

TÁC ĐỘNG TỪ VIỆC KHAI THÁC NƯỚC THÔ TRÊN HỆ THỐNG SÔNG SÀI GÒN – ĐỒNG NAI ĐẾN SỰ THAY ĐỔI NỒNG ĐỘ MẶN NGUỒN NƯỚC

IMPACT OF RAW WATER INTAKES IN THE SAI GON – DONG NAI RIVER SYSTEMS ON THE EVOLUTION OF SALINITY CONCENTRATION

Nguyễn Thống^{1,2,3}, Trần Thanh Thảo⁴, Hồ Tuấn Đức^{1,2,3},
Phan Quang Hưng^{1,2}

1. Khoa Kỹ thuật Xây Dựng - Trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM
2. Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
3. Phòng thí nghiệm nghiên cứu về nước khu vực châu Á
4. Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

PGS. TS. Nguyễn Thống
Email: nguyenthong@hcmut.edu.vn
Điện thoại: 0909 730 540

Ngày nhận bài: 30/11/2022
Ngày gửi phản biện: 09/12/2022
Ngày chấp nhận đăng: 16/12/2022

Tóm tắt:

Các đặc trưng của chế độ thủy triều vùng hạ lưu hệ thống sông Sài Gòn-Đồng Nai (SG-ĐN) và vùng cửa sông Soài Rạp-Lòng Tàu được hình thành bởi sự cộng hưởng của các sóng triều thiên văn truyền từ biển khơi vào vùng nước nông, theo phương ngang và phương thẳng đứng dưới tác động của địa hình. Nội dung bài báo giới thiệu kết quả về việc ứng dụng một mô hình toán số 2D theo phương nằm ngang để nghiên cứu hiện tượng thay đổi độ mặn tại vị trí khai thác nước thô cho các nhà máy nước Thủ Đức (Trạm bơm Hóa An) trên sông Đồng Nai và nhà máy nước Tân Hiệp (Trạm bơm Hòa Phú) trên sông Sài Gòn với các kịch bản lưu lượng khai thác nước thô khác nhau. Kết quả tính toán cho thấy sự gia tăng nồng độ mặn tại vị trí khai thác tỷ lệ thuận với cường độ khai thác và phụ thuộc vào hiện trạng thủy lực trong hệ thống sông SG-ĐN. Ngoài ra kết quả tính toán cũng cho thấy độ nhạy tương đối của sự thay đổi và biên độ dao động độ mặn trên sông Sài Gòn cao hơn trên sông Đồng Nai.

Từ khóa: *Xâm nhập mặn, Telemac2D, Thủy động lực học, Lưu vực sông Sài Gòn-Đồng Nai.*

Abstract:

The characteristics of the tidal regime in the downstream of the Saigon-Dong Nai river system (SG-DN) and the Soai Rap-Long Tau estuary are formed by the resonance of astronomical tidal waves transmitted horizontally and vertically from the sea into shallow water, under the influence of the seafloor morphology. This article introduces the results of applying a horizontal 2D numerical model to study the phenomenon of salinity change at the raw water extraction site for Thu Duc water plants (Hoa An pumping station) on Dong Nai river and Tan Hiep water plant (Hoa Phu pumping station) on Saigon river with different water intake scenarios. The calculation results show that the increase in salinity concentration at the extraction site is proportional to the pumping intensity and depends on the hydraulic status in the SG-DN river system. In addition, the calculated results also show that the relative sensitivity of salinity change and amplitude are higher on the Saigon River than on the Dong Nai River.

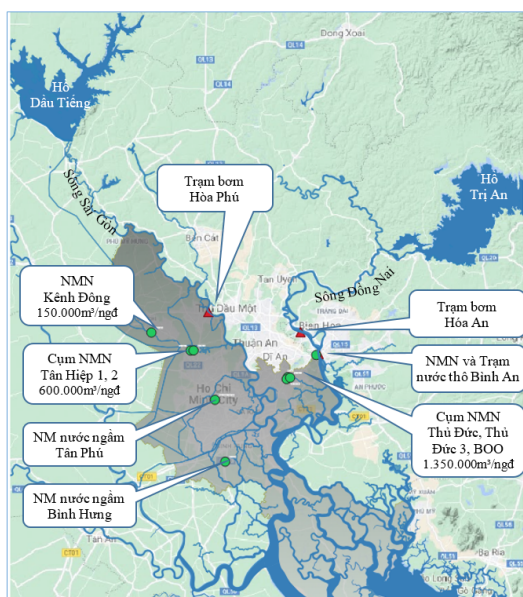
Keywords: *Salinity intrusion, Telemac2D, Hydrodynamic, Sai Gon-Đong Nai River's Basin.*

1. Giới thiệu

Với dân số hơn 9 triệu người (năm 2022), nguồn nước cấp phục vụ dân sinh, sản xuất cho Thành phố Hồ Chí Minh được khai thác chủ yếu từ nguồn nước mặt hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai và một phần là nước ngầm, thông qua hệ thống các nhà máy nước (hình 1). Hai nhà máy nước chính gồm có nhà máy nước Thủ Đức với công suất khai thác nước thô tại trạm bơm Hóa An (trên sông Đồng Nai) khoảng 1.150.000 m³/ngày và nhà máy nước Tân Hiệp với công suất khai thác nước thô tại trạm bơm Hòa Phú (trên sông Sài Gòn) khoảng 360.000 m³/ngày. Do nhu cầu phát triển trong khu vực, nhu cầu cung cấp nước trong tương lai sẽ tăng dần dẫn đến gia tăng công suất khai thác tại các nhà máy nước này. Tuy nhiên việc tăng cường khai thác nguồn nước thô dự kiến sẽ làm thay đổi giá trị nồng độ mặn theo hướng bất lợi, vượt quá giới hạn độ mặn thích hợp để khai thác một cách kinh

