

NGHIÊN CỨU HỆ THỐNG CẢNH BÁO VÀ MÔ HÌNH DỰ BÁO XÂM NHẬP MẶN TẠI HẠ LƯU SÔNG MEKONG TRÊN ĐỊA BÀN TỈNH TIỀN GIANG QUA MẠNG KHÔNG DÂY

RESEARCH ON WARNING SYSTEM AND FORECASTING MODEL OF SALTWATER INTRUSION IN LOWER MEKONG RIVER IN TIEN GIANG PROVINCE VIA WIRELESS NETWORK

Nguyễn Thanh Nguyên^{1,*}, Trần Thanh Phong¹,
Trần Quốc Cường¹, Dương Ngọc Hùng¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.85>

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày nghiên cứu giải pháp giám sát, cảnh báo và đề xuất mô hình dự báo xâm nhập nước biển qua mạng không dây ở hạ lưu sông Mekong tại tỉnh Tiền Giang, Việt Nam. Mô hình toán học được đề xuất để mô tả quá trình xâm nhập mặn vào sâu bên trong đất liền tại cửa biển, nhờ đó sự xâm nhập nước biển được mô phỏng và giúp đưa ra dự báo một cách kịp thời. Để kiểm nghiệm mô hình mô phỏng đề xuất, tác giả tiến hành xây dựng một hệ thống cảm biến có khả năng thu thập dữ liệu độ mặn, độ pH, nhiệt độ, độ cao của mực nước sông, ... thông qua mạng không dây. Kết quả bước đầu của nghiên cứu là hoàn thiện hệ thống thu thập dữ liệu và ghi nhận lịch sử thay đổi của các giá trị, đồng thời đưa ra các cảnh báo cần thiết. Dữ liệu này sẽ được kết hợp với dữ liệu về khí tượng thủy văn, địa hình và được sử dụng để làm các ngõ vào của mô hình toán nhằm đưa ra các dự báo về tình trạng xâm nhập mặn. Việc này không những giúp các cơ quan quản lý nhà nước đưa ra chính sách kịp thời, mà còn giúp người dân địa phương chủ động hơn trong việc đối phó với tình trạng xâm nhập mặn nhằm tối thiểu các thiệt hại do quá trình này gây ra.

Từ khóa: Dự báo xâm nhập mặn, mạng không dây, mô hình hóa toán học, sông Mekong, thu thập dữ liệu.

ABSTRACT

This paper presents researching solutions for monitoring, alerting and proposing a model to predict sea water intrusion via wireless network in the lower Mekong River in Tien Giang province, Vietnam. A mathematical model is proposed to describe the process of saltwater intrusion inland at the estuary whereby seawater intrusion is simulated and helps to make predictions in a timely manner. To experiment the proposed simulation model, the authors built a data acquisition system via wireless network which is capable of collecting data on salinity, pH, temperature, altitude of water level, etc. The initial results of the study is to improve the data acquisition system and record the change history of values, or even to provide necessary warnings. This data will be combined with hydrometeorological and topographic data and used as inputs to a mathematical model inputs to make predictions of seawater intrusion. Thus, it will not only help the state management agencies to issue policies in a timely manner, but also help the local people to be more proactive in dealing with saline intrusion to minimize the damage caused by the invasion process of saltwater intrusion.

Keywords: Salinity intrusion prediction, wireless network, mathematical modeling, Mekong river, data acquisition.

¹Trường Đại học Tiền Giang

*Email: nguyenthanhnguyen@tgu.edu.vn

Ngày nhận bài: 18/10/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 18/12/2022

Ngày chấp nhận đăng: 23/12/2022

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong những năm gần đây, biến đổi khí hậu đang có dấu hiệu trở nên phổ biến hơn trong thời gian gần đây với mức độ vô cùng nguy hiểm, khó lường. Biến đổi khí hậu được biểu hiện thông qua các hiện tượng thời tiết cực đoan, dị thường như nhiệt độ tăng, tình trạng nắng nóng, băng tan, nước biển dâng, bão lụt, hạn hán, xâm nhập mặn, dịch bệnh,... gây thiệt hại kinh tế, giảm đa dạng sinh học, hủy diệt hệ sinh thái.

Hơn nữa, tổng lượng dòng chảy trên các trạm thượng nguồn Mekong giảm qua các năm và có khả năng xảy ra biến động phức tạp, giảm nhanh ở bất cứ thời điểm nào. Mực nước cao nhất năm 2017 khu vực đầu nguồn sông Tiền tại Tân Châu ở mức thấp (mực nước cao nhất năm đo được 3,43m, dưới hơn mức báo động I là 0,07m) kết hợp với thời tiết nắng nóng nên lượng bốc hơi, nước ngọt hao phí tự nhiên lớn, nhu cầu sử dụng nước ngọt cao cho sản xuất nông nghiệp trên đồng bằng [1]. Theo nhận định của Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh Tiền Giang, tình hình xâm nhập mặn trong mùa khô năm nay và các năm tới trên địa bàn tỉnh có khả năng xảy ra sớm, lấn sâu, kéo dài và cao hơn năm 2018. Vì vậy, khả năng xâm nhập mặn trong mùa khô ở khu vực hạ lưu

sông Cửu Long sẽ xuất hiện sớm, lấn sâu và kéo dài sẽ ảnh hưởng đến sản xuất và đời sống của nhân dân, đặc biệt là ở các huyện phía Đông của tỉnh [2].

