

Xây dựng mô hình hồi quy xác định và thành lập bản đồ độ mặn nước mặt cửa sông bằng ảnh vệ tinh viễn thám đa phổ Sentinel – 2A

Mai Thị Huyền¹, Đoàn Thị Tố Uyên², Nguyễn Thị Quỳnh Như³, Trần Thống Nhất^{2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Ước tính mức độ xâm nhập mặn cho các đoạn sông gần các khu vực cửa sông hiện nay là một bài toán rất quan trọng vì ảnh hưởng tới nguồn nước mặt phục vụ cho nông nghiệp và sinh hoạt, đặc biệt hiện nay xuất hiện nhiều hiện tượng thời tiết cực đoan do biến đổi khí hậu. Việc giải quyết bài toán này từ dữ liệu viễn thám đa phổ là một cách tiếp cận hiệu quả trong theo dõi diễn biến và mức độ nhiễm mặn lâu dài trên quy mô lớn nếu xác định được phương pháp có đủ độ chính xác và tin cậy. Nghiên cứu này đề xuất một phương pháp thực nghiệm với mục tiêu tìm kiếm chỉ số viễn thám và hàm hồi quy trên cơ sở sử dụng hồi quy tương quan giữa chỉ số viễn thám và độ mặn qua hàm hồi quy. Để xác định mối tương quan và đánh giá độ tin cậy của các hàm được chọn thì nghiên cứu đã sử dụng hệ số xác định R^2 và sai số trung phương RMSE bằng các dữ liệu đo thực tế ở khu vực cửa sông Hàn, Đà Nẵng và cửa Đại, sông Thu Bồn, tỉnh Quảng Nam cùng với ảnh vệ tinh được sử dụng cho việc tính toán các chỉ số là ảnh Sentinel-2A. Kết quả thực nghiệm cho thấy, mô hình hồi quy phi tuyến tính giữa chỉ số khác biệt chuẩn hóa nước (NDWI) và độ mặn thực địa có độ chính xác cao nhất với $R^2=0,926$ và $RMSE=0,343$. Từ đó cho thấy phương pháp viễn thám quang học có thể sử dụng để giám sát độ mặn trong nước qua mối quan hệ phi tuyến với chỉ số NDWI, tuy nhiên cần lưu ý với các vùng nước bị mây, hoặc sương mù bao phủ thì kết quả xác định độ mặn sẽ không chính xác.

Từ khóa: xâm nhập mặn, nhiễm mặn, NDWI, viễn thám đa phổ, Sentinel

¹Trường Đại học Lâm Nghiệp Phân hiệu tại tỉnh Đồng Nai, Việt Nam

²Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

³Công Ty TNHH BSD Solutions, Việt Nam

Liên hệ

Trần Thống Nhất, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: ttnhat@hcmunre.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 09-3-2022
- Ngày chấp nhận: 19-8-2022
- Ngày đăng: 30-9-2022

DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjsee.v5iS3.696>



Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



ĐẶT VẤN ĐỀ

Nước ngọt đóng vai trò rất quan trọng, sống còn đối với cuộc sống của con người trong đó thiết yếu nhất là phục vụ sinh hoạt và sản xuất nông nghiệp. Nước ngọt của chúng ta được lấy chủ yếu từ nước mặt của sông, hồ và nước dưới đất qua xử lý để đưa vào hệ thống thủy lợi để cung cấp nước sản xuất nông nghiệp hoặc hệ thống đường ống để cấp nước sinh hoạt cho con người. Trong nguồn nước để cung cấp nước ngọt thì nước mặt là chủ yếu nhưng nguồn nước mặt này thường nối liền với sông, hồ để lưu thông với biển. Do đó đã có hiện tượng nước biển xâm nhập vào các cửa sông và lan truyền đến các nguồn cung cấp nước ngọt khi nhiều khu vực bị hạn, thiếu mưa vào mùa khô hoặc khi có thời tiết khô hạn cực đoan.

Xâm nhập mặn là hiện tượng nước mặn với nồng độ mặn bằng 4⁰/00 xâm nhập sâu vào nội đồng khi xảy ra triều cường, nước biển dâng hay cạn kiệt nguồn nước ngọt¹. Việc giám sát hiện trạng và dự báo sớm xâm nhập mặn rất quan trọng để giảm thiểu thiệt hại cho sản xuất nông nghiệp, ổn định kinh tế xã hội và đưa ra các biện pháp, chính sách phù hợp để giảm thiểu những ảnh hưởng tiêu cực do thiếu nước ngọt gây ra

khi xâm nhập mặn lấn sâu vào hệ thống sông ngòi đặc biệt là sông ngòi phục vụ cung cấp nước ngọt cho sinh hoạt và sản xuất nông nghiệp.

Quá trình xâm nhập mặn thường diễn biến phức tạp, khó dự đoán và gây ảnh hưởng trên một khu vực rộng lớn, trong khi công tác giám sát, phân tích và cảnh báo xâm nhập mặn hiện nay còn nhiều hạn chế do mạng lưới quan trắc thưa thớt, xuống cấp, công tác điều tra xâm nhập mặn được thực hiện chủ yếu bằng phương pháp truyền thống như đo đạc, lấy mẫu ở thực địa, ... tốn kém chi phí, thời gian, nhân lực, khó cung cấp thông tin kịp thời cho hệ thống cảnh báo sớm².

Để đánh giá sự diễn biến xâm nhập mặn theo không gian và thời gian, phương pháp chủ yếu trước đây là sử dụng các mô hình mô phỏng lan truyền độ mặn dựa trên các mô hình động lực học và sự hòa tan của muối trong nước với các dữ liệu đầu vào của mô hình rất phức tạp^{3,4}. Bên cạnh đó để đánh giá tính chính xác của kết quả mô hình cần thêm nhiều dữ liệu để hiệu chỉnh. Phương pháp này đòi hỏi nhiều dữ liệu và cần có các trạm quan trắc phù hợp về vị trí, mật độ, và liên tục thì mới có thể có kết quả tin cậy cao. Điều đó cũng gây ra việc tốn nhiều chi phí, thời gian

Trích dẫn bài báo này: Huyền M T, Uyên D T T, Như N T Q, Nhất T T. **Xây dựng mô hình hồi quy xác định và thành lập bản đồ độ mặn nước mặt cửa sông bằng ảnh vệ tinh viễn thám đa phổ Sentinel – 2A.** *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.*; 5(S13):67-77.

và hiệu quả của công tác giám sát. Công nghệ viễn thám với dữ liệu ảnh đa phổ, đa thời gian có khả năng giám sát liên tục sự biến động chất lượng nước (độ đục, độ mặn, chất rắn lơ lửng, và các chỉ số đặc trưng khác) trên phạm vi rộng lớn mà không bị hạn chế bởi số lượng trạm quan trắc. Trên thế giới đã có các nghiên cứu ứng dụng viễn thám để giám sát độ mặn trong nước thông qua khảo sát tương quan giữa giá trị phổ của ảnh vệ tinh hoặc các chỉ số viễn thám và độ mặn đo ở thực địa³⁻¹⁰. Các mô hình sử dụng hàm tuyến tính hoặc phi tuyến liên tục để tìm mối tương quan giữa giá trị phổ của ảnh vệ tinh hoặc các chỉ số viễn thám với độ mặn đo thực địa. Mối tương quan có ý nghĩa thống kê được tìm thấy giữa độ mặn thực địa và giá trị phản xạ phổ hoặc chỉ số viễn thám của các kênh ảnh trong dải sóng khả kiến và cận hồng ngoại^{5,8,11,12}. Mô hình hồi quy giám sát độ mặn được xây dựng dựa trên sự kết hợp giữa dữ liệu viễn thám và dữ liệu đo mặn thực địa và mô hình này được áp dụng để thành lập bản đồ mô phỏng độ mặn cho khu vực rộng lớn^{3-5,8-12}. Các nghiên cứu này cho thấy công nghệ viễn thám là công cụ hiệu quả để hỗ trợ phương pháp truyền thống trong công tác giám sát và cảnh báo xâm nhập mặn; tuy nhiên, chưa có nhiều nghiên cứu so sánh tính hiệu quả của nhiều phương pháp ước tính độ mặn và lựa chọn ra phương pháp tối ưu nhất có thể sử dụng trong phân tích xâm nhập mặn.

