

DỰ BÁO CHẤT LƯỢNG NƯỚC TRONG ĐIỀU KIỆN BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU KẾT HỢP MÔ HÌNH MỘT VÀ HAI CHIỀU CHO LƯU VỰC SÔNG ĐỒNG NAI

Đặng Quang Thanh

Viện Thủy lợi Đan Mạch Việt Nam (DHI)

Phạm Văn Song

Trường Đại học Việt Đức

Đặng Đức Thanh

Đại học Công nghệ và Thiết kế Singapore

Trần Ánh Dương

Đại học Công nghệ TP. Hồ Chí Minh (HUTECH)

Tóm tắt: Chất lượng nước đô thị là một vấn đề mới nổi ở các nước đang phát triển do lượng nước thải không được xử lý từ các khu công nghiệp và khu dân cư đang mở rộng nhanh chóng. Quá trình công nghiệp hóa và đô thị hóa đã thúc đẩy nền kinh tế của các tỉnh trên lưu vực sông Đồng Nai, nhưng chất lượng nước cũng bị suy giảm nghiêm trọng. Khi biến đổi khí hậu làm gia tăng sự xuất hiện của các điều kiện khắc nghiệt và cuối cùng là thay đổi chất lượng nước, dự báo chất lượng nước đô thị giúp kiểm soát ô nhiễm nước và bảo vệ sức khỏe con người để phát triển bền vững. Nghiên cứu này khảo sát phản ứng của chất lượng nước trong điều kiện biến đổi khí hậu ở lưu vực sông Đồng Nai sử dụng mô hình thủy động lực học kết hợp 1D-MIKE11 và 2D-MIKE21 và mô hình MIKE-Ecolab để định lượng bốn chỉ số môi trường, bao gồm Ôxy hòa tan (DO), Nhu cầu Ôxy Sinh hóa (BOD), Nitrat, Amoniac. Dữ liệu bắt buộc cho mô hình 1D bao gồm lưu lượng thượng nguồn hàng giờ tại hồ Trị An và bốn mực nước hạ lưu tại các trạm ven biển. Mô hình 2D-MIKE21, được sử dụng để mô phỏng chất lượng nước tại khu vực đô thị thành phố Biên Hòa, được cung cấp bởi 24 nguồn điểm ô nhiễm (nhà máy và khu công nghiệp). Kết quả mô hình cho thấy có xu hướng gia tăng tổng thể về các thành phần hóa học và tỷ lệ ô nhiễm ở lưu vực sông Đồng Nai và thành phố Biên Hòa bất chấp các nỗ lực xử lý nước thải. Các nghiên cứu mô hình hóa sâu hơn là cần thiết để hiểu tác động của những thay đổi trong tương lai do khí hậu và phát triển đối với động lực ô nhiễm trong khu vực, khi các hoạt động giám sát và kiểm tra của chính quyền thành phố cần tiếp tục để đảm bảo rằng phát triển kinh tế không dẫn đến các thiệt hại về môi trường.

Từ khóa: Chất lượng nước, MIKE 11, MIKE21-Ecolab, Lưu vực Đồng Nai.

Summary: Urban water quality is an emerging water problem in developing countries as a result of increasingly untreated discharges from rapidly expanding industrial and residential zones. Industrialization and urbanization have boosted the economy of the provinces in the Dong Nai river basin, but the quality of water is also deteriorated drastically. When climate change has caused the increasing occurrence of extreme conditions and eventually the deterioration of water quality, the prediction of urban water quality helps control water pollution and protect human health for sustainable development. This study investigates water quality responses to climate change in the Dong Nai river basin using a coupled 1D-MIKE11 and 2D-MIKE21 hydrodynamic model and MIKE-Ecolab model to quantify four environmental indicators, including Dissolved Oxygen (DO), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Nitrate, Ammonia. Forcing data for the 1D model include hourly upstream discharge at the Tri An reservoir and four downstream water levels at coastal stations. The 2D-MIKE21 model, which is used to simulate water quality in the urban area of Bien Hoa city, is fed by 24 pollution point sources (factories and plants). Modelling results reveal that there is an overall increasing trend in chemical components and pollution rates in the Dong Nai river basin and Bien Hoa city in spite of wastewater treatment efforts. Further modelling studies are needed to understand the impact of future changes owing to climate and development on pollution dynamics in the region, when monitoring and inspection activities of municipal authority should continue to ensure that economic development does not result in environmental damages.

Keywords: Water Quality, MIKE 11, MIKE21, Ecolab, Dong Nai River.

