

Giải pháp tích hợp viễn thám và GIS trong giám sát xâm nhập mặn sông Cửu Long

Lê Văn Trung, Trần Thị Vân, Nguyễn Nguyên Vũ*

Khoa Môi trường và Tài nguyên, Trường Đại học Bách khoa,
Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh

Ngày nhận bài 2/7/2018; ngày chuyển phản biện 5/7/2018; ngày nhận phản biện 6/8/2018; ngày chấp nhận đăng 10/8/2018

Tóm tắt:

Giải pháp truyền thống trong giám sát xâm nhập mặn sông Cửu Long đòi hỏi phải lấy mẫu thực địa, nên tốn nhiều thời gian và kinh phí. Bài báo giới thiệu giải pháp tích hợp ảnh viễn thám và GIS trong giám sát và thành lập bản đồ chuyên đề phân bố độ mặn của nước theo không gian và thời gian. Dữ liệu được sử dụng là ảnh vệ tinh Landsat 8 kết hợp với số liệu quan trắc độ mặn của nước được thu thập từ 11 trạm quan trắc. Kết quả phân tích cho thấy sự tương quan cao giữa giá trị quan trắc độ mặn của nước và giá trị độ sáng pixel của ảnh thành phần chính thứ nhất. Điều này cho phép áp dụng mô hình hồi quy và công cụ phân tích không gian của GIS để phát triển giải pháp giám sát xâm nhập mặn dọc sông Cửu Long. Giải pháp đề xuất cho phép hỗ trợ các địa phương trong việc giám sát, phân tích và phân vùng ảnh hưởng xâm nhập mặn ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL).

Từ khóa: GIS, phân tích không gian, viễn thám, xâm nhập mặn.

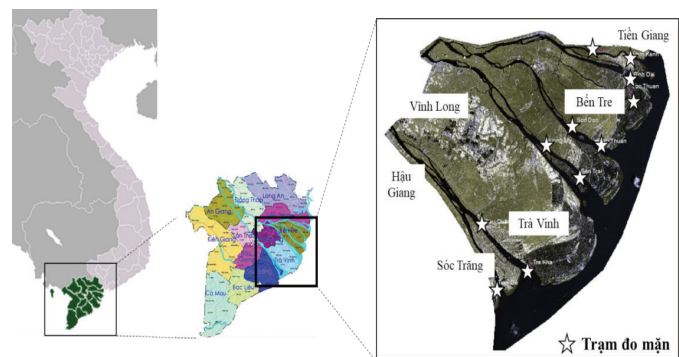
Chỉ số phân loại: 1.7

Mở đầu

ĐBSCL là vùng sản xuất nông nghiệp lớn nhất Việt Nam, đóng góp quan trọng trong cung cấp lương thực nội tiêu cũng như cho xuất khẩu. Tuy nhiên, nơi đây đang phải chịu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, nước biển dâng và tác động tiêu cực từ các công trình ngăn nước ở thượng nguồn. Hệ thống sông Cửu Long được tính từ Tân Châu trên sông Tiền và Châu Đốc trên sông Hậu chảy ra biển qua 9 cửa sông: Tiểu, Đại, Ba Lai, Hàm Luông, Cổ Chiên, Cung Hầu, Định An, Trần Đề và Bát Thát. Chế độ thủy văn của sông Cửu Long bị chi phối đáng kể bởi thủy triều ở biển Đông và sự suy giảm lưu lượng nước từ thượng nguồn. Theo số liệu của các trạm quan trắc cho thấy, vào mùa khô, xâm nhập mặn từ các cửa sông thường diễn ra và tiến sâu vào đất liền với diễn biến phức tạp theo thời gian. Hiện nay, số lượng trạm không đủ để xác định mức độ ảnh hưởng trên toàn vùng và phương pháp quan trắc truyền thống thường tốn kém, nhưng vẫn không cung cấp đủ thông tin kịp thời cho các hệ thống cảnh báo sớm [1]. Để khắc phục vấn đề này, nhiều nghiên cứu đã ứng dụng thành công việc kết hợp ảnh viễn thám với số liệu quan trắc truyền thống trong công tác giám sát xâm nhập mặn [2, 3].

Bài báo nhằm giới thiệu giải pháp sử dụng ảnh vệ tinh Landsat kết hợp với số liệu của 11 trạm quan trắc để giám sát và thành lập bản đồ xâm nhập mặn dựa trên kỹ thuật phân tích không gian của GIS (hình 1).