Nghiên cứu có mục tiêu xây dựng phương pháp xác định độ mặn nước mặt từ dữ liệu ảnh vệ tinh quang học. Để đạt được mục tiêu này, nghiên cứu tìm chỉ số ảnh đặc trưng tiềm năng và hàm hồi quy phù hợp nhất giữa chỉ số ảnh đặc trưng tiềm năng viễn thám với số liệu độ mặn thực đo tầng nước mặt của sông. Sau đó, nghiên cứu đánh giá chỉ số và hàm hồi quy có mối tương quan cao giữa chỉ số ảnh vệ tinh với giá trị độ mặn thực đo thông qua sai số trung phương và hệ số xác định. Dựa vào hàm hồi quy có độ tương quan cao và sai số trung phương thấp để xác định độ mặn của toàn bộ diện tích mặt nước sông và áp dụng hàm hồi quy và chỉ số ảnh vệ tinh cho thành lập bản đồ độ mặn của sông.

Nghiên cứu được thực nghiệm tại khu vực cửa sông Sông Hàn, Đà Nẵng và Cửa Đại, Quảng Nam vào thời điểm thường diễn ra xâm nhập mặn. Tại khu vực Quảng Nam, những năm gần đây nắng hạn kéo dài, mực nước ở các sông thuộc lưu vực Vu Gia – Thu Bồn sẽ tiếp tục sụt giảm, khiến hạ lưu các con sông trên địa bàn tỉnh nhất là sông Thu Bồn, bị nước biển xâm nhập sâu lên hướng thượng nguồn, với nồng độ mặn rất cao làm cho các hoạt động các trạm bơm thủy lợi tê liệt, gây khó khăn vì thiếu nước ngọt cho sinh hoạt và sản xuất lúa vụ hè thu... Với tình trạng nêu trên nếu

trong thời gian tới chính quyền địa phương chưa có biện pháp ứng phó cụ thể, hiệu quả và kịp thời với tình trạng xâm nhập mặn nói riêng cũng như biến đổi khí hậu nói chung thì nguy cơ xảy ra tình trạng thiếu nước cung cấp cho sinh hoạt và sản xuất nông nghiệp là điều không thể tránh khỏi cho tỉnh Quảng Nam cũng như khu vực duyên hải Trung Trung Bộ¹³.

KHU VỰC NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

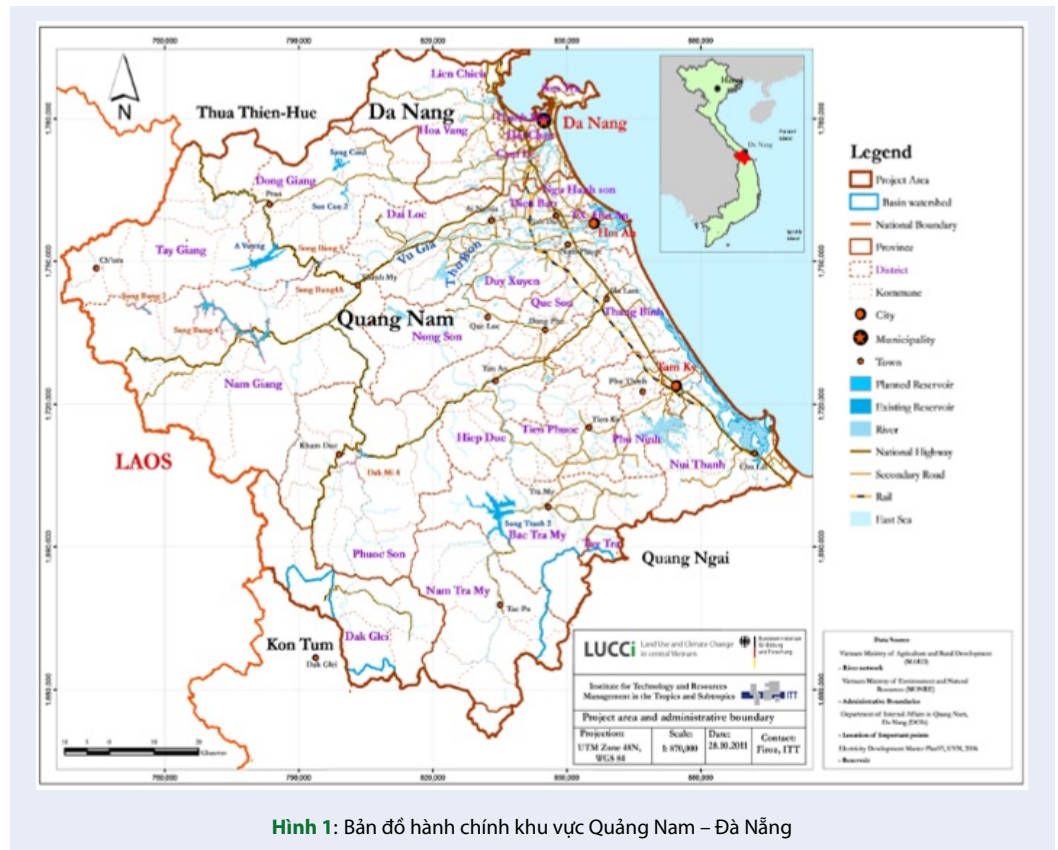
Quảng Nam - Đà Nẵng nằm ở khu vực miền Trung Việt Nam, phía Bắc giáp tỉnh Thừa Thiên - Huế, phía Nam giáp tỉnh Quảng Ngãi và tỉnh Kon Tum, phía Tây giáp tỉnh Sekong (Cộng hòa Dân chủ Nhân dân Lào), phía Đông giáp Biển Đông (Hình 1). Quảng Nam - Đà Nẵng có đường bờ biển dài hơn 125 km, ven biển có nhiều bãi tắm đẹp và các cụm đảo ven bờ với hệ sinh thái phong phú được công nhận là khu dự trữ sinh quyển của thế giới¹⁴.