1. GIỚI THIỆU

Lưu vực Đồng Nai nằm ở miền Nam Việt Nam, trải dài từ 10°22'20" đến 11°33'40" vĩ độ Bắc, 106°44'15" đến 107°34'10" kinh độ Đông, gần tỉnh

Bình Thuận ở phía đông, Phía đông bắc giáp tỉnh Lâm Đồng, phía tây bắc giáp tỉnh Bình Dương và Bình Phước, phía nam giáp Bà Rịa Vũng Tàu và phía tây giáp thành phố Hồ Chí Minh (Hình 1).

Ngày nhận bài: 26/12/2020

Ngày thông qua phản biện: 25/01/2021

Ngày duyệt đăng: 05/02/2021

Sông Đồng Nai có chiều dài 437 km với diện tích lưu vực là 40.680 km², đứng thứ ba sau Đồng bằng sông Hồng và đồng bằng sông Cửu Long, dòng chảy bắt nguồn từ vùng đồi cao phía Bắc tỉnh Lâm Đồng [1]. Hệ thống sông này bao gồm dòng chính Đồng Nai và 4 phụ lưu lớn là sông La Ngà ở phía đông, sông Bé, sông Sài Gòn và sông Vàm Cỏ ở phía tây (Hình 1). Tổng lượng dòng chảy trung bình hàng năm của lưu vực sông Đồng Nai là khoảng 37 tỷ m³ nước [2]. Sử dụng nước từ sông Đồng Nai là nhu cầu rất cao để sinh hoạt (19 triệu người), tưới cho đất nông nghiệp (hơn 22.000 km²) và phát điện (2380 MW) và đảm bảo xả ra môi trường 276 m³/s [3].

Gần đây, sự phát triển nhanh chóng của các hoạt động công nghiệp bao gồm 103 khu công nghiệp với tổng diện tích 10.200 ha tạo ra áp lực lớn về nhu cầu nước và xử lý nước thải. Nhu cầu nước dự kiến sẽ tăng lên 630.000 m³ mỗi ngày vào năm 2020 cho các khu công nghiệp và dân số dẫn đến ô nhiễm nguồn nước rất lớn cần phải xử lý trước khi xả ra sông [4]. Hệ thống sông ngòi trên lưu vực Đồng Nai đã bị ô nhiễm nghiêm trọng do một số lượng lớn các nguồn điểm từ các nhà máy công nghiệp. Tầm quan trọng của việc xả nước thải đối với ngành dệt may, sản xuất giấy và sản xuất thực phẩm [4]. Tình trạng ô nhiễm nước ở hạ lưu với nồng độ chất hữu cơ và chất rắn lơ lửng cao [5]. Đặc biệt, tình trạng ô nhiễm nguồn nước càng nghiêm trọng vào mùa khô do khả năng tự lọc của các dòng sông [6]. Vì vậy, định lượng chất lượng nước lưu vực sông Đồng Nai là rất quan trọng để nâng cao năng lực quản lý tài nguyên nước và bảo vệ môi trường. Bài báo này mô phỏng chất lượng nước trong điều kiện biến đổi khí hậu ở lưu vực sông Đồng Nai sử dụng mô hình thủy động lực học 1D-MIKE11 và 2D-MIKE21 kết hợp và mô hình MIKE-Ecolab để định lượng bốn chỉ số môi trường, bao gồm Oxy hòa tan (DO), Sinh hóa Nhu cầu oxy (BOD), Nitrat, Amoniac. Bài báo này là một phần của dự báo thời gian thực của dự án chất lượng nước

lưu vực sông Đồng Nai. Các chỉ số khác như nhiệt độ (T°C), tổng chất rắn lơ lửng (TSS) được đưa vào mô hình để mô phỏng và xem như yếu tố ảnh hưởng.