*Tác giả liên hệ: Email: nmv2310@gmail.com



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu và các trạm quan trắc vùng ĐBSCL.

Phương pháp thực hiện

Dữ liệu mặt đất

Để giám sát xâm nhập mặn trên các con sông và kênh rạch chính thuộc sông Cửu Long, dữ liệu đo mặn của 11 trạm quan trắc phân bố tại các cửa sông và dọc các sông do Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ cung cấp vào năm 2014 được sử dụng (hình 2). Các trạm cung cấp dữ liệu độ mặn liên tục trong ngày (2 giờ/lần) từ tháng 1 đến tháng 6 trong năm. Dữ liệu được tổ chức, lưu trữ và quản lý trong GIS để tạo cơ sở đánh giá xu hướng xâm nhập mặn theo không gian và thời gian.

Integrating remote sensing and GIS technology in monitoring salinity intrusion in Mekong River

Van Trung Le, Thi Van Tran, Nguyen Vu Nguyen*

¹Department of Environment and Resources,
Ho Chi Minh City University of Technology

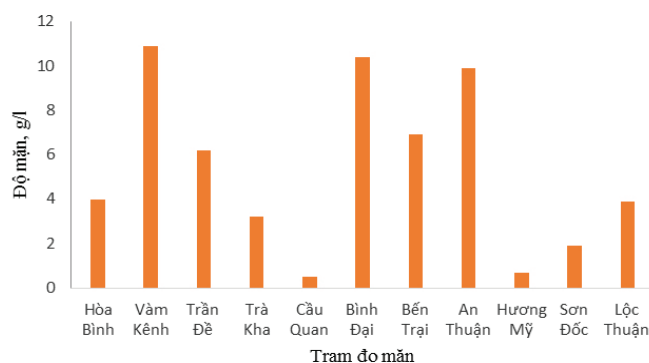
Received 2 July 2018; accepted 10 August 2018

Abstract:

The traditional method used in monitoring salinity intrusion in Mekong River requires in-situ sampling which is costly and time consuming. This study introduces a remote sensing and GIS technique based solution for monitoring and building the thematic maps of the spatial and temporal distribution of salinity in water. The used data consisted of Landsat 8 images acquired at the same time as the data that were collected at 11 salinity measurement stations. The analysis results showed a significant correlation between the observed salinity data and brightness value of pixel in the first principal component image. The suitable regression equation was developed to realise the salinity intrusion by using Landsat time-series imagery, and the spatial analysis tools in GIS were used in developing maps of areas at risk for salinity intrusion along the Mekong River. The proposed method proved to be effective in monitoring, analysing impacts of salinity intrusion in different regions of the Mekong River Delta.

Keywords: GIS, remote sensing, salinity intrusion, spatial analysis.

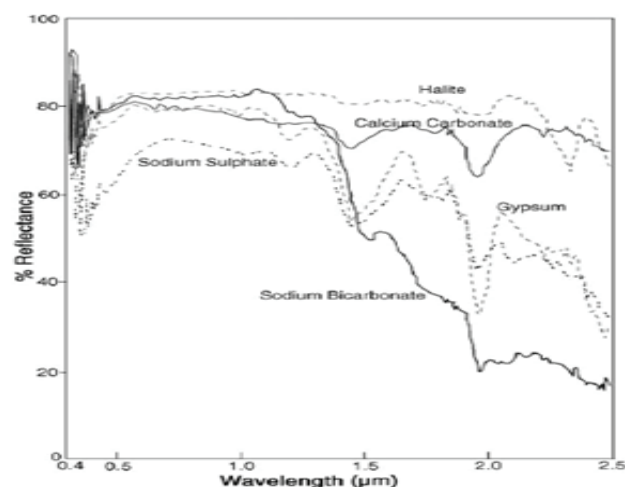
Classification number: 1.7



Hình 2. Độ mặn trung bình của nước sông Cửu Long (tại 11 trạm quan trắc).

