

ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU, NƯỚC BIỂN DÂNG ĐẾN XÂM NHẬP MẶN VÙNG HẠ LƯU SÔNG ĐỒNG NAI-SÀI GÒN VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP ỨNG PHÓ

Nguyễn Thế Biên, Lương Văn Khanh, Huỳnh Duy Tân

Viện Kỹ thuật Biển

Phạm Thế Vinh, Đặng Luân

Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam

Tóm tắt: Trong những năm gần đây, do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu (BĐKH), nước biển dâng (NBD) tình trạng xâm nhập mặn (XNM) ở TPHCM diễn ra gay gắt và có xu thế ngày càng bất thường hơn, đặc biệt do ảnh hưởng của hiện tượng El-NiNo mùa mưa đến trễ nhưng kết thúc sớm với tổng lượng mưa các năm 2015, 2019 là rất thấp nên mặn xâm nhập sâu vào nội đồng gây nhiều thiệt hại cho kinh tế-xã hội (KT-XH).

Mặc dù thành phố đã xây dựng nhiều hệ thống công trình thủy lợi (CTTL) và triển khai nhiều giải pháp ứng phó với XNM tuy nhiên vẫn chưa đáp ứng được yêu cầu do việc đo đạc tính toán dự báo mặn chưa đồng bộ và còn nhiều bất cập, vì vậy trong bài báo này trình bày việc đánh giá tác động của BĐKH, NBD đối với XNM trên hệ thống sông Đồng Nai – Sài Gòn (SDN-SG) và đề xuất giải pháp ứng phó hiệu quả hơn những thiệt hại do XNM gây nên.

Summary: In recent years, due to the impact of climate change and sea level rise, saline intrusion in Ho Chi Minh City has been acrimonious and tends to become more and more unusual, especially due to the influence of the El-NiNo phenomenon, the rainy season comes late but ends early with the total rainfall in 2015 and 2019 is very low, so salinity intrudes very deeply into the interior fields with very high salinity, causing a lot of damage for socio-economic.

Although the city government has built many irrigation systems and deployed many solutions to cope with saline intrusion, but still have not met the requirements due to unsynchronized measurement and calculation of salinity forecast and there are still many shortcomings, so in this paper presenting the assessment of the impacts of climate change, and sea level rise on the Dong Nai-SaiGon river system and propose a more effective response to the damage caused by saline intrusion.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tại TPHCM, đặc biệt là các năm 2015, 2019 do tổng lượng mưa cả năm rất thấp nên vào mùa khô lưu lượng đầu nguồn giảm mạnh, các hồ chứa tích nước nên mặn đã xâm nhập sâu vào sông, kênh rạch nội đồng làm ảnh hưởng rất lớn đến tình hình cấp nước sinh hoạt và sản xuất nông nghiệp (SXNN) của thành phố.

Năm 2015 lượng nước hồ Dầu Tiếng thiếu hụt so với trung bình nhiều năm (TBNN) khoảng

150 triệu m³ và hồ Trị An là hơn 600 triệu m³, năm 2019 lượng nước cũng thiếu hàng trăm triệu m³ so với các năm từ 1987-2020. Năm 2015 tổng lượng mưa tại các trạm ở TPHCM giảm từ 20-50% và năm 2019 từ 12-15% so với TBNN nên mùa khô năm 2015-2016 và năm 2019 mặn xâm nhập rất sớm và sâu nên nguồn nước ngọt phục vụ sản xuất và sinh hoạt rất khó khăn.

Trước tình hình mặn xâm nhập sâu gây thiệt hại

Ngày nhận bài: 16/4/2021

Ngày thông qua phản biện: 27/5/2021

Ngày duyệt đăng: 11/6/2021

nghiêm trọng cho KT-XH, Chi cục Thủy lợi TPHCM đã triển khai thực hiện dự án “*Khảo sát thủy văn xâm nhập mặn trên các sông rạch TP HCM*” [4] nhằm thiết lập các điểm đo giám sát mặn trên vùng hạ lưu SĐN-SG. Dự án này có quy mô lớn nhất từ trước đến nay nhằm có chuỗi số liệu quan trắc mặn nhiều hơn làm cơ sở cho việc tính toán dự báo đề xuất các giải pháp giảm thiểu những thiệt hại do XNM gây nên. Dự án kéo dài trong nhiều năm, đo mặn mỗi tháng 3 lần kể cả trong mùa mưa tại 7 vị trí thuộc khu vực TPHCM. Trong nghiên cứu này, đã thiết lập các mô hình MIKE 11 HD tính toán thủy lực, MIKE 11 AD tính toán XNM trên hệ thống SĐN-SG theo nền của số liệu mưa năm 2015, năm được xem là có lượng mưa thấp nhất và kéo dài qua mùa khô năm 2016 với nồng độ mặn cao nhất so với TBNN trong hơn 3 thập kỷ qua và dùng để so sánh với diễn biến XNM của các năm tính toán theo kịch bản BĐKH, NBD, từ đó đề xuất giải pháp giảm thiểu ảnh hưởng của mặn cho các vùng SXNN trên địa bàn TPHCM.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Mục tiêu

(i) Ứng dụng mô hình thủy lực MIKE 11 HD tính toán thủy lực khu vực hạ lưu SĐN-SG; (ii) Sử dụng kết quả mô phỏng thủy lực để tính toán XNM bằng mô hình MIKE 11 AD trong các điều kiện công trình thủy lợi (CTTL) hiện trạng và khí hậu hiện trạng, CTTL hiện trạng và có sự tác động của BĐKH, NBD ở khu vực TPHCM; (iii) Đề xuất giải pháp giảm thiểu ảnh hưởng của XNM phục vụ SXNN trên địa bàn thành phố (TP).

2.2. Phạm vi nghiên cứu

Phạm vi nghiên cứu là TPHCM (gồm phần đất liền, vịnh Gành Rái) và các vùng lân cận có liên quan đến SĐN-SG như Tây Ninh (s.SG, hồ Dầu Tiếng), Đồng Nai (s.ĐN, hồ Trị An và các hồ chứa của các s.Đồng Nai, La Ngà), Long An (s.Vàm Cỏ), Bình Dương (s.Bé).