Hình 1: Khu vực nghiên cứu và hệ thống sông

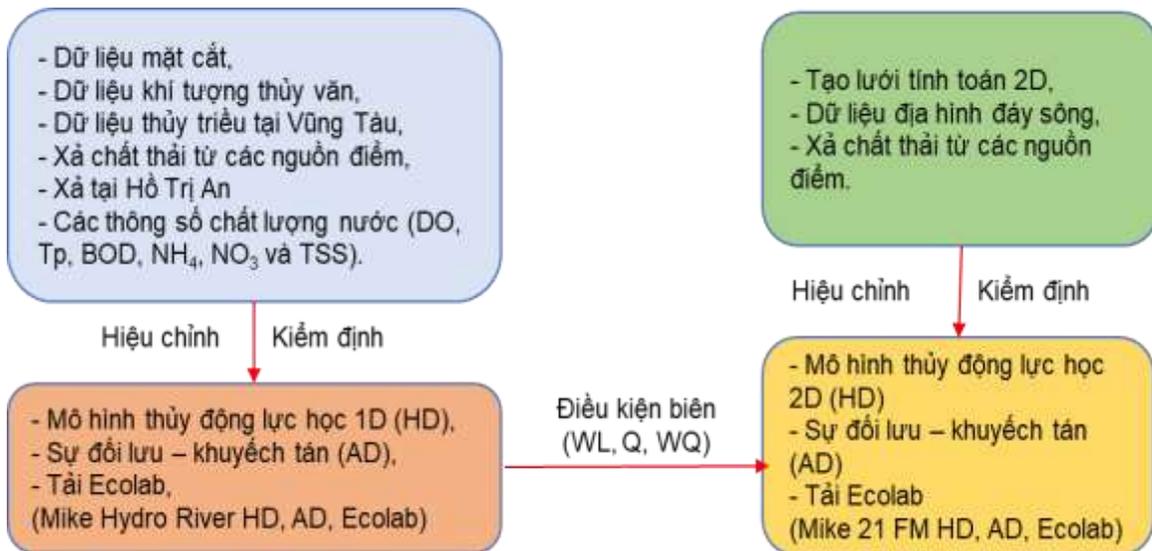
2. PHƯƠNG PHÁP VÀ DỮ LIỆU

2.1. Phương pháp

Trong nghiên cứu này, chúng tôi áp dụng mô hình kết hợp 1D-MIKE 11 và 2D-MIKE 21 để mô phỏng thủy động lực học, mô hình Ecolab để mô phỏng chất lượng nước với 4 chỉ số môi trường. Phần kết quả mô phỏng MIKE 11 được sử dụng làm đầu vào cho mô phỏng MIKE 21 khu vực Biên Hòa. Tính toán chất lượng nước chạy đồng thời với mô-đun thủy động lực học. Sơ đồ quy trình được tính toán như trong Hình 2. Mô hình 1D và 2D có các mô-đun khác nhau bao gồm thủy động lực học (HD), đối lưu – khuếch tán (AD), chất lượng nước (WQ), vận chuyển trầm tích và chất dinh dưỡng [7]. MIKE 21 giải số bằng phương trình Navier-Stokes cho chất lỏng không nén được kết hợp với giả thuyết Boussinesq và các giả định về áp suất thủy tĩnh. Lưới phi cấu trúc cho phương pháp phần tử hữu hạn được phát triển để chia nhỏ miền nghiên cứu và tính toán điều kiện thủy động lực học [8]. Việc sử dụng mô hình toán 1 chiều cho khu vực rộng lớn làm biên đầu vào cho mô phỏng 2 chiều ở khu vực nhỏ hơn là mục tiêu của nghiên cứu này để đảm bảo các yếu tố thủy văn, thủy lực trên

toàn lưu vực. Các công thức tính toán trong 2 mô hình được miêu tả chi tiết trong tài liệu

hướng dẫn của DHI [7] và nhiều nghiên cứu trước đây.



Hình 2: Sơ đồ tính toán cho nghiên cứu

2.2. Thu thập dữ liệu

Dữ liệu về lượng mưa được thu thập tại 8 trạm (Thủ Đức, Cát Lái, Long Thành, Nhà Bè, Biên Hòa, Lạc An và Tân Ước) trong 10 năm từ 2005 đến 2015. Số liệu mực nước tại Vũng Tàu, Biên Hòa, Trạm Nhà Bè từ 2005 - 2015 và số liệu lưu lượng tại các trạm Trị An, Tà Lài, Phước Hòa 2005 - 2015. Mặt cắt và địa hình sông được cập nhật số liệu đo năm 2013 với 43 nhánh và 616 mặt cắt.

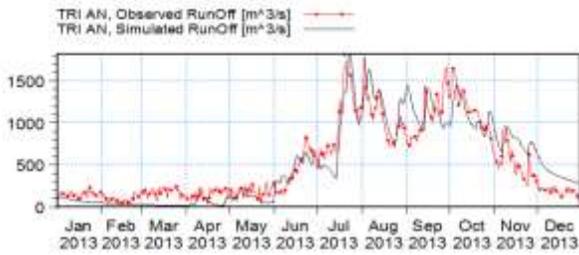
Dữ liệu chất lượng nước: Dữ liệu thu thập bao gồm pH, TSS, Độ mặn, Độ đục, DO, COD, Nitrat, Amoni tại ranh giới (Trạm Trị An) và tại vị trí hiệu chuẩn (Trạm Nguyễn Văn Trị). Dữ liệu xác thực và xác minh: Dữ liệu mực

nước và dữ liệu chất lượng nước được lấy từ trạm Nguyễn Văn Trị, là dữ liệu đo thời gian thực.