Tình hình xâm nhập mặn trên sông Tiền và sông Vàm Cỏ có xu hướng tăng, xâm nhập vào nội đồng, nhất là vào những đợt triều cường ở cuối năm 2018 độ mặn tăng đột xuất. Độ mặn trung bình cao nhất trên Sông Tiền tại địa phận Tiền Giang là 3,7g/l. Độ mặn ở khu vực cửa sông đạt mức cao hơn từ 1 đến 3g/l so với cùng kỳ năm. Độ mặn cao nhất tại trạm Hòa Bình là 24g/l, tại trạm Vàm Giồng là 15g/l, tại Bến đò Rạch Vách là 13g/l, tại trạm Mỹ Tho là 4g/l và tại trạm Đồng Tâm 2g/l [3]. Trong báo cáo hằng niên, Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam đã nhận định rằng hiện trạng xâm nhập mặn vùng cửa sông Cửu Long, độ mặn xuất hiện lớn nhất so với cùng kỳ năm 2018 và một số năm gần đây. Một trong các giải pháp đề xuất công tác phòng chống hạn, xâm nhập mặn ở thể chủ động là (1) quản lý các công trình cống ngăn mặn, lên kế hoạch điều tiết nước ngọt và vận hành cống ngăn mặn, (2) thực hiện tốt công tác thông tin, dự báo mặn dài hạn, ngắn hạn và cập nhật thông tin độ mặn theo thời gian thực. Đồng thời, xây dựng các cơ chế thu hút khu vực tư nhân tham gia vào việc ứng phó với xâm nhập mặn và chống biến đổi khí hậu bằng nhiều hình thức khác nhau [4].

Việc mô hình hóa, mô phỏng và dự báo quá trình xâm nhập mặn được tập trung nghiên cứu trong nhiều năm qua tại Việt Nam. Đặc biệt là trong những năm gần đây với sự hỗ trợ nên việc mô hình hóa quá trình xâm nhập mặn được thực hiện dễ dàng hơn và chính xác hơn. Trong đó, các đề tài nghiên cứu được thực hiện dựa trên các mô hình toán học khác nhau để mô hình hóa các diễn biến về thủy văn, lan truyền chất rắn để mô phỏng việc xâm nhập mặn trong hệ thống sông ngòi. Có thể kể đến như là mô hình phân tích dòng chảy một chiều (Hydrological Engineering Centre - River Analysis System, HEC-RAS) về mực nước, độ mặn [5-7]; mô hình SWAT (Soil and Water Assessment Tool - Công cụ đánh giá đất và nước) về lưu lượng dòng chảy trên lưu vực sông [5, 8]; mô hình thủy văn, thủy lực và chất lượng nước (mô hình thủy động lực học MIKE 11) [6, 9-13]; mô hình hóa (MIKE11- GIS-Google Earth) tính toán dòng chảy lũ hạ lưu [14] mô hình thủy động lực học 2 chiều MIKE21 [15] và Mô hình thủy động lực học 3 chiều MIKE3 [16] và mô hình Delta đã mô phỏng dòng chảy, lan truyền chất phù hợp với lưu vực sông [17]. Mỗi mô hình được đề xuất sử dụng có những ưu khuyết điểm riêng và việc áp dụng phụ thuộc vào đặc điểm dữ liệu địa hình và khí tượng thủy văn của từng khu vực cụ thể. Nghiên cứu này được đề xuất nhằm mục đích góp phần vào việc nâng cao khả năng giám sát và dự báo sự xâm nhập mặn của nước biển vào hệ thống sông ngòi tại hạ lưu sông Mekong tại tỉnh Tiền Giang. Việc này được thực hiện nhờ vào một mô hình toán để mô phỏng và dự báo quá trình xâm nhập mặn được xây dựng dựa trên mô hình MIKE 21 & MIKE 3. Dữ liệu ngõ vào là số liệu thứ cấp từ Đài Khí tượng Thủy văn, Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, Sở Tài nguyên Môi trường,... Một hệ thống trực tuyến có thể cảnh báo và dự

đoán cũng được đề xuất cho phép thu thập các dữ liệu là thông số của nước sông tại vị trí quan trắc từ xa qua mạng không dây.

Trong nội dung tiếp theo của bài báo, nhóm tác giả sẽ lần lượt trình bày phần cứng và nguyên lý hoạt động của hệ thống thu thập dữ liệu từ xa qua mạng không dây ở phần thứ nhất. Phần thứ hai mô tả giải thuật và mô hình toán học mô phỏng xâm nhập mặn; các tiêu chí để đánh giá và thử nghiệm mô hình mô phỏng. Các kết quả mô phỏng và thảo luận sẽ được giới thiệu chi tiết trong phần thứ ba. Cuối cùng là phần kết luận và đề xuất định hướng phát triển nghiên cứu.

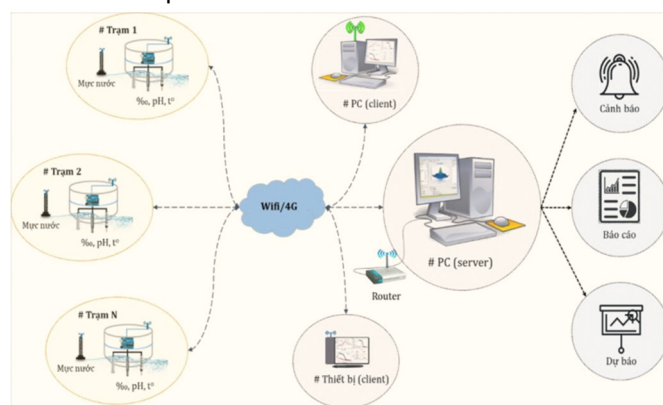
2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình thu thập dữ liệu từ xa qua mạng không dây

2.1.1. Phần cứng của hệ thống

Phần cứng của hệ thống thu thập dữ liệu độ mặn, độ pH, nhiệt độ, độ cao mực nước sông,... thông qua mạng không dây bao gồm: cảm biến độ pH, cảm biến độ mặn, cảm biến độ cao và cảm biến đo nhiệt độ. Ngõ ra của cảm biến là dòng điện từ 4 - 20mA. Cảm biến có thể được kết nối dễ dàng với bộ điều khiển thông qua bộ chuyển đổi tín hiệu tương tự sang dữ liệu số. Ngoài ra, hệ thống còn sử dụng mạch điều khiển trung tâm cho các trạm quan trắc là kit Arduino thế hệ thứ 3 và kit mạng ESP8266. Nó khả năng lập trình các ứng dụng điều khiển phức tạp do được trang bị cấu hình mạnh cho các loại bộ nhớ, các ngõ đọc tín hiệu analog, các ngõ vào ra Để giúp các phần tử trong hệ thống giao tiếp với nhau thông qua mạng không dây, module 4G + GPS Shield for Arduino - LE910 cho phép kết nối với các mạng di động 4G/3G tốc độ cao để có thể làm việc với các máy chủ thông qua giao thức HTTP, FTP hoặc TCP/IP.