tế, gây tác động không nhỏ tới sức khỏe con người và các hoạt động nông nghiệp, công nghiệp. Theo dữ liệu độ mặn lịch sử trong hệ thống sông này, đã ghi nhận rất nhiều thời điểm báo động do độ mặn vượt giá trị ngưỡng cho phép (250 mg/L theo Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt QCVN 01-1:2018/BYT) mà nguyên nhân là do sự thay đổi lưu lượng nước đổ về từ thượng lưu (hệ lụy từ các dự án thủy điện và khai thác nước đầu nguồn), mực nước dâng ở biển Đông và sự phát triển mạnh của gió mùa Đông Bắc. Bên cạnh đó, do đặc điểm các sông rạch ở vùng hạ lưu sông Sài Gòn - Đồng Nai có lòng sông sâu và độ dốc bé, tạo thuận lợi cho dòng triều với biên độ lớn xâm nhập rất sâu vào nội địa vào cao điểm mùa khô (tháng 2 đến tháng 5). Hiện nay, công nghệ xử lý nước nhiễm mặn vẫn chưa được áp dụng tại các nhà máy nước do chi phí quá cao nên biện pháp duy nhất là xả

nước chảy mặn từ hồ Dầu Tiếng và hồ Trĩ An. Tuy nhiên, điều đáng lo ngại là lượng nước tại hai hồ này đang dần thiếu hụt và còn phải gánh thêm nhiệm vụ tưới tiêu, tích nước phát điện nên việc xả nước cũng rất cần nhắc. Nghiên cứu này nhằm mục đích nghiên cứu định lượng sự thay đổi độ mặn tại vị trí khai thác với các kịch bản dự kiến gia tăng lưu lượng nước thô nhằm gia tăng công suất cấp nước. Mô hình toán số thủy động lực học 2D (Telemac2D) phối hợp với bài toán lan truyền mặn sẽ được mô phỏng và sử dụng. Các kết quả đạt được dự kiến sẽ phục vụ cho công tác quy hoạch và dự báo trong việc khai thác nước thô trên hệ thống sông Sài Gòn-Đồng Nai (SG-ĐN) phục vụ cho các nhà máy cung cấp nước sinh hoạt cũng như sản xuất nông nghiệp liên quan trong khu vực.



Hình 1. Vị trí các trạm bơm nước thô và nhà máy nước cung cấp nước cho Tp.HCM.
(Nguồn: Tổng Công ty cấp nước Sài Gòn – SAWACO)

2. Cơ sở lý thuyết

Telemac2D là một trong những phần mềm thủy lực được Tập đoàn Điện lực Pháp (EDF) chủ trì cùng với sự tham gia của nhiều tổ chức nghiên cứu trên thế giới dùng để mô phỏng dòng chảy 2 chiều theo phương nằm ngang (trung bình theo phương thẳng đứng) được mô tả bởi hệ phương trình Saint Venant (phương trình [1], [2], [3]) và lan truyền chất được mô tả bởi phương trình [4]:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \text{div}(h\vec{U}) = q \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x} + \mathbf{v} \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial y} = -g \frac{\partial Z_s}{\partial x} + \mathbf{F}_x + \frac{1}{h} \text{div}[\mathbf{h} \mathbf{v}_e \text{grad}(\mathbf{u})] \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z_s}{\partial y} + F_y + \frac{1}{h} \text{div} [h v_e \text{grad}(v)] \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = Q + v_T \Delta(T) \quad (4)$$

Trong đó: $h(m)$ – chiều sâu, u & $v(m/s)$ – thành phần vận tốc theo phương ngang x & y của vận tốc, $q(m/s)$ – lưu lượng đơn vị của nguồn, $g(m/s^2)$ gia tốc trọng trường, $Z_s(m)$ – cao độ mặt thoáng, $F_{x,y}(m/s^2)$ – các ngoại lực (không kể trọng lực, ví dụ lực Coriolis,...) tác dụng trên một đơn vị khối lượng chiều theo phương ngang x & y , (m^2/s) - hệ số khuếch tán, $T(g/l)$ - nồng độ chất, Q – số hạng nguồn, v_T - khuếch tán chất.

Mô hình Telemac2D được lập trình có thể lựa chọn phương pháp phần tử hữu hạn hoặc thể tích hữu hạn. Bài

toán số được lập trình có thể xử lý được các dạng điều kiện biên như: Biên mực nước Z , biên lưu lượng Q , biên lưu lượng và chiều sâu lớp nước ($Q&H$), biên vận tốc (U,V), biên ($H&U,V$), biên sóng đến. Dạng biên khác nếu có sẽ được người sử dụng lập trình riêng.

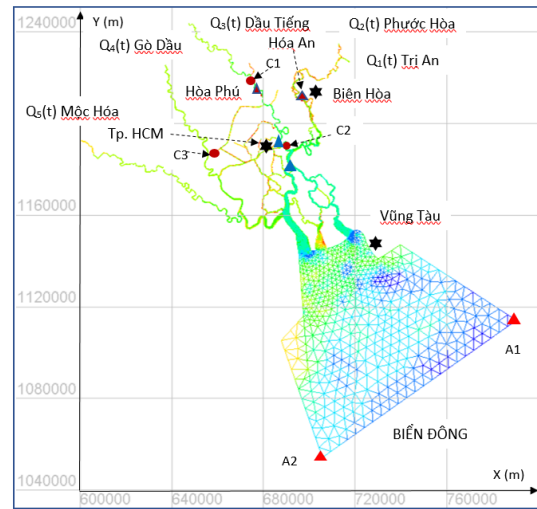
Mô hình Telemac2D được lập trình có thể lựa chọn phương pháp phần tử hữu hạn hoặc thể tích hữu hạn. Bài toán số được lập trình có thể xử lý được các dạng điều kiện biên như: biên mực nước Z , biên lưu lượng Q , biên lưu lượng và mực nước ($Q \& Z$), biên vận tốc và mực nước ($u, v \& Z$).

