

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



ĐẶNG HÒA VĨNH

**NGHIÊN CỨU ĐẶC ĐIỂM PHÂN BỐ NƯỚC NGỌT TRÊN
DÒNG CHÍNH VÙNG CỬA SÔNG CỬU LONG – TRƯỜNG
HỢP SÔNG CỔ CHIÊN**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ THỦY VĂN HỌC

TP. HỒ CHÍ MINH – 2023

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



ĐẶNG HÒA VĨNH

**NGHIÊN CỨU ĐẶC ĐIỂM PHÂN BỐ NƯỚC NGỌT TRÊN
DÒNG CHÍNH VÙNG CỬA SÔNG CỬU LONG – TRƯỜNG
HỢP SÔNG CỔ CHIÊN**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ THỦY VĂN HỌC
Mã số: 9 44 02 24

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

1. PGS.TS Đào Đình Châm
2. TS. Lê Ngọc Thanh

TP. HỒ CHÍ MINH – 2023

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan rằng tất cả các kết quả nghiên cứu được thực hiện trong luận án này là do cá nhân tôi thực hiện. Mọi số liệu sử dụng phân tích trong luận án và kết quả nghiên cứu là do tôi tự tìm hiểu, phân tích một cách khách quan, trung thực, có nguồn gốc rõ ràng và chưa được công bố dưới bất kỳ hình thức nào. Tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm nếu có sự không trung thực trong thông tin sử dụng trong công trình nghiên cứu này.

Người cam đoan

ĐẶNG HÒA VĨNH

LỜI CẢM ƠN

Luận án này được hoàn thành không chỉ là công sức của bản thân tác giả mà còn có sự giúp đỡ, hỗ trợ tích cực của nhiều cá nhân và tập thể.

Đầu tiên, tác giả xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến cố PGS.TS Nguyễn Văn Cư, người trực tiếp định hướng và hướng dẫn tác giả xây dựng những nền tảng ban đầu cho luận án.

Tiếp theo, tác giả xin cảm ơn PGS.TS Đào Đình Châm, người hướng dẫn chính của luận án. Thầy đã dành cho em nhiều thời gian, tâm sức, cho em nhiều ý kiến, nhận xét quý báu, giúp chỉnh sửa các nội dung chính trong luận án, giúp luận án được hoàn thiện hơn về mặt nội dung và hình thức.

Tác giả cũng xin gửi lời cảm ơn đến TS Lê Ngọc Thanh, người hướng dẫn thứ 2, những ý kiến đóng góp quý báu cùng sự quan tâm, động viên và chỉ bảo tận tình của thầy vừa giúp tác giả có được sự khích lệ, tạo động lực cho tác giả hoàn chỉnh luận án tốt hơn.

Tác giả cũng xin gửi lời cảm ơn đến Lãnh đạo Học viện Khoa học và Công nghệ, Lãnh đạo và các giảng viên khoa Địa lý đã tạo điều kiện thuận lợi, nhiệt tình giúp đỡ tác giả trong quá trình thực hiện luận án.

Tác giả cũng xin cảm ơn Lãnh đạo cùng các đồng nghiệp tại viện Địa lý tài nguyên Tp. Hồ Chí Minh đã tạo điều kiện và trực tiếp giúp đỡ tác giả trong quá trình học tập và thực hiện luận án.

Tác giả cũng xin gửi lời cảm ơn chân thành đến gia đình, bạn bè, các đồng nghiệp luôn động viên, quan tâm giúp đỡ trong quá trình học tập và thực hiện luận án.

Tác giả luận án

ĐẶNG HÒA VĨNH

MỤC LỤC

MỤC LỤC.....	i
DANH MỤC HÌNH VẼ.....	v
DANH MỤC BẢNG.....	vii
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT.....	ix
MỞ ĐẦU 1	
1. Mục tiêu luận án	2
2. Nhiệm vụ nghiên cứu.....	2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	2
3.1 Đối tượng nghiên cứu	2
3.2 Phạm vi nghiên cứu	2
4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu.....	3
4.1. Cách tiếp cận.....	3
4.2. Phương pháp nghiên cứu	4
5. Luận điểm bảo vệ.....	4
6. Những điểm mới của luận án.....	4
7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn	5
7.1. Ý nghĩa khoa học:	5
7.2. Ý nghĩa thực tiễn:	5
8. Bố cục của luận án.....	5
Chương 1 TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU.....	6
1.1 Tổng quan về vấn đề nghiên cứu.....	6
1.2 Lịch sử nghiên cứu	8
1.2.1 Tình hình nghiên cứu ngoài nước.....	8
1.2.2 Tình hình nghiên cứu trong nước	14

1.3	Tổng quan về đồng bằng sông Cửu Long và những vấn đề có liên quan đến tài nguyên nước ngọt.....	22
1.3.1	Quá trình phát triển của Đồng bằng sông Cửu Long.....	22
1.3.2	Tài nguyên nước ở đồng bằng sông Cửu Long	24
1.3.3	Chế độ thủy triều trên vùng biển trước cửa sông Cửu Long	32
1.3.4	Khai thác nguồn nước ở đồng bằng sông Cửu Long	35
	TIÊU KẾT CHƯƠNG 1	37
	Chương 2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ DỮ LIỆU SỬ DỤNG	39
2.1	Một số khái niệm và cơ sở lý luận về phân bố nước ngọt vùng cửa sông	39
2.1.1	Khái niệm cửa sông và nước ngọt ở vùng cửa sông.....	39
2.1.2	Cơ sở lý luận về các đặc trưng cần nghiên cứu để đánh giá diễn biến phân bố nước ngọt vùng cửa sông Cửu Long.	40
2.1.3	Cơ sở lý luận về sự quá trình pha trộn giữa nước ngọt và nước biển.....	42
2.1.4	Cơ sở lý luận về các yếu tố tác động đến phân bố nước ngọt vùng cửa sông	43
2.2	Cách tiếp cận.....	44
2.3	Phương pháp nghiên cứu	45
2.3.1	Sơ đồ khung nghiên cứu	45
2.3.2	Phương pháp phân tích thống kê	46
2.3.3	Phương pháp tổng hợp địa lý.....	47
2.3.4	Phương pháp khảo sát đo đạc tại hiện trường.....	47
2.3.5	Phương pháp mô hình toán.....	50
2.4	Dữ liệu sử dụng.....	55
2.4.1	Kế thừa các kết quả nghiên cứu.....	55

2.4.2	Các dữ liệu quan trắc Bộ dữ liệu quan trắc dòng chảy, mực nước, độ mặn được sử dụng trong luận án gồm có:	55
2.4.3	Các dữ liệu được đo đạc trong quá trình thực hiện luận án.....	57
	TIỂU KẾT CHƯƠNG 2	57
	Chương 3 KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN.....	59
3.1	Các quy luật phân bố nước ngọt vùng cửa sông Cửu Long	59
3.1.1	Những vấn đề chung.....	59
3.1.2	Phân bố nước ngọt theo thời gian	61
3.1.3	Phân bố nước ngọt theo phương dọc	65
3.1.4	Phân bố nước ngọt theo chiều đứng	79
3.2	Dòng chảy thượng lưu và các biến động	83
3.2.1	Sự thay đổi chế độ dòng chảy vùng hạ du sông Mekong.....	83
3.2.2	Diễn biến chế độ dòng chảy về Việt Nam	85
3.2.3	Quan hệ các yếu tố dòng chảy thượng lưu đến các đặc trưng quá trình nước ngọt vùng cửa sông Cửu Long.....	89
3.3	Thủy triều, nước biển dâng và những biến động của xâm nhập mặn.....	92
3.3.1	Truyền triều vào VCS.....	92
3.3.2	Biến động mực nước trên vùng biển trước cửa sông.....	95
3.3.3	Xâm nhập mặn vùng cửa sông và các diễn biến.....	96
3.4	Dự báo diễn biến quá trình nước ngọt năm 2030	100
3.4.1	Kịch bản dự báo.....	100
3.4.2	Kết quả tính toán dự báo phân bố nước ngọt năm 2030 (PA2030).....	101
3.4.3	Xây dựng bản đồ phân bố nước ngọt năm 2030.....	109
	TIỂU KẾT CHƯƠNG 3	111
	Chương 4 ỨNG DỤNG KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP KHAI THÁC NƯỚC NGỌT VÙNG CỬA SÔNG CỬU LONG.....	113

4.1	Kỹ thuật khai thác nước ngọt vùng cửa sông	113
4.1.1	Đặt vấn đề	113
4.1.2	Thiết bị thu/ chứa nước ngọt áp dụng cho quy mô hộ gia đình hoặc trạm cấp nước quy mô nhỏ và quy trình vận hành thiết bị.	113
4.1.3	Dự báo khả năng xuất hiện nước ngọt phục vụ khai thác	117
4.2	Giải pháp cấp nước quy mô lớn và khả năng cấp nước của hồ chứa nước Láng Thè cho thành phố Trà Vinh.....	119
4.2.1	Giải pháp hồ chứa phục vụ cấp nước quy mô lớn.....	119
4.2.2	Giới thiệu hồ chứa nước Láng Thè cấp nước cho thành phố Trà Vinh.	121
4.2.3	Đánh giá khả năng của công trình trong năm hạn mặn 2016 và giải pháp khai thác nguồn nước bổ sung	123
	TIÊU KẾT CHƯƠNG 4	130
	KẾT LUẬN – KIẾN NGHỊ	131
1.	KẾT LUẬN	131
2.	KIẾN NGHỊ.....	132
	DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ.....	134
	TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	135
	PHỤ LỤC.....	148

DANH MỤC HÌNH VẼ

<i>Hình 1.</i> Sơ đồ vùng nghiên cứu và cửa sông lựa chọn.....	3
<i>Hình 2.</i> Sơ đồ khung nghiên cứu.....	46
<i>Hình 3.</i> Sơ đồ vị trí đo đạc cấu trúc mặn cửa Cỏ Chiên – Cung Hầu và mực nước thời kỳ đo đạc	48
<i>Hình 4.</i> Diễn biến độ mặn tại trạm Trà Vinh giai đoạn 2015-2018	61
<i>Hình 5.</i> Diễn biến độ mặn tại trạm Láng Thè giai đoạn 2015-2018	62
<i>Hình 6.</i> Các đặc trưng quá trình nước ngọt trạm Trà Vinh.....	63
<i>Hình 7.</i> Ranh giới có nước ngọt tháng 4 (FW4)	67
<i>Hình 8.</i> Ranh giới có nước ngọt tháng 2 (FW2)	68
<i>Hình 9.</i> Ranh giới có nước ngọt hàng ngày trong mùa kiệt (FWD)	68
<i>Hình 10.</i> Bản đồ phân bố nước ngọt năm 2005	78
<i>Hình 11.</i> Kết quả khảo sát phân bố mặn theo độ sâu dòng chảy trạm TV1.....	79
<i>Hình 12.</i> Kết quả khảo sát phân bố mặn theo độ sâu dòng chảy trạm TV2.....	80
<i>Hình 13.</i> Kết quả khảo sát phân bố mặn theo độ sâu dòng chảy trạm TV3.....	80
<i>Hình 14.</i> Kết quả khảo sát phân bố mặn theo độ sâu dòng chảy trạm TV4.....	81
<i>Hình 15.</i> Diễn biến độ mặn theo từng lớp độ sâu trạm TV5.....	81
<i>Hình 16.</i> Quá trình lưu lượng trung bình trạm Kratie 1985-2019	84
<i>Hình 17.</i> Xu thế biến động lưu lượng các tháng mùa kiệt trạm Kratie 2001-2019 ..	85
<i>Hình 18.</i> Xu thế lưu lượng trung bình tháng tại Tân Châu giai đoạn 2001-2019.....	87
<i>Hình 19.</i> Tương quan dòng chảy tháng mùa kiệt tại Kratie và Tân Châu	88
<i>Hình 20.</i> Quan hệ giữa lưu lượng trung bình tháng I-V tại Tân Châu và số ngày không có ngọt dài nhất ở Trà Vinh	89
<i>Hình 21.</i> Quan hệ lưu lượng trung bình tháng mùa kiệt tại Tân Châu và số giờ có nước ngọt trong tháng ở Trà Vinh.....	90
<i>Hình 22.</i> Quan hệ lưu lượng trung bình tháng 1 ở Tân Châu và thời gian kết thúc mùa ngọt ở Trà Vinh.....	91
<i>Hình 23.</i> Quan hệ lưu lượng trung bình 3 tháng cuối mùa kiệt tại Tân Châu và thời gian bắt đầu mùa ngọt ở Trà Vinh.....	91
<i>Hình 24.</i> Quá trình mực nước Max, Min và tổng lượng triều truyền vào cửa Cỏ Chiên trong mùa kiệt	94

<i>Hình 25.</i> Xu thế diễn biến các đặc trưng mực nước tại các trạm Vũng Tàu, Bến Trại, Trà Vinh, (a) H_{tb} , (b) H_{max} , (c) H_{min} , (d) Biên độ	96
<i>Hình 26.</i> Bản đồ phân bố nước ngọt phương án PA 2030	110
<i>Hình 27.</i> Thiết kế định hình phao bè và cùm ống	114
<i>Hình 28.</i> Hình ảnh phao bè nổi trên mặt nước.	114
<i>Hình 29.</i> Thiết kế phân túi chứa nước	115
<i>Hình 30.</i> Hình ảnh hệ thống khi vận hành thu nước.	115
<i>Hình 31.</i> Điều khiển thu nước theo quy trình vận hành: (a) hệ thống ra vị trí sẵn sàng thu nước; (b) túi chứa nước được đánh chìm tới vị trí khai thác; (c) đáy túi chứa nước được đánh chìm xuống; (d) nâng miệng túi lên mặt nước bằng phao hơi.	117
<i>Hình 32.</i> Vị trí đoạn sông bỏ Láng Thè.....	121
<i>Hình 33.</i> Bản đồ bố trí tổng thể hệ thống công trình	122
<i>Hình 34.</i> Kết quả tính toán xác định nhu cầu khai thác tối thiểu ở mỗi giờ có ngọt	126
<i>Hình 35.</i> Kết quả tính toán khả năng cấp nước với từng trường hợp bổ sung bằng trạm bơm.....	127
<i>Hình 36.</i> Kết quả tính toán khả năng cấp nước với từng trường hợp bổ sung bằng hồ phụ lấy nước	127
<i>Hình 37.</i> Kết quả tính toán khả năng cấp nước với từng trường hợp bổ sung bằng hồ phụ lấy nước kết hợp chuyển nước bổ sung.....	128

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1. Kết quả tính lưu lượng (m^3/s) mùa kiệt ứng với P% tại Kratie (1970-2009)	24
Bảng 2. Lưu lượng dòng chảy kiệt vào Việt Nam giai đoạn 1985-1990 (m^3/s)	25
Bảng 3. Một số đặc trưng thống kê của lượng mưa năm các tỉnh ven biển ĐBSCL theo chuỗi tài liệu 1987-2017.....	29
Bảng 4. Trữ lượng nước dưới đất ở các tỉnh vùng cửa sông.....	31
Bảng 5. Các đặc trưng nước ngọt và tiêu chí xác định	40
Bảng 6. Thông tin mức nước và quan hệ W_T/W_S trong các ngày tổ chức đo đạc phân bố mặn.....	49
Bảng 7. Tiêu chí đánh giá độ tin cậy của mô phỏng theo chỉ số NSE và PBIAS.....	54
Bảng 8. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.....	54
Bảng 9. Các đặc trưng nước ngọt tại trạm Trà Vinh.....	64
Bảng 10. Thống kê ngày kết thúc mùa có nước ngọt (FWE) và ngày bắt đầu mùa có nước ngọt (FWS).....	66
Bảng 11. Thống kê số giờ có nước ngọt trong các tháng mùa khô.....	67
Bảng 12. Độ mặn thấp nhất dọc sông Cửa Tiểu mùa khô năm 2005.....	70
Bảng 13. Độ Mặn thấp nhất dọc sông Cửa Đại năm 2005.....	71
Bảng 14. Độ mặn thấp nhất sông Hàm Luông năm 2005.....	72
Bảng 15. Độ mặn thấp nhất sông Cổ Chiên năm 2005.....	73
Bảng 16. Độ mặn thấp nhất sông Hậu cửa Định An năm 2005.....	74
Bảng 17. Độ mặn thấp nhất sông Hậu Cửa Trần Đề năm 2005.....	75
Bảng 18. Tổng hợp kết quả khảo sát phân bố nước ngọt.....	82
Bảng 19. Lưu lượng bình quân ngày trạm Kratie theo từng giai đoạn (m^3/s)	84
Bảng 20. Lưu lượng bình quân ngày trạm Tân Châu theo từng giai đoạn (m^3/s).....	86
Bảng 21. Tổng hợp các đặc trưng dòng chảy ngày vào ra VCS Cửu Long.....	93
Bảng 22. Tương quan giữa lượng nước biển và nước sông trong 1 ngày triều tại cửa sông Cổ Chiên.	94
Bảng 23. Chiều dài xâm nhập lớn nhất tháng với mức 4g/l.....	97
Bảng 24. Chiều dài truyền mặn 4‰ trên các cửa sông chính.....	98
Bảng 25. Diễn biến độ mặn cao nhất trên sông Cổ Chiên	99

Bảng 26. Độ mặn thấp nhất dọc sông Tiền tại Cửa Tiểu PA 2030.....	102
Bảng 27. Độ mặn thấp nhất dọc sông Tiền tại Cửa Đại – PA tới 2030	103
Bảng 28. Độ mặn thấp nhất dọc sông Hàm Luông - PA 2030.....	104
Bảng 29. Độ mặn thấp nhất sông Cổ Chiên – PA 2030.....	106
Bảng 30. Độ mặn thấp nhất cửa Định An – PA 2030	107
Bảng 31. Độ mặn thấp nhất cửa Trần Đề - PA 2030	108
Bảng 32. Hướng dẫn xác định ngày có khả năng xuất hiện nước ngọt	119
Bảng 33. Hướng dẫn xác định giờ có khả năng có nước ngọt.....	119
Bảng 34. Kết quả đánh giá yêu cầu lượng nước bổ sung và khả năng của hồ.....	126

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

Viết tắt	Viết đầy đủ / Ý nghĩa
BĐCM	Bán đảo Cà Mau
BĐKH	Biến đổi khí hậu
BYT	Bộ Y tế
CLN	Chất lượng nước
DTTN	Diện tích tự nhiên
ĐBSCL	Đồng bằng sông Cửu Long
ĐNN	Đất ngập nước
HTTL	Hệ thống thủy lợi
NCS	Nghiên cứu sinh
NDD	Nước dưới đất
MRC	Ủy ban sông Mekong (tiếng Anh: MRC)
PVKSQHTLNB	Phân viện Khảo sát Quy hoạch Thủy lợi Nam Bộ
PTC	Phát triển cao
PTT	Phát triển thấp
QCVN	Quy chuẩn Việt Nam
QL-PH	Quản Lộ – Phụng Hiệp
TCN	Tầng chứa nước
TGLX	Tứ giác Long Xuyên
Viện KHTL	Viện Khoa học Thủy lợi
Viện HLKHCNVN	Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
Viện QHTLMN	Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam
VCS	Vùng cửa sông
XNM	Xâm nhập mặn

CÁC KÝ HIỆU KHOA HỌC SỬ DỤNG TRONG LUẬN ÁN

Ký hiệu	Định nghĩa
FWA	Non-salinity boundary (Ranh giới luôn có nước ngọt)
FWD	Daily freshwater boundary (Ranh giới có nước ngọt hàng ngày)
FW4	The boundary of freshwater in April (Ranh giới có nước ngọt trong tháng IV)
FW2	The boundary of freshwater in February (Ranh giới có nước ngọt trong tháng II)
FWN	The non-freshwater boundary in the dry season (Ranh giới không có nước ngọt trong mùa khô)
FWE	The end date of Freshwater (Ngày kết thúc mùa có nước ngọt)
FWS	The start date of Freshwater (Ngày bắt đầu mùa nước ngọt)
NFW	The number of hours each month with freshwater (Số giờ có nước ngọt trong tháng)
DFW	The largest number of days without freshwater (Số ngày không có nước ngọt dài nhất)

MỞ ĐẦU

Vùng cửa sông là nơi dòng nước ngọt từ lục địa gặp và pha trộn với nguồn nước nhiễm mặn đến từ phía biển. Đây là khu vực có hệ sinh thái đa dạng, phong phú và cũng rất nhạy cảm, dễ bị tổn thương bởi sự biến động tự nhiên và hoạt động con người. Có tới hơn một nửa các thành phố lớn của thế giới nằm ở nơi cách vùng cửa sông nhỏ hơn 50 km. Dân số tập trung đông đúc ở khu vực này với mật độ cao gấp 2.6 lần so với khu vực sâu trong nội địa. Sự thay đổi dòng nước ngọt khu vực cửa sông đã có những tác động đến môi trường sống, đa dạng sinh học và hoạt động khai thác nguồn nước của cư dân vùng ven biển. Các nghiên cứu cho thấy, sức khỏe của cửa sông phụ thuộc vào dòng nước ngọt. Việc nghiên cứu, quản lý, sử dụng hiệu quả dòng nước ngọt vào các cửa sông đang trở thành ưu tiên trên thế giới.

Tại vùng cửa sông (VCS) Cửu Long, xâm nhập mặn (XNM) và thiếu nước ngọt là những hạn chế lớn. Vào mùa khô, XNM tăng cao, khan hiếm nước ngọt đã ảnh hưởng rất lớn đến người dân trong sinh hoạt cũng như trong sản xuất. Nguồn nước ngọt chính để cung cấp cho các đối tượng dùng nước hiện nay là từ nước dưới đất. Tuy nhiên, trong những năm gần đây việc khai thác nước dưới đất quá mức đã bộc lộ nhiều vấn đề phát sinh; Sự sụt giảm các tầng chứa nước, nhiễm mặn, nhiễm bần, lún sụt đất,... đã thực sự xuất hiện nhiều ở trên đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Yêu cầu tìm nguồn nước để bổ sung và thay thế là thực sự cấp bách.

Diễn biến mặn vùng cửa các sông lớn diễn ra một cách điều hòa, không có những thay đổi đột biến, phụ thuộc chính vào xu thế của lưu lượng nước từ thượng nguồn. Nhìn chung, độ mặn nước sông thay đổi liên tục theo chu kỳ ngày, tháng, năm. Tuy nhiên, có những thời gian dài trong mùa mưa độ mặn nhỏ nhất luôn được duy trì ở ngưỡng ngọt, đặc biệt dấu hiệu của nước ngọt ra tới tận biển khi triều rút. Đặc điểm này có vai trò quan trọng đối với việc khai thác và sử dụng nước VCS Tiền và sông Hậu. Trên thực tế, những người dân VCS Cửu Long cũng đã sớm nhận biết hiện tượng nước ngọt rút ra tận biển trong một số trường hợp để lợi dụng khai thác nước ngọt phục vụ các nhu cầu sử dụng nước. Chính vì vậy, vấn đề nghiên cứu phân bố nước ngọt cho VCS theo một hướng tiếp cận mới “*Tìm kiếm các thời điểm có nước ngọt trong vùng nhiễm mặn*” vừa có ý nghĩa khoa học và thực tiễn rất lớn. Do đó, NCS đã lựa chọn đề tài nghiên cứu: “***Nghiên cứu đặc điểm phân bố nước ngọt trên***

dòng chính vùng cửa sông Cửu Long – trường hợp sông Cổ Chiên” làm đề tài luận án của mình. Trong nghiên cứu này, NCS sẽ tiếp cận nghiên cứu theo hướng: phân tích các quy luật của quá trình nước ngọt để đưa ra các giải pháp khai thác và bảo vệ nguồn tài nguyên quý giá này.

1. Mục tiêu luận án

- Nhận dạng được các đặc điểm phân bố nước ngọt trong mối tương tác sông – biển VCS Cửu Long (nghiên cứu điển hình cho sông Cổ Chiên);
- Đánh giá dự báo được sự biến động nước ngọt VCS Cửu Long trong tương lai dưới tác động của thay đổi dòng chảy thượng lưu;
- Đề xuất được giải pháp khai thác nguồn nước mặt cung cấp cho các đối tượng dùng nước ở khu vực nghiên cứu.

2. Nhiệm vụ nghiên cứu

- Nghiên cứu các đặc điểm phân bố nước ngọt ở VCS Cửu Long. Bao gồm: phân bố nước ngọt theo thời gian; phân bố nước ngọt theo phương dọc; phân bố nước ngọt theo phương đứng.
- Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình nước ngọt VCS Cửu Long. Bao gồm: Các yếu tố dòng chảy thượng lưu và các diễn biến; Các yếu tố triều từ phía biển;
- Nghiên cứu dự báo sự biến động nước ngọt VCS Cửu Long dưới tác động của thay đổi dòng chảy thượng lưu đến năm 2030.
- Nghiên cứu các giải pháp khai thác nước ngọt phục vụ đáp ứng nhu cầu dùng nước cho khu vực dân sinh VCS Cửu Long – Điển hình cho sông Cổ Chiên.

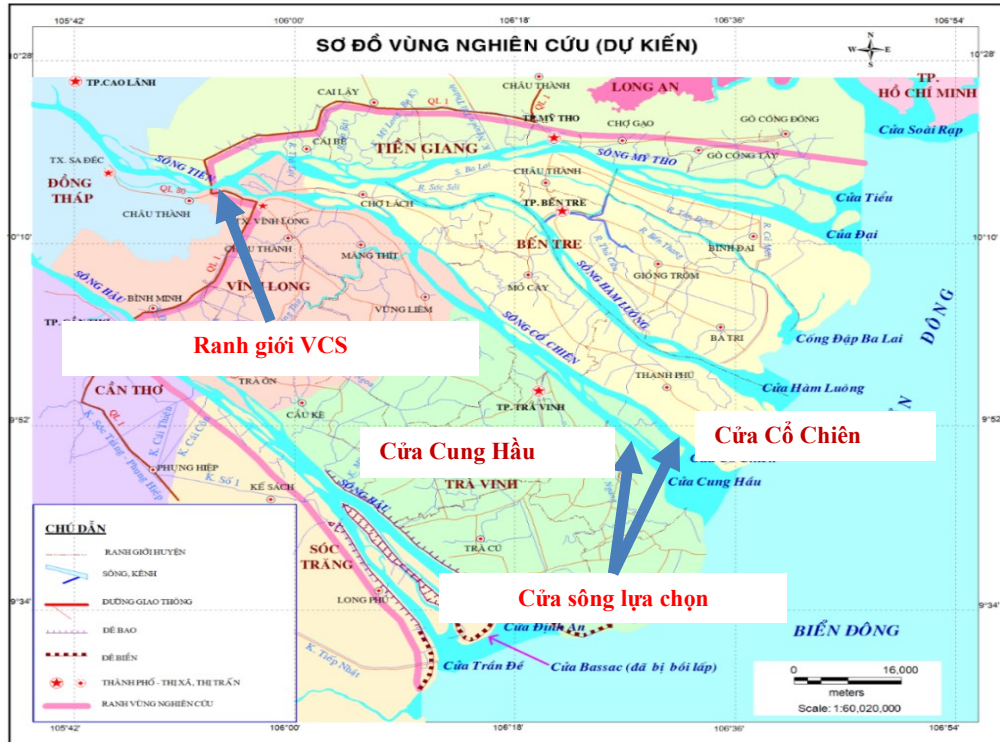
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

3.1 Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của luận án là đặc điểm phân bố nước ngọt trên sông chính (nước mặt); dự báo biến động và các giải pháp khai thác nước ngọt VCS.

3.2 Phạm vi nghiên cứu

Phạm vi không gian: Vùng cửa sông Cửu Long bao gồm các cửa sông: cửa Tiểu, cửa Đại, Ba Lai, Hàm Luông, Cổ Chiên, Cung Hầu, Định An, Trần Đề. Chi tiết cho sông Cổ Chiên bao gồm 2 cửa sông: cửa Cổ Chiên (Bến Tre) và cửa Cung Hầu (Trà Vinh).



Hình 1 Sơ đồ vùng nghiên cứu và cửa sông lựa chọn

Phạm vi thời gian: Các phân tích đánh giá về phân bố nước ngọt VCS được thực hiện trong khoảng thời gian 1996÷2021 (thời gian có số liệu quan trắc). Các yếu tố dòng chảy thượng lưu và mức nước biển được xem xét trong khoảng thời gian 1980÷2019.

Phạm vi khoa học:

Luận án tập trung cho mục tiêu đánh giá được các đặc điểm phân bố nước ngọt trên dòng chính theo không gian, thời gian theo các số liệu quan trắc, tính toán mô phỏng cho các điều kiện hiện tại và tương lai. Phân tích các yếu tố tác động đến nước ngọt VCS và dự báo những thay đổi trong tương lai. Trong đó, đi sâu vào diễn biến của yếu tố thượng lưu và những tác động đến quá trình nước ngọt.

Luận án đề cập đến việc tìm kiếm một số giải pháp khai thác, tích trữ nguồn nước ngọt, từ đó đề xuất giải pháp khai thác nguồn nước phục vụ sinh hoạt. Các vấn đề kỹ thuật chi tiết trong các giải pháp đề xuất mới chỉ mang tính giới thiệu chưa đi sâu vào tính toán chi tiết.

4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

4.1. Cách tiếp cận

(1) Tiếp cận kế thừa các thành tựu khoa học công nghệ.

(2) Tiếp cận hệ thống, toàn diện và tổng hợp từ tổng thể đến chi tiết, gồm: tổng thể lưu vực; tổng thể kinh tế - xã hội vùng ĐBSCL và chi tiết cho VCS; tổng thể về tài nguyên nước mặt; tiếp cận toàn diện.

(3) Tiếp cận cộng đồng.

4.2. Phương pháp nghiên cứu

(1) Phương pháp phân tích thống kê: thống kê mô tả, phân tích hồi quy tuyến tính, phân tích tương quan,...;

(2) Phương pháp đo đạc hiện trường: để quan trắc phân bố độ mặn theo chiều sâu nhằm xác định các trường hợp dòng chảy phân tầng;

(3) Phương pháp mô hình toán: mô hình MIKE11 tính toán chi tiết phân bố nước ngọt theo không gian và môi tương tác sông – biển tại cửa sông Cỏ Chiên;

(4) Phương pháp tổng hợp địa lý: để tổng hợp kết quả, xem xét các mối quan hệ và rút ra được các quy luật diễn biến.

5. Luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1: Nguồn nước ngọt đảm bảo tiêu chuẩn sử dụng cho sinh hoạt vẫn luôn tồn tại ở VCS Cửu Long và được phân bố theo không gian, thời gian với quy luật nhất định.

Luận điểm 2: Các đặc trưng của nước ngọt ở VCS Cửu Long có mối quan hệ với dòng chảy từ thượng lưu và dòng chảy sông Mekong vào Việt Nam có xu thế gia tăng vào cuối mùa kiệt dẫn đến gia tăng lượng nước ngọt ở VCS là điều kiện thuận lợi để khai thác.

Luận điểm 3: Nguồn nước ngọt VCS Cửu Long có thể khai thác hiệu quả phục vụ cấp nước cho yêu cầu dân sinh khi có các giải pháp phù hợp.

6. Những điểm mới của luận án

(1) Đã nghiên cứu, bước đầu xác định được đặc điểm phân bố theo không gian và thời gian của nước ngọt ở vùng cửa sông (VCS) Cửu Long; mối quan hệ giữa dòng chảy thượng nguồn với các đặc trưng nước ngọt VCS Cửu Long.

(2) Đã nghiên cứu, tính toán và xây dựng được bộ bản đồ phân bố nước ngọt VCS Cửu Long tương ứng với kịch bản hiện trạng năm 2005 và một số kịch bản biến đổi khí hậu (BĐKH) cập nhật đến năm 2030.

(3) Đã đề xuất được các giải pháp kỹ thuật phục vụ khai thác nguồn nước ngọt ở VCS Cửu Long cho quy mô hộ gia đình; tính toán xác định quy mô và khả năng

lấy nước ngọt từ sông Cổ Chiên vào hồ chứa Láng Thé để cấp nước sinh hoạt cho thành phố Trà Vinh.

7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

7.1. Ý nghĩa khoa học:

Luận án góp phần hoàn thiện phương pháp luận xác định quy luật phân bố nước ngọt và mối quan hệ giữa các đặc trưng nước ngọt VCS Cửu Long với dòng chảy thượng nguồn và mực nước biển.

Kết quả nghiên cứu của luận án sẽ là cơ sở khoa học cung cấp bổ sung tài nguyên nước ngọt nhằm khai thác hiệu quả, hợp lý ở VCS Cửu Long.

7.2. Ý nghĩa thực tiễn:

Kết quả luận án đã nhận dạng được các quy luật phân bố nước ngọt VCS từ đó đề xuất được biện pháp khai thác nguồn nước ngọt phục vụ cung cấp nước sinh hoạt vùng nghiên cứu nhằm góp phần giải quyết được những khó khăn về nguồn cung cấp nước sinh hoạt cho vùng ven biển trong tương lai. Các kết quả của luận án sẽ cung cấp cơ sở khoa học cho quy hoạch tài nguyên nước và xây dựng các giải pháp khai thác nước ngọt VCS Cửu Long phục vụ cấp nước sinh hoạt.

Kết quả luận án có thể mở ra một hướng mới trong vấn đề cung cấp nước sinh hoạt cho các địa phương vùng ven biển khác có điều kiện địa lý tương tự.

8. Bố cục của luận án

Ngoài phần mở đầu, kết luận, tài liệu tham khảo và phụ lục, nội dung luận án được trình bày trong 133 trang A4 gồm 4 chương. Cụ thể:

Chương 1. Tổng quan nghiên cứu

Chương 2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu sử dụng.

Chương 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Chương 4. Ứng dụng kết quả nghiên cứu đề xuất giải pháp khai thác nước ngọt vùng cửa sông Cửu Long.

Chương 1 TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

1.1 Tổng quan về vấn đề nghiên cứu

Cửa sông là nơi mà dòng nước ngọt từ nội địa gặp và pha trộn với nguồn nước mặn đến từ phía biển [1]. Điều này đã làm cho cửa sông trở thành một trong những nơi có môi trường sống tự nhiên đa dạng nhất trên thế giới [1-5] nhưng cũng rất nhạy cảm, dễ bị tổn thương bởi sự biến động tự nhiên và hoạt động của con người. Đây cũng là nơi có mật độ dân cư rất cao [5]; Có tới hơn một nửa các thành phố lớn của thế giới nằm cách vùng cửa sông ven biển khoảng 50km với mật độ dân số cao gấp 2,6 lần so với vùng nội địa [6]. Sự thay đổi dòng nước ngọt đã làm biến đổi môi trường sống, đa dạng sinh học và hoạt động khai thác nguồn nước của cư dân vùng ven biển [7]. Các nghiên cứu cho thấy, những thay đổi về sinh khối, về sản xuất thứ cấp chịu ảnh hưởng của sự thay đổi dòng chảy hay nói cách khác sức khỏe của cửa sông phụ thuộc vào dòng nước ngọt. Nước ngọt là nền tảng cho mọi quá trình hoạt động ở VCS [8]. Việc nghiên cứu, quản lý và sử dụng hiệu quả tài nguyên nước ngọt VCS để bảo tồn và khôi phục các hệ sinh thái nước lợ đồng thời cung cấp cho nhu cầu phát triển KT-XH cần được quan tâm trong giai đoạn hiện nay [9,10].

Hiện nay, phân bố nguồn nước ngọt đang có những biến động lớn ở nhiều VCS do tác động của của các vấn đề như NBD, thay đổi dòng chảy do hoạt động của hệ thống hồ chứa ở thượng nguồn, cũng như việc gia tăng khai thác sử dụng nguồn nước trong lưu vực [11-13].

Phía thượng lưu chế độ dòng chảy đã có nhiều thay đổi bất thường do việc xây dựng các hồ thủy điện và quá trình khai thác dòng chảy [14-22]. Dự báo tới năm 2030 số lượng hồ chứa thượng nguồn sông Mekong sẽ tăng gấp đôi. Các hồ chứa sẽ điều tiết khoảng 100 tỷ m³ nước sông Mekong, chiếm 18% tổng lưu lượng hàng năm. Theo quan trắc, tại Vũng Tàu mực nước biển trung bình đang tăng với tốc độ 3,18 mm mỗi năm [12, 23], dự báo đến năm 2030 mức NBD tại đây khoảng 12cm [24].

Tại VCS Cửu Long, tình trạng xâm nhập mặn và thiếu nước ngọt là những hạn chế lớn cho việc phát triển KT-XH ở khu vực này [25]. Vào mùa khô, xâm nhập mặn tăng cao, khan hiếm nước ngọt đã ảnh hưởng rất lớn đến sinh hoạt cũng như trong sản xuất. Hầu hết các vùng ngọt hoá ven biển trước đây đều phải chuyển đổi mục tiêu mà vấn đề xâm nhập mặn là một trong những nguyên nhân chính [12,26-28]. Nguồn nước ngọt chính để cung cấp cho các đối tượng dùng nước hiện nay là từ nước dưới đất [29,30]. Tuy nhiên, trong những năm gần đây việc khai thác nước dưới đất quá mức đã bộc lộ nhiều vấn đề phát sinh. Sự sụt giảm các tầng chứa nước, nhiễm mặn, nhiễm bần, lún sụt đất,... xuất hiện nhiều ở trong khu vực ĐBSCL [30,31]. Yêu cầu tìm nguồn nước để bổ sung và thay thế là thực sự cấp bách.

Sự thay đổi độ mặn của nước tại VCS là kết quả của quá trình tương tác giữa dòng nước ngọt từ thượng lưu và dòng nước mặn từ phía biển. Trong quá trình đó, nước ngọt biến động mạnh theo không gian, thời gian, phụ thuộc vào cả 2 yếu tố nguồn và biển [3,12,26,32]. Thủy triều là động lực chính để đẩy nước biển vào trong sông, tác động đó làm cho độ mặn biến động theo biên độ thủy triều [12, 26, 33, 34]. Lưu lượng nước nguồn tạo nên sức cản đối với dòng triều lên. Trong mùa cạn, nước nguồn trong sông vào thời kỳ thấp nhất, nước biển truyền vào trong sông xa nhất. Ngược lại, trong mùa lũ nước trong sông đẩy mạnh nước biển lui về phía hạ lưu. Do đó, yếu tố dòng chảy thượng lưu tác động mạnh đến quá trình nước ngọt theo mùa [12, 26].

Trong bối cảnh đó, NCS đặt ra các câu hỏi nghiên cứu chính: (i) Nước ngọt phân bố ở VCS như thế nào? (ii) Ảnh hưởng của các yếu tố dòng chảy thượng lưu và yếu tố thủy triều từ phía biển đến phân phối nước ngọt? (iii) Làm thế nào để khai thác nước ngọt ở VCS?. Những câu hỏi này chưa được trả lời đầy đủ trong các nghiên cứu trước đây. Các nghiên cứu trước đây chủ yếu xem xét phân tích giá trị độ mặn cao nhất để xác định ranh giới XNM nhằm tìm kiếm các giải pháp phòng chống hoặc giảm thiểu [12, 17, 26-28, 35, 36]. Do đó, các nghiên cứu trước đây chưa xác định rõ ràng ranh giới nước ngọt trong các tháng mùa khô, cũng như chưa khảo sát ảnh hưởng của dòng chảy thượng lưu đến sự xuất hiện nước ngọt ở VCS.

Kết quả của việc giải quyết các câu hỏi nghiên cứu đã nêu là tìm cách đạt được sự hiểu biết chi tiết hơn về phân bố nước ngọt ở VCS, là cơ sở đề xuất giải pháp để khai thác và bảo vệ tài nguyên nước ngọt khu vực. Hiểu biết rõ ràng hơn về các yếu tố tác động và các diễn biến giúp cho việc xác định các quy luật phân bố nước ngọt trong tương lai ở VCS Cửu Long.

1.2 Lịch sử nghiên cứu

1.2.1 Tình hình nghiên cứu ngoài nước

Tầm quan trọng của vùng cửa sông ven biển đã được con người nhận biết từ rất sớm. Do đó, việc nghiên cứu và quản lý vùng cửa sông ven biển là một trong những nhiệm vụ được quan tâm hàng đầu. Các nghiên cứu có liên quan đến luận án có rất nhiều được tập trung theo các hướng: các nghiên cứu về vai trò của nguồn nước ngọt và vấn đề xâm nhập mặn VCS; các nghiên cứu các yếu tố tác động đến nước ngọt vùng cửa sông đến từ phía biển; các nghiên cứu về nước ngọt đến từ thượng lưu cùng các yếu tố tác động.

1.2.1.1 Các nghiên cứu về vai trò của nguồn nước ngọt và vấn đề xâm nhập mặn vùng cửa sông.

Các nghiên cứu về cửa sông và nước ngọt ở VCS là vấn đề đang được quan tâm ở nhiều quốc gia, nhất là ở các quốc gia phát triển [2, 5, 11, 37-39]. Các nghiên cứu đã chỉ rõ tầm quan trọng của VCS. Các quá trình tạo ra hệ sinh thái phong phú, đa dạng ở VCS cũng như mối quan hệ giữa dòng nước ngọt với hệ sinh thái cửa sông được nghiên cứu kỹ lưỡng. Những tác động tiềm tàng của việc thay đổi dòng nước ngọt chảy vào cửa sông cũng được tập trung làm rõ [11, 37, 40]. Từ đó, các nghiên cứu đã đưa ra được các hướng dẫn chi tiết cho việc quản lý cửa sông và quản lý nước ngọt cửa sông. Việc quản lý đã tích hợp giữa quản lý tổng hợp vùng ven biển với quản lý tổng hợp tài nguyên nước. Cách tiếp cận đó đã thừa nhận rằng các lưu vực, cửa sông, vùng nước ven bờ đều là các yếu tố của các hệ sinh thái rời rạc nhưng liên kết chặt chẽ với nhau [11, 41].

Các nghiên cứu về XNM VCS [3, 42-44] đã chỉ ra quá trình pha trộn nước sông và nước biển để tạo nên môi trường nước lợ. Các nghiên cứu đã tập trung làm rõ các đặc trưng của chế độ mặn, cơ chế XNM, các yếu tố tác động lên diễn biến chế độ mặn VCS. Quá trình lan truyền mặn trong sông phụ thuộc vào nhiều yếu tố: dòng chảy sông, thủy triều phía biển, các đặc trưng địa hình – địa mạo của dòng sông, các yếu tố khí tượng, cùng các tác động của con người,... Trong đó, yếu tố dòng chảy thượng nguồn và thủy triều phía biển là những yếu tố chính có vai trò quyết định đến các quy luật của XNM. Dòng chảy từ biển là động lực chính để đẩy nước biển vào trong sông, do đó độ mặn cũng biến động theo nhịp độ thủy triều. Lưu lượng nước từ thượng nguồn đổ ra cửa sông là yếu tố kìm hãm tác động của XNM. Do đó, yếu tố dòng chảy thượng lưu làm cho độ mặn biến động theo mùa [3, 33, 34]. Gió cũng là một yếu tố tác động đáng kể đến XNM VCS [42]. Chế độ gió thường gây tác động gián tiếp, thông qua việc làm cho mức nước biển dâng lên, đẩy nước biển vào sâu hơn trong những đợt gió lớn kéo dài. Do đó, yếu tố gió thường tạo nên những đợt XNM bất thường (gió chướng, bão,...). Chế độ gió cũng gây tác động trực tiếp đến XNM như tạo ra sự xáo trộn nước giữa các khối nước trong VCS.

Các nghiên cứu cũng chỉ rõ tác động của sự biến đổi độ mặn đến hệ sinh thái VCS. Theo đó, sự biến đổi độ mặn dọc theo chiều dài sông có vai trò chi phối trong việc phân bố của hệ sinh thái động – thực vật ở VCS. Ngoài ra sự biến đổi độ mặn dọc sông cũng tạo ra môi trường chuyển tiếp quan trọng cho các loài di cư [3,11]. Các nghiên cứu cũng làm rõ tác động của XNM đến sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản, cung cấp nước [13, 17]. Để ứng phó với tác động của XNM, nhiều giải pháp kiểm soát mặn để khai thác nước ngọt đã được đưa ra như điều tiết dòng nước ngọt [45], xây dựng các hồ chứa dọc VCS [46].

Sự pha trộn giữa khối nước mặn đến từ phía biển và nước ngọt trong sông cũng được nhiều nghiên cứu chi tiết. Các nghiên cứu cũng đã chỉ ra dòng triều di chuyển vào trong sông thường có dạng hình nêm nằm sát đáy (nêm mặn). Giai đoạn triều lên sẽ xuất hiện hiện tượng dồn nước ngọt từ nguồn về; ngược lại khi triều xuống nước ngọt sẽ đẩy nêm mặn di chuyển nhanh về phía biển. Tùy thuộc vào năng lượng thủy

triều, lượng nước ngọt từ thượng nguồn đổ xuống các nghiên cứu đã chỉ ra các hình thức xáo trộn giữa khối nước mặn từ biển và nước ngọt trong sông. Tùy thuộc vào tỷ số giữa lượng dòng triều đến từ biển (W_T) và lượng nước nguồn (W_s), Pritchard đã phân ra các hình thức xáo trộn giữa nước biển và nước sông [43]: (i) $W_T/W_s \leq 1$: không hoặc xáo trộn yếu, có sự phân tầng giữa 2 lớp dòng nước. Mặn truyền vào trong sông theo hình thức nêm với độ dốc lớp nước mặn rất bé; (ii) $1 < W_T/W_s \leq 10$: hình thức xáo trộn vừa, nước mặn và nước sông có sự xáo trộn, song giữa 2 khối nước vẫn có sự phân biệt; (iii) $W_T/W_s > 10$: hình thức xáo trộn mạnh giữa 2 khối nước không có sự phân biệt rõ ràng về tính chất.

1.2.1.2 Các nghiên cứu về các yếu tố tác động đến phân bố nước ngọt VCS.

Các nghiên cứu đến từ phía biển thường tập trung vào các vấn đề nghiên cứu về quản lý tổng hợp đới bờ biển và vấn đề tương tác biển – lục địa; nghiên cứu về dòng chảy biển, sóng biển, thủy triều, sự truyền triều vào VCS.

Nghiên cứu sự tương tác giữa đất liền và biển (LOIS) do hội đồng nghiên cứu môi trường tự nhiên (NERC) đề xướng vào năm 1992 [47, 48]. Nghiên cứu đã tập hợp được đông đảo các nhà khoa học trên khắp thế giới. Các cuộc điều tra cơ bản, nghiên cứu cơ bản tập trung vào các khía cạnh vật lý, sinh học đã được thực hiện. Các kết quả hướng đến đánh giá những thay đổi về sử dụng đất, BĐKH, thay đổi mực nước biển sẽ tác động như thế nào đến các hệ thống vùng ven biển, cửa sông.

Công trình nghiên cứu động lực học hải dương của các tác giả G.I. Marchuk & B.A. Kagan (1984) [49] đã cung cấp cái nhìn tổng quan về thủy triều, các lực tạo nên thủy triều cùng các chu kỳ diễn biến. Các mô hình và các phương trình toán học đã được xây dựng để mô tả các đặc điểm vật lý của quá trình tạo thủy triều. Phương pháp giải bài toán động lực thủy triều đã được xây dựng. Nghiên cứu cũng đề cập đến tính toán thủy triều trong các đại dương và các vùng biển trên thế giới.

Tác giả Klaus Wyrtki, 1961 [50] đã giới thiệu kết quả điều tra về vùng Biển Đông Nam Á, trong đó có Biển Đông và Vịnh Thái Lan thuộc Việt Nam. Đặc biệt tài liệu đã trình bày chi tiết về tính toán thủy triều, hoàn lưu gió mùa.

Ngoài ra, còn có nhiều các công trình tính toán thủy triều, hoàn lưu gió, chế độ sóng,... do các tác giả Việt Nam thực hiện ở nước ngoài trong khuôn khổ các luận án tiến sĩ, phó tiến sĩ [51].

Nghiên cứu về BĐKH và NBD cũng đã được thực hiện rất nhiều và đã có nhiều khuyến cáo quan trọng [48, 52-56]. Theo Báo cáo 1992 của IPCC: mực nước biển toàn cầu sẽ tăng lên khoảng từ 32 đến 64 cm, khả năng lớn nhất tăng 45cm. Bờ biển Việt Nam sẽ có mực nước dâng từ vài chục cm đến 100cm.

Các nghiên cứu về dòng chảy thượng lưu cho đến VCS cũng rất đa dạng, các nội dung có liên quan đến luận án thường tập trung vào: (i) Nghiên cứu phát triển nguồn nước phục vụ cho việc tăng lượng nước hữu ích trong các lưu vực, tạo nguồn để đáp ứng các yêu cầu dùng nước [57]. Bao gồm những nghiên cứu về thủy văn dòng chảy như vấn đề lũ và hạn; tích nước dưới ảnh hưởng của mặt đệm lưu vực; nghiên cứu xây dựng hồ chứa, đập dâng; nghiên cứu các nguồn tích trữ cục bộ trên các đồng bằng, các khu bảo tồn sinh thái; nghiên cứu các biện pháp bổ cập nhân tạo nước ngầm [58],... (ii) Quản lý nguồn nước là một trong những nội dung quan trọng và đang được quan tâm nghiên cứu nhiều hiện nay. Các nội dung nghiên cứu thuộc vấn đề này bao gồm: chính sách về nước, các mô hình phân chia nước [11, 57].

1.2.1.3 Các nghiên cứu của Ủy ban sông Mekong.

Ủy ban sông Mekong (MRC) đã có nhiều nghiên cứu ở nhiều lĩnh vực khác nhau. Liên quan đến đề tài này, chủ yếu là dòng chảy kiệt và XNM.

Vào những năm 1990, MRC đã nghiên cứu về XNM ở ĐBSCL, chủ yếu là phục vụ cho dự báo XNM. Tuy đã rất cố gắng nhưng kết quả vẫn còn rất hạn chế, các kết quả dự báo chỉ mang tính tham khảo.

Chương trình WUP (Chương trình Sử dụng Nước – Water Utilization Programme) [59, 60] của MRC, đã phát triển bộ công cụ hỗ trợ ra quyết định (DSF) và sử dụng cho nghiên cứu dòng chảy kiệt, các chỉ tiêu đánh giá dòng chảy kiệt. Từ đó căn cứ vào Hiệp định Mekong 1995 đề xuất cơ chế quản lý, theo dõi dòng chảy sông Mêkong, đảm bảo phát triển bền vững lưu vực. Nghiên cứu đã đạt được các kết

quả về dòng chảy kiệt sông chính, đề xuất một số chỉ tiêu đánh giá và phối hợp quản lý duy trì dòng chảy, tuy nhiên chưa có đề xuất giải pháp riêng cho Việt Nam trong các trường hợp hạn.

Chương trình BDP (Chương trình Phát triển Lưu vực – Basin Development Programme) [61] của MRC, giai đoạn 1 (2002-2006) đã xem xét và đánh giá ban đầu về hiện trạng phát triển của lưu vực về nông nghiệp, thủy sản, giao thông, thủy điện, thủy văn, tập hợp các dự án phát triển của các quốc gia làm cơ sở cho định hướng qui hoạch phát triển lưu vực một cách bền vững. Đây là căn cứ cho việc xem xét các phương án phát triển thượng lưu.

Chương trình Môi trường (EP): Chương trình này theo dõi và đánh giá về chất lượng và môi trường nước trên lưu vực, chủ yếu là dòng chính và một số sông nhánh.

Dự án Nghiên cứu Tổng quan về Thủy văn sông Mekong (2004) [62], đã đánh giá hiện trạng thủy văn lưu vực Mekong, dòng chảy lũ, dòng chảy kiệt và dòng chảy vào Biển Hồ (Tonle Sap).

Dự án của Ngân hàng thế giới (WB) năm 2004, đã thực hiện đánh giá các phương án phát triển hạ lưu sông Mekong (2004) với sự hỗ trợ của bộ công cụ DSF (công cụ hỗ trợ ra quyết định) để đánh giá tác động của các kịch bản phát triển trên lưu vực Mekong. Các vấn đề chính đã được xem xét trong nghiên cứu này là: (1) Mô phỏng hiện trạng; (2) Tác động của thủy điện Trung Quốc với hai công trình hiện hữu và hai công trình dự kiến; (3) Phương án phát triển thấp với gia tăng sử dụng nước đến 2020 (7.442.000 ha) và các công trình hiện hữu; (4) Tác động của đê bao dự kiến trên phần lãnh thổ Campuchia (130.000 ha) đến thay đổi ngập lũ trên lưu vực; (5) Gia tăng phát triển nông nghiệp hạ lưu ở mức cao (11,349 triệu ha) trong khi giữ nguyên cấp độ phát triển thủy điện phía hạ lưu Lào, Thái lan, Campuchia và Việt Nam; (6) Gia tăng phát triển nông nghiệp hạ lưu ở mức cao (11,349 triệu ha) trong có gia tăng phát triển thủy điện ở Trung Quốc, Lào, Thái Lan, Campuchia và Việt Nam (49.478 triệu m³). Nghiên cứu đã sơ bộ đánh giá được tác động các kịch bản đến thay đổi chế độ dòng chảy sông Mekong, tác động đến giao thông thủy, thủy sản, thay đổi đến lũ và XNM hạ lưu. Chú ý rằng, các nghiên cứu này đã xét đến thay đổi trên lưu vực

nhưng chưa đề xuất giải pháp cụ thể cho Việt Nam trong những trường hợp bất lợi, các tổ hợp phát triển là giả thiết, chưa đề xuất giải pháp cụ thể cho từng trường hợp, do đó cần nghiên cứu sâu và chi tiết hơn. Có thể xem đây là nghiên cứu tổng hợp có ý nghĩa nhất về nguồn nước trong phạm vi toàn lưu vực có xét đến các yếu tố chính về nguồn nước và sử dụng nước, do vậy có một ước lượng về dòng chảy cho các nước hạ lưu Mekong.

1.2.1.4 Các công cụ phục vụ nghiên cứu, đánh giá nguồn nước

Để giải quyết các bài toán phức tạp về sử dụng, phân bổ nguồn nước, nhất là trong các điều kiện ít nước, hạn, nhiều bộ công cụ mô hình đã được sử dụng. Các mô hình này có khả năng giải quyết cả bài toán thủy động lực và bài toán tối ưu (nghiên cứu mô hình phân chia nước...) [60, 63].

Từ 2005, Ủy ban sông Mekong đã thành công trong việc thiết lập bộ công cụ mô hình hỗ trợ ra quyết định [60] để làm công cụ đánh giá về các hoạt động sử dụng nước trên lưu vực, là căn cứ pháp lý chính thức để các nước đấu tranh bảo vệ quyền lợi của mình. Bộ công cụ này gồm mô hình thủy văn SWAT của Mỹ, mô hình dòng chảy IQQM của Australia (phát triển để quản lý sông Murray-Darling) và ISIS của Anh (Wallingford). Bộ công cụ mô hình đã được thiết lập với bộ số liệu địa hình, thủy văn... khá đầy đủ và đã được cân chỉnh với mức độ phù hợp chấp nhận được. Ngoài ra, khi thực hiện các nghiên cứu chuyên sâu trên lưu vực này, bộ mô hình MIKE (NAM, BASIN, 11, 21, 21C, ...) của Viện Thủy Lợi Đan Mạch; bộ mô hình thủy động lực và môi trường của Viện Môi trường Phần Lan đã được sử dụng phổ biến trong nhiều kết quả nghiên cứu [13, 14, 17, 64].