Quảng Nam - Đà Nẵng có hai hệ thống sông lớn là Vu Gia - Thu Bồn (VG-TB), Hàn và Tam Kỳ. Các sông bắt nguồn từ sườn Đông của dãy Trường Sơn, chảy chủ yếu theo hướng Tây-Đông và đổ ra biển Đông tại cửa Hàn (Đà Nẵng), cửa Đại (Hội An) và An Hòa (Núi Thành). Ngoài hai hệ thống sông trên, sông Trường Giang có chiều dài 47 km chảy dọc ven biển theo hướng Bắc - Nam kết nối hệ thống sông VG-TB và Tam Kỳ (Hình 2). Do địa hình đồi dốc và lượng mưa lớn nên mạng lưới sông ngòi của tỉnh Quảng Nam khá dày đặc. Mật độ sông ngòi trung bình là 0,47 km/km² cho hệ thống VG - TB và 0,6 km/km² cho các hệ thống sông khác. Chế độ mực nước sông Thu Bồn, Trường Giang, Đẽ Vông phụ thuộc vào chế độ thủy triều lên xuống ngày hai lần (bán nhật triều); giữa kỳ nước cường và nước kém biên độ triều chênh lệch không đáng kể ($H_{max} = 1,40$ m, $H_{min} = 0,00$ m), biên độ dao động của thủy triều trung bình 0,06 m. Về mùa khô, do nước sông xuống thấp, nước biển xâm nhập sâu vào lục địa gây nên độ nhiễm mặn. Do vị trí các trạm quan trắc mặn và đặc tính xâm nhập mặn của hệ thống sông VG - TB tập trung ở cửa sông, nên khu vực nghiên cứu là vùng cửa sông vào trong nội đồng.

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp được sử dụng để ước tính độ nhiễm mặn trên các con sông trong nghiên cứu này được trình bày ở Hình 3 dưới đây.

Đầu tiên, ảnh vệ tinh viễn thám đa phổ chụp vào thời điểm thường xảy ra xâm nhập mặn tại khu vực nghiên cứu được thu thập để phân tích các chỉ số



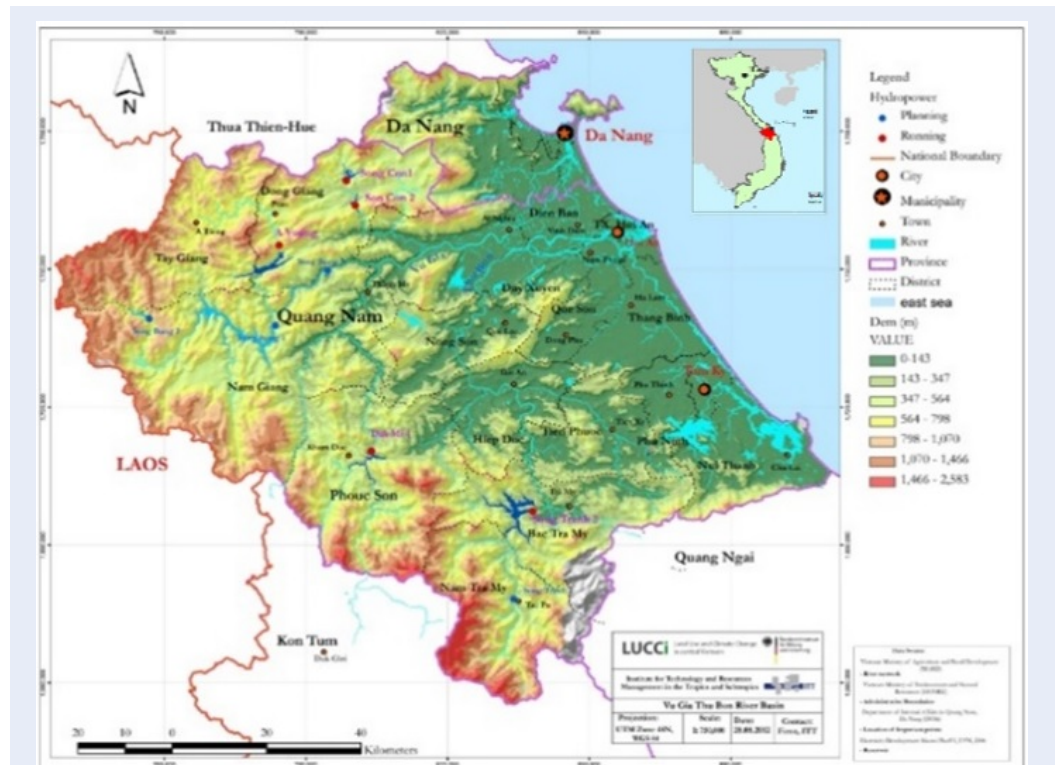
Hình 1: Bản đồ hành chính khu vực Quảng Nam – Đà Nẵng

tiềm năng có thể có, liên quan tới vùng nước mở. Ảnh có độ phân giải càng cao, dữ liệu tính toán và phân bố không gian các chỉ số nước càng chi tiết. Trong nghiên cứu này đã sử dụng ảnh Sentinel-2A độ phân giải không gian 10 m thu nhận lúc 10 giờ 12 phút sáng giờ địa phương các ngày 03/04/2018, 13/04/2018, 13/05/2018, 22/06/2018, 01/08/2018, 21/08/2018 trong nghiên cứu thực nghiệm để tương ứng với thời điểm số liệu thu thập được từ các trạm đo mặn nước mặt trên sông và có chất lượng ảnh tốt nhất về độ phủ của mây dưới 10%. Các ảnh Sentinel-2A được tải xuống từ trang web của Hiệp hội Khảo sát địa chất Hoa Kỳ (United States Geological Survey - USGS) với định dạng GeoTIFF với cấp độ xử lý 1C. Ở cấp độ xử lý này cảnh ảnh vệ tinh đã được hiệu chỉnh bức xạ khí quyển. Các pixel mặt nước trên ảnh Sentinel-2A được tách riêng để tính toán 12 chỉ số tiềm năng bao gồm từ SI1 đến SI9 (Salinity Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), NDSI (Normalized Difference Salinity Index), CRSI (Canopy Response Salinity Index).

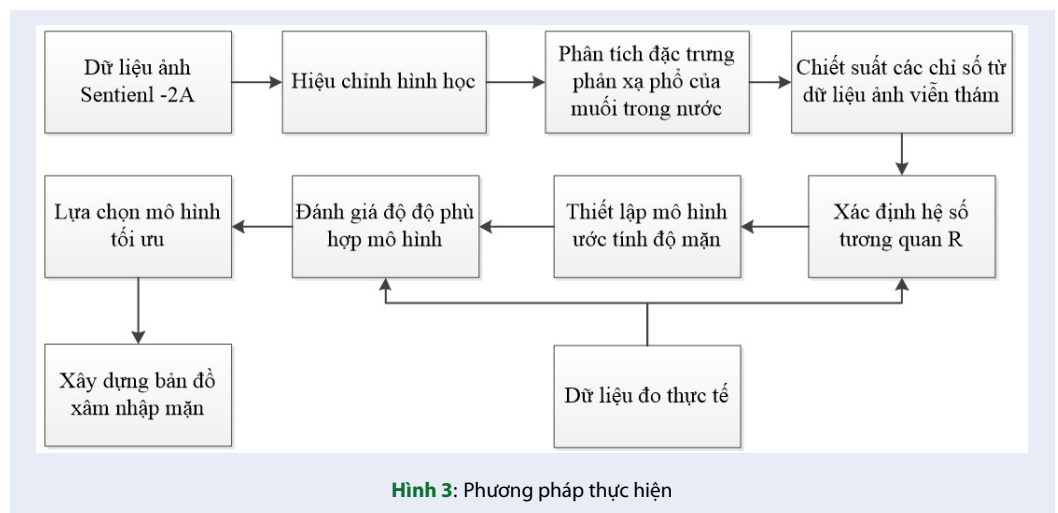
Để giám sát xâm nhập mặn trên các con sông và kênh rạch chính, số liệu đo mặn thực địa tại chỗ với yêu cầu đầu đo phải dưới mặt nước ít nhất 10 cm và cao hơn 15 cm từ đây để đảm bảo có thể đo được khi mùa kiệt.