2.3. Tài liệu, số liệu thu thập

Tài liệu, số liệu thu thập trong nghiên cứu này gồm:

2.3.1. Tài liệu địa hình

- Bản đồ cao độ số DEM khu vực TPHCM [5] do Sở TN&MT thực hiện năm 2012 (được cập nhật, bổ sung nhiều tài liệu đo đạc ở khu vực TPHCM)
- Địa hình mặt cắt ngang sông kênh, rạch và bình đồ chi tiết sông, cửa sông thuộc hạ lưu SĐN-SG trong những năm gần đây.
- Tài liệu hiện trạng công, mương đập, trạm bơm, đê bao bờ bao ... của hệ thống CTTL của TP HCM. [10]

2.3.2. Tài liệu về khí tượng thủy văn [1]

- Tài liệu mưa ngày, lượng mưa max/1 ngày của 21 trạm ở TP. HCM và vùng lân cận;
- Lượng bốc hơi ống Piche (TB, Max, Min) theo tháng tại 8 vị trí lưu vực SĐN-SG.
- Số liệu gió theo tháng gồm: Hướng gió không chế, vận tốc trung bình, lặng gió, Vmax và hướng gió (Theo số liệu nhiều năm)
- Tài liệu thủy văn (mực nước 2009, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 và 2019) các trạm Vũng Tàu, Biên Hòa, Phú An, Nhà Bè, Thủ Dầu Một, Bến Lức, Vàm Kênh.
- Lượng nước cấp trung bình năm của hồ Dầu Tiếng, Phước Hòa (2012 -2017).[2], [3]
- Tài liệu đo thủy văn mùa khô năm 2019 và mùa mưa năm 2020 gồm vận tốc, lưu lượng và mực nước 03 ngày đêm tại Cầu Xáng và Bình Chánh.[8]

2.3.3. Tài liệu đo mặn trên hệ thống sông ĐN-SG

- Số liệu mặn mùa khô các năm 2003, 2005 từ các dự án của Bộ NN&PTNT [9]
- Số liệu đo mặn của dự án [4] từ 2015 đến quý 2 năm 2020 ở 7 vị trí khu vực TP HCM. Nguồn số liệu này dùng để kiểm định mô hình tính toán XNM.

3. TÁC ĐỘNG CỦA BĐKH TẠI TP. HỒ CHÍ MINH

BĐKH đã tác động đến TPHCM qua những biểu hiện cụ thể như sau:

➤ *Nhiệt độ tăng cao*

Theo [1], nhiệt độ tại TPHCM tăng lên rõ rệt trong khoảng 40 năm gần đây và tăng nhanh hơn các khu vực lân cận với nhiệt độ trung bình tăng từ 0,0158-0,0595⁰C/năm.

Bảng 1: Các đặc trưng nhiệt độ tại TP HCM từ 2016 đến 2019

TT	Năm	T ⁰ C trung bình năm	T ⁰ C max năm
1	2016	28,6	36,4
2	2017	28,5	38,5
3	2018	28,6	37,2
4	2019	29,2	38,3

Từ 2016 - 2019 nhiệt độ bình quân đo được tại trạm Tân Sơn Hòa tăng lên đáng kể, trong đó năm 2019 nhiệt độ bình quân khá cao là 29,2⁰C.

➤ Mưa thay đổi bất thường

Theo số liệu đo mưa tại trạm Tân Sơn Hòa từ năm 1907-1960 tổng lượng mưa năm giảm dần, nhưng từ năm 1960 đến nay thì tăng lên và đặc biệt tăng nhiều trong 10 năm gần đây, trừ năm 2015 và 2019 lượng mưa giảm.

Bảng 2: Các đặc trưng lượng mưa trạm Tân Sơn Hòa từ 2015 đến 2019 [1]

TT	Năm	Lượng mưa cả năm (mm)	Lượng mưa mùa mưa (mm)	Lượng mưa mùa khô (mm)	Tỷ lệ (%) Mùa mưa/năm	Tỷ lệ (%) Mùa khô/năm
1	2015	1.715	1.557	158	90,8	9,2
2	2016	2.304	2.146	158	93,1	6,9
3	2017	2.299	2.085	214	90,7	9,3
4	2018	2.443	2.197	246	89,9	10,1
5	2019	1.761	1.698	63	96,4	3,6

➤ Mực nước biển dâng cao:

Dưới tác động của BĐKH mực nước triều (H) tại TP HCM đã tăng lên rất nhanh, với Hmax tại trạm Phú An trên sông SG đã tăng 41cm trong 43 năm (1977-2019). Từ 1977-2004 mực nước có tăng và giảm nhưng từ 2004-2019 mực nước tăng liên tục chỉ trừ năm 2015 mực nước giảm đột biến là do năm 2015 được xem là năm hạn hán nhất từ trước đến nay.

➤ Xâm nhập mặn

Từ năm 2014 hiện tượng El Nino phát triển mạnh nhất trong vài thập kỷ qua gây nắng nóng khô hạn ở nhiều vùng khác nhau trong mùa khô làm mặn xâm nhập sâu vào nội đồng tác động tiêu cực đến chất lượng nguồn nước mặt, nước ngầm làm cho đời sống sinh hoạt và sản xuất của người dân TP gặp rất nhiều khó khăn.

Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng

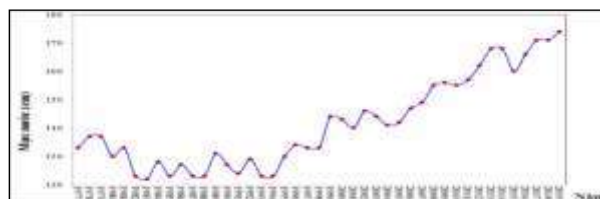
Kịch bản BĐKH, NBD của Bộ TN&MT đã xác định được các yếu tố KTTV tác động đến chế

độ thủy văn trong vùng nghiên cứu.

• **Nhiệt độ:** Theo kịch bản RCP4.5, vào giữa thế kỷ, nhiệt độ trung bình năm tại khu vực Tây Nguyên và Nam Bộ là 1,3÷1,4⁰C và đến cuối thế kỷ là từ 1,7÷1,9⁰C

• **Lượng mưa:** Theo kịch bản RCP4.5, vào giữa thế kỷ, lượng mưa năm ở Nam bộ có thể tăng trên 20%. Đến cuối thế kỷ, cũng tăng tương tự, nhưng vùng trên 20% mở rộng hơn.

• **Mực nước:** Theo kịch bản RCP4.5, vào cuối thế kỷ 21, tại khu vực Mũi Kê Gà-Mũi Cà Mau có mực NBD là 53 cm (32 cm ÷ 75 cm), trong đó tại trạm Phú An trên s. SG mực nước tăng liên tục từ năm 1977 đến 2019.



Hình 1: Biến đổi mực nước tại trạm Phú An trên sông Sài Gòn từ 1977 đến 2019

3.1. Thiết lập mô hình tính toán thủy lực

3.1.1. Giới thiệu sơ lược mô hình tính toán thủy lực MIKE 11 HD. [11]

Trong nghiên cứu này đã sử dụng mô hình MIKE 11 HD để tính toán thủy lực trên hệ thống SĐN-SG, dựa trên cơ sở giải hệ phương trình Saint Venant, phương trình liên tục (bảo toàn khối lượng) và phương trình động lượng (bảo toàn động lượng) với các modul: Tính toán thủy lực HD, mưa - dòng chảy (NAM) và chất lượng nước AD (mặn)

Sơ đồ tính toán được xây dựng từ tài liệu địa hình (DEM), khí tượng thủy văn, mặn... và phân sông, kênh rạch của hệ thống SĐN-SG.