Nhìn chung, trong vấn đề của sông, nước ngọt cửa sông, xâm nhập mặn, dòng chảy; các lĩnh vực quản lý, khai thác hợp lý tài nguyên nước mặt đã được nghiên cứu rất nhiều trên thế giới nói chung và trên lưu vực sông Mekong nói riêng. Việc tiếp thu các kinh nghiệm, kết quả nghiên cứu trên thế giới về lĩnh vực này để phục vụ cho việc khai thác hợp lý tài nguyên nước mặt và phòng tránh những tai biến do nước gây ra là rất hữu ích.

1.2.2 Tình hình nghiên cứu trong nước

1.2.2.1 Các nghiên cứu về tài nguyên nước ngọt và xâm nhập mặn ở VCS

Liên quan đến tài nguyên nước VCS nói riêng và ĐBSCL nói chung đã có rất nhiều nghiên cứu công phu, chi tiết. Các nghiên cứu của Nguyễn Sinh Huy [12, 32, 65, 66] đã đề cập một cách toàn diện và rất chi tiết về tài nguyên nước mặt ở ĐBSCL, từ chế độ triều ở vùng biển trước cửa sông, diễn biến chế độ nước thượng lưu, quá trình sử dụng nước trên đồng bằng, quá trình truyền triều vào nội đồng, chế độ dòng chảy theo các mùa lũ kiệt. Các nghiên cứu cũng đề cập đến việc nhận dạng NBD ở vùng ĐBSCL; Phân tích, đánh giá ảnh hưởng của BĐKH và NBD trên phạm vi ĐBSCL và vùng biển bao quanh; Phân tích những diễn biến của chế độ nước ĐBSCL có liên quan với NBD: XNM, điều kiện thoát lũ, tràn lũ, ngập lũ, ngập triều, phân bố nước ngọt, bùn cát, bổ sung nước ngầm, bồi xói, diễn biến của các yếu tố địa mạo – thủy văn VCS, các bãi triều; Phân tích đánh giá diễn biến của môi trường nước và ảnh hưởng của diễn biến đó tới các hệ sinh thái tự nhiên, tài nguyên đất; Đề xuất kế hoạch khai thác nguồn nước, phòng chống thiên tai; Phân vùng những diễn biến và khả năng ứng phó; Đánh giá hoạt động của hệ thống công trình thủy lợi trong điều kiện NBD theo các kịch bản; Đề xuất các biện pháp ứng phó nhằm bảo vệ sản xuất nông nghiệp và nông thôn; đưa ra các khuyến cáo về sản xuất và phát triển bền vững trong điều kiện NBD.

Liên quan đến xâm nhập mặn ở VCS cũng đã có nhiều nghiên cứu toàn diện, chi tiết. Các tác giả Lê Sâm, Nguyễn Sinh Huy [12, 28, 67] đã nghiên cứu chi tiết về lĩnh vực XNM ở ĐBSCL. Trên dòng chính các tài liệu này đã xem xét đầy đủ các yếu tố: Quá trình diễn biến độ mặn theo thời gian ($S \sim T$); Diễn biến độ mặn lớn nhất (S_{max}), độ mặn trung bình (S_{bq}) ngày, tháng dọc các nhánh sông; Chiều dài XNM trên các nhánh sông; Sự hòa trộn giữa nước ngọt và nước mặn. Trong đó, các đặc trưng quan trọng mà các nghiên cứu đã đưa ra là thời gian mặn xâm nhập sâu nhất là tháng 4, chiều dài xâm nhập mặn sâu nhất là cửa Tiểu (57km: 4‰), và an toàn nhất là cửa Bassac (40km: 4‰). Kết quả các nghiên cứu đã đưa ra được các quy luật diễn biến và tác động của XNM vùng ven biển ĐBSCL, đã xác định ranh giới các vùng

CLN khác nhau, đề xuất phân vùng canh tác cây - con phù hợp với thực trạng XNM, đề xuất giải pháp hoàn thiện hệ thống công trình kiểm soát mặn phục vụ phát triển kinh tế xã hội ĐBSCL. Các tài liệu cũng đã đề cập việc ứng dụng mô hình toán nghiên cứu XNM ở ĐBSCL, xét đến các vấn đề hiện tại và tương lai gần, sự phát triển và những tác động đến XNM.

Tổng cục Thủy lợi [68] đã cập nhật tình hình hạn hán, XNM của năm 2016 trên ĐBSCL. Theo đó, ranh giới XNM 4‰ đã tiến sâu hơn vào lục địa từ 10÷25km tùy từng cửa sông. Tài liệu cũng đã phân tích nguyên nhân và đưa ra các giải pháp ứng phó với XNM ở ĐBSCL.

Trong quá khứ, thiếu các số liệu quan trắc thực tế nên các nghiên cứu về hình thức xáo trộn giữa nước sông và nước biển là rất hạn chế. Các số liệu quan trắc mặn theo độ sâu thường được thực hiện trong các thời kỳ xâm nhập mặn cao, nên các số liệu không thể hiện được sự phân tầng dòng chảy tại VCS Cửa Long. Gần đây, Nguyễn Phương Mai, 2022 [69] đã công bố các kết quả quan trắc tại Đại Ngãi cửa Trần Đề (ngày 2/III/2018), Cầu Quan cửa Định An (ngày 4/III/2018) và Láng Thè cửa Cỏ Chiên (ngày 6/IV/2018), các kết quả cho thấy có sự xáo trộn vừa tại các quan trắc. Cần lưu ý các quan trắc đều thực hiện trong ngày triều cường hoặc chuyển tiếp. Tiếp đó Đỗ Đắc Hải, 2022 [70] đã trình bày kết quả tính toán từ mô hình 3D cho thấy có sự phân tầng độ mặn tại cửa sông Hậu. Tuy nhiên, sự phân tầng không xảy ra ở mọi thời điểm. Trong đó thời đoạn triều kém hiện tượng phân tầng mặn rõ nét hơn.

Liên quan đến tác động của BĐKH trong giai đoạn 2011-2015 chương trình trọng điểm Quốc gia: “*Khoa học và công nghệ phục vụ Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với BĐKH*” đã có nhiều nghiên cứu quan trọng về lưu vực sông Mekong và vùng ĐBSCL. Lê Hữu Thuận, 2013 [27] đã đánh giá xu thế diễn biến mặn theo thời gian và không gian; Phân tích những yếu tố ảnh hưởng chính đến XNM ở ĐBSCL; Đã xác định thủy triều là yếu tố có tính động lực, dẫn mặn vào trong sông, dòng chảy từ nguồn đóng vai trò là nhân tố kiềm chế sự xâm nhập của mặn. Đó là 2 nhân tố quyết định tình hình XNM ở VCS, việc tác động đến 2 nhân tố này (như xây dựng các công trình lấy nước, các công trình ngăn triều - mặn) sẽ làm thay đổi căn

bản động thái mặn ở toàn bộ VCS cũng như trên toàn đồng bằng. Vũ Văn Phái, 2014 [71] đã phân tích các đặc điểm địa hình cũng như các quá trình địa mạo hình thành và tiến hóa của bờ biển vùng nghiên cứu trong thời kỳ gần đây; Từ đó làm rõ hiện trạng và nguyên nhân chính, cũng như các nhân tố ảnh hưởng đến biến động bờ biển các tỉnh Nam Bộ trong khoảng thời gian từ 1965-2010; Xác định cơ sở khoa học cho việc định hướng quy hoạch và quản lý môi trường đới bờ biển của vùng trên cơ sở nghiên cứu biến động bờ biển. Trần Hồng Thái, 2013 [72] đã làm rõ ảnh hưởng của của BĐKH đến sự biến đổi tài nguyên nước ở ĐBSCL; Xác định khả năng bảo đảm nguồn nước đối với sự phát triển bền vững ở ĐBSCL, phòng tránh lũ lụt cho các giai đoạn đến năm 2050; Đề xuất các giải pháp thích ứng với BĐKH, phục vụ khai thác và sử dụng hợp lý tài nguyên nước vùng ĐBSCL.

Liên quan đến vấn đề khai thác nước ngọt trong vùng mặn đã có một số nghiên cứu đề cập. Một số nghiên cứu của bản thân NCS [35, 73, 74] đã phân tích chế độ mặn trên sông Cổ Chiên, kết hợp sử dụng đoạn sông bỏ Láng Thè để đề xuất xây dựng hồ chứa nước ngọt cung cấp cho TP. Trà Vinh. Đề xuất này hiện đã được UBND tỉnh Trà Vinh chấp thuận và đang thực hiện các giai đoạn đầu tư để đưa vào sử dụng. Một số nghiên cứu khác của NCS cùng nhóm nghiên cứu [75-77] cũng đã đề cập đến việc phân tích các thời điểm có nước ngọt trên sông, kênh để tích trữ trong các vùng ĐNN phục vụ cấp nước cho sinh hoạt, sản xuất trong thời kỳ nhiễm mặn.

1.2.2.2 Các nghiên cứu phục vụ khai thác ĐBSCL

Các nghiên cứu này được bắt đầu từ rất sớm, tiến hành công phu và kỹ lưỡng trong nhiều thập kỷ. Là một phần của lưu vực sông Mekong, vùng ĐBSCL được điều tra tổng hợp bước đầu với các kết quả được thể hiện tập trung trong tập Atlas về điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội hạ lưu sông Mekong (Ủy ban sông Mekong quốc tế - 1972). Kế đó là hàng loạt các công trình nghiên cứu chủ yếu về đất, nước, nghề trồng lúa, ... của nhiều chuyên gia trong nước, Hà Lan, Nhật Bản ... và báo cáo sơ khởi về ĐBSCL của Ủy ban sông Mekong quốc tế vào năm 1975.

Sau năm 1975, việc nghiên cứu đồng bằng sông Cửu Long được mở rộng hơn với nhiều chương trình điều tra cơ bản tổng hợp. Trên cơ sở số liệu điều tra và kết

quả nghiên cứu các cơ quan chức năng bắt đầu chuyển sang giai đoạn xây dựng các quy hoạch khai thác đồng bằng với một quy hoạch tổng thể toàn diện nhất do các chuyên gia trong và ngoài nước thực hiện (NEDECO) [78].

Quy hoạch tổng thể ĐBSCL vào năm 1992 và các quy hoạch chuyên ngành khác: Quy hoạch thủy lợi, quy hoạch nông nghiệp, quy hoạch thủy sản, quy hoạch rừng, quy hoạch lũ, quy hoạch công trình chống XNM. Các quy hoạch được đề cập theo tài liệu, số liệu mới và quá trình khai thác. Công tác nghiên cứu ngày càng chi tiết và khoa học hơn [79].

Trong lĩnh vực khai thác tài nguyên nước các nghiên cứu thể hiện qua các bản quy hoạch thủy lợi qua các thời kỳ [36, 80-82]. Hệ thống công trình kiểm soát lũ, kiểm soát mặn giai đoạn vừa qua đều được xây dựng theo các quy hoạch này. Đáng lưu ý là “*Dự án phát triển thủy lợi ĐBSCL*” sử dụng vốn vay của Ngân hàng thế giới (WB) có hiệu lực từ khoảng năm 1999. Dự án này có diện tích khoảng 535.000ha với dân số khoảng 2,3 triệu bao gồm 5 tiểu dự án: Nam Măng Thít, Ô Môn – Xà No, Quản Lộ - Phụng Hiệp, Ba Ring – Tà Liêm và Tiếp Nhật. Dự án gồm 3 hợp phần chính: (1) nâng cấp cơ sở hạ tầng thủy lợi; (2) cải thiện cung cấp nước/ vệ sinh nông thôn; (3) Hỗ trợ thể chế cho quản lý nước. Trong đó dự án Nam Măng Thít đã tác động mạnh mẽ đến chế độ nước vùng cửa sông. Hệ thống đã phát huy tác dụng ngay khi công trình hoàn thành và mang lại hiệu quả trực tiếp trong sản xuất và sinh hoạt của người dân. Hiện nay, hệ thống đang tiếp tục được đầu tư bổ sung.

Vấn đề diễn biến lòng dẫn (bồi lắng, sạt lở) tại các cửa sông cũng như trong nội địa ĐBSCL cũng đã có nhiều nghiên cứu chi tiết. Đáng chú ý là các tài liệu [83-86] đã đề cập một cách toàn diện về tình hình biến đổi lòng dẫn, các nguyên nhân và dự báo những diễn biến trong tương lai.

1.2.2.3 Các nghiên cứu về các yếu tố tác động từ phía biển

Đã có rất nhiều các nghiên cứu chi tiết với các chương trình nghiên cứu về biển [87, 88]. Các vấn đề địa mạo thềm lục địa Việt Nam, địa chất, trầm tích tầng mặt, đặc điểm thủy – hải văn, quá trình biến động đường bờ và VCS, ... đã được nghiên cứu và đạt được những kết quả đáng kể. Kết quả của những nghiên cứu trong

các chương trình này là những tư liệu quý cho việc nghiên cứu chế độ thủy động lực vùng biển trước cửa sông và sự truyền triều vào VCS Cửu Long.

Chế độ thủy triều Biển Đông đã được nhiều tác giả nghiên cứu [50, 51, 89-91]. Các tài liệu đã trình bày chi tiết về chế độ triều Biển Đông, các yếu tố tác động đến lực tạo triều, các bản đồ thủy triều,...

Nguyễn Hữu Nhân, 2016 [92] đã cung cấp các luận cứ khoa học cho sự hình thành và phát triển vùng bồi tụ ven bờ biển mũi Cà Mau và dự báo xu thế biến động hình thái ven biển mũi Cà Mau. Đặc biệt nghiên cứu đã sử dụng bộ mô hình tích hợp MIKE21/3 Coupled Model FM để tính toán: chế độ thủy động lực, phổ sóng, vận chuyển bùn, vận chuyển cát; xem xét ảnh hưởng liên tục của Biển Đông, Biển Tây, sông Mekong và các yếu tố liên quan đến mặt đệm và hệ sinh thái đới bờ. Tác giả đã sử dụng miền tính toán rộng cho toàn vùng Biển Đông và vịnh Thái Lan với lỗi tính toán chi tiết cho vùng biển trước cửa sông từ Vũng Tàu tới Kiên Giang. Trên cơ sở đó, tác giả đã chi tiết hóa chế độ thủy động lực vùng biển trước cửa sông trong điều kiện bình thường, có bão cấp 12 và dự báo tới năm 2050.

Vấn đề mực nước biển dâng do BĐKH cũng đã có nhiều nghiên cứu. Tại vùng biển trước cửa sông Cửu Long số liệu quan trắc tại Vũng Tàu thường được sử dụng để phân tích xu thế NBD. Các kết quả phân tích cho thấy hiện tại mực nước biển bình quân đang có xu thế gia tăng 3,18mm/năm [12, 23]

Ngoài ra, một số nghiên cứu về dao động mực nước đại dương, thay đổi mực nước biển, đường bờ biển; tiến hóa cổ địa lý, địa mạo và trầm tích châu thổ sông Cửu Long; Xu thế phát triển biến động cửa sông và đường bờ biển; Cấu trúc nền móng, hoạt động kiến tạo-địa động lực hiện đại khu vực ĐBSCL; Vai trò và ảnh hưởng của các hoạt động kiến tạo trong điều kiện mực nước biển dâng cao ở vùng ĐBSCL cũng được nhiều tác giả đề cập [93-96].

1.2.2.4 Các nghiên cứu về dòng chảy thượng lưu

Liên quan đến dòng chảy thượng lưu và những tác động của các kịch bản khai thác tài nguyên, phát triển công trình thượng lưu cũng đã có nhiều nghiên cứu chuyên sâu và chi tiết. Nguyễn Quang Kim, 2009 [18] đã phân tích và đánh giá về điều kiện

tự nhiên và bồi cảnh phát triển trên lưu vực, xác định được các kịch bản có thể xảy ra trên lưu vực và thiết lập được các kịch bản thượng hạ lưu phù hợp trong tương lai phục vụ xây dựng chiến lược phát triển và bảo vệ nguồn nước, chống hạn và XNM trên đồng bằng; Nghiên cứu cho rằng, khi không có thủy điện điều tiết ở thượng lưu, gia tăng phát triển nông nghiệp phía thượng lưu ở mức cao có thể làm giảm lưu lượng bình quân về thượng lưu đồng bằng vào khoảng $600 \text{ m}^3/\text{s}$; Tác động điều tiết của các hồ thủy điện ở điều kiện hoạt động bình thường có thể làm gia tăng lưu lượng bình quân về Kratie, Campuchia mùa kiệt khoảng hơn $600 \text{ m}^3/\text{s}$ và triệt giảm lưu lượng bình quân tháng đỉnh lũ hơn $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Trong tương lai gần, các tác động còn mạnh hơn với mức gia tăng lưu lượng trung bình tại Kratie mùa khô khoảng $800 \text{ m}^3/\text{s}$ và triệt giảm lưu lượng bình quân tháng đỉnh lũ xấp xỉ $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Trong điều kiện nông nghiệp thượng lưu phát triển mức cao thì lưu lượng bình quân mùa kiệt về Kratie vẫn có thể gia tăng khoảng $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Tác động điều tiết của các công trình thủy điện phía thượng lưu (ở điều kiện hoạt động bình thường) làm gia tăng đáng kể lưu lượng về ĐBSCL trong các kịch bản có cả phát triển nông nghiệp.

Trong dự án: “*Nghiên cứu tác động của các công trình thủy điện trên dòng chính sông MeKong*”, 2015 [19] DHI đã đánh giá rất chi tiết về tác động của các công trình thủy điện trên dòng chính sông Mekong. Tài liệu này đã cho rằng tác động của thủy điện đến XNM là không đáng kể. Đây là kết luận đang gây ra nhiều tranh luận bởi trong những năm gần đây (sau khi các hồ Tiểu Loan và Nọa Trác Độ hoàn thành) XNM đã đến sớm hơn và khốc liệt hơn ở ĐBSCL (điển hình năm 2016).

Liên quan đến biến động dòng chảy sông Mekong cũng đã có nhiều nghiên cứu chi tiết [15, 16, 19, 21, 22, 72, 97]. Các nghiên cứu đã chỉ ra vùng trung – thượng lưu sông Mekong đã và đang có nhiều biến động phức tạp, bao gồm: (1) hệ thống hồ chứa phía thượng lưu; (2) khai thác nguồn nước tăng cao trên lưu vực; (3) hoạt động chuyển nước ra khỏi lưu vực. Các yếu tố đó đã làm cho dòng chảy về vùng hạ lưu có nhiều biến động phức tạp. Tô Quang Toàn, Tăng Đức Thắng, 2013 [16] đã phân tích chi tiết dòng chảy tại Kratie theo chuỗi số liệu nhiều năm, đã định lượng được xu thế biến đổi theo từng tháng. Đặc biệt các kết quả đã cho thấy sự gia tăng rõ rệt của lưu

lượng dòng chảy trong các tháng mùa kiệt thông qua các giá trị trung bình theo từng thời đoạn.

Vai trò của biển hồ Tonle Sap với dòng chảy về Việt Nam cũng đã được đề cập trong nhiều nghiên cứu [15, 98, 99]. Theo đó, mùa kiệt (tháng 12-4) biển hồ đóng góp hơn 20 tỷ m³ nước (qua trạm Prek Dam), so với 40,3 tỷ m³ dòng chảy qua Kratie. Trong đó chủ yếu tập trung trong các tháng đầu mùa kiệt, từ tháng 3 dòng chảy qua vị trí này chỉ còn 600m³/s.

1.2.2.5 Các công cụ phục vụ nghiên cứu có liên quan đến tài nguyên nước ở ĐBSCL.

Để giải quyết các bài toán phức tạp về sử dụng, phân bổ nguồn nước, nhất là trong các điều kiện ít nước, hạn, nhiều bộ công cụ mô hình đã được sử dụng. Các mô hình này có khả năng giải quyết cả bài toán thủy động lực và bài toán tối ưu.

Tại ĐBSCL, việc ứng dụng mô hình thủy lực phục vụ nghiên cứu những vấn đề liên quan đến tài nguyên nước đã được phát triển mạnh bởi nhiều chuyên gia trong và ngoài nước. Các mô hình sử dụng phổ biến có thể kể đến như: mô hình SOGREAH của các chuyên gia từ Pháp, mô hình KOD của Nguyễn Ân Niên, mô hình SAL của Nguyễn Tất Đắc, mô hình VRSAP của Nguyễn Như Khuê, mô hình DUFLOW được xây dựng bởi các tổ chức đến từ Hà Lan, mô hình HYDROGIS của Nguyễn Hữu Nhân, mô hình ISIS do công ty Halcrow và Viện Nghiên cứu thủy lực Wallingford xây dựng, mô hình MIKE do Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI) xây dựng.

Trong đó mô hình MIKE với những cải tiến mới nhất cho tính toán nghiên cứu dòng chảy và chất lượng nước (độ mặn). Cơ sở dữ liệu đầy đủ cho toàn ĐBSCL cũng đã được các chuyên gia thiết lập và cho kết quả tốt, vì vậy MIKE đã được sử dụng phổ biến hơn.

1.2.2.6 Đánh giá các kết quả nghiên cứu

Các nghiên cứu có liên quan đến tài nguyên nước ngọt và vấn đề XNM ở VCS Cửu Long đã có rất nhiều với mức độ nghiên cứu công phu, chi tiết. Tuy nhiên, các nghiên cứu về phân bổ nước ngọt ở VCS là hầu như chưa có. Liên quan trực tiếp đến vấn đề này là các nghiên cứu về XNM. Các nghiên cứu về quy luật phân bổ mặn theo

không gian, thời gian sẽ là những kinh nghiệm quý báu cho luận án để tìm ra các quy luật phân bố nước ngọt.

Phân bố nước ngọt theo chiều đứng chính là các quy luật xáo trộn giữa khối nước mặn đến từ phía biển và khối nước ngọt trong sông. Các nghiên cứu liên quan đến vấn đề này đã được quan tâm nghiên cứu ở nhiều nơi trên thế giới. Tuy nhiên, tại VCS Cửu Long các kết quả nghiên cứu còn nhiều hạn chế cả về số liệu quan trắc và kết quả tính toán. Đặc biệt, tại cửa sông Cổ Chiên, các phát hiện về phân tầng mặn trong mùa kiệt hầu như chưa có. Để làm rõ hơn về đặc điểm xáo trộn giữa nước mặn và nước ngọt tại vùng cửa sông Cổ Chiên cần thiết phải có thêm các điều tra nghiên cứu chi tiết.

Các nghiên cứu về biến đổi dòng chảy mùa kiệt qua Kratie đã được đề cập với mức độ chi tiết cho từng tháng mùa kiệt thông qua các giá trị trung bình từng giai đoạn. Tuy nhiên, diễn biến chế độ dòng chảy hiện tiếp tục có nhiều thay đổi do các công trình mới xây dựng đặc biệt là công trình Nọa Trác Độ (2014). Do đó, cần thiết phải tiếp tục cập nhật các diễn biến để nhận dạng được xu thế thay đổi dòng chảy và xem xét khả năng dịch chuyển tháng kiệt nhất của dòng chảy tại trạm Kratie.

Dòng chảy các tháng mùa kiệt về Việt Nam đã thay đổi đáng kể, song các nghiên cứu trước đây cũng chỉ đề cập ở mức hạn chế. Sự khác biệt của dòng chảy qua Kratie so với Tân Châu do tác động của biển hồ Tonle Sap chưa được làm rõ. Do đó, cần thiết phải nhận dạng xu thế biến đổi dòng chảy các tháng mùa kiệt tại Tân Châu. Đặc biệt là xem xét diễn biến qua các giai đoạn điều tiết của Biển Hồ Tonle Sap.

Sự thay đổi chế độ dòng chảy thượng lưu, cùng với tác động của BĐKH và sử dụng nước thay đổi dẫn đến sự biến đổi sâu sắc của XNM ở VCS. Các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào phân tích sự thay đổi của các ranh mặn, mà chưa quan tâm nhiều đến sự dịch chuyển của thời gian xuất hiện đỉnh mặn. Trong quá trình phân tích sự phân bố nước ngọt ở VCS, luận án sẽ kết hợp phân tích nhận dạng những thay đổi của XNM.

1.3 Tổng quan về đồng bằng sông Cửu Long và những vấn đề có liên quan đến tài nguyên nước ngọt.

1.3.1 Quá trình phát triển của Đồng bằng sông Cửu Long

ĐBSCL là sản phẩm và là phần cuối của một con sông lớn – sông Mêkong, đứng hàng thứ 10 trên thế giới, với tổng diện tích 795.000 km², chiều dài sông chính 4.400 km. Phần diện tích nằm trên lãnh thổ Việt Nam chỉ chiếm 39.313 km², không tới 5% diện tích toàn lưu vực [12]. Đồng bằng được hình thành dưới tác động của hỗn hợp sóng và thủy triều, với hơn 90% diện tích đất đai ĐBSCL là đất thủy thành và gần như các dạng địa mạo cũng được hình thành do tác động của dòng chảy [100, 101]. Sự hình thành và phát sinh địa mạo, lớp phủ thổ nhưỡng cùng với sự tác động của chế độ thủy văn, chế độ mưa mùa và các yếu tố tự nhiên khác là các yếu tố quan trọng hình thành nên các đặc trưng và các vùng sinh thái nông nghiệp của vùng ĐBSCL [102].

Quá trình khai phá chinh phục thiên nhiên ở ĐBSCL được bắt đầu từ rất sớm và chủ yếu tác động lên chế độ nước. Con người đã sớm có mặt ở ĐBSCL và đã phát triển huy hoàng từ trước thế kỷ thứ 7 với nền văn hóa Óc Eo, tuy nhiên nước biển dâng đã chôn vùi nhiều thông tin ở thời kỳ trước đó [100]. Cho tới thế kỷ thứ 13, người Miên đã biết trồng lúa và biết cách “*dẫn thủy nhập điền*” để tổ chức canh tác [103]. Người Việt Nam phổ biến có mặt ở vùng ĐBSCL vào khoảng những năm đầu thế kỷ XVI [104]. Phương tiện đi lại duy nhất là ghe xuồng, di chuyển dọc theo hệ thống sông dựa theo quy luật thủy triều của Biển Đông [105]. Sự hình thành các trung tâm hành chính dọc theo hệ thống sông ngòi sau này với khoảng cách tương đối đều là 60 km, mang tính độc đáo mà không nơi nào khác có được, chính là sự thích nghi với thiên nhiên đầu tiên của người dân vùng ĐBSCL trong quá trình chinh phục thiên nhiên và hình thành “*văn minh sông nước*” [105].

Quá trình khai phá ĐBSCL được đẩy mạnh sau khi Pháp xâm lược Việt Nam, biến “*Nam Kỳ Lục Tỉnh*” thành Nam Kỳ thuộc địa của Pháp với mục tiêu trước tiên là “*Nam Kỳ có thể và trở thành thuộc địa nông nghiệp*”. Quá trình khai phá là một quá trình mà con người thích nghi và cải tạo không mệt mỏi môi trường tự nhiên.

Trong quá trình đó, con người đã gặp phải những hạn chế chính của điều kiện tự nhiên là (a) ảnh hưởng của **lũ** trên diện tích 1,9 triệu ha ở vùng đầu nguồn; (b) **mặn** ở mức 4 g/l xâm nhập trên diện tích khoảng 1,2 đến 1,4 triệu ha ở vùng ven biển; (c) đất **phèn** và sự lan truyền nước chua trên diện tích khoảng 1,0 triệu ha ở những vùng thấp trũng; và (d) **thiếu nước ngọt** cho sản xuất và sinh hoạt trên diện tích khoảng 2,1 triệu ha ở những vùng xa sông, gần biển [12, 25].

Từ sau khi đất nước thống nhất, sự phát triển thủy lợi mang tính chiến lược, cùng với việc ứng dụng nhiều tiến bộ kỹ thuật và động lực phát triển khác, đã đưa sản lượng lúa của ĐBSCL từ 4,5 triệu tấn năm 1976 lên 20,73 triệu tấn năm 2008 và cao nhất là năm 2015 với 25,58 triệu tấn. Quy hoạch tổng thể phát triển kinh tế - xã hội vùng ĐBSCL đến năm 2020, cũng đã tiếp tục khẳng định: “*Xây dựng, phát triển vùng ĐBSCL trở thành vùng trọng điểm sản xuất nông nghiệp hàng hóa và thủy sản của cả nước với tốc độ tăng trưởng kinh tế cao, bền vững; ...*”. [106].

Tuy nhiên, trong những năm gần đây, tình hình BĐKH và thiên tai xảy ra mạnh mẽ, diễn biến nhanh; tác động của nó là khó lường, khó dự báo do tính thất thường, cục đoạn. Thách thức từ các hoạt động khai thác, sử dụng nước ở phía thượng nguồn, đặc biệt là các dự án thủy điện trên dòng chính sông Mekong ngày càng phức tạp hơn. Những điều đó đã và sẽ tiếp tục làm cho vấn đề thiếu nước ngọt càng trở nên nghiêm trọng hơn; Bài học của hạn – mặn năm 2016 là một ví dụ điển hình [68].

Trước tình hình đó ngày 17/11/2017, Chính phủ đã ban hành Nghị quyết số 120/NQ-CP. Nghị quyết đã khẳng định chủ trương và định hướng chiến lược trong phát triển ĐBSCL là phải: “*Lấy tài nguyên nước làm yếu tố cốt lõi, là cơ sở cho việc hoạch định chiến lược, chính sách, quy hoạch phát triển vùng, ...*”. Như vậy, suốt quá trình lịch sử khai phá ĐBSCL, thì **yếu tố tài nguyên nước luôn được xem là cốt lõi**; mọi giải pháp khai phá đồng bằng đều là tác động lên chế độ nước.

1.3.2 Tài nguyên nước ở đồng bằng sông Cửu Long

1.3.2.1 Lưu vực sông Mekong

Sông Mekong bắt nguồn từ cao nguyên Tây Tạng, qua các vùng đồi núi của tỉnh Vân Nam (Trung Quốc) và Myanmar, rồi đi vào vùng trung hạ lưu thuộc Lào, Thái Lan, Campuchia và Việt Nam. Sông đứng thứ 10 thế giới về tổng lượng dòng chảy (500 tỷ m³) và chiều dài (4.200 km), đứng thứ 25 thế giới về diện tích lưu vực (795.000 km²).

Dòng chảy trên lưu vực sông được phân thành hai mùa tương phản khá sâu sắc. Mùa lũ từ tháng 6-11, chiếm đến 90% tổng lượng nước hàng năm, còn tháng 8 và 9 thường có lưu lượng tháng lớn nhất. Mùa kiệt từ 12-5, chiếm 10% tổng lượng nước năm, trong đó tháng 3 - 4 thường có lưu lượng tháng nhỏ nhất.

Bảng 1 trình bày kết quả tính toán dòng chảy mùa kiệt tại trạm Kratie theo chuỗi số liệu quan trắc 1970-2009 [36].

Bảng 1. Kết quả tính lưu lượng (m³/s) mùa kiệt ứng với P% tại Kratie (1970-2009)

Đặc trưng	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Số năm	40	40	40	40	40	40
Q _{bq}	3.479	2.634	2.240	2.239	3.426	9.709
C _v	0,197	0,142	0,161	0,208	0,367	0,436
C _s	0,987	0,428	0,805	0,623	1,470	0,873
Q _{50%}	3.325	2.607	2.185	2.194	3.151	9.205
Q _{75%}	2.979	2.368	1.977	1.907	2.510	6.654
Q _{85%}	2.848	2.248	1.884	1.768	2.254	5.460

Châu thổ sông Mekong và Biển Hồ: Từ dưới Kratie, sông Mekong chảy trong vùng đất thấp, có địa hình bằng phẳng, đôi khi hơi gợn sóng, với độ dốc nhỏ hơn 2%. Đối với vùng này thì địa hình ven sông thấp và hình thành các bãi tràn thoát lũ rộng.

Biển Hồ là một hồ chứa tự nhiên có diện tích lưu vực 85.000 km², dung tích 85 tỷ m³, diện tích mặt nước biến đổi từ 3.000 km² đến 14.000 km². Hàng năm nhận

từ sông Mekong khoảng 60 tỷ m³ nước vào mùa lũ và bổ sung 84 tỷ m³ nước cho hạ lưu để làm gia tăng dòng chảy kiệt vào ĐBSCL. Biển Hồ có bề rộng trung bình (khi nước cao) khoảng 25 km và chiều dài hơn 100 km, có độ sâu chừng 10-30 m.

Bảng 2 Lưu lượng dòng chảy kiệt vào Việt Nam giai đoạn 1985-1990 (m³/s)

Vị trí	T1	T2	T3	T4	T5
Kratié	3.643	2.694	2.198	2.137	3.605
Prek Dam	3.658	1.534	661	371	102
Tổng vào ĐBSCL	7.301	4.228	2.859	2.508	3.705

Bảng 2 trình bày lưu lượng dòng chảy kiệt vào Việt Nam từ 1985-1990 [12], vào thời kỳ này yêu cầu dùng nước cho phát triển nông nghiệp trong mùa kiệt của Campuchia không đáng kể nên dòng chảy vào ĐBSCL có thể không sai khác nhiều. Tháng 1, 2 dòng chảy từ Biển Hồ về Việt Nam chiếm tỷ lệ đáng kể, tuy nhiên các tháng 3, 4, 5 tỷ lệ này giảm nhỏ. Lưu lượng trung bình tháng 4 vào ĐBSCL với tần suất 50% vào khoảng 2.400 m³/s.

1.3.2.2 Những biến động có liên quan đến khai thác tài nguyên nước lưu vực sông Mekong

Trên dòng sông Mekong đang chịu nhiều tác động, bao gồm: (1) tác động của hệ thống hồ chứa phía thượng lưu; (2) tác động của khai thác nguồn nước tăng cao trên lưu vực; (3) tác động chuyển nước ra khỏi lưu vực.

(1) Kế hoạch phát triển thủy điện ở thượng lưu

Lưu vực thượng lưu MeKong đang phát triển chủ yếu là các công trình hồ chứa thượng lưu được xây dựng trên dòng chính và các dòng nhánh. Trong tương lai sẽ còn có nhiều thủy điện được xây dựng hơn nữa.

Theo Bộ Tài nguyên và Môi trường (năm 2014), trên toàn bộ lưu vực phía ngoài nước ta có 176 hồ chứa thủy điện, thủy lợi đã vận hành hoặc đang xây dựng. Trong đó:

- Trên dòng chính có 08 công trình, gồm 07 hồ chứa ở tỉnh Vân Nam - Trung Quốc và 01 hồ chứa trên lãnh thổ Lào.

- Trên các nhánh sông Damnoi và sông Mun ở Thái Lan có 02 hồ chứa.
- Trên các sông nhánh khác có 166 hồ chứa.

Về thủy điện Trung Quốc: Kế hoạch của Trung Quốc sẽ xây dựng 14 đập thủy điện với công suất lắp đặt tổng cộng tới 22,590 MW trên sông Lan Thương. Hiện nay Trung Quốc đã xây dựng 6/7 đập ở khu vực trung lưu và hạ lưu sông Lan Thương (Giai đoạn I) với tổng công suất trên 16,000 MW. Đồng thời, tiếp tục xây dựng thêm 06 đập thủy điện ở thượng nguồn sông Lan Thương (Giai đoạn II).

Trong các công trình đã hoàn thành, đáng lưu ý hồ Tiểu Loan (2010) và Nọa Trác Độ (2014) với tổng dung tích: 39.800 triệu m³, dung tích hữu ích 22.200 triệu m³. Đây là 2 công trình hoạt động theo chế độ điều tiết năm, nên sẽ làm biến đổi sâu sắc về chế độ dòng chảy.

Thủy điện vùng hạ lưu: Phần trung lưu trên lãnh thổ Lào, Thái Lan và Campuchia đã có 11 dự án thủy điện trên dòng chính được đề xuất xây dựng. Trong đó, Lào dự kiến xây dựng xây dựng 09 công trình (trong đó có 02 công trình đã chính thức khởi công, 01 công trình đang chuẩn bị khởi công xây dựng); Campuchia đang nghiên cứu, xây dựng 02 nhà máy thủy điện trên dòng chính sông Mekong là Sambor và Stungtreng.

(2) Các kế hoạch chuyển nước trên lưu vực:

Ngoài các dự án thủy điện, gần đây Thái Lan đã nghiên cứu một số dự án chuyển nước với quy mô lớn thuộc vùng Bắc và Đông Bắc Thái Lan thuộc lưu vực sông Mekong, bao gồm:

Chuyển nước ra ngoài lưu vực: Phương án chính là chuyển nước từ lưu vực sông Mekong sang lưu vực sông Chao Phraya khoảng 6,2 tỷ m³/năm;

Chuyển nước trong lưu vực: Thái Lan đang tập trung nghiên cứu các phương án chuyển nước từ dòng chính sông Mekong vào tích trữ trong các hồ chứa vùng Đông Bắc khoảng 6,5 tỷ m³/năm; chuyển nước từ các dòng nhánh phía Lào sang vùng Đông bắc Thái Lan khoảng 2,5 tỷ m³/năm

Tại Campuchia các dự án chuyển nước cũng đã được thực hiện. Dự án tưới Vaico do nhà đầu tư Trung Quốc thực hiện, với mục đích chuyển nước sông Mê Kông

chảy tràn qua bờ tả và qua sông Samdei vào trữ tại hồ Krapik để tưới cho các vùng trồng lúa ở phía hạ lưu thuộc các tỉnh Kampong Cham, Prey Veng và Svey Rieng.

Dự án chia làm hai giai đoạn, giai đoạn I từ năm 2012 tới 2017 với các hạng mục chính là xây dựng một cống (đập) lấy nước từ sông Samdei. Từ hồ Krapik, nước được dẫn làm hai nhánh: một nhánh chảy về tỉnh Prey Veng rồi tới Svey Rieng và một nhánh chảy về hướng Neak Leuong. Năm 2014 đã hoàn thành và đưa vào vận hành hệ thống đập đầu mối, các kênh và các cửa van điều tiết cùng các cống.

(3) Nhu cầu khai thác nguồn nước trên lưu vực:

Nguyễn Quang Kim [18] đã phân tích 3 kịch bản khai thác phía thượng lưu. Nhu cầu nước ở thượng lưu vực sông Mekong ứng với các điều kiện phát triển được tích toán dựa trên cơ sở sử dụng đất và phát triển ở các điều kiện phát triển khác nhau.

Kết quả cho thấy nhu cầu nước trong tương lai theo các kịch bản phát triển ở thượng lưu gia tăng đáng kể so với kịch bản năm 2000 (BL00). Cụ thể :

- Với kịch bản PTT, nhu cầu nước bình quân khoảng 943 m³/s tăng hơn 41% nhu cầu nước BL00. Đặc biệt nhu cầu nước của Campuchia vào mùa khô tăng lên đáng kể 462m³/s so với BL00 là 277 m³/s ; Thái Lan: 600m³/s so với BL00 là 529 m³/s.
- Với kịch bản PTC, nhu cầu nước bình quân khoảng 1.411 m³/s tăng hơn 110% so với BL00 và tăng 50% so với PTT. Trong đó kể sự gia tăng nhu cầu nước rất lớn ở Đông Bắc Thái lan 585 m³/s, Campuchia 576 m³/s. Vào mùa khô nhu cầu nước Campuchia đạt đến 837 m³/s chiếm khoảng 45% nhu cầu nước khu vực. Điều này có thể thấy rằng phát triển nông nghiệp ở Campuchia là một trong các vấn đề đáng lo ngại trong các kịch bản phát triển ở thượng lưu.

1.3.2.3 *Nguồn nước ngọt vào Việt Nam*

Lượng nước sông Mekong chảy vào Việt Nam qua sông Tiền và sông Hậu, được khống chế qua 2 vị trí Tân Châu và Châu Đốc. Ngoài ra, còn một phần dòng chảy tràn qua biên giới trong mùa lũ. Lưu lượng trung bình nhiều năm chảy qua Tân Châu và Châu Đốc là 11.820m³/s (Tân Châu: 9.390m³/s; Châu Đốc: 2.430m³/s) tương ứng với tổng lượng dòng chảy trung bình là 372,76 tỷ m³. Năm nhiều nước nhất là

444,97 tỷ m³ (1981) và năm ít nước nhất là 282,88 tỷ m³. Sự chênh lệch giữa năm nhiều nước và năm ít nước ở mức độ nhỏ, biến động không lớn [12, 32, 66].

Tháng IX là tháng có dòng chảy lớn nhất, đạt trên 25.000m³/s, tháng IV là tháng có dòng chảy nhỏ nhất, chỉ đạt khoảng hơn 2.000m³/s. Dòng chảy tháng IX, nhiều hơn tháng IV hơn 12 lần, đây là một tỷ lệ nhỏ so với các con sông khác ở Việt Nam.

Tổng lượng nước trung bình của tháng IV là 5,443 tỷ m³ (khoảng 2.099 m³/s), chỉ chiếm 1,46% tổng lượng nước trung bình năm. Nếu tính mùa khô từ tháng I đến tháng IV thì tổng lượng nước trong 5 tháng mùa kiệt chiếm 13.8% lượng nước cả năm.

Dòng nước ngọt khi về tới vùng ven biển ĐBSCL được thủy triều phía biển điều tiết lại và đẩy vào các vùng nội đồng. Sau khi qua Vàm Nao, dòng chảy được phân phối lại với tỷ lệ: sông Tiền 48,7%; sông Hậu: 51,3%; lượng nước chuyển sang BDCM chỉ chiếm 4,1%; Các cửa Vàm Cỏ Tây, cửa Tiểu có tỷ lệ dòng chảy thấp nhất, các cửa còn lại sắp xếp theo thứ tự: Định An, Trần Đề, Hàm Luông, Cỏ Chiên, Cung Hầu, Cửa Đại [36].

Nhìn chung lượng dòng chảy mặt về ĐBSCL là tương đối dồi dào, đạt tỷ lệ hơn 20.000m³/người – năm, đó là một tỷ lệ lớn. Tuy nhiên, do phân bố không đều theo không gian, thời gian cùng với tác động của các khu vực đất phèn và sự nhiễm mặn bởi nước biển đã làm cho nhiều khu vực khó tiếp cận được nguồn nước này.

Trong những năm gần đây, dưới tác động của khai thác dòng chảy phía thượng lưu đã và sẽ tiếp tục tác động mạnh đến các quy luật dòng chảy mặt về ĐBSCL [18, 19, 72]. Những tác động đó đã làm cho dòng chảy cuối mùa lũ, đầu mùa kiệt giảm thấp, dẫn đến mặn xâm nhập sớm hơn gây tác động trực tiếp đến sản xuất vụ Đông Xuân của các tỉnh ven biển ĐBSCL [107]. Tuy nhiên, vào giữa và cuối mùa khô, nước ngọt dồi dào hơn. Đây là một điểm quan trọng trong tìm kiếm nguồn nước phục vụ nhu cầu sử dụng. Đặc biệt là các hộ sử dụng nước có yêu cầu chất lượng cao.

1.3.2.4 Nước mưa ở ĐBSCL

Mùa mưa ở ĐBSCL vùng nghiên cứu phù hợp với hướng đón gió Tây Nam. Theo đó mùa mưa bắt đầu sớm, kéo dài và kết thúc muộn ở vùng ven Biển Tây, từ đó giảm dần theo hướng sang Biển Đông và vùng nội địa với khu vực có mùa mưa ngắn nhất nằm ở VCS. Trung bình độ dài mùa mưa trên toàn vùng là 190 ngày với độ lệch chuẩn 16 ngày, bắt đầu vào khoảng đầu tháng V, và kết thúc giữa tháng XI.

Lượng mưa ở vùng nghiên cứu khá dồi dào, lớn nằm ở ven Biển Tây và ít dần về hướng Biển Đông và vào sâu lục địa. Lượng mưa trung bình đạt 1.860mm/năm, cao nhất là Cà Mau (2.247mm/năm), thấp nhất là Tiền Giang (1.439mm/năm). Lượng mưa ở vùng nghiên cứu là khá lớn, đạt mức 4.900m³/người – năm, nhiều hơn 3,08 lần nhu cầu sử dụng nước ngọt.

Bảng 3. Một số đặc trưng thống kê của lượng mưa năm các tỉnh ven biển ĐBSCL theo chuỗi tài liệu 1987-2017

	Tỉnh	Tiền Giang	Bến Tre	Trà Vinh	Sóc Trăng	Bạc Liêu	Cà Mau	Toàn vùng
Thông tin chung	Diện tích (km ²)	2477	2403	2426	3600	2681	5243	24,476
	Dân số (10 ³ người)	1752	1267	1046	1314	894	1226	9291
	Diện tích nhà ở (m ² /người)	28,5	28,4	23,7	20,4	19,0	21,4	23,4
	Nhu cầu dùng nước (10 ⁶ m ³ /năm)	1814	540	1741	3042	1188	1236	14,777
Lượng mưa năm	Trung bình (mm)	1439	1485	1584	1716	1921	2247	1860
	Thấp nhất	1118	1159	1251	1290	1543	1908	1556
	Lớn nhất	1835	1858	2108	2339	2566	2906	2427
	CV	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,11	0,11
	Cs	0,17	0,12	0,54	0,67	0,54	1,43	0,82
	Trung vị	1442	1463	1545	1709	1889	2199	1859
	Độ lệch chuẩn	196	186	202	217	250	236	199

Trung bình, lượng mưa rơi xuống mái nhà trong năm trung bình đạt 43 m³/người, tương đương 119l/người-ngày. Trong thời kỳ khô hạn nhất của năm, lượng nước có thể thu được vẫn là 36,4 m³/người-năm, tương đương 99,7 l/người-ngày. Lượng nước này nhiều hơn so với lượng nước sử dụng hiện nay ở các vùng nông

thôn. Tiền Giang, tỉnh có lượng mưa ít nhất, trong năm kiệt vẫn có thể thu được 31,86 m³/người (87l/người-ngày) [29, 108].

Chất lượng nước mưa thu trực tiếp tại vùng nghiên cứu có chất lượng đảm bảo, các chất gây ô nhiễm gần như không có. Có sự hiện diện một số chỉ tiêu sunfat và amoni trong các mẫu phân tích nhưng vẫn trong giới hạn cho phép. Một số đánh giá về tình trạng mưa axit, tuy nhiên đó là những cá biệt có thể xảy ra. Nước mưa thu qua mái nhà có chất lượng thấp hơn, nhưng các chỉ tiêu vẫn trong giới hạn cho phép của QCVN: 02/2009-BYT. Cần lưu ý có sự hiện diện của coliform trong mẫu nước thu qua mái nhà. Nước mưa trong các bể chứa của người dân cũng có độ tinh khiết cao nhờ vào việc thu hoạch có chọn lọc. Chỉ tiêu pH bình quân thay đổi trong khoảng 6,49-7,93 cho thấy nước trong các bể chứa có môi trường trung tính [29].

Nhìn chung, nước mưa ở vùng nghiên cứu là một nguồn nước ngọt quan trọng. Lượng mưa dồi dào, đủ đáp ứng nhu cầu sử dụng nước, chất lượng nước đảm bảo có thể xử lý để cấp nước cho các mục đích sinh hoạt. Mặt hạn chế lớn nhất trong khai thác nước mưa là tính thiếu ổn định cả về lượng mưa và thời gian không có mưa.

1.3.2.5 Nước dưới đất ở ĐBSCL

Theo kết quả của dự án: “*Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước dưới đất vùng đồng bằng sông Cửu Long, đề xuất các giải pháp ứng phó*” [30] ĐBSCL có 8 tầng chứa nước chính trong các trầm tích lỗ hổng. Các tầng Miocene giữa trên (n_1^{1-2}) và tầng chứa nước (TCN) trong đá gốc nứt nẻ (pz) chưa được nghiên cứu đánh giá nên thiếu các thông tin. Các tầng chứa nước còn lại đã được nghiên cứu chi tiết, bao gồm: Pleistocene trên (qp_3), Pleistocene giữa - trên (qp_{2-3}), Pleistocene dưới (qp_1), Pliocene giữa (n_2^2), Pliocene dưới (n_2^1) và Miocene trên (n_1^3).

Bảng 4 trình bày trữ lượng khai thác tiềm năng, trữ lượng khai thác an toàn, lượng nước còn có thể khai thác của NĐĐ tại các tỉnh VCS [30]. Kết quả cho thấy, ngoại trừ Bến Tre là địa phương khan hiếm NĐĐ, các địa phương còn lại trữ lượng NĐĐ còn khá phong phú. Tuy nhiên, tầng chứa nước Pleistocene giữa - trên (qp_{2-3}),

đã khai thác vượt quá mức an toàn. Cần lưu ý đây là tầng chứa nước thuận lợi cho khai thác ở quy mô hộ gia đình.

Bảng 4. Trữ lượng nước dưới đất ở các tỉnh vùng cửa sông

Tầng chứa nước	qp ₃	qp ₂₋₃	qp ₁	n ₂ ²	n ₂ ¹	n ₁ ³	Tổng
Trữ lượng khai thác tiềm năng, m ³ /ngày							
Tiền Giang	203.759	209.440	86.038	232.915	592.403	196.644	1.521.199
Bến Tre	20.545	398	3.214	6.960	83.137	99.472	213.727
Trà Vinh	425.307	479.351	343.060	82.321	178.851	104.927	1.613.818
Sóc Trăng	247.572	724.786	589.442	558.293	212.184	234.488	2.566.765
Tổng	897.183	1.413.975	1.021.754	880.489	1.066.575	635.531	5.915.509
Trữ lượng khai thác an toàn của nguồn nước dưới đất, m ³ /ngày							
Tiền Giang	40.752	41.888	17.208	46.583	118.481	39.329	304.240
Bến Tre	4.109	80	643	1.392	16.627	19.894	42.745
Trà Vinh	85.061	95.870	68.612	16.464	35.770	20.985	322.764
Sóc Trăng	49.514	144.957	117.888	111.659	42.437	46.898	513.353
Tổng	179.436	282.795	204.351	176.098	213.315	127.106	1.183.102
Tổng lượng khai thác nguồn NĐĐ nhạt năm 2010, m ³ /ngày							
Tiền Giang	-	-	-	17.376	23.536	99.752	140.664
Bến Tre	1.926	541	-	-	10.161	3.300	15.928
Trà Vinh	-	220.175	-	-	-	-	220.175
Sóc Trăng	25.240	189.241	17.186	-	-	11.314	242.981
Tổng	27.166	409.957	17.186	17.376	33.697	114.366	619.748
Khả năng còn có thể khai thác của nguồn nước dưới đất, m ³ /ngày							
Tiền Giang	40.752	41.888	17.208	29.207	94.945	(60.423)	163.576
Bến Tre	2.183	(461)	643	1.392	6.466	16.594	26.817
Trà Vinh	85.061	(124.305)	68.612	16.464	35.770	20.985	102.589
Sóc Trăng	24.274	(44.284)	100.702	111.659	42.437	35.584	270.372
Tổng	111.518	(169.050)	169.957	129.515	84.673	73.163	399.778

Mặt khác, cũng như tình trạng chung của ĐBSCL, việc khai thác quá mức đã làm cho NĐĐ có nhiều dấu hiệu suy thoái: Sự sụt giảm nhanh chóng của các tầng chứa nước dẫn đến hệ quả sụt lún bề mặt địa hình; CLN ngày càng suy thoái: các chỉ tiêu clorua và độ cứng cao hơn tiêu chuẩn cấp nước ở hầu hết các tầng chứa nước, tỷ lệ số mẫu phân tích của Liên đoàn Địa chất bản đồ miền Nam năm 2013-2016 có tới hơn 50% số mẫu vượt chỉ tiêu [31]. Các chỉ tiêu pH, Amoni, sắt vượt tiêu chuẩn cũng hiện diện ở khá nhiều mẫu. Ô nhiễm Asen cũng đã được phát hiện ở nhiều tài liệu

khác. Hàm lượng chất Phenol vượt giới hạn cho phép đã được phát hiện tại Thái Bình, Cà Mau [109].

Nguyên cơ suy thoái nguồn NĐĐ là khá rõ ràng và cần phải có biện pháp để từng bước giảm dần khai thác tránh những tác động tiêu cực không lường trước được. Nguồn nước này nên dần chuyển sang làm nguồn nước dự phòng cho sinh hoạt và các yêu cầu sản xuất thiết yếu khi xảy ra các sự cố về nguồn nước như: sự cố ô nhiễm nguồn nước; những năm hạn hán;... Trong những thời kỳ khác, nguồn nước ngọt dư thừa, việc bổ sung nhân tạo để bổ cập nguồn nước dưới đất cần được thực hiện. Khả năng bổ sung nhân tạo NĐĐ đã được NCS thực nghiệm trong nghiên cứu: “*Nghiên cứu giải pháp khai thác và sử dụng tài nguyên nước mưa của các tỉnh ven biển ĐBSCL trong điều kiện BĐKH*” [29].

1.3.3 Chế độ thủy triều trên vùng biển trước cửa sông Cửu Long

1.3.3.1 Hình thái Biển Đông và sự hình thành chế độ thủy triều

Biển Đông là một biển kín được các đảo và quần đảo thuộc Đài Loan, Philippin, Brunei, Malayxia, Indônêxia, Singapore bao bọc xung quanh, chỉ thông ra Thái Bình Dương bằng lạch Bashi, rộng trên 400 km, sâu trên 2.000 m và một số eo biển Đài Loan (rộng 150m, sâu 50 – 60m, thông với biển Hoa Đông); eo biển Mã Lai (rộng 500 km, sâu 100 – 200 km, thông với biển Java); eo biển Bắc và Nam đảo Plawan (sâu dưới 200 m, thông với biển Subi).

Biển Đông là một biển cực bộ lớn, có diện tích 3.447.000 km², với bề ngang trung bình trên 1.000 km, chiều dài khoảng 3.000 km, kéo dài theo phương kinh tuyến, là biển rộng thứ 2 ở ven Thái Bình Dương và hàng thứ 3 trên thế giới. Đây là một biển sâu, có thể tích 3.928.000 km³, với độ sâu trung bình 1.140 m. Phần trung tâm và phía Đông của biển (chiếm khoảng 1/4 diện tích) có độ sâu hơn 2.000 m, nơi sâu nhất 5.416 m.

Do tính chất biển kín nên dao động thủy triều trên Biển Đông chủ yếu là giao động theo thủy triều biển Thái Bình Dương qua lạch Bashi và một số eo biển khác. Sóng triều Ấn Độ Dương không truyền vào được Biển Đông vì eo biển Malacca quá hẹp (35 km) và nông (30 m). Trước khi vào lạch biển Bashi, các sóng bán nhật triều

Thái Bình Dương có ưu thế với biên độ trên 50 cm, trong khi các sóng nhật triều chỉ có 15 – 20 cm.