Số liệu đo mặn được thu thập cùng với tọa độ địa lý của các trạm đo. Các trạm cung cấp dữ liệu độ mặn trong khoảng thời gian thường bị xâm nhập mặn để phân tích tương quan với dữ liệu chiết xuất từ ảnh vệ tinh. Tại sông Vu Gia – Thu Bồn, 48 giá trị đo mặn của 8 trạm quan trắc phân bố tại các cửa sông và dọc các sông (do Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Trung Trung Bộ cung cấp) từ tháng 3 tới tháng 8 năm 2018 đã được sử dụng. Các vị trí của các trạm quan trắc này được thể hiện như Hình 4.

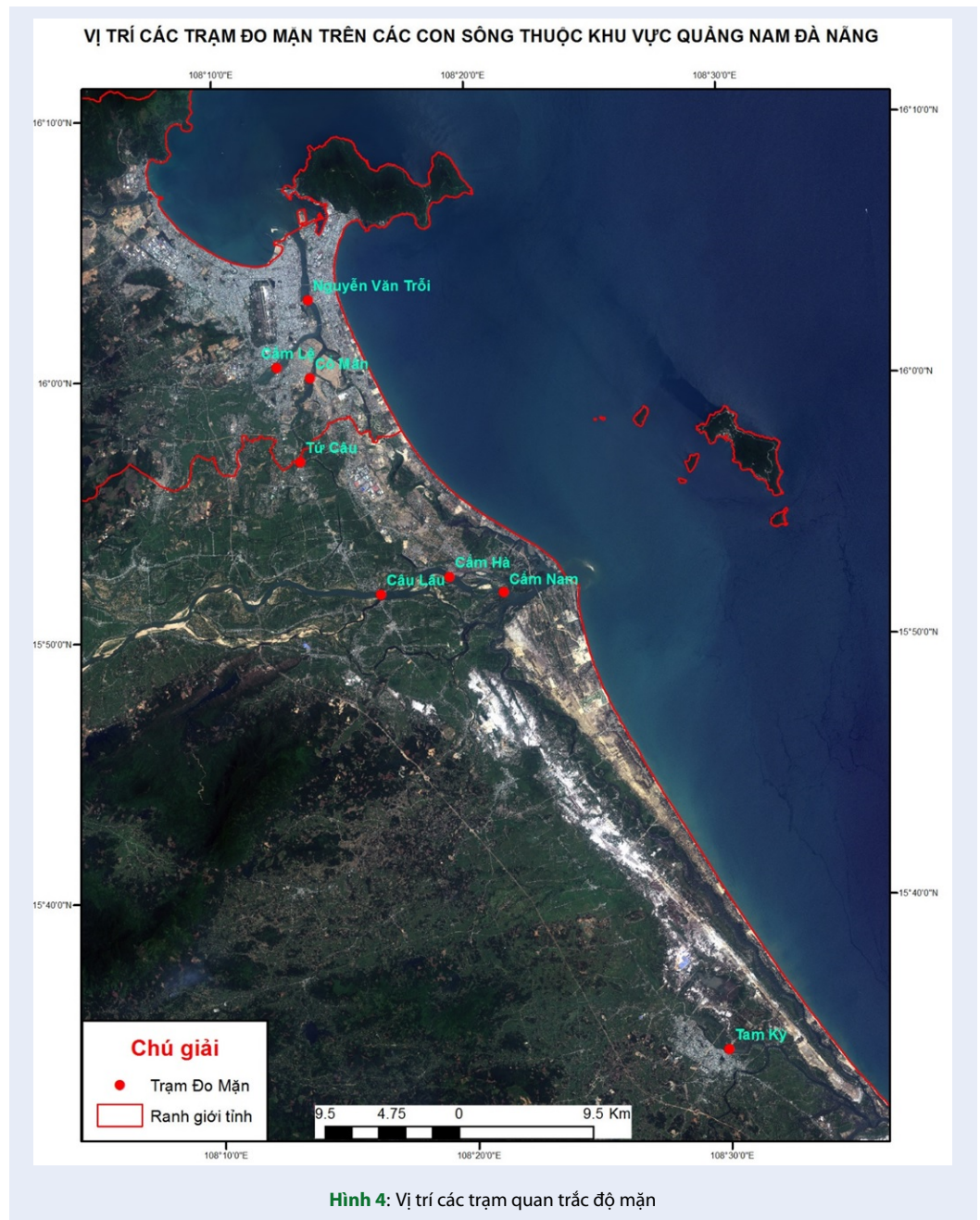
Việc phân tích để chọn lựa mô hình dựa trên sự diễn biến lan truyền tự nhiên liên tục, giảm đều của các chất hòa tan trong lưu chất. Do đó nghiên cứu đã sử dụng 2 mô hình là tuyến tính bậc nhất và phi tuyến số mũ theo cơ số tự nhiên. Tiến hành thực nghiệm chạy các mô hình để có thể ước lượng độ mặn được phân bố dọc các con sông bằng các hàm số - phương trình hồi quy với các biến đầu vào gồm các chỉ số được chiết tách từ các kênh ảnh và giá trị đo mặn ở thực địa. Phân tích hồi quy được sử dụng để ước tính mối tương quan giữa biến phụ thuộc và biến độc lập. Mối tương quan này được xác định dựa vào hệ số tương quan Pearson R. Kỹ thuật phân tích hồi quy tuyến tính và phi tuyến được sử dụng trên phần mềm thống kê SPSS để định lượng mối quan hệ giữa giá trị phản xạ của



Hình 2: Bản đồ địa hình và mạng lưới sông ngòi khu vực Quảng Nam – Đà Nẵng (Nguồn: <http://lucci-vietnam.info>)



Hình 3: Phương pháp thực hiện



ảnh vệ tinh hoặc các chỉ số viễn thám và giá trị độ mặn trong nước, từ đó phát triển các mô hình thực nghiệm. Nghiên cứu đã tiến hành thực nghiệm tính toán 12 biến độc lập tương ứng với 12 chỉ số tiềm năng. Trong các mô hình này, giá trị độ mặn đóng vai trò là biến phụ thuộc. Tất cả các chỉ số này được chiết tách từ dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2A theo công thức trong Bảng 1, trong đó B – Blue, G – Green, R – Red và NIR – Near-Infrared Band. Đây là các chỉ số ảnh viễn thám để xác định độ mặn đã được các nhà nghiên cứu, nhà

khoa học trên thế giới xây dựng và sử dụng trong lĩnh vực nghiên cứu mặn của nước cũng như của đất và lập bản đồ độ nhiễm mặn cho nước hoặc đất từ dữ liệu ảnh viễn thám trước đây^{5,11,12,15}.

Sau đó, mô hình được sử dụng để xây dựng phân bố không gian độ mặn cho toàn khu vực nghiên cứu. Sử dụng một phần dữ liệu giá trị độ mặn thực địa (70% dữ liệu) và giá trị phản xạ phổ của ảnh Sentinel-2A (tại vị trí và thời gian tương ứng với thời gian đo mặn ở thực địa) để xây dựng các mô hình mô phỏng độ

mặn trong nước từ giá trị phản xạ bề mặt. Phần còn lại trong bộ dữ liệu thực địa (30% dữ liệu) được dùng để đánh giá sự phù hợp của các mô hình thông qua việc tính toán sai số trung phương (Root Mean Square Error – RMSE). Mô hình tối ưu nhất được lựa chọn là mô hình có hệ số xác định R^2 lớn nhất và RMSE nhỏ nhất.