Lưu lượng bổ sung trong lưu vực từ lượng mưa đóng góp vào sông chính được mô hình hóa bằng mô hình mưa - dòng chảy lượng (NAM). Do ảnh hưởng của thủy triều, không có sẵn dữ liệu dòng chảy thực tế để hiệu chỉnh mô hình NAM. Do đó, chúng tôi sử dụng dòng chảy ở thượng lưu hồ Trị An có đặc điểm thủy văn tương tự khu vực nghiên cứu và số liệu lượng mưa được thu thập tại hồ Trị An để hiệu chỉnh mô hình. Mô hình NAM đã được hiệu chỉnh và thử nghiệm với dữ liệu vào năm 2013 như các thông số sau trong Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số đã hiệu chỉnh của lượng mưa - mô hình dòng chảy (NAM)

U _{max}	L _{max}	CQOF	CKIF	CK1,2	TOF	TIF	TG	CKBF
18,6	146	0,157	325,8	47,7	0,312	0,557	0,12	2685



Hình 3: Mô phỏng và đo đạc dòng chảy đầu ra tại hồ Trị An

3. MÔ HÌNH THỦY LỰC VÀ CHẤT LƯỢNG NƯỚC

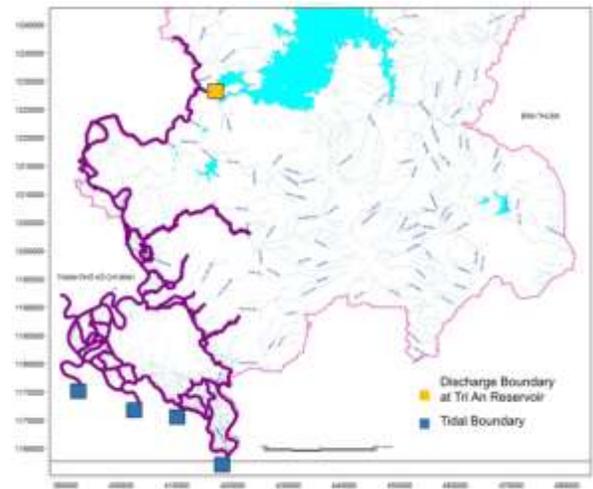
3.1. Mô hình thủy lực 1D-MIKE 11 and 2D-MIKE 21

Chúng tôi đã lựa chọn 1D-MIKE 11 để mô phỏng chế độ thủy lực trên toàn lưu vực sông Đồng Nai và 2D-MIKE 21 và Ecolab để mô phỏng lại cơ chế thủy động lực và chất lượng nước ở khu vực nhỏ thành phố Biên Hòa.

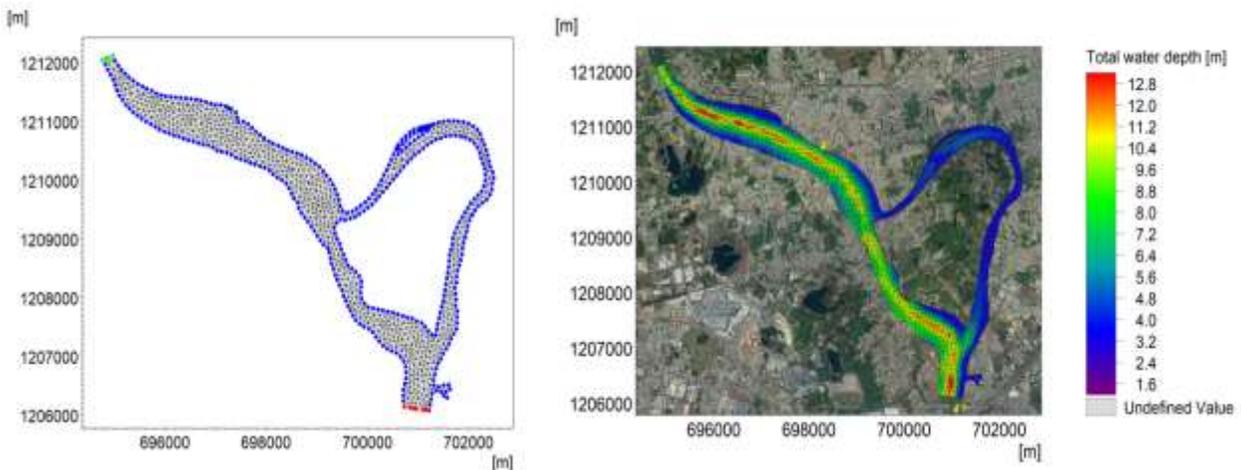
3.2. Mạng lưới cho mô hình thủy lực

Khu vực nghiên cứu 1D-MIKE 11 bao gồm gần như sông Đồng Nai, từ hồ Phước Hòa và Trị An về phía thượng nguồn đầu nguồn (Hình 4). Hồ Trị An có lưu vực từ cao nguyên Lâm Viên và Di Linh. Lưu vực nằm trên đất của 6 tỉnh: Đắk Lắk, Lâm Đồng, Bình Phước, Đồng Nai và Bình Thuận, diện tích lưu vực khoảng 15400km². Lưu lượng xả qua hồ ra sông Đồng