Những quy luật khác khổng chế sự truyền triều trên Biển Đông và sự hình thành các chế độ triều khác nhau trên bờ biển Việt Nam bao gồm: Sự kéo dài của Biển Đông theo phương kinh tuyến, thuận cho sự phát triển của sóng nhật triều trên vùng Biển Đông. Sóng nhật triều truyền nhanh với tốc độ 1.500 km/h, sóng bán nhật triều 600 – 800 km/h và hiệu ứng của nó là khu vực nhật triều chiếm không gian phát triển nhiều hơn trên Biển Đông. Càng vào sâu trong biển nông tốc độ sóng triều càng giảm dần và biên độ triều tăng lên. Biển Đông là biển lớn, chứa một thể tích gần 4 triệu km³ nước, do đó những dao động cục bộ sẽ có ảnh hưởng quyết định.

Trên vùng Biển Đông pha triều chậm dần từ Bắc đến Nam, từ mũi Cà Mau lên đến đỉnh vịnh Thái Lan. Đường đẳng pha có xu thế quay quanh mũi Cà Mau tạo nên một sự hướng tâm đối với vùng Đất Mũi, nơi hội tụ của các dòng vật chất, năng lượng tự nhiên. Biên độ triều tăng dần khi sóng triều tiến vào vùng biển nông, đạt tới giá trị lớn nhất ở VCS Cửu Long, nơi sóng triều giao hội với sóng lũ từ thượng nguồn xuống đạt tới biên độ 3,7 – 4,0 m.

Vào mùa khô, gió mùa Đông Bắc dòng nước lạnh và mặn chảy từ phía Bắc xuống trùng với gió mùa Đông Bắc áp sát vào bờ Đông, với tốc độ trung bình từ 0,4 - 0,9m/s. Vào thời kỳ này dòng biển có thể gây xói lở mạnh các vùng trống gió, trực diện với gió không được bảo vệ và chuyển bùn cát đó xuống phía Nam. Trong mùa mưa, gió mùa Tây Nam đẩy ngược dòng nước lạnh ra xa bờ tạo điều kiện cho lưới nước mang phù sa sông Cửu Long xuống phía Nam.

1.3.3.2 Các đặc trưng mực nước trên vùng biển trước cửa sông Cửu Long

Thủy triều VCS Cửu Long có dạng bán nhật triều không đều. Trong một ngày có 2 lần triều lên và 2 lần triều xuống. Mực nước đỉnh triều ít biến động, nhưng mực nước 2 chân triều rất khác nhau. Trong chu kỳ nửa tháng có 1 kỳ triều cường (dao động triều mạnh) và 1 kỳ triều kém (dao động yếu hơn). Ngày triều cường mạnh nhất xảy ra sau ngày không trăng, hoặc trăng tròn 2 – 3 ngày.

Vào kỳ triều cường, biên độ triều khoảng từ 2,5 – 4 m. Vào kỳ triều kém, biên độ triều khoảng từ 1,2 – 2,5 m.

Trong những ngày triều cường đường quá trình triều có dạng chữ M (1 chân cao, 1 chân thấp), mực nước bình quân lệch về phía đỉnh; ngược lại, trong những ngày triều kém đường quá trình có dạng W, mực nước trung bình lệch về phía chân triều. Trong năm đỉnh triều cao nhất vào tháng 10, 11; Chân triều thấp nhất vào tháng 6, 7.

Mực nước bình quân thấp nhất vào tháng 7, thời kỳ có mực nước bình quân tháng dưới “0” kéo dài trên 6 tháng (từ tháng 4 đến tháng 9). Trong thời gian nhiều năm thủy triều cũng có thời kỳ mạnh và yếu cách nhau khoảng 19 năm. Trong thời kỳ triều mạnh, đỉnh triều cao, biên độ triều lớn hơn.

1.3.3.3 Truyền triều vào VCS và sự nhiễm mặn nguồn nước

Những dao động thủy triều với biên độ lớn ở vùng biển trước cửa sông là nguyên nhân chính của sự truyền triều vào các cửa sông Cửu Long. Sóng triều trên biển có chiều dài hàng trăm km, cuốn theo một lượng nước khổng lồ đổ vào sông trong pha triều lên và rút đi nhanh chóng trong pha triều rút.

Diễn biến của biên độ triều bình quân dọc các sông chính trên đồng bằng trong năm, cho thấy: Sự giảm dần một cách có quy luật của biên độ triều dọc sông. Những tổn thất biên độ triều vào mùa cạn là ít nhất (tháng 4 – 6), lớn nhất vào mùa lũ (tháng 9, 10). Ở VCS sát với biển trong phạm vi 20 – 30 km tổn thất không đáng kể. Tốc độ truyền triều trung bình ở một số sông như sau: Sông Tiền: 28 – 30 km/h; sông Hậu: 26 – 28 km/h; Sông Vàm Cỏ: 18 – 20 km/h; sông Cái Lớn: 16 – 18 km/h.

Do tác động của thủy triều nên nguồn nước ngọt từ sông Mekong về tới VCS bị nhiễm mặn. Trong điều kiện tự nhiên, phạm vi ảnh hưởng XNM 4‰ vào ĐBSCL chiếm khoảng trên 50% diện tích bao gồm các tỉnh: Long An, Tiền Giang, Bến Tre, Trà Vinh, Sóc Trăng, Bạc Liêu, Cà Mau và Kiên Giang. Ranh giới XNM 4‰ trên sông Tiền khoảng 50-60km, và trên sông Hậu khoảng 40-50km [26, 68].

Đó là các ranh giới mặn mặn cao nhất, ranh giới nước ngọt trong mùa kiệt vẫn có thể rút ra xa hơn về hướng biển. Vào mùa mưa hầu hết phạm vi VCS đều có nước ngọt, trong mùa khô các ranh giới có nước ngọt di chuyển theo thời gian phụ thuộc vào tương quan giữa dòng chảy thượng lưu và chế độ thủy triều phía biển [107]. Nhìn chung, VCS là vùng có nhiều thuận lợi trong tiếp cận nguồn nước ngọt. Kể cả trong mùa khô, XNM tăng cao thì vẫn có nhiều thời gian có thể khai thác nước ngọt.

1.3.4 Khai thác nguồn nước ở đồng bằng sông Cửu Long

1.3.4.1 Cấp nước cho sản xuất nông nghiệp:

Để phục vụ cho sản xuất nông nghiệp, hàng loạt các hệ thống công trình ngọt hóa đã ra đời. Các hệ thống ngọt hóa ven biển có thể phân ra theo 3 tiểu vùng chính: (1) Công trình ngọt hóa phía Biển Đông (Tiểu vùng 1): Giới hạn từ sông Vàm Cỏ đến sông Trần Đề, với DTTN khoảng 750.000ha. Đây là khu vực có nguồn nước ngọt dồi dào được chuyển về từ thượng nguồn. Tuy nhiên, nơi đây cũng phải chịu tác động của chế độ bán nhật triều Biển Đông với biên độ triều cao, mặn xâm nhập sâu vào nội đồng; (2) BĐCM (Tiểu vùng 2): giới hạn từ cửa Trần Đề đến Rạch Giá, có DTTN là 1.250.000 ha. Khu vực này có hệ thống sông rạch ngắn, rộng, không có nguồn sinh thủy vào mùa khô. Nguồn nước ngọt chủ yếu là nhờ mưa và một phần từ sông Hậu chuyển về; (3) Vùng ven Biển Tây (Tiểu vùng 3): giới hạn từ Rạch Giá – Hà Tiên, có diện tích khoảng 100.000ha. Khu vực chịu tác động của chế độ nhật triều Biển Tây, biên độ triều nhỏ [12, 36].

Các dự án đã mang lại thành công về nhiều mặt và đã góp phần to lớn vào sự phát triển của các tỉnh ven biển nói riêng và toàn vùng ĐBSCL nói chung. Tuy nhiên, một số hạn chế của các công trình cũng đã bộc lộ trong quá trình khai thác vận hành. Đặc biệt là trong bối cảnh hiện nay dưới tác động của BĐKH, hoạt động khai thác thượng lưu, nhu cầu dùng nước gia tăng, và quá trình chuyển đổi sản xuất đưa nước mặn vào nhiều hơn. Chính vì thế, nhiều khu vực ngọt hóa đã phải chuyển sang canh tác bằng các mô hình nước mặn, các công trình ngăn mặn chuyển sang điều khiển mặn [75, 109].

1.3.4.2 Nước sinh hoạt và các sản xuất thiết yếu ở nông thôn:

Cấp nước tập trung chủ yếu do các Trung tâm Nước sạch & Vệ sinh môi trường nông thôn các tỉnh phụ trách. Ngoài ra, tại một số thị tứ còn có các Công ty cấp nước của các tỉnh đảm nhiệm. Nguồn nước khai thác chủ yếu là từ nước dưới đất, chỉ một số khu vực không khai thác được NĐĐ (khó khai thác, hoặc chất lượng không đảm bảo), và có nguồn nước mặt thuận lợi thì mới khai thác nước mặt. Đến nay, khu vực nghiên cứu chưa ghi nhận nguồn nước mưa được khai thác tại các điểm tập trung [29]. Hiện tại trên vùng ven biển có 51,39% số hộ dân sử dụng nước máy cho mục đích sinh hoạt. Các tỉnh vùng ven biển cửa sông (Tiền Giang, Bến Tre, Trà Vinh) có tỷ lệ cấp nước cho người dân cao nhất. Các địa phương khai thác nguồn nước mặt để cấp nước, điển hình là Bến Tre, vào mùa khô nguồn nước cấp bị mặn không thể sử dụng cho ăn uống [29].

Hiện tại, ngoài nguồn cấp nước tập trung (nước máy) người dân còn sử dụng nhiều loại nguồn nước khác nhau: nước mưa, nước mặt, nước dưới đất và nguồn nước khác (nước đóng bình). Trong đó, nước mưa và nước đóng bình thường được sử dụng cho nhu cầu thiết yếu là ăn, uống (khoảng 3÷5l/người-ngày). Các nguồn nước khác chất lượng thấp hơn nên thường sử dụng cho các nhu cầu thấp hơn nhưng có khối lượng lớn hơn nhiều. Trong những năm hạn – mặn người dân VCS phải sử dụng nguồn nước có chất lượng rất thấp, đặc biệt là ở những khu vực khan hiếm NĐĐ.

Nhìn chung, trong vấn đề nước sinh hoạt và các sản xuất thiết yếu cho người dân khu vực nông thôn ở VCS đang gặp rất nhiều khó khăn.

1.3.4.3 Nước dùng cho đô thị, công nghiệp:

Các đô thị trong vùng hiện có hệ thống cấp nước về cơ bản đã phân nào đáp ứng được các nhu cầu cơ bản về cấp nước. Tổng công suất cấp nước cho các đô thị ĐBSCL hiện nay khoảng 650.000-700.000m³/ng, nước mặt chiếm 50% và NĐĐ 50%. Tuy nhiên lượng do rò rỉ, tổn thất lớn từ 30-40% của các hệ thống cấp nước, lượng nước cấp được sử dụng hiệu quả chỉ khoảng 400.000 – 450.000 m³/ng. Dân số đô thị được cấp nước trung bình 60-65%, các KCN hệ thống cấp nước chỉ đạt 40 -

50% và phải tự bổ sung thông qua các giếng cục bộ hoặc lấy từ các kênh rạch hiện có [106, 110].

1.3.4.4 Định hướng cấp nước sạch vùng ĐBSCL

Hiện tại định hướng cấp nước cho toàn vùng ĐBSCL được thực hiện theo Quyết định số 2140/QĐ-TTg ngày 08 tháng 11 năm 2016 của Thủ tướng chính phủ phê duyệt Quy hoạch cấp nước vùng đồng bằng sông Cửu Long đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050. Theo quy hoạch, nguồn nước mặt sẽ được ưu tiên khai thác trực tiếp từ sông Tiền, sông Hậu. Nguồn NĐĐ, sẽ từng bước giảm khai thác ở quy mô vừa và lớn. Đối với quy mô nhỏ, phân tán vẫn tiếp tục sử dụng NĐĐ cho tới khi tiếp cận được với nguồn nước thuận lợi khác. Đối với nguồn nước mưa sẽ rà soát để xây dựng hồ lưu trữ nước mưa, bổ sung nguồn cấp cho nhà máy nước hiện hữu. Về lâu dài, kết hợp với hệ thống thủy lợi để xây dựng hồ trữ nước mưa quy mô lớn, đa mục tiêu cung cấp nước cho sinh hoạt và sản xuất.

Giải pháp cấp nước là kết hợp giữa nhà máy nước quy mô vùng liên tỉnh với các nhà máy nước quy mô vùng tỉnh phù hợp với điều kiện nguồn nước của từng khu vực. Đầu tư xây dựng 5 nhà máy nước quy mô vùng liên tỉnh và kết nối với mạng lưới đường ống truyền tải liên tỉnh cấp nước cho các khu vực nguồn nước bị xâm nhập mặn hoặc khó khăn về nguồn nước.

Đối với các khu vực ít thuận lợi về nguồn nước, trước mắt sẽ tiếp tục đầu tư, cải tạo, nâng cấp các nhà máy nước hiện có bằng giải pháp xây hồ, đập lưu trữ nước trong thời gian xâm nhập mặn hoặc đầu tư trạm bơm dẫn nước thô. Lâu dài, sẽ kết nối sử dụng nguồn nước từ nhà máy nước quy mô vùng liên tỉnh. Đối với các khu vực nguồn nước bị nhiễm mặn thì sử dụng nguồn nước từ nhà máy nước quy mô vùng liên tỉnh, hoặc ứng dụng công nghệ xử lý nước lợ, nước mặn phù hợp.

TIỂU KẾT CHƯƠNG 1

Trong chương 1, NCS đã tổng quan được đặc điểm, vai trò của nước ngọt ở VCS và những yếu tố tác động đến phân bố nước ngọt VCS. Từ đó đưa ra các câu hỏi cần giải quyết trong luận án. Đó là: (i) Nước ngọt phân bố ở VCS như thế nào?

(ii) Ảnh hưởng của các yếu tố dòng chảy thượng lưu và yếu tố thủy triều từ phía biển đến phân phối nước ngọt? (iii) Làm thế nào để khai thác nước ngọt ở VCS?

Nghiên cứu về nước ngọt ở VCS và các yếu tố liên quan đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới và trong nước quan tâm. Trong chương này, NCS đã tổng quan về các nghiên cứu có liên quan, bao gồm: Các nghiên cứu về nước ngọt ở VCS và XNM ở VCS; các nghiên cứu về yếu tố tác động đến phân bố nước ngọt; các nghiên cứu có liên quan đến tài nguyên nước phục vụ khai thác ĐBSCL; các công cụ phục vụ nghiên cứu, đánh giá nguồn nước. Tổng quát các vấn đề nghiên cứu giúp cho NCS xác định được hướng nghiên cứu phù hợp, những vấn đề tiếp tục cần giải quyết để đạt được mục tiêu đề ra và trả lời được các câu hỏi nghiên cứu.

Mặc dù, việc nghiên cứu về tài nguyên nước và các yếu tố liên quan tại ĐBSCL đã có nhiều, song nghiên cứu toàn diện về phân bố nước ngọt theo không gian và thời gian trong VCS đến nay vẫn chưa có. Do đó, việc nghiên cứu phân bố nước ngọt ở VCS Cửu Long là cần thiết và có tính mới.

Nguồn nước cho sinh hoạt hiện nay ở VCS chủ yếu đến từ NĐĐ. Nước mưa và nước mặt thiếu tính ổn định do tác động của hạn hán, xâm nhập mặn, nên ít được sử dụng. Tuy nhiên, việc khai thác quá mức nên NĐĐ đã có nhiều dấu hiệu suy thoái. Do đó, định hướng cấp nước ở VCS đã đề cập đến việc hạn chế khai thác NĐĐ và chuyển sang khai thác nước mặt, nước mưa. Để khắc phục tính thiếu ổn định do hạn hán – xâm nhập mặn, giải pháp cấp nước liên vùng và giải pháp hồ chứa tích trữ nguồn nước đã được phê duyệt.

Kết quả của luận án là tìm cách đạt được sự hiểu biết chi tiết hơn về phân bố nước ngọt ở VCS, là cơ sở đề xuất giải pháp để khai thác và bảo vệ tài nguyên nước ngọt khu vực. Hiểu biết rõ ràng hơn về các yếu tố tác động và các diễn biến giúp cho việc xác định các quy luật phân bố nước ngọt trong tương lai ở VCS Cửu Long. Các kết quả đó là cơ sở quan trọng cho việc quy hoạch tài nguyên nước và xây dựng các giải pháp khai thác nước ngọt VCS Cửu Long phục vụ cấp nước sinh hoạt.

Chương 2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ DỮ LIỆU SỬ DỤNG

2.1 Một số khái niệm và cơ sở lý luận về phân bố nước ngọt vùng cửa sông

2.1.1 Khái niệm cửa sông và nước ngọt ở vùng cửa sông

Có nhiều chuyên gia trên thế giới đã đưa ra các định nghĩa khác nhau để diễn tả một cửa sông. Định nghĩa được sử dụng phổ biến nhất được Pritchard đưa ra năm 1967 [43], đó là: *“Cửa sông ven biển là một thủy vực nước lợ bán kín ven bờ nối liền với biển khơi, trong đó giới hạn của nó là nơi mà nước biển còn vươn tới pha trộn với dòng nước ngọt bắt nguồn từ nội địa”*. Mặc dù vậy, định nghĩa này cũng có những hạn chế như: Không đề cập đến tác động của thủy triều; Bỏ qua những thành phần của hệ sinh thái cửa sông ven biển như đầm phá ven bờ (coastal lagoons), vùng biển nước lợ (brackish seas), những vùng vịnh ven biển (coastal marine bays), hồ nước mặn (saline lakes) do không thỏa mãn các điều kiện như thủy vực nước lợ, bán kín, nguồn nước ngọt bắt nguồn từ nội địa,...

Do vậy, năm 1980 Fairbridge đã đưa ra định nghĩa mới nhằm khắc phục các nhược điểm trên [114]: *“Một cửa sông là một nhánh của biển đi vào một dòng sông đến nơi mà mực nước cao nhất của thủy triều còn vươn tới, thường được chia thành 3 phần khác nhau: a) phần biển hay phần cửa sông thấp, nối liền với biển khơi; b) phần cửa sông trung, nơi diễn ra sự pha trộn chính của nước biển và nước ngọt; và c) phần cửa sông cao, chi phối bởi nước ngọt nhưng còn tác động của thủy triều. Giới hạn giữa 3 phần này không cố định và biến động theo lượng nước ngọt đổ ra từ sông”*.

Sự khác biệt cơ bản giữa 2 định nghĩa là việc xác định giới hạn trên của VCS. Theo Pritchard thì giới hạn trên của VCS là vùng thượng nguồn nơi nước biển còn vươn tới, còn theo Fairbridge thì đó là giới hạn vùng còn chịu tác động của thủy triều dù không còn sự pha trộn nước biển nữa. Đối với các khu vực có biên độ thủy triều cao như VCS Cừu Long thì giới hạn trên của 2 định nghĩa có sự khác biệt rất lớn.

Khái niệm nước ngọt tại VCS là nước có độ mặn $<0,5\%$ [115] là nước có độ mặn $<0,5\%$. Tuy nhiên, theo tiêu chuẩn nước sạch của Bộ Y tế (BYT), nước ngọt là nước có độ mặn $\leq 0,3\%$ [116].

Trong nghiên cứu này, với mục tiêu đánh giá nước ngọt cung cấp cho mục tiêu sinh hoạt, sử dụng tiêu chuẩn độ mặn $0,30\%$ cho ranh giới nước ngọt. Về giới hạn không gian VCS, sử dụng định nghĩa của Prichard, với giới hạn trên là ranh giới thường xuyên có nước ngọt (độ mặn $\leq 0,3\%$), có xét đến điều kiện tương lai.

2.1.2 Cơ sở lý luận về các đặc trưng cần nghiên cứu để đánh giá diễn biến phân bố nước ngọt vùng cửa sông Cửu Long.

Nghiên cứu về phân bố nước ngọt VCS Cửu Long là một vấn đề mới, nhiều khái niệm, định nghĩa là chưa có. Tuy nhiên, việc nghiên cứu nước ngọt ở VCS cũng xuất phát từ nghiên cứu độ mặn của nước. Trong đó, những thời điểm độ mặn $<0,3\%$ sẽ được thống kê để phân tích, nghiên cứu. Do đó, các kinh nghiệm nghiên cứu về XNM trong quá khứ cần được học hỏi, kế thừa. Các đặc trưng quan trọng trong nghiên cứu về XNM được các chuyên gia đề cập gồm: Quá trình diễn biến độ mặn theo thời gian ($S\sim T$); Diễn biến độ mặn lớn nhất (S_{max}), độ mặn trung bình (S_{bq}) ngày, tháng; Chiều dài XNM trên các nhánh sông; các ranh giới XNM (1% , 4%) sâu nhất, và trong từng tháng,...

Kế thừa các kết quả nghiên cứu về XNM của các chuyên gia trong quá khứ. Căn cứ vào kinh nghiệm phân tích dữ liệu quan trắc ở các trạm VCS cùng một số kết quả nghiên cứu trong quá khứ [17, 35, 73-75, 111], NCS đưa ra một số đặc trưng để phân tích các quy luật phân bố nước ngọt VCS như sau (Bảng 5):

Bảng 5. Các đặc trưng nước ngọt và tiêu chí xác định

<i>TT</i>	<i>Ký hiệu</i>	<i>Tên đặc trưng</i>	<i>Tiêu chí xác định</i>
I	Các đặc trưng theo không gian		
I.1	FWA	Ranh giới luôn có nước ngọt	Là ranh giới mà độ mặn cao nhất luôn nhỏ hơn hoặc bằng $0,3\%$ hay là ranh giới không chịu ảnh hưởng bởi XNM.

<i>TT</i>	<i>Ký hiệu</i>	<i>Tên đặc trưng</i>	<i>Tiêu chí xác định</i>
I.2	FWD	Ranh giới có nước ngọt hàng ngày	Là ranh giới mà tại đó trong 1 ngày bất kỳ luôn có ít nhất 1 thời điểm có nước ngọt.
I.3	FW4	Ranh giới có nước ngọt trong tháng IV	Là ranh giới mà tại đó luôn có ít nhất 1 thời điểm có nước ngọt trong tháng IV.
I.4	FW2	Ranh giới có nước ngọt trong tháng II	Là ranh giới mà tại đó luôn có ít nhất 1 thời điểm có nước ngọt trong tháng II.
I.5	FWN	Ranh giới không có nước ngọt trong mùa khô	Là ranh giới mà trong khoảng thời gian từ tháng II – tháng IV hoàn toàn không có nước ngọt.
II	Các đặc trưng theo thời gian		
II.1	FWE	Ngày kết thúc mùa có nước ngọt	Là ngày đầu mùa kiệt và sau đó có liên tiếp hơn 5 ngày không có một thời điểm nào có nước ngọt.
II.2	FWS	Ngày bắt đầu mùa nước ngọt	Là ngày cuối mùa kiệt và sau đó có liên tiếp 5 ngày có nước ngọt. Trong 15 ngày tiếp theo không có đợt liên tiếp hơn 5 ngày không có nước ngọt
II.3	NFW	Số giờ có nước ngọt trong tháng	Là tổng số giờ có nước ngọt trong tháng
II.4	DFW	Số ngày không có nước ngọt dài nhất	Là số ngày dài nhất trong năm mà trong khoảng thời gian đó không có bất kỳ thời điểm nào có nước ngọt.

2.1.3 Cơ sở lý luận về sự quá trình pha trộn giữa nước ngọt và nước biển

Do tỷ trọng của nước biển lớn hơn nước ngọt trong sông, nên dòng triều di chuyển vào cửa sông có dạng hình nêm nằm sát đáy thường gọi là nêm mặn. Khi nêm mặn di chuyển vào sông sẽ xuất hiện hiện tượng dồn nước ngọt từ nguồn về; Khi nêm mặn di chuyển về phía biển (triều xuống) nước ngọt sẽ đẩy nêm mặn di chuyển nhanh hơn về phía biển. Tùy thuộc vào tương quan giữa dòng triều và dòng chảy ngọt mà nêm mặn sẽ có hình dạng khác nhau.

Khi năng lượng triều không lớn so với dòng chảy ngọt, nêm mặn sẽ không đủ năng lượng dồn ép hoàn toàn dòng chảy ngọt lên phía thượng lưu, hiện tượng phân lớp dòng chảy xuất hiện. Lúc này, nêm mặn có hình tam giác, đường phân chia nước mặn và ngọt xuất phát từ đáy sông nhưng không kéo dài đến mặt thoáng của nước. Hiện tượng này là hiện tượng phân lớp của dòng chảy VCS. Trong trường hợp năng lượng triều lớn, đủ khả năng dồn ép hoàn toàn nước ngọt về phía đất liền sẽ không xuất hiện hiện tượng phân lớp chảy gọi là triều không phân lớp.

Tùy thuộc vào tỷ số giữa lưu lượng dòng triều lên từ biển (W_T) và lưu lượng nước nguồn (W_s), Pritchard đã phân ra các hình thức xáo trộn giữa nước biển và nước sông [43]:

- *Trường hợp 1:* $W_T/W_s \leq 1$: không hoặc xáo trộn yếu, có sự phân tầng giữa 2 lớp dòng nước. Mặn truyền vào trong sông theo hình thức nêm với độ dốc lớp nước mặn rất bé.
- *Trường hợp 2:* $1 < W_T/W_s \leq 10$: hình thức xáo trộn vừa, nước mặn và nước sông có sự xáo trộn, song giữa 2 khối nước vẫn có sự phân biệt, đường đồng mức về độ mặn tương đối rõ với độ dốc tương đối lớn.
- *Trường hợp 3:* $W_T/W_s > 10$: hình thức xáo trộn mạnh, giữa 2 khối nước không có sự phân biệt rõ ràng về tính chất. Mặn truyền vào trong sông không theo dạng đường đồng mức, hoặc nếu có thì với độ dốc lớn.

Đối với VCS Cửu Long các tỷ số trên biến động mạnh theo thời gian và không gian, phụ thuộc vào sự thay đổi của nguồn và biển. Do đó, các hình thức xáo trộn giữa nước ngọt và nước biển cũng biến động mạnh theo thời gian và không gian.

Trong đó, yếu tố dòng chảy từ sông (W_s) sẽ biến động mạnh theo mùa; yếu tố dòng chảy từ biển (W_T) biến động theo kỳ triều (cường, kém và chuyển tiếp).

2.1.4 Cơ sở lý luận về các yếu tố tác động đến phân bố nước ngọt vùng cửa sông

Các nghiên cứu về XNM đã khẳng định quá trình lan truyền mặn trong sông phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: dòng chảy từ thượng nguồn, chế độ thủy triều, các đặc trưng địa hình – địa mạo, các yếu tố khí tượng, cùng các hoạt động của con người trên bề mặt lưu vực,... Trong đó, yếu tố dòng chảy thượng nguồn và thủy triều là những yếu tố chính có vai trò quyết định đến các quy luật của XNM.

Thủy triều là động lực chính để đẩy nước biển vào trong sông, tác động đó làm cho độ mặn biến động theo nhịp độ thủy triều. Lưu lượng nước nguồn tạo nên sức cản đối với dòng triều lên và là yếu tố kiểm chế sự XNM. Dòng chảy thượng lưu biến động theo mùa, do đó yếu tố này cũng tác động đến XNM theo mùa.

Tại VCS Cửa Long, đường quá trình S_{max} thay đổi liên tục theo nhịp độ của thủy triều, còn quá trình S_{min} trong một thời gian dài trong mùa mưa bị khống chế bởi giới hạn dưới $S = 0\%$, dấu hiệu của nước ngọt ra tận biển khi triều rút. Do đó, vai trò dòng chảy thượng nguồn có tính chất quyết định đối với nước ngọt ở VCS.

Các đặc trưng của nước ngọt ở VCS Cửa Long mà NCS đã đề xuất đưa vào phục vụ nghiên cứu phân bố nước ngọt VCS đều được xác định từ số liệu quan trắc độ mặn mà cụ thể là các giá trị có độ mặn $\leq 0,3\%$. Do đó, yếu tố dòng chảy thượng nguồn có vai trò quyết định đối với các đặc trưng nước ngọt, đặc biệt là ở các thời đoạn dài. Trên cơ sở đó đánh giá mối quan hệ giữa dòng chảy thượng lưu (Tân Châu) theo thời đoạn trung bình tháng, với các đặc trưng nước ngọt VCS, từ đó đánh giá xu thế biến đổi dòng chảy.

Mối quan hệ giữa yếu tố thủy triều với các đặc trưng nước ngọt thường diễn ra với thời đoạn ngắn, theo nhịp độ thủy triều. Do đó, NCS sẽ đánh giá mối quan hệ này thông qua tính toán thủy lực. Trong đó, việc dự báo tác động của NBD do BĐKH tới phân bố nước ngọt VCS sẽ được xem xét đánh giá trong nghiên cứu này.

2.2 Cách tiếp cận

Tiếp cận kế thừa các thành tựu khoa học công nghệ: trên cơ sở kế thừa các thành quả nghiên cứu trên thế giới và trong nước, luận án sẽ tập trung phân tích, chọn lọc để lựa chọn hướng nghiên cứu và phương pháp nghiên cứu phù hợp. Luận án cũng sẽ kế thừa các kết quả nghiên cứu ở VCS Cửu Long nói riêng và trên toàn vùng ĐBSCL nói chung về: các điều kiện tài nguyên thiên nhiên, đặc biệt là các thành tựu nghiên cứu về chế độ, chất lượng nước (mặt, mưa, nước dưới đất và nước biển), cùng các yếu tố tác động như biến đổi khí hậu, quá trình khai thác thượng lưu,...; các yếu tố kinh tế xã hội đặc biệt là các vấn đề có liên quan đến sử dụng nước,...do các tổ chức quốc tế cũng như trong nước đã thực hiện.

Tiếp cận hệ thống, toàn diện và tổng hợp từ tổng thể đến chi tiết

- Tổng thể lưu vực: VCS Cửu Long là một bộ phận của toàn vùng ĐBSCL nằm ở hạ lưu của hệ thống sông Mekong, nơi đang chịu nhiều biến động của các yếu tố tự nhiên cũng như tác động của con người. Những tác động đáng kể đến bao gồm tác động của BĐKH, nước biển dâng; tác động khai thác phía thượng lưu; và các hoạt động khai thác ngay tại vùng nghiên cứu làm cho nhu cầu nước ngày càng tăng, biển ngày càng tấn công mạnh vào lục địa. Do đó việc nghiên cứu phải được đặt trong bối cảnh VCS Cửu Long, toàn vùng ĐBSCL và lưu vực sông Mekong.

- Tổng thể kinh tế xã hội vùng ĐBSCL và chi tiết cho VCS sẽ được xem xét đồng thời, trong đó chú ý tận dụng thế mạnh của khu vực trong phát triển kinh tế xã hội, thế mạnh phát triển nông nghiệp và thủy sản đang được ưu tiên, với nguồn nước là yếu tố quan trọng.

- Tổng thể về tài nguyên nước mặt: Xem xét chế độ thủy văn theo liệt tài liệu nhiều năm, và chi tiết cho các đặc trưng theo mùa, tháng, tuần, ngày riêng biệt (một cách tương đối); xét tổng thể cùng với cả nước mưa và nước dưới đất; xét nguồn nước ngọt và nước biển (như là một nguồn tài nguyên chứ không chỉ đơn thuần là một nguồn nước).

- Cách tiếp cận toàn diện: Xem xét đầy đủ các vấn đề phát triển khi nghiên cứu luận án, bao gồm kinh tế, xã hội, môi trường, sinh thái.

Cách tiếp cận hệ thống được thực hiện trên cơ sở các quan sát, đánh giá để đúc rút những bài học kinh nghiệm, phân tích tiềm năng sẵn có, nhu cầu sử dụng tương lai để rút ra những cơ sở khoa học và thực tiễn. Từ đó, xây dựng các kỹ thuật khai thác nguồn nước làm cơ sở cho việc đưa ra các giải pháp phù hợp.

Tiếp cận cộng đồng: Các vấn đề liên quan đến khai thác tài nguyên nước ngọt có tác động rất lớn đến cộng đồng dân cư. Nghiên cứu sẽ tiếp cận cộng đồng dân cư để tìm hiểu các thông tin về vấn đề khai thác tài nguyên nước ngọt phục vụ sinh hoạt trong quá khứ, các kinh nghiệm, nhu cầu của người dân,... Thông qua cộng đồng để thu nhận các thông tin định tính, định lượng về thực trạng khai thác tài nguyên nước trong đời sống nhân dân, những khó khăn người dân gặp phải khi khai thác nguồn tài nguyên quý giá này. Học hỏi, tổng kết những kinh nghiệm quý báu của cộng đồng dân cư địa phương sẽ giúp cho nghiên cứu đưa ra được các đề xuất xuất đa dạng, phù hợp với tính đa dạng của cộng đồng.

2.3 Phương pháp nghiên cứu

2.3.1 Sơ đồ khung nghiên cứu

Mục đích nghiên cứu của luận án là làm sáng tỏ được các đặc điểm phân bố nước ngọt ở VCS Cửu Long. Bao gồm: đặc điểm phân bố nước ngọt theo thời gian, đặc điểm phân bố nước ngọt theo không gian (dọc theo các tuyến sông chính), và đặc điểm phân bố nước ngọt theo phương đứng (theo chiều sâu dòng chảy). Trong đó, nước ngọt là nước có độ mặn $\leq 0.3\%$.

Trên cơ sở dữ liệu độ mặn quan trắc được tại các trạm cơ bản, các thời điểm có nước ngọt được thống kê. Từ đó, xác định các đặc trưng nước ngọt, bao gồm: ngày kết thúc mùa có nước ngọt, ngày bắt đầu mùa có nước ngọt, thời gian có nước ngọt trong các tháng mặn, số ngày không có nước ngọt dài nhất.

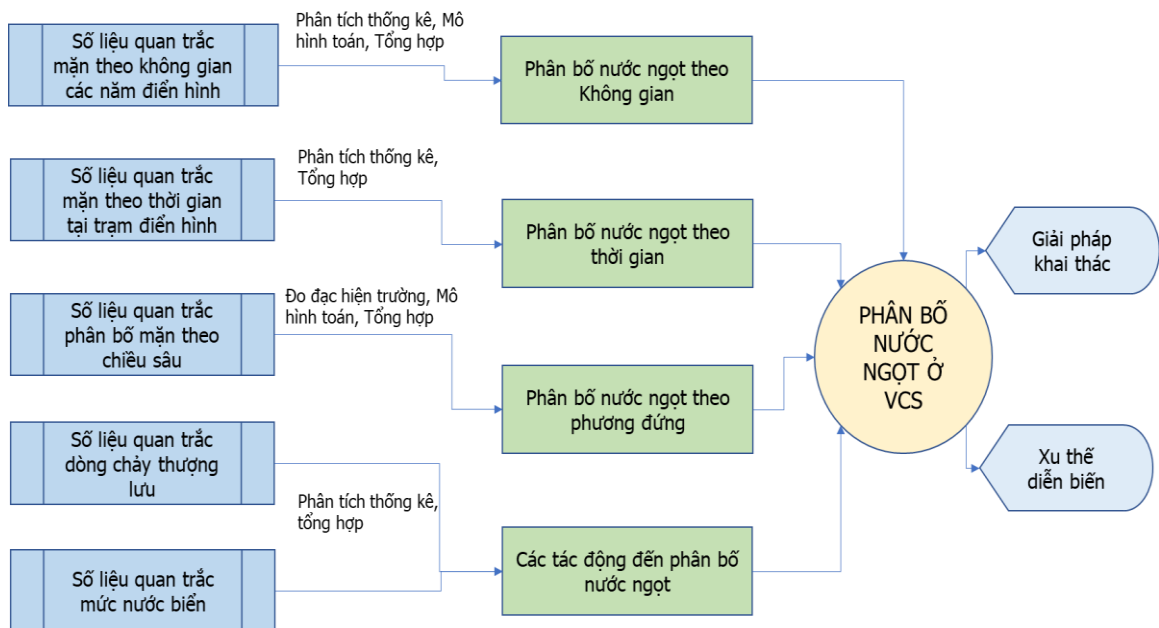
Các phương pháp phân tích thống kê và tổng hợp địa lý được sử dụng để rút ra các đặc điểm phân bố nước ngọt theo thời gian, không gian; nội suy không gian để xác định các các ranh giới của các đặc trưng nước ngọt dọc theo các sông chính.

Phương pháp mô hình toán – XNM được sử dụng để chi tiết hóa các ranh giới nước ngọt. Phương pháp này cũng được sử dụng để phân tính toán lượng nước trao đổi qua các cửa sông (nước biển truyền vào cửa sông).

Phương pháp đo đặc hiện trường được sử dụng để đo đặc phân bố độ mặn theo chiều sâu dòng chảy. Kết quả tính toán thủy lực giúp cho việc xác định tương quan giữa lượng nước biển truyền vào VCS và lượng nước sông chuyển ra biển (W_T/W_S). Trên cơ sở số liệu quan trắc phân bố mặn theo chiều sâu và tỷ số W_T/W_S , các trường hợp xuất hiện dòng chảy phân tầng trong mùa kiệt được xác định.

Các biến động của dòng chảy thượng lưu và xu thế biến đổi mức nước biển được xác định bằng phương pháp phân tích hồi quy tuyến tính. Mối quan hệ giữa dòng chảy thượng lưu với các đặc trưng của nước ngọt VCS được xác định bằng phương pháp phân tích tương quan.

Hình 2 trình bày sơ đồ khung nghiên cứu.



Hình 2 Sơ đồ khung nghiên cứu

2.3.2 Phương pháp phân tích thống kê

Thống kê là một hệ thống các phương pháp bao gồm thu thập, tổng hợp, trình bày số liệu, tính toán các đặc trưng của đối tượng nghiên cứu nhằm phục vụ cho quá trình phân tích, dự báo và tìm ra các quy luật [117]. Đây là phương pháp chính để

làm sáng tỏ các đặc điểm phân bố nước ngọt theo thời gian, không gian, xu thế dòng chảy thượng lưu, xu thế mức nước phía biển và mối quan hệ giữa dòng chảy thượng lưu với các đặc trưng nước ngọt VCS.

Trong luận án, NCS đã sử dụng các phương pháp gồm: thống kê mô tả; hồi quy tuyến tính; phân tích tương quan.

Phương pháp thống kê mô tả được sử dụng để xử lý dữ liệu thu thập, thống kê các đặc trưng và biểu diễn dưới dạng bảng biểu, đồ thị,...

Phương pháp hồi quy tuyến tính được sử dụng để phân tích xu thế dòng chảy thượng lưu, xu thế mức nước biển. Phương pháp này dựa trên giả thiết: chuỗi dữ liệu có phân bố chuẩn, có cùng hệ số Cv và tương quan tuyến tính. Trong phương pháp này biến phụ thuộc Y được mô tả bằng một phương trình có dạng

$$Y = aX + b.$$

Trong đó: X: thời gian (năm); a: hệ số góc dốc; b: hệ số tự do.

Hệ số góc chỉ tốc độ thay đổi trung bình hàng năm của các đặc trưng dòng chảy. Nếu độ dốc là đáng kể, có thể kết luận có sự thay đổi thực sự theo thời gian. Xu hướng tăng được xác định khi a là dương, và ngược lại.

Phương pháp phân tích tương quan được sử dụng để thiết lập mối quan hệ giữa dòng chảy thượng lưu và các đặc trưng nước ngọt VCS.

2.3.3 Phương pháp tổng hợp địa lý

Đây là phương pháp cơ bản được NCS sử dụng trong suốt quá trình thực hiện luận án. Phương pháp tổng hợp địa lý được sử dụng để rút ra các đặc trưng phân bố nước ngọt theo thời gian, không gian, nội suy không gian để xác định các ranh giới của các đặc trưng nước ngọt dọc theo các sông chính.

Phương pháp tổng hợp địa lý cũng được sử dụng để tổng hợp kết quả, xem xét các mối quan hệ và rút ra được các quy luật diễn biến của chế độ dòng chảy tại Kratie, Tân Châu, cũng như mối quan hệ giữa chúng với các đặc trưng nước ngọt VCS.

2.3.4 Phương pháp khảo sát đo đạc tại hiện trường

Phương pháp này được sử dụng để làm sáng tỏ được khả năng xuất hiện dòng chảy phân tầng trong mùa kiệt ở VCS Cửu Long. Để đạt được điều đó, NCS đã xây

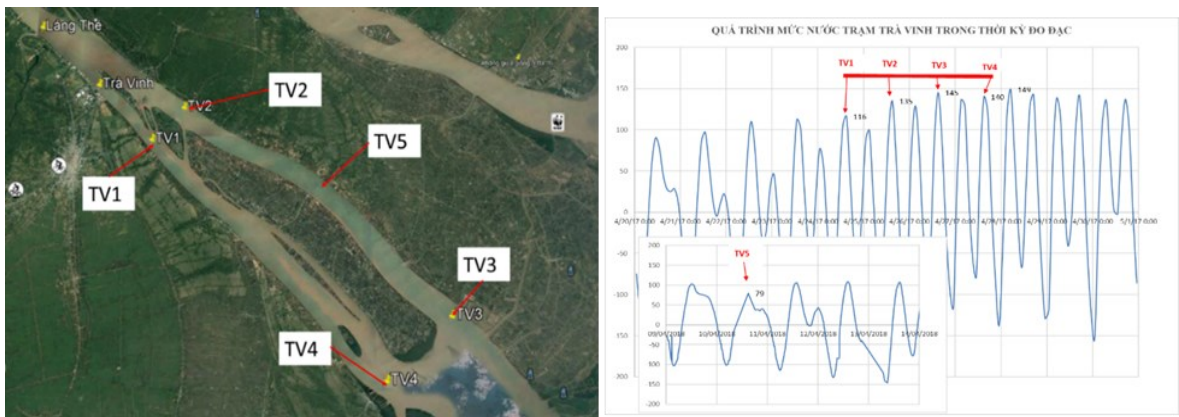
dựng kế hoạch, tuyến, điểm và tổ chức triển khai các đợt quan trắc, đo đạc phân bố độ mặn theo chiều sâu dòng chảy ở vùng nghiên cứu.

Hình 3 trình bày vị trí bố trí khảo sát và giá trị mức nước trạm Trà Vinh trong các ngày thực hiện quan trắc. Trong đó vị trí TV1 trên cửa Cung Hầu, cách biển 20km; TV2 tại vị trí cửa sông Cỏ Chiên, cách biển 20km; TV3 tại cửa Cỏ Chiên; TV4 tại cửa Cung Hầu.

Thời gian đo đạc: tại mỗi vị trí quan trắc số liệu cần thể hiện được đầy đủ các pha triều: chân triều, sườn lên, đỉnh triều, sườn xuống.

Lựa chọn thủy trực đo đạc: việc đo đạc được thực hiện tại thủy trực trung tâm.

Tần suất đo, điểm đo: 1h cho 1 lần đo, các điểm đo thực hiện liên tục cách nhau 0.33m, bắt đầu tính từ mặt nước.



Hình 3. Sơ đồ vị trí đo đạc cấu trúc mặn cửa Cỏ Chiên – Cung Hầu và mực nước thời kỳ đo đạc

Thiết bị quan trắc bao gồm: (1) máy đo độ mặn SM – 802 được chế tạo bởi viện Vật lý. Thiết bị này hoạt động dựa vào việc đo độ dẫn điện, dùng điện cực graphit, độ mặn được tính quy đổi từ độ dẫn điện và nhiệt độ; (2) bộ tời thủy văn với cá nặng 50kg để đưa điện cực của máy đo mặn tới vị trí đo đạc; (3) máy đo lưu lượng dòng chảy ADCP được sử dụng để đo đạc mặt cắt, xác định vị trí thủy trực và đo đạc lưu lượng dòng chảy.

Ngày đo đạc:

- Vị trí TV1: bắt đầu đo đạc từ 11h ngày 24/04/2017, kết thúc vào 01h ngày 25/04/2017. Đây là ngày triều chuyển tiếp với $H_{max} = 1,17m$.
- Vị trí TV2: bắt đầu đo đạc từ 01h ngày 25/04/2017, kết thúc vào 13h ngày 25/04/2017. Đây là ngày triều cường với $H_{max} = 1,35m$.
- Vị trí TV3: bắt đầu đo đạc từ 17h ngày 26/04/2017, kết thúc vào 07h ngày 27/04/2017. Đây là ngày triều cường với $H_{max} = 1,45m$.
- Vị trí TV4: bắt đầu đo đạc từ 12h ngày 27/04/2017, kết thúc vào 18h ngày 27/04/2017. Đây là ngày triều cường với $H_{max} = 1,40m$.
- Vị trí TV5: bắt đầu đo đạc từ 10h ngày 11/04/2018, kết thúc vào 17h ngày 11/04/2018. Đây là ngày triều kém với 1 đỉnh và 1 chân triều, $H_{max} = 0,79m$

Xác định quan hệ W_T/W_S trong những ngày tổ chức đo đạc: Lượng nước biển truyền vào cửa sông Cỏ Chiên được tính toán bằng mô hình thủy lực. Trong đó, lượng nước biển truyền vào được lấy bằng tổng lượng nước chuyển vào trong ngày. Lượng nước sông chuyển ra được tính trung bình 15 ngày. Kết quả trình bày trong *Bảng 6*.

Bảng 6. Thông tin mức nước và quan hệ W_T/W_S trong các ngày tổ chức đo đạc phân bố mặn

TT	Ngày đo đạc	Vị trí	Hmax (m)	W_T (10^6m^3)	W_S (10^6m^3)	Tỷ số W_T/W_S
1	24/04/2017	TV1	1,17	180	86	2,1
2	25/04/2017	TV2	1,35	283		3,3
3	26/04/2017	TV3	1,45	292		3,4
4	27/04/2017	TV4	1,40	288		3,3
5	11/04/2018	TV5	0,79	131	81	1,6

2.3.5 Phương pháp mô hình toán

2.3.5.1 Phân tích lựa chọn mô hình tính toán

Hiện nay, có rất nhiều mô hình đã và đang được sử dụng để tính toán mô phỏng chế độ thủy lực ở ĐBSCL. Cơ sở nền tảng của các mô hình đều giống nhau. Mỗi mô hình đều có thể mạnh, hoặc là về lý thuyết, hoặc là về áp dụng trong thực tiễn, hoặc là có những tiện ích về phân tích kết quả. Các mô hình đã được ứng dụng nhiều ở ĐBSCL phục vụ cho các dự án sản xuất, các đề tài nghiên cứu, được thừa nhận khá rộng rãi. Chất lượng mô phỏng của các mô hình phụ thuộc rất nhiều vào kinh nghiệm sử dụng và cơ sở dữ liệu.

Các mô hình do các tác giả trong nước xây dựng có lợi thế mềm dẻo, linh hoạt, không yêu cầu các điều kiện tính toán quá chặt chẽ, tốc độ tính toán nhanh, có thể tính toán với các bước thời gian dài hơn,... Ngoài ra, các tác giả dễ dàng can thiệp vào mô hình để phát triển thêm các tiện ích khác. Tuy nhiên, các mô hình này giao diện chưa thực sự hoàn thiện, kết quả trình bày và các tiện ích đi kèm còn thiếu hoặc chưa đáp ứng được đòi hỏi của người sử dụng cũng như việc chuyển giao cũng như qui trình công nghệ chuyển giao áp dụng cho đơn vị khác hạn chế.

Ngược lại, các mô hình do các tổ chức nước ngoài xây dựng đòi hỏi các điều kiện tính toán chặt chẽ, nhưng có độ ổn định cao hơn. Ngoài ra, các mô hình này xem như đã hoàn thiện, vượt bậc so với các mô hình trong nước, các vấn đề cơ bản ở ĐBSCL đều có thể đưa vào được mô hình mô phỏng. Mô hình nước ngoài được xây dựng công phu, được phát triển bởi một tổ chức hay liên kết của nhiều công ty, các phần mềm có bản quyền và cơ sở pháp lý cao, tính ổn định cao hơn so với các mô hình trong nước. Các tiện ích cũng như hướng dẫn sử dụng và công nghệ chuyển giao đến người sử dụng được phát triển.

ĐBSCL rất phức tạp không chỉ về địa hình, lòng dẫn, mạng kênh sông mà còn do tính đa dạng trong các mô hình sử dụng nước (cho các mục đích phát triển khác nhau). Trong những năm gần đây, sự thay đổi về hạ tầng, cơ cấu và mô hình sản xuất dẫn đến những thay đổi lớn về xâm nhập mặn trên cả đồng bằng. Nhu cầu đòi hỏi ngày càng cao của các mô hình, một số mô hình trong nước và ngay cả nước ngoài

phát triển và cải tiến còn chậm so với tốc độ phát triển tin học hóa của thế giới, có thể xem khó đáp ứng kịp được các yêu mới.

Trong đó mô hình MIKE với những cải tiến mới nhất cho tính toán nghiên cứu dòng chảy và chất lượng nước (độ mặn). Cơ sở dữ liệu đầy đủ cho toàn ĐBSCL cũng đã được các chuyên gia thiết lập và cho kết quả tốt, vì vậy MIKE đã được sử dụng phổ biến hơn. Trong thực tế, bộ mô hình họ MIKE, với những cải tiến mới nhất đã được áp dụng tốt cho các lưu vực trong các dự án do các cơ quan trong nước và quốc tế thực hiện như: lưu vực sông Hồng; lưu vực sông Hương; lưu vực sông Vũ Gia – Thu Bồn; lưu vực sông Serepok; lưu vực sông Sài Gòn – Đồng Nai và vùng phụ cận; Mạng lưới sông toàn ĐBSCL

Bên cạnh đó, bộ mô hình họ MIKE với những cải tiến mới nhất cho tính toán nghiên cứu dòng chảy và chất lượng nước (độ mặn) và cơ sở dữ liệu đầy đủ cho toàn ĐBSCL cũng đã được thiết lập và cho kết quả tốt, vì vậy NCS đã lựa chọn mô hình MIKE11 (là một modul của bộ mô hình họ MIKE) cho tính toán nghiên cứu dòng chảy và chất lượng nước (độ mặn) cho luận án.

2.3.5.2 Sơ đồ thủy lực cho toàn vùng ĐBSCL.

Mô hình sử dụng để tính toán trong luận án là bộ MIKE 11 [63], sơ đồ tính đã được NCS phát triển qua nhiều năm. Các kết quả hiệu chỉnh chính xác và sử dụng trong các nghiên cứu trước đây [12, 17, 35, 75, 76]. Trong luận án này, NCS sử dụng hai mô-đun: (i) mô-đun thủy động lực (HD) để mô phỏng các chế độ dòng chảy và (ii) mô-đun tải khuếch tán (AD) để mô phỏng độ mặn. Đây là phương pháp đã sử dụng phổ biến cho hệ thống sông Mekong [13, 14, 17, 64, 118].

Dữ liệu cho sơ đồ tính toán đã được NCS kế thừa và phát triển từ nhiều năm. Đầu tiên sơ đồ được sử dụng cho mô hình SAL1193, sau đó được chỉnh lý, cập nhật và phát triển theo mô hình HYDROGIS. Từ năm 2008, sơ đồ được chuyển sang sử dụng cho mô hình MIKE 11. Từ đó, dữ liệu địa hình và khí tượng thủy văn được cập nhật liên tục hàng năm. Đến nay dữ liệu địa hình chung toàn cho toàn sơ đồ, bao gồm cả phía Campuchia được cập nhật tới 2005. Địa hình sông rạch phía Việt Nam và chi

tiết cho sông Cỏ Chiên được cập nhật tới 2016. Hiện trạng công trình thủy lợi cập nhật tới 2019.

Sơ đồ tính toán hiện có:

- Hơn 3.900 sông kênh và các đoạn sông kênh;
- Hơn 5.000 công trình các loại, bao gồm các cống ngăn mặn, các cửa lấy nước, các đường tràn lũ;
- Hơn 25.900 điểm tính toán mực nước;
- Hơn 18.500 điểm tính toán lưu lượng;
- Bình quân 500 m có một điểm tính toán;
- 120 biên tưới, mưa ở ĐBSCL và 28 biên tưới, biên nhập lưu phía Campuchia;
- Các biên triều biển phía Biển Đông và Biển Tây (giáp vịnh Thái Lan).

Mực nước, độ mặn tại các điểm biên cửa sông là số liệu giờ thực đo. Số trạm có số liệu thực đo là 10 trạm đặt trên các cửa sông chính là: Vũng Tàu (Ghềnh Rái), Vàm Kênh (cửa Tiểu), Bình Đại (cửa Đại), An Thuận (cửa Hàm Luông), Bến Trại (cửa Cỏ Chiên + Công Hầu), Mỹ Thanh (cửa Mỹ Thanh + Định An + Trần Đề), Gành Hào (cửa Gành Hào và sông rạch lân cận), Ông Đốc (các sông tỉnh Cà Mau chảy ra Biển Tây), Xẻo Rô (cửa Cái Lớn, Cái Bé), Rạch Giá (các sông tỉnh Kiên Giang chảy ra Biển Tây). Số liệu biên mực nước nội suy có chứa sai số nhất định.

Dữ liệu khí tượng (mưa, bốc hơi) tại chỗ là số liệu lượng mưa ngày thực đo tại 24 trạm có trên vùng hạ du sông Mekong: Kratie, PhnomPenh, Biển Hồ, Tân Châu, Châu Đốc, Long Xuyên, Hà Tiên, Rạch Giá, Cà Mau, Gành Hào, Bạc Liêu, Sóc Trăng, Cần Thơ, Trà Vinh, Mỹ Tho, Vĩnh Long, Cao Lãnh, Sa Đéc, Mỹ Thuận, Bến Tre, Tân An, Mộc Hóa và Tân Sơn Nhất.

Số liệu lưu lượng biên tại Kratie, Trị An, Dầu Tiếng là tài liệu thực đo. Lưu lượng các điểm biên khác là không đáng kể đối với sông Mekong.

2.3.5.3 Hiệu chỉnh mô hình.

Các yêu cầu kỹ thuật khi chọn các thời đoạn để hiệu chỉnh mô hình: (1) các tài liệu địa hình, thủy văn phải mang tính đồng bộ, cập nhật đến thời điểm hiện tại, (2)

năm được chọn phải có đầy đủ số liệu thực đo phục vụ hiệu chỉnh mô hình, (3) điều kiện dòng chảy trong thời gian được chọn phải đủ dài để có thể đại diện cho các hình thái dòng chảy trong hệ thống, do đó bộ thông số đã hiệu chỉnh có thể áp dụng tính toán cho các thời đoạn có trạng thái dòng chảy tương tự.