Bản đồ xâm nhập mặn được thành lập dựa trên mô hình tối ưu nhất cho các ảnh Sentinel-2A ở các thời điểm thu nhận khác nhau. Trong đó, các giá trị NDWI dựa trên hàm tương quan để tính chuyển thành giá trị độ mặn. Tuy nhiên giá trị độ mặn sau khi chuyển hóa được hiển thị dưới dạng giá trị số tại mỗi điểm ảnh do đó không thể nhìn thấy sự phân bố độ mặn một cách trực quan. Việc sử dụng các mức độ mặn, nghiên cứu tách thành các cấp độ mặn với cấp độ 1 có giá trị độ mặn nhỏ hơn 4‰, cấp độ 2 có độ mặn từ 4‰ tới 7‰, cấp độ 3 có độ mặn từ 7‰ tới 10‰ và cấp độ 4 có độ mặn lớn hơn 10‰⁸.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

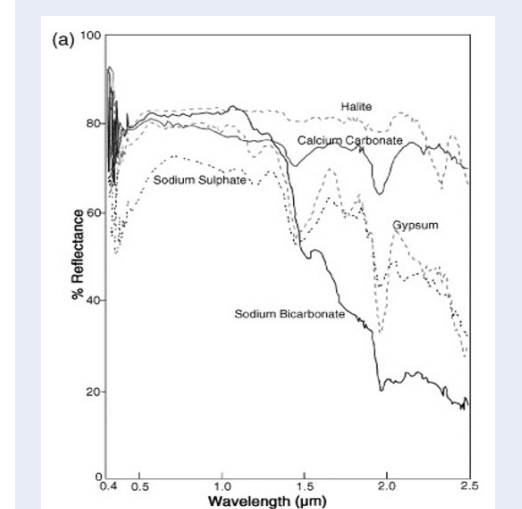
Đặc trưng phản xạ phổ của muối trong nước

Phổ phản xạ là thông tin quan trọng nhất mà viễn thám thu được về các đối tượng trên Trái đất. Dựa vào đặc điểm phổ phản xạ (cường độ, dạng đường cong ở các dải bước sóng khác nhau) có thể phân tích, so sánh và nhận diện các đối tượng trên bề mặt. Thành phần muối trong nước bao gồm sự kết hợp giữa các anion (chlorides, carbonates, bicarbonates, sulfates) và các cation (sodium, calcium, magnesium, potassium) như: Halite (NaCl), Gypsum (CaSO₄.2H₂O), Calcium carbonate (CaCO₃), Sodium bicarbonate (NaHCO₃), Sodium sulfate (Na₂SO₄) ... Nghiên cứu thực nghiệm tại các dải bước sóng khác nhau cho thấy đặc trưng phản xạ phổ của các thành phần muối thể hiện như Hình 5¹⁵.

Biểu đồ cho thấy tất cả các loại muối sodium sulfate, halite, gypsum, calcium carbonate, sodium bicarbonate đều phản xạ mạnh (hơn 60%) trong dải bước sóng từ 0,4 đến 1,4 μm (từ kênh khả kiến đến cận hồng ngoại). Đây là cơ sở đặt ra giả thuyết có thể sử dụng các kênh khả kiến (Kênh 2, Kênh 3, Kênh 4) và kênh cận hồng ngoại (Kênh 8) của ảnh Sentinel – 2A.

Mô hình hồi quy tuyến tính đơn biến giữa giá trị độ mặn với các chỉ số được tính từ ảnh

Kết quả phân tích mối tương quan giữa 12 chỉ số được tính từ ảnh và giá trị đo mặn ngoài thực địa được thể hiện trong Bảng 1. Trong 12 chỉ số trên, có 6 chỉ số khi chạy 2 mô hình đều có R^2 nhỏ hơn 0,6 là (SI2,



Hình 5: Biểu đồ thể hiện đặc trưng phản xạ phổ của các thành phần muối¹⁵

SI3, SI4, SI6, SI7, SI8), 2 chỉ số có một mô hình có R^2 lớn hơn 0,6 đó là (SI1 với hàm Linear, SI5 với hàm Exponential) và 4 chỉ số có R^2 cao hơn 0,6 trong cả hai mô hình là (SI9, NDWI, NDSI, CRSI).

Trong các mô hình được sử dụng, có 4 mô hình có chỉ số lớn hơn 0,6 thì chỉ số NDWI mô hình hàm Exponential có R^2 cao nhất (0,926 và sai số nhỏ nhất RMSE = 0,343). Như vậy, mô hình phù hợp nhất là mô hình phi tuyến chỉ số NDWI dạng Exponential.

Các thông số thống kê của mô hình chỉ số NDWI (hàm Exponential) như giá trị kiểm định t-stat = 19,422, F = 377,216 với trị số p-value hay giá trị sig tương ứng là sig ≈ 0,000 (< 0,05) cho thấy có mối liên hệ giữa giá trị độ mặn đo ở thực địa và chỉ số NDWI của ảnh Sentinel – 2A tại cùng thời điểm và cùng vị trí đo mặn, và mối liên hệ này có ý nghĩa thống kê.

Hình 6 cho thấy mối quan hệ phi tuyến giữa giá trị độ mặn thực địa và chỉ số NDWI thể hiện thông qua mô hình Exponential. Hình 7 thể hiện sự tương quan chặt chẽ giữa dữ liệu thực địa và dữ liệu ước tính từ mô hình (trên cơ sở bộ dữ liệu kiểm tra gồm 16 mẫu quan sát) thể hiện thông qua mối quan hệ tuyến tính với hệ số $R^2 = 0,787$; kiểm định t = 6,808; p-value = 0,000) RMSE = 1,403.

Thông qua các thông số thống kê của mô hình NDWI và kết quả đánh giá mô hình giám sát mặn trên 16 giá trị độ mặn quan trắc thực tế, thì mô hình **Độ mặn = 0,09 x e^(12,269xNDWI)**. được chấp nhận, có thể dùng để phát triển mô hình xâm nhập mặn.

Xây dựng bản đồ xâm nhập mặn

Cấp độ mặn được phân thành 4 cấp dựa trên ngưỡng mặn ảnh hưởng đến sinh trưởng của cây trồng là 4 g/l

Bảng 1: Kết quả mối tương quan giữa 12 chỉ số và giá trị đo mặn ngoài thực địa

Chỉ số	Công thức	Hàm	R	R*R	RMSE
SI1	$(B \cdot R)^{0.5}$	Linear	0,784	0,615	0,602
		Exponential	0,772	0,596	0,582
SI2	$(G \cdot R)^{0.5}$	Linear	0,764	0,584	0,57
		Exponential	0,746	0,556	0,541
SI3	$(G2+R2)^{0.5}$	Linear	0,772	0,597	0,583
		Exponential	0,674	0,574	0,56
SI4	$(G+R)/2$	Linear	0,768	0,59	0,577
		Exponential	0,752	0,565	0,55
SI5	$(B \cdot G)/R$	Linear	0,752	0,565	0,551
		Exponential	0,821	0,674	0,663
SI6	$(G2+R2+NIR2)^{0.5}$	Linear	0,75	0,562	0,548
		Exponential	0,723	0,523	0,507
SI7	$(R \cdot NIR)^{0.5}$	Linear	0,68	0,462	0,388
		Exponential	0,639	0,408	0,388
SI8	$(G \cdot R)/B$	Linear	0,685	0,469	0,452
		Exponential	0,654	0,428	0,409
SI9	$(R/NIR) \cdot 100$	Linear	0,884	0,781	1,635
		Exponential	0,927	0,859	0,474
NDWI	$(G - NIR) / (G + NIR)$	Linear	0,894	0,8	1,564
		Exponential	0,962	0,926	0,343
NDSI	$(R - NIR) / (R + NIR)$	Linear	0,855	0,731	1,813
		Exponential	0,942	0,887	0,426
CRSI	$(B \cdot G - R \cdot NIR) / (B \cdot G + R \cdot NIR)$	Linear	0,828	0,686	1,958
		Exponential	0,884	0,781	0,592

