

DOI:10.22144/ctujos.2025.053

ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG MÔI TRƯỜNG SINH THÁI VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ VIỄN THÁM VÀ GIS

Trần Huỳnh Kim¹, Nguyễn Thị Hồng Điệp^{2*}, Nguyễn Trọng Nguyễn², Dương Cơ Hiếu³ và Huỳnh Thị Thu Hương²

¹Học viên Cao học ngành Quản lý đất đai Khóa 31, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

²Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

³Chi nhánh Văn phòng Đăng ký đất đai huyện Long Phú, tỉnh Sóc Trăng, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): nthdiep@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 04/01/2025

Sửa bài (Revised): 19/02/2025

Duyệt đăng (Accepted): 20/03/2025

Title: Assessment of ecological quality in the Mekong Delta using remote sensing and GIS technologies

Author(s): Tran Huynh Kim¹, Nguyen Thi Hong Diep^{2*}, Nguyen Trong Nguyen², Duong Co Hieu³ and Huynh Thi Thu Huong²

Affiliation(s): ¹Post-graduate student of Land Management Course 31, College of Environment and Natural Resources, Can Tho University, Viet Nam; ²College of Environment and Natural Resources, Can Tho University, Viet Nam; ³Land Registration Office in Long Phu District, Soc Trang Province, Viet Nam

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá chất lượng môi trường sinh thái vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) năm 2023 sử dụng ảnh vệ tinh MODIS. Phương pháp phân tích thành phần chính (PCA) được sử dụng để ước tính chỉ số sinh thái viễn thám (RSEI) với 04 thành phần gồm độ xanh (NDVI), độ ẩm (WET), độ khô (NDBSI) và nhiệt độ (LST). Kết quả đánh giá chất lượng môi trường sinh thái vùng ĐBSCL năm 2023 được chia thành 5 cấp độ gồm kém, khá kém, trung bình, tốt và rất tốt. Trong đó, hơn 95% diện tích vùng ĐBSCL đạt chất lượng sinh thái từ mức trung bình đến tốt. Mối quan hệ giữa chỉ số sinh thái viễn thám và hiện trạng sử dụng đất cho thấy hiện trạng rừng có chất lượng sinh thái tốt nhất, lần lượt tiếp theo là lúa 03 vụ, cây lâu năm, lúa 02 vụ, cây hàng năm, lúa tôm và công trình xây dựng. Kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở khoa học quan trọng hỗ trợ quản lý, xây dựng kế hoạch sử dụng đất bền vững và bảo vệ môi trường sinh thái khu vực ĐBSCL.

Từ khóa: Đồng bằng sông Cửu Long, MODIS, PCA, RSEI

ABSTRACT

The study employed MODIS satellite imagery to evaluate the ecological quality in the Mekong Delta in 2023. The PCA method was applied to calculate the Remote Sensing Ecological Index (RSEI) based on four parameters, including greenness (NDVI), wetness (WET), dryness (NDBSI), and heat (LST). The ecological quality in the Mekong Delta in 2023 was divided into five levels consist of poor, fair, moderate, good and excellent. More than 95% of the study area identified ecological quality ranging from moderate to good levels. The relationship between the ecological index and land-use types showed that forests exhibited the highest ecological quality next to triple-rice crops, perennial trees, double-rice crops, annual crops, rice shrimp and built-up areas. The findings provide a scientific foundation for developing sustainable land-use planning.

Keywords: Mekong Delta, MODIS imagery, PCA, RSEI

1. GIỚI THIỆU

Môi trường sinh thái là yếu tố then chốt cho sự sống và phát triển kinh tế xã hội. Tuy nhiên, chất lượng sinh thái đang chịu tác động tiêu cực từ tình trạng gia tăng dân số và tốc độ đô thị hóa nhanh chóng dẫn đến các vấn đề như xói mòn đất, suy thoái môi trường sống và giảm đa dạng sinh học (Aronson et al., 2017). Khu vực Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là điểm cuối cùng của lưu vực sông Mekong, với diện tích tự nhiên khoảng 40.604,7 km², chiếm hơn 4% diện tích toàn bộ lưu vực sông Mekong. ĐBSCL là vùng đất ngập nước lớn nhất ở Việt Nam với hơn 280.000 ha đất rừng bao gồm cả rừng ngập mặn ven biển và rừng tràm nội địa (Le & Truong, 2014; Nguyen et al., 2020). Sự đa dạng sinh học ở khu vực này rất phong phú về số lượng loài động thực vật. ĐBSCL cũng là vùng kinh tế trọng điểm ở miền Nam gồm 13 tỉnh, thành phố với dân số gần 17,3 triệu người (Vietnam National Mekong Committee, 2020). Tuy nhiên, áp lực từ vấn đề gia tăng dân số, tốc độ đô thị hóa cũng như tác động canh tác của người dân dẫn đến sự suy thoái môi trường, đòi hỏi sự quy hoạch và quản lý để bảo tồn và phát triển bền vững (Ministry of Construction of Vietnam, 2023).