Cảm biến độ pH được sử dụng là Gravity Analog pH meter thế hệ thứ 2 của hãng DFRobot được thiết kế đặc biệt để đo độ pH của dung dịch và phản ánh độ axit hoặc độ kiềm. Nó thường được sử dụng trong các ứng dụng khác nhau như aquaponics, nuôi trồng thủy sản và thử nghiệm nước môi trường. Cảm biến này có khả năng đo độ pH trong dãy từ 0 đến 14 với độ chính xác là $\pm 0,1$ pH (ở nhiệt độ 25°C). Ngoài ra, cảm biến này cũng có khả năng đo nhiệt độ trong dãy 0 - 60°C. Thời gian đáp ứng của cảm biến là dưới 1 phút.



Hình 1. Mô hình hệ thống thu thập dữ liệu từ xa qua mạng không dây

- Cảm biến độ mặn được sử dụng là Gravity Analog Electrical Conductivity meter thế hệ thứ 2 của hãng DFRobot được thiết kế đặc biệt để đo độ dẫn điện của dung dịch nước. Từ đó, nó giúp xác định được độ mặn của nước và sau đó để đánh giá chất lượng nước. Giá trị độ mặn S (Salinity, ppt hoặc g/l) của nước đo được nhờ chuyển đổi giá trị đo từ EC (Electrical Conductivity, $\mu\text{S}/\text{cm}$) được định nghĩa bởi [18] là $S = k \times EC$ với hệ số chuyển đổi $k = 500$. Cảm biến này có khả năng đo độ mặn trong dây từ 0 đến 40 ppt với độ chính xác là $\pm 5\%$. Ngoài ra, cảm biến này cũng có khả năng tự hiệu chỉnh độ chính xác giá trị đo trong dây nhiệt độ hoạt động 0 - 40°C.



Hình 2. Bản đồ đặt trạm tại hạ lưu sông Mekong, tỉnh Tiền Giang (Ảnh: Google maps)

▲ Nơi đặt hệ thống thu thập dữ liệu

- Cảm biến độ cao của mực nước sông được sử dụng là URM04 Ultrasonic Sensor của DFRobot được thiết kế để đo khoảng cách từ cảm biến đến vật dựa trên sự phản hồi của sóng siêu âm. Cảm biến này hoạt động ở tần số 40kHz và có khả năng đo khoảng cách trong dây từ 4 đến 500cm với độ sai số không quá 1cm.

2.1.2. Hoạt động của hệ thống

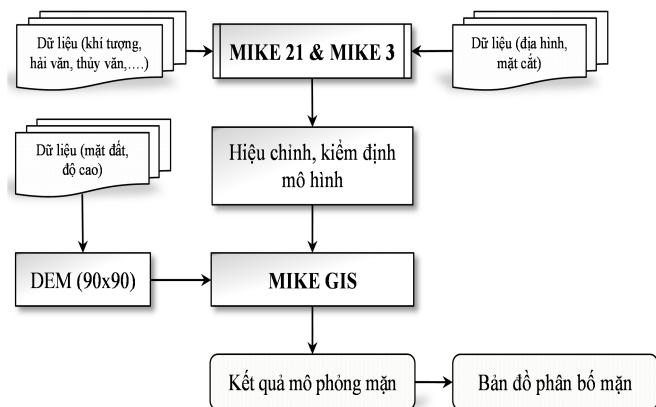
Hiện nay, công tác quan trắc tại tỉnh Tiền Giang chủ yếu được thực hiện thủ công. Ý tưởng thực hiện hệ thống này nhằm giảm bớt công sức của nhân viên quan trắc khi cần lấy mẫu nước ở những vị trí xa xôi, vì việc này gây mất nhiều thời gian và dễ gây ra các nhầm lẫn về dữ liệu và thiếu tính cập nhật. Hệ thống không những giúp khắc phục các khuyết điểm vừa nêu mà còn giúp tăng độ tin cậy và cập nhật của dữ liệu. Khi đó, các trạm có thể được đặt ở nơi bất kỳ với điều kiện được phủ sóng viễn thông và có nguồn năng lượng tái tạo như năng lượng mặt trời, năng lượng gió, năng lượng thủy triều,...

Hệ thống thu thập dữ liệu của hệ thống nước sông bao gồm các trạm quan trắc có khả năng đo độ pH, độ mặn, độ cao mực nước và nhiệt độ nước sông tại vị trí đặt trạm theo thời gian thực với tần số lấy mẫu là 15 phút. Mô hình hệ thống được mô tả như hình 1 bao gồm một máy tính trung tâm đóng vai trò là máy chủ (server) và các trạm quan trắc (client) được bố trí tại vị trí cần đo đạc (hình 2). Theo đó, máy chủ sẽ truy vấn các trạm theo chu kỳ định sẵn hoặc bất kỳ thời điểm nào. Sau khi đo đạc các thông số, các trạm sẽ gửi về máy chủ qua mạng không dây. Trong trường hợp có sự thay đổi đột ngột vượt giá trị ngưỡng của bất kỳ thông số quan trắc nào thì các trạm sẽ gửi dữ liệu về trung tâm để cảnh báo trên hệ thống và có thể gửi cảnh báo đến người điều hành qua tin nhắn hoặc email cá nhân được thiết lập trước.