Phương trình mô tả dòng chảy trong sông, kênh

Hệ phương trình cơ bản

MIKE 11 giải hệ phương trình Saint - Venant dọc theo chiều dòng chảy với một số giả thiết chung như sau: (i) Nước là một chất lỏng đồng nhất và không nén được, (ii) Dòng chảy là một chiều; (iii) Độ dốc của đáy dọc theo chiều dòng chảy nhỏ và (4) Vật chất hòa tan được xáo trộn đều. Hệ phương trình Saint - Venant với các biến phụ thuộc là lưu lượng $Q(x,t)$ và mực nước $h(x,t)$.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = q \quad (3-1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{AC^2 R} = 0 \quad (3-2)$$

Thuật toán giải

Thuật giải hệ phương trình cho các bước thời gian là từ các phương trình (3-1), (3-2) sai phân ẩn không hoàn toàn cho các điểm Q và h xen kẽ nhau với mỗi Q có một h tương ứng và tính toán cho mỗi bước thời gian. Sự tính toán trong lưới hoàn toàn tự động dựa trên yêu cầu Q luôn luôn nằm giữa 2 điểm h trong khi khoảng cách giữa 2 điểm h có thể khác nhau.

Trong MIKE 11, hệ phương trình Saint Venant được giải bằng sơ đồ ẩn 6 điểm với tên gọi Abbott-Ionescu.

Các điều kiện ổn định của mô hình

Để mô hình ổn định và chính xác thì phải bảo đảm các điều kiện sau.

Địa hình và số liệu

Địa hình và số liệu phải đồng bộ tốt nhất là cùng một thời gian đo đạc.

Tiêu chuẩn Courant

Điều kiện Courant là để chọn được khoảng thời gian đồng thời thỏa mãn được các điều kiện. Trong cách giải sơ đồ ẩn 6 điểm của Abbott không cần hệ số này nhỏ hơn 1. Các kết quả vẫn tốt khi hệ số C_r lên tới từ 10 đến 20.

$$C_r = \frac{\Delta t(V + \sqrt{gy})}{\Delta x} \quad (3-3)$$

Trong đó, $\sqrt{gy}$: là tốc độ của sự nhiễu loạn (sóng) nhỏ tại nơi nước nông. Tiêu chuẩn Courant thường được áp dụng cho sông và lòng dẫn.

Tiêu chuẩn lưu tốc

Tiêu chuẩn lưu tốc đòi hỏi phải chọn Δx , Δt sao cho sẽ không bị chuyển dời quá một điểm lưới trong mỗi khoảng thời gian:

$$v \frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 1 \div 2$$

3.1.2. Phương pháp lập mô hình

Sau khi đã hiệu chỉnh mô hình MIKE 11 HD, tiếp theo là thiết lập và kiểm định mô hình mưa - dòng chảy (NAM) và khi đã ổn định thì kết nối với mô hình thủy lực, chọn hệ số nhám Manning và sau cùng là thiết lập mô hình MIKE 11 AD tính toán diễn biến mặn với bước thời gian là giờ và kiểm định hệ số khuếch tán. Sau khi kiểm định, mô hình sẽ được dùng để tính toán theo các kịch bản BĐKH, NBD.

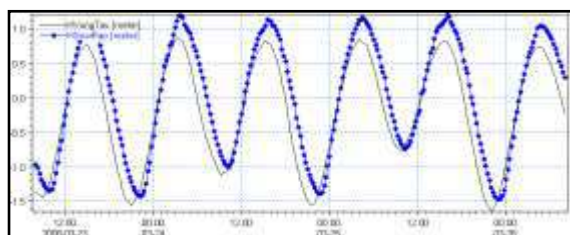
3.1.3. Điều kiện biên và điều kiện ban đầu

+ **Biên lưu lượng:**

Trong sơ đồ tính toán thủy lực đã sử dụng 4 biên lưu lượng thượng lưu là: Trị An, Dầu Tiếng, Phước Hoà và Cần Đăng.

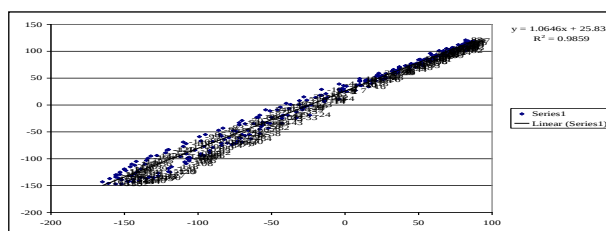
+ Biên mực nước

Trong mô hình đã sử dụng 4 biên mực nước tại các cửa sông và biên mực nước tại Mộc Hóa trên sông Vàm Cỏ. Số liệu mực nước triều trạm cơ bản Vũng Tàu đã được hiệu chỉnh với tương quan Vũng Tàu-Soài Rạp theo liệt tài liệu đo từ



Hình 2: Mực nước đo tại trạm Vũng Tàu và Soài Rạp năm 2008

23-26/3/2008 (Trung tâm Quy hoạch Thủy lợi chống ngập TP HCM) với thời gian đo 15 phút/1 lần và hệ số tương quan tính toán từ chuỗi tài liệu thực đo ở trên được phân tích và đánh giá là sát với thực tế của năm 2018, vì vậy trong nghiên cứu này đã tính toán với liệt tài liệu tương quan năm 2008 của Trung tâm do có hệ số tương quan khá cao (0,9859) và đã sử dụng tương quan này để tính toán triều tại biên đầu vào sông Soài Rạp.



Hình 3: Tương quan mực nước trạm Vũng Tàu và Soài Rạp năm 2008

$$H_{\text{Soài Rạp}} = H_{\text{Vũng Tàu}} \times 1,0646 + 25,833 \text{ (cm)} \quad \text{với} \\ R^2 = 0,9859$$

+ **Điều kiện ban đầu:** Mực nước ban đầu trên toàn hệ thống SDN-SG được lấy tại thời điểm bắt đầu tính theo số liệu thực đo tại các trạm thủy văn. Sử dụng mực nước thực đo tại các trạm đo để nội suy tuyến tính đến các nút được tính toán mô phỏng theo khoảng cách giữa các nút này. Còn lưu lượng đầu đoạn và cuối đoạn ban đầu của các khúc sông được tính toán từ lưu lượng thực đo tại các trạm thủy văn dựa trên tỷ số phân chia lưu lượng trung bình giữa các nhánh sông, với giả thiết rằng chế độ dòng chảy tại thời điểm ban đầu là ổn định đều.

3.1.4. Hệ số nhám Manning

Căn cứ theo Tiêu chuẩn quốc gia TCVN

10716:2015 ISO 1070:1992 cùng điều kiện sửa đổi 1:1887 và từ các kết quả thí nghiệm mô hình vật lý cũng như kinh nghiệm trong thực tế nên đã chọn độ nhám tại vùng thượng nguồn là trong khoảng 0,030-0,035; vùng dưới hạ lưu là khoảng 0,020-0,030.

3.1.5. Kiểm định mô hình tính toán thủy lực MIKE 11 HD

➤ Kiểm định mô hình thủy lực với số liệu đo thủy văn năm 2014

Để xây dựng sơ đồ và các điều kiện biên về không gian, thời gian, điều kiện ban đầu để hiệu chỉnh mô hình là lấy theo số liệu đo ở các trạm thủy văn Quốc gia.