Dữ liệu ảnh Landsat

Ảnh vệ tinh Landsat 8 (độ phân giải không gian 30 m) thu nhận vào các ngày: 22/02/2014, 10/3/2014, 26/3/2014, 27/4/2014 và 13/5/2014 (tại các thời điểm trùng với thời gian đo độ mặn của nước). Các ảnh Landsat 8 được tải miễn phí từ trang web của Hiệp hội Khảo sát địa chất Hoa Kỳ (United States Geological Survey - USGS) với định dạng GeoTIFF. Các giá trị của pixel mặt nước trên ảnh Landsat 8 được tách riêng để xác định sự tương quan với giá trị độ mặn tại vị trí tương ứng ngoài thực địa. Kết quả nghiên cứu đặc trưng phổ của ảnh Landsat 8 với các thành phần muối ứng với các dải bước sóng khác nhau [4, 5] cho thấy, các loại muối sodium sulfate, halite, gypsum, calcium carbonate, sodium bicarbonate đều phản xạ mạnh (hơn 80%) trong dải bước sóng từ 0,4 đến 1,4 μm (từ kênh khả kiến đến cận hồng ngoại) (hình 3). Đây là cơ sở khoa học để sử dụng các kênh khả kiến (kênh 2, 3, 4) và kênh cận hồng ngoại của ảnh Landsat để phát triển mô hình giám sát độ mặn trong nước.



Hình 3. Đường đặc trưng phản xạ phổ của muối tại các bước sóng khác nhau.

Xử lý dữ liệu

Ảnh Landsat được nắn chỉnh hình học bằng phương pháp Image to Map dựa vào bản đồ địa hình tỷ lệ 1/250.000 với các điểm đăng ký tọa độ trên ảnh và bản đồ được chọn phân bố tại các biên và vùng trung tâm của ảnh (chọn giao lộ của đường giao thông) sao cho độ chính xác nắn chỉnh hình học ảnh đạt nhỏ hơn 1 pixel.

Để chiết tách mặt nước trong khu vực nghiên cứu, chỉ số NDWI (Normalized Difference Water Index) được sử dụng và được tính theo công thức:

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)} \quad (1)$$

Trong đó, Green là giá trị độ sáng của kênh 3, NIR là giá trị độ sáng của kênh 5 đối với ảnh Landsat. Chỉ số NDWI

nhằm làm nổi bật khả năng phản xạ của nước trong bước sóng Green (0,525-0,600 μm) so với bước sóng hồng ngoại NIR (0,845-0,885 μm).

Khảo sát tương quan

Theo đặc trưng phản xạ phổ, độ mặn của nước có sự tương quan với các kênh từ khả kiến đến cận hồng ngoại (tương ứng với các kênh phổ 1, 2, 3, 4, 5 của ảnh Landsat). Kết quả khảo sát tương quan tuyến tính giữa ảnh Landsat cùng thời điểm thu nhận với 40 giá trị độ mặn đo thực tế tại 11 trạm quan trắc như trong bảng 1.

Bảng 1. Hệ số tương quan giữa độ phản xạ phổ với độ mặn.

	Hệ số tương quan (r)
Kênh 1 - Coastal Aerosol	0,67790
Kênh 2 - Blue	0,785104
Kênh 3 - Green	0,81233
Kênh 4 - Red	0,82786
Kênh 5 - Near Infrared (NIR)	-0,58903

Kết quả cho thấy có sự tương quan cao đối với các kênh khả kiến (kênh 2, 3 và 4). Tuy nhiên các kênh này thường có những thông tin trùng lặp, nên để chiết tách các thông tin chủ yếu dễ nhận biết độ mặn, phương pháp phân tích thành phần chính (PCA) được áp dụng (bảng 2).

Bảng 2. Phân tích thành phần chính từ kênh 1 đến kênh 5 của ảnh Landsat 8.

Thành phần chính	Lượng thông tin (%)	Thành phần chính	Lượng thông tin (%)
PC1	88,60	PC4	0,12
PC2	8,94	PC5	0,03
PC3	2,29		

Khảo sát sự tương quan giữa các thành phần chính (từ PC1 đến PC5) với giá trị độ mặn thực tế cho thấy: thành phần chính đầu tiên PC1 chứa phần lớn lượng thông tin (88,6%) cho bởi 5 kênh ảnh Landsat và có sự tương quan cao (0,86) với 40 giá trị độ mặn thực tế cho bởi 11 trạm quan trắc (bảng 3).

Bảng 3. Hệ số tương quan giữa giá trị pixel trên ảnh thành phần chính và độ mặn thực tế.