2.2. Mô hình dự báo xâm nhập mặn

2.2.1. Mô tả giải thuật mô phỏng xâm nhập mặn

Dữ liệu thứ cấp gồm các số liệu về khí tượng (số liệu mưa, số liệu bốc hơi tại các trạm khí tượng và điểm đo mưa trong lưu vực), số liệu thủy văn và hải văn (số liệu lưu lượng và mực nước tại các trạm thủy văn), số liệu địa hình (mặt cắt ngang của hệ thống sông Mekong, bản đồ địa hình lưu vực, bản đồ sử dụng đất lưu vực, bản đồ thảm phủ thực vật lưu vực). Mô tả của giải thuật mô phỏng xâm nhập mặn được thể hiện như hình 3. Theo đó, dữ liệu thứ cấp thu thập từ nhiều nguồn được sử dụng làm đầu vào mô hình Mike 21 và Mike 3 để tính toán sự lan truyền độ mặn và độ cao của mực nước (1-6) được so sánh với dữ liệu thu thập để hiệu chỉnh mô hình (7-9). Dữ liệu ngõ ra của Mike 21 và Mike 3 sau khi hiệu chỉnh mô hình sẽ kết hợp với ngõ ra của mô hình số độ cao DEM thành ngõ vào của mô hình Mike GIS để tính toán, mô phỏng và cảnh báo xâm nhập mặn trên bản đồ phân bố mặn.



Hình 3. Mô tả giải thuật mô phỏng xâm nhập mặn

Kết quả này được hiển thị thời gian thực trên phần mềm của hệ thống và được trích xuất thành các báo cáo để thuận tiện cho việc báo cáo, sử dụng, phân tích dữ liệu. Việc mô hình hóa quá trình xâm nhập mặn bằng toán học được mô tả trong phần tiếp theo. Theo đó, phương trình liên tục cục bộ, phương trình động lượng theo phương ngang, nhiệt độ và độ mặn trong module thủy động lực học được xác định dựa trên các tính toán được mô tả chi tiết. Các tiêu chuẩn để đánh giá và kiểm định mô hình cũng lần lượt được trình bày.

2.2.2. Mô hình toán học mô phỏng và dự báo xâm nhập mặn

Mô hình toán học được xây dựng để mô phỏng xâm nhập mặn dựa trên mô hình Mike 21 và Mike 3 Flow Model [19]. Nó được xây dựng dựa trên giải pháp số của phương trình Navier-Stokes theo giả định của Boussinesq và áp suất thủy tĩnh. Mô hình gồm các phương trình tọa độ liên tục, động lượng, nhiệt độ, độ mặn, mật độ và các dòng nước xoáy. Mật độ không phụ thuộc vào áp suất, mà chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ và độ mặn. Đối với mô hình 3D, bề mặt tự do được tính đến bằng phương pháp chuyển đổi tọa độ sigma hoặc sử dụng kết hợp hệ thống tọa độ cấp sigma và z. Thông số hệ thống được mô tả như trong bảng 1. Phương trình liên tục cục bộ được trình bày bằng tọa độ Descartes:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \tag{1}$$

Phương trình động lượng theo phương ngang lần lượt với trục Ox và Oy được biểu diễn bởi phương trình (2) và (3):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^n \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \tag{2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} = -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^n \frac{\partial \rho}{\partial y} dz + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \tag{3}$$

Nhiệt độ và độ mặn trong module thủy động lực học được xác định dựa trên các tính toán theo các phương trình khuếch tán vận chuyển chung như các phương trình (4) và (5):

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s S \tag{4}$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} + \frac{\partial vS}{\partial y} + \frac{\partial wS}{\partial z} = F_S + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial S}{\partial z} \right) + \hat{H} + s_s S \tag{5}$$

Thành phần khuếch tán theo phương ngang được định nghĩa bởi:

$$(F_T, F_S) = \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(D_h \frac{\partial}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_h \frac{\partial}{\partial y} \right) \right) (T, S) \tag{6}$$

Bảng 1. Thông số của hệ thống

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị
t, T	Thời gian, nhiệt độ	s, °C
x, y, z	Tọa độ hệ trục Descartes	m
u, v, w	Tốc độ dòng chảy thành phần	m/s
s	Độ mặn của nước	g/l
D _v	Hệ số khuếch tán xoáy theo phương đứng	m ² /h
Ĥ	Nguồn do trao đổi nhiệt với môi trường	°C/m ³
S	Biên độ lưu lượng tại điểm nguồn	h
T _s , s _s	Nhiệt độ và độ mặn của điểm nguồn	°C, g/l
F _T , F _S , F _c	Thành phần khuếch tán theo phương ngang	m ²
D _h	Hệ số khuếch tán theo phương ngang	m ² /h
h	Độ sâu	m

Để hoàn thiện thông số mô hình, điều cần thiết phải hiệu chỉnh thông số mô hình nhờ vào việc sử dụng các số liệu thủy văn và độ mặn đo đạc trong quá khứ [20, 21]. Nếu các giá trị đầu ra của mô hình càng tiệm cận với các giá trị lịch sử đo đạc nhờ vào việc tinh chỉnh các thông số của hệ thống thì độ tin cậy của mô hình càng cao. Khi đó, kết quả dự báo chuyển biến và diễn biến quá trình xâm nhập mặn sẽ trở nên chính xác và tin cậy hơn. Phần tiếp theo giới thiệu các tiêu chí đánh giá chất lượng hiệu chỉnh, kiểm định mô hình.

2.2.3. Tiêu chí đánh giá mô hình

Trong nghiên cứu này, chỉ số NSE (Nash-Sutcliffe efficiency), PBIAS (Percent bias), RSR (RMSE-observations standard deviation ratio) được sử dụng để so sánh, đánh giá chất lượng quá trình tính toán và thực đo từ mô hình. NSE, PBIAS và RSR được tính toán như theo các công thức (7-9). Tiêu chí đánh giá cho các chỉ số này được thể hiện trong bảng 2. Hiệu suất Nash-Sutcliffe (NSE) là một thống kê được chuẩn hóa xác định độ lớn tương đối của phương sai dư (gọi là "nhiều") so với phương sai của dữ liệu đo được (gọi là "thông tin"). Chỉ số NSE cho biết biểu đồ của dữ liệu được quan sát khớp với dữ liệu mô phỏng đến mức độ nào và được tính toán như thể hiện trong công thức sau:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{tt} - Y_i^{td})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{tt} - Y_i^{tb})^2} \tag{7}$$

Trong đó, Y_i^{tt} là quan sát thứ i đối với thành phần được đánh giá, Y_i^{td} là giá trị mô phỏng thứ i cho thành phần được đánh giá, Y_i^{tb} là giá trị trung bình của dữ liệu được quan sát thứ i cho thành phần được đánh giá và n là tổng số quan sát. NSE nằm trong khoảng từ -∞ đến 1, với NSE = 1 là giá trị tối ưu. Các giá trị trong khoảng từ 0 ÷ 1 thường được xem là mức hiệu suất có thể chấp nhận được. Trong khi các giá trị âm cho biết giá trị trung bình được quan sát là một yếu tố dự báo tốt hơn so với giá trị mô phỏng.

