng trọt ven biển đồng bằng sông Cửu Long. Báo cáo tổng kết đề tài KC.08.25/16.” Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam: TP. Hồ Chí Minh, 2020.
- [11] K. Lavane *et al.*, “Assessing the Effects of Drought on Rice Yields in the Mekong Delta,” *Climate*, vol. 11, no. 1, p. 13, Jan. 2023, doi: 10.3390/cli11010013.
- [12] V. Q. Do, M. L. Phung, D. T. Truong, T. Thanh, T. Pham, and V. T. Dang, “The Impact of Extreme Events and Climate Change on Agricultural and Fishery Enterprises in Central Vietnam,” pp. 1–17, 2021.
- [13] Bộ NN&PTNT, “Báo cáo tóm tắt tình hình hạn hán các tỉnh phía Nam năm 2019-2020.” p. 7, 2020, [Online]. Available: <https://phongchongthientai.mard.gov.vn/Pages/bao-cao-tong-hop-tinh-hinh-han-han-xam-nhap-man-khu-vuc-mien-nam-2019--2020.aspx>.
- [14] ICEM, “Strategic environmental assessment of hydropower on the Mekong mainstream: summary of the final report,” 2010. [Online]. Available: <https://www.mrcmekong.org/assets/Publications/Consultations/SEA-Hydropower/SEA-FR-summary-13oct.pdf>.
- [15] C. Kuenzer, I. Campbell, M. Roch, P. Leinenkugel, V. Q. Tuan, and S. Dech, “Understanding the impact of hydropower developments in the context of upstream-downstream relations in the Mekong river basin,” *Sustain. Sci.*, vol. 8, no. 4, pp. 565–584, 2013, doi: 10.1007/s11625-012-0195-z.
- [16] T. A. Räsänen, C. Lehr, I. Mellin, P. J. Ward, and M. Kummu, “Palaeoclimatological perspective on river basin hydrometeorology: case of the Mekong Basin,” *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 17, no. 5, pp. 2069–2081, May 2013, doi: 10.5194/hess-17-2069-2013.
- [17] O. Keovilignavong, T. H. Nguyen, and P. Hirsch, “Reviewing the causes of Mekong drought before and during 2019 – 20,” *Int. J. Water Resour. Dev.*, vol. 39, no. 1, pp. 155–175, 2023, doi:

10.1080/07900627.2021.1967112.

- [18] X. Yu, D. He, and P. Phousavanh, *Balancing River Health and Hydropower Requirements in the Lancang River Basin*. Singapore: Springer Singapore, 2019.
- [19] S. Eslami *et al.*, “Tidal amplification and salt intrusion in the Mekong Delta driven by anthropogenic sediment starvation,” *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-55018-9.
- [20] T. Piman, T. Lennaerts, and P. Southalack, “Assessment of hydrological changes in the lower Mekong Basin from Basin-Wide development scenarios,” *Hydrol. Process.*, vol. 27, no. 15, pp. 2115–2125, Jul. 2013, doi: 10.1002/hyp.9764.
- [21] T. A. Cochrane, M. E. Arias, and T. Piman, “Historical impact of water infrastructure on water levels of the Mekong River and the Tonle Sap system,” *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 18, no. 11. Copernicus GmbH, pp. 4529–4541, Nov. 2014, doi: 10.5194/hess-18-4529-2014.
- [22] D. Li, D. Long, J. Zhao, H. Lu, and Y. Hong, “Observed changes in flow regimes in the Mekong River basin,” *J. Hydrol.*, 2017, doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.05.061.
- [23] Q. T. Tô *et al.*, “Nghiên cứu đánh giá tác động của các bậc thang thủy điện trên dòng chính hạ lưu sông Mê Công đến dòng chảy, môi trường, kinh tế xã hội vùng đồng bằng sông Cửu Long và đề xuất giải pháp giảm thiểu bất lợi. Báo cáo tổng hợp đề tài KC.08.13/11-15.” 2018.
- [24] DHI, “Nghiên cứu tác động của các công trình thủy điện trên dòng chính sông Mekong. Báo cáo chính.” Bộ Tài nguyên và Môi trường Việt Nam, 2016, [Online]. Available: [https://nature.org.vn/vn/wp-content/uploads/2018/05/070518\\_TL\\_MDSReport.pdf](https://nature.org.vn/vn/wp-content/uploads/2018/05/070518_TL_MDSReport.pdf).
- [25] S. Liu, W. Kang, and T. Wang, “Drought variability in Inner Mongolia of northern China during 1960 – 2013 based on standardized precipitation evapotranspiration index,” *Environ. Earth Sci.*, 2016, doi: 10.1007/s12665-015-4996-0.
- [26] NOAA, “Cold & Warm Episodes by Season. 1985-2023,” 2023. [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php).
- [27] T. T. T. Nguyen, N. K. Dao, T. X. Tran, and B. Tychon, “Assessment of Livelihood Vulnerability to Drought: A Case Study in Dak Nong Province, Vietnam,” *Int. J. Disaster Risk Sci.*, vol. 10, no. 4, pp. 604–615, Dec. 2019, doi: 10.1007/s13753-019-00230-4.