	Hệ số tương quan (r)
PC1	0,86
PC2	0,56
PC3	-0,50
PC4	-0,26
PC5	0,24

Chọn mô hình giám sát xâm nhập mặn từ ảnh Landsat

Để chọn mô hình phù hợp sử dụng ảnh vệ tinh trong giám sát xâm nhập mặn, bộ dữ liệu gồm 55 giá trị độ mặn quan trắc thực tế tại 11 trạm quan trắc và giá trị phản xạ phổ

của ảnh Landsat tương ứng với các kênh: 3 (Green), 4 (Red) và thành phần chính (PC1) được sử dụng. Trong đó, 30% dữ liệu (15 giá trị) được tách thành bộ dữ liệu kiểm tra nhằm đánh giá sự phù hợp của các mô hình thông qua việc tính toán giá trị sai số bình phương nhỏ nhất (Root Mean Square Error - RMSE). Mô hình phù hợp được lựa chọn là mô hình có hệ số xác định R^2 lớn nhất và RMSE nhỏ nhất. Kết quả khảo sát giá trị độ mặn (biến phụ thuộc) và giá trị pixel của các kênh ảnh và thành phần chính PC1 là các biến độc lập (Digital Number - DN) trên 8 mô hình thực nghiệm (phi tuyến và tuyến tính) cho thấy mô hình hồi quy phi tuyến được chọn có dạng:

$$\text{Độ mặn (g/l)} S = a.e^{b.(DN)} \quad (2)$$

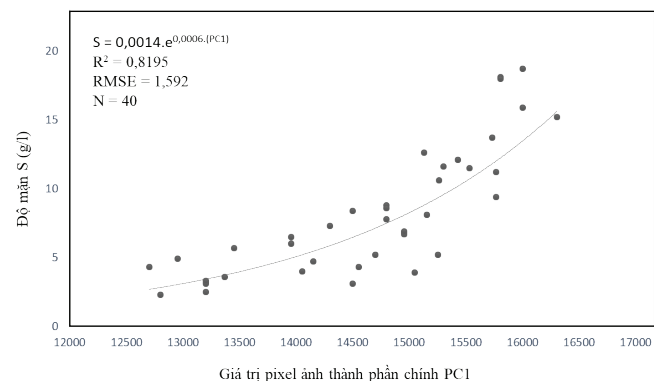
Trong đó, a và b là các tham số và DN là giá trị độ sáng của ảnh tương ứng. Kết quả hồi quy xác định các tham số cho kênh 3 (Green), kênh 4 (Red) và thành phần chính PC1 như trong bảng 4.

Bảng 4. Phương trình tương quan xác định độ mặn (S) với giá trị pixel tương ứng các kênh phổ 3 (G), 4 (R) và thành phần chính (PC1).

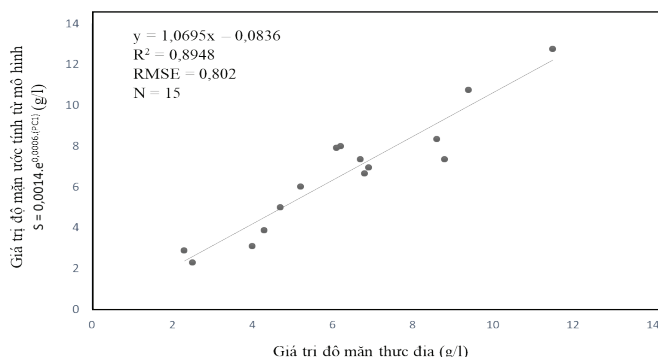
STT	Mô hình	Hệ số R^2	RMSE
1	$S = 0,0014.e^{0,0006.(PC1)}$	0,82	1,592
2	$S = 0,0001.e^{0,0011.(G)}$	0,78	2,029
3	$S = 0,0131.e^{0,0007.(R)}$	0,75	2,073

Kết quả cho thấy, ảnh thành phần chính PC1 có hệ số xác định R^2 lớn hơn các kênh ảnh khả kiến nên mô hình phù hợp nhất được chọn là sử dụng ảnh thành phần chính PC1 trong giám sát xâm nhập mặn với thuật toán phi tuyến dạng Exponential có hệ số xác định bởi: $S = 0,0014.e^{0,0006.(PC1)}$.

Hình 4 thể hiện biểu đồ tương quan giữa 40 giá trị độ mặn quan trắc thực tế và giá trị phản xạ phổ tương ứng của ảnh thành phần chính PC1 với sai số bình phương nhỏ nhất (RMSE=1,592) và hình 5 thể hiện kết quả đánh giá mô hình giám sát xâm nhập mặn trên 15 giá trị độ mặn quan trắc thực tế.



Hình 4. Tương quan giữa giá trị độ mặn và giá trị phản xạ từ ảnh Landsat.