Những tiến bộ gần đây trong công nghệ viễn thám đã cung cấp một lượng lớn dữ liệu bề mặt đất, giúp giám sát các hệ sinh thái và đánh giá các điều kiện sinh thái ở nhiều quy mô khác nhau (Willis, 2015). Ảnh viễn thám ghi nhận bức xạ phản xạ từ bề mặt Trái đất, từ đó nhận diện trạng thái sinh thái và phát hiện các thành phần khác nhau của hệ sinh thái như đất, thảm thực vật và các vùng nước (Reza & Abdullah, 2011). Nhiều nghiên cứu đã ứng dụng công nghệ viễn thám để đánh giá chất lượng môi trường sinh thái. Ví dụ, Jianbo and Wanqing (2022) sử dụng nền tảng Google Earth Engine (GEE) và ảnh Landsat để tính toán chỉ số sinh thái viễn thám (RSEI), phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường sinh thái và mối quan hệ giữa môi trường sinh thái với những thay đổi trong sử dụng đất. Tương tự, Zhang et al. (2021) đã đánh giá chất lượng môi trường sinh thái đô thị bằng chỉ số RSEI, mô tả sự thay đổi không gian và thời gian của chất lượng môi trường sinh thái tại các khu vực đô thị. Bên cạnh đó, Musse et al. (2018) đã kết hợp dữ liệu viễn thám và dữ liệu điều tra dân số, đề xuất phương pháp định lượng đánh giá chỉ số chất lượng môi trường đô thị. Những nghiên cứu này đều khẳng định vai trò quan trọng của công nghệ viễn thám trong việc đánh giá và theo dõi chất lượng môi trường sinh thái.

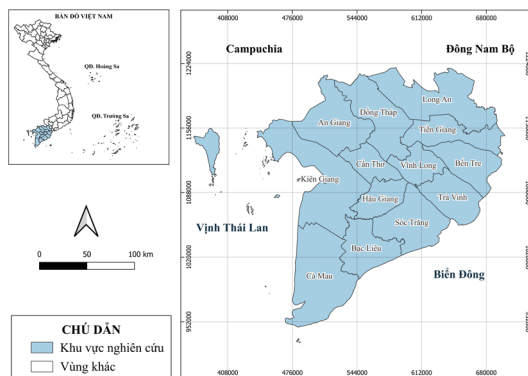
Xuất phát từ những thực tế trên, nghiên cứu sử dụng dữ liệu ảnh viễn thám MODIS kết hợp phương pháp phân tích thành phần chính nhằm tính toán RSEI với 04 hợp phần gồm độ xanh, độ ẩm, độ khô và nhiệt độ, qua đó theo dõi và đánh giá chất lượng sinh thái vùng ĐBSCL năm 2023.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khu vực nghiên cứu

ĐBSCL là một trong những đồng bằng lớn, phì nhiêu nhất Đông Nam Á. Bên cạnh lúa, thủy sản thì cây ăn trái cũng là một trong những thế mạnh của vùng nhờ nguồn nước và điều kiện tự nhiên thuận lợi. ĐBSCL đóng vai trò quan trọng đối với Nam Bộ và cả nước trong việc phát triển kinh tế, thu hút đầu tư và giao thương với các quốc gia trong khu vực cũng như trên toàn cầu (Ministry of Industry and Trade of the Socialist Republic Vietnam, 2024).

Vùng ĐBSCL thuộc vùng cực Nam của Việt Nam, bao gồm 13 tỉnh thành với tổng diện tích tự nhiên khoảng 40.604,7 km², đường biên giới với Campuchia khoảng 330 km, đường bờ biển dài trên 700 km và khoảng 360.000 km² vùng biển thuộc chủ quyền (Hình 1). ĐBSCL là một trong sáu vùng kinh tế xã hội của Việt Nam, có vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế xã hội của đất nước. Vùng có tiềm năng đặc trưng về đất đai, cảnh quan, văn hóa và môi trường sinh thái, là cơ sở quan trọng tạo nên các động lực phát triển bền vững của vùng (Ministry of Construction of Vietnam, 2016).



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

Trong nghiên cứu, 03 tập dữ liệu vệ tinh MODIS được sử dụng bao gồm: (1) MOD09A1 (ID "MODIS/061 /MOD09A1") với độ phân giải 500 m và chu kỳ 8 ngày, (2) MOD13Q1 (ID "MODIS/061/MOD13 Q1") với độ phân giải 250 m và chu kỳ 16 ngày và (3) MOD11A2 (ID "MODIS/061/MOD11A2") với độ phân giải 1.000

m và chu kỳ 16 ngày. Các tập dữ liệu này được thu thập từ 1/1/2023 đến 31/12/2023 trên nền tảng Google Earth Engine (GEE) tại địa chỉ <https://code.earthengine.google.com>.