Độ lệch phần trăm (PBIAS) đo lường xu hướng trung bình của dữ liệu mô phỏng lớn hơn hoặc nhỏ hơn so với dữ liệu được quan sát của chúng. PBIAS được tính theo phương trình sau:

$$PBIAS = \left| \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{tt} - Y_i^{td})}{\sum_{i=1}^n Y_i^{td}} \right| \times 100\% \quad (8)$$

Giá trị tối ưu của PBIAS là 0, với các giá trị cường độ thấp cho thấy mô hình mô phỏng chính xác. Giá trị dương biểu thị xu hướng đánh giá thấp mô hình. Trong khi, các giá trị âm biểu thị xu hướng đánh giá quá cao mô hình.

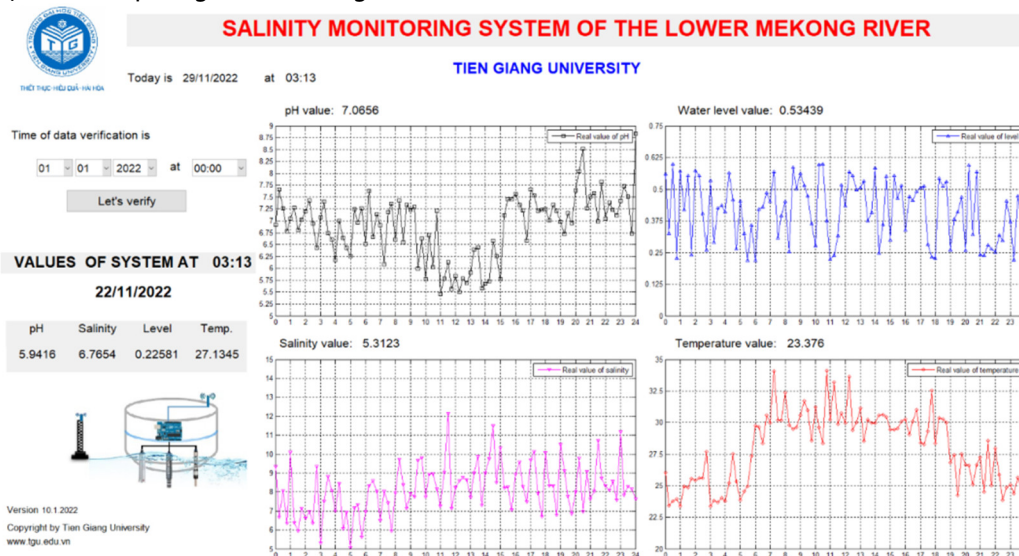
Bảng 2. Tiêu chí đánh giá chất lượng cho các chỉ số

Xếp loại	RSR	NSE	PBIAS (%)
Rất tốt	0,0 ≤ RSR < 0,5	0,75 < NSE ≤ 1,00	PBIAS < 10
Tốt	0,5 ≤ RSR < 0,6	0,65 < NSE ≤ 0,75	10 ≤ PBIAS < 15
Đạt yêu cầu	0,6 ≤ RSR < 0,7	0,50 < NSE ≤ 0,65	15 ≤ PBIAS < 25
Không đạt	RSR ≥ 0,7	NSE ≤ 0,50	PBIAS ≥ 25

Tỷ lệ độ lệch chuẩn quan sát RMSE (RSR) là một trong những thống kê chỉ số lỗi thường được sử dụng. Mặc dù người ta thường chấp nhận rằng RMSE càng thấp thì hiệu suất mô hình càng tốt. Một thống kê đánh giá mô hình, được đặt tên là tỷ lệ độ lệch chuẩn quan sát RMSE (RSR), đã được phát triển. Chỉ số RSR chuẩn hóa RMSE bằng cách sử dụng độ lệch chuẩn của các quan sát và nó kết hợp cả chỉ số lỗi và thông tin bổ sung. RSR được tính bằng tỷ lệ giữa RMSE và độ lệch chuẩn của dữ liệu đo được, được tính bởi phương trình sau:

$$RSR = \sqrt{1 - NSE} \quad (9)$$

RSR kết hợp các lợi ích của thống kê chỉ số lỗi và một hệ số tỷ lệ/chuẩn hóa, để các giá trị thống kê và báo cáo kết quả có thể áp dụng cho các thành phần khác nhau. RSR thay đổi từ giá trị tối ưu bằng 0, cho biết RMSE bằng 0 hoặc biến thể còn lại và do đó mô phỏng mô hình hoàn hảo, sang giá trị dương lớn. RSR càng thấp, RMSE càng thấp và hiệu suất mô phỏng mô hình càng tốt.



Hình 4. Kết quả giao diện quản lý của hệ thống

2.3. Kết quả và thảo luận

2.3.1. Hệ thống quan trắc

Kết quả xây dựng giao diện của mô hình hệ thống quan trắc có khả năng thu thập dữ liệu là thông số của nước tại vị trí đặt các trạm (độ pH, độ mặn, độ cao mực nước,...) theo thời gian thực của hệ thống được thể hiện như hình 4. Các chức năng chính bao gồm các biểu đồ dữ liệu đo đạc thông số, các giá trị đo tức thời, các chức năng để vận hành hệ thống (thiết lập thông số, truy vấn dữ liệu theo thời gian,...).