Bảng 3: Thông số phân tích trong hiệu chỉnh mực nước năm 2014

TT	Trạm	Sông	Loại	Hệ số tương quan	Sai số đỉnh (%)
1	Nhà Bè	Đồng Nai	WL	0,977	-0,024
2	Phú An	Sài Gòn	WL	0,987	0,050
3	Biên Hòa	Đồng Nai	WL	0,980	0,243
4	Bến Lức	Vàm Cỏ Đông	WL	0,982	-0,063

Kết quả kiểm định thủy lực tại các trạm thủy văn quốc gia vào năm 2014 cho thấy kết quả mô phỏng khá tương đồng so với thực đo tại các trạm, do đó có thể sử dụng mô hình để tính toán thủy lực và ứng dụng kết quả này để tính toán XNM.

➤ Kiểm định mô hình thủy lực theo số liệu thực đo của các năm khác

Để bảo đảm cho mô hình ổn định đã tiến hành kiểm định một cách tương tự với nhiều dãy số liệu thực đo khác của các năm như: Số liệu của 22 trạm đo tăng cường năm 2009; Số liệu đo tại 4 trạm thủy văn Quốc Gia năm 2015, năm được xem có lượng mưa thấp nhất trong vòng 40 năm (các trạm Nhà Bè, Phú An, Biên Hòa và Bến Lức); Số liệu đo của 2 trạm tại Kênh Xáng và Bình Chánh vào tháng 11/2019 (mùa khô) và tháng 5/2020 (mùa mưa).

Kết quả kiểm định mực nước và lưu lượng tính toán với số liệu thực đo cho thấy mô hình thủy lực mô phỏng trùng hợp với kết quả đo đạc. Như vậy mô hình đảm bảo độ tin cậy để mô phỏng chế độ thủy văn trên SĐN-SG và được sử dụng để tính toán thủy lực, XNM theo các kịch bản BĐKH, NBD.

3.2. Thiết lập mô hình mike 11 ad tính toán xâm nhập mặn

3.2.1. Cơ sở lý thuyết và sơ đồ giải bài toán xâm nhập mặn

• Phương trình cơ bản

Phương trình một chiều cho bảo toàn vật chất hòa tan như phương trình một chiều đối lưu khuếch tán có dạng:

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) = -AKC + C_2q \quad (3.1)$$

Trong đó: C: là nồng độ chất (kg/m^3); D: hệ số khuếch tán (m^2/s); A: Diện tích mặt cắt (m^2); K: Hằng số phân rã tuyến tính ($1/\text{s}$); C_2 : Nguồn bổ sung (kg/m^3); q: Lượng nhập khu giữa ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{s}$). Những giả định chính của phương

trình đối lưu và khuếch tán là: (i) Vật chất được xáo trộn đều trên mặt cắt; (ii) Chất hòa tan sẽ được bảo toàn hoặc phân rã bậc 1; (iii) Áp dụng định luật Fick nghĩa là tán xạ tỷ lệ với hàm lượng khuếch tán.

• Các điều kiện biên và điều kiện ban đầu

➤ Điều kiện ban đầu: Nguồn tại thời điểm $t=0$

➤ Điều kiện biên:

Biên giới hạn kín:

$$\frac{\partial C}{\partial x} = 0 \quad (3.2)$$

Biên giới hạn mở:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = 0 \quad (3.3)$$

Với dòng vào:

$$C = C_{bf} + (C_{out} - C_{bf})e^{-t_{mix}K_{mix}} \quad (3.4)$$

C_{bf} : Hàm lượng tại biên giới hạn; C_{out} : Hàm lượng tại biên giới hạn ngay lúc hoán đổi dòng ra và dòng vào; K_{mix} : Thang giờ kết hợp với hỗn hợp trong nước tiếp nhận và t_{mix} : Thời gian từ lúc thay đổi dòng chảy

• Các điều kiện ổn định của mô hình

a) Hệ số Peclet

Độ ổn định trong sơ đồ giải của mô hình đối lưu khuếch tán phụ thuộc vào hệ số Peclet.

$$Pe = V \frac{\Delta x}{D} < 2 \quad (3.5)$$

V: Vận tốc; Δx Khoảng cách giữa 2 điểm tính toán; D Hệ số khuếch tán

b) Hệ số Courant

$$Cr = V \frac{\Delta t}{\Delta x} < 1 \quad (3.6)$$

Trong tính toán mặn bước thời gian Δt giảm đi nhiều lần so với bước thời gian tính toán thủy lực do tính toán thủy lực không bị giới hạn bởi điều kiện lưu tốc.

3.2.2. Kiểm định mô hình MIKE 11 AD

Năm 2015 và mùa khô năm 2016 mặn xâm nhập sâu và có S max cao nhất ở TPHCM trong vòng 40 năm nên được chọn làm nền để tính toán mặn và so sánh với những năm khác.

Kết quả hiệu chỉnh mặn cho thấy có sự tương đồng giữa mô phỏng và thực đo về độ lớn và pha trong các tháng Đông-Xuân năm 2015 tại nhiều vị trí, trong đó có nhà máy nước sinh hoạt là Hòa Phú (sông SG) và Hóa An (sông ĐN) nên được sử dụng để tính toán cho các kịch bản BĐKH, NBD tại khu vực TP HCM.

Từ kết quả mô phỏng thủy lực và mặn đã tính toán XNM vùng hạ lưu SĐN-SG trong 2 trường hợp CTTL hiện trạng, khí hậu hiện trạng và CTTL hiện trạng dưới tác động của BĐKH, NBD.

3.2.3. Tính toán XNM trong điều kiện CTTL hiện trạng và khí hậu hiện trạng

Cho đến nay, TPHCM đã xây dựng được khoảng 45 hệ thống CTTL với khoảng 2.000 km đê bao, bờ bao, khoảng 2.104 CTTL nhỏ, thủy lợi nội đồng phục vụ SXNN với tổng chiều dài 1.234,25km; trong đó, có 676,75km CTTL được kiên cố hóa (hệ thống CTTL Kênh Đông Củ Chi) với tổng diện tích tưới là 96.500,4 ha và tiêu là 50.842,8 ha. Tuy nhiên đến nay một phần do tác động của BĐKH, NBD, một phần do tác động của con người nên nhiều CTTL đã hư hỏng, xuống cấp không còn đáp ứng được như mục tiêu ban đầu.

3.2.4. Diễn biến XNM trong điều kiện CTTL hiện trạng và khí hậu hiện trạng

Kết quả tính toán từ mô hình MIKE 11 AD cho thấy diễn biến mặn trên sông SG, trong đó có đoạn từ mũi Đền đỏ đến nhà máy nước Tân Hiệp, Hóc Môn hiện nay phụ thuộc hoàn toàn vào sự xả nước đẩy mặn từ hồ Dầu Tiếng, nên nồng độ mặn khi tới nhà máy nước Tân Hiệp là dưới 0,25 g/l đảm bảo cho việc lấy nước sinh hoạt và sản xuất.