3. Mô phỏng dòng chảy 2D lưu vực sông Sài Gòn-Đồng Nai và vùng cửa biển

3.1. Miền tính

Miền nghiên cứu được giới hạn phía thượng lưu kể từ sau các hồ chứa Trị An, Phước Hoà, Dầu Tiếng và các nhánh sông Vàm Cỏ Đông đến vị trí trạm Gò Dầu Hạ và Vàm Cỏ Tây đến vị trí trạm đo Mộc Hóa. Để giảm thiểu ảnh hưởng của đáy biển vùng ven bờ, giá trị triều thiên văn sẽ được áp đặt xem như điều kiện biên cho vùng biên hở ngoài biển, phía hạ lưu miền tính được mở rộng ra biển Đông với vị trí xa nhất cách cửa sông Soài Rạp khoảng 75km. Tổng diện tích miền tính khoảng 5814 km² (hình 2). Miền tính 2D theo phương nằm ngang được mô hình hoá bởi gần 83000 phần tử tam giác phi cấu trúc với phần tử tam

giác nhỏ nhất có cạnh khoảng 20m mô tả hai chiều trong vùng sông rạch và phần tử lớn nhất có cạnh khoảng 4000m mô tả phần tử ngoài vùng biển của miền tính.



Hình 2. Lưới miền tính 2D (gần 83000 phần tử tam giác phi cấu trúc)

3.2. Điều kiện biên và địa hình miền nghiên cứu

Miền nghiên cứu được giới hạn bởi 5 biên lưu lượng ở thượng lưu và 1 biên mực nước và vận tốc ở hạ lưu cụ thể như sau:

- Biên $Q_1(t)$ sau hồ chứa Trị An (sông ĐN)
- Biên $Q_2(t)$ sau hồ chứa Phước Hoà (sông SG)
- Biên $Q_3(t)$ sau hồ chứa Dầu Tiếng (sông SG)
- Biên $Q_4(t)$ tại trạm Gò Dầu Hạ (Vàm Cỏ Đông)
- Biên $Q_5(t)$ tại trạm Mộc Hóa (Vàm Cỏ Tây)

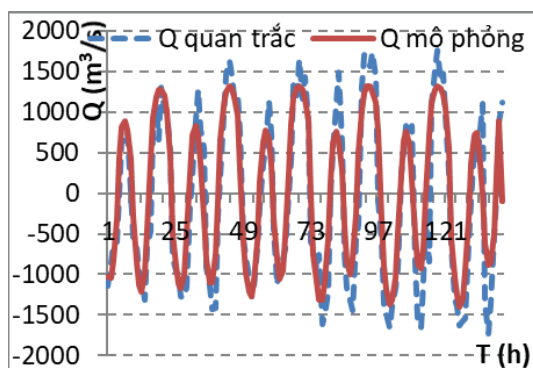
-Biên $Z(t)$, U , V ngoài biển xác định từ cơ sở dữ liệu của triều thiên văn TPXO.

Địa hình khu vực đất liền lấy từ bản đồ DEM có khoảng cách giữa các điểm đo là 25m. Địa hình đáy biển lấy từ cơ sở dữ liệu ETOPO1 có khoảng cách trung bình giữa các điểm đo là 1800m.

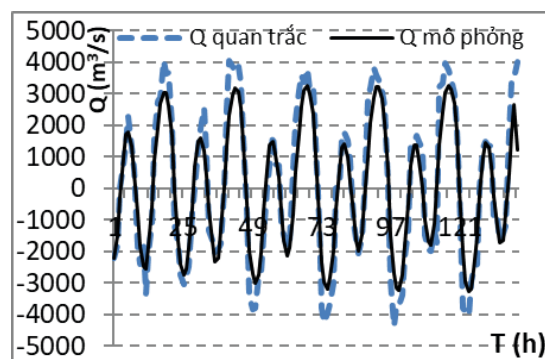
3.3. Hiệu chỉnh mô hình

Mô hình đã được hiệu chỉnh trong

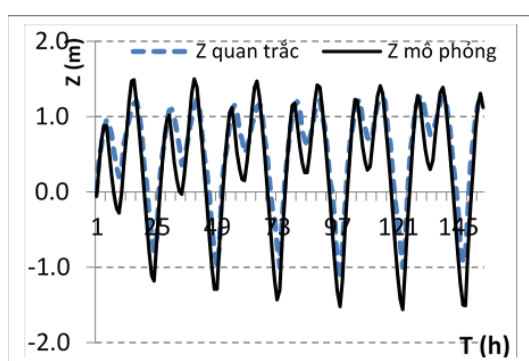
khoảng thời gian 6 ngày từ 12/10/2009 đến 18/10/2009. Số liệu mực nước và lưu lượng tại hai vị trí C_1 (trạm bơm Hòa Phú) và C_2 (trạm Phú An) trên sông Sài Gòn được so sánh (xem hình 2). Kết quả hiệu chỉnh được trình bày trong các đồ thị từ hình 3 đến hình 6 và bảng 1 tổng hợp một số chỉ tiêu so sánh độ phù hợp mô hình (Goodness of Fit - GoF).