Nai chủ yếu qua tua bin và 8 đập tràn với bề rộng 15m. Hồ Phước Hòa nằm trên sông Bé, còn có lưu vực nằm trên đất của 6 tỉnh như hồ Trị An. Diện tích lưu vực khoảng 5.200 km². Khi vận hành bình thường, với lũ dưới 4200 m³/s sẽ xả lũ qua đập tràn chính dài 190m. Hệ thống sông Đồng Nai bao gồm dòng chính Đồng Nai và 4 phụ lưu là sông La Ngà, sông Bé, sông Sài Gòn và sông Vàm Cỏ Ở hạ lưu sông Đồng Nai có mạng lưới sông rạch khá dày đặc, chịu ảnh hưởng của thủy triều tại 4 cửa sông (Hình 4).



Hình 4: Hệ thống sông cho mô hình MIKE 11



Hình 5: Kích thước lưới và địa hình đáy miền nghiên cứu 2 chiều

Điều kiện biên cho 1D-MIKE 11

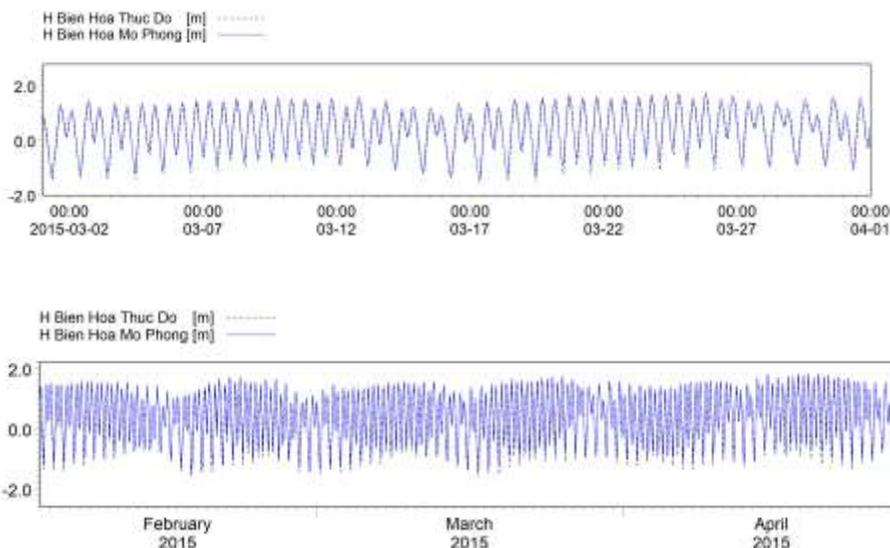
Biên thượng nguồn: Là biên dòng chảy từ các hồ Trị An và Phước Hòa. Biên hạ lưu: mực nước quan trắc tại trạm thủy văn Xoài Rạp và Thị Vải. Biên Đồng Tranh và Lòng Tàu được nội suy tuyến tính từ trạm Xoài Rạp và Thị Vải. Lưu lượng nguồn điểm thu được từ 24 trạm đo là xả thải từ các khu công nghiệp (Formosa, Vedan, Hồ Nai, Nhơn Trạch, Gò Dầu...) được bổ sung vào mô hình.

Điều kiện biên cho 2D-MIKE 21: Có 2 biên trong mô hình là lưu lượng lưu vực (thượng lưu) và mực nước (hạ lưu). Dữ liệu biên đầu vào được trích xuất từ mô hình MIKE 11 đã được chạy trước đó. Bước thời gian đối với mô hình thủy lực (HD) là $\Delta t = 1$ phút; bước thời gian cho modun

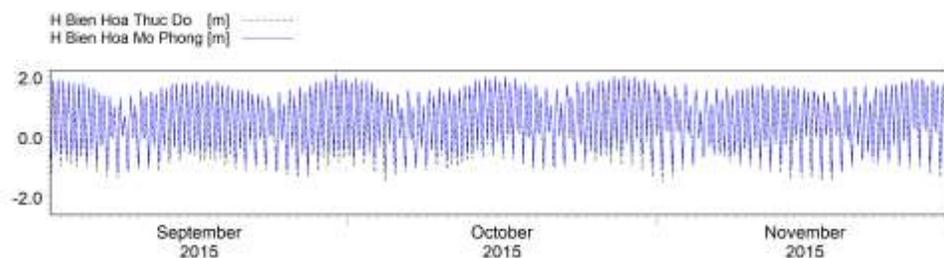
đôi lưu - khuấy tán (AD) là $\Delta t = 30s$.