Khi triều cường, mặn xâm nhập sâu vào trong nội vùng TP chủ yếu là theo hướng từ cửa

Soài Rạp đến mũi Nhà Bè rồi đi sâu theo các kênh như Ông Lớn, Cần Giuộc... thuộc quận 7 và huyện Nhà Bè. Ngoài ra, một hướng XNM khác vào huyện Bình Chánh là từ phía sông Soài Rạp qua Vàm Cỏ Đông truyền theo kênh Bến Lức Chợ Đệm hay kênh An Hạ vào đến các vùng nông nghiệp phía bên trong của huyện.

Tại các vị trí trên sông SG như Phú An, mũi Đền đỏ nồng độ mặn đã vượt mức 4g/l và còn xâm nhập sâu lên phía thượng lưu với nồng độ mặn lớn hơn 0,25g/l ảnh hưởng tới quá trình lấy nước phục vụ cho sinh hoạt, vì vậy khi dự báo khả năng mặn cao xâm nhập vào sông SG thì hồ Dầu Tiếng sẽ xả nước xuống hạ du đẩy mặn giúp cho việc lấy nước để phục vụ sản xuất và sinh hoạt cho TP ổn định hơn.

Dựa trên kết quả tính toán XNM trong điều kiện của năm 2015, đã xác định được Smax 2g/l lên đến Thanh Đa và Smax 4g/l đến kênh Bến Lức Chợ Đệm và đã ảnh hưởng đến SXNN trong và quanh khu vực huyện Bình Chánh.

Trong năm 2015 mặn mô phỏng trên các sông kênh, rạch cho thấy, tại Thanh Đa, kênh Bến Lức Chợ Đệm, các kênh thuộc huyện Bình Chánh có thời gian XNM 1g/l là hơn 60 ngày. Tại kênh Vàm Thuật mặn 1g/l duy trì trong thời gian khoảng 7 ngày. Kiểm chứng lại cho thấy kết quả mô phỏng và thực tế mặn năm 2015 là trùng hợp với nhau.

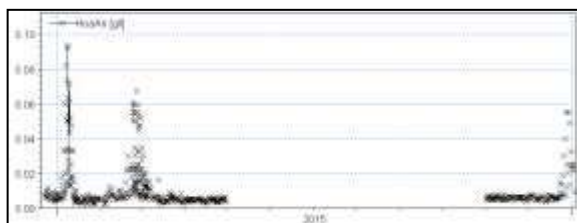
3.2.5. Diễn biến XNM trong điều kiện CTTL hiện trạng dưới tác động của BĐKH

Vào năm 2015 nồng độ mặn tại trạm bơm Hòa Phú là 0,2‰ và tại Hóa An là 0,1‰. So với số liệu giai đoạn từ 2008-2013 nồng độ mặn tại Hòa Phú và Hóa An lần lượt là 0,12‰ và 0,06‰ thì nồng độ mặn đã tăng lên.

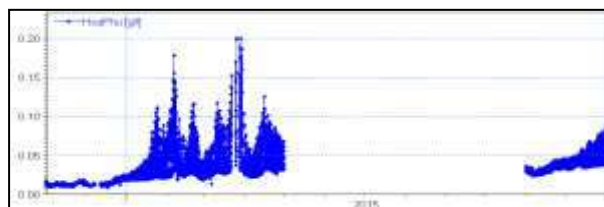
Theo Công ty cấp nước SG từ 12-16/3/2016, độ mặn tại trạm bơm Hòa Phú trên s. SG (cấp nước thô cho Nhà máy Tân Hiệp) nhiều thời điểm vượt ngưỡng theo tiêu chuẩn của Bộ Y tế nên

trạm bơm phải ngưng hoạt động trong nhiều giờ (tiêu chuẩn cho phép $\leq 0,5\%$). Tình trạng này được lặp lại trong năm 2019 tại trạm bơm nước

thô Hòa Phú và tại Nhà Bè độ mặn Smax tăng 30-40% so với cùng kỳ năm 2018 nhưng tăng 80% so với nhiều năm gần đây.



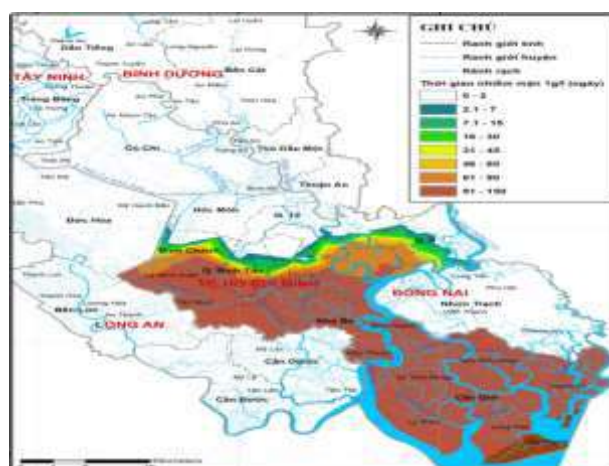
Hình 4: Nồng độ mặn đo tại Hóa An (sông Đồng Nai) mùa khô năm 2015



Hình 5: Nồng độ mặn đo tại Hòa Phú (sông Sài Gòn) mùa khô năm 2015



Hình 6: Nồng độ mặn mùa khô năm 2015



Hình 7: Thời gian nồng độ mặn 1g/l mùa khô năm 2015

Phân tích tài liệu đo mặn từ dự án [4] cho kết quả như sau:

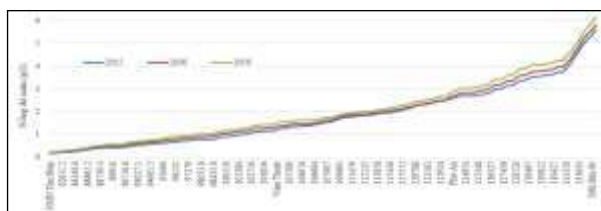
Bảng 4: Các đặc trưng độ mặn (%) từ 2015 - 31/5/2020 tại 6 trạm đo [4]

TT	Vị trí	Đặc trưng	Đặc trưng 2015	Đặc trưng 2016	Đặc trưng 2017	Đặc trưng 2018	Đặc trưng 2019	Đặc trưng 2020 *	Đặc trưng TBNN
1	Mũi Nhà Bè	BQ	3,88	4,92	2,23	2,06	3,64	3,97	3,41
		Max	14,54	15,20	9,68	7,33	10,11	4,21	13,10
		Min	0,06	0,05	0,05	0,05	0,07	3,34	0,08
2	Phà Cát Lái	BQ	1,73	2,84	0,89	0,87	1,92	1,66	2,15
		Max	10,23	11,25	4,72	3,88	5,72	1,79	8,10
		Min	0,04	0,04	0,01	0,04	0,03	1,55	0,00
3	Phà Thủ Thiêm	BQ	1,29	2,12	0,64	0,50	1,27	2,33	1,54
		Max	7,00	8,09	3,53	2,68	4,37	3,41	7,90
		Min	0,10	0,07	0,05	0,08	0,09	1,92	0,00
4	Cầu Ông Thìn	BQ	3,95	5,12	2,18	2,43	3,46	5,59	3,78
		Max	12,78	14,79	8,67	7,83	9,58	6,78	14,30
		Min	0,39	0,36	0,16	0,15	0,15	4,78	0,05
5	Cống Kênh C-Chợ Đệm	BQ	2,37	3,14	1,03	1,17	1,90	3,28	1,14
		Max	7,62	8,75	3,75	3,75	5,18	3,67	8,10
		Min	0,29	0,28	0,14	0,33	0,34	3,05	0,02