Hơn nữa, giá trị tức thời được gửi về máy chủ theo chu kỳ cũng được hiển thị để người quan sát dễ nắm bắt tình trạng thay đổi. Hệ thống có khả năng đưa ra các cảnh báo khi giá trị vượt khỏi ngưỡng cho phép (các mức báo động) qua giao diện hệ thống hoặc qua email được thiết lập trước. Dữ liệu này sẽ được hiển thị thời gian thực dưới dạng biểu đồ theo ngày và giá trị tức thời tại thời điểm thu thập với chu kỳ đo là 15 phút/lần đo.

Hệ thống còn giúp người vận hành có thể tra cứu, so sánh các giá trị quan trắc theo thời điểm bất kỳ (giờ, ngày, tháng, năm) thông qua các giá trị tức thời hoặc qua biểu đồ. Trên mỗi biểu đồ sẽ hiển thị đồng thời các giá trị đo của các thời điểm cần so sánh. Tất cả dữ liệu đo đạc các thông số của nước tại các trạm sẽ được lưu trữ trên lưu ổ cứng của máy chủ dưới dạng các file dữ liệu theo cấu trúc được mã hóa để thuận tiện cho việc giải mã. Ví dụ về mã hóa các tập tin dữ liệu: PH0114092022.txt là dữ liệu của độ pH tại trạm số 1 vào ngày 14/9/2022. Dữ liệu được truy xuất một cách dễ dàng hoặc sử dụng cho mô hình toán học của hệ thống nhằm đưa ra dự báo, kịch bản về quá trình xâm nhập mặn. Quá trình thực nghiệm cho thấy rằng hệ thống được xây dựng không những đáp ứng được các yêu cầu đặt ra mà còn có thể đóng vai trò như một mô hình mô phỏng giúp cho việc giảng dạy và nghiên cứu.

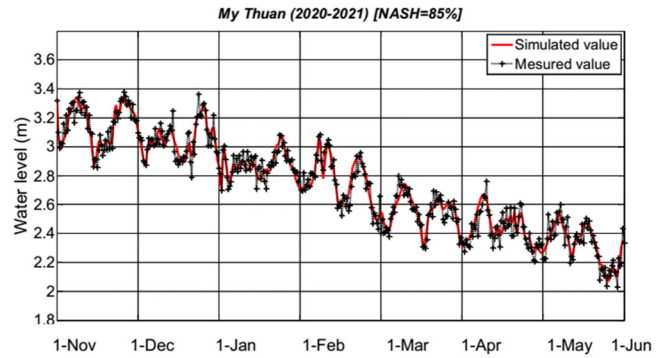
2.3.2. Hệ thống mô phỏng và dự báo xâm nhập mặn

Từ mô hình toán học được xây dựng để mô phỏng và dự báo việc xâm nhập mặn dựa trên mô hình Mike 21 và Mike 3 Flow Model kết hợp với giải thuật mô phỏng xâm nhập mặn, tác giả đã xây dựng chương trình mô phỏng trên bộ chương trình Mike được phát triển bởi DHI. Kết quả mô phỏng được đánh giá, kiểm định và hiệu chỉnh dựa vào các chỉ số NSE, PBIAS và RSR (được thể hiện chi tiết như trong bảng 3 với hệ số NASH = 85%). Theo

đó, việc đánh giá và kiểm định mô hình được thực hiện tại các trạm quan trắc tiêu biểu của khu vực hạ lưu sông Mekong: Mỹ Thuận (Tiền Giang), Mỹ Tho (Tiền Giang), Vàm Kênh (cửa Tiểu, Tiền Giang) và Bình Đại (cửa Đại, Bến Tre). Theo đó, các chỉ tiêu để hiệu chỉnh mô hình cho giai đoạn 2019 - 2020 đều nằm trong ngưỡng cho phép tiêu chuẩn (bảng 3).

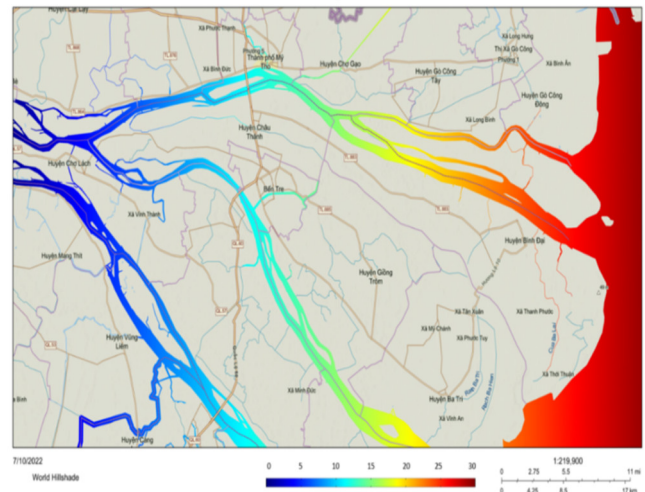
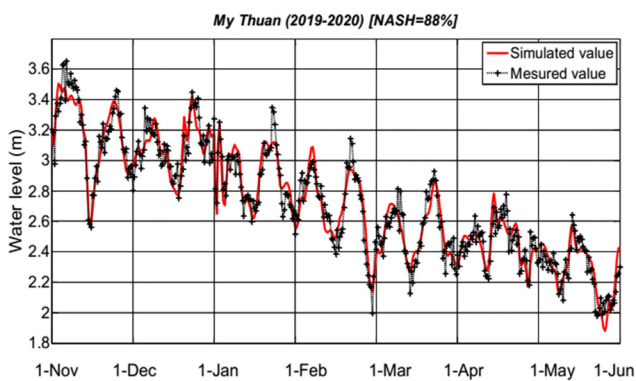
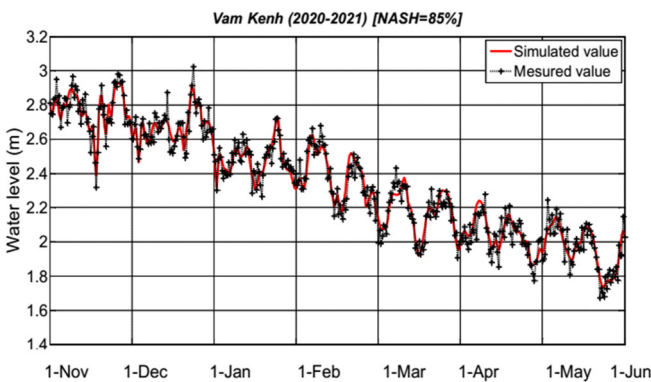
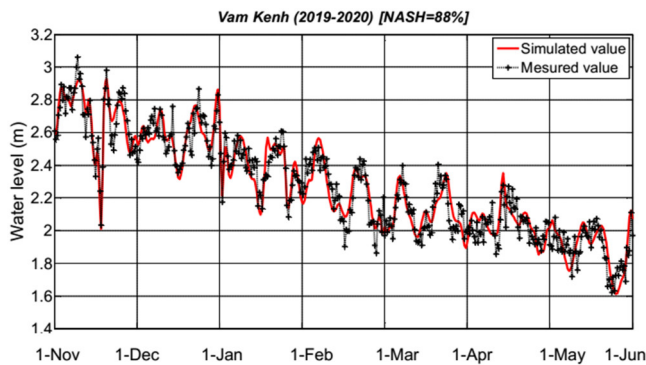
Bảng 3. Đánh giá chất lượng hiệu chỉnh, kiểm định mực nước