- [28] F. Tian *et al.*, “Drought Characteristics of Lancang-Mekong River Basin and the Impacts of Reservoir Regulation on Streamflow,” *Report*, no. July, p. 30, 2020.
- [29] B. M. Campbell *et al.*, “Agriculture production as a major driver of the earth system exceeding planetary boundaries,” *Ecol. Soc.*, vol. 22, no. 4, 2017, doi: 10.5751/ES-09595-220408.
- [30] S. Tomita *et al.*, “Differences in weed vegetation in response to cultivating methods and water conditions in rainfed paddy fields in north-east Thailand,” *Weed Biol. Manag.*, vol. 3, no. 2, pp. 117–127, 2003, doi: 10.1046/j.1445-6664.2003.00093.x.
- [31] M. Hejazi *et al.*, “Impacts of water scarcity on agricultural production and electricity generation in the Middle East and North Africa,” no. February, pp. 1–16, 2023, doi: 10.3389/fenvs.2023.1082930.
- [32] K. N. Dang, H. Nguyen, and V. S. Nguyen, “The Impact of Weather Variability on Rice and Aquaculture Production in the Mekong Delta,” vol. 45, no. 2, pp. 259–270, 2011, doi: 10.1007/978-94-007-0934-8.
- [33] CGIAR, “Assessment Report: The drought and salinity intrusion in the Mekong River Delta of Vietnam. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security - Southeast Asia (CCAFS SEA),” *CGIAR Res. Centers Southeast Asia*, no. April, p. 54 pp., 2016.
- [34] K. Clauss, M. Ottinger, P. Leinenkugel, and C. Kuenzer, “Estimating rice production in the Mekong Delta, Vietnam, utilizing time series of Sentinel-1 SAR data,” *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, vol. 73, no. March, pp. 574–585, 2018, doi: 10.1016/j.jag.2018.07.022.
- [35] K. M. Salik, S. Jahangir, W. ul Z. Zahdi, and S. ul Hasson, “Climate change vulnerability and adaptation options for the coastal communities of Pakistan,” *Ocean Coast. Manag.*, vol. 112, pp. 61–73, 2015, doi: 10.1016/j.ocecoaman.2015.05.006.
- [36] B. Wei, G. Su, Y. Li, and Y. Ma, “Livelihood Strategies of Rural Households in Ning’er Earthquake-Stricken Areas, Yunnan Province, China,” *Sustainability*, vol. 11, no. 21, p. 5905, 2019, doi: 10.3390/su11215905.
- [37] J. Carew-Reid, “Rapid assessment of the extent and impact of sea level rise in Viet Nam, Climate Change Discussion Paper 1, ICEM - International Centre for Environmental Management,” no. February, p. 82, 2008.
- [38] Madhuri, H. R. Tewari, and P. K. Bhowmick, “Livelihood vulnerability index analysis: An approach to study vulnerability in the context of

Bihar,” *Jamba J. Disaster Risk Stud.*, vol. 6, no. 1, 2015, doi: 10.4102/jamba.v6i1.127.