TT	Vị trí	Đặc trưng	Đặc trưng 2015	Đặc trưng 2016	Đặc trưng 2017	Đặc trưng 2018	Đặc trưng 2019	Đặc trưng 2020 *	Đặc trưng TBNN
6	Kênh +K. An Hạ	BQ	0,86	1,44	0,31	0,33	0,51	0,57	0,46
		Max	3,49	5,54	1,58	1,49	1,81	0,63	4,80
		Min	0,10	0,04	0,03	0,07	0,01	0,47	0,00

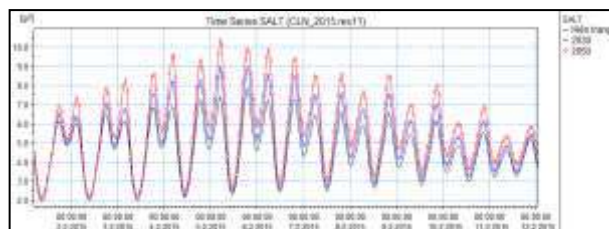
Ghi chú: *: Từ 01/01 đến 31/5/2020

Trong điều kiện BĐKH, NBD đến năm 2030, khi mực NBD lên khoảng 12cm so với hiện nay thì mặn sẽ xâm nhập sâu hơn trên các sông chính thuộc hệ thống SDN-SG.

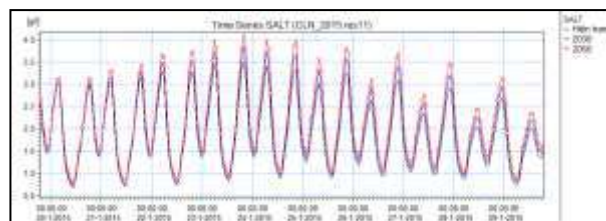


Hình 8: Diễn biến xâm nhập mặn trên sông Sài Gòn theo các kịch bản

Kết quả tính toán cho thấy trong điều kiện BĐKH, NBD năm 2030 và 2050 độ mặn trên sông chính đều tăng lên so với hiện trạng. Tại vùng cửa SDN-SG và phần lớn kênh rạch huyện Cần Giuộc, các xã phía Nam huyện Nhà Bè, độ mặn tăng đáng kể so với hiện trạng, nhưng khi càng về phía thượng lưu thì độ mặn giảm dần và tại hai vị trí Mũi Nhà Bè và Cát Lái (sông ĐN) độ mặn cũng tăng lên đáng kể với đỉnh mặn tăng cao nhưng chân mặn ít thay đổi nên mức độ XNM vào trong kênh rạch và vùng nội đồng là mạnh hơn so với năm 2015.



Hình 9: Diễn biến XNM tại Mũi Nhà Bè theo các kịch bản



Hình 10: Diễn biến XNM tại Cát Lái theo các kịch bản

- Khi triều từ các kênh rạch phía Nam lên dọc sông từ Mũi Đền đỏ lên đến Nhà máy nước Tân Hiệp (s. SG) thì độ mặn đều gia tăng cả đỉnh và chân theo các kịch bản BĐKH, NBD. Năm

2030 độ mặn tăng từ 4 -17% so với hiện trạng và đến năm 2050 độ mặn tăng gấp 2 lần so với năm 2030 từ 10 đến 34%.

Bảng 5: Độ mặn Smax tại các vị trí trên sông Sài Gòn theo các kịch bản (g/l)

Vị trí	2015	2030	Chênh lệch	2050	Chênh lệch
NMN Tân Hiệp	0,16	0,19	19%	0,22	37,5%
Vàm Thuật	1,21	1,34	11%	1,50	23,9%
Phú An	2,60	2,69	3,5%	2,88	10,7%
Mũi Đền đỏ	5,7	5,81	1,9%	5,91	3,7%

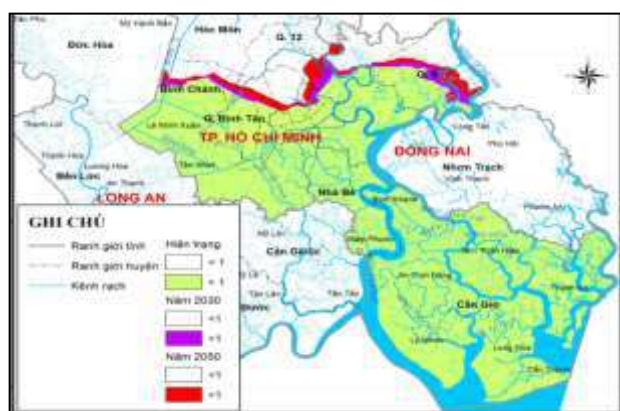
- Ở các khu vực phía Tây thành phố, theo hướng từ sông Vàm Cỏ lên độ mặn gia tăng đáng kể

vào các thời kỳ BĐKH, NBD. Tại kênh Xáng-An Hạ và cống kênh C trên kênh Bến Lức, độ mặn gia tăng cao hơn so với hiện trạng. Đây là vùng SXNN nên cần phải xây dựng và vận hành hợp lý công trình kiểm soát mặn để ngăn XNM vào trong vùng sản xuất;

Kết quả mô phỏng độ mặn S_{max} ứng với điều kiện BĐKH, NBD các năm 2030 và 2050 cho thấy mức độ XNM lớn nhất với ranh mặn 0,25g/l trên s. SG không vượt quá khu vực lấy nước của nhà máy nước Tân Hiệp và với nồng

độ 4g/l thì hầu như các kênh rạch thuộc khu vực phía Nam thành phố như huyện Nhà Bè, một phần huyện Bình Chánh và các quận 7, 4, 8 đều bị nhiễm mặn.

Thời gian XNM ứng với các kịch bản BĐKH cũng gia tăng với ranh mặn 1g/l sẽ xâm nhập tại khu vực phía Nam thành phố và huyện Bình Chánh trong khoảng thời gian hơn 90 ngày và tại một số khu vực như các quận 2, 9 thì ranh mặn 1g/l xuất hiện trong khoảng hơn 60 ngày vào mùa khô.