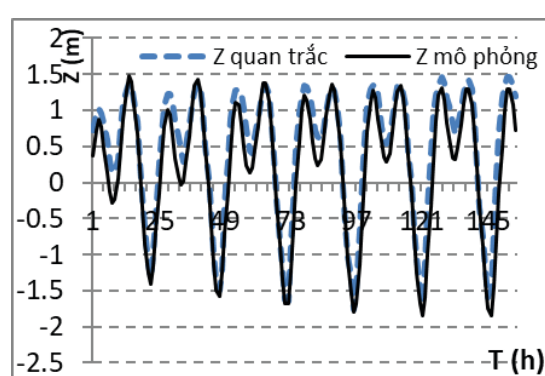
Hình 3. So sánh giá trị quan trắc và mô phỏng lưu lượng tại vị trí C_1



Hình 5. So sánh giá trị quan trắc và mô phỏng lưu lượng tại vị trí C_2



Hình 4. So sánh giá trị quan trắc và mô phỏng mực nước tại vị trí C_1



Hình 6. So sánh giá trị quan trắc và mô phỏng mực nước tại vị trí C_2

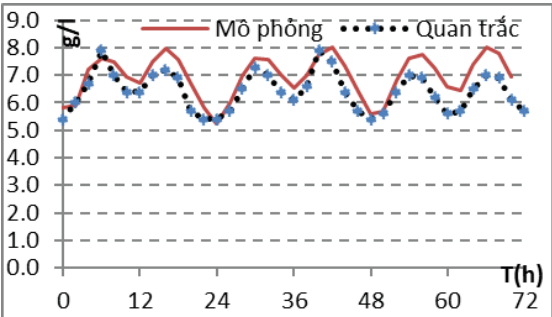
Bảng 1. Một số chỉ tiêu so sánh GoF

	Sai biệt đỉnh TB (m³/s)	Sai biệt đáy TB (m³/s)	σ quan trắc (m³/s)	σ mô phỏng (m³/s)	R²
Q tại vị trí C ₁	18,2	2,4	1048,8	1119,8	0,72
Q tại vị trí C ₂	33,2	45,2	2483,1	2490,0	0,91

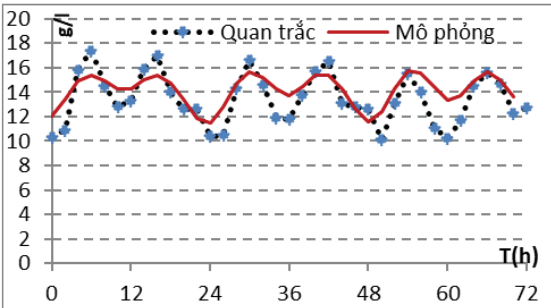
	Sai biệt đỉnh TB (m)	Sai biệt đáy TB (m)	σ quan trắc (m)	σ mô phỏng (m)	R²
Z tại vị trí C ₁	0,05	0,02	0,63	0,65	0,91
Z tại vị trí C ₂	0,04	0,10	0,89	0,92	0,78

Kết quả kiểm định cho thấy mô hình phản ánh khá tốt kết quả quan trắc mực nước và lưu lượng tại các vị trí xem xét.

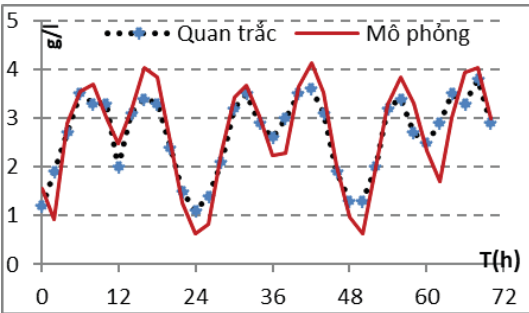
Hiệu chỉnh nồng độ mặn trong 3 ngày từ 8h ngày 8/3/2005 đến 8h ngày 11/3/2005 được thể hiện ở các hình từ hình 7 đến hình 9.



Hình 7. Nồng độ mặn tại Phú An



Hình 9. Nồng độ mặn tại Nhà Bè



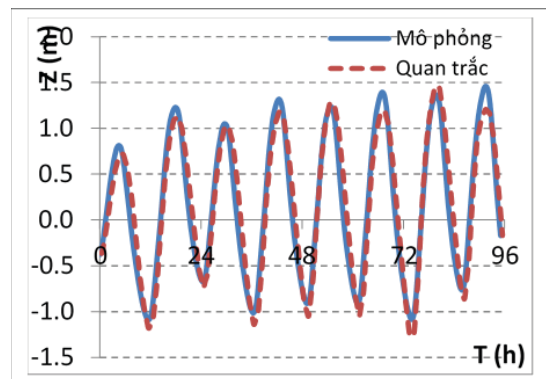
Hình 8. Nồng độ mặn tại Lái Thiêu

Chỉ số R² lần lượt cho các vị trí đo độ mặn tại Lái Thiêu, Phú An và Nhà Bè lần lượt là : 0,65; 0,27 và 0,48. Kết quả cho thấy giá trị quan trắc và mô phỏng tại trạm Phú An là kém nhất. Biên độ dao động của giá trị độ mặn quan trắc tại trạm Nhà Bè lớn hơn giá trị cho bởi mô phỏng. Xét về mặt định tính là sự thay

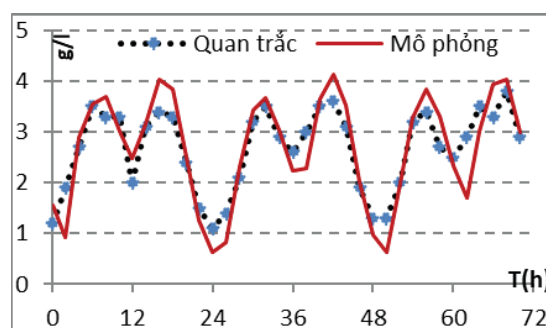
đổi của giá trị mặn ghi nhận bởi quan trắc tại vị trí trạm này là chưa hợp lý lắm, ví dụ so với trạm Phú An hay Lái Thiêu. Lý do là về lý thuyết, tại vị trí trạm Nhà Bè số hạng khuếch tán sẽ khống chế số hạng đối lưu vì lưu lượng nước ngọt về từ thượng lưu sẽ tương đối nhỏ so với lưu lượng qua mặt cắt (ảnh hưởng chủ yếu do mực nước triều). Do đó về lý thuyết, càng về hạ lưu biên độ dao động của độ mặn sẽ nhỏ dần với giả thiết lưu lượng nước ngọt vào biên thượng lưu là không đổi trong thời kỳ mô phỏng

3.4. Kiểm định mô hình

Với mô hình đã được hiệu chỉnh nêu trên, bước kiểm định được thực hiện với thời đoạn kiểm định bao gồm 2 chuỗi số liệu quan trắc: từ 12/10/2012 đến 16/10/2012 và từ 6/5/2020 đến 8/5/2020. Số liệu mực nước tại các trạm Nhà Bè, Phú An, Biên Hòa, Bến Lức và Tân An cũng như độ mặn tại kênh Xáng được xem xét so sánh giữa số liệu quan trắc và kết quả mô phỏng. Kết quả được trình bày trong các đồ thị từ Hình 10 đến Hình 11.