3.3. Hiệu chỉnh và kiểm định các mô hình

Chúng tôi đã hiệu chỉnh mô hình MIKE 11 cho mực nước tại trạm Biên Hòa trong ba tháng (01/02/2015 đến 01/05/2015). Mô hình MIKE 11 đã được hiệu chỉnh bằng cách điều chỉnh hệ số Manning cho ba con sông trong phạm vi 0,022 - 0,033. Chúng tôi xác nhận mực nước tại trạm Biên Hòa trong 3 tháng từ ngày 01/09/2015 đến 01/12/2015. Kết quả của hiệu chỉnh và kiểm định tương ứng là $NASH = 0,90$; $R^2 = 0,92$, $NASH = 0,89$; $R^2 = 0,90$. Kết quả này rất phù hợp với dữ liệu quan sát. Việc hiệu chỉnh và kiểm định được thực hiện theo phương pháp thử dần sai số để đạt được kết quả mong đợi tốt nhất cho mô hình.



Hình 6: Mực nước hiệu chỉnh tại trạm Biên Hòa từ 01/02/2015 to 01/05/2015
($NASH = 0.90$ $R^2 = 0.92$)

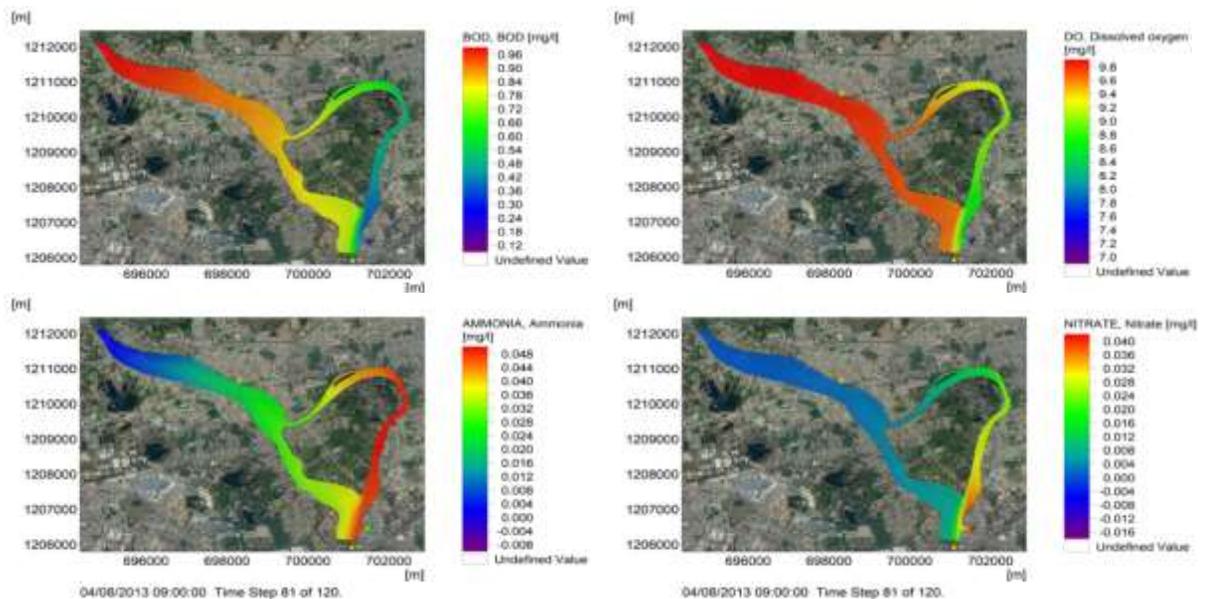


Hình 7: Kiểm định mực nước tại trạm Biên Hòa
trong 3 tháng 01/09/2015 to 01/12/2015 ($NASH = 0.89$, $R^2 = 0.90$)

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mô hình 2D-MIKE 21 mô phỏng chất lượng nước với 4 thành phần DO, BOD₅, NH₄ và NO₃. Các kết quả tính toán và mô phỏng về chất lượng nước cho thấy sự thay đổi trong không gian của nồng độ và sự thay đổi theo chiều dọc sông (Hình 8 & 9). Rõ ràng là DO và BOD₅ ở khu vực thượng nguồn cao hơn đáng kể so với phần hạ lưu (Hình 8) và nồng độ DO và BOD giảm dần theo không gian từ thượng nguồn đến hạ lưu. Ngược lại, nồng độ NH₄ và NO₃ ở thượng nguồn nhỏ hơn ở hạ lưu. Tuy nhiên, nồng độ NH₄ và NO₃ tăng dần ở phần hạ lưu do dòng chảy lớn bởi các nguồn điểm đặc biệt nồng độ rất cao ở nhánh sông cong với nhiều nhà máy hóa chất (Hình 8 & 9).