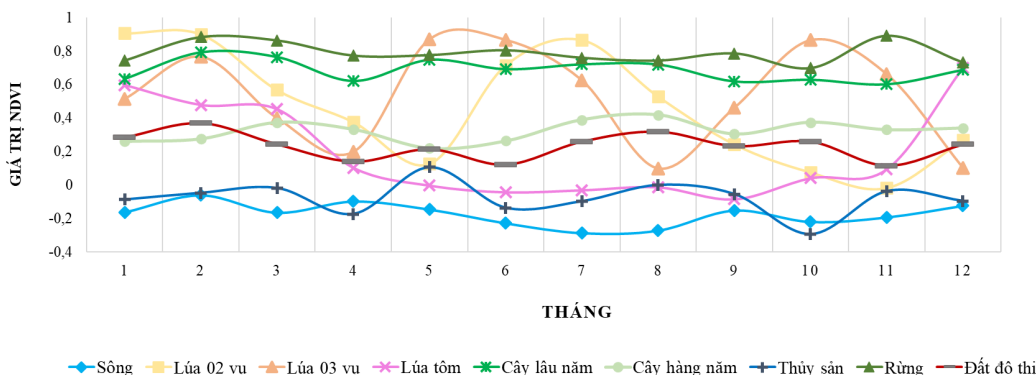
2.3. Tiềm xử lý ảnh

Các tập dữ liệu ảnh được giới hạn khu vực nghiên cứu trên nền tảng GEE nhằm loại bỏ các khu vực ngoài phạm vi ĐBSCL. Kế đến, các tập dữ liệu được tính toán giá trị trung bình (mean) trong năm nhằm hạn chế ảnh hưởng từ tình trạng mây che phủ và sự khác biệt tăng trưởng đối với nhiều thảm thực vật khác nhau.

2.4. Xây dựng bản đồ hiện trạng sử dụng đất

Trong nghiên cứu này, phương pháp phân loại không kiểm định Kmeans được áp dụng trên dữ liệu NDVI đa thời gian với số nhóm phân loại là 50 và số lần lặp là 20 trên nền tảng GEE. Các lớp phân loại sau đó được gán hiện trạng dựa trên sự thay đổi giá

trị NDVI đặc trưng trong năm trên mỗi loại hiện trạng (Phung et al., 2015; Nguyen et al., 2019). Kết quả được thể hiện ở Hình 2 cho thấy mỗi loại lớp phủ mặt đất có đường cong phổ biểu diễn giá trị NDVI khác nhau, phản ánh rõ đặc điểm mùa vụ và quá trình sinh trưởng của từng loại cây trồng. Điều này được thể hiện rõ nhất ở các hiện trạng canh tác lúa, bao gồm lúa hai vụ và lúa ba vụ. Cụ thể, lúa hai vụ có hai đỉnh cực đại trong năm, với giá trị NDVI dao động từ -0,019 đến 0,906, tương ứng với thời gian canh tác vụ 1 (từ tháng 1 đến tháng 4) và vụ 2 (từ tháng 5 đến tháng 8). Trong khi đó, lúa ba vụ có giá trị NDVI trong khoảng 0,1 – 0,87, với ba đỉnh cực đại xuất hiện vào tháng 2, 6 và 10, phản ánh ba giai đoạn sinh trưởng chính, tương ứng với vụ 1 (từ tháng 1 đến tháng 4), vụ 2 (từ tháng 5 đến tháng 8) và vụ 3 (từ tháng 9 đến tháng 12). Các điểm cực tiểu trên đường cong NDVI thể hiện thời điểm thu hoạch và chuẩn bị đất cho vụ tiếp theo.



Hình 2. Biểu đồ giá trị NDVI theo thời gian trên hiện trạng sử dụng đất

Trong nghiên cứu, nhằm đánh giá độ tin cậy kết quả phân loại, các điểm khảo sát thu thập trên Google Earth được sử dụng để tính toán độ tin cậy theo hai tham số (1) độ chính xác toàn cục (T) và (2) hệ số Kappa (K). Độ chính xác toàn cục được tính theo công thức (1) và hệ số Kappa được tính theo công thức (2) (Le, 2005).

Độ chính xác toàn cục (T) = Tổng số điểm phân loại đúng/Tổng số điểm (1)

$$K = \frac{T-E}{1-E} \quad (2)$$

Trong đó: T là độ chính xác toàn cục, E là đại lượng thể hiện sự mong muốn (kỳ vọng).