Hình 10. Mực nước trạm Nhà Bè



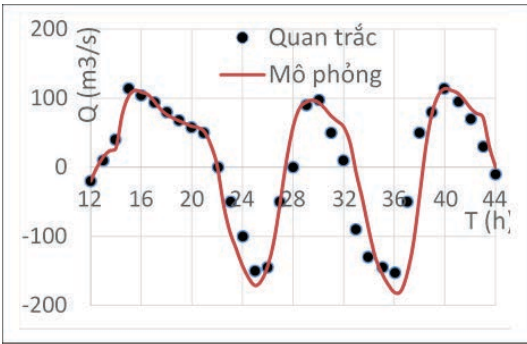
Hình 11. Mực nước trạm Phú An

Một số chỉ tiêu GoF của kết quả trong các đồ thị từ Hình 10 đến Hình 11 được tóm tắt trong Bảng 2. Kết quả kiểm định cho thấy mô hình phản ánh khá tốt kết quả quan trắc của các trạm Nhà Bè, Phú An.

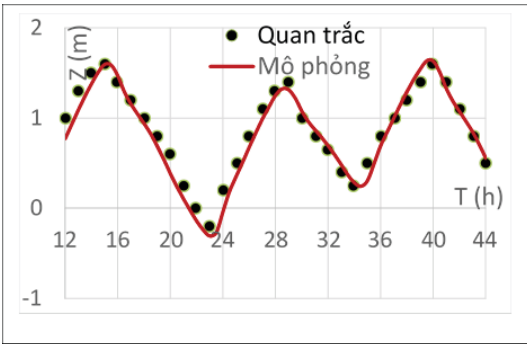
Bảng 2. Một số chỉ tiêu so sánh GoF

	Sai biệt đỉnh TB (m)	Sai biệt đáy TB (m)	σ quan trắc (m)	σ mô phỏng (m)
Nhà Bè	0.088	0.136	0.772	0.769
Phú An	0.075	0.030	0.704	0.757

Các đồ thị trong Hình 12 và Hình 13 trình bày kết quả kiểm định tại vị trí kênh Xáng từ 6/5/2020 đến 8/5/2020.



Hình 12. Lưu lượng trạm kênh Xáng



Hình 13. Mực nước trạm kênh Xáng

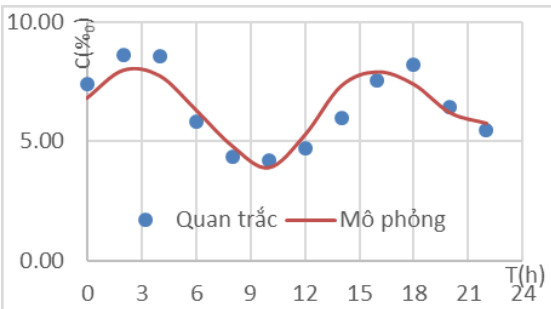
Theo đó, Bảng 3 trình bày kết quả so sánh giữa giá trị quan trắc và mô phỏng tại kênh Xáng trong giai đoạn này.

Bảng 3. So sánh giữa giá trị quan trắc và mô phỏng tại kênh Xáng từ 6/5/2020 đến 8/5/2020

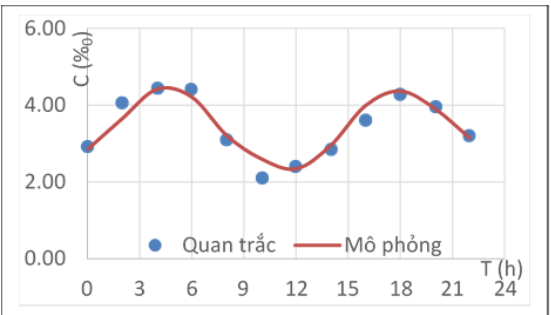
Q(m³/s)	Mô phỏng	Quan trắc
Max	114.15	114.20
Min	-181.09	-153.00
TB	6.56	6.41

Z(m)	Mô phỏng	Quan trắc
Max	1.63	1.60
Min	-0.31	-0.20
TB	0.83	0.88

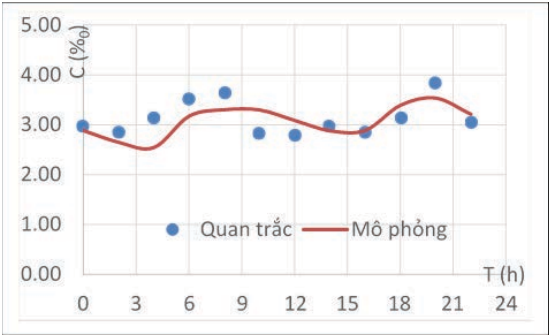
Các đồ thị từ Hình 14 đến Hình 17 trình bày kết quả kiểm định độ mặn ngày 9/3/2020 lần lượt tại các trạm Nhà Bè, Cát Lái, Thủ Thiêm và Rạch Tra. Bảng 4 trình bày kết quả so sánh độ mặn giữa giá trị quan trắc và mô phỏng. Kết quả cho thấy giá trị mô phỏng phản ánh tương đối phù hợp giá trị quan trắc, nhất là giá trị trung bình.