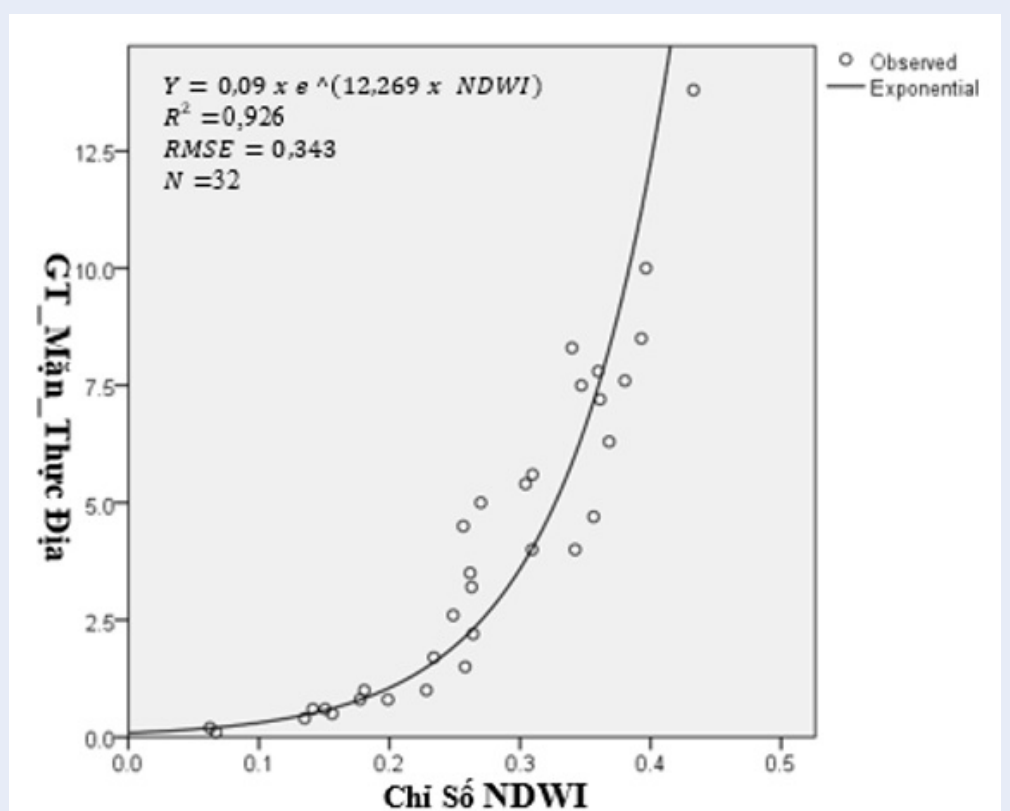
tương đương 4‰, bao gồm: (1) độ mặn nhỏ hơn 4 g/l; (2) độ mặn trong khoảng từ 4 đến 7 g/l; (3) độ mặn trong khoảng từ 7 đến 10 g/l; (4) độ mặn lớn hơn 10 g/l và được thể hiện trong các bản đồ như Hình 8.

Kết quả phân vùng xâm nhập mặn qua các thời điểm được thể hiện qua các bản đồ trong Hình 8, qua đó ta có những nhận xét chung về tình hình xâm nhập mặn qua các ngày trong tháng như sau:

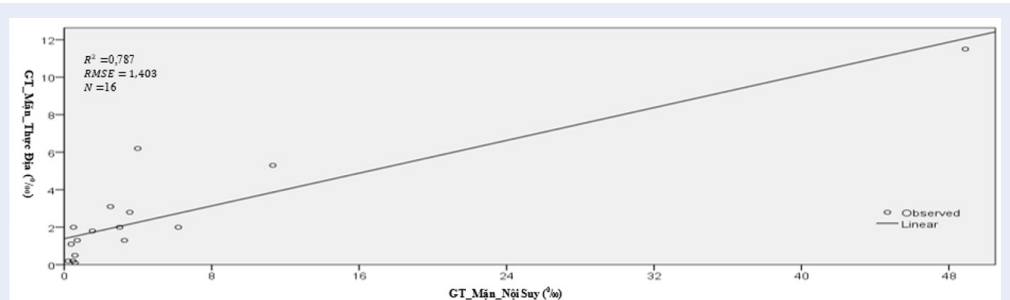
Ngày 4/03/2018, xâm nhập mặn (tính đến ranh giới độ mặn 4‰) xảy ra chủ yếu ở khu vực cửa sông Hàn và cửa sông Thu Bồn. Tại cửa sông Hàn, xâm nhập mặn với mức 7‰-10‰ xảy ra từ cửa sông Hàn kéo dài xuống cầu Trần Thị Lý (trạm đo Nguyễn Văn Trỗi) khoảng 6km và tiếp tục mức 4‰ -7‰ từ cầu Trần Thị Lý kéo xuống Cầu Hòa Xuân, phường Hòa Xuân khoảng 4km.

Tại Cửa Đại, xâm nhập mặn xâm nhập vào vịnh Cửa Đại mức 7‰-10‰ khoảng 2km sau đó tiếp tục với mức 4‰ -7 ‰ kéo dài theo sông thu Bồn đến địa phận phường Cẩm Nam, Duy Vinh và Duy Nghĩa khoảng 5km. cũng ở tại Vịnh Cửa Đại, dọc theo phường Cửa Đại xâm nhập mặn mức 7‰ -10‰ khoảng 2km sau đó tiếp tục mức 4‰ -7‰ khoảng 0.5 km. Như vậy, kết quả chạy mô hình phù hợp với kết quả đo mặn ngoài thực địa (Trạm Nguyễn Văn Trỗi (8.5‰), Cẩm Lệ (6.2‰), Cẩm Nam (4‰) còn 5 Trạm còn lại đều có giá trị nhỏ hơn 4‰)

Ngày 13/04/2018, xâm nhập mặn giảm ở cả hai cửa sông, ở cửa sông Cửa Đại chỉ có mức 4-7 ‰, xảy ra ở cầu Thuận Phước và một phần ở An Hải Đông, An Hải Bắc. Ở cửa Sông Hàn xâm nhập mặn chỉ xảy ra ở khu vực cửa sông. Ngày 13/5/2018, xâm nhập mặn xâm