Cuối cùng, độ tin cậy phân loại ảnh dựa vào chỉ số Kappa được đánh giá theo thang của Congalton and Green (1999), chia thành 06 cấp độ từ độ tin cậy kém đến độ tin cậy tuyệt đối được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thang đánh giá độ tin cậy

Độ tin cậy	Giá trị Kappa
Kém	$K < 0,2$
Trung bình - kém	$0,2 < K < 0,4$
Trung bình	$0,4 < K < 0,6$
Tốt	$0,6 < K < 0,8$
Rất tốt	$0,8 < K < 1,0$
Tuyệt đối	$K = 1,0$

2.5. Chỉ số sinh thái viễn thám (RSEI)

Quá trình tính toán RSEI gồm ba bước: tính toán các chỉ số thành phần (NDVI, WET, LST, NDBSI), chuẩn hóa chỉ số, phân tích thành phần chính và phân cấp chất lượng sinh thái.

2.5.1. Tính toán chỉ số thành phần

Chỉ số sinh thái viễn thám (RSEI) được tính toán dựa trên 4 thành phần gồm độ xanh, độ ẩm, độ khô và nhiệt độ (Xu et al., 2013). Mỗi thành phần được

định lượng thông qua các chỉ số từ ảnh viễn thám gồm chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (NDVI), chỉ số độ ẩm (WET), chỉ số bề mặt không thấm khác biệt chuẩn hóa (NDBSI) và nhiệt độ bề mặt đất (LST). Trước khi tính toán chỉ số, các vùng nước được loại bỏ bằng cách sử dụng chỉ số nước khác biệt chuẩn hóa tăng cường (MNDWI) (Xu, 2006) nhằm loại bỏ ảnh hưởng của các vùng nước đến quá trình chuẩn hóa và phân tích thành phần chính (PCA) (Nguyen et al., 2024a).

Kết quả được trình ở Bảng 2 cho thấy các chỉ số viễn thám được sử dụng trong nghiên cứu. Nền tảng GEE cung cấp hàm normalizedDifference() tính toán nhanh các chỉ số khác biệt chuẩn hóa gồm chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (NDVI), chỉ số nước khác biệt chuẩn hóa tăng cường (MNDWI), chỉ số bề mặt không thấm khác biệt chuẩn hóa (NDBSI). Đối với các chỉ số phức tạp hơn, như chỉ số độ ẩm (WET), chỉ số đất (SI) và chỉ số xây dựng (IBI) cần sử dụng hàm expression() để mô tả và tính toán các công thức tương ứng.

2.5.2. Chuẩn hóa chỉ số

Giá trị của mỗi chỉ số trong nghiên cứu dao động trong các khoảng giá trị khác nhau. Do đó, nhằm đảm bảo tính đồng nhất giữa các chỉ số, các giá trị này được chuẩn hóa về một khoảng giá trị chung [0,1] theo phương trình (3):

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - Min_i}{Max_i - Min_i} \tag{3}$$

Trong đó: X_{ij} là giá trị ban đầu của pixel j trong chỉ số i , Y_{ij} là giá trị chuẩn hóa của pixel j trong chỉ số i , Max_i và Min_i lần lượt là giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của chỉ số i .

2.5.3. Phân tích thành phần chính và phân cấp chất lượng sinh thái

Chỉ số RSEI được tính toán bằng cách sử dụng phương pháp phân tích thành phần chính (PCA) trên 04 chỉ số thành phần NDVI, WET, NDBSI và LST. PCA được sử dụng nhằm gán trọng số cho từng chỉ số dựa trên sự đóng góp của từng chỉ số vào các thành phần chính và tính toán RSEI dựa trên thông tin từ thành phần đầu tiên của PCA (PC1). Sau đó, RSEI được chuẩn hóa giá trị dao động trong khoảng [0 - 1] và phân thành 5 mức độ chất lượng môi trường sinh thái từ kém đến rất tốt (Xu, 2013) (Bảng 3). Giá trị chuẩn hóa càng gần 1 thể hiện chất lượng môi trường sinh thái càng tốt, trong khi giá trị thấp cho thấy chất lượng môi trường sinh thái kém. Chỉ số sinh thái viễn thám (RSEI) được biểu thị bằng phương trình (4) (Xu, 2013).