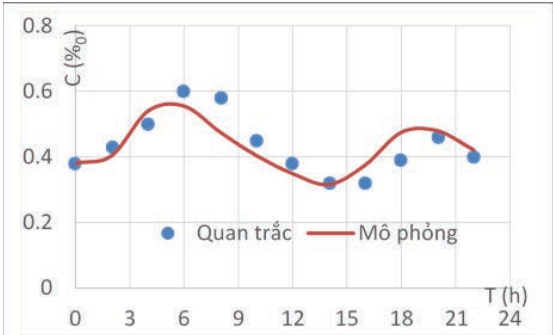
Hình 14. Độ mặn trạm Nhà Bè



Hình 15. Độ mặn trạm Cát Lái



Hình 16. Độ mặn trạm Thử Thiêm



Hình 17. Độ mặn trạm Rạch Tra

Bảng 4. So sánh giữa giá trị độ mặn (‰) quan trắc và mô phỏng tại các trạm điển hình

	Nhà Bè		Cát Lái		Thử Thiêm		Rạch Tra	
	Quan trắc	Mô phỏng	Quan trắc	Mô phỏng	Quan trắc	Mô phỏng	Quan trắc	Mô phỏng
Max	8.61	7.97	4.44	4.42	3.84	3.53	0.6	0.555
Min	4.19	3.90	2.10	2.34	2.79	2.54	0.32	0.316
TB	6.44	6.45	3.45	3.47	3.13	3.07	0.43	0.43

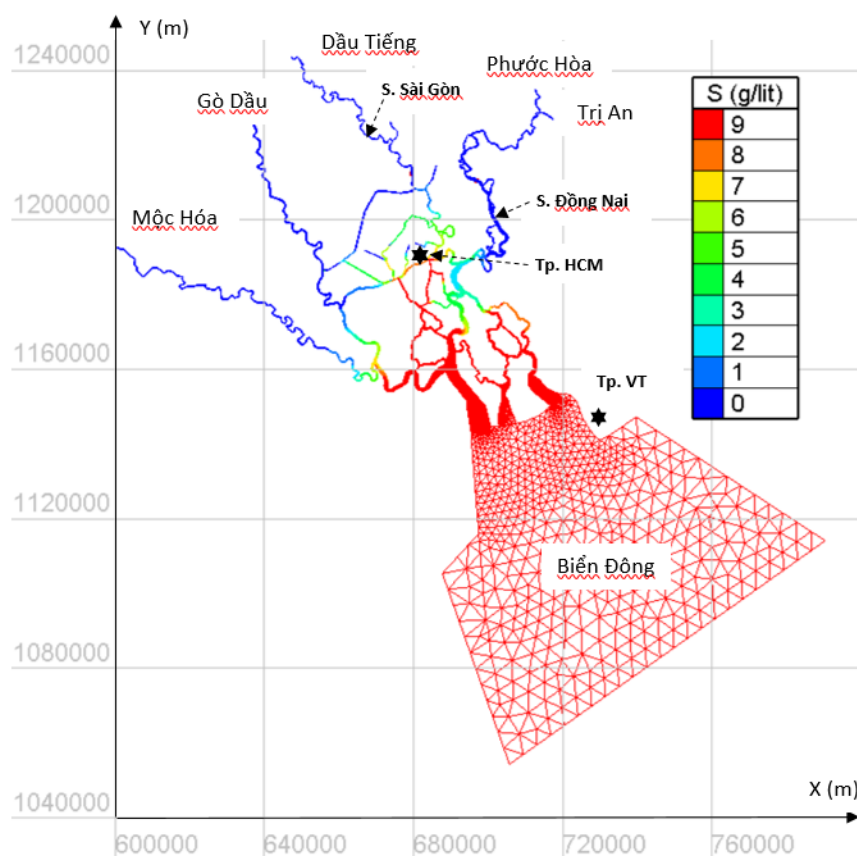
4. Ảnh hưởng khai thác nước thô lên thay đổi nồng độ mặn trên sông Sài Gòn - Đồng Nai

Phân bố nồng độ mặn trên hệ thống sông SG-ĐN phụ thuộc nhiều yếu tố, điển hình như địa hình, lưu lượng nước về từ thượng nguồn, mực nước hạ lưu (biển Đông), tình trạng khai thác nước lấy từ sông, ... Trong phạm vi nghiên cứu này chỉ giới hạn xem xét đến yếu tố khai thác nước và một số kịch bản phản ánh mực nước hạ lưu tương ứng vào mùa kiệt trong khu vực. Khai thác nước thô phục vụ nhu cầu dùng nước cho khu vực Tp. HCM chủ yếu từ trạm bơm nước Hóa An lấy nước từ sông ĐN và trạm bơm Hòa Phú lấy nước từ

sông SG. Tám kịch bản (KB) điển hình mô phỏng vào tháng 2/2015 và tháng 4/2021 sẽ được tính toán kết hợp với 3 kịch bản về lưu lượng khai thác trong đó KB0 chỉ khai thác hiện trạng. Tóm tắt các thông số của 24 kịch bản khai thác được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5. Kịch bản khai thác lưu lượng

Trạm bơm	KB 0 (cơ sở)	KB 1	KB 2
Hóa An	1000m ³ /ngđ	1250m ³ /ngđ	1500m ³ /ngđ
Hòa Phú	300m ³ /ngđ	375m ³ /ngđ	450m ³ /ngđ



Hình 18. Phân bố nồng độ mặn điển hình mô phỏng lúc 14h, ngày 24/4/2021

Các bảng tổng hợp sau đây (từ Bảng 6 đến bảng 13) trình bày kết quả sự thay đổi độ mặn (giá trị Max, Min, TB) tại nhà máy nước Hòa An và Hòa Phú so với kịch bản cơ sở (KB0) chỉ lưu lượng khai thác hiện tại:

Bảng 6. Độ mặn (‰) và tỷ lệ thay đổi (%) so với kịch bản cơ sở tương ứng, ngày 10/02/2015