Hình 6: Mối quan hệ giữa độ mặn thực địa và NDWI

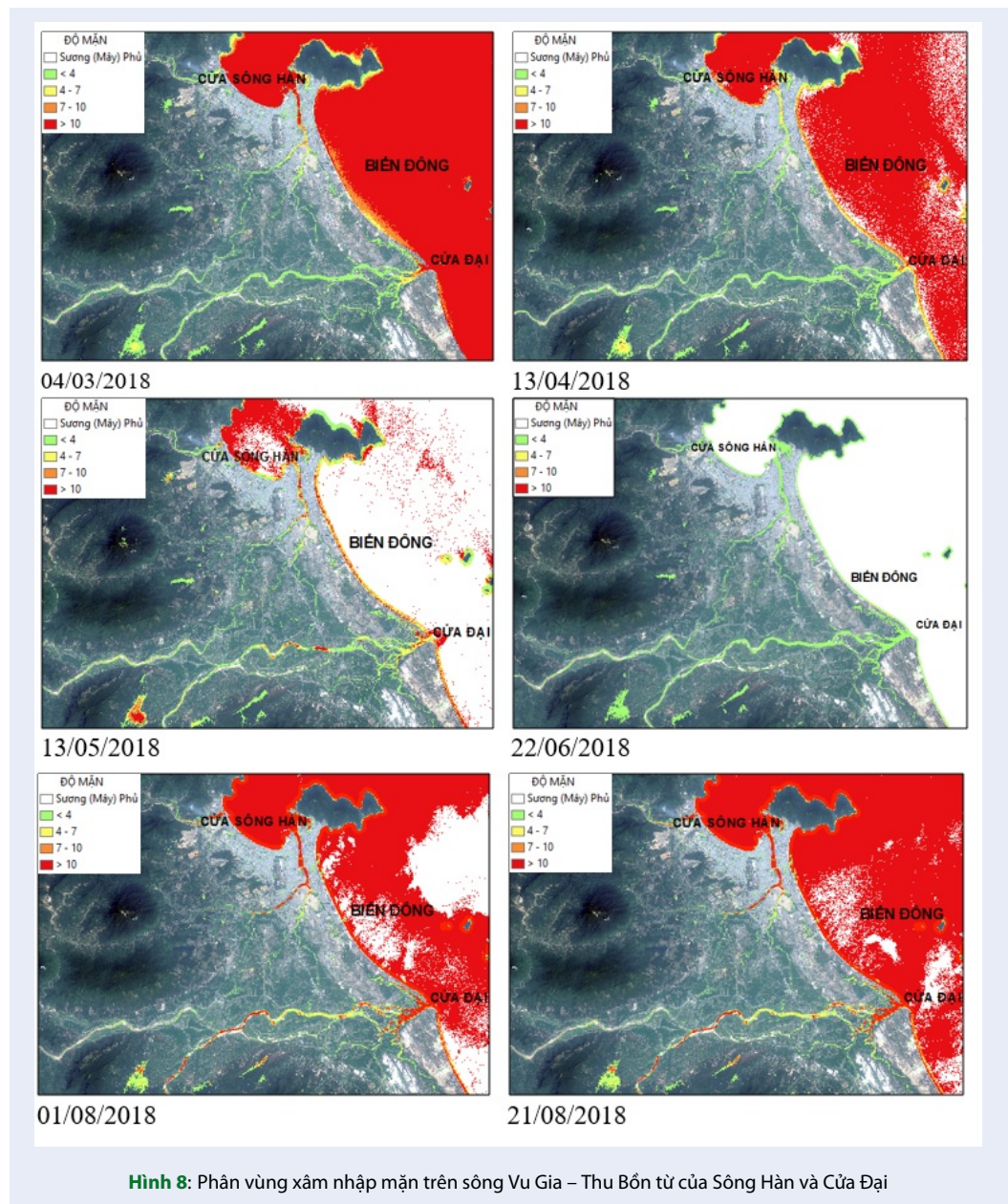


Hình 7: Mối quan hệ giữa độ mặn thực địa và độ mặn ước tính

nhập ở cửa sông Hàn khoảng 8km, và cửa Đại khoảng 3km. Ngày 22/6/2018, mô hình cho thấy không xảy ra xâm nhập mặn, so sánh với giá trị đo mặn thực địa thì tại 8 trạm đều có giá trị nhỏ hơn 1‰. Ngày 1/08/2018 và ngày 22/08/2018, xâm nhập mặn lần sâu hơn vào nội đồng, và ở ngưỡng cao hơn mọi tháng. Ở cửa Sông Hàn, xâm nhập xâm nhập sâu vào trong nội đồng với mức >10 ‰ kéo cửa sông tới Hòa Tiến, Hòa Nhơn (khoảng 17 km), sự xâm nhập mặn giảm hơn phía bên nhánh Hòa Quý, Hoà Xuân. Ở Cửa Đại, xâm nhập mặn vào vịnh dọc sông Thu Bồn và phường Cửa Đại

khoảng 10km.

Tuy nhiên dựa trên số liệu tính toán các chỉ số NDWI sẽ bị ảnh hưởng bởi mây và điều này sẽ dẫn tới việc tính toán giá trị độ mặn sẽ không chính xác. Điều này thể hiện trong các ảnh vào ngày 13/05/2018; 22/06/2018 các khu vực biển bị sương mù nên đã tính toán độ mặn không chính xác ở khu vực biển. Ở khu vực biển của ảnh vào ngày 1/08/2018 và 21/08/2018 cũng bị ảnh hưởng do hiện tượng sương mù này làm một số khu vực vùng biển cũng thể hiện không chính xác về độ mặn.



KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất phương pháp tối ưu trong giám sát và thành lập bản đồ hiện trạng xâm nhập mặn, sử dụng tương quan giữa dữ liệu quan trắc thực tế và 12 chỉ số tiềm năng chiết xuất từ dữ liệu ảnh viễn thám Sentinel-2A. Tương quan của các mô hình hồi quy tuyến tính và phi tuyến tính được chạy trên cơ sở các biến độc lập tương ứng với từng chỉ số tiềm năng của ảnh. Nghiên cứu thực nghiệm tại khu vực cửa sông Hàn, Đà Nẵng và Cửa Đại, Quảng Nam cho thấy, có 6 chỉ số khi chạy 2 mô hình đều có R^2 nhỏ hơn 0,6 là (SI2, SI3, SI4, SI6, SI7, SI8), 2 chỉ số trong đó có một mô hình lớn hơn 0,6

đó là (SI1 với hàm Linear, SI5 với hàm Exponential), và 4 chỉ số còn lại có R^2 cao hơn 0,6 là (SI9, NDWI, NDSI, CRSI). Trong các mô hình có R^2 cao hơn 0,6 thì chỉ số NDWI khi chạy mô hình hàm Exponential cho độ chính xác nhất, với $R^2 = 0,926$ (cao nhất trong các phép thử nghiệm) và $RMSE = 0,343$ (nhỏ nhất trong các phép thử nghiệm). Như vậy, mô hình phù hợp nhất trong phân tích xâm nhập mặn từ ảnh vệ tinh đa phổ là mô hình phi tuyến Exponential của chỉ số NDWI với phương trình tương quan là $\text{Độ mặn} = 0,09 \times e^{(12,269 \times NDWI)}$.