$$RSEI = PC1[f(NDVI, LST, WET, NDBSI)] \tag{4}$$

Bảng 2. Các chỉ số viễn thám sử dụng trong nghiên cứu

Tên chỉ số	Công thức	Nguồn
Chỉ số nước khác biệt chuẩn hóa tăng cường (MNDWI)	$MNDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{swir1}}{\rho_{green} + \rho_{swir1}}$	Xu (2006)
Chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (NDVI)	$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$	Tucker (1979)
Chỉ số độ ẩm (WET)	$WET = 0,1147 * \rho_{red} + 0,2489 * \rho_{nir1} + 0,2408 * \rho_{blue} + 0,3132 * \rho_{green} - 0,3122 * \rho_{nir2} - 0,6416 * \rho_{swir1} - 0,5087 * \rho_{swir2}$	Zhang et al. (2023)
Chỉ số đất (SI)	$SI = \frac{(\rho_{red} + \rho_{swir1}) - (\rho_{blue} + \rho_{nir})}{(\rho_{red} + \rho_{swir1}) + (\rho_{blue} + \rho_{nir})}$	Xu (2008)
Chỉ số xây dựng (IBI)	$IBI = \frac{\frac{2\rho_{swir1}}{\rho_{swir1} + \rho_{nir}} - [\frac{\rho_{nir}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} - \frac{\rho_{green}}{\rho_{green} + \rho_{swir1}}]}{\frac{2\rho_{swir1}}{\rho_{swir1} + \rho_{nir}} + [\frac{\rho_{nir}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} + \frac{\rho_{green}}{\rho_{green} + \rho_{swir1}}]}$	Xu (2008)
Chỉ số bề mặt không thấm khác biệt chuẩn hóa (NDBSI)	$NDBSI = \frac{SI + IBI}{2}$	Xu (2008)
Nhiệt độ bề mặt đất (LST)	LST được trích xuất từ dữ liệu sản phẩm LST MOD11A2	Liu et al. (2023)

Bảng 3. Bảng phân cấp chất lượng môi trường sinh thái

STT	Mức đánh giá	Chỉ số RSEI	Mô tả
1	I	$0 \leq RSEI < 0,2$	Chất lượng môi trường sinh thái kém
2	II	$0,2 \leq RSEI < 0,4$	Chất lượng môi trường sinh thái khá kém
3	III	$0,4 \leq RSEI < 0,6$	Chất lượng môi trường sinh thái trung bình
4	IV	$0,6 \leq RSEI < 0,8$	Chất lượng môi trường sinh thái tốt
5	V	$0,8 \leq RSEI \leq 1$	Chất lượng môi trường sinh thái rất tốt

Nguồn: Xu (2013)

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

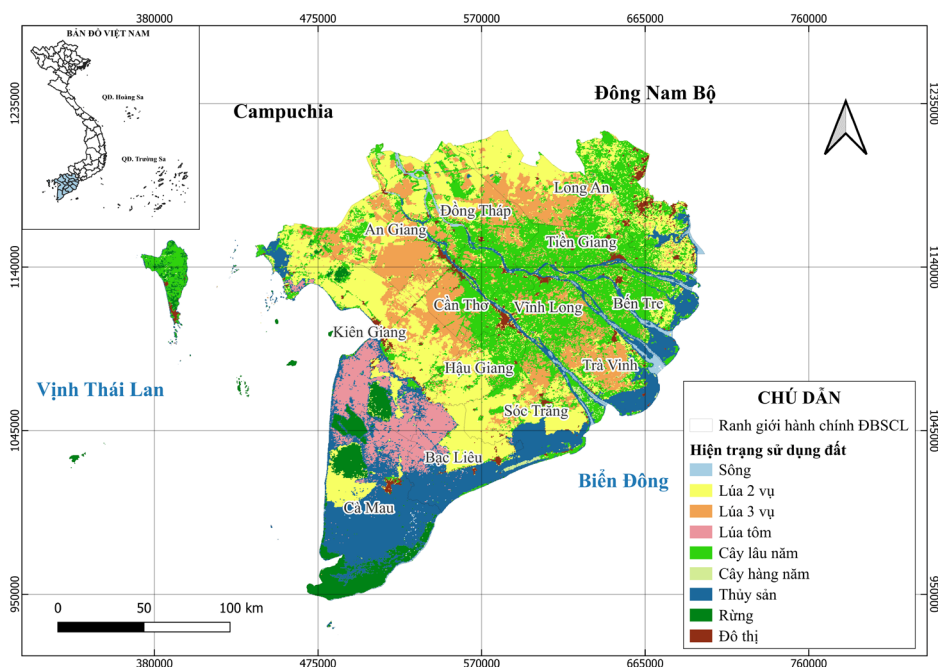
3.1. Hiện trạng sử dụng đất ĐBSCL năm 2023

Trong nghiên cứu, 09 hiện trạng sử dụng đất tại vùng ĐBSCL được phân loại bao gồm: sông, lúa 02 vụ, lúa 03 vụ, cây lâu năm, cây hàng năm, thủy sản, rừng và đô thị (Hình 3) với độ tin cậy được thể hiện ở mức rất tốt trong đó độ chính xác toàn cục đạt (T) 89,48% và chỉ số Kappa (K) đạt 0,87.