		KB0 (‰)	KB1 (‰)	KB2 (‰)	(KB1-KB0)/ KB0 _{TB} (%)	(KB2-KB0)/ KB0 _{TB} (%)
Hòa Phú	Max	0.1342	0.1414	0.1480	12.3	23.50
	Min	0.0233	0.0242	0.0250	1.5	2.79
	TB	0.0590	0.0619	0.0645	4.9	9.35

Hóa An	Max	0.0257	0.0264	0.0272	3.65	7.48
	Min	0.0155	0.0159	0.0164	2.11	4.31
	TB	0.0205	0.0211	0.0217	2.85	5.84

Bảng 7. Độ mặn (‰) và tỷ lệ thay đổi (%) so với kịch bản cơ sở tương ứng, ngày 17/02/2015

		KB0 (‰)	KB1 (‰)	KB2 (‰)	(KB1-KB0)/ KB0_{TB} (%)	(KB2-KB0)/ KB0_{TB} (%)
Hòa Phú	Max	0.4852	0.5032	0.5205	8.5	16.61
	Min	0.0195	0.0200	0.0205	0.2	0.50
	TB	0.2129	0.2204	0.2277	3.5	6.93
Hóa An	Max	0.0351	0.0362	0.0374	3.66	7.55
	Min	0.0203	0.0209	0.0215	1.94	3.98
	TB	0.0205	0.0211	0.0217	2.85	5.84

Bảng 8. Độ mặn (‰) và tỷ lệ thay đổi (%) so với kịch bản cơ sở tương ứng, ngày 24/02/2015

		KB0 (‰)	KB1 (‰)	KB2 (‰)	(KB1-KB0)/ KB0_{TB} (%)	(KB2-KB0)/ KB0_{TB} (%)
Hòa Phú	Max	0.2911	0.3082	0.3243	15.6	30.13
	Min	0.0285	0.0299	0.0314	1.3	2.63
	TB	0.1102	0.1168	0.1231	6.0	11.77
Hóa An	Max	0.0303	0.0312	0.0321	3.64	7.45
	Min	0.0169	0.0174	0.0179	1.94	3.96
	TB	0.0245	0.0252	0.0260	2.87	5.86

Bảng 9. Độ mặn (‰) và tỷ lệ thay đổi (%) so với kịch bản cơ sở tương ứng, ngày 03/03/2015

		KB0 (‰)	KB1 (‰)	KB2 (‰)	(KB1-KB0)/ KB0_{TB} (%)	(KB2-KB0)/ KB0_{TB} (%)
Hòa Phú	Max	0.3221	0.3309	0.3420	5.0	11.36
	Min	0.0312	0.0317	0.0325	0.3	0.73
	TB	0.1758	0.1804	0.1863	2.6	5.99
Hóa An	Max	0.0254	0.0261	0.0269	3.55	7.30
	Min	0.0139	0.0143	0.0147	1.85	3.79
	TB	0.0207	0.0213	0.0219	2.84	5.83

Bảng 10. Độ mặn (‰) và tỷ lệ thay đổi (%) so với kịch bản cơ sở tương ứng, ngày 03/04/2021

		KB0 (‰)	KB1 (‰)	KB2 (‰)	(KB1-KB0)/ KB0_{TB} (%)	(KB2-KB0)/ KB0_{TB} (%)
Hòa Phú	Max	0.5467	0.5635	0.5768	6.4	11.58
	Min	0.0456	0.0467	0.0476	0.4	0.76
	TB	0.2603	0.2686	0.2750	3.2	5.64
Hóa An	Max	0.0332	0.0342	0.0351	3.38	6.71
	Min	0.0183	0.0188	0.0193	1.79	3.52
	TB	0.0280	0.0288	0.0296	2.78	5.51

Bảng 11. Độ mặn (‰) và tỷ lệ thay đổi (%) so với kịch bản cơ sở tương ứng, ngày 10/04/2015

		KB0 (‰)	KB1 (‰)	KB2 (‰)	(KB1-KB0)/ KB0_{TB} (%)	(KB2-KB0)/ KB0_{TB} (%)
Hòa Phú	Max	0.4327	0.4409	0.4484	3.8	7.36
	Min	0.0591	0.0597	0.0603	0.2	0.55
	TB	0.2132	0.2170	0.2208	1.8	3.58
Hóa An	Max	0.0277	0.0285	0.0294	3.76	7.74
	Min	0.0159	0.0163	0.0168	2.05	4.20
	TB	0.0221	0.0228	0.0235	2.94	6.03

Bảng 12. Độ mặn (‰) và tỷ lệ thay đổi (%) so với kịch bản cơ sở tương ứng, ngày 17/04/2021

		KB0 (‰)	KB1 (‰)	KB2 (‰)	(KB1-KB0)/ KB0_{TB} (%)	(KB2-KB0)/ KB0_{TB} (%)
Hòa Phú	Max	0.4107	0.4233	0.4326	5.8	10.04
	Min	0.0424	0.0434	0.0440	0.4	0.69
	TB	0.2188	0.2253	0.2302	3.0	5.20
Hóa An	Max	0.0268	0.0275	0.0282	3.21	6.07
	Min	0.0145	0.0149	0.0152	1.64	3.11
	TB	0.0221	0.0227	0.0232	2.56	4.81

Bảng 13. Độ mặn (‰) và tỷ lệ thay đổi (%) so với kịch bản cơ sở tương ứng, ngày 24/04/2021

		KB0 (‰)	KB1 (‰)	KB2 (‰)	(KB1-KB0)/ KB0_{TB} (%)	(KB2-KB0)/ KB0_{TB} (%)
Hòa Phú	Max	1.3876	1.4056	1.4206	2.2	4.00
	Min	0.3057	0.3085	0.3114	0.3	0.68
	TB	0.8251	0.8351	0.8436	1.2	2.24
Hóa An	Max	0.0269	0.0278	0.0286	3.86	7.88
	Min	0.0147	0.0152	0.0156	2.01	4.08
	TB	0.0213	0.0219	0.0226	2.99	6.10