Căn cứ vào bộ số liệu hiện có thì năm 2005 được chọn để hiệu chỉnh mô hình. Năm 2009 là năm có điều kiện bình thường về nguồn nước, hệ thống công trình không có nhiều khác biệt so với năm 2005, được chọn làm năm kiểm định. Trên cơ sở sơ đồ đã hiệu chỉnh và kiểm định, NCS tiếp tục cập nhật các dữ liệu mới về địa hình sông rạch trên toàn vùng và chi tiết cho sông Cỏ Chiên theo các tài liệu mới nhất. Sơ đồ tiếp tục được hiệu chỉnh cho năm 2016 (sau khi có các đập thủy điện dòng chính) và năm 2019 được chọn để kiểm định kết quả tính toán mô hình. Bộ thông số được hiệu chỉnh năm 2016 và kiểm định năm 2019 được chọn để thực hiện các tính toán tiếp theo. Việc hiệu chỉnh mô hình được thực hiện theo 2 bước:

Bước 1: Hiệu chỉnh mô hình thủy lực và chọn ra bộ thông số tốt nhất về mặt thủy động lực học (hệ số nhám n);

Bước 2: Sử dụng bộ thông số (hệ số nhám n) đã được chọn ở bước 1 trong hiệu chỉnh module AD.

Các chỉ số hiệu quả Nash-Sutcliffe (NSE) và chỉ số thiên lệch (PBIAS) đã được sử dụng để đánh giá mức độ tin cậy của kết quả tính toán [119].

Chỉ số NSE là một thông số thống kê xác định giá trị tương đối của phương sai dư so với phương sai của chuỗi thực đo. PBIAS được sử dụng để ước tính xu hướng trung bình của kết quả mô phỏng lớn hơn hoặc nhỏ hơn các giá trị thực đo. Giá trị tối ưu của PBIAS là 0, với các giá trị thấp biểu thị mô hình mô phỏng chính xác. Bảng 7 trình bày tiêu chí đánh giá độ tin cậy của kết quả mô phỏng.

Bảng 7 Tiêu chí đánh giá độ tin cậy của mô phỏng theo chỉ số NSE và PBIAS

Mức độ tin cậy của mô phỏng	NSE	PBIAS (%)
Rất tốt	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$PBIAS < \pm 10$
Tốt	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$
Trung bình	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$
Dưới trung bình	$NSE \leq 0.50$	$PBIAS > \pm 25$

2.3.5.4 Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình các năm 2005, 2009, 2016 và 2019 được trình bày trong các Phụ lục 4÷ Phụ lục 11. Bảng 8 trình bày kết quả hiệu chỉnh và kiểm định giá trị mực nước tại Mỹ Thuận và Trà Vinh bằng các chỉ tiêu NSE và PBIAS.

Bảng 8. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

TT	Vị trí	Hiệu chỉnh				Kiểm định			
		2005		2016		2009		2019	
		NSE	PBIAS (%)	NSE	PBIAS (%)	NSE	PBIAS (%)	NSE	PBIAS (%)
1	Trà Vinh	0,74	8,23	0,92	1,14	0,81	4,47	0,85	4,23
2	Mỹ Thuận	0,71	9,65	0,77	5,65	0,76	2,65	0,88	1,77

Về kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình đối với thông số thủy lực (HD): Các số liệu quan trắc mực nước là liên tục, do đó phù hợp với kiểm định bằng các chỉ tiêu NSE, PBIAS. Kết quả cho thấy có thể áp dụng mô hình để mô phỏng chế độ thủy lực vùng nghiên cứu.

Về kết quả hiệu chỉnh và kiểm định đối với giá trị độ mặn (AD): so sánh giữa tính toán và thực đo vẫn còn sự chênh lệch. Chênh lệch giữa thực đo và tính toán là do giá trị mặn thực đo không liên tục, vị trí mặn được đo tại một điểm, còn kết quả tính toán là trung bình mặt cắt. Tuy nhiên, về xu thế thì cho thấy kết quả mô phỏng

mặn là phù hợp với thực tế. Giá trị trung bình giữa tính toán và thực đo không sai biệt quá lớn. Nhìn chung, kết quả mô phỏng độ mặn là phù hợp và có thể sử dụng mô hình để mô phỏng cho các kịch bản.

2.4 Dữ liệu sử dụng

2.4.1 Kế thừa các kết quả nghiên cứu

Luận án được thực hiện dựa trên cơ sở kế thừa một số kết quả nghiên cứu do bản thân NCS chủ nhiệm hoặc tham gia thực hiện chính đề tài các cấp, bao gồm:

- Đề tài cấp Viện HLKHCNVN (2018): Nghiên cứu tương tác sông – biển và khả năng khai thác nguồn nước ngọt cung cấp cho các đối tượng dùng nước vùng của sông Cửu Long, do NCS làm Chủ nhiệm [111].

- Đề tài cấp tỉnh Trà Vinh (2013): Đánh giá khả năng khai thác nguồn nước mặt phục vụ cấp nước sinh hoạt tỉnh Trà Vinh – Đề xuất giải pháp cấp nguồn nước thô phục vụ sinh hoạt TP. Trà Vinh, do NCS làm Chủ nhiệm [73].

- Đề tài cấp Viện HLKHCNVN (2014): Nghiên cứu những luận cứ khoa học làm cơ sở cho vấn đề khai thác nguồn nước mặt phục vụ cấp nước sinh hoạt vùng ven biển BĐCM trong điều kiện nước biển dâng do BĐKH, do NCS làm Chủ nhiệm [75].

- Đề tài cấp tỉnh Bến Tre (2014): Nghiên cứu, đánh giá tác động BĐKH và NBD đến sạt lở bờ biển, tài nguyên nước và sản xuất nông nghiệp. Đề xuất các giải pháp và mô hình thích ứng trên địa bàn huyện Thạnh Phú tỉnh Bến Tre, do TS. Lê Ngọc Thanh làm Chủ nhiệm [112] mà NCS là thành viên chính.

- Đề tài cấp Nhà nước (2020): Nghiên cứu giải pháp khai thác và sử dụng tài nguyên nước mưa của các tỉnh ven biển ĐBSCL trong điều kiện BĐKH, do NCS làm Chủ nhiệm [29].

2.4.2 Các dữ liệu quan trắc Bộ dữ liệu quan trắc dòng chảy, mực nước, độ mặn được sử dụng trong luận án gồm có:

(1). Số liệu quan trắc độ mặn từ năm 1996 - 2021 tại 18 trạm quan trắc tại VCS:

Bộ số liệu do Đài Khí tượng thủy văn khu vực Nam bộ thực hiện. Vị trí quan trắc được bố trí cùng với trạm đo thủy văn. Độ mặn được xác định ngay sau khi lấy

mẫu bằng máy cầm tay YSI30 (quan trắc độ dẫn điện). Các dữ liệu được quan trắc theo chế độ 12 lần/ngày vào các giờ lẻ. Các mẫu quan trắc được lấy tại 3 tầng, nơi có dòng chảy rõ rệt: Tầng mặt (cách mặt nước 0,2h), (h là độ sâu); Tầng giữa (cách mặt nước 0,5h); Tầng đáy (cách mặt nước 0,8h). Lấy mẫu bằng chai thủy tinh có nút giật, lấy lần lượt từ tầng mặt đến tầng đáy. Mỗi lần lấy 500 ml nước mẫu. Độ mặn bình quân thủy trực được tính theo công thức:

$$STT = (S_{0,2h} + 2 \times S_{0,5h} + S_{0,8h}) / 4 (\text{‰}).$$

Tài liệu mặn được chỉnh lý theo phương pháp so sánh độ mặn các trạm trên cùng một con sông, từ đó dựa vào tình hình mạng lưới trạm đo để kiểm tra tính hợp lý của tài liệu. Thông thường, độ mặn giảm dần từ cửa biển sâu vào trong sông và thời gian xuất hiện đỉnh và chân mặn các trạm phía ngoài cửa sông sớm hơn các trạm sâu trong sông.

Trong thời gian trước năm 2012, dữ liệu được quan trắc từ tháng II đến tháng VI hàng năm. Từ sau năm 2012, dữ liệu được quan trắc từ tháng I đến tháng VI.

(2). Dữ liệu quan trắc độ mặn và mực nước tự động tại Trà Vinh:

Đây là trạm quan trắc do Công ty TNHH MTV Khai thác công trình thủy lợi Trà Vinh đầu tư xây dựng. Trạm quan trắc đồng thời các chỉ tiêu: Mực nước, độ mặn, độ dẫn điện, nhiệt độ. Vị trí trạm được đặt trùng với vị trí trạm quan trắc thủy văn Trà Vinh.

Dữ liệu được quan trắc tự động với tần suất 20 phút/lần giai đoạn 2015-2018. Độ mặn được tính toán từ độ dẫn điện. Thời gian quan trắc suốt cả năm, nên số liệu thể hiện đầy đủ cả mùa kiệt và mùa lũ.

(3). Dữ liệu quan trắc mực nước tại Kratie:

Dữ liệu mực nước tại trạm Kratie được quan trắc bởi Ủy ban sông Mekong. Trạm Kratie thuộc dòng chính sông Mekong, cách Phnom Pênh 215 km về phía thượng lưu và cách biên giới Việt Nam khoảng 310 km. Đây là điểm bắt đầu của châu thổ sông Mekong.

Dữ liệu được quan trắc liên tục từ năm 1924 cho đến nay. Trong luận án sử dụng chuỗi dữ liệu giai đoạn 1990 – 2019. Lưu lượng dòng chảy qua Kratie được tính toán từ giá trị mực nước theo công thức [1, p. 27]:

$$\text{Rising stage: } Q = (8,158H - 10,155)^{2.1};$$

$$\text{Falling stage: } Q = (3,300H + 1,256)^{2.5};$$

(4). Dữ liệu quan trắc dòng chảy tại Tân Châu:

Tân Châu là trạm cơ bản, có bộ số liệu quan trắc dài. Tuy nhiên, từ năm 2000 trở về trước, số liệu quan trắc lưu lượng không đo liên tục mà được tính toán bổ sung từ quan hệ $Q \sim H$. Từ năm 2001 trở về sau, lưu lượng dòng chảy được quan trắc liên tục. Do đó, luận án đã sử dụng số liệu lưu lượng dòng chảy giai đoạn 2001 – 2019 để phân tích.

(5). Dữ liệu quan trắc mực nước biển:

Với mục đích đánh giá phân tích xu thế mực nước biển dâng, luận án đã sử dụng các số liệu quan trắc tại các trạm: Vũng Tàu (trạm hải văn), trạm Bến Trại (cửa sông), trạm Trà Vinh (trạm sông). Dữ liệu quan trắc theo từng giờ cho giai đoạn 1980 – 2017.

2.4.3 Các dữ liệu được đo đạc trong quá trình thực hiện luận án

Trong quá trình thực hiện luận án, để làm rõ hơn về quy luật phân bố nước ngọt theo chiều sâu dòng chảy, NCS đã tiến hành đo đạc phân bố mặn theo độ sâu tại 5 vị trí trên 2 nhánh sông: Cỏ Chiên (3 vị trí) và Cung Hầu (2 vị trí). Các khảo sát được thực hiện trong mùa kiệt năm 2017 và 2018. Các giá trị độ mặn theo chiều sâu dòng chảy được quan trắc trong các thời kỳ triều kém, triều chuyển tiếp, triều cường.

TIỂU KẾT CHƯƠNG 2

Chương 2 đã trình bày nguồn tài liệu, dữ liệu được sử dụng trong luận án, bao gồm các kết quả nghiên cứu từ các đề tài, dự án đã được nghiêm thu do chính NCS làm chủ nhiệm hoặc tham gia thực hiện. Ngoài ra, nguồn dữ liệu, số liệu quan trắc, đo đạc từ các cơ quan chức năng thực hiện quan trắc cũng như các công trình nghiên cứu khoa học khác cũng được sử dụng trong quá trình thực hiện luận án. Các bộ dữ

liệu, số liệu này đều được các đơn vị chức năng có chuyên môn tổ chức quan trắc và số liệu đã được kiểm tra, chỉnh lý trước khi công bố.

Phương pháp luận nghiên cứu đã được NCS trình bày cụ thể, chi tiết và đầy đủ, gồm: cách tiếp cận, các phương pháp nghiên cứu để giải quyết mục tiêu, nhiệm vụ của luận án. Trong đó, các phương pháp chính được NCS sử dụng trong luận án, bao gồm: (1) phương pháp phân tích thống kê: thống kê mô tả, phân tích hồi quy tuyến tính, phân tích tương quan,...; (2) phương pháp khảo sát đo đạc tại hiện trường: để quan trắc phân bố độ mặn theo chiều sâu nhằm xác định các trường hợp dòng chảy phân tầng; (3) phương pháp mô hình toán: mô hình MIKE11 đã được hiệu chỉnh và kiểm định để mô phỏng phân bố nước ngọt theo không gian và mối tương tác sông – biển tại cửa sông Cổ Chiên; (4) phương pháp tổng hợp địa lý: để tổng hợp kết quả, xem xét các mối quan hệ và rút ra được các quy luật diễn biến - Đây là các phương pháp truyền thống đã được sử dụng phổ biến trong các nghiên cứu về thủy văn, xâm nhập mặn ở vùng ĐBSCL.

Chương 3 KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1 Các quy luật phân bố nước ngọt vùng cửa sông Cửu Long

3.1.1 Những vấn đề chung

Nước ngọt về tới VCS bị nhiễm mặn bởi sự pha trộn với nguồn nước đến từ phía biển. Trong điều kiện tự nhiên, phạm vi ảnh hưởng XNM 4‰ vào ĐBSCL chiếm khoảng trên 50% diện tích bao gồm các tỉnh: Long An, Tiền Giang, Bến Tre, Trà Vinh, Sóc Trăng, Bạc Liêu, Cà Mau và Kiên Giang. Ranh giới XNM 4‰ trên sông Tiền khoảng 50-60km, và trên sông Hậu khoảng 40-50km. Đó là các ranh giới mặn cao nhất.

Tuy nhiên, trong vùng nhiễm mặn nước ngọt vẫn xuất hiện tùy theo không gian và thời gian. Vào mùa mưa hầu hết phạm vi VCS đều có nước ngọt. Trong mùa khô các ranh giới có nước ngọt di chuyển theo thời gian phụ thuộc vào tương quan giữa dòng chảy thượng lưu và chế độ thủy triều phía biển. Trong phần này, NCS sẽ làm rõ các đặc điểm phân bố nước ngọt tại VCS Cửu Long.

Đặc điểm phân bố nước ngọt theo thời gian được phân tích trên cơ sở dữ liệu quan trắc mặn tại trạm Trà Vinh.

Nghiên cứu lựa chọn trạm quan trắc Trà Vinh là trạm đo thủy văn cơ bản của Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ để phân tích diễn biến các đặc trưng nước ngọt theo thời gian. Trạm có kinh độ 106021'15,65", vĩ độ 9058'32,43", nằm trên sông Cổ Chiên, cách cửa Cung Hầu 28 km, thuộc Tp. Trà Vinh, tỉnh Trà Vinh. Đây là trạm quan trắc có chuỗi số liệu dài nhất trong mùa kiệt (1996-2021). Ngoài ra, vị trí này còn được quan trắc liên tục trong năm (2015-2018) giúp cho việc nhận xét quy luật diễn biến trong cả năm. Số liệu quan trắc độ mặn các năm 2015-2018 tại trạm tự động Láng Thê trên sông Cổ Chiên (cách trạm Trà Vinh 6,5km về phía thượng lưu) cũng được xem xét để so sánh.

Từ bộ số liệu quan trắc, lọc ra các thời điểm có nước ngọt ($S \leq 0,3\%$) để xác định số giờ có nước ngọt trong từng tháng (NFW). Thống kê các mốc thời gian có

nước ngọt để xác định các đặc trưng: số ngày dài nhất không có nước ngọt (DFW); ngày kết thúc mùa có nước ngọt (FWE); ngày bắt đầu mùa có nước ngọt (FWS). Tính toán các đặc trưng thống kê để định lượng các đặc trưng nước ngọt.

Xây dựng biểu đồ S~T với chặn dưới là $S=0,3\%$ trong suốt cả năm để xem xét diễn biến nước ngọt trong suốt năm.

Đặc điểm phân bố nước ngọt theo không gian được phân tích trên cơ sở dữ liệu quan trắc mặn tại 21 trạm cơ bản nằm trên VCS.

Trên cơ sở dữ liệu dòng chảy trạm Tân Châu giai đoạn 2001÷2019 cho thấy: năm 2005 có lưu lượng dòng chảy mùa kiệt thấp nhất; năm 2009 có lưu lượng dòng chảy mùa kiệt trung bình; năm 2014 có lưu lượng dòng chảy mùa kiệt cao. Chuỗi dữ liệu quan trắc mặn từ năm 1996 đến 2021 cũng cho thấy các năm 2005, 2009 và năm 2014 là các năm điển hình cho XNM sâu, trung bình và ít. Trên cơ sở đó, NCS đã lựa chọn 3 năm 2005, 2009 và 2014 làm đại diện cho các năm có ít nước, trung bình và nhiều nước trong mùa kiệt để phân tích đánh giá phân bố nước ngọt theo không gian.

Phân tích thống kê dữ liệu mặn từ 21 trạm trong 3 năm điển hình (2005, 2009, 2014) cho phép xác định các đặc trưng: ngày kết thúc mùa ngọt; ngày bắt đầu mùa có nước ngọt; số giờ có nước ngọt trong các tháng mùa khô.

Dựa vào khoảng cách của các trạm quan trắc so với cửa sông để nội suy các đặc trưng nước ngọt. Lưu ý: *các ranh giới này chỉ thể hiện cho phân bố nước ngọt trên sông chính, các ranh giới trong nội đồng chỉ là giả định và không có ý nghĩa.*

Các ranh giới được xác định gồm: ranh giới luôn có nước ngọt (FWA), ranh giới có nước ngọt hàng ngày (FWD); ranh giới có nước ngọt đến tháng hai (FW2); ranh giới có nước ngọt đến tháng Tư (FW4); ranh giới không có nước ngọt trong mùa khô (FWN).

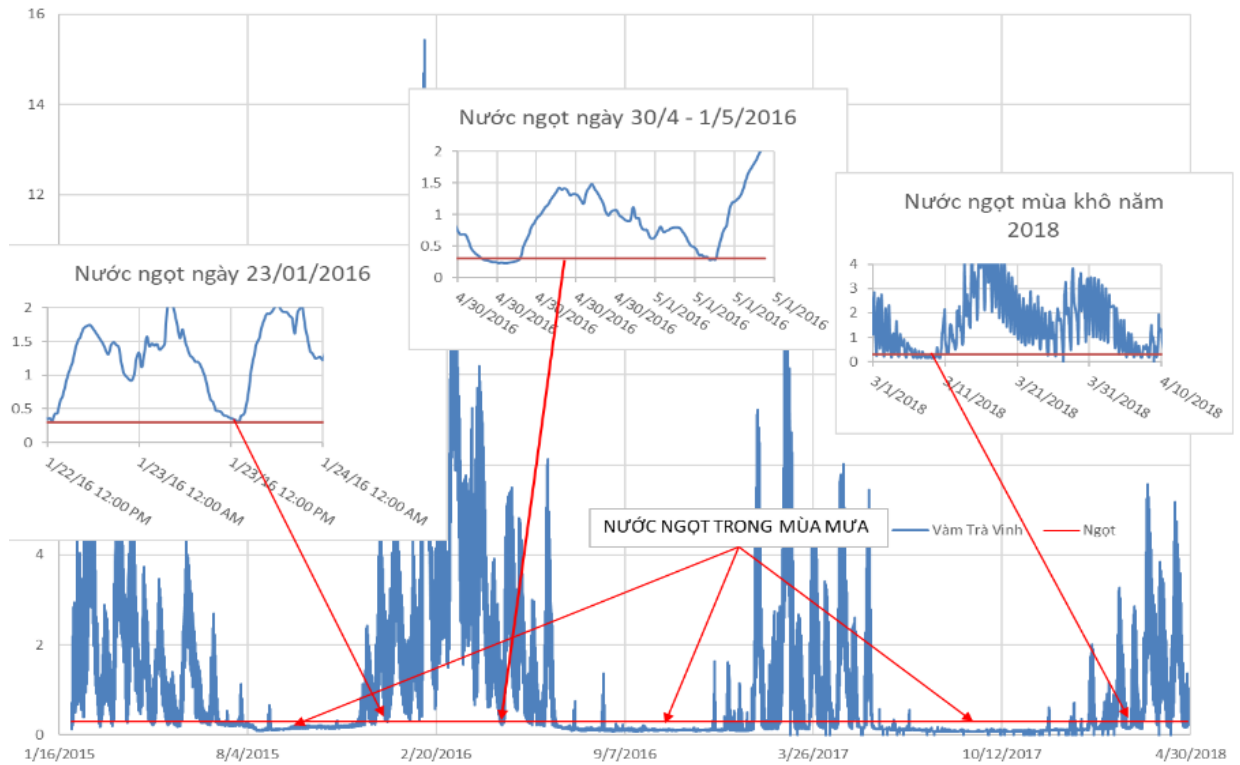
Mô hình thủy lực MIKE11 được sử dụng để tính toán chi tiết phân bố nước ngọt năm 2005 và dự báo tới năm 2030.

Phân bố nước ngọt theo phương đứng (khả năng xuất hiện dòng chảy phân tầng) được nghiên cứu trên cơ sở đo đạc phân bố độ mặn theo chiều sâu dòng chảy qua các thời kỳ triều kém, triều chuyển tiếp và triều cường. Quan hệ giữa lượng nước

biển truyền vào sông Cỏ Chiên và nước sông chuyển về (W_T/W_S) được xác định bằng mô hình thủy lực. Trên cơ sở đó, NCS đã phân tích khả năng xuất hiện dòng chảy phân tầng ở VCS Cửu Long.

3.1.2 Phân bố nước ngọt theo thời gian

Hình 4 trình bày quá trình độ mặn tại Trà Vinh theo bộ số liệu quan trắc tại trạm tự động từ 2015-2018.



Hình 4. Diễn biến độ mặn tại trạm Trà Vinh giai đoạn 2015-2018

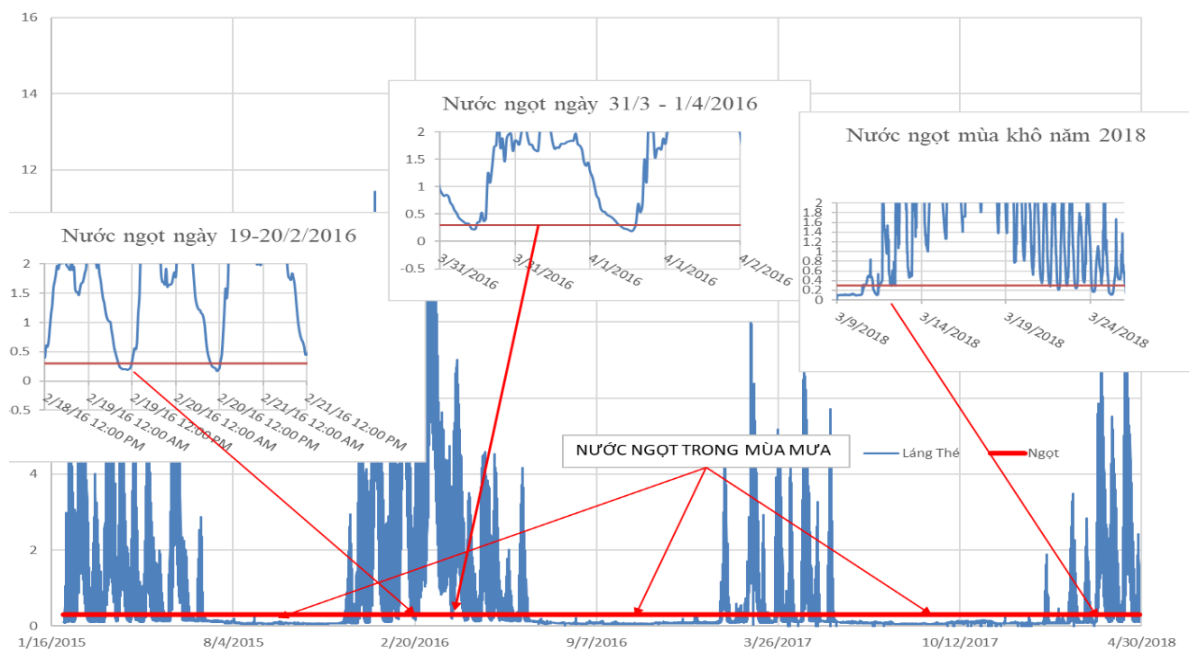
Trong mùa mưa lũ tại Trà Vinh hầu hết thời gian là nước ngọt.

Trong mùa kiệt: vẫn có nhiều thời gian giá trị S_{min} nhỏ hơn 0,3‰. Trong tất cả các tháng mùa kiệt các năm 2015, 2017, 2018 đều có thời điểm S_{min} nhỏ hơn 0,3‰. Mùa kiệt những năm này vẫn có nhiều ngày nước ngọt hoàn toàn.

Mùa kiệt năm cực hạn 2016: từ 18/12/2015 đã kết thúc mùa ngọt tại Trà Vinh. Từ thời điểm đó đến cuối tháng 1 chỉ có 02 đợt xuất hiện nước ngọt (29, 30/12/2015 và 22-24/1/2016). Suốt thời gian dài từ cuối tháng 1 cho tới cuối tháng 4 hoàn toàn không có độ mặn nhỏ hơn 0,3‰ tại đây, DFW = 94 ngày. Hình 5 trình bày quá trình

mặn tại vàm Láng Thè theo số liệu trạm quan trắc tự động. Vàm Láng Thè nằm cách trạm Trà Vinh khoảng 6,5km về phía thượng lưu.

Kết quả cho thấy: diễn biến nước ngọt tại Láng Thè cũng tương tự như tại Trà Vinh, tuy nhiên số giờ có nước ngọt nhiều hơn. Năm cực hạn 2016, từ ngày 1/1/2016 đã kết thúc mùa ngọt tại đây. Tuy nhiên, những ngày sau đó số giờ có nước ngọt lại khá nhiều, các đợt ngọt kéo dài như: từ 15/1-1/2; 17/2 – 24/2; 31/3-2/4; và từ 13/4 mùa ngọt đã bắt đầu trở lại Láng Thè. Đặc biệt DFW = 36 nhỏ hơn nhiều so với Trà Vinh.



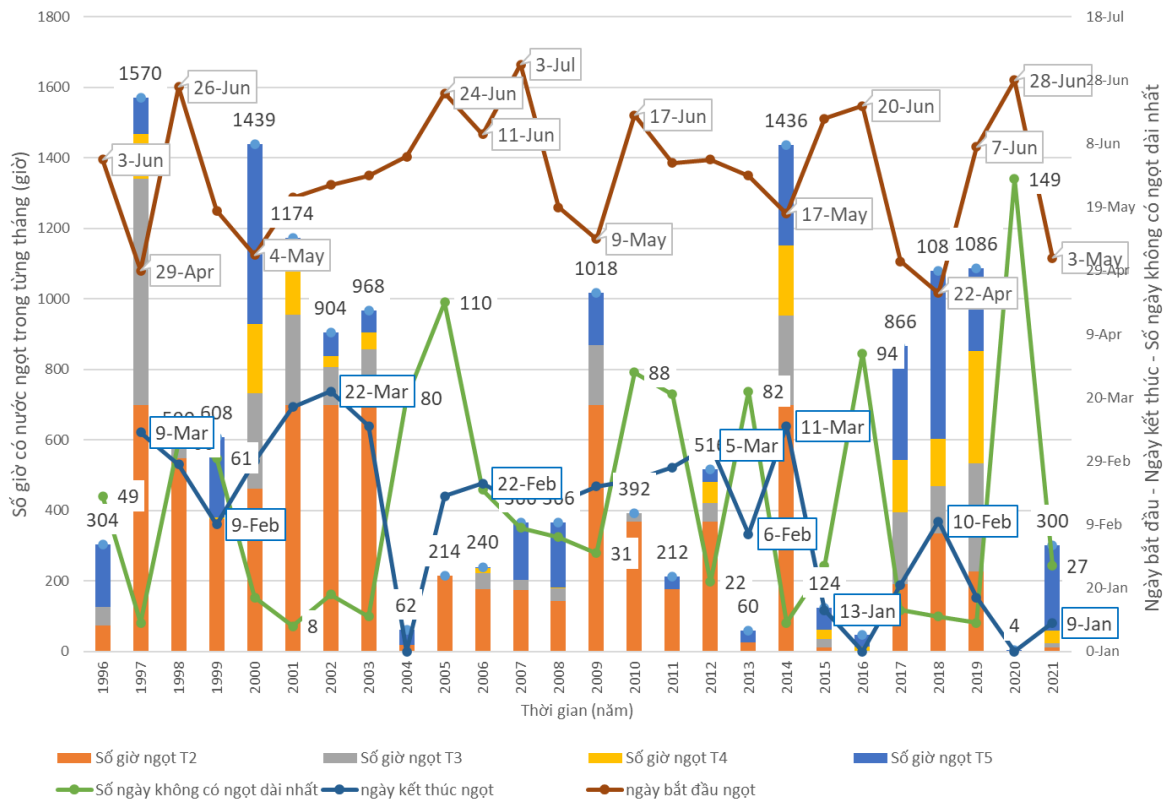
Hình 5. Diễn biến độ mặn tại trạm Láng Thè giai đoạn 2015-2018

Bảng 9, Hình 6 trình bày các biểu đồ diễn biến các đặc trưng của nước ngọt theo thời gian tại trạm Trà Vinh. Kết quả cho thấy: (1) FWE trung bình kéo dài tới 12/2, trong chuỗi dữ liệu chỉ có 06 năm FWE diễn ra từ tháng 1 về trước đều là những năm gần đây (2015-2021); có 05 năm kéo dài tới nửa đầu tháng 2; có 08 năm kéo dài tới nửa cuối tháng 2; có 07 năm kéo dài tới tháng 3. (2) FWS trung bình vào ngày 29/5; trong chuỗi số liệu có 13 năm FWS từ tháng 5; 12 năm từ tháng 6; 01 năm chuyển sang tháng 7 (2007). (3) NFW: trung bình tháng 2 có 311 giờ có ngọt trên sông, tháng 3 có 108 giờ ngọt, tháng 4 có 57 giờ, tháng 5 có 137 giờ ngọt. (4) DFW

trung bình là 46 ngày, dài nhất là năm 2020 với DFW = 149 ngày, trước đó là năm 2005 với 110 ngày, tiếp đó là năm 2016 với 94 ngày. Năm 2015, cũng là một năm kiệt, nhưng trong các tháng mùa khô luôn có nước ngọt.

Các giá trị trung bình của các đặc trưng cho thấy sự thuận lợi trong tiếp cận nước ngọt ở VCS. Tuy nhiên, nước ngọt VCS thiếu tính ổn định với giá trị Cv khá lớn. Đây là điểm cần lưu ý trong việc khai thác nước ngọt ở VCS.

Trong những năm gần đây, xu thế FWE diễn ra sớm hơn. Số liệu quan trắc 7 năm gần đây (2015-2021) cho thấy ngoại trừ năm 2018, thì các năm khác đều cho thời điểm FWE diễn ra từ tháng 1 trở về trước. DFW cũng được rút ngắn hơn, có tới 5 năm $DFW < 27$ ngày.



Hình 6. Các đặc trưng quá trình nước ngọt trạm Trà Vinh

Bảng 9. Các đặc trưng nước ngọt tại trạm Trà Vinh

Năm	Số giờ ngọt trong tháng (giờ)						DFW	FWE	FWS
	T1	T2	T3	T4	T5	T6			
1996		74	52	0	178	580	49	KXĐ	03/06
1997		700	640	128	102	700	9	09/03	29/04
1998		548	36	0	6	266	66	28/02	26/06
1999		376	0	4	228	700	61	09/02	18/05
2000		462	270	196	511	700	17	29/02	04/05
2001		700	256	126	92	700	8	17/03	22/05
2002		700	106	32	66	700	18	22/03	26/05
2003		700	158	48	62	618	11	11/03	29/05
2004		18	0	0	44	454	80	KXĐ	04/06
2005		214	0	0	0	88	110	18/02	24/06
2006		176	46	14	4	208	51	22/02	11/06
2007		174	28	0	164	436	39	15/02	03/07
2008		142	36	4	184	700	36	16/02	19/05
2009		700	170	0	148	700	31	21/02	09/05
2010		368	24	0	0	138	88	23/02	17/06
2011		176	0	0	36	642	81	27/02	02/06
2012		368	54	60	34	422	22	05/03	03/06
2013	700	26	0	0	34	394	82	06/02	29/05
2014	700	700	252	200	284	700	9	11/03	17/05
2015	146	12	24	26	62	128	27	13/01	16/06
2016	4	0	0	14	32	252	94	KXĐ	20/06
2017	514	192	202	148	324	700	13	21/01	02/05
2018	602	334	134	134	478	638	11	10/02	22/04
2019	282	226	308	318	234	488	9	17/01	07/06
2020	0	0	0	0	4	62	149	KXĐ	28/06
2021	80	12	12	36	240	560	27	09/01	03/05
Trung bình	336	311	108	57	137	487	46	12/02	29/05
Trung vị	282	220	41	14	79	570	34	14/02	29/05
Độ lệch	295	261	147	84	142	226	38	21	20
Cv	0,88	0,84	1,36	1,47	1,04	0,46	0,82	0,53	0,14

3.1.3 Phân bố nước ngọt theo phương dọc

3.1.3.1 Phân bố nước ngọt theo tài liệu thực đo.

Kết quả thống kê: FWE, FWS của 21 trạm cửa sông trình bày trong *Bảng 10*; NFW trình bày trong *Bảng 11*; FW4 trình bày trong *Hình 7*; FW2 trình bày trong *Hình 8*; FWD trình bày trong *Hình 9*.

Năm 2005 là năm ít nước nên FWE bé (sớm) và FWS lớn (muộn) ở tất cả các cửa sông. Ngược lại trong những năm nước nhiều hơn (2009, 2014) FWE lớn hơn (muộn hơn) và FWS bé hơn (sớm hơn).

- NFW giảm dần từ sông Hậu đến sông Cửu Tiều. Trong đó sông Mỹ Tho và sông Hàm Luông có sự biến động rất lớn về NFW. Điều đó cho thấy sự nhạy cảm của XNM và các đặc trưng nước ngọt tại các cửa sông này đối với chế độ nước nguồn. Các cửa sông khác quá trình nước ngọt ổn định hơn.
- FWD: **Đối với năm ít nước năm 2005**: trên sông Hậu, sông Cổ Chiên cách biển khoảng 45km; sông Hàm Luông và sông Mỹ Tho, FWD vào sâu hơn nhiều, khoảng 55 km cho sông Hàm Luông và hơn 65km cho phía sông Mỹ Tho. **Đối với năm nước ngọt trung bình (2009)** FWD lùi sâu hơn về phía biển so với năm ít nước (2005) khoảng 5km đối với sông Hậu (cách biển 40km), sông Cổ Chiên, 10km cho sông Hàm Luông và 18km cho sông Mỹ Tho (cách biển 47km). **Năm nhiều nước (2014)** FWD trong suốt mùa kiệt dịch chuyển về cách biển khoảng 30km và khá ổn định cho các cửa sông. Nhìn chung ở sông Hậu, Cổ Chiên thay đổi trong khoảng 15km (30 – 45km), sông Hàm Luông khoảng 25km (30 – 55km) và sông Mỹ Tho khoảng 35km (30 – 65km). Điều đó cho thấy nguồn nước về phía sông Hậu và Cổ Chiên ổn định hơn.
- FW4: đây là tháng kiệt nhất trong năm, do đó FW4 trong tháng IV khá tương đồng với FWD. Sự khác biệt chỉ có ở sông Mỹ Tho, năm 2005 ranh giới này đi xuống dưới Đòng Tâm còn cách biển khoảng 60km.

- FW2: thời kỳ này nguồn nước vẫn còn khá cao, nên ranh giới này khá ổn định cho các cửa sông. Năm 2005, FW2 cách biển khoảng 25km; Năm 2009 và 2014 cách biển khoảng 15km.
- FWN: Trong năm 2005 các trạm ven biển (Vàm Kênh, Bình Đại, Bến Trại, Trà Kha, Mỹ Thanh) đều hoàn toàn không có nước ngọt trong mùa kiệt (tháng II- tháng VI). Tuy nhiên, trong các năm khác (2009, 2014), một số trạm như Bình Đại (cách biển 4km), Trà Kha (7km), có sự xuất hiện nước ngọt mặc dù chỉ một số ít thời gian.

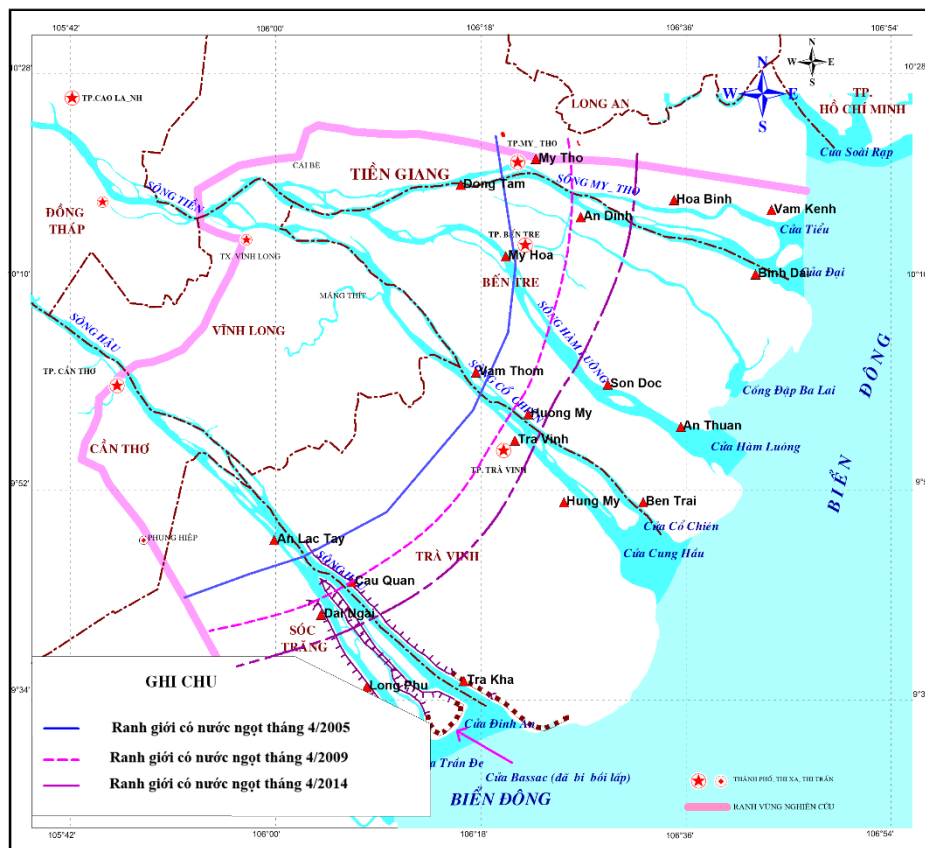
Bảng 10. Thống kê ngày kết thúc mùa có nước ngọt (FWE) và ngày bắt đầu mùa có nước ngọt (FWS)

Sông	Trạm	FWE			FWS		
		2005	2009	2014	2005	2009	2014
Cửa Tiểu	Vàm Kênh	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ
	Hòa Bình	KXĐ	09/02	KXĐ	27/06	21/05	01/06
	An Định	15/03	11/04	N	25/05	13/04	N
	Mỹ Tho	18/03	N	N	31/05	N	N
	Đồng Tâm	26/03	N	N	15/05	N	N
Cửa Đại	Bình Đại	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ
	Lộc Thuận	KXĐ	KXĐ	09/01	14/07	14/07	KXĐ
Hàm Luông	An Thuận	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ
	Sơn Đốc	11/02	11/03	11/02	20/06	25/05	19/04
	Mỹ Hóa	05/03	N	N	27/05	N	N
Cung Hầu	Hung Mỹ	KXĐ	04/02	13/01	KXĐ	27/06	18/06
	Trà Vinh	10/02	22/03	13/03	25/06	22/05	17/05
Cổ Chiên	Bến Trại	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ
	Hương Mỹ	10/02	10/02	03/03	26/06	20/06	16/06
	Vàm Thơm	N	N	N	N	N	N
Định An	Trà Kha	KXĐ	01/02	03/01	10/06	16/07	19/06
	Cầu Quan	10/02	21/03	N	23/06	08/05	N
Trần Đề	Mỹ Thanh	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ	KXĐ
	Long Phú	10/02	05/02	15/02	23/06	30/06	27/06
	Đại Ngãi	05/03	07/04	N	01/06	06/05	N
	An Lạc Tây	N	N	N	N	N	N

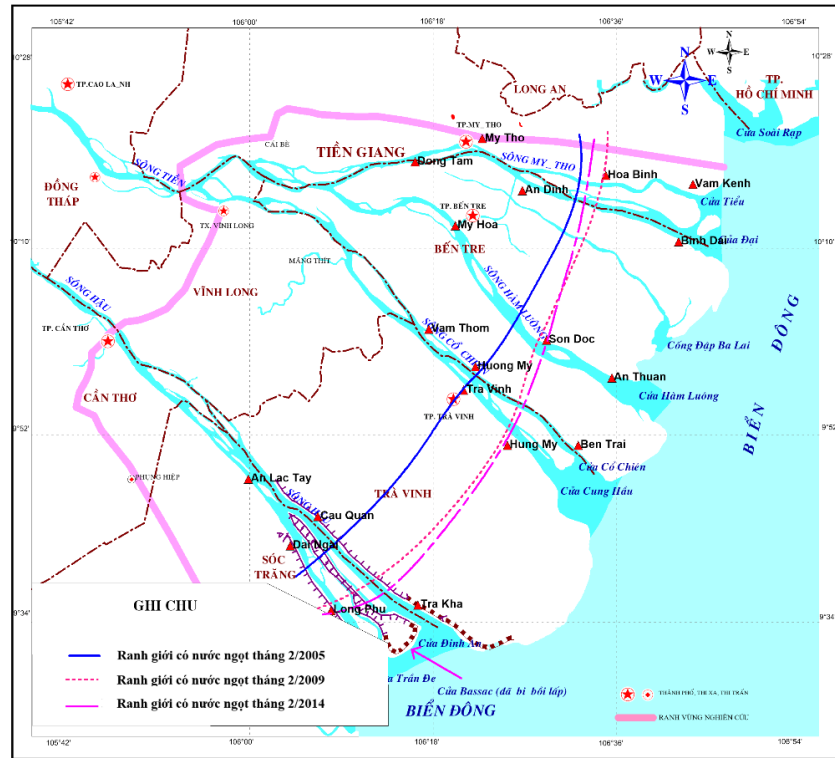
N: luôn có ngọt; KXĐ: dữ liệu quan trắc không xác định được thời điểm

Bảng 11. Thống kê số giờ có nước ngọt trong các tháng mùa khô.

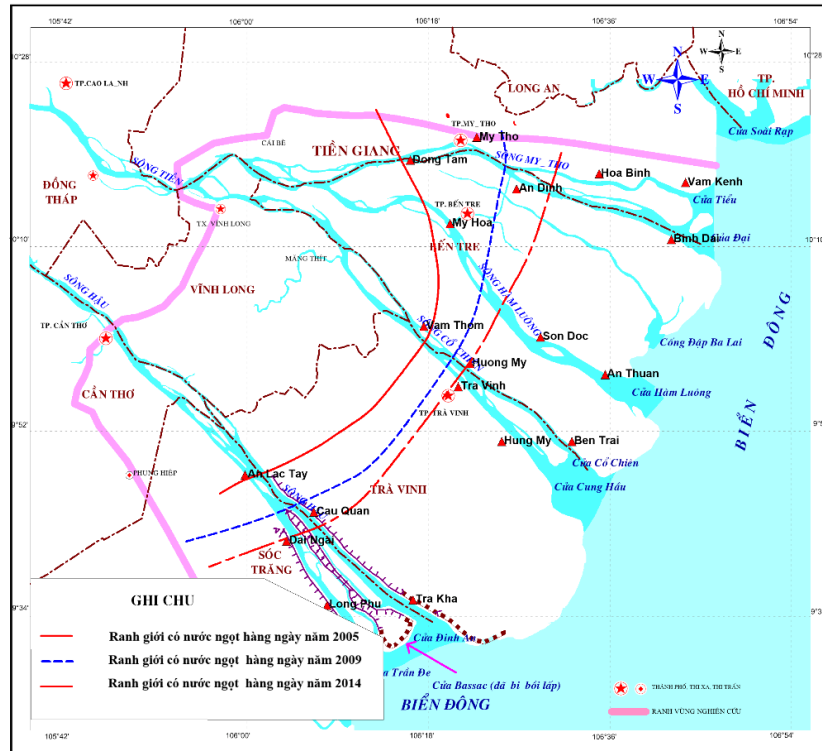
Sông	Trạm	2005	2009	2014	Sông	Trạm	2005	2009	2014
Cửa Tiểu	Vàm Kênh	0	0	0	Cổ Chiên	Hung Mỹ	0	248	388
	Hòa Bình	18	30	90		Trà Vinh	126	756	1734
	An Định	534	864	N		Bến Trại	44	70	0
	Mỹ Tho	494	452	N		Hương Mỹ	106	594	806
	Đồng Tâm	932	256	N		Vàm Thơm	KSL	KSL	N
Cửa Đại	Bình Đại	0	4	6	Định An	Trà Kha	0	206	96
	Lộc Thuận	74	36	48		Cầu Quan	224	920	N
Hàm Luông	An Thuận	38	4	0	Trần Đề	Mỹ Thanh	0	0	0
	Sơn Đốc	338	616	588		Long Phú	224	160	410
	Mỹ Hóa	238	N	N		Đại Ngãi	394	1220	N
						An Lạc Tây	KSL	KSL	N



Hình 7. Ranh giới có nước ngọt tháng 4 (FW4)



Hình 8. Ranh giới có nước ngọt tháng 2 (FW2)



Hình 9. Ranh giới có nước ngọt hàng ngày trong mùa kiệt (FWD)

3.1.3.2 Phân bố nước ngọt theo kết quả tính toán

Mô hình MIKE11 được sử dụng để tính toán chế độ thủy lực, lan truyền mặn ở VCS Cửu Long.

Điều kiện biên thủy lực (mức nước, lưu lượng) được đưa vào mô hình bao gồm lưu lượng phía thượng nguồn và mức nước triều, độ mặn tại các trạm Thủy văn Quốc gia ở các cửa sông và các trạm đo có liên quan đến vùng nghiên cứu. Biên chất lượng nước (biên mặn) đưa vào mô hình được lấy từ số liệu thực đo tại các trạm ven biển thuộc phạm vi sơ đồ tính, bao gồm các trạm từ Vũng Tàu (Gành Rái) đến Rạch Giá.

Nhu cầu nước được đưa vào mô hình như là điều kiện biên. Nước được lấy phân bố trong các kênh (lấy nước từ trong kênh) nằm trong vùng thủy lợi, lượng xả thải (nước chảy ra kênh) được tính bằng 10% lượng nước lấy.

Với mục tiêu làm rõ phân bố nước ngọt dọc theo các sông chính, các kết quả độ mặn thấp nhất trong từng thời đoạn 10 ngày (đầu, giữa và cuối mỗi tháng) được trích xuất. Sau đây là kết quả tính toán cho từng đoạn sông.

(1) Diễn biến nước ngọt dọc sông Tiền:

Sông Tiền về tới Tiền Giang còn gọi là sông Mỹ Tho, chảy ra biển theo 2 nhánh cửa Tiểu và Cửa Đại. Kết quả trích xuất trong tính toán được chia ra như sau: kết quả cho sông cửa Tiểu được tính từ cửa biển, qua hợp lưu lên tới Đồng Tâm, nơi luôn có nước ngọt hàng ngày; kết quả cho sông Cửa Đại được tính từ cửa biển cho tới hợp lưu với cửa Tiểu (37km tính từ cửa sông).

Kết quả tính toán độ mặn thấp nhất từng thời đoạn cho sông Cửa Tiểu trình bày trong Bảng 12.

Kết quả cho thấy: Trong thời gian từ đầu tháng 2/2005 nước ngọt cách cửa biển 25 km; đầu tháng 3 nước ngọt cách biển 40,6 km, đầu tháng 4 là thời điểm nước ngọt lùi sâu nhất tới 49,2 km, đây được xem là FWD.

Nửa cuối tháng 4 nước ngọt bắt đầu tiến dần ra biển, cho tới đầu tháng 5 nước ngọt rút ra tới phạm vi 40,6 km tương đương với thời kỳ đầu tháng 3.

Kết quả tính toán độ mặn thấp nhất từng thời đoạn cho sông Cửa Đại trình bày trên Bảng 13.

Kết quả cho thấy: thời điểm đầu tháng 2 nước ngọt cách biển 26 km, cuối tháng hai cách biển 33,7 km; tháng 3 và tháng 4 không có nước ngọt ở sông Cửa Đại; đầu tháng 5 nước ngọt quay lại và cách biển 36 km. Nhìn chung, nước ngọt phía cửa Đại thuận lợi hơn phía cửa Tiểu với khoảng cách có nước ngọt trong tháng năm khoảng 33-35km tính từ biển.

Bảng 13. Độ Mặn thấp nhất dọc sông Cửa Đại năm 2005.

Khoảng cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			Trạm đo
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
0	8,0	8,2	13,3	14,3	16,6	16,3	15,7	15,7	11,6	10,3	6,6	8,9	
4.138	5,3	6,9	11,0	13,2	14,6	14,6	15,0	14,4	10,3	8,2	6,1	7,8	Bình Đại
18.121	1,1	2,5	3,7	5,7	7,4	7,0	10,4	7,3	5,5	3,7	2,8	3,5	Lộc Thuận
18.866	1,0	2,3	3,5	5,4	7,1	6,7	10,2	7,0	5,3	3,5	2,7	3,3	
26.002	0,2	0,6	1,0	2,0	2,7	2,9	5,8	3,4	2,4	1,2	1,0	1,0	
28.612	0,2	0,4	0,7	1,5	2,1	2,2	4,9	2,8	1,9	0,9	0,7	0,8	
29.265	0,1	0,4	0,6	1,4	1,9	2,0	4,6	2,6	1,8	0,8	0,7	0,7	
29.885	0,1	0,3	0,5	1,3	1,7	1,9	4,4	2,4	1,7	0,7	0,6	0,6	
30.505	0,1	0,3	0,5	1,2	1,6	1,7	4,2	2,2	1,5	0,7	0,5	0,6	
31.125	0,1	0,2	0,4	1,1	1,5	1,6	4,0	2,1	1,4	0,6	0,5	0,5	
33.059	0,1	0,2	0,3	0,9	1,2	1,3	3,4	1,7	1,2	0,4	0,4	0,4	
33.716	0,1	0,1	0,3	0,8	1,1	1,2	3,2	1,6	1,1	0,4	0,3	0,3	
34.373	0,0	0,1	0,2	0,7	1,0	1,1	3,1	1,5	1,0	0,4	0,3	0,3	
35.029	0,0	0,1	0,2	0,7	0,9	1,0	2,9	1,4	0,9	0,3	0,3	0,3	
35.686	0,0	0,1	0,2	0,6	0,8	0,9	2,7	1,2	0,8	0,3	0,2	0,2	
36.343	0,0	0,1	0,2	0,5	0,7	0,8	2,5	1,1	0,7	0,2	0,2	0,2	
37.000	0,0	0,1	0,1	0,5	0,7	0,7	2,3	1,0	0,7	0,2	0,2	0,2	

(3) Diễn biến nước ngọt dọc sông Cỏ Chiên:

Bảng 15 trình bày kết quả tính toán độ mặn thấp nhất theo từng thời đoạn dọc sông Cỏ Chiên.

Kết quả cho thấy: vào đầu tháng 2 nước ngọt cách biển khoảng 19km; đầu tháng 3 nước ngọt cách biển khoảng 34km; giữa và cuối tháng 4 nước ngọt lui vào sâu nhất với khoảng cách 38,3km tính từ biển. Tới giữa, cuối tháng 5 nước ngọt tiến ra cách biển 31,3km.

Bảng 15. Độ mặn thấp nhất sông Cỏ Chiên năm 2005.

Khoảng Cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			Trạm đo
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
0	4,3	3,8	13,3	11,0	10,2	10,1	9,3	9,0	8,0	8,3	5,3	7,3	
17.000	0,5	1,1	3,2	3,1	3,1	2,9	4,0	4,8	5,6	4,9	2,6	2,0	Hung Mỹ
18.500	0,4	1,0	2,9	2,9	2,8	2,7	3,8	4,6	5,2	4,7	2,5	1,8	
19.250	0,3	0,9	2,7	2,6	2,6	2,5	3,5	4,3	4,8	4,5	2,3	1,7	
20.000	0,3	0,8	2,4	2,4	2,3	2,3	3,3	4,0	4,4	4,4	2,1	1,6	
21.500	0,3	0,8	2,2	2,3	2,1	2,1	3,1	3,7	4,1	4,3	2,0	1,5	
22.250	0,3	0,7	2,0	2,2	1,9	1,9	2,9	3,4	2,8	4,0	1,8	1,4	
23.000	0,3	0,6	1,9	2,0	1,7	1,7	2,7	3,1	3,5	3,8	1,6	1,3	
24.083	0,3	0,5	1,8	1,8	1,6	1,5	2,6	2,8	3,1	3,4	1,4	1,2	
24.667	0,3	0,5	1,8	1,7	1,4	1,4	2,4	2,4	2,8	3,2	1,2	1,1	
25.250	0,2	0,4	1,7	1,5	1,2	1,3	2,2	2,0	2,6	3,1	1,1	1,0	
26.417	0,2	0,3	1,6	1,3	1,1	1,2	2,0	1,7	2,3	2,9	1,0	0,9	
27.000	0,2	0,3	1,5	1,2	1,0	1,1	1,8	1,5	2,0	2,8	0,9	0,8	
28.500	0,2	0,2	0,9	0,7	0,6	0,9	1,6	1,1	1,8	1,2	0,7	0,7	Trà Vinh
29.250	0,1	0,2	0,8	0,6	0,5	0,8	1,4	1,0	1,7	1,1	0,6	0,6	
30.000	0,1	0,2	0,7	0,6	0,5	0,7	1,2	1,0	1,6	1,0	0,4	0,4	
31.371	0,1	0,2	0,6	0,5	0,4	0,6	1,0	0,9	1,5	0,9	0,3	0,3	
32.057	0,1	0,2	0,5	0,5	0,3	0,4	0,9	0,8	1,3	0,8	0,3	0,3	
33.182	0,1	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3	0,8	0,8	1,2	0,6	0,2	0,3	
34.061	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,7	0,7	1,0	0,5	0,2	0,3	

Khoảng Cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			Trạm đo
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
35.250	0,0	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,5	0,6	0,8	0,4	0,2	0,2	
36.000	0,0	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1	0,4	0,5	0,6	0,3	0,2	0,1	
37.125	0,0	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,4	0,5	0,3	0,1	0,1	
38.375	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	
39.000	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	
40.000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	
41.000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

(4) Diễn biến nước ngọt dọc sông Hậu:

Bảng 16 trình bày kết quả tính toán độ mặn thấp nhất theo từng thời đoạn dọc theo cửa Định An, sông Hậu.