Kết quả này cho thấy, khu vực thượng nguồn tập trung rất nhiều nguồn xả thải từ khu công nghiệp nên hàm lượng các chất ô nhiễm cao cũng như các chỉ số DO, BOD₅ rất lớn. Nhưng các chất ô nhiễm bị hòa tan và pha loãng dần từ thượng lưu về hạ lưu. Từ hình 8, chúng ta có thể quan sát được ở nhánh sông cong thì nhu cầu oxy sinh hoá (BOD) và oxy hòa tan (DO) thấp hơn trên sông chính. Do đặc trưng thủy lực và vận chuyển các chất ô nhiễm vào nhánh sông này khó khăn hơn từ thượng lưu xuống nên 2 chỉ số này thấp (Hình 8). Tuy nhiên, nhánh sông này do khả năng lưu chuyển và trao đổi thấp hơn dòng chính nên hàm lượng Amonia và Nitrate lại cao hơn, do quá trình tự động và vận tốc dòng chảy thấp, làm cho nó trở nên giàu dinh dưỡng và có thể gây ra hiện tượng phú dưỡng.



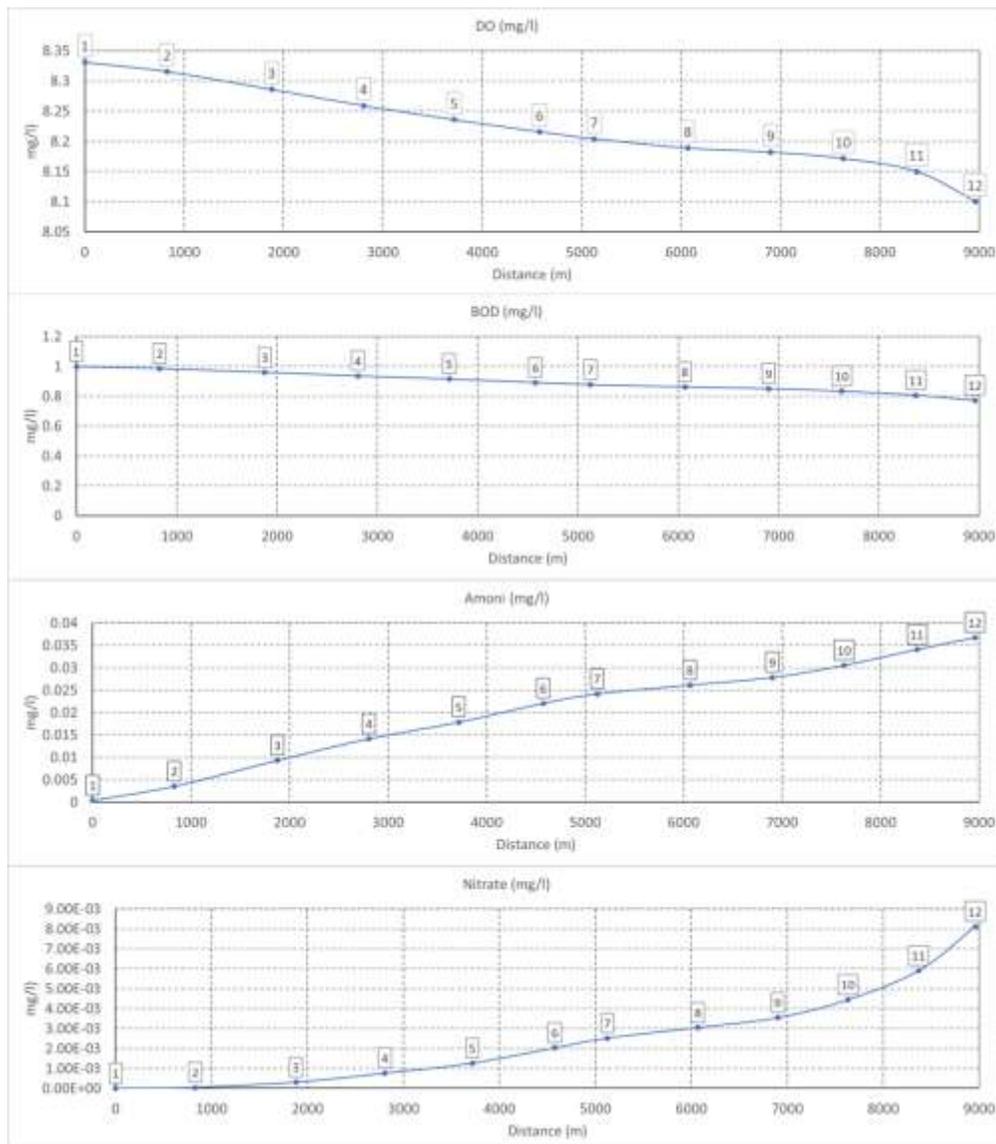
Hình 8: Phân bố không gian của 4 chỉ tiêu chất lượng nước (BOD, DO, Ammonia, Nitrate) cho khu vực Biên Hòa