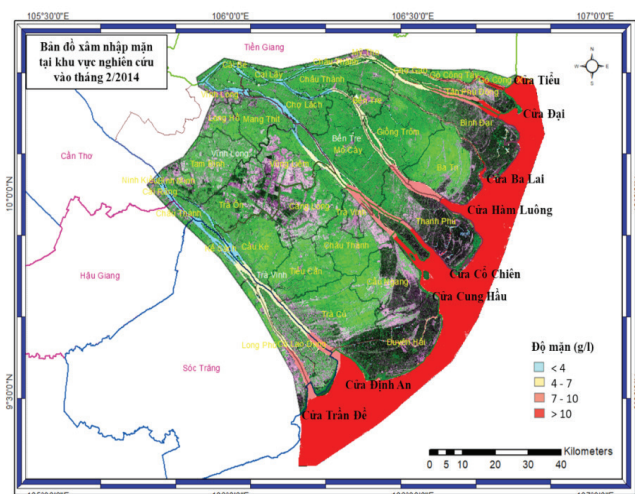
Hình 5. Đánh giá kết quả theo số liệu thực tế tại các trạm quan trắc.

Tạo bản đồ chuyên đề xâm nhập mặn từ ảnh Landsat

Bản đồ xâm nhập mặn được thành lập dựa trên mô hình đề xuất: độ mặn $S = 0,0014.e^{0,0006.(PC1)}$ cho các ảnh Landsat ở các thời điểm thu nhận khác nhau. Trong đó, các giá trị DN của pixel ảnh PC1 được chuyển thành giá trị độ mặn và được vector hóa bởi phần mềm GIS để thể hiện sự phân bố không gian của độ mặn trên các con sông chính và kênh rạch thuộc sông Cửu Long. Cấp độ mặn được phân thành bốn cấp dựa trên ngưỡng mặn ảnh hưởng đến sinh trưởng của cây trồng là 4 g/l, bao gồm: (1) Nhiễm mặn thấp (độ mặn <4 g/l); (2) Nhiễm mặn trung bình (4-7 g/l); (3) Nhiễm mặn cao (7-10 g/l); (4) Nhiễm mặn rất cao (độ mặn >10 g/l).

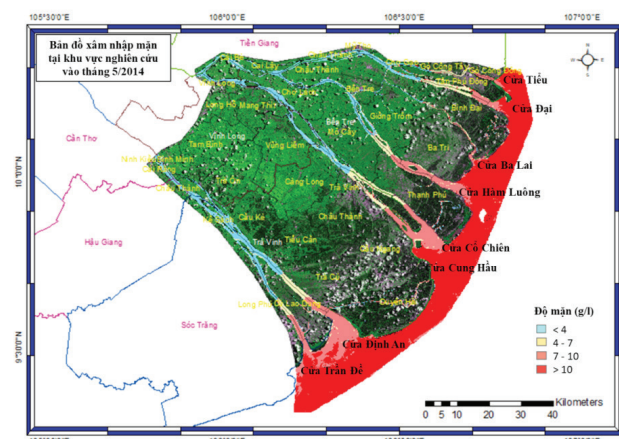
Kết quả và thảo luận

Hình 6 thể hiện bản đồ xâm nhập mặn vùng hạ lưu sông Cửu Long được thành lập từ ảnh Landsat 8 thu nhận ngày 22/02/2014. Kết quả cho thấy độ mặn 4 g/l từ các cửa sông Cửa Tiểu, Cửa Đại, Cửa Hàm Luông (tỉnh Bến Tre) xâm nhập sâu hơn 50 km vào nội đồng.



Hình 6. Bản đồ xâm nhập mặn thành lập từ ảnh Landsat (tháng 2/2014).

Xâm nhập mặn vào nội đồng theo các cửa sông lớn có xu hướng giảm vào tháng 5. Hình 7 thể hiện mức nhiễm mặn trung bình (4 g/l) chỉ còn xấp xỉ 30 km trên bản đồ xâm nhập mặn ngày 13/5/2014.



Hình 7. Phân bố độ mặn trên các nhánh chính (ngày 13/5/2014).