Kết quả cho thấy: đầu tháng 2 nước ngọt cách biển 29,3 km; cuối tháng 2 nước ngọt ở vị trí cách biển 30÷34 km, tháng 3 và tháng 4 nước ngọt lui vào sâu nhất, cách biển 42 km và sau đó tiến dần ra biển, cuối tháng 5 nước ngọt cách biển 32 km. Tại Trà Kha hoàn toàn không có nước ngọt trong mùa khô, trạm Cầu Quan không có nước ngọt trong khoảng thời gian từ cuối tháng 2 cho tới giữa tháng 5. Trạm An Lạc Tây cách biển 45 km nước ngọt xuất hiện trong suốt mùa khô.

Bảng 16. Độ mặn thấp nhất sông Hậu cửa Định An năm 2005.

Khoảng cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			Trạm đo
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
0	4,4	5,9	9,0	11,3	12,9	13,3	16,1	16,7	14,8	15,0	13,6	15,2	
7.500	2,0	2,8	5,3	7,7	8,5	8,1	11,1	11,3	10,4	9,7	8,1	9,0	Trà Kha
24.250	0,5	0,7	1,2	2,6	3,0	2,8	4,1	3,9	3,8	3,1	1,7	2,2	
29.375	0,3	0,4	0,7	1,7	2,1	1,9	2,7	2,5	2,4	1,8	0,9	1,1	
30.000	0,2	0,3	0,7	1,6	2,1	1,8	2,5	2,4	2,2	1,7	0,9	1,0	
31.200	0,2	0,3	0,5	1,4	1,7	1,5	2,2	2,1	2,0	1,4	0,3	0,3	

Khoảng cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			Trạm đo
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
32.400	0,1	0,2	0,4	1,2	1,5	1,3	1,9	1,8	1,7	1,2	0,2	0,2	Cầu Quan
33.150	0,1	0,2	0,4	1,1	1,4	1,2	1,7	1,6	1,5	1,1	0,2	0,2	
34.650	0,1	0,1	0,3	0,9	1,2	1,0	1,4	1,3	1,2	0,8	0,2	0,2	
35.400	0,1	0,1	0,2	0,8	1,1	0,8	1,2	1,2	1,1	0,7	0,2	0,2	
36.400	0,1	0,1	0,2	0,7	1,0	0,7	1,0	1,0	0,9	0,6	0,2	0,2	
37.400	0,0	0,1	0,1	0,5	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,2	0,2	
38.100	0,0	0,0	0,1	0,5	0,7	0,5	0,7	0,7	0,7	0,4	0,1	0,1	
39.500	0,0	0,0	0,1	0,3	0,6	0,4	0,5	0,5	0,5	0,3	0,1	0,1	
40.200	0,0	0,0	0,1	0,3	0,6	0,3	0,5	0,5	0,5	0,2	0,1	0,1	
41.200	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,0	0,0	
42.200	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	
43.200	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	
44.300	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	
45.400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	An Lạc Tây

Bảng 17 trình bày kết quả tính toán độ mặn thấp nhất theo từng thời đoạn dọc theo cửa Trần Đề, sông Hậu.

Kết quả cho thấy: đầu tháng 2 nước ngọt cách biển gần 18 km; đầu tháng 3 nước ngọt cách biển 32,3km, qua Đại Ngãi; giữa tháng 4 nhánh sông Trần Đề không có nước ngọt; tháng 4 nước ngọt nằm cách biển 34km; đầu tháng 5 nước ngọt cách biển 31,7 km. Tại Đại Ngãi suốt thời gian từ đầu tháng 3 cho tới đầu tháng 5 không có nước ngọt.

Bảng 17. Độ mặn thấp nhất sông Hậu Cửa Trần Đề năm 2005.

Khoảng cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			Trạm đo
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
0	5,9	8,5	8,5	12,2	15,0	12,2	14,2	15,8	15,5	16,5	16,3	14,8	
15.400	0,4	0,7	1,1	2,2	2,7	2,4	3,4	3,2	3,2	2,2	1,6	1,7	Long Phú

Khoảng cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			Trạm đo
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
18.200	0,3	0,4	0,7	1,7	2,0	1,8	2,7	2,3	2,4	1,6	1,0	1,2	
18.900	0,2	0,4	0,7	1,6	1,8	1,7	2,5	2,1	2,3	1,5	0,9	1,1	
19.600	0,2	0,3	0,6	1,5	1,7	1,6	2,4	2,0	2,2	1,4	0,9	1,0	
21.625	0,2	0,3	0,5	1,3	1,5	1,3	2,0	1,7	1,8	1,1	0,7	0,8	
22.250	0,1	0,2	0,5	1,2	1,4	1,2	1,9	1,6	1,7	1,1	0,6	0,7	
24.750	0,1	0,1	0,3	0,9	1,1	0,9	1,5	1,2	1,3	0,8	0,4	0,5	
26.625	0,1	0,1	0,3	0,8	1,0	0,8	1,3	1,1	1,1	0,7	0,3	0,4	
27.251	0,1	0,1	0,3	0,8	1,0	0,8	1,2	1,0	1,0	0,6	0,3	0,4	
27.876	0,1	0,1	0,2	0,7	1,0	0,7	1,1	1,0	1,0	0,6	0,3	0,4	
28.501	0,1	0,1	0,2	0,7	0,9	0,7	1,1	0,9	0,9	0,5	0,3	0,3	
30.405	0,0	0,1	0,1	0,5	0,7	0,5	0,8	0,7	0,7	0,4	0,2	0,2	Đại Ngãi
31.059	0,0	0,0	0,1	0,4	0,7	0,4	0,7	0,6	0,6	0,4	0,2	0,2	
31.713	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	0,4	0,6	0,6	0,5	0,3	0,1	0,1	
32.367	0,0	0,0	0,1	0,3	0,6	0,4	0,6	0,5	0,5	0,3	0,1	0,1	
33.020	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,3	0,5	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	
33.674	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	
33.674	0,0	0,0	0,1	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	
34.402	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	
35.130	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	

(5) Bản đồ phân bố nước ngọt năm 2005:

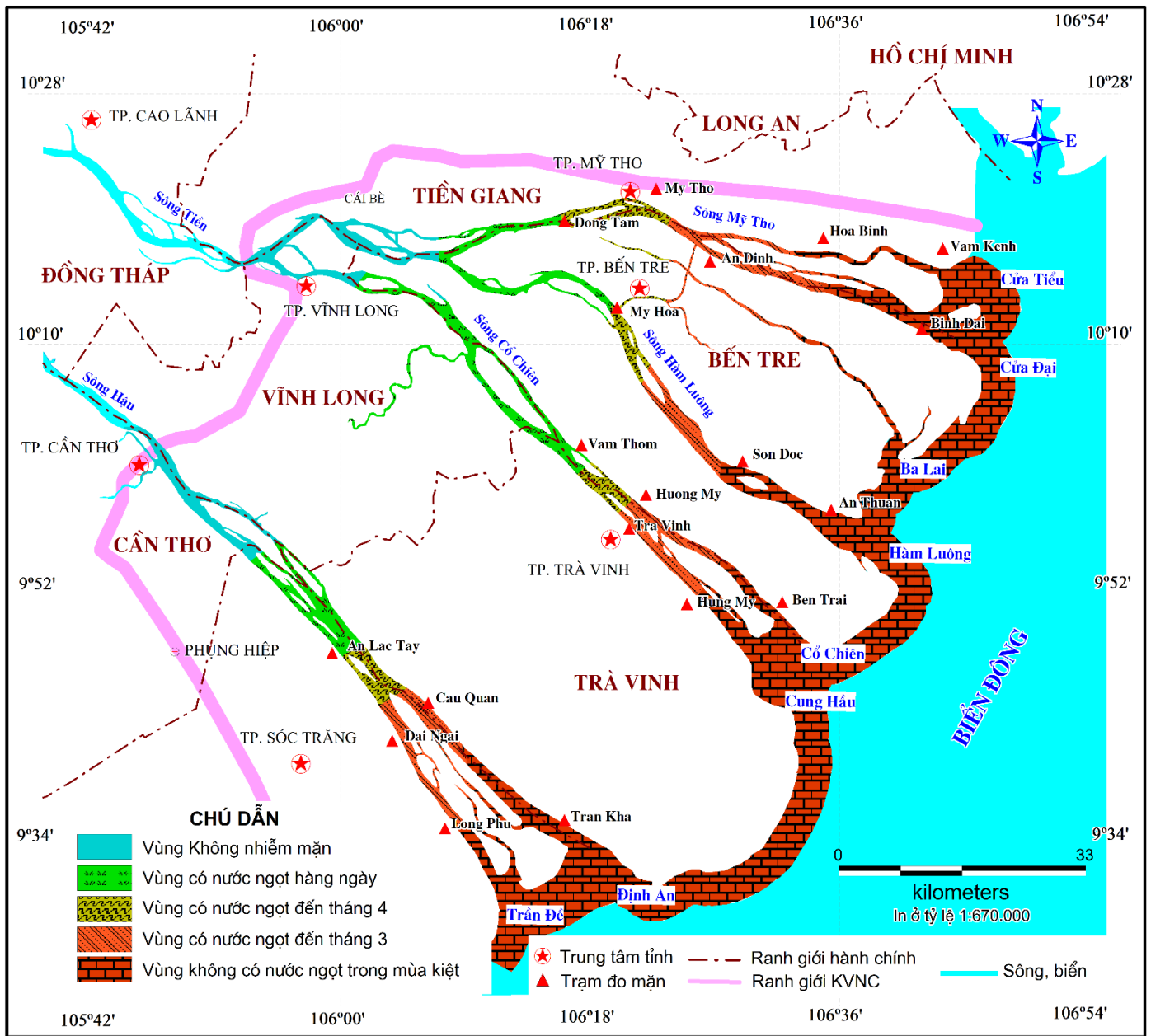
Dựa vào kết quả tính toán mô phỏng quá trình nước ngọt năm 2005, NCS tiến hành xây dựng bản đồ phân vùng phân bố nước ngọt theo thời gian. Hình 10 trình bày phân vùng nước ngọt năm 2005 theo kết quả tính toán.

Kết quả phân ra 5 vùng bao gồm: vùng không nhiễm mặn (FWA), vùng hàng ngày có ngọt (FWD), vùng có ngọt đến tháng 4 (FW4), vùng có ngọt đến tháng 3 (FW3) và vùng không có ngọt trong mùa kiệt (FWN). Trong đó: ranh giới nước mặn lên tới 80km phía sông Tiền, 72km phía sông Hàm Luông, 77km ở sông Cổ Chiên và

62km trên sông Hậu. FWD tương ứng trên các sông là 49km (sông Tiền), 48km (Hàm Luông), 38km (Cổ Chiên) và 38km cho sông Hậu.

So sánh với các ranh giới nước ngọt đã xác định từ tài liệu thực đo năm 2005 (*Hình 7-Hình 9*). Theo đó ranh giới có ngọt hàng ngay (FWD) trên sông Hậu, sông Cổ Chiên cách biển khoảng 45km; sông Hàm Luông khoảng 55 km và hơn 65km cho phía sông Mỹ Tho. Ranh giới có nước ngọt trong tháng 2 khá ổn định cho các cửa sông, cách biển khoảng 25km... Các kết quả cho thấy các ranh giới xác định từ tài liệu thực đo và kết quả tính toán khá tương đồng.

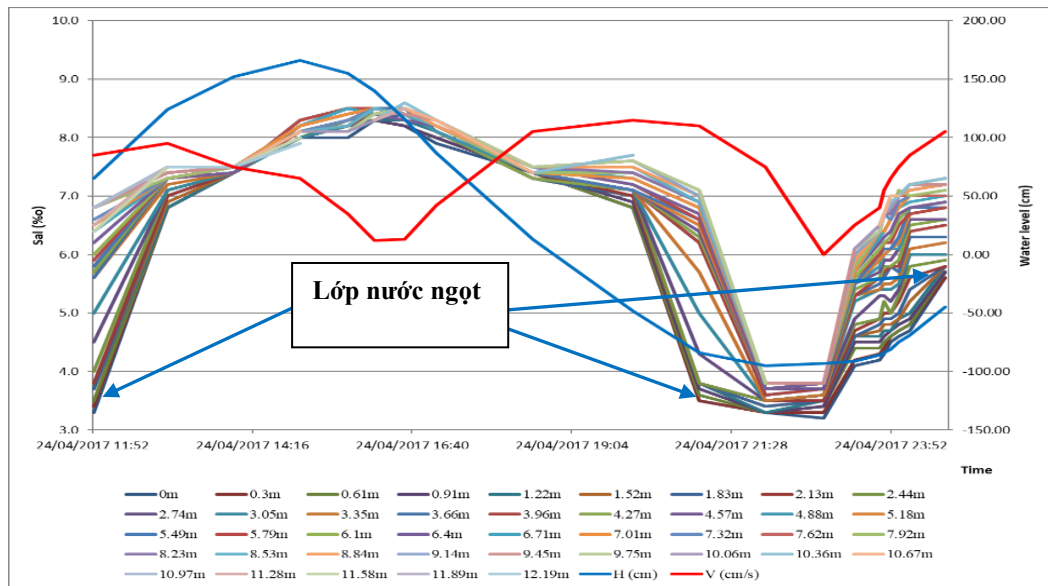
Kết quả cho thấy khoảng cách giữa FWA (thường xuyên có nước ngọt) với các ranh giới có nước ngọt theo thời gian cách nhau khá xa. Đây là điểm cần lưu ý để xác định các giải pháp thu hoạch nước ngọt trên sông.



Hình 10. Bản đồ phân bố nước ngọt năm 2005

3.1.4 Phân bố nước ngọt theo chiều đứng

Hình 11 trình bày diễn biến độ mặn theo độ sâu dòng chảy tại vị trí TV1. Đây là vị trí thuộc nhánh Cung Hầu, cách biển 20km. Công tác khảo sát được thực hiện vào ngày 24/4/2017, đây là ngày triều chuyển tiếp với $H_{\max} = 1,17\text{m}$



Hình 11. Kết quả khảo sát phân bố mặn theo độ sâu dòng chảy trạm TV1

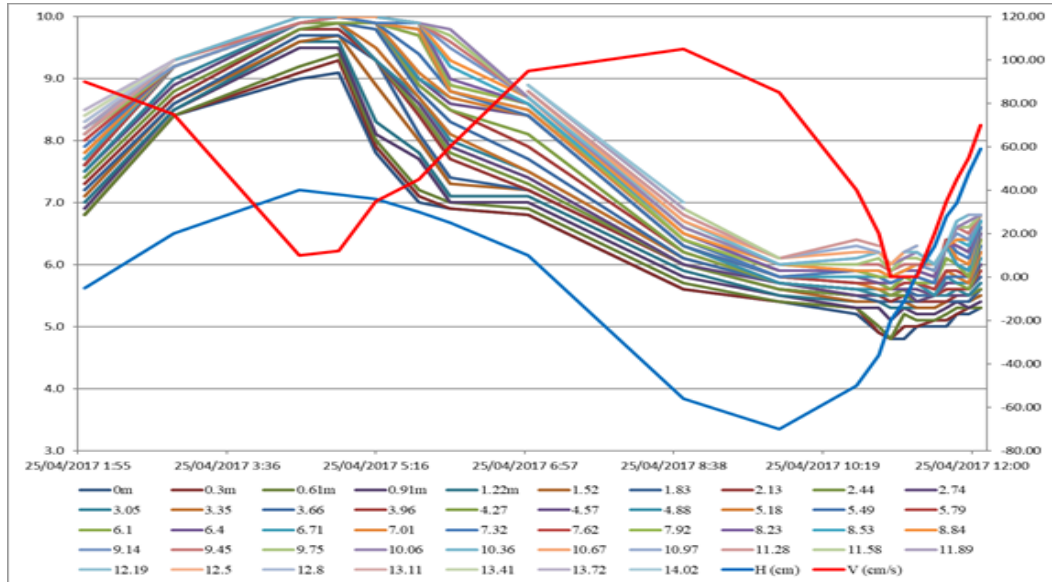
Kết quả cho thấy:

- Chênh lệch độ mặn cao nhất giữa lớp mặt và lớp đáy khoảng 3,5‰.
- Giá trị chênh lệch độ mặn cao nhất đạt được ở pha triều sừng lên hoặc sừng xuống khi lưu tốc dòng chảy đạt giá trị cao nhất. Lúc này xuất hiện lớp dòng chảy với độ mặn thấp ở tầng nước mặt, chiều dày tầng nước khoảng 2,5m.
- Trong pha đỉnh, chân triều chênh lệch độ mặn giảm xuống và gần như phân bố đều trên mặt cắt. Ở đỉnh triều, độ mặn tầng giữa và tầng mặt tăng nhanh cho tới khi độ mặn phân bố đều trên mặt cắt. Ngược lại ở chân triều, độ mặn tầng đáy giảm nhanh cho tới khi phân bố đều.

Hình 12 trình bày kết quả khảo sát tại vị trí cửa Cổ Chiên (TV2). Ngày đo đạc là 25/4/2017, mực nước cao nhất tại Trà Vinh là 1,35m (tăng thêm 19cm).

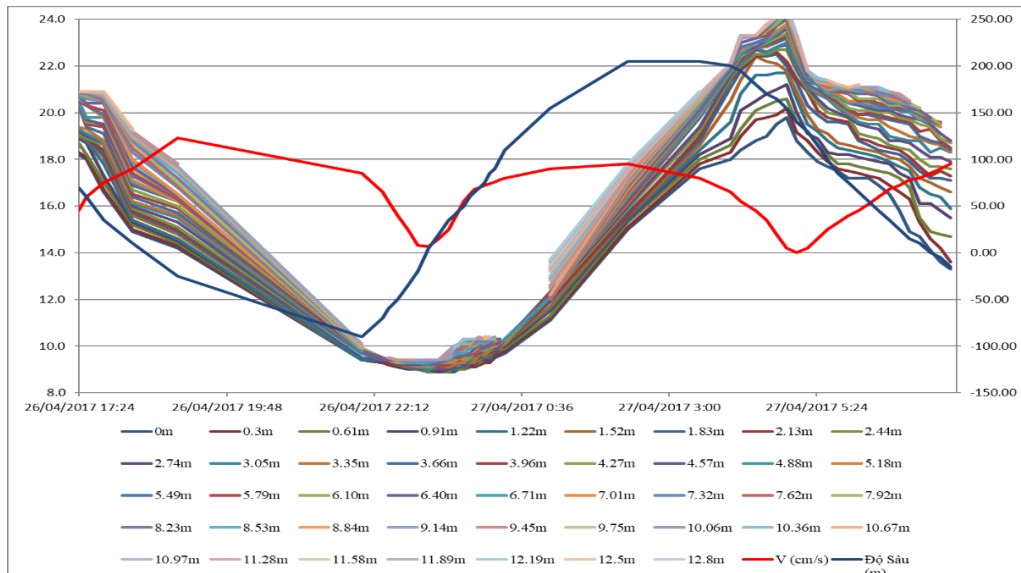
Kết quả cho thấy: không có hình thức phân lớp trong tất cả các thời gian đo đạc. Có sự chênh lệch độ mặn theo độ sâu dòng chảy, với mức chênh lệch cao nhất

là 2,8% ở pha sườn xuống (qua đỉnh), sự chênh lệch nhỏ nhất ở pha chân triều và đỉnh triều. Nhìn chung, trong trường hợp này phân bố mặn có theo dạng hình thang.



Hình 12. Kết quả khảo sát phân bố mặn theo độ sâu dòng chảy trạm TV2

Hình 13 trình bày kết quả khảo sát tại vị trí cửa Cỏ Chiên (TV3 – sát biển) ngày 26/4/2017.

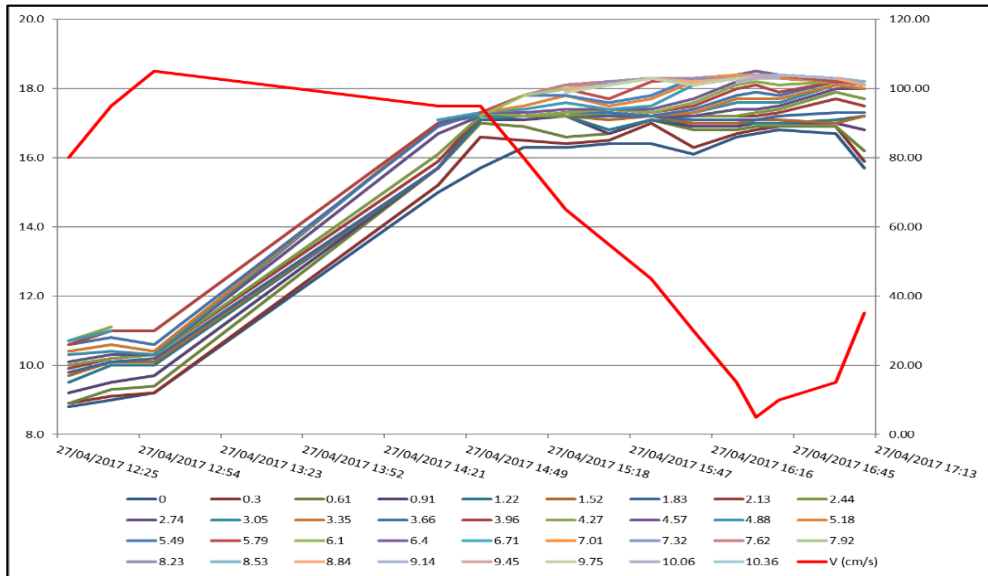


Hình 13. Kết quả khảo sát phân bố mặn theo độ sâu dòng chảy trạm TV3

Kết quả cho thấy: Tại vị trí sát biển, trong ngày triều cường không có hình thức phân lớp trong tất cả các thời gian đo đạc. Có sự chênh lệch độ mặn theo độ sâu dòng chảy. Chênh lệch độ mặn tầng mặt và tầng đáy cao nhất là 4,8% ở pha sườn

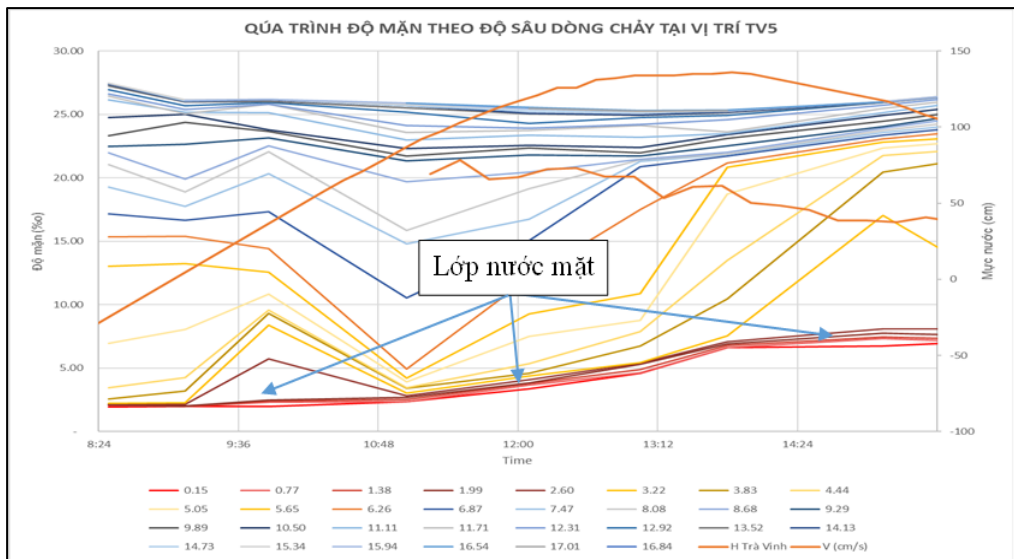
xuống, sự chênh lệch nhỏ nhất ở pha chân triều. Tại pha chân triều, quá trình xáo trộn gần như hoàn toàn. Tại các pha khác phân bố mặn theo dạng hình thang.

Trên Hình 14 trình bày kết quả khảo sát phân bố mặn theo chiều sâu tại vị trí TV4 (sát biển) vào ngày 27/4/2017. Kết quả cho thấy không có sự phân lớp dòng chảy, chênh lệch độ mặn ở lớp mặt và đáy là khá đều ở các pha triều.



Hình 14. Kết quả khảo sát phân bố mặn theo độ sâu dòng chảy trạm TV4

Hình 15 trình bày kết quả đo đạc phân bố mặn theo độ sâu dòng chảy ngày 1/4/2018. Đây là ngày triều kém, mực nước đỉnh triều chỉ đạt 0,79m.



Hình 15. Diễn biến độ mặn theo từng lớp độ sâu trạm TV5

Kết quả cho thấy có sự phân lớp dòng chảy rõ ràng. Chênh lệch độ mặn ở lớp mặt và lớp đáy là rất lớn, độ mặn tại tầng đáy đạt tới 27,6‰. Lớp nước có độ mặn thấp phân bố ở độ sâu khoảng 1,99-2,6m.

Bảng 18 trình bày tổng hợp kết quả của 5 lần đo đạc. Kết quả khảo sát đã chỉ ra các dạng xáo trộn giữa dòng nước ngọt từ thượng lưu với dòng nước biển. Theo đó hình thức xáo trộn thay đổi theo không gian, thời gian và phụ thuộc vào các kỳ triều khác nhau.

Trong thời kỳ mùa kiệt vào những ngày triều cường, quá trình xáo trộn giữa nước biển và nước nguồn là khá đều, giữa 2 khối nước không có sự phân biệt rõ ràng về tính chất mặc dù vẫn có sự chênh lệch độ mặn giữa lớp mặt và lớp đáy. Tương quan giữa W_T/W_S là 3,4 cho ngày đo đạc.

Trong kỳ triều chuyển tiếp tương quan giữa W_T/W_S khoảng 2,1. Lúc này hình thức xáo trộn yếu hơn, bắt đầu có sự phân lớp dòng chảy trong các pha sườn lên hoặc sườn xuống (khi lưu tốc dòng chảy đạt giá trị cao nhất).

Trong những ngày triều kém tương quan giữa W_T/W_S còn khoảng 1,6. Quá trình pha trộn giữa lớp nước biển và nước nguồn theo hình thức xáo trộn yếu hơn nhiều. Lúc này dòng chảy phân tầng là khá rõ ràng với chiều dày tầng nước ngọt hơn khoảng 0,2 chiều sâu dòng chảy. Giữa 2 lớp nước có sự chênh lệch độ mặn rất lớn.

Bảng 18. Tổng hợp kết quả khảo sát phân bố nước ngọt

TT	Ngày đo đạc	Vị trí	Tỷ số W_T/W_S	Đặc điểm phân bố nước ngọt
1	24/IV/2017	TV1	2,1	Có sự phân tầng yếu tại pha sườn lên, sườn xuống.
2	25/IV/2017	TV2	3,3	Xáo trộn hoàn toàn
3	26/IV/2017	TV3	3,4	Xáo trộn hoàn toàn
4	27/IV/2017	TV4	3,3	Xáo trộn hoàn toàn
5	11/IV/2018	TV5	1,6	Dòng chảy phân tầng

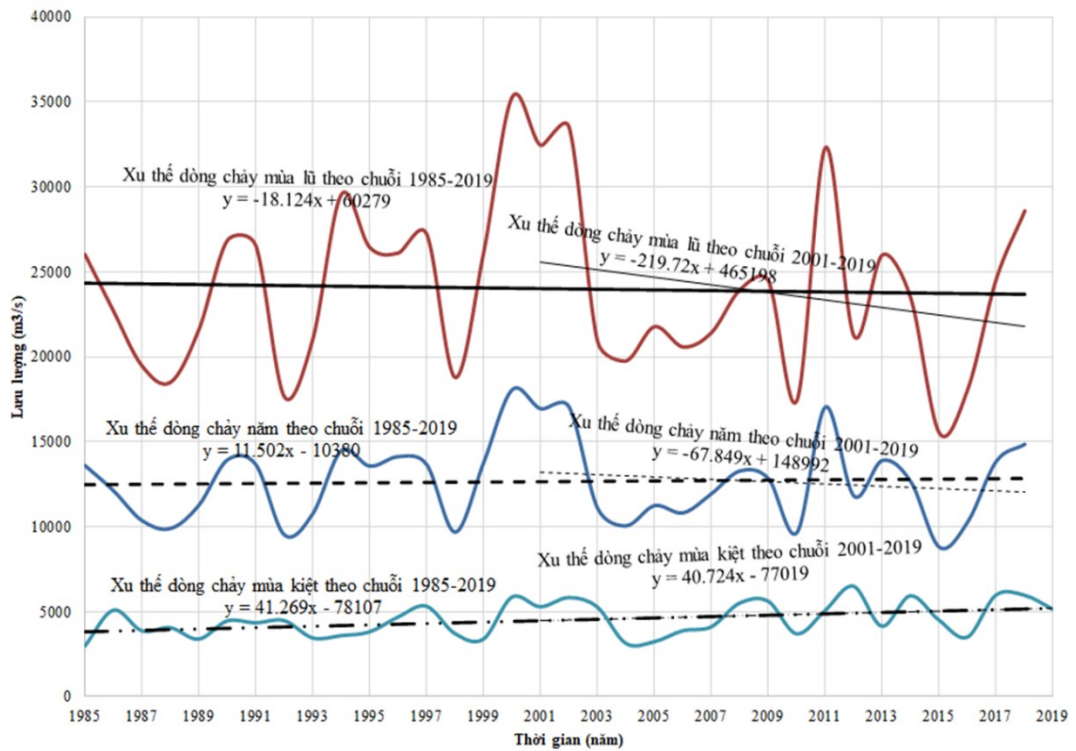
Số liệu quan trắc là quá ít, chưa đủ để tổng kết thành quy luật. Tuy nhiên, từ kết quả cho phép khẳng định có sự phân tầng dòng chảy tại cửa sông Cỏ Chiên. Đây là điểm cần lưu ý trong việc khai thác nước ngọt trên sông. Trong mùa mưa hay những tháng đầu hoặc cuối mùa kiệt, dòng chảy trong sông cao hơn, sự phân tầng dòng chảy có thể rõ ràng hơn.

3.2 Dòng chảy thượng lưu và các biến động

3.2.1 Sự thay đổi chế độ dòng chảy vùng hạ du sông Mekong

Những biến động của quá trình khai thác trên bề mặt lưu vực đã trình bày ở trên đang tác động rất mạnh đến chế độ nguồn nước về Việt Nam. Những biến động đó chủ yếu diễn ra trong giai đoạn gần đây, từ khoảng thập niên 90 của thế kỷ trước cho tới nay. Đặc biệt là giai đoạn sau 2010, khi mà công trình hồ Tiểu Loan (2010), Nọa Trác Độ (2014) với tổng dung tích: 39.800 triệu m³ và hệ thống chuyển nước Vaico hoàn thành.

Hình 16 trình bày xu thế lưu lượng dòng chảy trung bình tại trạm kratie giai đoạn 1985-2019. Các đường xu thế được chia làm 02 giai đoạn 1985-2019 và 2001-2019 (sau đỉnh lũ 2000) nhằm xem xét biến động từng giai đoạn. Dòng chảy năm đang có xu thế giảm trong giai đoạn 2001-2019 với mức giảm 67m³/s năm. Xu thế suy giảm dòng chảy mùa lũ rõ ràng hơn, với mức giảm 18m³/s năm cho toàn giai đoạn và 219m³/s năm cho giai đoạn 2001-2019. Ngược lại với xu thế dòng chảy năm và dòng chảy mùa lũ, dòng chảy mùa kiệt đang có xu hướng tăng nhẹ với mức tăng khoảng 41 m³/s năm cho toàn giai đoạn cũng như giai đoạn 2001-2019.



Hình 16. Quá trình lưu lượng trung bình trạm Kratie 1985-2019

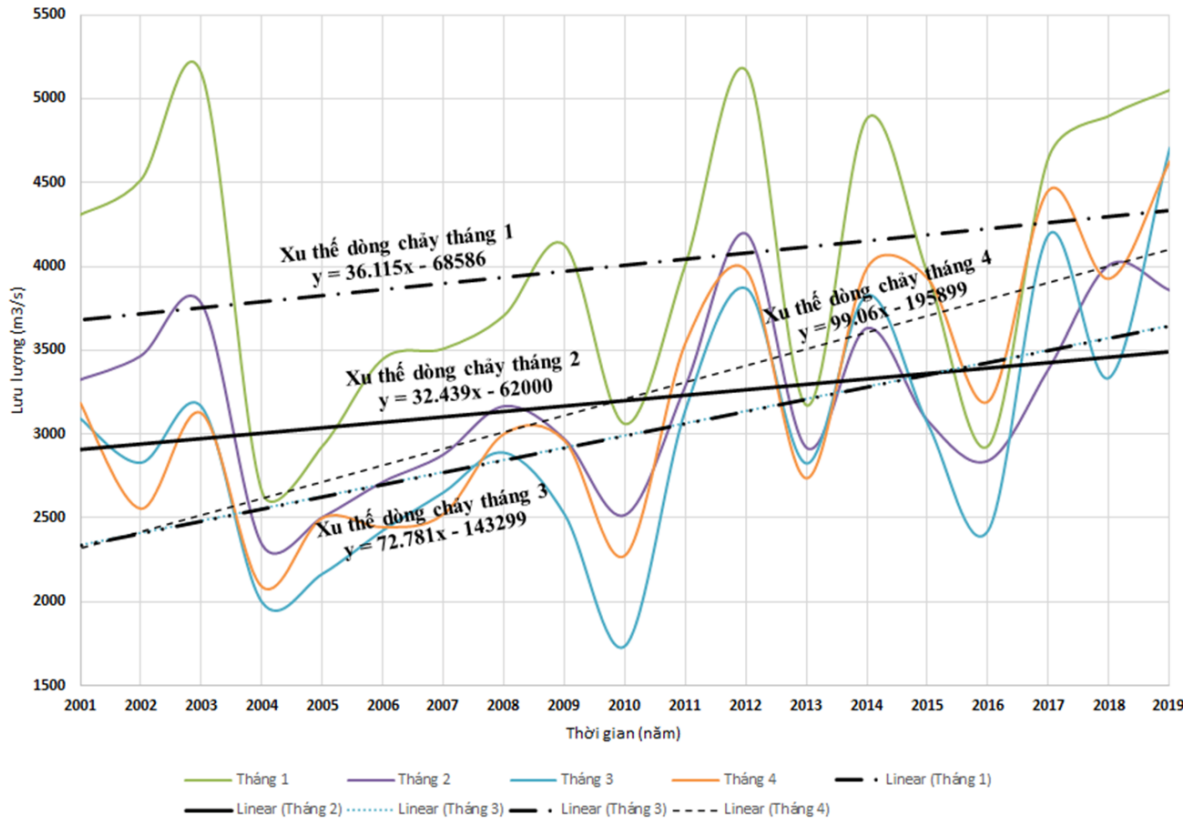
Bảng 19 trình bày lưu lượng bình quân các tháng mùa kiệt tại Kratie cho các giai đoạn. Kết quả cho thấy dòng chảy kiệt giai đoạn 2001÷2019 đã tăng đáng kể so với 1985÷2000. Tất cả các tháng mùa kiệt dòng chảy đều tăng lên, trong đó tháng 4 là tháng tăng nhiều nhất. Giai đoạn sau 2013, dòng chảy kiệt tiếp tục tăng mạnh. Tháng kiệt nhất đã dịch chuyển sang tháng 2, so với tháng 3 ở giai đoạn 2001÷2013 và tháng 4 ở giai đoạn trước 2001.

Bảng 19. Lưu lượng bình quân ngày trạm Kratie theo từng giai đoạn (m^3/s)

Giai đoạn \ Tháng	Tháng						
	XII	I	II	III	IV	V	Mùa kiệt
BQ 85-00	5.220	3.397	2.608	2.285	2.276	3.886	4.129
BQ 01-19	5.707	4.005	3.202	2.992	3.212	4.358	4.837
BQ 01-13	5.627	3.826	3.080	2.716	2.839	4.168	4.691
BQ 14-19	5.879	4.393	3.467	3.590	4.021	4.770	5.153

Hình 17 trình bày diễn biến xu thế dòng chảy trong các tháng mùa kiệt. Kết quả cho thấy: Dòng chảy mùa kiệt đã tăng đáng kể ngay từ tháng 1, tháng 2 và tăng

mạnh trong các tháng 3, 4, trong đó tháng 4 là tháng có dòng chảy gia tăng mạnh nhất. Lưu lượng trung bình tháng 4 đã gần bằng tháng 1, cao hơn nhiều so với tháng 2, 3. Tháng kiệt nhất đã dịch chuyển sang tháng 2.



Hình 17. Xu thế biến động lưu lượng các tháng mùa kiệt trạm Kratie 2001-2019

Nhìn chung, các hoạt động ở phía thượng lưu đã tác động rất mạnh đến chế độ dòng chảy kiệt ở Kratie. Dòng chảy kiệt đã gia tăng mạnh trong tất cả các tháng theo các giai đoạn vận hành các hồ chứa lớn. Điều này phù hợp với nghiên cứu trước đây của Tô Quang Toàn & nnk [16]. Điểm phát hiện mới trong phân tích này là tháng kiệt nhất đã dịch chuyển sang tháng 2.

3.2.2 Diễn biến chế độ dòng chảy về Việt Nam

3.2.2.1 Dòng chảy về Việt Nam qua Tân Châu

Bảng 20 trình bày lưu lượng trung bình các tháng mùa kiệt tại Tân Châu cho các giai đoạn. Lưu lượng trung bình năm tại Tân Châu là $10.035\text{m}^3/\text{s}$ tương đương

tổng lượng dòng chảy năm khoảng 316 tỷ m³/năm. Dòng chảy mùa kiệt là 4.977m³/s, tổng lượng dòng chảy mùa kiệt khoảng 78 tỷ m³, chiếm 24,7% tổng dòng chảy năm. Tháng có dòng chảy thấp nhất là tháng 4 với lưu lượng là 2.587m³/s, tiếp đó là tháng 3 với lưu lượng 2.995m³/s.

Bảng 20. Lưu lượng bình quân ngày trạm Tân Châu theo từng giai đoạn (m³/s)

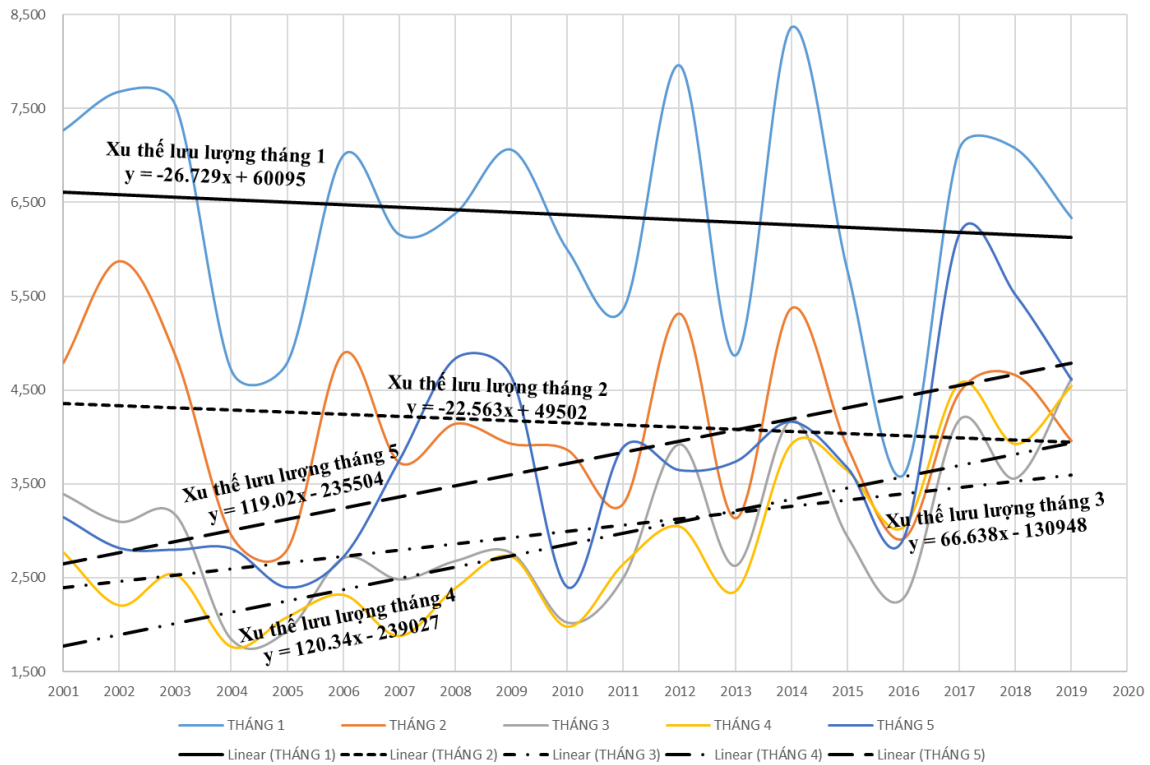
Tháng Giai đoạn	T12	T1	T2	T3	T4	T5	Mùa kiệt	Năm
BQ 01-19	9.772	6.371	4.150	2.995	2.857	3.718	4.977	10.035
BQ 01-13	10.345	6.371	4.121	2.704	2.357	3.355	4.875	10.067
BQ 14-19	8.531	6.372	4.212	3.626	3.939	4.506	5.198	9.964

Có sự khác biệt trong diễn biến dòng chảy tại Tân Châu so với Kratie. Mặc dù dòng chảy mùa kiệt tăng lên từ sau 2013, nhưng dòng chảy trung bình tháng 12 giảm mạnh, tháng 1 không có nhiều thay đổi, tháng 2 tăng nhẹ, các tháng cuối mùa kiệt lưu lượng dòng chảy tăng mạnh. Tháng kiệt nhất đã dịch chuyển sang tháng 3 trong giai đoạn sau 2013, thay cho tháng 4 ở giai đoạn trước đó.

Trên Hình 18 trình bày lưu lượng trung bình tháng và xu thế lưu lượng dòng chảy trung bình các tháng mùa khô tại Tân Châu giai đoạn 2001-2019.

Trên đường xu thế, lưu lượng trung bình tháng 1, 2 có xu thế giảm nhẹ. Lưu lượng trung bình tăng lên từ tháng 3 và tiếp tục tăng mạnh hơn vào tháng 4, 5. Theo đường xu thế, lưu lượng dòng chảy tháng 4 đã gần bằng với tháng 2, lớn hơn tháng 3. Tháng kiệt nhất đã dịch chuyển từ tháng 4 sang tháng 3. Lưu lượng tháng 5 đã cao hơn hẳn 3 tháng kiệt còn lại (2, 3, 4).

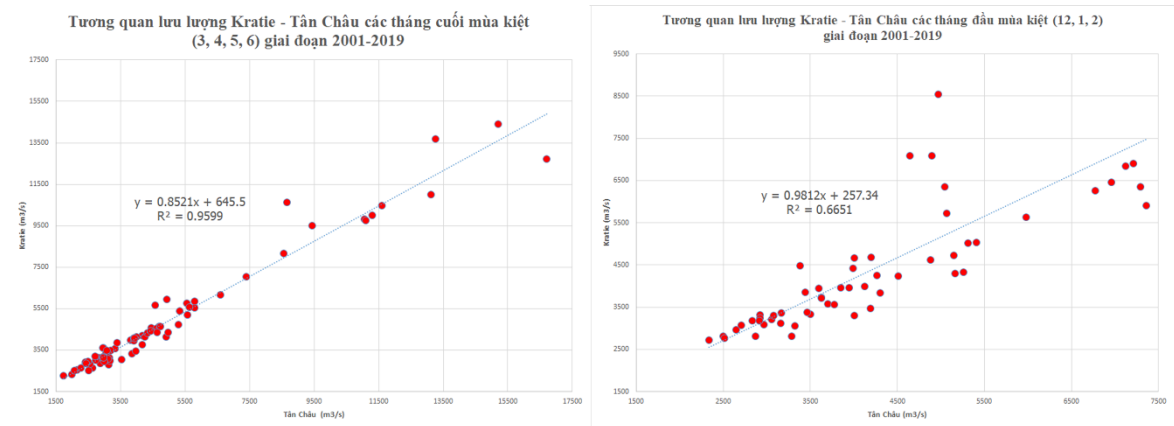
Nhìn chung, khác với Kratie, dòng chảy tại Tân Châu xu thế giảm ở thời kỳ đầu mùa kiệt, từ tháng 3 dòng chảy mới tăng lên. Điều này có thể là do tác động của chế độ dòng chảy phía Campuchia với vai trò chủ đạo của biển hồ Tonle Sap. Sự dịch chuyển dòng chảy tháng kiệt nhất từ tháng 4 sang tháng 3 tại Tân Châu, và đặc biệt là sự suy giảm dòng chảy ở các tháng đầu mùa kiệt sẽ tác động mạnh đến chế độ mặn ở VCS.



Hình 18. Xu thế lưu lượng trung bình tháng tại Tân Châu giai đoạn 2001-2019

Vai trò của biển hồ Tonle Sap trong dòng chảy kiệt về Việt Nam: Các nghiên cứu [98, 99] cũng đã chỉ ra vai trò của biển hồ Tonle Sap với dòng chảy về Việt Nam. Theo đó, mùa kiệt (tháng 12-4) biển hồ đóng góp hơn 20 tỷ m³ nước, so với 40,3 tỷ m³ dòng chảy qua Kratie. Trong đó dòng chảy chủ yếu tập trung trong các tháng đầu mùa kiệt, từ cuối tháng 2 lưu lượng dòng chảy tại Prek Dam giảm xuống dưới 1.000m³/s, sang tháng 3 dòng chảy qua vị trí này chỉ còn 600m³/s. Trên cơ sở đó, phân tích tương quan dòng chảy giữa Kratie và Tân Châu theo 2 giai đoạn trước và tháng 3 trở về sau. Trước đây Tô Quang Toàn & nnk [15] cũng đã thiết lập tương quan giữa Tân Châu và Kratie nhưng chưa xét đến yếu tố biển hồ Tonle Sap nên mối quan hệ chưa được chặt chẽ ($R^2=0,72$).

Hình 19 trình bày quan hệ lưu lượng dòng chảy tại trạm Kratie và Tân Châu. Kết quả cho thấy sự tương quan giữa 2 trạm là khá chặt chẽ. Tuy nhiên, mối quan hệ này cần được chia làm 2 giai đoạn với sự tham gia của dòng chảy phía Campuchia với vai trò chủ yếu của biển hồ Tonle Sap.



Hình 19. Tương quan dòng chảy tháng mùa kiệt tại Kratie và Tân Châu

Kết quả phân tích tương quan cho thấy: (1) Thời kỳ đầu mùa kiệt (tháng 12, 1, 2) dòng chảy về Tân Châu với sự tham gia mạnh mẽ của biển hồ Tonle Sap, lúc này quan hệ lưu lượng tại Tân Châu gần tương đương với Kratie. Tuy nhiên, hệ số tương quan là kém chặt với hệ số $R^2=0,66$; (2) Thời kỳ cuối mùa kiệt (tháng 3-6), sự tham gia của biển hồ Tonle Sap là hạn chế, dòng chảy về Tân Châu chủ yếu là từ Kratie. Lúc này lưu lượng dòng chảy tại Tân Châu tương đương 85% lưu lượng tại Kratie. Tương quan thời kỳ này là rất chặt chẽ với hệ số $R^2=0,96$. Có thể thấy với giá trị lưu lượng tại Kratie ta có thể dự đoán khá chính xác lưu lượng tại Tân Châu trong thời kỳ cuối mùa kiệt.

3.2.2.2 Phân phối dòng chảy qua các cửa sông

Để đánh giá phân bố dòng chảy ra các cửa, cần có số liệu quan trắc lưu lượng trên tất cả các cửa này. Tuy nhiên, các số liệu này là rất hạn chế, hiện tại mới chỉ có một đợt quan trắc đồng bộ vào mùa kiệt 2010 (từ 09-24/4/2010, 15 ngày triều) do Viện QHTL miền Nam thực hiện. Các công bố về phân phối dòng chảy trên hệ thống và qua các cửa sông trước đây chủ yếu là thông qua tính toán mô hình thủy lực [2, 3]. Theo kết quả đợt khảo sát, tỷ lệ phân phối dòng chảy về các cửa sông lớn nhất là Định An (27,7%), tiếp đó là Trần Đề (19,7%), Hàm Luông (14,5%), Cổ Chiên (13,3%), Cung Hầu (11,0%), cửa Đại (6,6%), cửa Tiểu (2,4%).

So với các kết quả tính toán trước đây, cho thấy sự phân bố lưu lượng ở các cửa có nhiều thay đổi. Trong đó các cửa Định An, Trần Đề dòng chảy không thay đổi

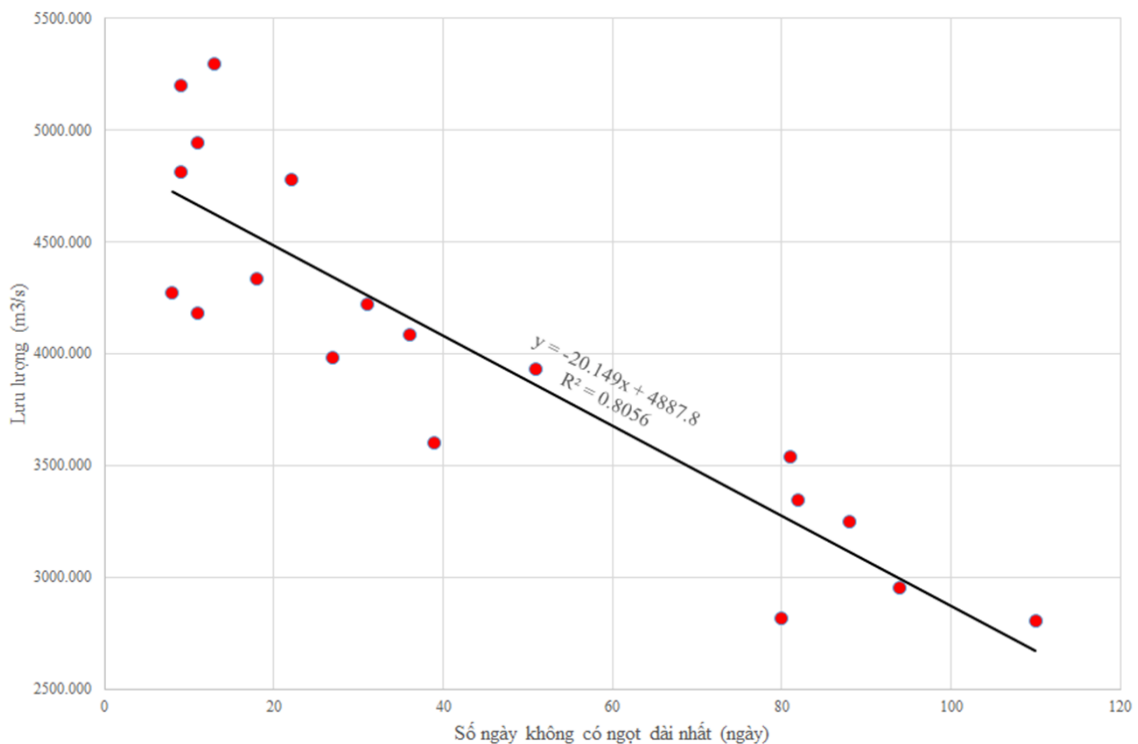
hiều. Dòng chảy cửa Hàm Luông tăng mạnh, còn cửa Tiểu, cửa Đại giảm mạnh nhất. Trên sông Cổ Chiên dòng chảy có xu hướng giảm phía nhánh Cổ Chiên và tăng lên ở phía Cung Hầu.

Lưu ý rằng những kết quả trên đây chỉ xem xét sự phân bố lưu lượng ra các cửa sông, hoàn toàn chưa xét đến cân bằng nước vào/ra, trong đó có việc lấy nước cho SXNN và NTTS cho các vùng ở ĐBSCL.

Kết quả đo đạc cho thấy, 3 cửa Hàm Luông, Cổ Chiên và Cung Hầu chiếm tỷ lệ khá lớn dòng chảy kiệt. Đây là trục cấp ngọt xuyên suốt, nằm ngay giữa đồng bằng và có vai trò quan trọng trong phân bổ nguồn nước cho VCS Cửu Long.

3.2.3 Quan hệ các yếu tố dòng chảy thượng lưu đến các đặc trưng quá trình nước ngọt vùng cửa sông Cửu Long

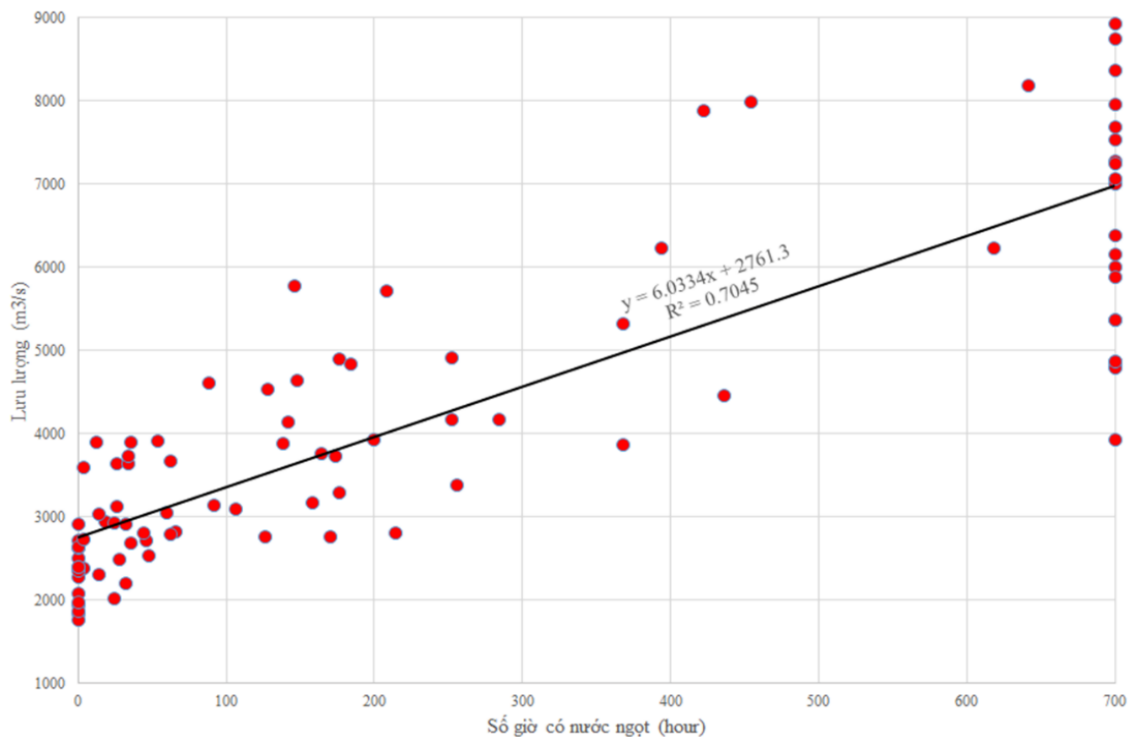
Hình 20 trình bày quan hệ giữa lưu lượng trung bình tháng I- tháng V (Q_{TC1-5}) hàng năm tại Tân Châu với số ngày không có ngọt dài nhất tại Trà Vinh (DFW).