Hình 11: So sánh nồng độ mặn 1g/l theo hiện trạng và năm 2030, 2050



Hình 12: Nồng độ mặn trên các kênh rạch ứng với năm 2030

3.3. Đề xuất giải pháp ứng phó với xâm nhập mặn

Để chủ động ứng phó với XNM, trong nghiên cứu này đề xuất thực hiện dự án "Xây dựng hệ thống quan trắc mặn, giám sát chất lượng nước tự động và thiết lập mô hình tính toán dự báo XNM (ASWQM) tại khu vực TPHCM" theo mô hình của các tỉnh Trà Vinh và Bến Tre đã xây dựng hoàn thành và đã giảm thiểu được rất nhiều thiệt hại do XNM gây nên.

Trà Vinh là tỉnh đầu tiên tại ĐBSCL đã hoàn thành dự án: "Xây dựng hệ thống quan trắc dự báo độ mặn và giám sát chất lượng nước tự động" để cung cấp thông tin, dự báo độ mặn kịp thời và các thông tin về chất lượng nước (CLN) cho các vùng SXNN, nuôi trồng thủy sản (NTTS) và các cơ quan chức năng ra quyết

định ngắn hạn, dài hạn hợp lý nhằm ứng phó kịp thời với XNM do BĐKH, NBD gây nên. Dự án đã xây dựng: (i) 20 trạm quan trắc độ mặn và CLN tự động; (ii) Thiết lập cấu trúc nền tảng dữ liệu của hệ thống phần mềm dự báo độ mặn và chia sẻ thông tin (tại Trung tâm xử lý số liệu) (iii) Phát triển dữ liệu của hệ thống phần mềm dự báo độ mặn và chia sẻ thông tin không chỉ ở Trà Vinh mà còn với các địa phương khác. Tổng kinh phí thực hiện dự án là khoảng 15 tỷ đồng.

Sau đó tỉnh Bến Tre cũng đã xây dựng ASWQM với 20 trạm quan trắc như ở Trà Vinh.

Hệ thống ASWQM là công trình mang lại lợi ích kinh tế rất cao cho các vùng SXNN và NTTS, các cơ quan quản lý, nghiên cứu về môi trường nước, hệ sinh thái nhằm giảm rủi ro

thiệt hại và tăng cơ hội cho các hoạt động mới thích ứng trong điều kiện BĐKH, NBD.

Hiện nay Công ty TNHH MTV Quản lý khai thác CTTL Trà Vinh đã kiểm soát được tình hình hạn, mặn qua hệ thống ASWQM, tập trung thực hiện một số giải pháp ứng phó:

- Khi ASWQM quan trắc và dự báo độ mặn >1 ‰ trên các kênh rạch chính, thì sẽ đóng triệt để các cống đầu mối và trong nội đồng và mở cửa lấy nước phòng chống khô, hạn khi độ mặn giảm <1 ‰. Tổ chức vận hành từ các cống đầu mối đến nội đồng theo hướng tích ngọt dần ở vùng từ hạ nguồn lên thượng nguồn (mặn đến đâu đóng cống ngăn mặn đến đó); đảm bảo mực nước ngọt trong nội đồng phải đạt $\geq +0,5\text{m}$, trữ ngọt để đảm bảo nguồn nước tưới phục vụ cho sản xuất hợp lý tiết kiệm theo yêu cầu thực tế tại từng thời điểm, từng khu vực.

- Các vùng thường xuyên bị nhiễm mặn bố trí lịch thời vụ chủ động xuống giống sớm từ đầu tháng 11 và kết thúc trong tháng 12 để tránh bị nhiễm mặn vào cuối vụ.

Theo báo cáo của Sở NN&PTNT Trà Vinh trong các đợt hạn mặn năm 2019 vừa qua Trà Vinh đã hạn chế được rất nhiều thiệt hại do XNM gây nên.

Hiện nay tất cả các trạm ASWQM đều được kết nối về trạm Trung tâm nơi đặt máy chủ. Giải pháp kết nối là sử dụng mạng 3G/4G hầu như được phủ sóng trong toàn tỉnh đặc biệt là mạng Viettel. Vì vậy tất cả các trạm đều kết nối được về trạm Trung tâm và số liệu quan trắc liên tục được cập nhật vào máy chủ.

Trong năm 2020 cũng đã lắp đặt xong tại 20 vị trí của hệ thống ASWQM tại tỉnh Bến Tre và hệ thống này đã đo đạc mặn theo thời gian cài đặt với tần suất thu thập và truyền số liệu về trung tâm được lập trình khoảng thời gian phù hợp cho từng yêu cầu cụ thể như 5', 10', 20', 30', 1h, 2h24h.

Nhờ có ASWQM này mà vừa qua tại Trà Vinh và Bến Tre đã kiểm soát được mặn tại nhiều địa

phương và đã tham mưu cho Sở NN&PTNT ra những quyết định kịp thời để giảm thiểu được nhiều thiệt hại của XNM do tác động của BĐKH, NBD gây nên.

3.3.1. Lắp đặt các trạm của hệ thống ASWQM trên các sông, kênh rạch khu vực TP Hồ Chí Minh

Do những hiệu quả tích cực giảm thiểu được XNM tại Trà Vinh và Bến Tre nhờ hệ thống ASWQM nên tại TPHCM cũng cần phải xây dựng hệ thống này để hạn chế thiệt hại do XNM gây nên cho nông nghiệp, các loại hoa màu, cây kiểng, cây ăn trái và nước sinh hoạt của thành phố.

Hiện nay, tại TPHCM các trạm đo mặn của Đài KTTV khu vực Nam Bộ gồm có:

- 04 trạm đo cơ bản (đo từ 01/01 đến 30/6 hàng năm): trạm Nhà Bè (s.Nhà Bè), trạm Lý Nhơn (cửa Soài Rạp), trạm Ngã ba Cát Lái, trạm Long Đại (s.Đống Nai).

- 03 trạm đo mặn không thường xuyên cho một số năm (thông thường đo vào 02 tháng mùa kiệt nhất của năm): Lái Thiêu, Thủ Thiêm (s. SG), Cầu Ông Thìn (s. Cần Giuộc).

- Trạm đo mặn Nhà Bè, nhưng nồng độ mặn được đo theo đợt và 2 giờ đo 1 lần còn tại Phú An chỉ được đo đặc vào những đợt nhất định.



Hình 13: Một trạm ASWQM tại Trà Vinh

Ngoài ra từ năm 2015 đến nay có thêm dự án [4] đo mặn tại 7 vị trí với tần suất mỗi tháng đo 3 đợt. Tuy nhiên hạn mặn xảy ra thất thường do BĐKH, NBD thì số liệu đo từ các trạm không

thường xuyên không thể đáp ứng được yêu cầu về dự báo XNM cho khu vực TP nhất là để kịp thời xả nước từ các hồ điều tiết đầy mặn cung cấp nước sinh hoạt và SXNN. Hệ thống ASWQM và mô hình dự báo mặn MIKE 11 AD cho khu vực TP HCM được đề xuất như sau: Hiện nay đường truyền mặn vào các sông rạch là từ các sông Lòng Tàu, Soài Rạp và Vàm Cỏ nên theo kết quả tính toán XNM ở trên, để có thể nhận được số liệu cần thiết dùng cho mô hình tính toán, cần phải xây dựng 16 trạm quan trắc ASWQM và 1 Trung tâm quản lý, điều hành tại Sở NN&PTNT, tại đây sẽ lắp đặt hệ thống máy tính để thu nhận số liệu từ các trạm đo tự động cung cấp và tính toán dự báo XNM. 16 trạm đo ASWQM được kết nối vào máy chủ tại Trung tâm điều hành qua mạng Viettel.