- [39] Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, “Báo cáo dự án: Điều tra dự báo giám sát xâm nhập mặn vùng Đồng bằng sông Cửu Long phục vụ chỉ đạo điều hành sản xuất nông nghiệp năm 2020.” Viện KHTLMN, SIWRR: TP. Hồ Chí Minh, 2021.
- [40] R. A. Mel, D. P. Viero, L. Carniello, A. Defina, and L. D’Alpaos, “The first operations of Mo.S.E. system to prevent the flooding of Venice: Insights on the hydrodynamics of a regulated lagoon,” *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, vol. 261, no. January, p. 107547, 2021, doi: 10.1016/j.ecss.2021.107547.
- [41] Đ. H. Trần, “Hệ thống thủy lợi Cái Lớn - Cái Bé đối với sự phát triển bền vững ở đồng bằng sông Cửu Long,” *Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi*, vol. 47, pp. 1–7, 2018, [Online]. Available: <https://www.vawr.org.vn/Upload/BaibaoKH/tran-dinh-hoa-47-2018.pdf>.
- [42] Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, “Tổng quan công nghệ đập Xà Lan di động (Floating dam technology),” 2021. [https://www.vawr.org.vn/cong-nghe-dap-xa-lan-di-dong#:~:text=Công nghệ đập xà lan di động được thiết kế,của công trình truyền thống.](https://www.vawr.org.vn/cong-nghe-dap-xa-lan-di-dong#:~:text=Công%20nghệ%20đập%20xà%20lan%20di%20động%20được%20thiết%20kế,của%20công%20trình%20truyền%20thống.) (accessed Jun. 03, 2021).
- [43] V. N. Vu et al., “Nghiên cứu giải pháp quy hoạch vùng Đồng Tháp Mười trở thành vùng trữ nước ngọt cho khu vực đồng bằng sông Cửu Long thích ứng với biến đổi khí hậu. Báo cáo tổng kết đề tài BĐKH.11/16-20.” Viện QHTLMN, SIWRP: TP.Hồ Chí Minh, pp. 1–300, 2020.
- [44] D. D. Tran *et al.*, “Livelihood vulnerability and adaptation capacity of rice farmers under climate change and environmental pressure on the vietnam mekong delta floodplains,” *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 11, 2020, doi: 10.3390/w12113282.
- [45] V. H. Ho, N. H. G. Ngo, P. A. Le, D. N. H. Huynh, T. M. P. U. Le, and T. Phan, “Dữ liệu phóng vấn cho bài hội trực tuyến ‘Enhancing resilient capathảo city to climate change-induced water hazards in the Vietnamese Mekong Delta,’” 2021.
- [46] M. B. Hahn, A. M. Riederer, and S. O. Foster, “The Livelihood Vulnerability Index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change-A case study in Mozambique,” *Glob. Environ. Chang.*, vol. 19, no. 1, pp. 74–88, 2009, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2008.11.002.
- [47] A. N. Pettitt, “A non-parametric approach to the change point problem,” *J. R. Stat. Soc. Ser. C, Appl. Stat.*, vol. 28, pp. 126–135, 1979.



- [48] Y. Alifujiang, J. Abuduwaili, B. Maihemuti, B. Emin, and M. Groll, "Innovative trend analysis of precipitation in the Lake Issyk-Kul Basin, Kyrgyzstan," *Atmosphere (Basel)*, vol. 11, no. 4, pp. 1–16, 2020, doi: 10.3390/atmos11040332.
- [49] Z. Sen, "Innovative Trend Analysis Methodology," *J. Hydrol. Eng.*, vol. 17, no. 9, pp. 1042–1046, 2012, doi: 10.1061/(asce)he.1943-5584.0000556.
- [50] Z. Şen, "Innovative trend significance test and applications," *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 127, no. 3–4, pp. 939–947, 2017, doi: 10.1007/s00704-015-1681-x.
- [51] I. Dabanli, E. Şişman, Y. S. Güçlü, M. E. Birpınar, and Z. Şen, "Climate change impacts on sea surface temperature (SST) trend around Turkey seashores," *Acta Geophys.*, vol. 69, no. 1, pp. 295–305, 2021, doi: 10.1007/s11600-021-00544-2.
- [52] Z. Şen, E. Şişman, and I. Dabanli, "Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA) and applications," *J. Hydrol.*, vol. 575, no. April, pp. 202–210, 2019, doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.05.028.
- [53] Z. Şen, "Up-to-date statistical essentials in climate change and hydrology: a review," *Int. J. Glob. Warm.*, vol. 22, no. 4, pp. 392–431, 2020.
- [54] Z. Şen, "Conceptual monthly trend polygon methodology and climate change assessments," *Hydrol. Sci. J.*, 2021.
- [55] T. D. Võ, T. S. Le, and Đ. M. L. Võ, "Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến năng suất lúa vụ đông xuân tại vùng sinh thái nông nghiệp ven biển Tây Đồng bằng sông Cửu Long," *Can Tho Univ. J. Sci.*, vol. 55(5), p. 99, 2019, doi: 10.22144/ctu.jvn.2019.149.
- [56] V. T. Chow, *Handbook of Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1964.
- [57] S. M. Vicente-Serrano, S. Beguería, and J. I. López-Moreno, "A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index," *J. Clim.*, vol. 23, no. 7, pp. 1696–1718, 2010, doi: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- [58] S. C. Nguyễn, "Nông nghiệp đồng bằng sông Cửu Long, 30 năm sau giải phóng," *Báo Nhân Dân*, 2005. [https://nhandan.vn/nong-nghiep-dong-bang-song-cuu-long-30-nam-sau-giai-phong-post396854.html#:~:text=Nông nghiệp đồng bằng sông Cửu Long%2C 30 năm sau giải phóng,-Thứ năm%2C ngày&text=Trong 30 năm qua%2C ĐBSCL,ha\) là ruộng một vụ.](https://nhandan.vn/nong-nghiep-dong-bang-song-cuu-long-30-nam-sau-giai-phong-post396854.html#:~:text=Nông nghiệp đồng bằng sông Cửu Long%2C 30 năm sau giải phóng,-Thứ năm%2C ngày&text=Trong 30 năm qua%2C ĐBSCL,ha) là ruộng một vụ.) (accessed May 05, 2005).