Các bảng tổng hợp nêu trên chỉ giới hạn xem xét một số kịch bản về lưu lượng khai thác với kịch bản cơ sở (KB0) tương ứng với 300.000 m³/ngày cho trạm bơm Hòa Phú lấy nước sông SG và 1.000.000 m³/ngày cho trạm bơm Hóa An lấy nước trên sông ĐN. Các kịch bản lưu lượng kế tiếp tương ứng với sự gia tăng 25% và 50% so với KB0. Yếu tố thứ 2 xem xét trong nghiên cứu này liên quan đến mực nước hạ lưu và chỉ giới hạn trong 2 tháng vào mùa kiệt điển hình là tháng 2/2015 và tháng 4/2021, qua đó mỗi tháng thực hiện 4 ngày đại biểu. Kết quả tính toán trình bày nêu trên cho phép rút ra một số nhận xét chính sau đây:

- Điều kiện biên về mực nước hạ lưu (Biển Đông) có ảnh hưởng đến sự thay đổi độ mặn tại nơi khai thác. Trong đó sự thay đổi của trạm Hòa Phú lớn hơn so với tại trạm Hóa An.

- Kết quả cho thấy biên độ dao động độ

mặn tại vị trí lấy nước Hòa Phú trên sông SG là lớn hơn khá nhiều so với biên độ dao động độ mặn tại vị trí nước Hóa An trên sông ĐN. Hiện tượng này có thể giải thích hiện tượng đối lưu mặn là khống chế so với hiện tượng khuếch tán mặn trên sông ĐN do lưu lượng cơ bản trên sông này là lớn hơn nhiều so với lưu lượng trên sông SG.

- Sự gia tăng giá trị độ mặn Max, TB theo các kịch bản mực nước hạ lưu xem xét khác nhau cho thấy tại vị trí lấy nước Hòa Phú lớn hơn so với vị trí lấy nước Hóa An. Kết quả này có nghĩa là sự gia tăng khai thác lưu lượng nước thô theo kịch bản xem xét (25% và 50%) làm gia tăng độ mặn tại Hòa Phú hơn so với tại Hóa An với cùng kịch bản gia tăng lưu lượng nước thô so với kịch bản hiện trạng (KB0).

- Xem xét 2 kịch bản gia tăng 25% và 50% lưu lượng lấy nước thô so với kịch bản cơ sở tương ứng, xu thế chung cho thấy gia tăng

lấy nước từ trạm bơm Hòa Phú trên sông SG làm sự gia tăng độ mặn TB tại vị trí lấy nước nhanh hơn so với vị trí lấy nước từ trạm bơm Hóa An trên sông ĐN. Kết quả tương đối này có thể giải thích lưu lượng trung bình trên sông ĐN khá lớn hơn so với sông SG.

- Một cách tổng quát có thể đánh giá tỷ lệ % gia tăng độ mặn trung bình sẽ gấp khoảng 2 lần khi gia tăng lưu lượng nước thô khai thác lần lượt là 25% và 50% so với lưu lượng khai thác hiện tại vào khoảng 300.000 m³/ngđ cho trạm bơm Hòa Phú và 1.000.000 m³/ngđ cho trạm bơm Hóa An.

5. Kết luận

Khai thác nước thô trên sông SG và sông ĐN có tác dụng làm gia tăng độ mặn nước thô khai thác ở các vị trí lấy nước của trạm bơm Hòa Phú trên sông SG phục vụ nhà máy nước Tân Hiệp và trạm bơm Hóa An

phục vụ nhà máy nước Thủ Đức. Với 24 kịch bản xem xét liên quan đến mực nước hạ lưu vào các tháng mùa kiệt gồm tháng 2/2015, tháng 4/2021 và kịch bản gia tăng lưu lượng lấy nước thô so với giá trị khai thác hiện tại ở các trạm bơm cho thấy sự gia tăng độ mặn sẽ tỷ lệ với sự gia tăng lưu lượng khai thác. Nhìn chung sự gia tăng độ mặn tương đối tại vị trí trạm bơm Hòa Phú trên sông SG thường lớn hơn so với sự gia tăng tương ứng tại vị trí lấy nước trạm Hóa An trên sông ĐN. Nếu xét đến sự gia tăng lưu lượng theo cùng tỷ lệ so với kịch bản cơ sở (lấy nước hiện trạng) vị trí lấy nước Hòa Phú trên sông SG có tốc độ gia tăng độ mặn lớn hơn so với vị trí lấy nước Hóa An trên sông ĐN. Hiện tượng này có thể giải thích nguyên nhân một cách tổng quát từ lưu lượng cơ bản trên sông ĐN là lớn hơn so với sông SG.

Lời cảm ơn

Các mô phỏng đã được thực hiện trên hệ thống máy tính hiệu năng cao (HPCC), trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Hồ Minh Thông, *Tác động của biến đổi khí hậu đến nguồn nước thô cung cấp và dự báo nhu cầu dùng nước trung hạn tại Tp. Hồ Chí Minh* (Luận án tiến sĩ kỹ thuật), Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Tp.HCM, 2022.
- [2]. Lê Ngọc Anh, *Biến đổi hình thái cửa sông Soài Rạp dưới tác động của các hoạt động do con người và nước biển dâng* (Luận án tiến sĩ kỹ thuật), Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Tp.HCM, 2022.
- [3]. HERVOUET Jean Michel, "Hydrodynamics of Free Surface Flows modeling with the finite element method". WILEY, 2007.
- [4]. LANG Pierre et al., "Telemac2d_manuel_utilisateur_v8p0", EDF, 2020.
- [5]. NOAA. National Geophysical Center. <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>.
- [6]. OTIS Regional Tidal Solutions. <http://volkov.oce.orst.edu/tides/region.html>.