Hình 20. Quan hệ giữa lưu lượng trung bình tháng I-V tại Tân Châu và số ngày không có ngọt dài nhất ở Trà Vinh

Kết quả cho thấy mối quan hệ là khá rõ ràng với hệ số $R^2=0,80$. Theo đường xu thế khi $Q_{TC1-5} < 3.200\text{m}^3/\text{s}$ thì $DFW = 80$ tại Trà Vinh; khi $Q_{TC1-5} > 5.000\text{m}^3/\text{s}$ thì $DFW = 0$ tại Trà Vinh. Lưu ý, giai đoạn 2014-2019, $Q_{TC1-5}=4.31\text{m}^3/\text{s}$, tương ứng với $DFW=20$ ngày.

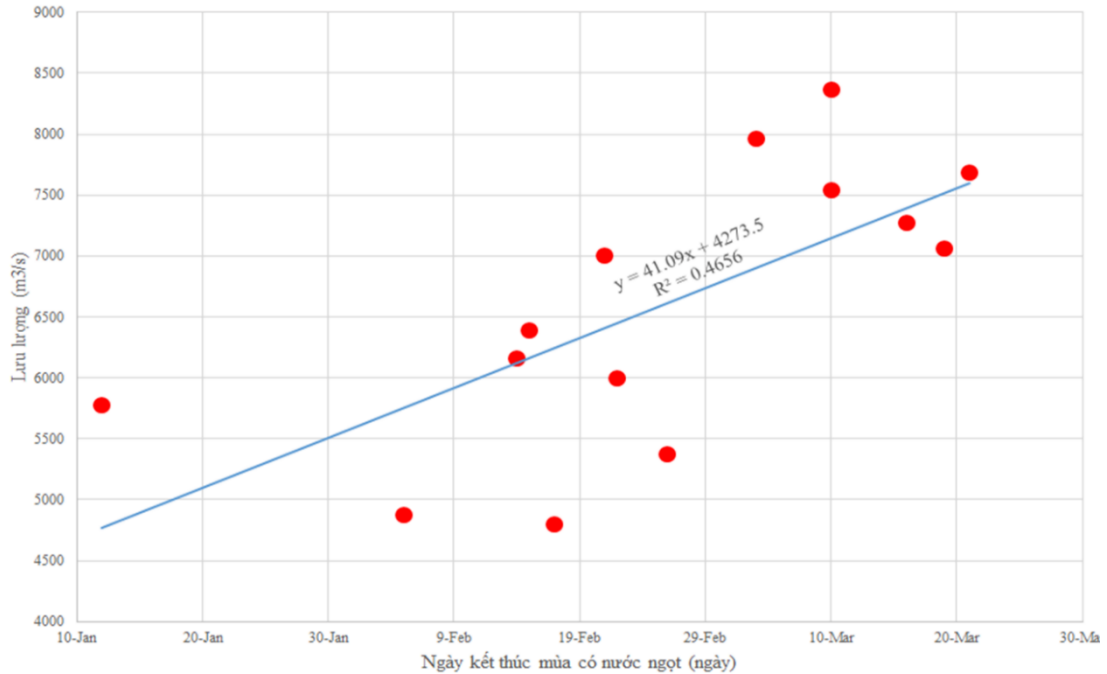
Hình 21 trình bày mối quan hệ giữa lưu lượng trung bình tháng (Q_{TTC}) tại Tân Châu và NFW ở Trà Vinh. Nhìn chung, quan hệ là khá chặt chẽ với $R^2=0,7045$. Theo đường xu thế, $Q_{TTC} < 2.800\text{m}^3/\text{s}$ thì tháng đó tại Trà Vinh không có nước ngọt ($NFW=0$), khi $Q_{TTC} > 7.000\text{m}^3/\text{s}$ thì tại Trà Vinh luôn có nước ngọt. Trong giai đoạn 2014÷2019, trung bình tháng kiệt nhất $Q_{TTC} = 3.626\text{m}^3/\text{s}$, tương đương $NFW = 140$ giờ tại Trà Vinh.



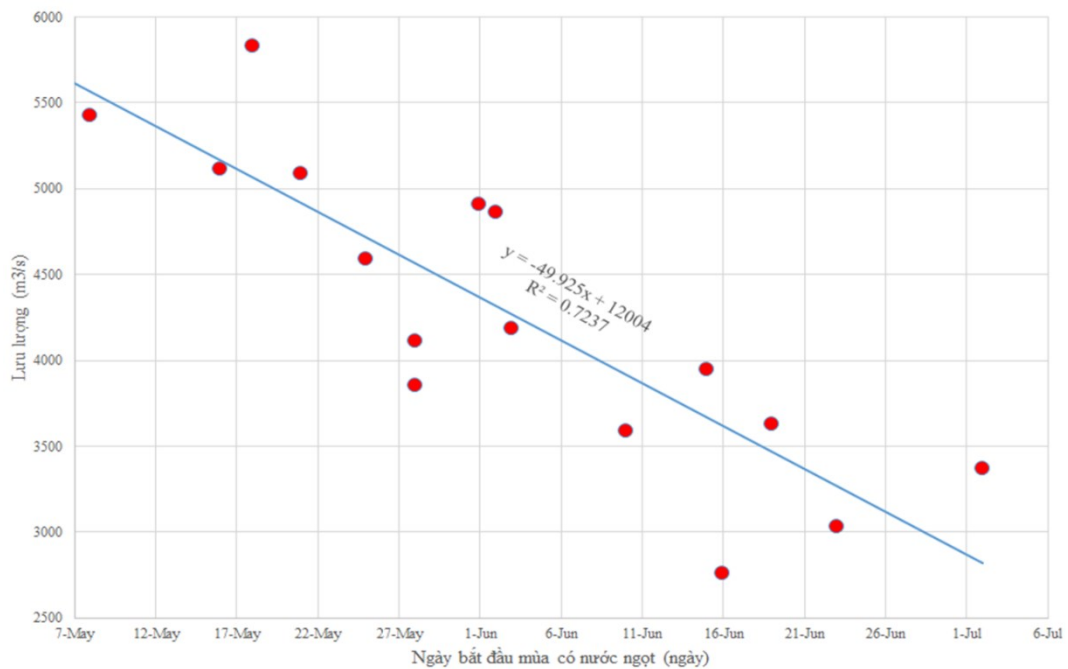
Hình 21. Quan hệ lưu lượng trung bình tháng mùa kiệt tại Tân Châu và số giờ có nước ngọt trong tháng ở Trà Vinh

Hình 22 trình bày mối quan hệ giữa lưu lượng trung bình tháng 1 tại Tân Châu (Q_{TC1}) với ngày kết thúc mùa ngọt (FWE) ở Trà Vinh. Theo quan hệ đó thì khi $Q_{TC1} < 4.273\text{m}^3/\text{s}$ thì FWE tại Trà Vinh vào ngày đầu tháng 1, khi $Q_{TC1} = 5.547\text{m}^3/\text{s}$ thì FWE vào đầu tháng 2. Giai đoạn 2013÷2019, $Q_{TC1}=6.372\text{m}^3/\text{s}$, tương ứng FWE vào ngày

20/2. Tuy nhiên, do mối quan hệ giữa 2 đặc trưng chưa chặt chẽ với $R^2 = 0.47$ nên mối quan hệ này chỉ mang tính chất tham khảo và chỉ sử dụng để xem xét xu thế.



Hình 22. Quan hệ lưu lượng trung bình tháng 1 ở Tân Châu và thời gian kết thúc mùa ngọt ở Trà Vinh



Hình 23. Quan hệ lưu lượng trung bình 3 tháng cuối mùa kiệt tại Tân Châu và thời gian bắt đầu mùa ngọt ở Trà Vinh

Hình 23 trình bày lưu lượng trung bình 3 tháng mùa kiệt (4, 5, 6) tại Tân Châu (Q_{TC4-6}) và ngày bắt đầu mùa ngọt (FWS). Mối quan hệ là chặt chẽ hơn với hệ số $R^2=0,72$. Theo đó, khi $Q_{TC4-6} > 6.000\text{m}^3/\text{s}$ thì FWS vào đầu tháng 5 và khi $Q_{TC4-6} < 4.500\text{m}^3/\text{s}$ thì FWS từ đầu tháng 6. Giai đoạn 2014÷2019, $Q_{TC4-6}=5.245\text{m}^3/\text{s}$ tương ứng FWS vào ngày 16/5.

Trên cơ sở những mối quan hệ giữa dòng chảy tại Tân Châu và các đặc trưng nước ngọt ở Trà Vinh cùng diễn biến dòng chảy thượng lưu cho phép dự báo xu thế diễn biến quá trình nước ngọt VCS. Theo đó: (1) Xu thế lưu lượng dòng chảy trung bình tháng I tại Tân Châu sẽ tiếp tục giảm, điều đó sẽ làm ngày kết thúc mùa có nước ngọt sẽ đến sớm hơn; (2) Lưu lượng dòng chảy 3 tháng 4, 5, 6 sẽ tiếp tục tăng nhanh, dẫn đến xu thế ngày bắt đầu mùa có nước ngọt sẽ đến sớm hơn; (3) Lưu lượng trung bình tháng 1, 2 tại Tân Châu giảm xuống, tháng 3, 4, 5 tăng lên kéo theo thời gian có nước ngọt trong các tháng cũng diễn biến tương tự; (4) Lưu lượng dòng chảy kiệt sẽ tăng lên sẽ làm cho số ngày không có nước ngọt dài nhất sẽ giảm xuống.

3.3 Thủy triều, nước biển dâng và những biến động của xâm nhập mặn

3.3.1 Truyền triều vào VCS

3.3.1.1 Truyền triều vào toàn VCS

Tài liệu quan trắc lưu lượng dòng chảy tại các cửa sông là rất ít. Do đó nghiên cứu sử dụng kết quả tính toán thủy lực để đánh giá quá trình truyền triều vào các cửa sông. Bảng 21 trình bày kết quả tính toán các đặc trưng dòng chảy ngày vào tại các cửa sông: cửa Tiểu, cửa Đại, Ba Lai, Hàm Luông, Cung Hầu, Cổ Chiên, Định An, Trần Đề trong các tháng mùa kiệt.

Kết quả cho thấy:

- Tổng lưu lượng lớn nhất trong 1 ngày triều trung bình khoảng $67.000\text{m}^3/\text{s}$, tương ứng với 1,67 tỷ $\text{m}^3/\text{ngày}$ nước biển chuyển vào VCS. Lượng nước đó cao hơn khoảng hơn 8 lần so với lượng dòng chảy về Việt Nam trong thời kỳ kiệt nhất (206 triệu m^3).

- Tổng lưu lượng ngày cao nhất khoảng 99.000m³/s, tương ứng với lượng nước chuyển vào khoảng 2,51 tỷ m³/ngày cao hơn 12 lần so với lượng nước nguồn thời kỳ kiệt nhất.
- Tổng lưu lượng ngày thấp nhất còn khoảng 26.000 m³/s, tương ứng với 1,19 tỷ m³/ngày nước biển chuyển vào VCS cao hơn 5 lần so với lượng nước nguồn thời kỳ kiệt nhất.

Bảng 21. Tổng hợp các đặc trưng dòng chảy ngày vào ra VCS Cửu Long

Đặc trưng	Tổng lưu lượng chuyển vào VCS trong 1 ngày (m ³ /s)			Tổng lượng nước biển truyền vào VCS trong 1 ngày (triệu m ³)		
	Q _{min}	Q _{max}	Q _{bq}	W _{min}	W _{max}	W _{bq}
Tháng 12	28.598	118.693	86.324	1.180	2.536	1.654
Tháng 1	26.682	94.075	67.003	1.226	2.338	1.589
Tháng 2	38.030	94.717	68.220	1.221	2.508	1.736
Tháng 3	40.520	92.123	67.589	1.221	2.457	1.706
Tháng 4	52.592	98.743	70.367	1.196	2.384	1.687
Tháng 5	51.372	95.081	71.808	1.276	2.193	1.651
Max	52.592	98.743	71.808	1.276	2.508	1.736
Min	26.682	92.123	67.003	1.196	2.193	1.589
TB	41.839	94.948	68.997	1.228	2.376	1.674

Theo các tương quan giữa dòng nước biển truyền vào trong sông với dòng chảy về Việt Nam tỷ số W_T/W_S ở thời kỳ kiệt nhất thay đổi trong khoảng 5-12. Như vậy trong thời kỳ kiệt nhất vẫn có thể xuất hiện hình thức xáo trộn vừa giữa nước biển và nước sông.

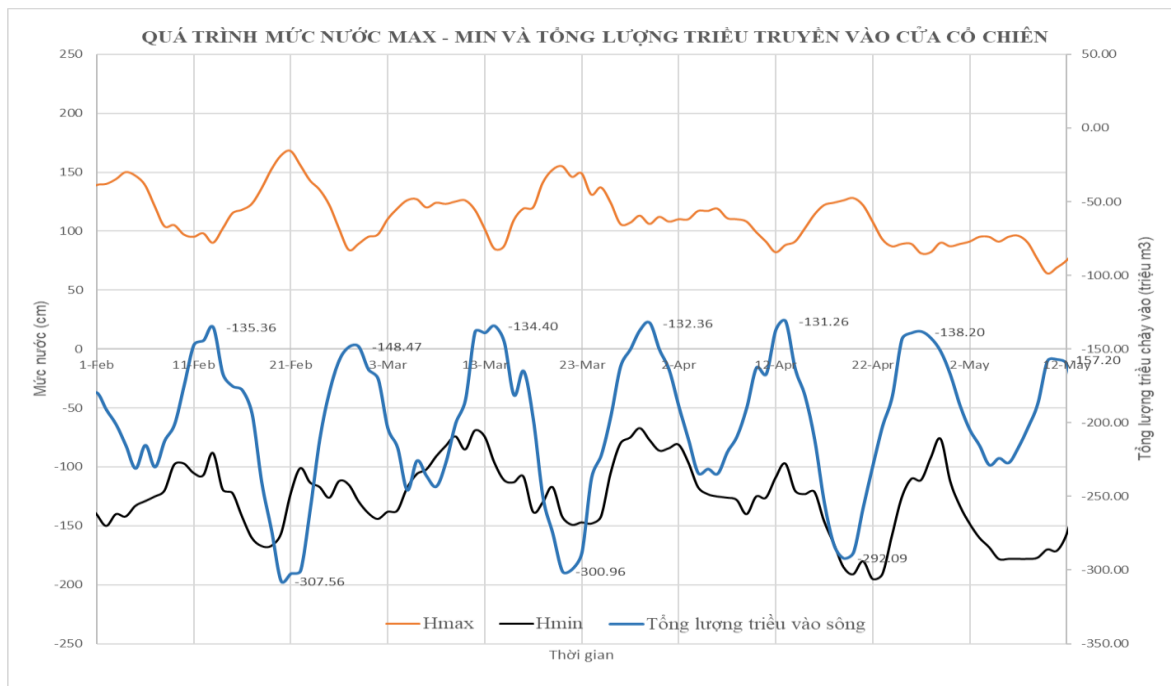
3.3.1.2 Truyền triều vào cửa sông Cổ Chiên và Cung Hầu:

Bảng 22 trình bày kết quả tính toán lưu lượng, tổng lượng nước biển truyền vào và tổng lượng nước nguồn chảy về cửa sông Cổ Chiên trong 1 ngày triều. *Hình*

24 trình bày đường quá trình mực nước H_{\max} , H_{\min} và tổng lượng triều truyền vào cửa sông Cỏ Chiên trong mùa kiệt.

Bảng 22. Tương quan giữa lượng nước biển và nước sông trong 1 ngày triều tại cửa sông Cỏ Chiên.

Tháng	Q triều (m^3/s)			W_T (triệu m^3)			W_S (triệu m^3)
	Min	Max	TB	Min	Max	TB	
Tháng 1	1.824	11.789	8.133	134,1	280,0	186,3	146,5
Tháng 2	4.437	11.498	8.349	135,4	307,6	204,3	96,6
Tháng 3	4.796	10.992	8.311	132,4	301,0	200,7	83,9
Tháng 4	6.556	12.572	8.788	131,3	292,1	197,1	90,1
Tháng 5	5.504	12.609	8.983	137,5	271,7	194,7	103,7



Hình 24. Quá trình mực nước Max, Min và tổng lượng triều truyền vào cửa Cỏ Chiên trong mùa kiệt

Kết quả cho thấy:

- Những ngày triều cường (H_{\max} cao và H_{\min} thấp) là những ngày có tổng lượng nước biển chuyển vào lớn nhất. Giá trị tổng lượng nước biển chuyển vào trong những ngày này đạt khoảng 292-307 triệu m^3 /ngày. So với lượng nước phân phối qua cửa Cỏ Chiên trong thời kỳ kiệt nhất (83,9 triệu m^3 /ngày) lượng nước biển truyền vào nhiều hơn khoảng 3,6 lần.

- Những ngày triều kém (H_{max} thấp và H_{min} cao) là những ngày có tổng lượng nước biển chuyển vào nhỏ nhất. Giá trị tổng lượng nước biển chuyển vào trong những ngày này đạt khoảng 131-148 triệu m^3 /ngày. So với lượng nước phân phối qua cửa Cổ Chiên trong thời kỳ kiệt nhất, lượng nước biển truyền vào nhiều hơn khoảng 1,6 lần. Trong các thời kỳ khác, lưu lượng từ sông cao hơn, nên tỷ số W_T/W_s cũng thấp hơn.

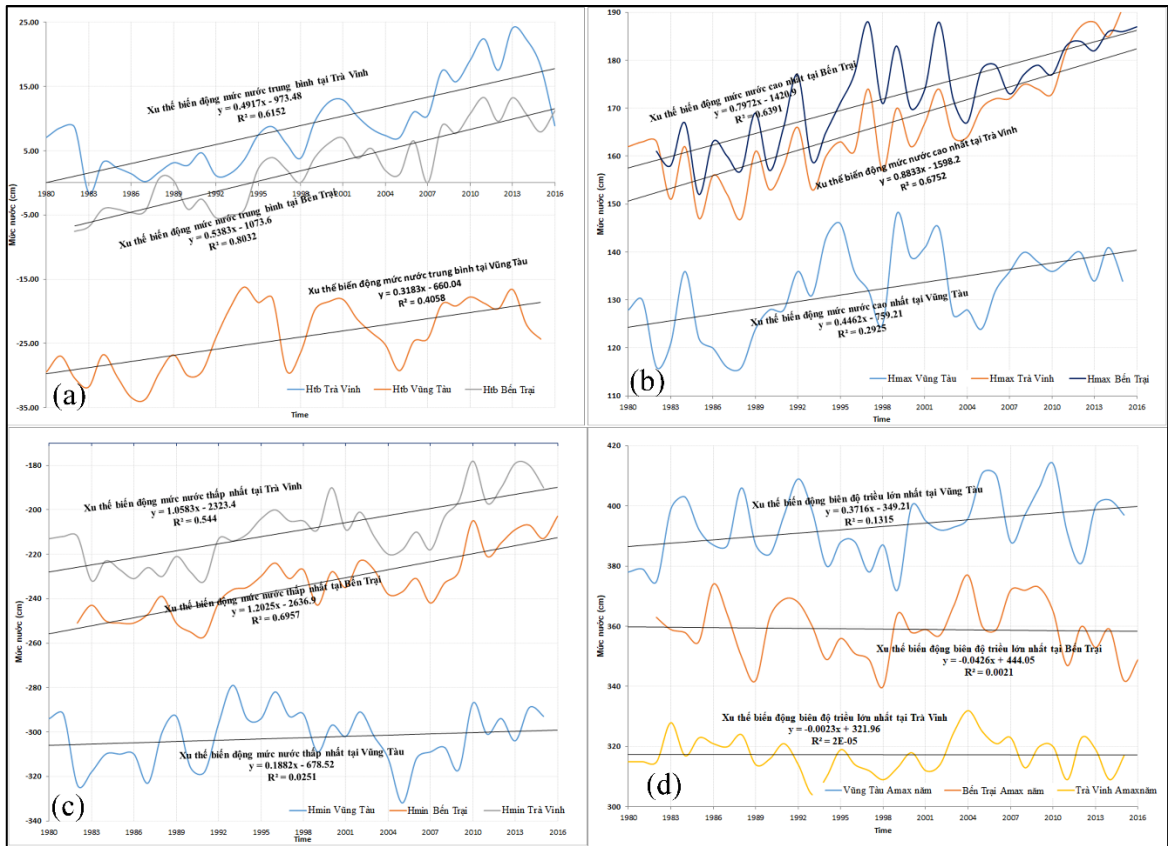
Kết quả quan trắc phân bố mặn theo độ sâu dòng chảy cho thấy có dòng chảy phân tầng khi $W_T/W_s = 1,6$ cho nhận xét rằng vào những ngày triều kém sự phân tầng dòng chảy có thể xảy ra. Sự phân tầng dòng chảy làm cho việc khai thác nguồn nước trở nên khó khăn hơn.

3.3.2 *Biến động mực nước trên vùng biển trước cửa sông*

Trên *Hình 25* trình bày diễn biến mực nước trung bình, cao nhất, thấp nhất và biên độ triều tại các trạm Vũng Tàu, Bến Trại, Trà Vinh giai đoạn 1980 - 2016. Kết quả cho thấy:

- Mực nước bình quân năm tại Vũng Tàu có xu hướng gia tăng trung bình 3,18mm/năm, Bến Trại gia tăng nhanh hơn với mức 5,38mm/năm, Trà Vinh mức tăng thấp hơn Bến Trại nhưng vẫn khá cao (4,92mm/năm).
- Mực nước cao nhất năm có xu thế tăng nhanh hơn mực nước trung bình, tại Vũng Tàu mực nước H_{max} gia tăng 4,46 mm/năm, Bến Trại và Trà Vinh xu thế tăng nhanh hơn với mức tăng lần lượt là 7,97mm/năm và 6,75mm/năm.
- Mực nước thấp nhất tại Vũng Tàu gia tăng thấp hơn so với trung bình và cao nhất với mức tăng 1,88mm/năm. Tại Bến Trại và Trà Vinh mực nước thấp nhất có xu thế tăng mạnh với mức tăng lần lượt 12,03mm/năm và 10,58mm/năm.
- Biên độ triều tại Vũng Tàu gia tăng 3,72mm/năm, còn tại Bến Trại và Trà Vinh ít biến động.

Nhìn chung, kết quả phân tích xu thế NBD tại Vũng Tàu khá phù hợp với các kết quả nghiên cứu trước đây [12, 23].



Hình 25. Xu thế diễn biến các đặc trưng mực nước tại các trạm Vũng Tàu, Bến Trại, Trà Vinh, (a) H_{tb}, (b) H_{max}, (c) H_{min}, (d) Biên độ

Đi vào cửa sông và trong sông, các đặc trưng mực nước đều tăng nhanh hơn so với ngoài biển, đặc biệt là mực nước H_{min}. Điều đó cho thấy các tác động mang yếu tố địa phương đang mạnh hơn so với tác động của NBD do BĐKH. Đặc biệt, sự gia tăng mạnh của mực nước H_{min} có thể là kết quả của vận hành hệ thống công trình ngớt hóa đoạn từ Trà Vinh đến Bến Trại.

3.3.3 Xâm nhập mặn vùng cửa sông và các diễn biến

3.3.3.1 Diễn biến mặn cửa các sông Cửu Long theo các nghiên cứu trước đây:

Diễn biến mặn vùng cửa các sông lớn có nguồn diễn ra một cách điều hòa, không có những thay đổi đột biến, phụ thuộc chính vào xu thế của lưu lượng nước nguồn. Theo đó, tại các cửa sông đường quá trình S_{max} thay đổi liên tục theo nhịp độ của thủy triều, còn quá trình S_{min} trong một thời gian dài bị khống chế bởi giới hạn

dưới $S = 0\%$, dấu hiệu của nước ngọt ra tận biển khi triều rút. Đó là tuần hoàn lớn, ổn định có vai trò quan trọng đối với VCS Tiền, sông Hậu [12].

Trong các cửa của sông Cửu Long thì Cửa Tiểu XNM có xu thế mạnh hơn các cửa khác. Phân bố nguồn nước bé nhất (1%), triều truyền lên sớm nhất (sớm pha) – XNM vào sông Cửa Tiểu có ảnh hưởng quyết định đối với toàn tuyến Cửa Tiểu – Mỹ Tho – sông Tiền.

Chiều dài XNM là đặc trưng điển hình cho XNM. Tổng hợp tài liệu quan trắc nhiều năm GS. Lê Sâm [67] đã đưa ra bảng đánh giá chiều dài XNM (*Bảng 23*).

Mặn xâm nhập sâu nhất vào VCS vào tháng 4 – lúc nước nguồn yếu nhất. Mặn xâm nhập vào Cửa Tiểu sâu nhất (57 km). Cửa Bassac an toàn hơn với chiều dài $L_s = 50$ km. Điều này chỉ đúng cho trường hợp tháng 4. Trong điều kiện nước nguồn lớn hơn (tháng 2, 5) sông Cửa Tiểu tỏ ra nhạy hơn đối với những thay đổi nên chiều dài L_s ngắn hơn so với các cửa khác.

Bảng 23. Chiều dài xâm nhập lớn nhất tháng với mức 4g/l

Sông	Tháng 2	Tháng 3	Tháng 4	Tháng 5
Cửa Tiểu	36	49	57	42
Hàm Luông	42	51	54	45
Cổ Chiên	40	50	53	46
Bassac	38	44	50	43

So sánh chiều dài XNM (L_s) ở *Bảng 23* với các tài liệu L_s tổng hợp trong các thời kỳ trước đây (*Bảng 24*) cho thấy sự sai khác là không đáng kể. Điều đó cho thấy khả năng tự bảo vệ của sông Tiền, sông Hậu chống với ảnh hưởng của biển là to lớn, sự kéo dài các cửa sông ra phía biển, hình thành các cồn, bãi che chắn ... đã giúp hạn chế quá trình XNM.

Bảng 24. Chiều dài truyền mặn 4‰ trên các cửa sông chính

Sông	Thời kỳ	Chiều dài XNM L (km)					
		T1	T2	T3	T4	T5	BQ
Sông Hậu	1936	31,0	38,0	38,0	42,0	32,0	36,2
	1940	29,0	27,0	30,0	35,0	43,0	32,8
	77 - 82	20,0	24,0	26,0	31,0	24,0	25,0
Sông Cỏ Chiên	1936	14,0	12,0	13,0	31,0	25,0	19,0
	1940	20,0	18,0	28,0	32,0	30,0	25,6
	77 - 82	20,0	26,0	31,0	37,0	24,0	27,6
Sông Hàm Luông	1936	10,0	11,0	10,0	35,0	41,0	21,4
	1940	8,0	8,0	10,0	30,0	32,0	17,6
	77 - 82	16,0	24,0	28,0	34,0	30,0	26,4
Sông Cửa Đại	1936	5,0	15,0	14,0	52,0	35,0	24,2
	1940	23,0	25,0	35,0	52,0	52,0	37,4
	77 - 82	16,0	24,0	26,0	30,0	25,0	24,2
Sông Cửa Tiểu	1936	11,0	20,0	20,0	52,0	35,0	27,6
	1940	22,0	30,0	46,0	52,0	52,0	40,4
	77 - 82	27,0	39,0	48,0	52,0	50,0	43,2

3.3.3.2 Diễn biến độ mặn lớn nhất tháng và sự dịch chuyển đỉnh mặn

Bảng 25 trình bày độ mặn cao nhất hàng tháng 2 trạm Hưng Mỹ (cách biển 15km) và Trà Vinh (cách biển 28km).

Kết quả cho thấy:

- Đỉnh mặn thường xuất hiện vào tháng 3 và tháng 4, trùng với thời kỳ mặn xâm nhập sâu nhất. Trong 26 năm có số liệu tại trạm Trà Vinh có 2 năm đỉnh mặn vào tháng 5, 9 năm vào tháng 4, 7 năm vào tháng 3, 7 năm vào tháng 2 và 1 năm vào tháng 1. Tại Hưng Mỹ có 2 năm đỉnh mặn vào tháng 5, 7 năm vào tháng 4, 10 năm vào tháng 3, 4 năm vào tháng 2, 3 năm vào tháng 1.

- Giai đoạn trước 2013 chỉ duy nhất năm 1999 đỉnh mặn rơi vào tháng 2 còn lại nằm trong tháng 3 và tháng 4, thậm chí là tháng 5. Trong 9 năm, từ 2013-2021, chỉ duy nhất có 2 năm (2014, 2018) đỉnh mặn vào tháng 3, còn lại đỉnh mặn nằm trong tháng 2 (6 năm), thậm chí là tháng 1 (2015).
- Giá trị độ mặn cao nhất cũng có xu thế tăng lên. Trong khoảng thời gian 13 năm 2009-2021, đã có tới 10 năm giá trị độ mặn cao nhất cao hơn trung bình của chuỗi.

Bảng 25. Diễn biến độ mặn cao nhất trên sông Cỏ Chiên

Năm	Trà Vinh					Hưng Mỹ				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
1996		7,5	9,1	13,7	6,4		10,5	7,7	13,3	7,6
1997		-	3	6,3	4,7		2,7	6	7,4	4,7
1998		4	9,6	10,5	6,7		8	20,3	16,6	13,2
1999		10,9	10,4	9	5,7		16,4	16	11,2	8,2
2000		4,8	6,2	7,4	5,8		4,9	8	9,7	7,8
2001		7,5	6,5	6,1	7,6		7,6	9,3	8,2	9,8
2002		6,1	7,9	7,4	7,5		11,5	12	12,6	10,6
2003		3,6	7,8	5,8	11,3		7,4	14,7	11,5	14,7
2004		8,6	11,2	9,3	8,1		14,5	21,6	15,2	14,6
2005		8,3	10,8	9,5	9,7		13,7	17,4	19,8	15,3
2006		7,6	7,4	9	7,5		15,1	15,3	12,9	13,5
2007		6,4	8,5	9,5	7,5		12,8	14	13,6	11
2008		9,3	9,9	8,3	8,9		13,4	15,3	14,6	14,7
2009		3,9	7,1	11,8	7,9		7	14	16,7	13,4
2010		7	10,7	9,9	9,4		11,3	17,3	16,9	15,1
2011		7,5	11,1	11,2	6,7		11,2	19,3	16	13,2
2012		3,9	5,1	10,2	7,1		9,7	10,5	16,4	14,1
2013		12,8	9,4	9,5	6,3		18,9	16,6	17,2	13,7

Năm	Trà Vinh					Hưng Mỹ				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
2014	1,6	4,5	6	5,3	5,2	5,3	10	10,9	10,7	9,2
2015	11,5	9,4	7,7	7,2	8,9	13,9	13,3	13,7	11,5	11,5
2016	10,6	14,6	12,7	8,4	6,2	13,7	19	19,5	14,8	13,5
2017	7,0	9,6	7,6	6,2	5,3	10,6	14,9	14,1	12,7	11,9
2018	3,0	5,2	8,1	7,1	5,3	9,0	9,1	13,8	13,5	10,4
2019	5,0	5,8	4,5	5,0	5,3	11,5	10,9	8,8	9,7	11,3
2020	12,2	12,9	9,4	6,9	7,4	13,6	20,2	16,5	14,4	13,4
2021	9,1	10,3	8,2	7,9	3,3	14,3	14,2	14,2	12,4	8,8
BQ	7,5	7,7	8,3	8,4	7,0	11,5	11,9	14,1	13,4	11,7

Kết quả phân tích cho thấy những biến động của dòng chảy về Việt Nam đang tác động mạnh đến XNM ở VCS. Sự suy giảm dòng chảy ở những tháng đầu mùa kiệt, sự dịch chuyển của tháng kiệt nhất đã làm thời gian xuất hiện đỉnh mặn dịch chuyển từ tháng 4 sang tháng 2. Giá trị độ mặn lớn nhất cũng có xu thế tăng lên.

3.4 Dự báo diễn biến quá trình nước ngọt năm 2030

3.4.1 Kịch bản dự báo

(1) Điều kiện thượng lưu:

Qua phân tích quá trình nước ngọt VCS cho thấy năm 2005 là năm khó khăn về nước ngọt ở vùng nghiên cứu. Với mục tiêu tìm kiếm các giải pháp khai thác tài nguyên nước ngọt, luận án lựa chọn năm 2005 là kịch bản nền để phân tích. Để phục vụ dự báo tương lai, căn cứ vào xu thế diễn biến dòng chảy tại Kratie đã phân tích, lưu lượng dòng chảy tại Kratie năm 2030 được thiết kế như sau:

- Tổng dòng chảy kiệt lấy theo năm 2005: $Q_{tb} = 3.630\text{m}^3/\text{s}$;
- Lưu lượng tháng 12 tới năm 2030: $Q_{12} = 3.857\text{m}^3/\text{s}$;
- Lưu lượng tháng 1 tới năm 2030: $Q_1 = 3.196\text{m}^3/\text{s}$;

- Lưu lượng tháng 2 tới năm 2030: $Q_2 = 2.805\text{m}^3/\text{s}$;
- Lưu lượng tháng 3 tới năm 2030: $Q_3 = 2.948\text{m}^3/\text{s}$;
- Lưu lượng tháng 4 tới năm 2030: $Q_4 = 3.721\text{m}^3/\text{s}$;
- Lưu lượng tháng 11 và tháng 5 lần lượt là: 4.734 và $4.151\text{ m}^3/\text{s}$.

(2) *Biến đổi phía biển:*

Biên triều phía biển nghiên cứu sử dụng kịch bản RCP 4.5 theo kịch bản BĐKH công bố năm 2020 của Bộ Tài nguyên & Môi trường. Theo đó, mực nước tại vùng biển trước cửa sông sẽ gia tăng 12cm (khu vực Mũi Kê Gà – Mũi Cà Mau và Mũi Cà Mau – Kiên Giang).

(3) *Sử dụng nước trên ĐBSCL:*

Kết quả phân tích về các kịch bản thích ứng trên đồng bằng cho thấy, nhu cầu nước theo các kịch bản phát triển trên đồng bằng thay đổi không nhiều. Tuy nhiên, thay đổi điều kiện khí tượng trên đồng bằng có thể ảnh hưởng rất lớn đến diễn biến XNM. Phân tích xu thế nhu cầu nước trong tương lai ở đồng bằng sẽ ở mức độ ổn định và có xu hướng giảm do sự mất đất do đô thị hóa, chuyển đổi cơ cấu cây trồng, vì vậy việc lựa chọn kịch bản sử dụng nước lớn ở đồng bằng sẽ là bất lợi cho việc đề xuất các giải pháp thích ứng và lộ trình phù hợp.

Nghiên cứu lựa chọn nhu cầu nước như hiện trạng năm 2005 để xem xét các kịch bản ứng phó. Đây là năm được xem là có nhu cầu nước trung bình cao ở đồng bằng, được sử dụng trong cân chỉnh mô hình đạt kết quả mô phỏng tốt về diễn biến XNM.

3.4.2 Kết quả tính toán dự báo phân bố nước ngọt năm 2030 (PA2030)

(1). *Diễn biến nước ngọt dọc sông Tiền:*

Trên Bảng 26 trình bày kết quả tính toán độ mặn thấp nhất từng thời đoạn dọc sông Tiền phương án PA2030

Kết quả cho thấy: đầu tháng 2 nước ngọt cách biển 30 km, tháng 3 là 45 km; đầu tháng 4 nước ngọt rút vào sâu nhất, cách biển 56km (qua Mỹ Tho); đầu tháng 5, nước ngọt tiến ra, cách biển 38 km. Trạm An Định không có nước ngọt trong khoảng

thời gian từ cuối tháng 3 đến giữa tháng 4, Mỹ Tho không có nước ngọt ở kỳ đầu tháng 4. Tại Đồng Tâm luôn có nước ngọt trong ngày.

Bảng 26. Độ mặn thấp nhất dọc sông Tiền tại Cửa Tiểu PA 2030

Khoảng Cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			Trạm đo
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
0	10,7	11,1	14,5	16,7	17,6	19,4	21,6	19,7	16,4	11,6	10,1	11,0	
2.000	7,7	9,9	12,2	14,6	15,6	16,5	20,4	18,1	14,8	10,5	8,7	9,8	Vàm Kênh
18.071	1,1	3,1	3,5	5,5	7,0	7,3	12,3	9,1	7,0	4,4	2,8	3,6	Hòa Bình
25.214	0,9	0,8	1,2	2,5	3,3	3,4	6,6	4,0	2,8	1,5	1,1	1,3	
26.286	0,7	0,7	1,1	2,2	3,0	3,1	6,2	3,7	2,5	1,3	1,0	1,1	
27.000	0,5	0,6	1,0	2,1	2,8	2,9	5,9	3,5	2,4	1,2	0,9	1,0	
29.250	0,4	0,4	0,7	1,6	2,2	2,3	5,0	2,8	1,9	0,9	0,7	0,8	
30.000	0,3	0,8	1,2	2,6	3,4	3,7	7,7	4,8	3,5	1,8	1,2	1,3	
31.000	0,2	0,7	1,0	2,4	3,1	3,4	7,3	4,5	3,3	1,6	1,0	1,1	
32.000	0,2	0,6	0,9	2,2	2,8	3,0	6,8	4,1	3,1	1,4	0,9	1,0	
33.000	0,2	0,5	0,7	1,9	2,5	2,7	6,4	3,8	2,8	1,2	0,8	0,9	
34.000	0,1	0,4	0,6	1,7	2,2	2,4	5,9	3,4	2,5	1,1	0,7	0,7	
35.125	0,1	0,3	0,5	1,4	1,8	2,0	5,4	3,0	2,1	0,9	0,6	0,6	
35.500	0,1	0,3	0,4	1,3	1,7	1,9	5,2	2,8	2,0	0,8	0,5	0,5	
38.688	0,0	0,1	0,3	0,8	1,1	1,1	3,8	1,9	1,3	0,4	0,3	0,3	
39.000	0,0	0,1	0,2	0,8	1,0	1,1	3,8	1,8	1,3	0,4	0,3	0,3	
40.000	0,0	0,1	0,2	0,7	0,9	1,0	3,5	1,6	1,1	0,3	0,2	0,2	
41.000	0,0	0,1	0,1	0,6	0,8	0,8	3,2	1,4	1,0	0,3	0,2	0,2	
42.000	0,0	0,0	0,1	0,5	0,7	0,7	2,9	1,2	0,9	0,2	0,2	0,2	
43.000	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	0,6	2,6	1,1	0,7	0,2	0,1	0,1	
44.165	0,0	0,0	0,1	0,4	0,5	0,5	2,3	0,9	0,6	0,1	0,1	0,1	
45.039	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,4	2,1	0,8	0,5	0,1	0,1	0,1	
46.165	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,4	1,8	0,6	0,4	0,1	0,1	0,1	
47.000	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,4	1,6	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1	
48.000	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	1,2	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	An Định
49.125	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	1,0	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0	

Khoảng Cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			Trạm đo
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
50.250	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,8	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0	
51.000	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,7	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	
52.071	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,6	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	
53.143	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,5	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	
54.214	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,5	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	
55.286	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	Mỹ Tho
56.000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	
60.013	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	
61.000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	
63.203	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Đồng Tâm
64.418	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Kết quả tính toán độ mặn thấp nhất theo từng thời đoạn dọc sông Cửa Đại trình bày trong Bảng 27.

Kết quả cho thấy: tại nhánh này nước ngọt chỉ có trong tháng 2 ở các vị trí cách biển lần lượt là 28, 33 và 37 km. Từ tháng 3 cho đến hết tháng 4 không có nước ngọt trên nhánh sông Cửa Đại. Đầu tháng 5 bắt đầu có nước ngọt trên sông.

Bảng 27. Độ mặn thấp nhất dọc sông Tiền tại Cửa Đại – PA tới 2030

Khoảng Cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
0	8,4	10,0	14,8	15,3	17,6	16,8	16,8	16,2	12,8	11,0	7,4	9,9	
3.941	5,9	8,5	12,2	14,5	16,2	16,2	16,6	15,9	12,3	9,5	6,9	8,7	Bình Đại
4.598	2,6	8,2	11,8	14,2	15,9	16,0	16,6	15,8	12,2	9,3	6,8	8,5	
18.134	1,1	3,3	4,4	6,8	8,6	8,5	12,8	9,3	7,2	4,8	3,3	4,0	Lộc Thuận
19.624	0,8	2,8	3,8	6,0	7,7	7,8	12,0	8,6	6,6	4,2	2,9	3,4	
20.369	0,6	2,5	3,5	5,6	7,2	7,3	11,6	8,2	6,3	4,0	2,7	3,2	
27.900	0,3	1,9	1,3	2,7	3,5	3,8	7,8	4,9	3,6	2,8	2,2	2,7	
28.541	0,2	1,5	1,1	2,5	3,2	3,5	7,5	4,6	3,4	2,2	1,4	1,9	

Khoảng Cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
29.183	0,2	0,9	1,0	2,3	3,0	3,3	7,2	4,4	3,3	1,8	1,0	1,4	
29.824	0,2	0,7	0,9	2,2	2,8	3,1	6,9	4,2	3,1	1,6	0,8	1,1	
30.423	0,2	0,6	0,9	2,1	2,6	2,9	6,7	4,0	3,0	1,4	0,7	0,9	
31.022	0,2	0,5	0,8	1,9	2,5	2,8	6,4	3,8	2,8	1,2	0,6	0,7	
32.220	0,1	0,4	0,7	1,7	2,2	2,4	6,0	3,4	2,5	1,0	0,5	0,5	
32.820	0,1	0,3	0,6	1,6	2,1	2,3	5,7	3,2	2,4	0,8	0,4	0,4	
34.018	0,1	0,3	0,5	1,5	1,9	2,1	5,5	3,0	2,2	0,6	0,3	0,3	
35.488	0,1	0,2	0,4	1,2	1,6	1,8	5,0	2,7	1,9	0,5	0,3	0,3	
36.223	0,1	0,2	0,4	1,1	1,5	1,7	4,7	2,5	1,8	0,4	0,3	0,2	
36.958	0,1	0,2	0,3	1,0	1,4	1,6	4,5	2,3	1,6	0,3	0,3	0,1	

(2). *Diễn biến nước ngọt dọc sông Hàm Luông:*

Kết quả tính toán độ mặn thấp nhất theo từng thời đoạn dọc sông Hàm Luông phương án năm 2030 trình bày trong Bảng 28.

Kết quả cho thấy: đầu tháng 2 nước ngọt cách biển 35km; cuối tháng 3 và giữa, đầu tháng 4 là thời kỳ nước ngọt rút lui sâu nhất, cách biển 49km; cuối tháng 4, tháng 5 nước ngọt cách biển khoảng 40km. Tại Mỹ Hóa không có nước ngọt trong khoảng thời gian từ cuối tháng 3 đến giữa tháng 4.

Bảng 28. Độ mặn thấp nhất dọc sông Hàm Luông - PA 2030

Khoảng Cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
0	12,1	8,8	13,6	11,1	13,9	14,4	13,7	14,6	12,8	12,2	9,9	9,9	
10.167	7,6	6,6	11,0	9,5	12,2	13,7	11,9	12,5	10,0	9,4	9,0	8,8	An Thuận
20.098	4,1	3,7	7,7	6,4	7,8	8,8	8,1	7,7	5,4	5,4	5,2	5,8	Sơn Đốc
33.500	0,6	0,8	1,5	1,0	1,2	1,2	1,3	0,9	0,6	0,6	0,6	1,1	
34.150	0,5	0,7	1,3	0,9	1,0	1,1	1,2	0,8	0,6	0,5	0,6	1,0	
35.450	0,3	0,5	1,0	0,6	0,8	0,9	1,0	0,7	0,5	0,4	0,4	0,8	

Khoảng Cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
36.100	0,2	0,4	0,8	0,5	0,7	0,9	0,9	0,7	0,5	0,4	0,4	0,7	
37.400	0,1	0,4	0,6	0,4	0,6	0,8	0,8	0,6	0,4	0,4	0,4	0,6	
38.050	0,1	0,3	0,6	0,4	0,5	0,8	0,8	0,6	0,4	0,3	0,4	0,6	
39.350	0,1	0,2	0,5	0,3	0,4	0,7	0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,5	
40.000	0,1	0,1	0,5	0,3	0,4	0,6	0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,4	
41.250	0,0	0,1	0,3	0,2	0,3	0,5	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	
42.000	0,0	0,1	0,3	0,1	0,3	0,5	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	
43.500	0,0	0,1	0,2	0,1	0,3	0,5	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	
44.250	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2	0,5	0,6	0,4	0,3	0,1	0,2	0,3	
45.000	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2	0,5	0,6	0,4	0,3	0,1	0,2	0,3	Mỹ Hóa
46.500	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2	0,5	0,6	0,4	0,2	0,1	0,2	0,2	
47.125	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2	0,5	0,5	0,4	0,2	0,1	0,2	0,2	
48.375	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4	0,5	0,4	0,2	0,1	0,2	0,2	
49.000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	
50.250	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	
51.500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
52.000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
53.500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
54.250	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
55.000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	

(3). *Diễn biến nước ngọt dọc sông Cổ Chiên:*

Độ mặn thấp nhất theo từng thời đoạn dọc sông Cổ Chiên PA 2030 được trình bày trong Bảng 29.

Kết quả cho thấy: đầu tháng 2 nước ngọt cách biển 29 km (qua Trà Vinh), cuối tháng 2 là 36 km, tháng 3 nước ngọt nằm cách biển 35÷38km; nước ngọt rút lui sâu nhất vào giữa tháng 4, cách biển 39 km; giữa và cuối tháng 5 nước ngọt cách biển 26 km. Tại Trà Vinh, thời gian không có nước ngọt kéo dài từ đầu tháng 2 cho tới cuối tháng 4.

Bảng 29. Độ mặn thấp nhất sông Cỏ Chiên – PA 2030

Khoảng Cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
0	4,7	4,5	13,5	11,2	11,4	10,1	9,4	12,5	8,0	8,4	5,3	7,4	
17.000	0,8	1,7	3,0	2,5	2,5	2,1	2,5	3,6	3,2	3,1	3,1	2,8	Hung Mỹ
18.500	0,7	1,4	2,2	1,9	2,1	1,9	2,2	3,2	2,9	2,9	2,1	2,1	
19.250	0,6	1,3	2,0	1,6	1,9	1,7	1,7	3,0	2,2	2,5	1,6	1,9	
20.000	0,5	1,2	1,7	1,4	1,8	1,5	1,4	2,9	1,8	2,1	1,3	1,8	
21.500	0,5	1,0	1,3	1,2	1,6	1,3	1,1	2,7	1,5	1,8	1,1	1,5	
22.250	0,5	0,9	1,1	1,1	1,5	1,2	1,0	2,6	1,3	1,5	0,9	1,3	
23.000	0,4	0,9	1,0	1,0	1,4	1,1	1,0	2,5	1,1	1,2	0,7	1,1	
24.083	0,4	0,8	0,9	0,9	1,2	1,1	0,9	1,9	0,9	1,0	0,7	1,0	
25.250	0,4	0,8	0,8	0,7	1,0	1,0	0,9	1,8	0,7	0,8	0,6	0,9	
26.417	0,4	0,8	0,7	0,7	0,9	1,0	0,9	1,7	0,5	0,6	0,5	0,3	
27.000	0,4	0,7	0,7	0,6	0,8	0,9	0,8	1,5	0,4	0,4	0,3	0,3	
28.500	0,4	0,7	0,6	0,6	0,7	0,9	0,8	1,4	0,3	0,3	0,3	0,3	Trà Vinh
29.250	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	1,2	0,3	0,3	0,3	0,3	
30.000	0,2	0,3	0,5	0,6	0,5	0,7	0,7	1,1	0,3	0,3	0,3	0,3	
31.371	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	0,6	1,0	0,3	0,3	0,3	0,3	
32.057	0,1	0,3	0,4	0,5	0,4	0,6	0,5	0,9	0,3	0,3	0,3	0,2	
33.182	0,1	0,2	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,8	0,3	0,3	0,3	0,2	
34.061	0,1	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	
35.250	0,0	0,2	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	
36.000	0,0	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,2	0,2	0,2	0,2	
37.125	0,0	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	
38.375	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	
39.000	0,0	0,0	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	
40.000	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0	
41.000	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	

(4). Diễn biến nước ngọt dọc sông sông Hậu:

Cửa Định An: Bảng 30 trình bày kết quả tính toán độ mặn thấp nhất dọc nhánh Định An, sông Hậu.

Kết quả cho thấy: đầu tháng 2 nước ngọt cách biển 31 km, cuối tháng 2 nước ngọt cách biển 35km; từ cuối tháng 3 đến nửa đầu tháng 4, nước ngọt rút lui sâu nhất, cách biển 44km; giữa tháng 5 nước ngọt cách biển 35km.

Bảng 30. Độ mặn thấp nhất cửa Định An – PA 2030

Khoảng Cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			Trạm Đo
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
0	4,4	5,9	9,0	11,3	12,9	13,3	16,1	16,7	14,8	15,0	13,6	15,2	
7.500	2,0	2,8	5,3	7,7	8,5	8,1	11,1	11,3	10,4	9,7	8,1	9,0	Trà Kha
29.375	0,4	0,4	0,7	1,7	2,1	1,9	2,7	2,5	2,4	1,8	0,9	1,1	
30.000	0,4	0,4	0,7	1,6	2,1	1,8	2,5	2,4	2,2	1,7	0,9	1,0	
31.200	0,3	0,4	0,5	1,4	1,7	1,5	2,2	2,1	2,0	1,4	0,7	0,8	
32.400	0,3	0,4	0,4	1,2	1,5	1,3	1,9	1,8	1,7	1,2	0,6	0,7	Cầu Quan
33.150	0,3	0,3	0,4	1,1	1,4	1,2	1,7	1,6	1,5	1,1	0,5	0,6	
34.650	0,3	0,3	0,4	0,9	1,2	1,0	1,4	1,3	1,2	0,8	0,3	0,4	
35.400	0,2	0,3	0,3	0,8	1,1	0,8	1,2	1,2	1,1	0,7	0,3	0,3	
36.400	0,2	0,2	0,3	0,7	1,0	0,7	1,0	1,0	0,9	0,6	0,2	0,3	
37.400	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	0,6	0,9	0,8	0,8	0,4	0,2	0,2	
38.100	0,1	0,2	0,2	0,4	0,7	0,6	0,8	0,7	0,7	0,4	0,1	0,1	
39.500	0,1	0,2	0,2	0,3	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5	0,3	0,1	0,1	
40.200	0,1	0,1	0,1	0,3	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,2	0,1	0,1	
41.200	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,3	0,2	0,0	0,0	
42.200	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,1	0,0	0,0	
43.200	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	
44.300	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	
45.400	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0	An Lạc Tây
46.150	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	

Cửa Trần Đề: kết quả tính toán độ mặn thấp nhất theo từng thời đoạn dọc cửa Trần Đề phương án PA2030 trình bày trong Bảng 31.

Kết quả cho thấy: đầu tháng 2 nước ngọt cách biển 21 km, cuối tháng 2 là 29 km; giữa tháng 3 tới đầu tháng 4 không có nước ngọt tại nhánh sông Trần Đề; cuối tháng 4, đầu tháng 5 nước ngọt xuất hiện trở lại; giữa và cuối tháng 5 nước ngọt tiến ra biển, vượt quá Đại Ngãi, cách biển 30 km. Tại Đại Ngãi không có nước ngọt trong khoảng thời gian từ đầu tháng 3 tới đầu tháng 5.

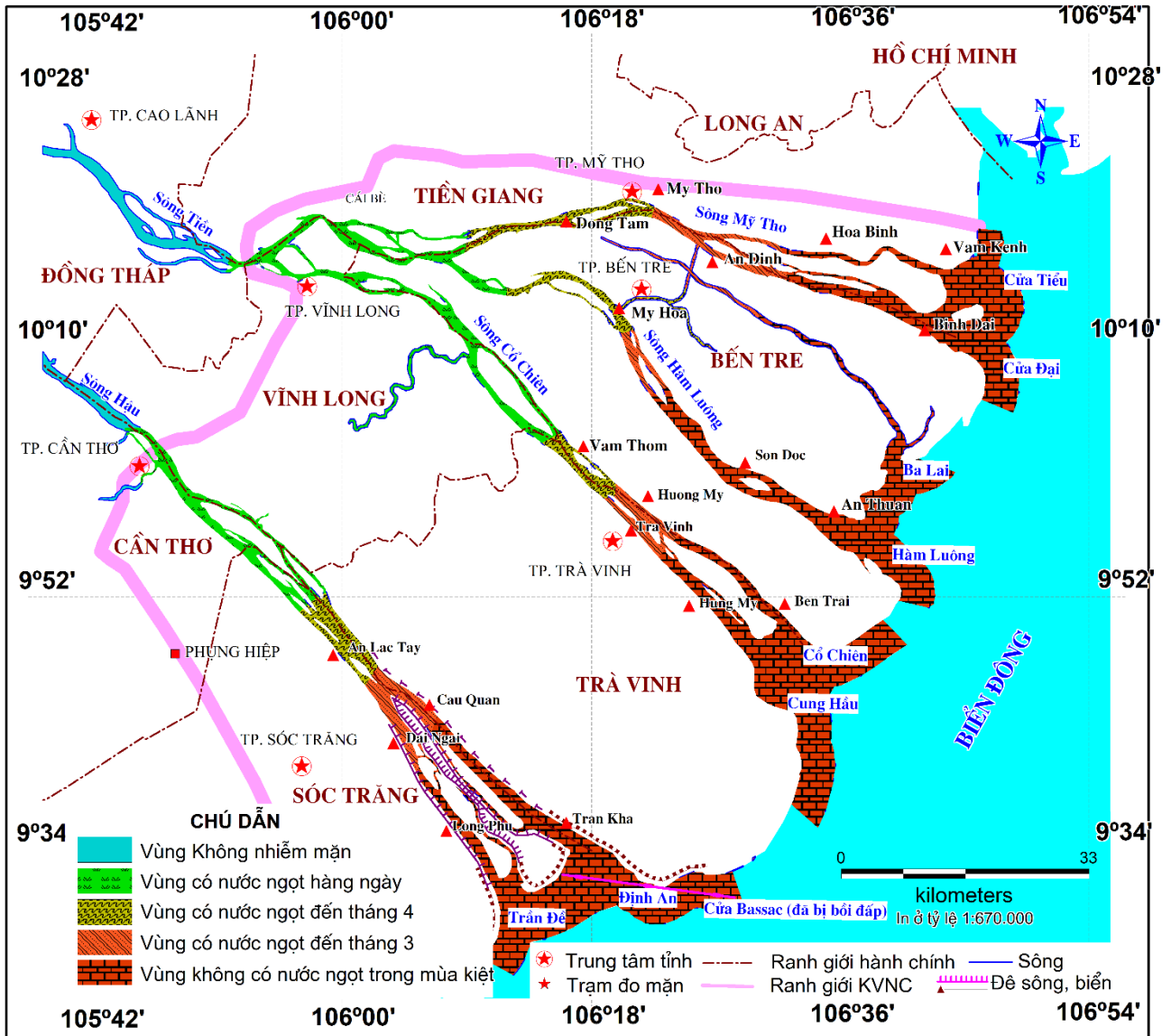
Bảng 31. Độ mặn thấp nhất cửa Trần Đề - PA 2030

Khoảng Cách (m)	Tháng 2			Tháng 3			Tháng 4			Tháng 5			Trạm đo
	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	Đầu	Giữa	Cuối	
0	6,3	8,7	8,8	12,9	15,5	12,4	14,6	16,4	16,1	17,1	16,7	15,1	
15.400	0,6	0,9	1,4	2,9	3,2	3,0	4,3	4,0	4,0	2,9	1,9	2,2	Long Phú
21.000	0,3	0,4	0,7	1,8	2,0	1,8	2,8	2,4	2,9	1,7	0,9	1,2	
21.625	0,2	0,3	0,7	1,7	1,9	1,7	2,7	2,3	2,4	1,6	0,8	1,1	
22.250	0,2	0,3	0,6	1,6	1,9	1,6	2,6	2,2	2,0	1,5	0,8	1,0	
23.500	0,2	0,3	0,5	1,4	1,7	1,4	2,3	1,9	1,6	1,3	0,7	0,9	
24.125	0,2	0,2	0,5	1,3	1,6	1,4	2,2	1,8	1,4	1,2	0,6	0,8	
25.375	0,2	0,2	0,5	1,3	1,5	1,3	2,0	1,7	1,2	1,1	0,5	0,8	
26.000	0,1	0,2	0,4	1,2	1,5	1,2	1,9	1,6	1,1	1,1	0,5	0,7	
27.251	0,1	0,2	0,4	1,1	1,4	1,1	1,7	1,5	0,9	0,9	0,4	0,6	
28.501	0,1	0,1	0,3	0,9	1,3	0,9	1,5	1,4	0,8	0,8	0,4	0,5	
29.126	0,1	0,1	0,3	0,9	1,2	0,9	1,5	1,3	0,7	0,8	0,3	0,5	
30.405	0,1	0,1	0,2	0,7	1,0	0,7	1,2	1,1	0,6	0,6	0,2	0,3	Đại Ngãi
31.059	0,1	0,1	0,2	0,6	1,0	0,7	1,1	1,0	0,5	0,6	0,2	0,3	
32.367	0,0	0,1	0,1	0,5	0,8	0,6	0,9	0,8	0,4	0,5	0,2	0,2	
33.020	0,0	0,0	0,1	0,5	0,8	0,5	0,8	0,7	0,4	0,4	0,1	0,2	
34.402	0,0	0,0	0,1	0,3	0,6	0,4	0,6	0,5	0,3	0,3	0,1	0,1	
35.130	0,0	0,0	0,1	0,3	0,6	0,3	0,5	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	

3.4.3 Xây dựng bản đồ phân bố nước ngọt năm 2030

Kết quả tính toán phân vùng nước ngọt năm năm 2030 cho khu vực nghiên cứu được minh họa trong hình 26.