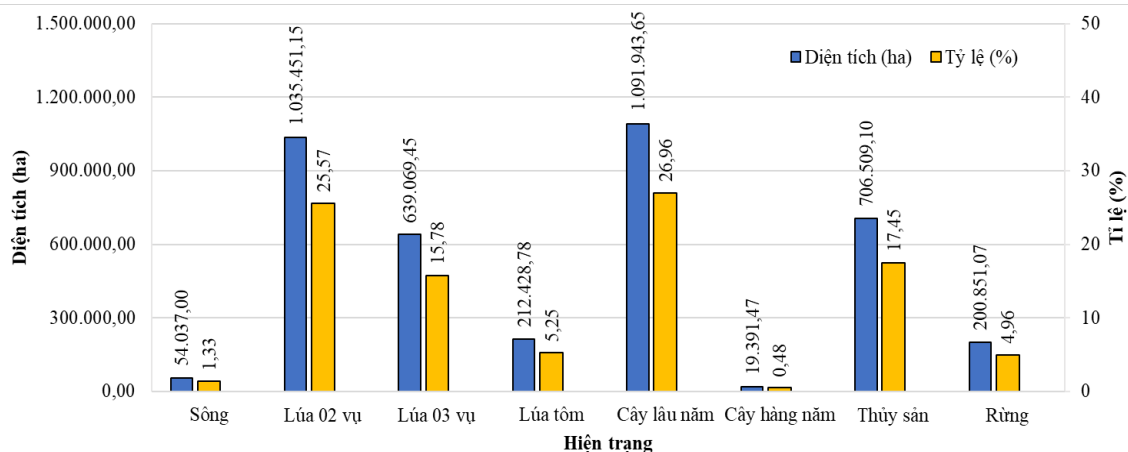
Hiện trạng cây lâu năm có diện tích và tỉ trọng lớn nhất so với các hiện trạng còn lại với diện tích phân bố lên đến 1.091.943,6 ha (chiếm 27,0% tổng diện tích đất tự nhiên) tập trung chủ yếu tại các tỉnh trồng nhiều cây ăn trái gồm Vĩnh Long, Thành phố (TP). Cần Thơ, Bến Tre và Tiền Giang. Kế đến, hiện trạng lúa 02 vụ và lúa 03 vụ với diện tích lần lượt là 1.035.451,2 ha (chiếm 25,6%) và 639.069,5 ha (chiếm 15,8%). Trong đó, lúa 02 vụ được phân bố tập trung chủ yếu ở các khu vực không thể canh tác

03 vụ lúa trong năm do bị ảnh hưởng bởi lũ từ thượng nguồn vào mùa mưa như An Giang, Đồng Tháp, Long An, Kiên Giang và xâm nhập mặn ở hạ nguồn vào mùa khô như Tiền Giang, Bến Tre, Trà Vinh, Sóc Trăng, Bạc Liêu (Tran & Vo, 2014; Nguyen et al., 2024b).

Nuôi trồng thủy sản cũng là thế mạnh trong sản xuất nông nghiệp của vùng ĐBSCL với diện tích 706.509,1 ha (chiếm tỉ lệ 17,4 %), được phân bố tại 05 vùng ven biển các tỉnh Bến Tre, Trà Vinh, Sóc Trăng, Bạc Liêu và Cà Mau. Các hiện trạng còn lại đều chiếm tỉ lệ dưới 6% bao gồm sông ngòi, lúa tôm, cây hàng năm, rừng và đất đô thị. Trong đó, lúa tôm (5,2%) tập trung chủ yếu tại Kiên Giang, Cà Mau và Bạc Liêu. Đô thị (2,2%) phân bố ở trung tâm các quận, huyện và thành phố của các tỉnh. Rừng (5%) chủ yếu tập trung ở các tỉnh ven biển như Cà Mau và Kiên Giang và vùng núi tỉnh An Giang. Cây hàng năm với diện tích nhỏ (0,5%), được phân bố tại Bạc Liêu, Sóc Trăng và Trà Vinh (Hình 4).