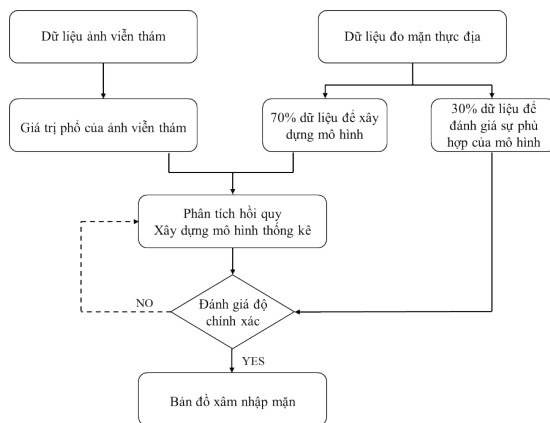
Từ cuối tháng 2 đến giữa tháng 5/2014, toàn bộ các tỉnh Bến Tre, Trà Vinh đã bị nước mặn xâm nhập. Riêng tại Bến Tre, chỉ có huyện Chợ Lách là bị nhiễm mặn thấp, còn các huyện ven biển như Bình Đại, Ba Tri, Thạnh Phú đều nằm trong ranh mặn có giá trị lớn từ 7 đến hơn 10 g/l.

Phân tích xu hướng xâm nhập mặn theo thời gian từ các cửa sông chính của sông Cửu Long vào nội đồng (bảng 5) cho thấy giải pháp ứng dụng ảnh vệ tinh Landsat thể hiện khá phù hợp (so với 15 giá trị kiểm tra thực tế) sự phân bố không gian và xâm nhập mặn theo thời gian.

Bảng 5. Phân tích xâm nhập mặn dọc sông tính từ các cửa sông của ĐBSCL.

Cửa sông	22/02/2014	13/5/2014
Cửa Tiểu	52 km	21 km
Cửa Đại	56 km	28 km
Cửa Ba Lai	47 km	25 km
Cửa Hàm Luông	50 km	32 km
Cửa Cổ Chiên	47 km	35 km
Cửa Cung Hầu	48 km	36 km
Cửa Định An	38 km	30 km
Cửa Trần Đề	43 km	19 km

Việc tạo công cụ GIS phân tích trực quan ở nhiều cấp độ mặn khác nhau có thể hỗ trợ hiệu quả cho công tác giám sát xâm nhập mặn trên toàn bộ mạng lưới sông và kênh rạch vùng ĐBSCL. Quy trình thực hiện sẽ tiết kiệm được thời gian và chi phí, cũng như tạo thông tin hữu ích cho hệ thống cảnh báo sớm (hình 8).



Hình 8. Quy trình thành lập bản đồ xâm nhập mặn từ ảnh vệ tinh.

Kết luận

Mật độ các trạm quan trắc dọc sông Cửu Long hiện nay chưa đủ để xác định cụ thể xâm nhập mặn theo không gian và thời gian (tác động đến từng xã và công trình ngăn mặn). Bài báo đề xuất giải pháp phối hợp dữ liệu quan trắc thực tế tại các trạm hiện nay với dữ liệu ảnh viễn thám Landsat đa thời gian, nhằm thành lập bản đồ và giám sát xâm nhập mặn hiệu quả cho vùng ĐBSCL. Kết quả đạt được có thể cung cấp thông tin trực quan cho các nhà khoa học kết hợp mô hình về thủy triều và lưu lượng nước từ thượng nguồn để tạo các hệ thống cảnh báo sớm. Ngoài ra, giải pháp đề xuất

nhằm hỗ trợ nhà quản lý đưa ra giải pháp ứng phó xâm nhập mặn phù hợp, phân vùng ảnh hưởng mặn trong các khu vực canh tác nông nghiệp ở nội đồng, lập kế hoạch mùa vụ nhằm hạn chế thiệt hại do xâm nhập mặn.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Chương trình quốc gia về KH&CN phục vụ phát triển bền vững vùng Tây Nam Bộ (Chương trình Tây Nam Bộ), thông qua Đề tài “Xây dựng hệ thống thông tin địa lý ĐBSCL” mã số KHCN-TNB.ĐT/14-19/C03. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cục Thông tin KH&CN Quốc gia (2016), *Xâm nhập mặn tại ĐBSCL: nguyên nhân, tác động và các giải pháp ứng phó*.
- [2] Mohammad Haji Gholizadeh, Assefa M. Melesse, Lakshmi Reddi (2016), “A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques”, *Sensors*, **16**(1298), pp.1-43.
- [3] S.K. McFeeters (1996), “The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features”, *International Journal of Remote Sensing*, **17**(7), pp.1425-1432.
- [4] A. Akhtar, Kh.H. Shahbaz, Nisar, A.H. Munir, A. Suad (2013), “Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach”, *Phys. Chem. Earth*, pp.1-10.
- [5] G.I. Metternicht, J.A. Zinck (2003), “Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints”, *Remote Sensing of Environment*, **85**, pp.1-20.