Kết quả cho thấy: tới năm 2030 dưới tác động của các kịch bản khai thác thượng lưu và NBD: ranh giới nhiễm mặn (FWA) lui rất sâu và nội địa, cách biển 95 km ở sông Hậu và 119km trên sông Tiền, sâu hơn 33÷39km so với hiện trạng 2005. Tuy nhiên, ranh giới FWD rút lui ít hơn nhiều, 2÷11km tùy từng cửa sông. FWD trên với sông Tiền vượt qua Mỹ Tho tới vị trí 60 km, Hàm Luông là 52 km, Cổ Chiên là 40 km, sông Hậu là 43km. FW3 vào sâu hơn khoảng 3-5km, đều trên các cửa sông.



Hình 26. Bản đồ phân bố nước ngọt phương án PA 2030

TIỂU KẾT CHƯƠNG 3

Chương 3 đã trình bày kết quả phân tích các đặc điểm phân bố nước ngọt VCS Cửu Long; đặc điểm dòng chảy thượng lưu và xu thế biến đổi; đặc điểm truyền triều, xu thế nước biển dâng và những thay đổi XNM ở VCS.

Đặc điểm phân bố nước ngọt theo thời gian với các đặc trưng FWE, FWS, NFW, DWF tại trạm Trà Vinh đã được làm rõ. Các đặc trưng trung bình cho thấy việc khai thác nước ngọt tại đây là khá thuận lợi. Tuy nhiên, các đặc trưng nước ngọt lại biến động mạnh trong những năm cực hạn. Điều này cho thấy sự thiếu ổn định của nước ngọt VCS.

Đã xây dựng được các bản đồ phân bố nước ngọt VCS Cửu Long trong quá khứ, và dự báo tới năm 2030. Theo đó, tới năm 2030, mặc dù ranh giới XNM sẽ tiến vào khá sâu (33÷39km) nhưng ranh giới có nước ngọt hàng ngày chỉ tiến vào thêm 2÷11km.

Đã phát hiện được sự phân lớp dòng chảy trong kỳ triều kém và triều chuyển tiếp của tháng kiệt nhất ở cửa sông Cổ Chiên. Dòng chảy phân tầng xuất hiện trong ngày triều kém khi tương quan dòng chảy W_T/W_S còn khoảng 1,6. Trong ngày triều chuyển tiếp (W_T/W_S khoảng 2,1), sự phân tầng dòng chảy xuất hiện trong các pha triều có lưu tốc lớn (sườn lên, sườn xuống). Trong những thời kỳ khác, khi dòng chảy sông tăng cao, tỷ số W_T/W_S giảm thấp, sự phân tầng dòng chảy có thể xuất hiện nhiều hơn. Đó là đặc điểm cần lưu ý trong khai thác nước ngọt ở VCS.

Dòng chảy phía thượng lưu đang có những biến động mạnh. Dòng chảy năm và dòng chảy mùa lũ có xu thế giảm mạnh, còn dòng chảy mùa kiệt có xu thế tăng nhẹ. Tại Kratie dòng chảy các tháng mùa kiệt đều tăng lên. Tháng kiệt nhất đã dịch chuyển từ tháng 4 sang tháng 2. Khác với Kratie, về tới Tân Châu, dòng chảy các tháng đầu mùa kiệt có xu thế giảm cho tới tháng 2. Từ tháng 3, dòng chảy kiệt mới có xu thế tăng. Tháng kiệt nhất đã dịch chuyển từ tháng 4 sang tháng 3. Sự khác biệt này là do tác động của biển hồ Tonle Sap.

Luận án đã xây dựng mối quan hệ giữa dòng chảy qua Tân Châu và các đặc trưng nước ngọt VCS. Theo đó các đặc trưng FWE, FWS, NFW, DFW có quan hệ

với lưu lượng trung bình tháng tại Tân Châu. Từ các quan hệ và xu thế dòng chảy tại Tân Châu cho thấy mặc dù xu thế FWE sẽ tiếp tục sớm hơn gây bất lợi cho khai thác nguồn nước, nhưng FWS cũng đến sớm hơn, NFW nhiều hơn, DFW ngắn hơn làm cho việc khai thác nước ngọt trở nên thuận lợi hơn.

Biến động dòng chảy thượng lưu, đặc biệt là sự dịch chuyển của tháng kiệt nhất đã tác động mạnh đến XNM trên sông chính. Đỉnh mặn đã xuất hiện sớm hơn 2 tháng so với trước đây (từ tháng 4, dịch chuyển lên tháng 2). Giá trị độ mặn cao nhất cũng có xu hướng tăng lên.

Chương 4 ỨNG DỤNG KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP KHAI THÁC NƯỚC NGỌT VÙNG CỬA SÔNG CỬU LONG

4.1 Kỹ thuật khai thác nước ngọt vùng cửa sông

4.1.1 Đặt vấn đề

Kết quả nghiên cứu của luận án đã cho biết các đặc điểm phân bố nước ngọt ở VCS. Theo đó, tại vùng nghiên cứu, nước ngọt biến động liên tục theo thời gian và không gian. Sự biến động đó gây khó khăn cho việc khai thác nguồn nước với yêu cầu CLN ổn định. Để khai thác nước ngọt phục vụ cho các nhu cầu thiết yếu, người dân VCS đã biết tận dụng các thời điểm có nước ngọt. Tuy nhiên, việc khai thác nước ngọt VCS sẽ gặp phải một số hạn chế nhất định đòi hỏi phải có giải pháp để khắc phục. Do thiếu các công cụ để dự báo thời điểm có nước ngọt, nên người dân chỉ dựa vào kinh nghiệm. Điều đó làm cho việc khai thác trở nên bị động, và nhiều khi thu được lượng nước không đảm bảo chất lượng.

Nước ngọt thường xuất hiện trong thời gian rất ngắn, và có thể ở mực nước rất thấp, đòi hỏi phải có kỹ thuật khai thác mới có thể thu được khối lượng nước đáp ứng nhu cầu. Ngoài ra, có một thời gian dài (tùy thuộc vào vị trí khai thác) không có nước ngọt, đòi hỏi phải có giải pháp tích trữ đủ lượng nước đáp ứng nhu cầu sử dụng trong thời kỳ này. Các đề xuất tiếp theo sẽ tập trung vào khắc phục các hạn chế nêu trên.

4.1.2 Thiết bị thu/ chứa nước ngọt áp dụng cho quy mô hộ gia đình hoặc trạm cấp nước quy mô nhỏ và quy trình vận hành thiết bị.

4.1.2.1 Mục đích, yêu cầu của thiết bị

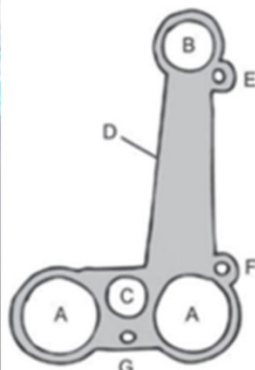
Mục đích của thiết bị là để thu nước ngọt trên sông trong thời điểm có nước ngọt và chứa nước nhằm sử dụng thường xuyên cho mục đích cụ thể như: sinh hoạt, sản xuất thiết yếu,...

Yêu cầu của thiết bị là có thể thu đủ lượng nước ngọt đủ đáp ứng yêu cầu trong thời gian ngắn; không phụ thuộc vào mức nước ở thời điểm có nước ngọt; và không bị ảnh hưởng khi có dòng chảy phân tầng.

4.1.2.2 Phân thiết bị:

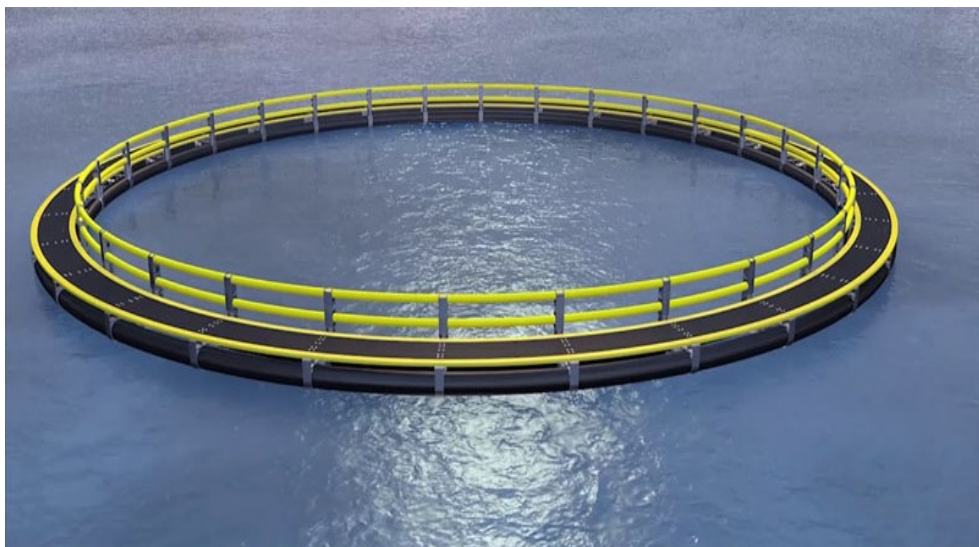
Thiết bị thu/chứa nước ngọt là một bể chứa nước có thể nổi trên mặt nước khi chứa nước. Có thể xếp gọn khi không chứa nước. Thiết bị có bố trí hệ thống phao nổi và quả nặng để điều khiển đánh chìm 1 phần khi thu nước và đẩy nổi khi lượng nước đã thu đủ. Cụ thể phân thiết bị bao gồm:

- Phao bè: là bộ phận chính, luôn nổi trên mặt nước, có thể tự di chuyển trên mặt nước hoặc sử dụng thiết bị lai đất, có thể neo đậu trên sông bằng hệ thống neo. Trên phao bè có bố trí sàn công tác để bố trí thiết bị và nhân công vận hành.



- A – Vị trí lắp ống phao chính
- B – Vị trí lắp ống lan can
- C – Vị trí lắp lối đi
- E – Vị trí dây lan can
- F – Vị trí dây kết nối túi chứa nước
- G – Vị trí kết nối quả nặng.

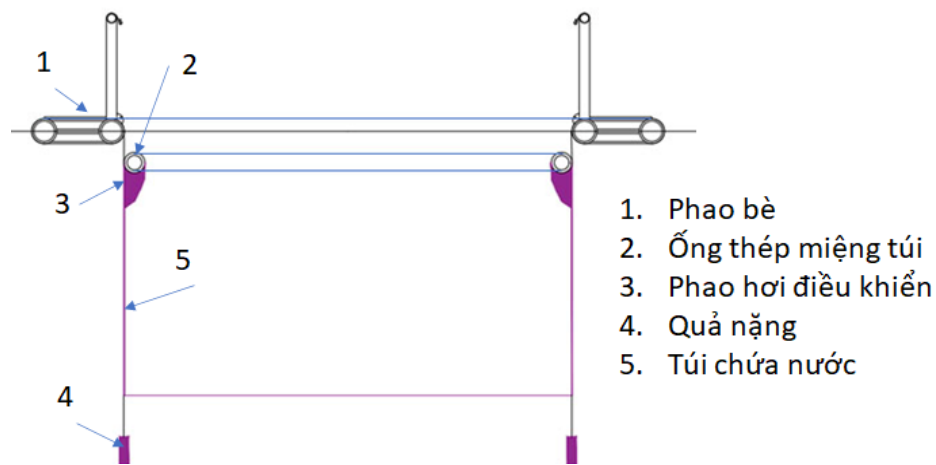
Hình 27. Thiết kế định hình phao bè và cụm ống



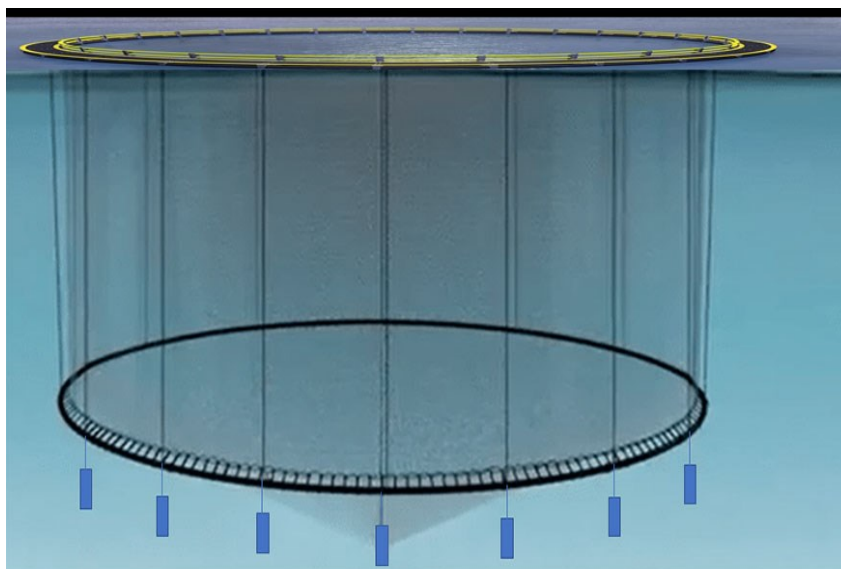
Hình 28. Hình ảnh phao bè nổi trên mặt nước.

Phao được chế tạo theo công nghệ chế tạo lồng bè cá bằng ống HDPE [4]. Các ống HDPE được lắp ghép thông qua các cùm ống tạo thành 1 hệ thống phao nổi, bao gồm cả sàn công tác và các bộ phận kết nối với các modul khác.

- Túi chứa nước: Bằng vật liệu mềm, cách nước; có thể xếp gọn khi không hoạt động; có thể tự đánh chìm một phần bởi trọng lượng của nó và các quả nặng gắn kèm; có thể điều khiển nâng lên bởi hệ thống phao hơi có điều khiển. Toàn bộ phần miệng túi chứa nước được đặt sát trong phao bè và được kết nối với phao bè qua khung định vị hoặc dây neo.



Hình 29. Thiết kế phần túi chứa nước



Hình 30. Hình ảnh hệ thống khi vận hành thu nước.

Miệng túi được gắn với ống thép tròn cùng phao hơi để điều khiển nâng – hạ khi vận hành thu nước. Trọng lượng ống thép giúp đánh chìm 1 phần túi chứa nước khi hạ xuống. Phao hơi giúp nâng túi lên mặt nước khi nước ngọt được thu hoạch.

Đáy túi có bố trí bộ phận kết nối với quả nặng để đánh chìm đáy túi khi vận hành thu nước. Quả nặng có thể bằng thép, beton, hoặc túi lưới chứa đá sỏi,... Dây đeo quả nặng được kết nối trực tiếp vào cụm ống phao bè và đáy túi chứa nước.

- Thiết bị quan trắc CLN: quan trắc độ mặn và các chỉ tiêu khác phù hợp yêu cầu khai thác theo thời gian thực;

- Hệ thống điều khiển gồm: Thiết bị điều khiển quả nặng và hạ khung túi chứa nước. Bơm điều khiển phao hơi.

- Hệ thống neo để giữ cố định, chống trôi phao bè và túi chứa nước.

- Thiết bị lai dắt: tàu kéo lai dắt hệ thống từ bờ ra vị trí khai thác và đưa vào bờ sau khi thu hoạch nước ngọt xong.

- Khu vực trú ẩn an toàn cho hệ thống khi không hoạt động.

4.1.2.3 Quy trình thu nước của thiết bị:

Quy trình thu nước ngọt trên sông được thực hiện theo các bước như sau:

Bước 1: chuẩn bị sẵn sàng thu nước.

- Di chuyển hệ thống ra vị trí thu nước trước khi có nước ngọt tại vị trí khai thác bằng tàu lai dắt;

- Lắp đặt neo, cố định hệ thống vào neo chống trôi. Lúc này toàn bộ phần túi chứa nước vẫn nằm trên mặt nước (Hình 31 (a));

- Quan trắc độ mặn tại vị trí khai thác.

Bước 2: tiến hành thu nước khi CLN đạt yêu cầu.

- Đánh chìm túi chứa nước cho tới khi miệng túi chứa nước (phần khung ống thép) đạt độ sâu khai thác (Hình 31 (b)). Lưu ý: độ sâu khai thác không nằm sâu quá lớp nước mặt ($0.2H$);

- Tiếp tục kiểm tra CLN tại điểm miệng túi chứa nước;

- Nếu CLN đạt yêu cầu, tiếp tục điều khiển thả các quả nặng để đánh chìm đáy túi chứa nước (Hình 31 I);

- Khi các quả nặng đạt tới độ sâu khai thác, tiến hành vận hành phao hơi điều khiển để nâng miệng túi chứa nước lên mặt nước (Hình 31 (d));

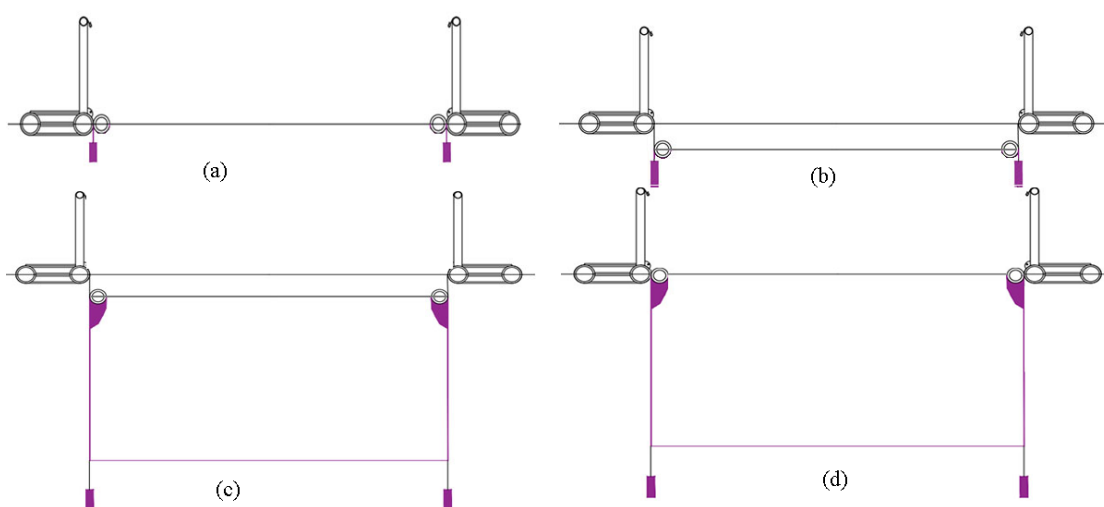
- Kiểm tra CLN thu được: nếu không đạt yêu cầu thì điều khiển tháo nước trong túi ra ngoài và lặp lại các bước thu nước. Nếu CLN thu được đạt yêu cầu thì tiến hành bước tiếp theo.

Bước 3: khai thác nước ngọt thu được.

- Di chuyển hệ thống về khu vực trú ẩn an toàn;

- Nếu vị trí cấp nước đặt tại nơi bố trí thiết bị: tiến hành khai thác nước ngọt trong hệ thống;

- Nếu vị trí cấp nước đặt tại khu vực hạ lưu: chờ tới thời điểm dòng triều rút tiến hành di chuyển hệ thống về vị trí cấp nước.



Hình 31. Điều khiển thu nước theo quy trình vận hành: (a) hệ thống ra vị trí sẵn sàng thu nước; (b) túi chứa nước được đánh chìm tới vị trí khai thác; (c) đáy túi chứa nước được đánh chìm xuống; (d) nâng miệng túi lên mặt nước bằng phao hơi.

4.1.3 Dự báo khả năng xuất hiện nước ngọt phục vụ khai thác

Công tác dự báo khả năng có nước ngọt có vai trò quan trọng trong việc khai thác nước ngọt ở VCS. Sử dụng mô hình toán đặc biệt là mô hình MIKE11 để dự báo

chế độ thủy văn, XNM ở khu vực nghiên cứu đã được nhiều đơn vị như: Đài Khí tượng thủy văn khu vực Nam bộ, Viện Khoa học thủy lợi miền Nam, Viện Địa lý tài nguyên Tp. HCM,... thực hiện và đã xây dựng thành quy trình dự báo với độ chính xác cao [121]. Đặc biệt, tại viện Khoa học Thủy lợi miền Nam thường xuyên cung cấp bản tin dự báo tuần để dự báo tình hình nguồn nước vùng ĐBSCL phục vụ chỉ đạo sản xuất và điều hành cấp nước [122].

Phương pháp số để dự báo quá trình nước ngọt là phương pháp hiện đại, có độ tin cậy cao. Tuy nhiên, việc áp dụng rộng rãi phương pháp này để dự báo còn gặp nhiều hạn chế. Do đó, nên việc áp dụng phương pháp số trong dự báo phân bố nước ngọt chỉ nên thực hiện cho các chu kỳ năm, tháng phục vụ cho việc lập kế hoạch khai thác nguồn nước và được thực hiện tại các đơn vị chuyên môn, nơi có các chuyên gia cho công tác này.

Để phục vụ khai thác nước ngọt, NCS xây dựng quy trình để hướng dẫn cho những người làm công tác trực tiếp khai thác nguồn nước sử dụng. Quy trình này dựa trên kết quả dự báo chu kỳ năm, tháng bằng phương pháp số, kết hợp với số liệu quan trắc độ mặn liên tục tại vị trí khai thác. Quy trình gồm các bước:

- Bước 1: Dựa vào kết quả dự báo chu kỳ tháng theo mô hình số để xác định ngày có khả năng xuất hiện nước ngọt và lên kế hoạch khai thác;
- Bước 2: Xác định khả năng có nước ngọt trong ngày dự kiến khai thác. Dựa vào kế hoạch khai thác nước ngọt theo từng ngày trong tháng và kết quả quan trắc độ mặn, khả năng có nước ngọt xác định theo Bảng 32.
- Bước 3: Xác định giờ có nước ngọt: dựa vào số liệu quan trắc mặn ở ngày trước đó và số liệu quan trắc độ mặn theo thời gian thực, giờ có nước ngọt xác định theo Bảng 33.

Bảng 32. Hướng dẫn xác định ngày có khả năng xuất hiện nước ngọt

Ngày T-1	Ngày T	Ngày T+1	Ghi chú
$S_{\min T-1} > S_{\text{ngưỡng}}$	$S_{\min T-1} < S_{\min T}$	Không có ngọt	Xu thế S_{\min} tăng
$S_{\min T-1} > S_{\text{ngưỡng}}$	$S_{\min T-1} > S_{\min T}$ $> S_{\text{ngưỡng}}$	Có thể có ngọt	Xu thế S_{\min} đang giảm nên có thể có nước ngọt
	$S_{\min T} < S_{\text{ngưỡng}}$	Có thể có ngọt	Đang ở đợt ngọt
Ghi chú: <ul style="list-style-type: none"> - S_{\min}: độ mặn thấp nhất - $S_{\text{ngưỡng}}$: độ mặn ở giới hạn nước ngọt (0.3‰ cho nước sinh hoạt và 0.5‰ cho nhu cầu nước ngọt khác) - Ngày T-1, T, T+1: ngày trước đó, ngày hiện tại và ngày mai. 			

Bảng 33. Hướng dẫn xác định giờ có khả năng có nước ngọt

Ngày T-1	Dự báo ngày T	Độ mặn quan trắc	Giờ có nước ngọt
$S_{\min T-1} > S_{\text{ngưỡng}}$	Có thể có ngọt	Đang xu thế giảm về giá trị ngưỡng nước ngọt.	Sau giờ xuất hiện $S_{\min T-1}$ 30÷60 phút
$S_{\min T-1} < S_{\text{ngưỡng}}$	Có thể có ngọt		Sau giờ có nước ngọt ngày T-1 30÷60 phút

4.2 Giải pháp cấp nước quy mô lớn và khả năng cấp nước của hồ chứa nước Láng Thè cho thành phố Trà Vinh

4.2.1 Giải pháp hồ chứa phục vụ cấp nước quy mô lớn

Sự hiện diện của nước ngọt trong VCS nơi chịu ảnh hưởng của xâm nhập mặn đã được làm rõ. Để có thể khai thác nguồn nước này cần có hồ chứa để sử dụng trong những thời gian không có nước ngọt. Hồ chứa có thể được đào mới hoặc tận dụng các vùng đất ngập nước tự nhiên hoặc nhân tạo nằm gần với nguồn cung cấp nước ngọt.

Các kết quả nghiên cứu của luận án có thể ứng dụng trong việc: xác định quy mô hồ để đáp ứng nhu cầu dùng nước; tìm kiếm giải pháp khai thác nguồn nước bổ sung cho hồ ở những thời kỳ có nước ngọt trong mùa kiệt; đánh giá khả năng cấp nước của hồ; ...

Có 3 kỹ thuật có thể giúp khai thác nguồn nước bổ sung cho hồ ở những thời kỳ có nước ngọt, gồm:

- Khai thác nước ngọt trực tiếp: sử dụng trạm bơm, hoặc thiết bị mà luận án đã đề cập. Hạn chế của kỹ thuật này là quy mô khai thác nhỏ.
- Khai thác nước ngọt gián tiếp: lấy nước thông qua 1 công trình trung gian, có thể là hồ chứa nhỏ hoặc là đoạn kênh dẫn. Nước ngọt khi xuất hiện trên sông được khai thác bằng hình thức tự chảy vào công trình trung gian, sau đó được chuyển sang hồ chứa chính.
- Điều tiết bổ sung: một hệ thống đường ống chuyển nước ngọt từ vùng thuận lợi hơn về bổ sung cho hồ. Một hệ thống hồ chứa nhỏ, cùng đường ống dọc theo sông chính được xây dựng nhằm mục đích cấp nước tại chỗ và bổ sung cho hạ lưu. Khu vực có nước ngọt hàng ngày được chọn làm điểm xuất phát cho hệ thống điều tiết bổ sung. Giải pháp này cũng đã được đề cập ở định hướng cấp nước liên vùng.

Trong nghiên cứu: *“Đánh giá khả năng khai thác nguồn nước mặt phục vụ cấp nước sinh hoạt tỉnh Trà Vinh – Đề xuất giải pháp cấp nguồn nước thô phục vụ sinh hoạt Thành phố Trà Vinh”* [73], NCS đã đề xuất giải pháp xây dựng hồ chứa nước Láng Thè phục vụ cấp nước cho Tp. Trà Vinh. Đề xuất này đã được UBND tỉnh Trà Vinh chấp thuận và hiện đang thực hiện các bước đầu tư xây dựng công trình.

Các phần tiếp theo NCS sẽ ứng dụng các kết quả nghiên cứu để phân tích, làm rõ hơn về khả năng cấp nước của công trình và tìm kiếm giải pháp khai thác nước ngọt bổ sung cho hồ.

4.2.2 Giới thiệu hồ chứa nước Láng Thè cấp nước cho thành phố Trà Vinh

4.2.2.1 Đoạn sông bỏ Láng Thè

Cửa sông Láng Thè cách vàm Trà Vinh khoảng 6,5 km về phía thượng lưu. Sông có chiều rộng bình quân từ 120 đến 200 m, cao trình đáy -8,00 ÷ -14,00 m. Khi xây dựng công đập Láng Thè trong hệ thống ngọt hóa Nam Măng Thít, hiện nay đã xây dựng đập ngăn ngang sông và đào một tuyến kênh mới với công điều tiết. Đoạn sông cũ đã trở thành một đoạn sông bỏ với chiều dài khoảng 2 km, chiều rộng bình quân từ 120m đến 200 m, cao trình đáy -8,00 đến -14,00 m, tổng diện tích mặt nước 36,92 ha. Vị trí đoạn sông nằm trên sông Láng Thè, cách bờ sông Cổ Chiên khoảng 2 – 3 km, thuộc địa phận xã Đại Phước, huyện Càng Long và xã Long Đức TP. Trà Vinh (Hình 32).



Hình 32. Vị trí đoạn sông bỏ Láng Thè

4.2.2.2 Mục đích của công trình

Mục đích: Cải tạo đoạn sông bỏ Láng Thè thành hồ sinh thái, điều tiết tích trữ nguồn nước ngọt cấp nước sinh hoạt cho TP. Trà Vinh.

Nhiệm vụ:

- Cung cấp nguồn nước sinh hoạt cho TP. Trà Vinh trong giai đoạn trước mắt với nhu cầu dùng nước 18.000 m³/ngày nhằm thay thế cho nguồn nước dưới đất hiện đang khai thác;

- Định hướng cung cấp nước cho TP. Trà Vinh theo quy hoạch đến năm 2025 với nhu cầu dùng nước 36.000 m³/ngày trên cơ sở lấy hồ Láng Thè làm công trình trung tâm;

- Tạo nên một hồ sinh thái với tiêu chí sạch, xanh làm khu du lịch, giải trí và nghỉ dưỡng cho TP. Trà Vinh.

4.2.2.3 Tóm tắt thiết kế hệ thống công trình

Hình 33 trình bày bố trí tổng thể hệ thống công trình, bao gồm:



Hình 33. Bản đồ bố trí tổng thể hệ thống công trình

- Hồ chứa nước: bao gồm
 - + Hồ trữ chính: 20,18ha; Dung tích toàn bộ: 1.766.000 m³, Dung tích hữu ích: 1.513.500 m³;
 - + Hồ lắng: 16,74 ha, dung tích toàn bộ: 1.409.500 m³, dung tích hữu ích: 1.255.500 m³.

- Hồ phụ lấy nước: 6ha, dung tích 300.000m³, hình thành từ lấy đất đắp đập.
- Hồ dự phòng: 11,9 ha, bãi vật liệu cũ.
- Các công trình hỗ trợ.
- Hệ thống SCADA: giám sát, thu thập và dự báo chế độ mặn, dòng chảy trên sông Cổ Chiên phục vụ vận hành hệ thống khai thác nguồn nước ngọt.

4.2.3 Đánh giá khả năng của công trình trong năm hạn mặn 2016 và giải pháp khai thác nguồn nước bổ sung

4.2.3.1 Mục đích đánh giá

- Xác định lượng nước cần khai thác tối thiểu để đáp ứng mục tiêu;
- Xác định khả năng của hồ theo từng kỹ thuật khai thác nguồn nước khác nhau (trực tiếp, gián tiếp, điều tiết bổ sung).

4.2.3.2 Phương pháp đánh giá

Việc đánh được thực hiện dựa trên phương trình cân bằng nước:

$$\Delta W = W_d - W_c = W_{\text{thấm}} + W_{\text{bốc hơi}} + W_{\text{dùng}} - P - W_{\text{bổ sung}}; \quad (1)$$

Trong đó:

W_d, W_c : lượng nước có ở đầu và cuối thời đoạn tính toán;

P : lượng mưa rơi xuống mặt hồ trong thời đoạn tính toán;

$$P = 10 \times X \times S_{\text{hồ}}; \quad (2)$$

X : lượng mưa rơi xuống mặt hồ theo tài liệu thực đo;

$W_{\text{thấm}}$: lượng tổn thất thấm trong thời đoạn tính toán;

$$W_{\text{thấm}} = 10 \times T \times S_{\text{hồ}}; \quad (3)$$

$T = 2$ mm/ngày đêm (lượng nước thấm);

$S_{\text{hồ}}$: diện tích mặt hồ (ha);

$W_{\text{bốc hơi}}$: lượng tổn thất do bốc hơi mặt thoáng;

$$W_{\text{bốc hơi}} = 10 \times E \times S_{\text{hồ}}; \quad (4)$$

E : lượng bốc hơi mặt thoáng theo tài liệu thực đo (mm);

$W_{\text{dùng}}$: lượng nước được lấy để sử dụng trong thời đoạn tính toán;

$W_{\text{bổ sung}}$: lượng nước được khai thác bổ sung trong thời đoạn tính toán.

Việc tính toán được thử dần để đảm bảo không có bất cứ thời điểm nào dung tích hồ xuống dưới dung tích chết.

4.2.3.3 Thông tin đánh giá

- Yêu cầu cấp nước: đáp ứng nhu cầu 18.000m³/ngày ở giai đoạn trước mắt và 36.000m³/ngày ở giai đoạn lâu dài.
- Quy mô công trình: tổng dung tích 3.265.500m³, được chia làm 2 hồ (hồ lắng và hồ trữ), dung tích chết: 496.500m³.
- Hồ phụ hình thành từ khai thác đất đắp đập có dung tích 300.000m³, đây là công trình có thể sử dụng để khai thác nước ngọt gián tiếp. Trong trường hợp này, hồ lấy nước cần được xử lý kỹ lưỡng để bảo vệ chống thấm. Trước mỗi thời kỳ nước ngọt xuất hiện, hồ sẽ được hạ xuống mức nước chết để tạo dung tích trống cho khai thác bổ sung. Giải pháp khai thác là tự chảy thông qua công trình điều khiển (cống). Khả năng khai thác bổ sung ở mỗi đợt có ngọt phụ thuộc vào quy mô cửa cống và dung tích hữu ích của hồ. Để hạn chế rủi ro do nước mặn thấm vào hồ, nên cân nhắc lựa chọn mức nước chết phù hợp, tương ứng với kỹ thuật chống thấm.
- Vị trí hồ: cách TP. Trà Vinh 6,5km về phía thượng lưu, cách ranh giới có nước ngọt hàng ngày 5km. Trong trường hợp điều tiết bổ sung, một hệ thống đường ống khoảng 5÷7km, bắt đầu từ ranh giới có nước ngọt hàng ngày sẽ bổ sung cấp nước liên tục cho hồ Láng Thè.
- Năm đánh giá: 2016 là năm hạn mặn điển hình ở ĐBSCL.

4.2.3.4 Trường hợp tính toán

Để kiểm tra khả năng của hệ thống và tìm kiếm giải pháp cấp nước bổ sung ở mỗi đợt có nước ngọt cho công trình, NCS đã thực hiện các bài toán như sau:

- Xác định lượng nước khai thác tối thiểu ở mỗi giờ có nước ngọt để đáp ứng nhu cầu 18.000m³/ngày và 36.000m³/ngày.

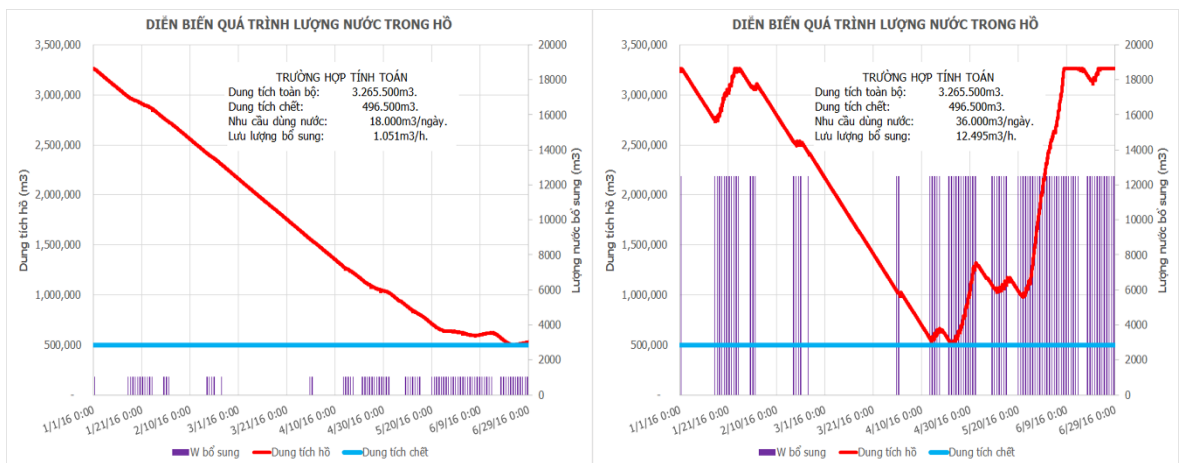
- Xác định khả năng tối đa mà hệ thống có thể đáp ứng nhu cầu dùng nước khi giải pháp khai thác bổ sung bằng trạm bơm với các mức $2.000\text{m}^3/\text{h}$ và $5.000\text{m}^3/\text{h}$.
- Xác định khả năng tối đa mà hệ thống có thể đáp ứng nhu cầu dùng nước khi giải pháp khai thác bổ sung là bằng hồ lấy nước. Sử dụng hồ phụ hình thành từ khai thác đất đắp đập làm hồ lấy nước. Tùy thuộc vào cửa lấy nước mà khả năng khai thác có thể đáp ứng, trong kịch bản thận trọng NCS chỉ tính toán khả năng ở các mức khai thác bổ sung: $10.000\text{m}^3/\text{h}$ và $20.000\text{m}^3/\text{h}$.
- Xác định khả năng tối đa mà hệ thống có thể đáp ứng nhu cầu dùng nước khi giải pháp khai thác bổ sung là bằng hồ lấy nước kết hợp chuyển nước bổ sung bằng đường ống từ khu vực có ngọt hàng ngày về hồ: ranh giới có nước ngọt hàng ngày trên sông Cỏ Chiên cách cửa vàm Láng Thè khoảng 5km về phía thượng lưu. Trong kịch bản đến năm 2030 ranh giới này tiếp tục tiến sâu hơn khoảng 2km. Một đường ống dài khoảng 5÷7km được đề xuất để chuyển nước bổ sung cho hồ Láng Thè. Trong thử nghiệm này NCS tính toán cho 2 trường hợp bơm bổ sung: 100l/s và 200l/s. Việc bổ sung bằng hồ chứa với lưu lượng 10.000m^3 cho 1 giờ có nước ngọt vẫn giữ nguyên.

4.2.3.5 Kết quả đánh giá

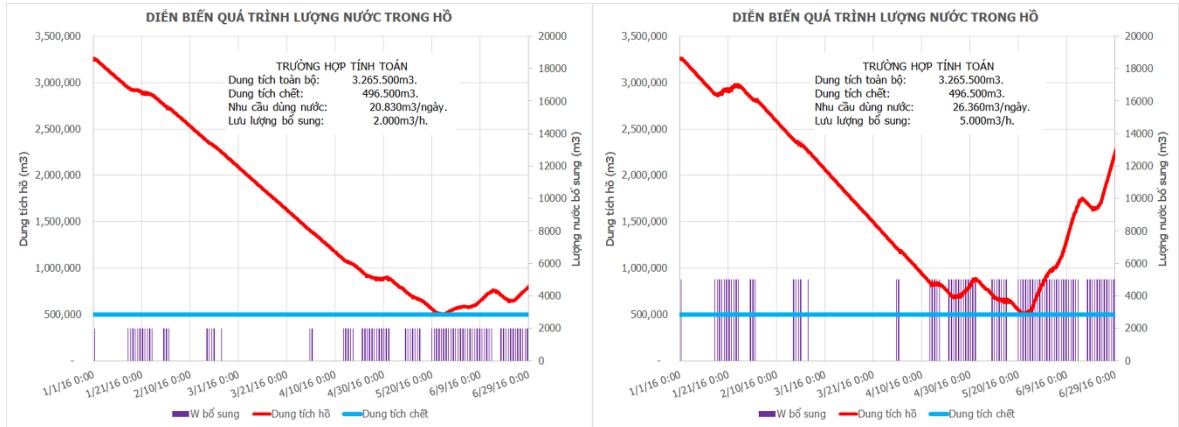
Bảng 34 trình bày kết quả tổng hợp các trường hợp tính toán. Hình 34 trình bày kết quả tính toán xác định yêu cầu lượng nước bổ sung tối thiểu cho mỗi giờ có nước ngọt. Hình 35 trình bày kết quả tính toán cho từng trường hợp khai thác bổ sung bằng giải pháp trạm bơm với quy mô $2.000\text{m}^3/\text{h}$ và $5.000\text{m}^3/\text{h}$. Hình 36 trình bày kết quả tính toán cho trường hợp bổ sung bằng hồ phụ lấy nước cho 2 trường hợp $10.000\text{m}^3/\text{h}$ và $20.000\text{m}^3/\text{h}$. Hình 37 trình bày kết quả tính toán cho trường hợp khai thác $10.000\text{m}^3/\text{h}$ cho mỗi lần có nước ngọt và kết hợp đường ống chuyển nước với quy mô 100l/s và 200l/s.

Bảng 34. Kết quả đánh giá yêu cầu lượng nước bổ sung và khả năng của hồ

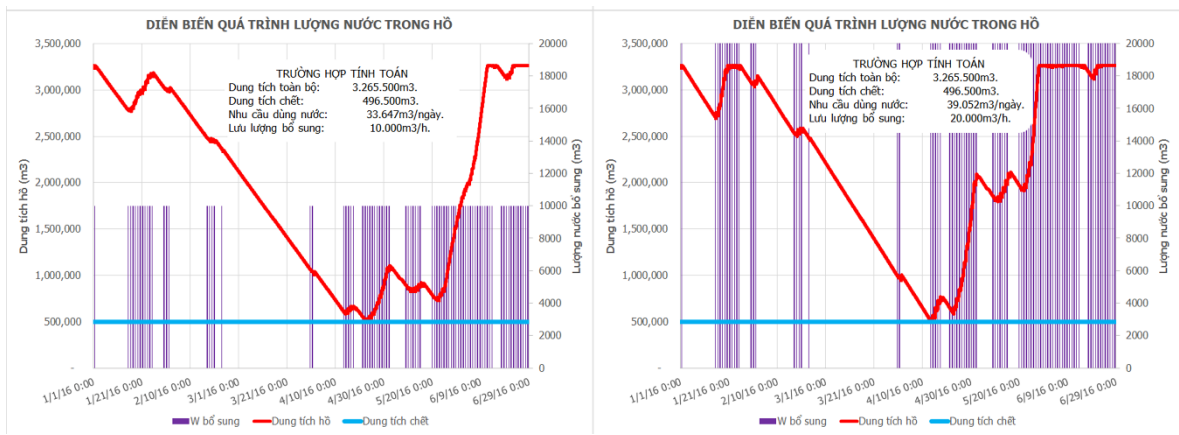
TT	Nhu cầu dùng nước (m ³ /ngày)	Giải pháp bổ sung		
		Trực tiếp (m ³ /h)	Gián tiếp (m ³ /h)	Điều tiết bổ sung (l/s)
Bài toán 1: xác định yêu cầu bổ sung				
1	18.000	1.051	0	0
2	36.000	0	12.495	0
Bài toán 2: đánh giá khả năng cấp nước của hồ				
3	20.830	2.000	0	0
4	26.360	5.000	0	0
5	33.647	0	10.000	0
6	39.052	0	20.000	0
Bài toán 3: đánh giá khả năng cấp nước của hồ khi có điều tiết bổ sung.				
7	42.195	0	10.000	100
8	50.900	0	10.000	200



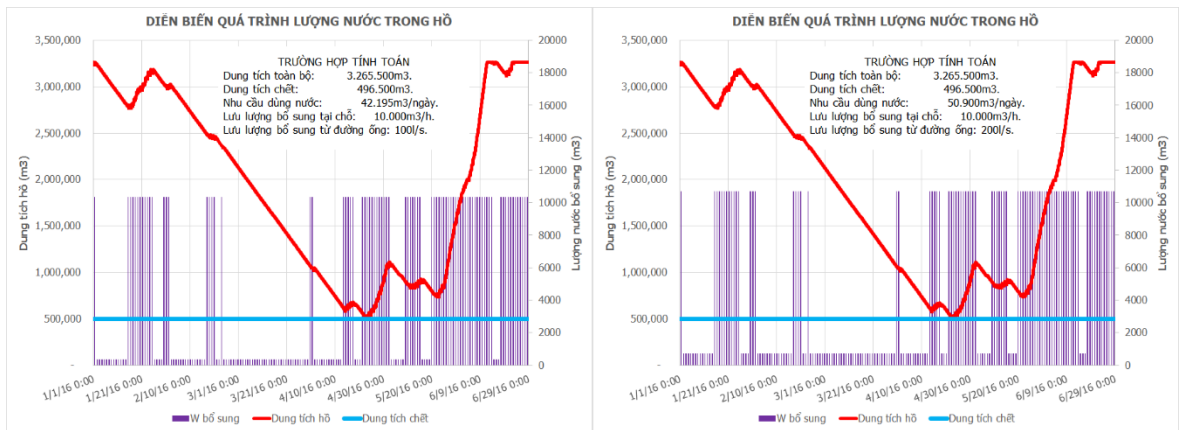
Hình 34. Kết quả tính toán xác định nhu cầu khai thác tối thiểu ở mỗi giờ có ngọt



Hình 35. Kết quả tính toán khả năng cấp nước với từng trường hợp bổ sung bằng trạm bơm



Hình 36. Kết quả tính toán khả năng cấp nước với từng trường hợp bổ sung bằng hồ phụ lấy nước



Hình 37. Kết quả tính toán khả năng cấp nước với từng trường hợp bổ sung bằng hồ phụ lấy nước kết hợp chuyển nước bổ sung

Kết quả cho thấy:

(1) Bài toán xác định yêu cầu lượng nước bổ sung:

Cần bổ sung 1.051m³/h trong những thời điểm có nước ngọt để đáp ứng nhu cầu 18.000m³/ngày. Lượng yêu cầu không quá lớn, giải pháp cấp nước trực tiếp bằng trạm bơm quy mô nhỏ có thể đáp ứng yêu cầu.

Cần bổ sung 12.495m³/h trong những thời điểm có nước ngọt để đáp ứng nhu cầu 36.000m³/ngày. Lượng yêu cầu tăng cao, giải pháp bổ sung gián tiếp bằng hồ chứa trung gian nên được sử dụng.

Trong hạn mặn 2016, công trình hồ Láng Thè vẫn có thể đáp ứng các mục tiêu đề ra.

(2) Bài toán xác định khả năng cấp nước:

Khả năng đáp ứng của hồ trong các trường hợp bổ sung 2.000m³/h và 5.000m³/h lần lượt là: 20.830 m³/ngày và 26.360m³/ngày. Mức gia tăng khả năng đáp ứng nhu cầu dùng nước chưa tương xứng với mức gia tăng quy mô bổ sung. Do đó, giải pháp bổ sung trực tiếp chỉ nên dừng lại ở quy mô nhỏ để đáp ứng cho yêu cầu cấp nước 18.000m³/ngày.

Khả năng đáp ứng của hồ trong các trường hợp bổ sung 10.000m³/h và 20.000m³/h lần lượt là: 33.647 m³/ngày và 39.052m³/ngày. Cũng tương tự như giải

pháp trực tiếp, các mức gia tăng quy mô bơm sung chưa tương xứng và khả năng đáp ứng nhu cầu. Do đó, giải pháp này cũng nên khai thác ở mức tối thiểu 10.000-15.000m³/h, nhằm đáp ứng nhu cầu 36.000m³/ngày.

Nhìn chung, bài toán khai thác nguồn nước tại chỗ ở những thời kỳ có nước ngọt nên giới hạn ở quy mô phù hợp, đáp ứng mục tiêu đã đặt ra. Trong trường hợp gia tăng thì chi phí sẽ tăng cao (trạm bơm) hoặc rủi ro do thấm cũng tăng lên (hồ lấy nước).

(3) Xác định khả năng cấp nước khi có điều tiết bơm sung:

Khả năng đáp ứng của hồ trong các trường hợp bơm sung 10.000m³/h trong mỗi lần có nước ngọt và bơm sung liên tục 100l/s, 200l/s lần lượt là 42.195m³/ngày và 50.900m³/ngày. Đây là giải pháp lâu dài có thể đáp ứng với các mức nhu cầu nước tăng cao.

Kết quả tính toán cho thấy hồ chứa Láng Thè vẫn có thể đáp ứng các mục tiêu đặt ra trong trường hợp hạn mặn 2016. Giải pháp cấp nước bơm sung theo từng giai đoạn được đề nghị là: (1) trạm bơm nhỏ khai thác trực tiếp cho mục tiêu trước mắt; (2) sử dụng hồ chứa trung gian hình thành từ hồ khai thác đất đắp đập cho mục tiêu lâu dài; (3) sử dụng giải pháp điều tiết bơm sung cho trường hợp nhu cầu nước tiếp tục gia tăng.

Bài toán phân tích cho hồ Láng Thè có thể được sử dụng cho các trường hợp khác dọc theo sông chính ở VCS Cửu Long. Dọc theo sông chính, xây dựng một hệ thống hồ chứa với quy mô đáp ứng cho từng khu vực. Một hệ thống đường ống vận chuyển nước thô được xây dựng để tạo thành 1 hệ thống liên hồ hoạt động điều tiết bơm sung cho nhau. Mỗi hồ chứa trong hệ thống sẽ đáp ứng nhiệm vụ cấp nước ở khu vực ảnh hưởng của mình và điều tiết bơm sung cho công trình kế tiếp. Tận dụng được việc khai thác tối đa nguồn nước mặt sẵn có, và khắc phục được tính thiếu ổn định của các đặc trưng nước ngọt.

TIỂU KẾT CHƯƠNG 4

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu, NCS đã đưa ra được các giải pháp khai thác nguồn nước ngọt trên sông phục vụ cung cấp nước cho các đối tượng sử dụng nước ngọt dọc sông chính, bao gồm:

(1) Các kỹ thuật phục vụ khai thác nguồn nước: thiết bị thu/chứa nước ngọt và quy trình sử dụng thiết bị ứng dụng cho quy mô hộ gia đình hoặc trạm cấp nước quy mô nhỏ; dự báo thời điểm có nước ngọt bằng phương pháp đơn giản đảm bảo người trực tiếp khai thác nguồn nước có thể áp dụng.

(2) Quy mô, khả năng và cách vận hành hồ Láng Thè đã được khẳng định thông qua tính toán từ bộ số liệu năm 2016. Các giải pháp khai thác nước ngọt để bổ sung cho công trình trong những thời gian có ngọt đã được phân tích. Theo đó, ở mức nhu cầu dùng nước thấp ($18.000\text{m}^3/\text{ngày}$) thì có thể sử dụng giải pháp trạm bơm nhỏ và/hoặc sử dụng thiết bị thu/chứa nước. Ở mức nhu cầu cao hơn ($36.000\text{m}^3/\text{ngày}$), cần sử dụng giải pháp hồ lấy nước với quy mô $10.000 \div 15.000\text{m}^3/\text{h}$. Khi nhu cầu tăng cao hơn, cần bổ sung thêm giải pháp chuyển nước từ thượng lưu xuống với chiều dài đường ống khoảng $5 \div 7\text{km}$. Các giải pháp đã đề cập có thể áp dụng cho các công trình khác dọc theo sông chính VCS Cửu Long.

KẾT LUẬN – KIẾN NGHỊ

1. KẾT LUẬN

(1) Luận án đã nhận dạng được các đặc điểm phân bố của nước ngọt ở VCS Cửu Long. Tại Trà Vinh, trong mùa mưa luôn có nước ngọt hàng ngày. Trung bình, ngày kết thúc mùa có nước ngọt vào đầu tháng 2 và ngày bắt đầu mùa có nước ngọt vào cuối tháng 5. Số giờ có nước ngọt trong các tháng mùa khô (2,3,4) là khá lớn. Số ngày không có nước ngọt dài nhất tại đây là 46 ngày. Với các giá trị trung bình việc khai thác nước ngọt tại đây là thuận lợi. Tuy nhiên, các đặc trưng nước ngọt thiếu tính ổn định. Đây là điểm cần lưu ý trong việc khai thác nước ngọt ở VCS.

Luận án đã xây dựng được các bản đồ phân bố nước ngọt VCS Cửu Long trong quá khứ, và dự báo năm 2030. Trên sông Cổ Chiên, ranh giới có nước ngọt hàng ngày vào sâu 45km cho năm hạn, 40km cho năm trung bình và 30km cho năm nhiều nước. Trong tháng 2, ranh giới có nước ngọt hàng ngày cách biển 25km cho năm hạn, 15km cho năm trung bình và nhiều nước. Tới năm 2030, mặc dù ranh giới nhiễm mặn tiến sâu thêm 33km, nhưng ranh giới có nước ngọt hàng ngày chỉ vào sâu thêm 2km.

Đã phát hiện có sự phân lớp dòng chảy ở sông Cổ Chiên. Sự phân lớp dòng chảy có thể xảy ra ở thời kỳ triều kém, triều chuyển tiếp trong mùa kiệt hoặc toàn thời gian trong mùa mưa. Đây là điểm cần lưu ý trong khai thác nước ngọt ở VCS.

(2) Luận án đã làm rõ được xu thế biến đổi dòng chảy mùa kiệt về hạ du sông Mekong (Kratie) và về Việt Nam (Tân Châu). Tại Kratie dòng chảy mùa kiệt đã tăng lên trong tất cả các tháng mùa kiệt, tháng có dòng chảy kiệt nhất đã dịch chuyển từ tháng 4 sang tháng 2. Về tới Tân Châu, do tác động của dòng chảy từ Biển Hồ Tonle Sap nên dòng chảy các tháng đầu mùa kiệt vẫn có xu hướng giảm. Dòng chảy kiệt tại Tân Châu tăng lên từ tháng 3. Tháng có dòng chảy kiệt nhất tại Tân Châu đã dịch chuyển từ tháng 4 sang tháng 3.