Quá trình	Thời điểm (giai đoạn)	Chỉ tiêu	Trạm quan trắc			
			Mỹ Thuận	Mỹ Tho	Vàm Kênh	Bình Đại
Hiệu chỉnh mô hình	2019 - 2020	NSE	0,92	0,96	0,91	0,94
		PBIAS (%)	1,04	1,47	1,21	2,23
		RSR	0,29	0,21	0,30	0,24
Kiểm định mô hình	2020 - 2021	NSE	0,96	0,98	0,96	0,98
		PBIAS (%)	2,48	3,52	2,88	5,33
		RSR	0,19	0,14	0,20	0,16



Hình 5. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mực nước tại Vàm Kênh và Mỹ Thuận

Kết quả hiệu chỉnh cho số liệu năm 2019 - 2020 và kiểm định cho số liệu năm 2020 - 2021 của mực nước sông Mekong tại trạm quan trắc Vàm Kênh và Mỹ Thuận với thông số NASH lần lượt là 88% và 85% được thể hiện như trong hình 5 và bảng 3. Từ đồ thị cho thấy rằng, đường quá trình mực nước của quá trình tính toán và đo đạc tiệm cận nhau và có sự tương đồng về biên độ và pha dao động. Tuy nhiên, quá trình đo đạc xảy ra các nhiễu trong quá trình đo nên dữ liệu có sự gãy khúc (các nhiễu này có thể được lọc bởi các bộ lọc tiền xử lý, tuy nhiên sẽ được đề cập trong các nghiên cứu khác). So sánh với các kết quả được ghi nhận trong bảng 1, giá trị NSE dao động trong khoảng 0,91 ÷ 0,98 (với 0,75 < NSE < 1 là rất tốt) trong cả quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Hơn nữa, RSR có giá trị dao động trong khoảng 0,14 ÷ 0,24 (với 0 < RSR < 0,5 là rất tốt) và PBIAS có giá trị dao động trong khoảng 1,04 ÷ 5,33 (PBIAS < 10 là rất tốt). Do đó, mô hình đề xuất đáng tin cậy để thực hiện mô phỏng và dự báo quá trình xâm nhập mặn cho khu vực nghiên cứu.



Hình 6. Bản đồ xâm nhập mặn tại hạ lưu sông Mekong (tỉnh Tiền Giang)

Kết quả tính toán từ bộ phần mềm mô phỏng mô hình thủy lực Mike 21 và Mike 3 Flow Model kết hợp mô hình Mike GIS với bản đồ địa hình DEM 90x90m với các dữ liệu thứ cấp, kết quả việc dự báo phân bố mặn và xâm nhập mặn trung bình các năm 2023 - 2025 tại hạ lưu sông Mekong trên địa bàn tỉnh Tiền Giang được thể hiện như hình 6. Theo đó, giá trị biên mặn cao nhất tại trạm Vàm Kênh (cửa Tiểu) là xấp xỉ

27‰ và biên mặn 3‰ lấn sâu đến địa bàn huyện Cai Lậy, tỉnh Tiền Giang (tương đương 70 - 80km). Trong khi, độ mặn cao nhất tại trạm thành phố Mỹ Tho, tỉnh Tiền Giang có giá trị dao động trong khoảng 12 - 15‰ (độ lấn sâu khoảng 40 - 50km tính từ trạm Vàm Kênh).

3. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Bài báo này đã giới thiệu một giải pháp hỗ trợ việc giám sát sự xâm nhập của nước biển vào hệ thống sông ngòi ở vùng hạ lưu sông Mekong tại Tiền Giang. Theo đó, một hệ thống nhằm thu thập dữ liệu từ xa có khả năng thu thập các thông số nước sông tại điểm đặt hệ thống theo thời gian thực và cảnh báo nếu các thông số vượt ngưỡng cho phép. Tác giả cũng đề xuất một mô hình toán học được xây dựng dựa trên mô hình MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model để mô phỏng và dự báo diễn biến của quá trình xâm nhập mặn. Kết quả cho thấy rằng ranh mặn 12‰ đã lấn sâu vào 50 km và ranh mặn 3‰ đã lấn sâu vào 80km so với cửa Tiểu của hạ lưu sông Mekong tại Tiền Giang. Kết quả này có thể giúp người dân và chính quyền có cơ sở để đưa ra các chính sách, phương án cần thiết để đối phó với việc nhiễm mặn nhằm tránh thiệt hại về kinh tế xã hội.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Tiền Giang đã tài trợ kinh phí thực hiện nhiệm vụ KHCN cấp Trường năm 2020, với tên gọi là "Xây dựng mô hình dự báo xâm nhập mặn tại hạ lưu Sông Mekong trên địa bàn tỉnh Tiền Giang".