Hình 3. Bản đồ hiện trạng sử dụng đất ĐBSCL năm 2023



Hình 4. Biểu đồ thống kê diện tích hiện trạng sử dụng đất vùng ĐBSCL năm 2023

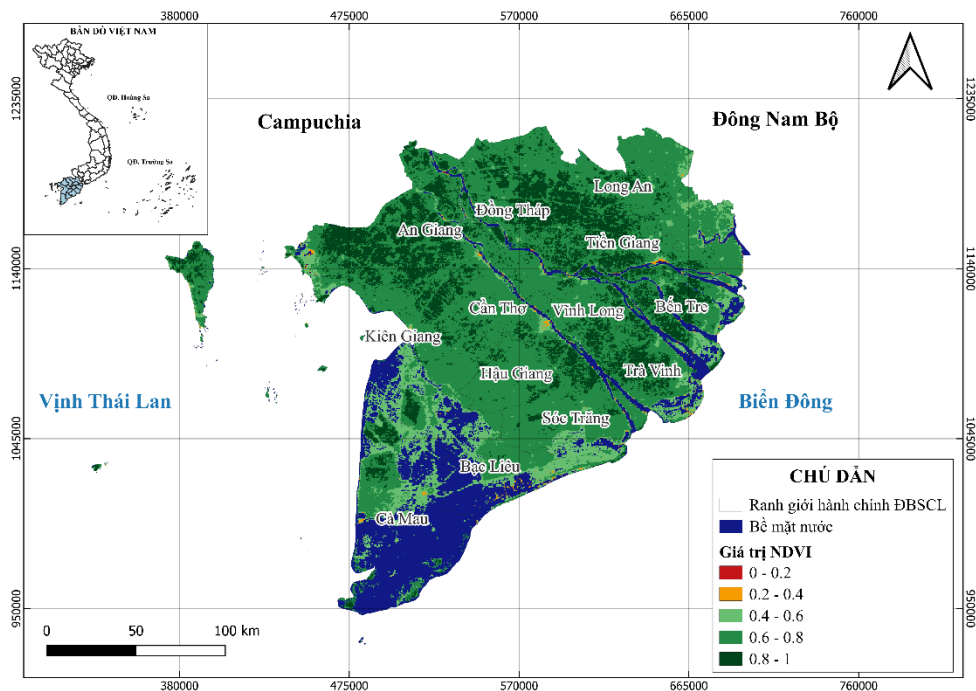
3.2. Phân tích chỉ số thành phần RSEI

3.2.1. Sự thay đổi của các chỉ số thành phần theo không gian

(1) Chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (NDVI)

Chỉ số NDVI được sử dụng để xác định sự phân bố độ xanh, đánh giá mật độ thực vật và phát hiện

những thay đổi của thực vật trong khu vực. Các khu vực có giá trị NDVI cao tương ứng với sự hiện diện của thực vật phân bố dày đặc, trong khi các khu vực với giá trị NDVI thấp là các khu vực đất công trình xây dựng hoặc các khu vực có thực vật thưa thớt (Huang et al., 2020) (Hình 5).



Hình 5. Bản đồ chỉ số NDVI phân bố tại khu vực nghiên cứu

Nhìn chung, vùng ĐBSCL phần lớn diện tích có mức độ phủ thực vật từ trung bình đến cao. Trong đó, giá trị NDVI trong khoảng 0,8 - 1 được ghi nhận tại các khu vực có lớp phủ thực vật dày đặc bao gồm

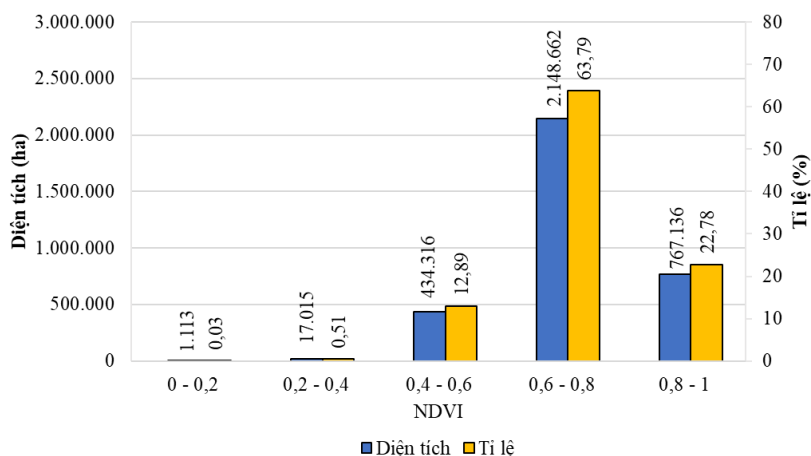
cây lâu năm và rừng ngập mặn với tổng diện tích 767.136 ha (chiếm 22,78% tổng diện tích) phân bố chủ yếu ở 06 tỉnh Bến Tre, Trà Vinh, Vĩnh Long, An Giang, Long An và Kiên Giang. Giá trị NDVI trong

khoảng 0,6 – 0,8 có diện tích lớn nhất với 2.148.662 ha (chiếm 63,79% tổng diện tích), chủ yếu phân bố ở khu vực canh tác lúa 3 vụ gồm các tỉnh Long An, An Giang, Đồng Tháp, Vĩnh Long, Cần Thơ, Sóc Trăng và Kiên Giang. Tiếp theo, giá trị NDVI từ 0,40 đến 0,60 có diện tích 434.316 ha (12,89%), tập trung tại các vùng trồng lúa 2 vụ như Bạc Liêu, Sóc Trăng, Hậu Giang, Kiên Giang, Cà Mau và Long An. Các giá trị NDVI còn lại dưới 5%, trong đó khoảng NDVI từ 0,2 đến 0,4 chiếm 17.015 ha (0,51%), chủ yếu phân bố ở các vùng xung quanh các khu vực đô thị các tỉnh, thành phố. Riêng khoảng giá trị từ 0 đến 0,2 chỉ chiếm 1.113 ha (0,03%), tập