Bản đồ thực nghiệm đã thể hiện xu hướng xâm nhập mặn thời điểm thực từ các cửa sông chính đi vào nội đồng cho thấy cách tiếp cận bằng công nghệ viễn thám quang học thể hiện phù hợp với tiến trình xâm nhập mặn và phân bố không gian dữ liệu thực địa. Tuy nhiên các kênh ảnh Sentinel-2A được sử dụng là kênh ảnh quang học nên có nhược điểm đó là sẽ bị ảnh hưởng bởi tác động của thời tiết và lượng nước bốc hơi, làm ảnh hưởng đến chất lượng ảnh và độ chính xác trong ước tính độ mặn. Sự xâm nhập mặn xảy ra theo đặc tính tự nhiên là sự lan truyền liên tục về mặt không gian nhưng do ảnh hưởng bởi chất lượng của ảnh bị lớp nước bốc hơi nên kết quả ảnh phân loại độ mặn nước mặt đã thể hiện sự phân bố độ mặn gián đoạn. Để tăng tính chính xác của phương pháp viễn thám cần tăng thêm điểm đo mặn thực địa để cung cấp nhiều hơn số lượng mẫu quan sát (số liệu độ mặn) trong một thời điểm và đồng thời cần nghiên cứu để loại bỏ các khu vực bị hơi nước, sương mù và mây để kết quả của mô hình và tính độ mặn từ mô hình dựa trên chỉ số NDWI chính xác hơn. Vì vậy có thể nói phương pháp đo đạc trực tiếp vẫn là phương pháp chủ đạo, phương pháp viễn thám sử dụng tốt cho mùa khô, ít sương mù; không mưa sẽ có kết quả tốt hơn mùa mưa để xác định trên phạm vi không gian rộng, tức thời.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Bài báo này là kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả, không có xung đột lợi ích với tổ chức, cá nhân khác ngoài nhóm tác giả. Nhóm tác giả sẽ chịu mọi trách nhiệm nếu có xung đột lợi ích với tổ chức, cá nhân bên ngoài nhóm tác giả. Các xung đột bên trong nhóm tác giả sẽ do tác giả chính chịu trách nhiệm quyết định.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Tên các thành viên được đưa vào nhóm tác giả của bài báo này đều có đóng góp với các mức độ khác nhau theo sự phân công của tác giả chính. Tác giả chính chịu trách nhiệm đưa ra ý tưởng, phương pháp, phân tích sâu, kiểm tra kết quả, bổ sung, chỉnh sửa toàn bộ nội dung bài khi nộp và các vòng phản biện. Mai Thị Huyền chịu trách nhiệm thực hiện các kỹ thuật xử lý ảnh, phân tích thống kê với các hàm hồi quy để tìm hàm và chỉ số viễn thám phù hợp cho mô hình, viết nội dung phân tích bước đầu các kết quả; Đoàn Thị Tố Uyên góp ý các chỉ số ban đầu và viết phần tổng quan

và trình bày theo định dạng của bài báo; Nguyễn Thị Quỳnh Như thu thập số liệu, viết một phần tổng quan và chạy một số chỉ số viễn thám ban đầu. Các lợi ích liên quan tới nhóm tác giả sẽ do tác giả chính quyết định.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Trung tâm chính sách và kỹ thuật phòng chống thiên tai. Kiến thức cơ bản về: Xâm nhập mặn. Truy Cập Ngày. 2019;9 tháng 3 năm 2022;.
2. Cục Thông tin KH&CN Quốc gia. Xâm nhập mặn tại ĐBSCL: nguyên nhân, tác động và các giải pháp ứng phó, 2016;.
3. Hoagland P, Beet A, Ralston D, Parsons G, Shirazi Y, Carr E. Salinity intrusion in a modified river-estuary system: an integrated modeling framework for source-to-sea management. *Front Mar Sci.* 2020;7:425;Available from: <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00425>.
4. Haron NF, Tahir W. Hydrodynamic and salinity intrusion model in Selangor river;.
5. McFeeters SK. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int J Remote Sens.* 1996;17(7):1425-32;Available from: <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
6. Hellweger FL, Schlosser P, Lall U, Weissel JK. Use of satellite imagery for water quality studies in New York harbor. *Estuar Coast Shelf Sci.* 2004;61(3):437-48;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.06.019>.
7. Gholizadeh M, Melesse A, Reddi L. A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors.* 2016;16(8):1-43;PMID: 27537896. Available from: <https://doi.org/10.3390/s16081298>.
8. Nguyễn N. Vũ, Lê Văn Trung, Trần Thị Vân. Đánh giá xâm nhập mặn vùng cửa sông từ dữ liệu viễn thám kết hợp quan trắc mặt đất. *Tạp chí phát triển khoa học và công nghệ: chuyên san khoa học trái đất và môi trường*, tập. Vol. 2, số 2; 2018;.
9. Nguyen PTB, Koedsin W, McNeil D, Van Van TPD. Remote sensing techniques to predict salinity intrusion: application for a data-poor area of the coastal Mekong Delta, Vietnam. *Int J Remote Sens.* 2018;39(20):6676-91;Available from: <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1466071>.
10. Sakai T, Omori K, Oo AN, Zaw YN. Monitoring saline intrusion in the Ayeyarwady Delta, Myanmar, using data from the Sentinel-2 satellite mission. *Paddy Water Environ.* 2021;19(2):283-94;Available from: <https://doi.org/10.1007/s10333-020-00837-0>.
11. Yildirim A, Gorji Taha, Hamzehpour Nikou, Sertel E, Tanik A. Comparison of different soil salinity indices derived from Sentinel – 2A. *International Symposium on Applied Geoinformatics (ISAG-2019)*; 2019. p. 230-3;.
12. Gopalakrishnan T, Kumar L. Modeling and mapping of soil salinity and its impact on paddy lands in Jaffna Peninsula, Sri Lanka. *Sustainability.* 2020;12(20):2020;Available from: <https://doi.org/10.3390/su12208317>.
13. Đề xuất phương án chống xâm nhập mặn ở Quảng Nam. s.l.: cổng Thông tin Điện Tử Quảng Nam, 2018;.
14. UNESCO. Cu Lao Cham. Viet Nam: Hoi An Biosphere Reserve; 2009. Available from: <https://en.unesco.org/biosphere/aspac/cu-lao-cham-hoi-an>. Ngày truy cập: 1/7/2022;.
15. Metternicht GI, Zinck JA. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sens Environ.* 2003;85(1):1-20;Available from: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00188-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00188-8).

Building regression model to determine and make a salinity map of fresh surface water in estuaries using multispectral image sentinel – 2A

Mai Thi Huyen¹, Doan Thi To Uyen², Nguyen Thi Quynh Nhu³, Tran Thong Nhat^{2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

Estimating salinity intrusion for river sections near estuaries is currently a very important problem because of its affects fresh surface water for agriculture and daily life, especially with extreme weather events in climate change conditions. Solving this problem by applying multi-spectral remote sensing data is an effective approach to large scale long-term monitoring of salinity change and extent if it is determined that the method is accurate and reliable. The research conducted an empirical method with a purpose of finding suitable indexes and regression functions based on using the correlation regression between the indexes and observed salinity through the regression functions. In order to determine the correlation and evaluate the reliability of the selected functions, the research used the determination coefficient R^2 and root mean square error RMSE with the measured data in estuaries of Han River, Da Nang City and Dai Mouth of Thu Bon river, Quang Nam province combining with the indexes of satellite images Sentinel – 2A. The experimental results showed that the non-linear regression function between the normalized difference water index (NDWI) and the observed data has the highest accuracy with $R^2 = 0,926$ and $RMSE = 0,343$. Therefore, it shows that optical remote sensing can be applied to monitor salinity intrusion through a nonlinear relationship with the NDWI, but in water areas covered by clouds or fog, determining salinity will be made errors.

Key words: salinity intrusion, salinity, NDWI, multispectral remote sensing, Sentinel

¹Vietnam National University of Forestry at Dong Nai

²Hochiminh City University of Natural Resources and Environment

³BSD Solutions Company LTD, Vietnam

Correspondence

Tran Thong Nhat, Hochiminh City University of Natural Resources and Environment

Email: ttnhat@hcmunre.edu.vn

History

- Received: 09-3-2022
- Accepted: 19-8-2022
- Published: 30-9-2022

DOI : 10.32508/stdjsee.v5iS3.696



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Huyen M T, Uyen D T T, Nhu N T Q, Nhat T T. **Building regression model to determine and make a salinity map of fresh surface water in estuaries using multispectral image sentinel – 2A.** *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.*; 2022, 5(S13):67-77.