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Southern Institute of Irrigation Science, 2019. *Report on forecasting water sources, saltwater intrusion in the dry season in 2018-2019 and proposing solutions to combat drought in the Mekong Delta*. Vietnam Institute of Irrigation Science, Ministry of Agriculture industry and rural development.
- [2]. People's Committee of Tien Giang province, 2017. *Directive 02/CT-UBND on prevention of drought, salinity and forest fire in 2018 in Tien Giang province*. <http://congbao.tiengiang.gov.vn>, accessed on April 5, 2022.
- [3]. Tien Giang Hydrometeorological Station, 2021. *Assessment of hydro-meteorological situation in rainy, stormy and flood season 2021 in Tien Giang area*. <http://tiengiang.gov.vn>, accessed date August 7, 2022.
- [4]. Nguyen Quang Thuan, et al., 2019. *Solutions to adapt to climate change in the Mekong Delta in a new context*. Vietnam Journal of Social Sciences, Vol. 3.
- [5]. Vu Thuy Linh, Nguyen Duy Liem, Ho Minh Dung, Nguyen Kim Loi, 2019. *Research and application modeling to assess trends of inundation and saltwater intrusion in the context of climate change: a pilot study in Ho Chi Minh City*. Journal of Hydrometeorology, vol. Special number, pp. 98–110.
- [6]. Tran Thi Kim, Bui Hong Son, Nguyen Thi Bay, Phung Thi My Diem, Nguyen Ky Phung, 2019. *A numerical study on the transmission of salinity in the Saigon River*. Vietnam Journal of Hydrometeorology, vol. 2019, no. 699, pp. 17–29.
- [7]. Pham Le My Duyen, Van Pham Dang Tri, 2016. *Application of one-dimensional hydraulic mathematical model to simulate flow in the dry season on Hau River*. Can Tho University Journal of Science, vol. 43, pp. 52–58.
- [8]. Le Ngoc Tuan, Tran Thi Kim, Nguyen Ky Phung, 2018. *Risk of saltwater intrusion in Saigon and Dong Nai rivers in the context of climate change and sea*

level rise. Science & Technology Development Journal: Natural Sciences, vol. 2, no. 3, pp. 102-112.

[9]. Le Thi Phung, Nguyen Ky Phung, Bui Chi Nam, Tran Xuan Hoang, Le Ngoc Tuan, 2017. *The effects of climate change on saltwater intrusion in Vinh Long province*. Journal of Hydrometeorology, vol. 2, pp. 8–15.

[10]. Nguyen Tung Phong, Nguyen Duc Phong, Trinh Ngoc Thang, 2018. *Assessment of saline intrusion for water supply for agricultural production in winter-spring crop in the coastal area of the Red River Delta under the impact of climate change*. Science Journal and Irrigation Technology, vol. 44, pp. 1–10.

[11]. Dang Van Dung, Tran Dinh Phuong, Le Thi Oanh, Tran Thanh Cong, 2018. *Exploiting the MIKE 11 model in forecasting and warning of saltwater intrusion in the Mekong Delta*. Journal of Hydrometeorology, vol. 693, pp. 48–58.

[12]. Nguyen Ky Phung, Nguyen Thi Bay, Tran Thi Kim, Le Ngoc Tuan, 2017. *Risk of saline intrusion in main rivers of Dong Nai province in the context of climate change and sea level rise*. Journal of Hydrometeorology, vol. 6, pp. 1–11.

[13]. Doan Quang Tri, 2016. *Application of MIKE 11 model to simulate and calculate saline intrusion for the Southern region*. Journal of Hydrometeorology, vol. 11, pp. 39–46.

[14]. Doan Van Hai, Le Thi Hue, Doan Quang Tri, 2020. *Researching and applying modeling software to forecast floods and saltwater intrusion in the Mekong River to display the results of saltwater forecasting on Google Earth*. Vietnam Journal of Hydrometeorology, vol. 710, no. 2, pp. 33–42.

[15]. Ho Viet Cuong, Nguyen Thi Ngoc Nhan, Pham Thi Lan Huong, Nguyen Quang Chieu, 2018. *Study on saltwater intrusion in the lower Red River Delta - Thai Binh considering the impact of climate change and sea water offering*. Journal of Irrigation Science and Technology, vol. 48, pp. 1–14.

[16]. Ho Viet Cuong, Tran Ngoc Anh, Nguyen Bach Tung, 2020. *Application of MIKE 3 model to simulate saline intrusion in Ninh Co river under climate change and sea level rise conditions*. Journal of Irrigation Science and Technology, vol. 58, no. 02, pp. 21–32.

[17]. Vu Thi Thu Lan, Hoang Thanh Son, Nguyen Bach Tung, Nguyen Dai Trung, 2019. *Development of a Delta model to warn of saline intrusion in rivers downstream of Vu Gia - Thu Bon basin*. Version B of the Vietnam Science and Technology Journal. 61.6 June 2019.

[18]. American Public Health Association (APHA), Rodger B. Baird, Laura Bridgewater, 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd Edition, ISBN9780875532875, Washington, DC American Public Health Association.

[19]. DHI, 2017. *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model & Flood Screening Tools*. Scientific Documents, <http://manuals.mikepoweredbydhi.help>, accessed on 5 April 2022.

[20]. Duong Tran Anh, et al., 2018. *Simulating Future Flows and Salinity Intrusion Using Combined One- and Two-Dimensional Hydrodynamic Modeling - The Case of Hau River, Vietnamese Mekong Delta*. Journal of Water, Vol. 10, pp. 798.

[21]. Tran Quoc Dat, et al., 2012. *Simulation of saltwater intrusion in the Mekong Delta under the impact of sea level rise and decrease in discharge from upstream*. Journal of Science, Can Tho University, Vol. 21b, pp. 141-150.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Thanh Nguyen, Tran Thanh Phong, Tran Quoc Cuong, Duong Ngoc Hung

Tien Giang University