Sự suy giảm dòng chảy tại Tân Châu ở các tháng đầu mùa kiệt, đã tác động mạnh tới XNM ở VCS. Thời gian xuất hiện đỉnh mặn đã dịch chuyển sang tháng 2, thay vì tháng 4 như các nghiên cứu trước đây đã công bố.

(3) Mọi quan hệ giữa dòng chảy thượng lưu với các đặc trưng nước ngọt VCS đã được làm rõ. Theo đó, tuy ngày kết thúc mùa có nước ngọt đến sớm hơn, nhưng ngày bắt đầu mùa có nước ngọt cũng đến sớm hơn, số ngày không có nước ngọt dài nhất giảm xuống; thời gian có nước ngọt trong các tháng 3, 4 nhiều hơn. Do đó, việc khai thác nước ngọt theo quá trình nước ngọt cũng trở nên thuận lợi hơn.

(4) Luận án đã đề xuất được các giải pháp khai thác nước ngọt ở VCS. Thiết bị, cùng các kỹ thuật khai thác nguồn nước ngọt trong điều kiện thời gian có nước ngọt ngắn và mức nước khi có nước ngọt không ổn định đã được đề xuất. Giải pháp này có thể ứng dụng trực tiếp cho quy mô hộ gia đình hoặc trạm cấp nước nhỏ.

Luận án đã tính toán xác định quy mô, khả năng và kỹ thuật khai thác nguồn nước cho hồ chứa Láng Thè. Từ đó đưa ra được các giải pháp cấp nước bổ sung cho công trình. Giải pháp trạm bơm nhỏ được đề xuất để cấp nước bổ sung cho trường hợp nhu cầu nước như hiện trạng. Giải pháp hồ chứa phụ lấy nước được đề xuất để đáp ứng nhu cầu nước theo quy hoạch. Khi nhu cầu dùng nước tiếp tục tăng cao, giải pháp điều tiết bổ sung được đề xuất.

2. KIẾN NGHỊ

Luận án đã tính toán một cách định lượng, chính xác; đề nghị các cơ quan chức năng có thể sử dụng các kết quả nghiên cứu của luận án cho việc tính toán xác định biện pháp khai thác nước ngọt trên sông. Cụ thể là tính toán quy mô, khả năng khai thác và cách vận hành các hồ chứa tích trữ nước ngọt. Ứng dụng thiết bị thu/chứa nước ngọt và quy trình vận hành để khai thác nước ngọt cho quy mô hộ gia đình hay các trạm cấp nước quy mô nhỏ ở VCS.

Các đặc trưng của nước ngọt tại VCS thiếu tính ổn định, đặc biệt là ở các năm cực hạn. Do đó, ngoài giải pháp cấp nước liên vùng thì giải pháp cấp nước song song

có thể được sử dụng. Trong đó, nước mặt, nước mưa được ưu tiên khai thác tối đa. Trong những năm cực hạn, hoặc xảy ra sự cố nguồn nước thì NDD được sử dụng để bổ sung. Nguồn NDD sẽ được bảo vệ và tái tạo hàng năm.

Mặc dù luận án đã giải quyết được mục tiêu là xác định được các quy luật phân bố nước ngọt, dự báo diễn biến quá trình nước ngọt và đề xuất được các giải pháp khai thác nước ngọt ở VCS. Tuy nhiên, vấn đề nghiên cứu đặt ra là mới nên có nhiều vấn đề chưa giải quyết được trong phạm vi của một luận án tiến sĩ; Một số vấn đề cần tiếp tục được đầu tư nghiên cứu bổ sung trong thời gian tới, bao gồm:

- Cần tiếp tục điều tra diễn biến phân bố mặn trên mặt cắt dòng chảy tiếp tục khẳng định các quy luật cơ bản đã nêu và có những số liệu định lượng rõ ràng hơn.
- Tiếp tục phân tích các quy luật phân bố nước ngọt theo không gian và thời gian cho tất cả các cửa sông và các trạm quan trắc khác.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ

1. Phạm Thị Bích Thục, **Đặng Hoà Vĩnh**. “Đánh giá tác động của các yếu tố nguồn đến nước ngọt vùng hạ lưu sông Cửu Long”, Tạp chí Khí tượng thủy văn, 2016.
2. **Dang Hoa Vinh**, Tran Duc Dung, Pham Thi Bich Thuc, Dao Nguyen Khoi, Tran Ha Phuong, and Nguyen Trung Ninh. 2019. "Exploring Freshwater Regimes and Impact Factors in the Coastal Estuaries of the Vietnamese Mekong Delta" Water 11, no. 4: 782. <https://doi.org/10.3390/w11040782>.
3. **Dang Hoa Vinh**, Tran Duc Dung, Dao Dinh Cham, Phan Thi Thanh Hang, Nguyen Thanh Hung, Truong Van Hieu, Tran Ha Phuong, Duong Ba Man, Nguyen Trung Ninh, Le Van Kiem, Pham Thi Bich Thuc, and Nguyen Hai Au. 2020. "Assessment of Rainfall Distributions and Characteristics in Coastal Provinces of the Vietnamese Mekong Delta under Climate Change and ENSO Processes" Water 12, no. 6: 1555. <https://doi.org/10.3390/w12061555>

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cameron, W. M., and Pritchard, D. W., "Estuaries.," in *M. N. Hill (editor), The Sea vol. 2. John Wiley and Sons.*, New York, 1963, pp. 306-324.
- [2] B. B. Bhandari, What is happening to our freshwater resources?, Institute for Global Environmental Strategies, 2003.
- [3] Eric Wolanski Michael Elliott, *Estuarine Ecohydrology*, Amsterdam: Elsevier Science, 2015.
- [4] Kim, H. C.; Montagna, P. A. , "Implications of Colorado River Freshwater Inflow to Benthic Ecosystem Dynamics: A Modeling Study," *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* , p. 83: 491–504. doi:10.1016/j.ecss.2009.04.033, 2009.
- [5] McLusky D. S., Elliott M., *The Estuarine Ecosystem: Ecology, Threats and Management.*, New York: Oxford University Press, 2004.
- [6] Crossland, C. J., Kremer, H. H., Lindeboom, H. J., Marshall Crossland, J. I., & Le Tissier, M. D. A. (Eds.), *Coastal fluxes in the anthropocene.*, Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2005.
- [7] Montagna, P.A.; Kalke, R. D.; Ritter, C., "Effect of Restored Freshwater Inflow on Macrofauna and Meiofauna in Upper Rincon Bayou, Texas, USA," *Estuaries*, p. 25: 1436–1447. doi:10.1007/bf02692237, 2002.
- [8] P. J. Statham, "Nutrients in estuaries — An overview and the potential impacts of climate change," in *Science of The Total Environment*, Southampton, Elsevier, 15 September 2012, pp. 213-227.
- [9] P. Montagna, T. Palmer and J. Pollack, "Hydrological Changes and Estuarine Dynamics," *Springerbriefs in Environmental Science*, pp. 8: 94. doi:10.1007/978-1-4614-5833-3, 2013.

- [10] Kingdom of the Netherlands and The Socialist Republic of Vietnam, Mekong Delta Plan: Long-term vision and strategy for a safe, prosperous and sustainable delta, Ha Noi, 2013.
- [11] Stephen B.Olsen, Tiruponithura V.Padma, Brian D.Richter, MANAGING FRESHWATER INFLOWS TO ESTUARIES, Washington, DC : U.S. Agency for International Development , 2012.
- [12] N. S. Huy, Chế độ nước ĐBSCL và những biến động do biến đổi khí hậu – nước biển dâng, Hà Nội: Nhà xuất bản Nông Nghiệp, 2011.
- [13] Khang, N.D., A. Kotera, T. Sakamoto, and M. Yokozawa, "Sensitivity of salinity intrusion to sea level rise and river flow change in Vietnamese Mekong Delta—Impacts on availability of irrigation water for rice cropping.," *Journal of Agricultural Meteorology*, pp. 64: 167-176, 2008.
- [14] Wassmann, R.; N.X. Hien; C.T. Hoanh; and T.P. Tuong;, "Sea level rise affecting the Vietnamese Mekong Delta: Water elevation in the flood season and implications for rice production.," *Climatic Change*, vol. 66, pp. 89-107, 2004.
- [15] Tô Quang Toàn, Tăng Đức Thắng, Phạm Khắc Thuần , "Phân tích ảnh hưởng của các hồ đập thượng lưu đến thay đổi đỉnh lũ ở đồng bằng sông Cửu Long," *Tạp chí khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường* , vol. 52, 3/2016.
- [16] Tô Quang Toàn, Tăng Đức Thắng, "Nghiên cứu đánh giá thay đổi thủy văn dòng chảy về châu thổ Mekong qua chuỗi số liệu lịch sử từ 1924 đến nay," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, vol. 19, 2013.
- [17] Anh L. Nguyen, Vinh H. Dang, Roel H. Bosma, Johan A. J. Verreth, Rik Leemans & Sena S. De Silva, "Simulated Impacts of Climate Change on Current Farming Locations of Striped Catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*; Sauvage) in the Mekong Delta, Vietnam," *AMBIO A Journal of the Human Environment*, pp. 43: 1059-1068, 2014.

- [18] N. Q. Kim, Nghiên cứu giải pháp khai thác sử dụng hợp lý nguồn nước tương thích các kịch bản phát triển công trình ở thượng lưu để phòng chống hạn và xâm nhập mặn ở đồng bằng S. Cửu long, Đề tài KC08.11/06-1, 2009.
- [19] DHI, Nghiên cứu tác động của các công trình thủy điện trên dòng chính sông MêKong, Bộ Tài nguyên & Môi trường, Việt Nam., 2015.
- [20] Dongnan Li, Di Long, Jianshi Zhao, Hui Lu, Yang Hong, "Observed changes in flow regimes in the Mekong River basin," *Journal of Hydrology*, vol. 551, pp. 217-232, 2017.
- [21] Lauri, H.; de Moel, H.; Ward, P.J.; Räsänen, T.A.; Keskinen, M.; Kummu, M., "Future changes in Mekong River hydrology: impact of climate change and reservoir operation on discharge," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 16, p. 4603–4619, 2012.
- [22] Xing Li, J. Paul Liu, Yoshiki Saito, Van Lap Nguyen., "Recent evolution of the Mekong Delta and the impacts of dams," *Earth-Science Reviews*, vol. 175, pp. 1-17, 2017.
- [23] Phạm Thị Bích Thục, Đặng Hòa Vĩnh, Trần Thị Thu Hiền, Trịnh Thị Ngọc Oanh, Nguyễn Ngọc Ân, "Biến động chế độ nước vùng hạ du sông Sài Gòn - Đồng Nai giai đoạn (1980 -2012)," in *Tập báo cáo Hội nghị khoa học địa lý toàn quốc lần thứ 8, quyển 2*, 2014.
- [24] Bộ Tài nguyên & Môi trường, Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam., , 2020.
- [25] Nguyễn Ngọc Trân, "Điều tra cơ bản tổng hợp vùng ĐBSCL," 1983-1986; 1986-1990.
- [26] Lê Sâm, "Nghiên cứu xâm nhập mặn phục vụ phát triển kinh tế xã hội ĐBSCL," 2004.
- [27] L. H. Thuận, "Nghiên cứu cơ sở khoa học xác định nguyên nhân, đề xuất giải pháp ứng phó với xâm nhập mặn trong điều kiện biến đổi khí hậu ở vùng Đồng

- bằng sông Cửu Long (Mã số: BDKH.05)," Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu, Hà Nội, 2013.
- [28] N. S. Huy, "Vấn đề xâm nhập mặn và ngọt hóa BĐCM," 2000.
- [29] Đ. H. Vĩnh, "Nghiên cứu giải pháp khai thác và sử dụng tài nguyên nước mưa của các tỉnh ven biển ĐBSCL trong điều kiện BDKH," Đại học Quốc Gia Tp.HCM (Chương trình KHCN Trọng điểm Tây Nam Bộ), HCM, 2020.
- [30] Bùi Trần Vượng & nnk, "Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước dưới đất vùng đồng bằng sông Cửu Long, đề xuất các giải pháp ứng phó," Liên đoàn địa chất thủy văn miền nam, Ho Chi Minh, 2013.
- [31] Đ. V. Lĩnh, "Điều tra, đánh giá địa động lực hiện đại để hoàn thiện kịch bản biến đổi khí hậu và đề xuất các giải pháp thích ứng ở Đồng bằng sông Cửu Long," Liên đoàn Bản đồ địa chất miền Nam, Hồ Chí Minh, 2015.
- [32] N. S. Huy, "Tài nguyên nước ĐBSCL," 1986.
- [33] Bo Hong, Jian Shen, "Responses of estuarine salinity and transport processes to potential future sea-level rise in the Chesapeake Bay," in *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Elsevier, June 2012, pp. 33-45.
- [34] Karen C. Rice, Bo Hong, Jian Shen, "Assessment of salinity intrusion in the James and Chickahominy Rivers as a result of simulated sea-level rise in Chesapeake Bay, East Coast, USA," *Journal of Environmental Management*, vol. 111, pp. 61-69, 2012.
- [35] Đặng Hòa Vĩnh, Phạm Thị Bích Thục, "Nước mặn trên sông Cỏ Chiên và giải pháp khai thác nước ngọt phục vụ cung cấp nước sinh hoạt cho thành phố Trà Vinh," *Tạp chí các khoa học về trái đất số 1*, pp. 47-53, 3/2012.
- [36] Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam, "Quy hoạch Thủy lợi tổng hợp ĐBSCL ứng phó với BDKH," 2012.
- [37] E. Wolanski, *Estuarine Ecohydrology*, Amsterdam: Elsevier., 2007.

- [38] D. S. MCLUSKY, "Marine and Estuarine gradients- An overview," *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, Vols. 27 (2-4), pp. 489-493, 1993.
- [39] J. S. Levinton, *Marine Biology: Function, Biodiversity, Ecology.*, New York: Oxford University Press, 1995.
- [40] Paul A. Montagna, Terence A. Palmer, Jennifer Beseres Pollack, *Hydrological Changes and Estuarine Dynamics*, Texas: SpringerBriefs in Environmental Science, 2013.
- [41] Jan C. Post and Carl G. Lundin, *Guidelines for intergrated coastal zone management*, Washington, D.C.: The World Bank, 1996.
- [42] Hugo Fischer, John List, C. Koh, Jorg Imberger, Norman Brooks, *Mixing in Inland and Coastal Waters*, London: Academic Press, 1979.
- [43] D. W. Pritchard, *What is an Estuary: physical viewpoint II.*, 1967.
- [44] N. A. Duc, *Salt Intrusion, Tides and Mixing in Multi-channel Estuaries*, Delf: PhD: UNESCO-IHE Institute, 2008.
- [45] Qing Chen, Jianrong Zhu, Hanghang Lyu, Shenliang Chen, "Determining Critical River Discharge as a Means to Provide Water Supply Security to the Changjiang River Estuary, China," *Journal of Coastal Research* , vol. 35, no. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-18-00165.1>, pp. 1087-1094, 2019.
- [46] Indratmo Soekarno, Eka Nugroho, Surya Nusantara., "Study of water supply and water demand for estuary reservoir storage in Jakarta bay (case study of Cengkareng drain river)," in *Proceedings the 7th HATHI International Seminar, "Tribute to 60 Years of River Basin Management in Indonesia: Infrastructures Management for Sustainable Water Security"*, Surabaya, Indonesia, 2021.
- [47] David A.Huntley, Graham J.L.Leeks, Des E.Walling, *Land - Ocean Interaction*, London: IWA, 2001.

- [48] Alcamo, J., R. Leemans, and G.J.J. Kreileman, Global change scenarios of the 21st century. Results from the IMAGE 2.1 model, London.: Pergamon & Elseviers Science, 1998.
- [49] Gurii Ivanovich Marchuk, Boris Abramovich Kagan, Ocean Tides: Mathematical Models and Numerical Experiments, Oxford: Pergamon Press, 1984.
- [50] K. WYRTKI, Physical Oceanography of the Southeast Asian waters, California: TheUniversityofCalifornia ScrippsInstitutionofOceanography LaJolla, 1961.
- [51] Nguyễn Ngọc Thụy, "Thủy triều ven biển Việt Nam," 1988.
- [52] IPCC, "The 4th assesement reportof the Intergoverment Panel on limate Change," 2007.
- [53] IPPC, The physical science basis: Contributing of working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), UK: Cambridge University Press, 2013.
- [54] MRCs, "Lower Mekong Basin: Future Trends in Agricultural Production, discussion paper," 2003.
- [55] Kattenberg A., F. Giorgi, H. Grassl, G.E. Meehl, J.F.B Mitchell, R.J. Stouffer, T. Tokioka, A.J. Weaver, T.M.I Wigley, Climate models – projections of future climate. Climate change 1995, Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [56] Xu Ying, Gao Xuejie, Shen Yan, Xu Chonghai, Shi Ying, and F. Giorgi, " A Daily Temperature Dataset over China and Its Application in Validating a RCM Simulation.," *Advances in Atmospheric Sciences*, vol. 26, no. 4, p. 763–772 , 2009.

- [57] Ihssan EL OUADI, Taha B.M.J. Ouarda, "Climate Uncertainty Modelling in Integrated Water Resources Management: Review," *E3S Web of Conferences*, vol. 364, no. 01013, 2023.
- [58] Sharon B. Megdal, and Peter Dillon, "Policy and Economics of Managed Aquifer Recharge and Water Banking," *water/MDPI*, vol. 7, no. 2, pp. 592-598, 2015.
- [59] MRCs, "Strategy Study on the development of the watershed management/forestry sector in the Lower Mekong Basin," Final report prepared by Arcadis/Euroconsult, Arnhem, The Netherlands, for the Mekong River Commission Secretariat, 2000.
- [60] MRCs, "Hỗ trợ của mô hình toán trong Quy Hoạch phát triển Lưu vực," 5/2004.
- [61] MRCs, "Basin Development Plan," 2002.
- [62] MRCs, "Overview of the Hydrology of the Mekong Basin," Mekong River Commission, 2005.
- [63] DHI, MIKE 11—A modelling system for Rivers and Channels. Reference Manual., 2003.
- [64] Hoa, L.T.V., H. Shigeko, N.H. Nhan, and T.T. Cong, "Infrastructure effects on floods in the Mekong River Delta in Vietnam," *Hydrological Processes*, p. 22: 1359–1372, 2008.
- [65] N. S. Huy, "Tài nguyên nước ĐBSCL," 1990.
- [66] Nguyễn Sinh Huy, Thái Đình Hòe, "Vấn đề thủy văn vùng triều," 1988.
- [67] L. Sâm, Nghiên cứu xâm nhập mặn phục vụ phát triển kinh tế xã hội ĐBSCL, Đề tài KC.08.18, 2004.
- [68] Tổng cục Thủy lợi, "Tình hình hạn hán, xâm nhập mặn ở Đồng bằng sông Cửu Long, Nam Trung bộ và Tây Nguyên năm 2016. Nguyên nhân và các giải pháp ứng phó," bộ NN&PTNT, 2016.

- [69] N. T. P. Mai, Study on Assessment and Adaptation to Saltwater Intrusion under the Impacts of Tide, Sea-Level Rise, Flow and Morphological Changes in the Vietnamese Mekong Delta, Kyoto University, 2022.
- [70] Đ. Đ. Hải, Nghiên cứu cơ chế xâm nhập mặn và đề xuất một số giải pháp khai thác nước hợp lý cho vùng cửa sông ven biển ĐBSCL., Tp. Hồ Chí Minh: Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2022.
- [71] V. V. Phái, "Nghiên cứu đánh giá biến động đường bờ biển các tỉnh Nam bộ dưới tác động của biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng" (Mã số: BĐKH.07)," Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu, Hà Nội, 2014.
- [72] T. H. Thái, "Nghiên cứu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến sự biến đổi tài nguyên nước Đồng bằng sông Cửu Long (Mã số: BĐKH.08)," Chương trình mục tiêu quốc gia ứng phó với biến đổi khí hậu, Hà Nội, 2013.
- [73] Đ. H. Vĩnh, "Đánh giá khả năng khai thác nguồn nước mặt phục vụ cấp nước sinh hoạt tỉnh Trà Vinh - Đề xuất giải pháp cấp nguồn nước thô phục vụ sinh hoạt TP. Trà Vinh," Sở Khoa học và Công nghệ Trà Vinh, Trà Vinh, 2014.
- [74] Đặng Hòa Vĩnh, "Khả năng khai thác nguồn nước sông Cổ Chiên phục vụ sinh hoạt cho thành phố Trà Vinh," Tạp chí thông tin KH&CN Sở KH&CN tỉnh Trà Vinh số 01, pp. 54-63, 11/2014.
- [75] Đ. H. Vĩnh, "Nghiên cứu những luận cứ khoa học làm cơ sở cho vấn đề khai thác nguồn nước mặt phục vụ cấp nước sinh hoạt vùng ven biển Bán đảo Cà Mau trong điều kiện nước biển dâng do biến đổi khí hậu," Báo cáo đề tài cấp VHLKHAVN, 2014.
- [76] Đặng Hòa Vĩnh, Lê Ngọc Thanh, "Khả năng khai thác tài nguyên nước mặt phục vụ các đối tượng phi nông nghiệp tại huyện Thạnh Phú - Bến Tre," *Tạp chí Khí tượng thủy văn số 652*, pp. 39-45, 4/2015.

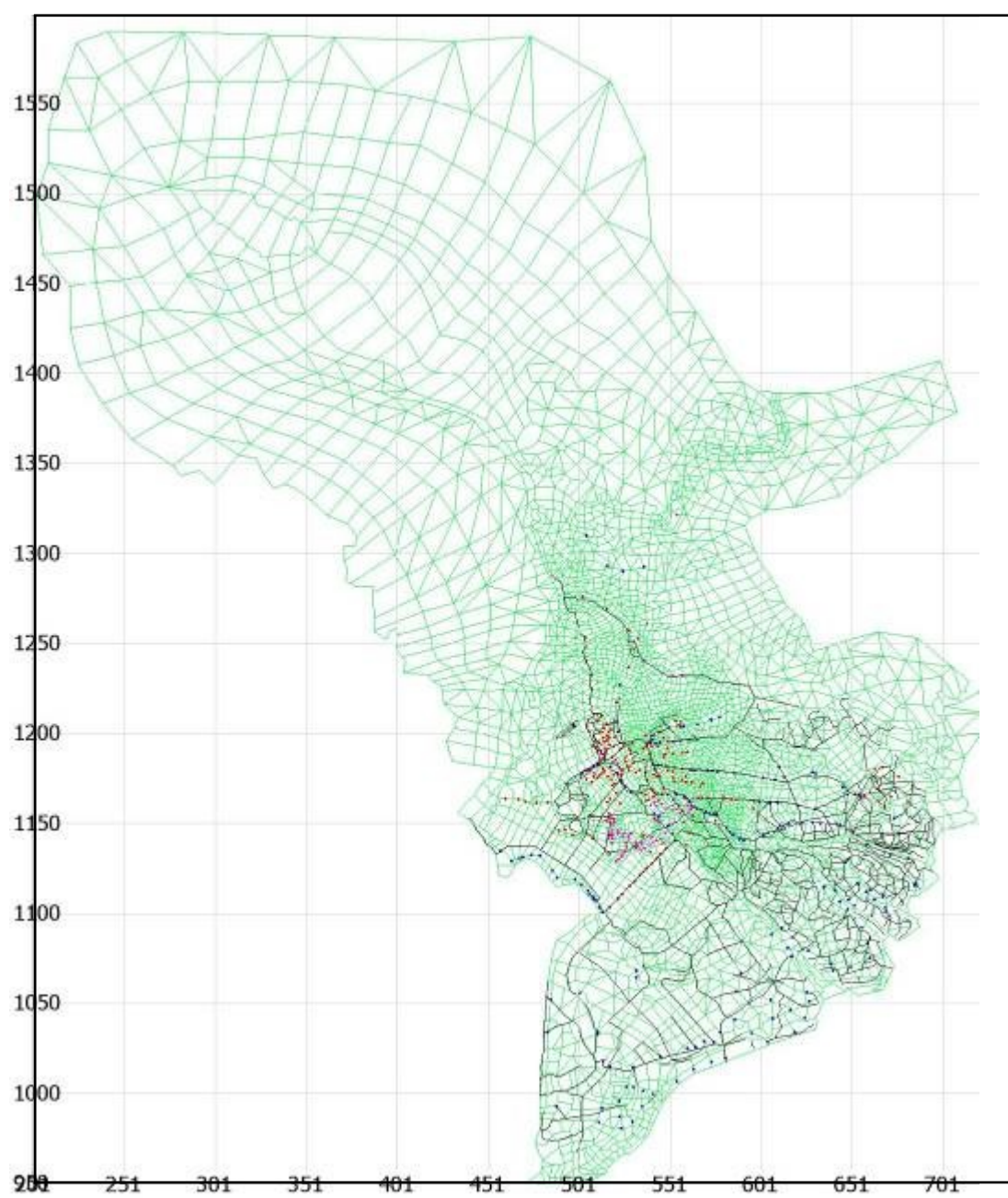
- [77] P. T. B. Thục, "Đánh giá khả năng xuất hiện nước ngọt vùng cửa sông Cửu Long và vấn đề khai thác nước ngọt phục vụ sinh hoạt, sản xuất," Luận văn Thạc sĩ, 2014.
- [78] NEDECO, "Quy hoạch tổng thể ĐBSCL," 1987.
- [79] Bộ NN & PTNT, "Dự án Quy hoạch tổng thể ĐBSCL," 1991-1992.
- [80] Phân viện Khảo sát Quy hoạch Thủy lợi Nam Bộ, "Quy hoạch lũ ngắn hạn ĐBSCL," 1998.
- [81] Viện Quy hoạch thủy lợi Nam Bộ, "Quy hoạch Kiểm soát lũ ĐBSCL," 2004.
- [82] Viện Quy hoạch thủy lợi Nam Bộ, "Quy hoạch tổng thể ĐBSCL," 2005.
- [83] L. M. Hùng, "Nghiên cứu dự báo xói bồi lòng dẫn và đề xuất giải pháp phòng chống cho hệ thống sông ở ĐBSCL (KC08-15)," Đề tài cấp nhà nước, 2004.
- [84] L. M. Hùng, "Điều tra đánh giá hiện trạng các cửa sông Tiền thuộc hệ thống sông Cửu Long và kiến nghị các giải pháp bảo vệ, khai thác, của Bộ Nông nghiệp từ năm 2009-2010," Bộ Nông Nghiệp & PTNT, 2010.
- [85] L. M. Hùng, "Điều tra khảo sát sạt lở, bồi lắng trên kênh rạch ở ĐBSCL," Bộ Nông Nghiệp & PTNT, 2011.
- [86] L. M. Hùng, "Nghiên cứu ảnh hưởng hoạt động khai thác cát đến thay đổi lòng dẫn sông Cửu Long (sông Tiền, sông Hậu) và đề xuất giải pháp quản lý, quy hoạch khai thác hợp lý," Đề tài độc lập cấp nhà nước, 2013.
- [87] Đặng Ngọc Thanh, Báo cáo tổng kết các chương trình điều tra nghiên cứu biển cấp Nhà nước 1997-2000, Tập 1,2,3,4,5, NXB Đại Học Quốc gia Hà Nội, 2001.
- [88] Phạm Huy Tiến, Nguyễn Văn Cư & nnk, "Dự báo hiện tượng xói lở - bồi tụ bờ biển, cửa sông và các giải pháp phòng tránh," Viện Địa Lý, 2005.

- [89] Bùi Hồng Long, Phạm Văn Huân, Nguyễn Ngọc Thụy, "Động lực triều phức hợp ở Biển Đông trên cơ sở các mô hình triều chi tiết.," *Tạp chí Các Khoa học về trái đất*, vol. 19, pp. 134-142, 1997.
- [90] D. V. Toán, "Tính toán thủy triều Biển Đông bằng mô hình thủy động lực 2 chiều.," *Khoa học và công nghệ biển*, vol. 4, pp. 1-13, 2005.
- [91] Đỗ Ngọc Quỳnh, Phạm Văn Ninh, Nguyễn Việt Liên, Trần Thị Ngọc Duyệt, "Đánh giá ảnh hưởng của lực tạo triều vùng Biển Đông," in *Tuyển Tập BCKH Hội Nghị Khoa Học Công Nghệ Toàn Quốc Lần Thứ IV*, Hà Nội, 1999.
- [92] N. H. Nhân, "Nghiên cứu cơ chế hình thành và phát triển vùng bồi tụ ven bờ và các giải pháp khoa học và công nghệ để phát triển bền vững về kinh tế - xã hội vùng biển Cà Mau (ĐTĐL.2011-T/43)," Viện Kỹ thuật biển, Hồ Chí Minh, 2016.
- [93] L. Đ. An, "Về dao động mực nước biển ở thềm lục địa ven bờ Việt Nam trong Holocen," *Tạp chí Các khoa học về trái đất*, vol. 18/4, pp. 365-367, 1996.
- [94] N. Đ. Dỹ, "Nghiên cứu biến động cửa sông và môi trường trầm tích Holocen - hiện đại vùng ven bờ châu thổ sông Cửu Long, phục vụ phát triển bền vững kinh tế xã hội," Đề tài Khoa học cấp Nhà nước (KC 09-06/06-10) , 2010.
- [95] N. V. Lập, "Nghiên cứu tiến hóa địa mạo và trầm tích Holocene muộn đới ven biển châu thổ sông Cửu Long dưới tác động của triều - sóng và xây dựng mô hình bồi xói bờ biển," Quỹ Nafosted, 2017.
- [96] T. T. K. Oanh, "Nghiên cứu thay đổi mực nước biển và tiến hóa cổ địa lý châu thổ sông Cửu Long trong Holocene," Quỹ Nafosted, 2017.
- [97] F. Fredén, "Impacts of dams on lowland agriculture in the Mekong River catchment," Lund University , Lund, Sweden, 2011.
- [98] L. Đ. Thành, "Vai trò của biển hồ đối với chế độ dòng chảy hạ lưu sông Mekong," *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, vol. 14, 2006.

- [99] M. Kumm, S. Tes, S. Yin, P. Adamson, J. Józsa, J. Koponen, J. Richey and J. Sarkkula, "Water balance analysis for the Tonle Sap Lake–floodplain system," *Hydrological processes*, vol. 28, p. 1722–1733 , 2014.
- [100] Phan Huy Lê & nnk, "Quá trình hình thành và phát triển vùng đất Nam Bộ," Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội, 2011.
- [101] Tạ Thị Kim Oanh và nnk, "Sediment facies and late Holocene progradation of the Mékông river delta in Bentre province, southern Vietnam: an example of evolution from a tide-dominated to a tide- and wave-dominated delta," *Sedimentary Geology* , vol. 152, no. (3-4, pp. 313-325, 2002.
- [102] Trần Kim Thạch, "Đặc điểm địa mạo ĐBSCL," 1990.
- [103] S. Nam, Lịch sử khẩn hoang miền Nam, Hồ Chí Minh: Nhà xuất bản trẻ, 2018.
- [104] T. H. Đức, Gia Định thành thông chí, Hà Nội: Nhà xuất bản Giáo dục, 1998.
- [105] Trần Văn Tỷ, Trần Minh Thuận, Lê Anh Tuấn, Tài nguyên nước Đồng bằng sông Cửu Long: Hiện trạng và giải pháp sử dụng bền vững, Cần Thơ: NXB Đại học Cần Thơ, 2016.
- [106] V. K. t. Q. h. đ. t. v. n. thôn, "Quy hoạch tổng thể phát triển kinh tế - xã hội vùng Đồng bằng sông Cửu Long đến năm 2020," Bộ Kế hoạch và Đầu tư, 2012.
- [107] Vinh Hoa Dang, Dung Duc Tran, Thuc Bich Thi Pham, Dao Nguyen Khoi, Phuong Ha Tran and Ninh Trung Nguyen, "Exploring Freshwater Regimes and Impact Factors in the Coastal Estuaries of the Vietnamese Mekong Delta," *Water*, vol. 11, no. 4, pp. 1-17, 2019.
- [108] Dang, Vinh Hoa, Dung Duc Tran, Dao Dinh Cham, Phan Thi Thanh Hang, Hung Thanh Nguyen, Hieu Van Truong, Phuong Ha Tran, Man Ba Duong, Ninh Trung Nguyen, Kiem Van Le, Thuc Bich Thi Pham, and Au Hai Nguyen, "Assessment of Rainfall Distributions and Characteristics in Coastal Provinces of the Vietnamese Mekong Delta under Climate Change and ENSO

- Processes," *Water*, vol. 12, no. <https://doi.org/10.3390/w12061555>, p. 1555, 2020.
- [109] Phạm Văn Tùng, Đặng Hoà Vĩnh, Trương Văn Hiếu, Nguyễn Phi Hùng và nnk, "Quy hoạch tài nguyên nước tỉnh Cà Mau," Sở TN&MT Cà Mau, 2017.
- [110] V. Q. H. Đ. T. V. N. thôn, "Quy hoạch cấp nước vùng Đồng Bằng sông Cửu Long đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050," Bộ Xây Dựng, Hà Nội, 2016.
- [111] Đ. H. Vĩnh, "Nghiên cứu tương tác sông – biển và khả năng khai thác nguồn nước ngọt cung cấp cho các đối tượng dùng nước vùng cửa sông Cửu Long," VHLKHCNVN, Hà Nội, 2019.
- [112] L. N. Thanh, "Nghiên cứu, đánh giá tác động BĐKH và NBD đến sạt lở bờ biển, tài nguyên nước và sản xuất nông nghiệp. Đề xuất các giải pháp và mô hình thích ứng trên địa bàn huyện Thạnh Phú tỉnh Bến Tre," Sở KH&CN Bến Tre, Bến Tre, 2014.
- [113] CTI Engineering International Co., Ltd. and Nippon Koei Co., Ltd. (Japan International Cooperation Agency), "The Study on Hydro-Meteorological Monitoring for Water Quantity Rules in Mekong River Basin - Final Report," MRC and JICA, 2004.
- [114] R. Fairbridge, "The estuary: Its definition and geodynamic cycle," in *Chemistry and biogeochemistry of estuaries*, Chichester, Wiley, 1980, pp. 1-35.
- [115] D. S. McLusky, "Marine and estuarine gradients," *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, p. 27: 489–493, 1993.
- [116] Bộ Y Tế, Quy chuẩn Quốc gia về Chất lượng nước cho ăn uống QCVN 01:2009/BYT, Hà Nội, 2009.
- [117] Dennis R. Helsel, Robert M. Hirsch, *Statistical Methods in Water Resources*, Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2002.

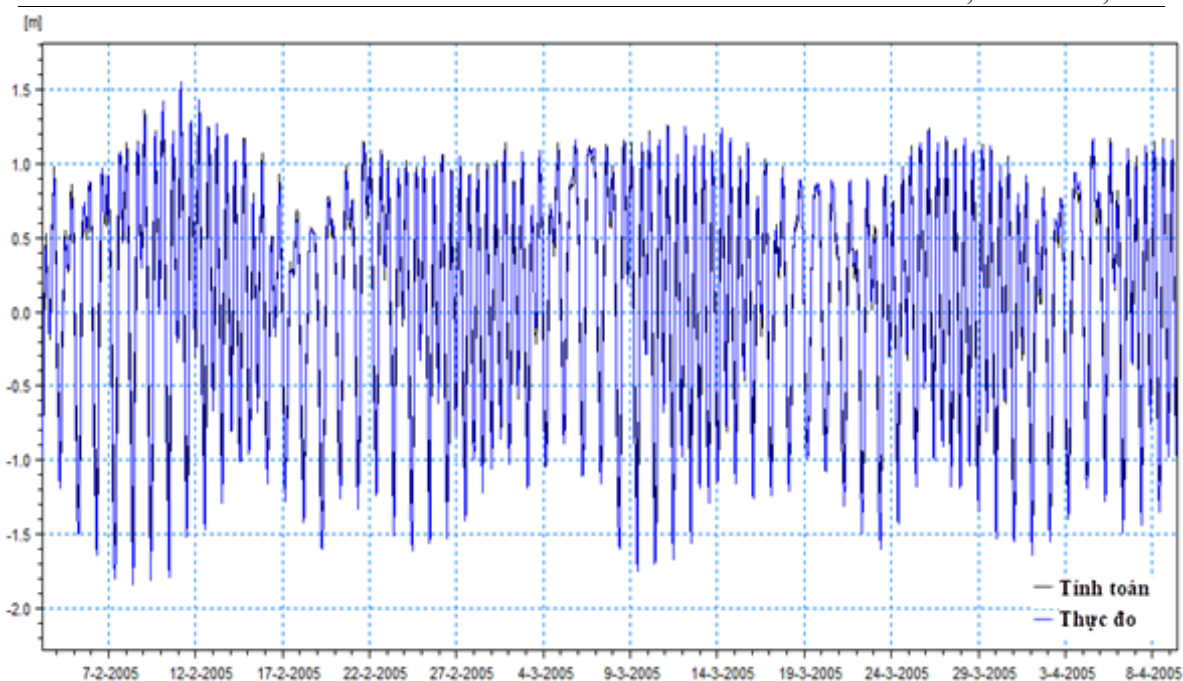
- [118] Hoa, L.T.V., N.H. Nhan, E. Wolanski, T.T. Cong, and H. Shigekoa, "The combined impact on the flooding in Vietnam's Mekong River delta of local man-made structures, sea level rise, and dams upstream in the river catchment," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, pp. 71: 110-116, 2007.
- [119] J.E. Nash, J.V. Sutcliffe, "River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles," *Journal of Hydrology*, vol. 10, no. 3, pp. 282-290, 1970.
- [120] Francesco Cardia, Alessandro Lovatelli, Nuôi thủy sản trong lồng nổi - số tay thực hành (dịch bởi Nguyễn Bá Thông và Lê Thị Thu Phương)., Hà Nội: Nhà xuất bản Xây dựng, 2018.
- [121] Đặng Hòa Vĩnh, Phạm Thị Bích Thục, Trần Thị Thu Hiền, "Ứng dụng mô hình số phục vụ dự báo chế độ mức nước khu vực Tp. Hồ Chí Minh," *Tạp chí Các khoa học về trái đất*, vol. 3 (T34)/2012, pp. 392-398, 2012.
- [122] Trần Minh Tuấn, Tô Quang Toàn, "Bản tin dự báo tuần Dự báo nguồn nước vùng Đồng bằng sông Cửu Long," Viện Khoa học thủy lợi miền Nam, 12 1 2023. [Online]. Available: <http://www.siwrr.org.vn/docs/2018/files/20230112-VKHTLMN-Bantintuan-DubaoNguonnuoc-12-1-2023.pdf>. [Accessed 2023 2 15].
- [123] P. V. Phách, "Nghiên cứu cấu trúc-kiến tạo và địa động lực hiện đại khu vực đồng bằng Sông Cửu Long nhằm nâng cao khả năng thích ứng và giảm thiểu thiệt hại trong bối cảnh mực nước biển dâng cao," Đề tài cấp VHLKHAVN, 2016.
- [124] Phạm Văn Tùng, Hà Thị Xuyên, "Thực trạng cấp nước sinh hoạt nông thôn vùng ĐBSCL và đề xuất giải pháp khai thác," *Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi*, vol. 61, pp. 36-46, 2020.



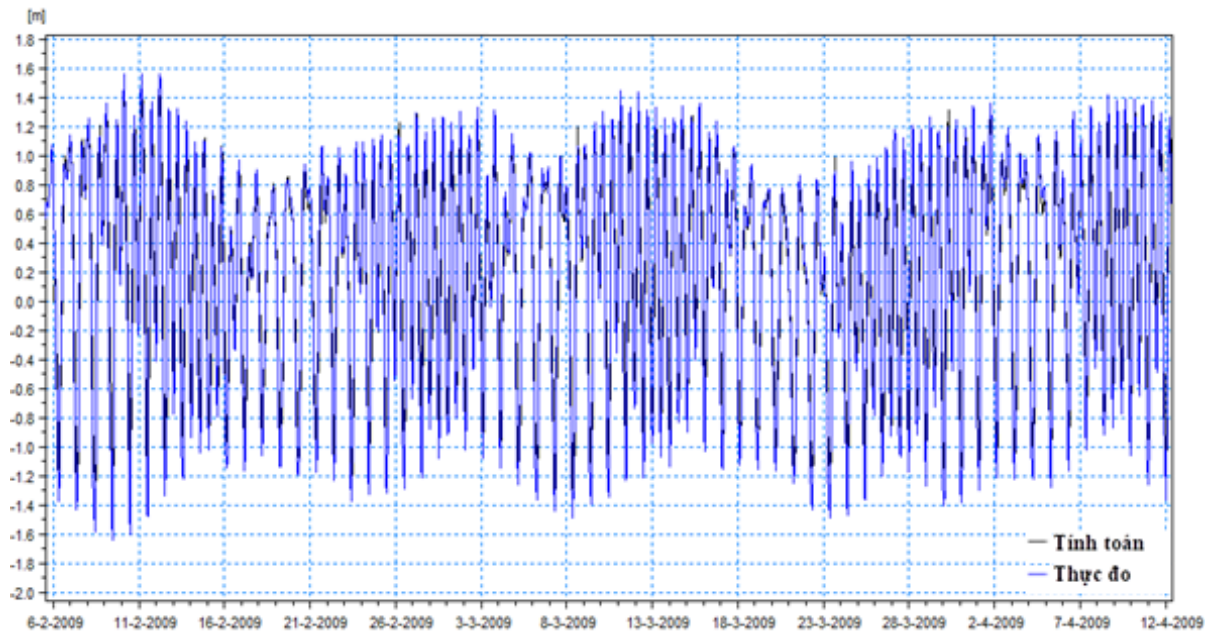
Phụ Lục 2 Sơ đồ mạng lưới ô ruộng tính toán thủy lực – XNM vùng ĐBSCL

Phụ lục 4 So sánh kết quả độ mặn mô phỏng và thực đo mùa kiệt 2005

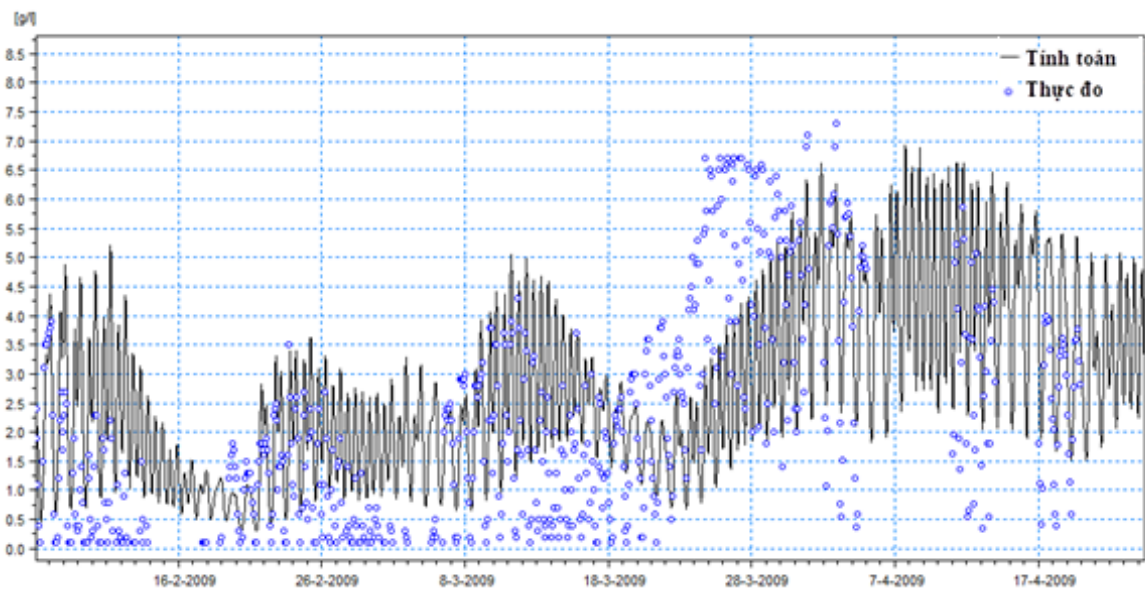
Trạm	Độ mặn lớn nhất			Độ mặn trung bình		
	Mô phỏng	Thực đo	Sai số	Mô phỏng	Thực đo	Sai số
Trà Vinh						
10–13/2/2005	5,8	6,2	0,4	3,5	3,7	0,2
18–21/2/2005	9,5	8,3	-1,2	5,5	6,2	0,7
26/2–1/3/2005	7	6,8	-0,2	3,9	5	1,1
11–14/3/2005	10	9	-1	5,75	6,5	0,75
29/3–1/4/2005	9	10	1	8	7,75	0,25
Sông Đốc						
10–13/2/2005	11	10	-1	6	8	2
23–26/2/2005	11	10	-1	7,5	8,5	1
11–14/3/2005	13	16	3	12	12	0
29/3–1/4/2005	14	16	2	13,5	13	-0,5
Mỹ Tho						
10–13/2/2005	1,2	0,7	-0,5	0,35	0,6	0,25
26/2–1/3/2005	1,1	1,1	0	0,6	0,75	0,15
3–8/3/2005	2,6	2,2	-0,4	1,2	1,6	0,4
17–21/3/2005	3,5	3,1	-0,4	1,95	2,2	0,25
Tân An						
10–13/2/2005	5	4,5	-0,5	3	3,25	0,25
26/1–1/3/2005	6,5	6,5	0	4,8	5	0,2
11–14/3/2005	6,8	6,5	-0,3	5,25	5	0,25
19–21/3/2005	9	8	-1	6	6,5	0,5



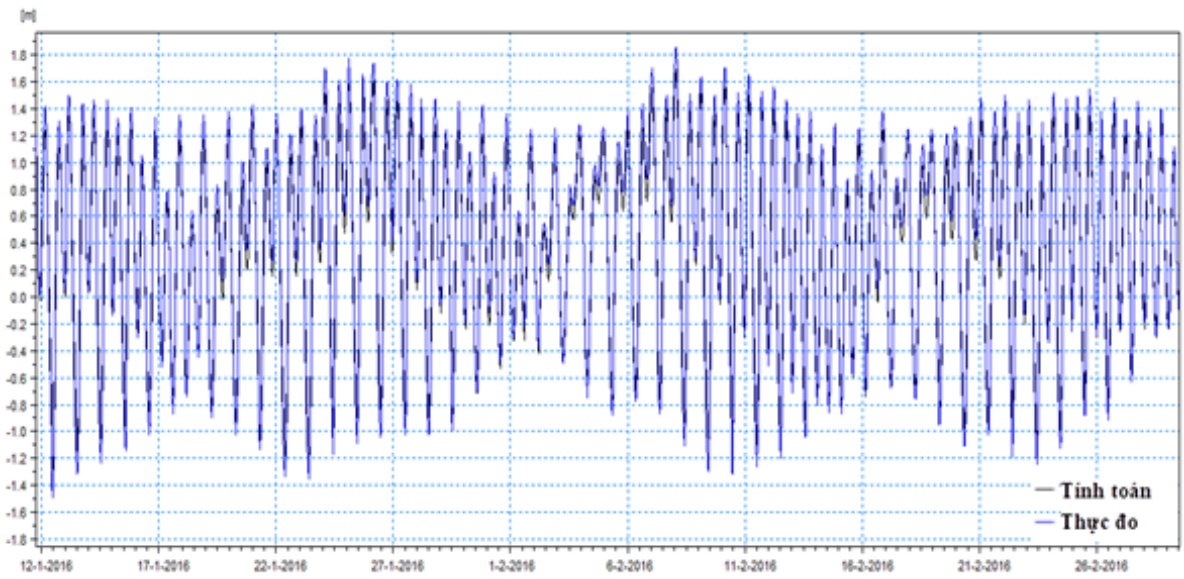
Phụ lục 5 Mực nước tính toán và thực đo năm 2005 tại trạm Trà Vinh



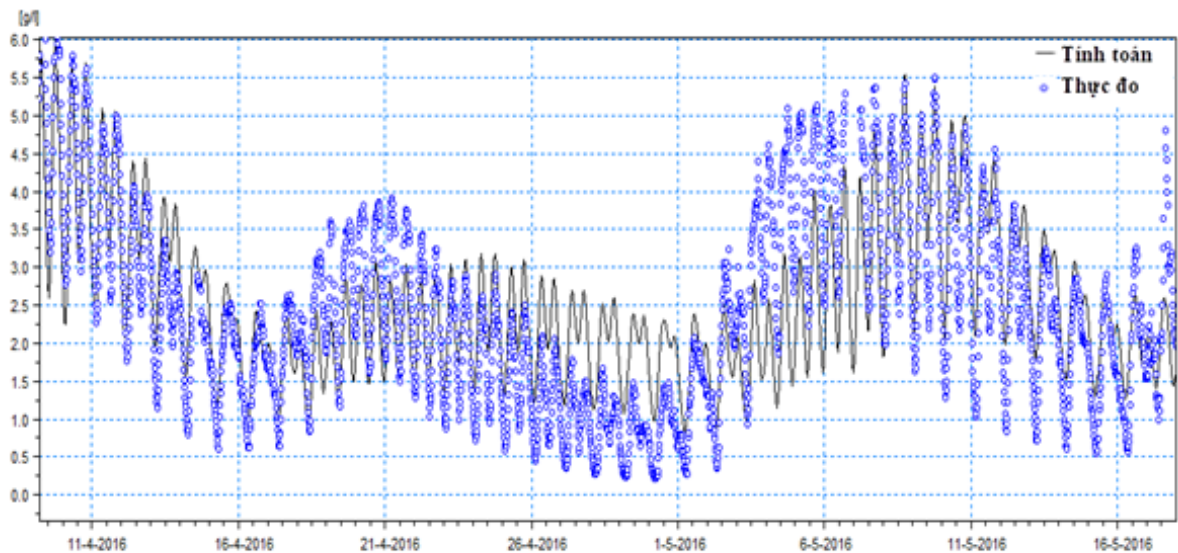
Phụ lục 6: Mực nước tính toán và thực đo năm 2009 tại Trà Vinh



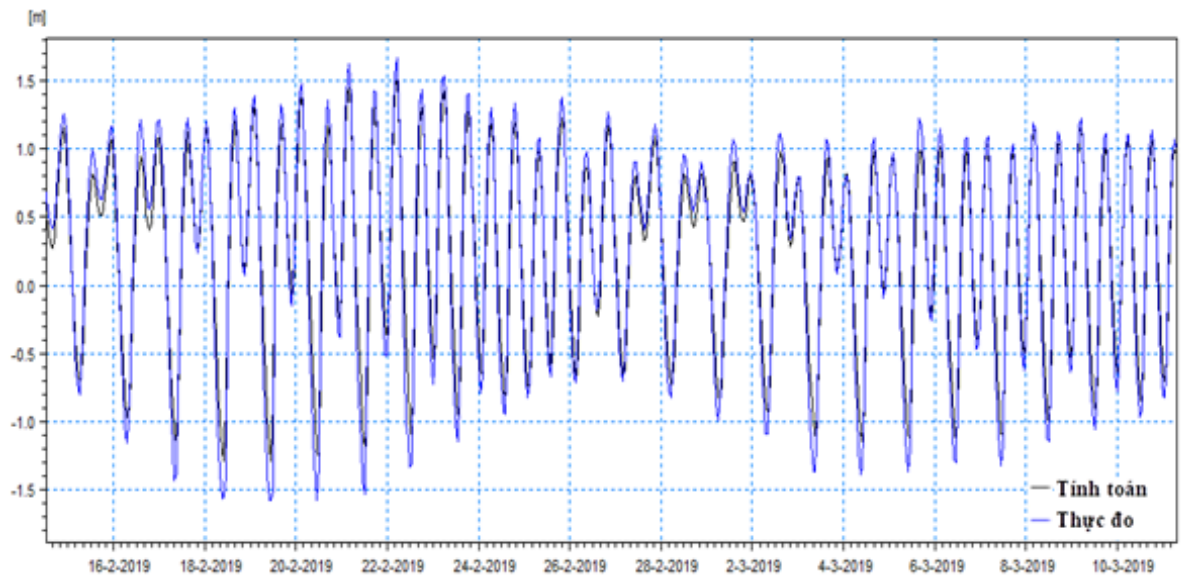
Phụ lục 7: Độ mặn tính toán và thực đo năm 2009 tại Trà Vinh



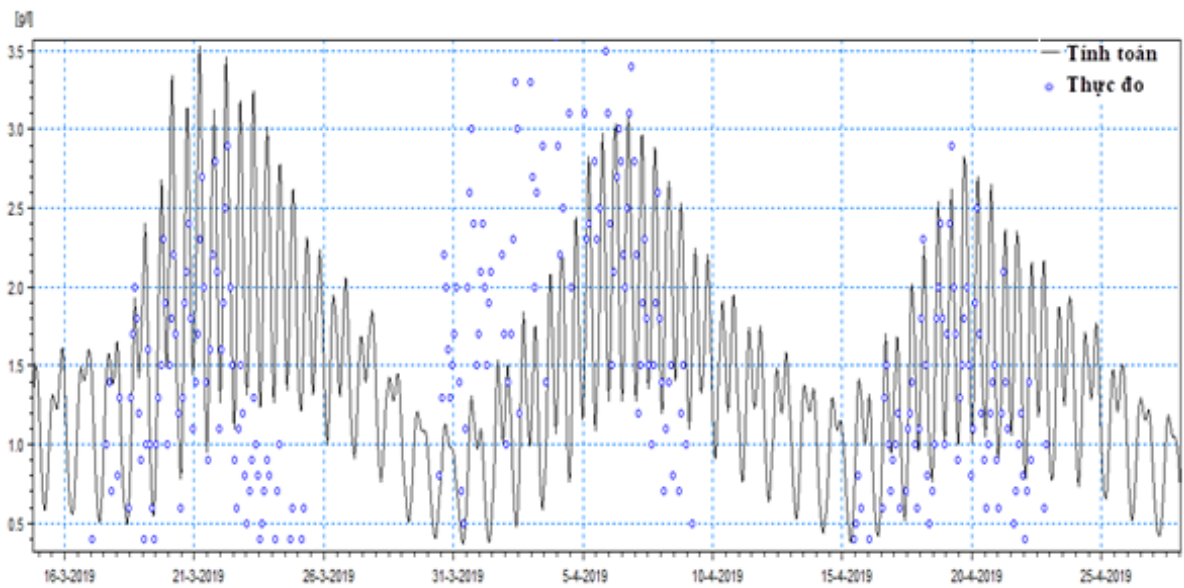
Phụ lục 8: Mức nước tính toán và thực đo năm 2016 tại trạm Trà Vinh



Phụ lục 9: Độ mặn tính toán và thực đo năm 2016 tại trạm Trà Vinh



Phụ lục 10: Mức nước tính toán và thực đo năm 2019 tại trạm Trà Vinh



Phụ lục 11: Độ mặn tính toán và thực đo năm 2019 tại trạm Trà Vinh