Hình 9 cho thấy sự biến đổi theo chiều dọc của DO, BOD, NH₄, NO₃ dọc theo sông. Có thể thấy DO và BOD giảm dần từ thượng nguồn xuống hạ lưu từ 8,35 mg/l đến 8,05 mg/l đối với DO và 1 mg/l đến 0,8 mg/l đối với BOD trong khi NH₄ và NO₃ tăng nhanh và đạt 0,035 mg/l.

và 0,008 mg/l, tương ứng. Điều này có thể lý giải rằng, càng về hạ lưu thì sự tích tụ các chất ô nhiễm như Amonia và Nitrate ngày càng lớn do không có sự trao đổi hòa tan hoặc có nguồn xử lý những chất này. Điều này có thể dẫn đến rủi ro phú dưỡng (tang mức độ dinh dưỡng) ở

khu vực hạ lưu, tạo nên các hiện tượng tảo nở hoa. Tuy nhiên, quá trình diễn biến hóa học của các chất trong nước và sự tương tác với các chất khác tồn tại trong nước cũng như hoạt động

phân hủy và sử dụng các chất này bởi vi sinh vật, tảo và các loại cây phù du chưa được mô phỏng một cách chính xác, vì đây là quá trình sinh-lý-hóa phức tạp.



Hình 9: Sự thay đổi theo chiều dọc của DO, BOD, Nitrat, Amoniac dọc sông

5. KẾT LUẬN

Mô phỏng chất lượng nước lưu vực sông Đồng Nai với các khu công nghiệp rất năng động, là một nhiệm vụ quan trọng đối với việc quản lý chất lượng nước hiệu quả. Nghiên cứu này đã cố gắng xây dựng một số mô hình mô phỏng

thủy lực và chất lượng nước để đánh giá ô nhiễm nước trong hệ thống sông Đồng Nai. Mô hình thủy lực và chất lượng nước kết hợp 1D-MiKE và 2D-MIKE21 và Ecolab để mô phỏng nồng độ chất lượng nước sông cho các biến trạng thái như DO, BOD, NH_4 , và NO_3 . Nghiên cứu này sử dụng mực nước quan trắc và dữ liệu

chất lượng nước để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình trong mùa khô năm 2015 và kiểm tra chất lượng nước sông trong mùa khô năm 2016. Kết quả cho thấy mức độ phù hợp cao trong pha và biên độ giữa mực nước quan trắc và mô phỏng. Kết quả tính toán nồng độ DO, BOD, NH₄, NO₃ tại thành phố Biên Hòa có hệ số tương quan cao

ở chế độ thủy triều thấp và cao. Bài báo này là một phần của dự án lớn dự báo thời gian thực chất lượng nước lưu vực sông Đồng Nai. Việc nghiên cứu sâu hơn về ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến chất lượng nước đang được tiến hành trong các bước tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Truong, N.C.Q., Nguyen, H.Q. and Kondoh, A., 2018. Land use and land cover changes and their effect on the flow regime in the upstream Dong Nai River basin, Vietnam. *Water*, 10(9), p.1206.
- [2] Grayman, W.M, Day, H.J & Luken, R.S. 2003. Regional water quality management for the Dong Nai river Basin, Vietnam. *Water science and Technology*, vol.48, no.10, pp.17-23.
- [3] Ringler, C, Nguyen, VH & Msangi, S. 2006. Water allocation policy modelling for the Dong Nai river basin: an integrated perspective. *Journal of the American water resources association American water resources association*.
- [4] Nguyen, H.D., Hong Quan, N., Quang, N.X., Hieu, N.D. and Thang, L.V. 2019. Spatio-temporal pattern of water quality in the Saigon-Dong Nai river system due to waste water pollution sources. *International Journal of River Basin Management*, pp.1-23.
- [5] Nguyen, H.M, Tu B.M, Iwata, H, Kajiwara, N, Kunisue, T, Takahashi, S, Pham, HV, Bui C.T & Tanabe, S. 2007. Persistent Organic Pollutants in Sediments from Sai Gon–Dong Nai River Basin, Vietnam: Levels and Temporal Trends. *Archive of Environmental Contamination Toxicology*, vol. 52, pp.458–465.
- [6] Trang P.T.T. 2014. Water quality in Dong nai river basin, Vietnam: Challenges and solutions. Electronic copy available at: <https://ssrn.com/abstract=3212777>
- [7] DHI, 2017. MIKE 21 Users Manual. https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/MIKE_21.htm
- [8] Tri, D.Q., Linh, N.T.M., Thai, T.H. and Kandasamy, J., 2019. Application of 1D–2D coupled modeling in water quality assessment: A case study in Ca Mau Peninsula, Vietnam. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 113, pp.83-99.