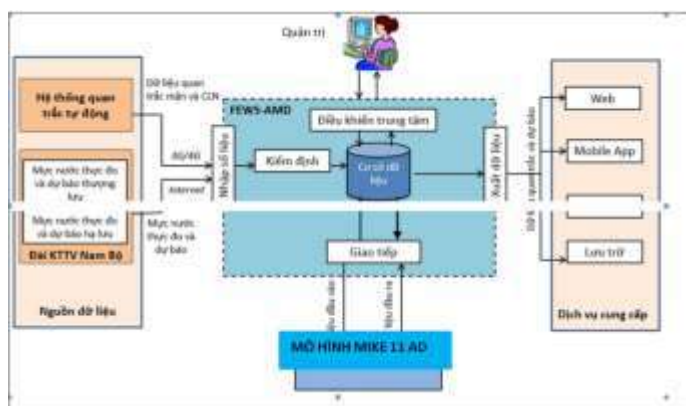
Vì số liệu được truyền liên tục vào nên máy tính cũng sẽ tính liên tục và cho ra kết quả dự báo mặn nhanh nhất cung cấp cho các cơ quan liên quan như Ban Quản lý các hồ Dầu Tiếng, Trị An, Phước Hòa, Tổng Công ty SAWACO, Chi cục Thủy lợi, Ban Quản lý và khai thác CTTL để kịp thời có các biện pháp ứng phó kịp thời với XNM.

Tại Trà Vinh tổng kinh phí thực hiện dự án là khoảng 15 tỷ đồng cho 20 trạm quan trắc ASWQM. Con số này là không lớn tuy nhiên hiệu quả mang lại sẽ rất lớn, vì vậy đây là giải pháp tốt nhất để ứng phó với XNM do tác động

của BĐKH và NBD cho TPHCM.

KẾT LUẬN:

BĐKH đã ảnh hưởng rất mạnh đến TPHCM qua các biểu hiện như nhiệt độ tăng cao, lượng mưa bất thường trong mùa mưa và giảm đáng kể trong mùa khô làm thiếu hụt nguồn nước ngọt, gây rất nhiều thiệt hại cho các hoạt động KT-XH nhất là trong SXNN và nước sinh hoạt cho TPHCM. Trong bài báo này đã đánh giá và phân tích khả năng đáp ứng cũng như những mặt tồn tại của từng công trình dưới tác động của BĐKH, NBD và do tác động của con người từ các hoạt động KT-XH; Tính toán diễn biến XNM vào các sông, kênh rạch vùng hạ du hệ thống SĐN-SG trong điều kiện CTTL và khí hậu hiện trạng, CTTL hiện trạng và có sự tác động của BĐKH, NBD; Nghiên cứu và đề xuất giải pháp ứng phó với XNM trong điều kiện hiện trạng và theo các kịch bản BĐKH, NBD của Bộ TN&MT. Nghiên cứu đã đề xuất thiết lập dự án "Xây dựng hệ thống quan trắc mặn, giám sát chất lượng nước tự động và thiết lập mô hình tính toán dự báo XNM tại khu vực TPHCM" nhằm ứng phó kịp thời để giảm thiểu đến mức thấp nhất những thiệt hại do XNM gây ra cho SXNN và nước sinh hoạt cho TPHCM trong điều kiện BĐKH, NBD đang ngày càng diễn biến khốc liệt trên phạm vi toàn cầu trong đó Việt Nam được đánh giá là một trong 5 quốc gia chịu tác động nặng nề nhất.



Hình 14: Lưu đồ kết nối dữ liệu cho



Hình 15: Đề xuất vị trí ASWQM

hệ thống ASWQM

tại TPHCM

Bảng 6: Vị trí các trạm của hệ thống ASWQM ở TPHCM (Tọa độ WGS84 UTM Zone 48N)

TT	Tên trạm	X	Y
1	Đồng Thanh	702745,2874	1155811,415
2	Thanh Bình	716179,8449	1167300,691
3	Vàm Sát	692179,4962	1164493,705
4	Tam Thôn Hiệp	703402,1048	1171956,6
5	Cầu Ông Thìn	683284,5407	1175030,508
6	Long Thới	691128,1571	1177251,46
7	Nhà Bè	691935,1856	1181858,22
8	Bình Hưng	677621,6354	1184518,24
9	Cát Lái	693232,6522	1188978,447
10	Bến Vân Đồn	686234,3909	1190855,063
11	Long Đại	704175,5202	1197192,668
12	Thanh Đa	691606,5046	1196754,128
13	Hóa An	700892,1863	1205615,612
14	Lái Thiêu	684662,2877	1203099,326
15	Trung An	680361,372	1213032,939
16	Phú Bình	674542,1325	1220211,588

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Số liệu quan trắc KTTV tại TPHCM và vùng lân cận. Đài KTTV khu vực Nam bộ.
- [2] Số liệu quan trắc mực nước hồ Dầu Tiếng. Ban Quản lý hồ Dầu Tiếng
- [3] Số liệu quan trắc mực nước các hồ Trị An, Phước Hòa, Cần Đơn. Ban QL hồ Trị An.
- [4] Dự án “Khảo sát thủy văn XNM trên các sông rạch TP HCM”. Chi cục TL TP. HCM.
- [5] *Bản đồ cao độ số DEM TP HCM. Sở Tài nguyên và Môi trường TPHCM*
- [6] Dự án điều tra cơ bản sông ĐN-SG. Bộ Nông nghiệp & Phát triển nông thôn
- [7] Dự án điều tra xói lở bờ s. ĐN, SG khu vực TP HCM. Tổng cục Phòng chống thiên tai.
- [8] Đề tài: “Nghiên cứu dự báo đánh giá tác động của BĐKH đến các CTTL (các hệ thống tưới, tiêu, ngăn mặn...) và đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu quả nhằm phục vụ SXNN bền vững trên địa bàn TPHCM”. Viện Kỹ thuật Biển, 2019-2021.
- [9] Tài liệu đo mặn các năm 1983, 1984, 1989, 1990 và 2016. Viện KHTLMN;
- [10] Tài liệu về các CTTL phục vụ SXNN trên địa bàn TP. HCM. Chi cục Thủy lợi TPHCM
- [11] Số liệu đo mặn tại các nhà máy nước Hoà Phú trên s. Sài Gòn và Hóa An trên s. ĐN. Công ty cấp nước Sài Gòn SAWACO
- [13] *Kịch bản biến đổi khí hậu – nước biển dâng 2016, Bộ TN&MT*