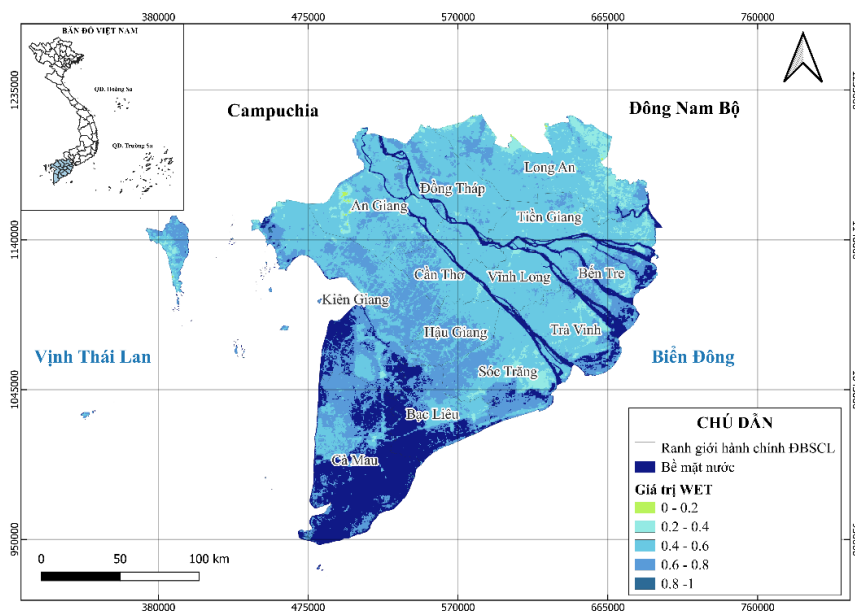
trung tại các trung tâm đô thị có mật độ xây dựng cao như Kiên Giang và TP. Cần Thơ.

(2) Chỉ số độ ẩm (WET)

Giá trị độ ẩm (WET) là một chỉ số quan trọng trong phân tích địa lý và sinh thái, dùng để đo lường mức độ ẩm của bề mặt trong khu vực nghiên cứu. Các vùng có độ ẩm càng cao thì chất lượng môi trường sinh thái càng tốt và ngược lại (Sun et al., 2020). Kết quả được trình bày ở Hình 7 thể hiện phân bố giá trị độ ẩm tại ĐBSCL.



Hình 6. Biểu đồ thể hiện diện tích và tỷ lệ phần trăm các khoảng giá trị chỉ số NDVI



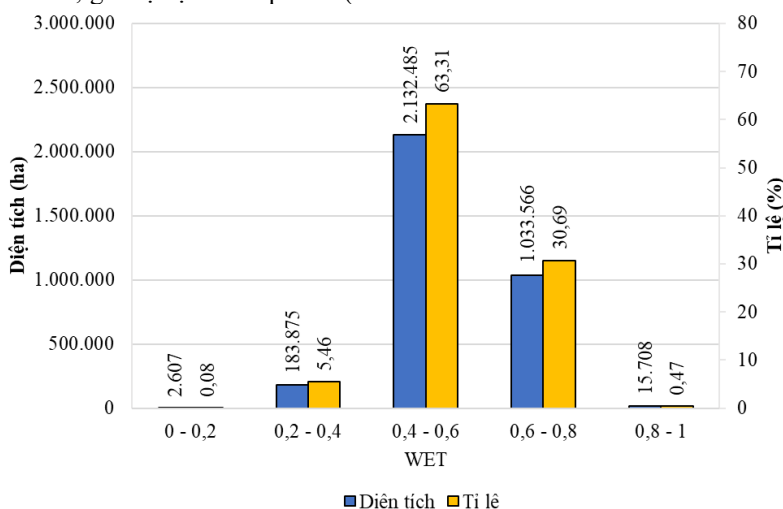
Hình 7. Bản đồ chỉ số WET phân bố tại khu vực nghiên cứu

Khoảng giá trị WET từ 0,8 đến 1 phân bố tại khu vực ven biển của tỉnh Kiên Giang với diện tích 15.708 ha (0,47% tổng diện tích). Khu vực có giá trị độ ẩm dao động từ 0,6 đến 0,8 chiếm diện tích đứng thứ hai với 1.033.566 ha (30,69%), phân bố tại các khu vực trồng lúa tôm, rừng và một phần diện tích cây lâu năm tại các tỉnh Kiên Giang, Cà Mau, Hậu Giang và Bạc Liêu. Giá trị độ ẩm trong khoảng 0,4 – 0,6 chiếm diện tích lớn nhất với 2.132.485 ha (63,31%) tập trung tại các vùng cây lâu năm và lúa 03 vụ như Tiền Giang, Long An, Trà Vinh, Đồng Tháp và Sóc Trăng (Hình 8). Giá trị WET từ 0,2 đến 0,4 có diện tích 183.875 ha (5,46%) thường xuất hiện ở các khu vực ven đô hoặc ngoại ô của các trung tâm thành phố và khu vực vùng núi của tỉnh An Giang. Trong khi đó, giá trị độ ẩm thấp nhất (0

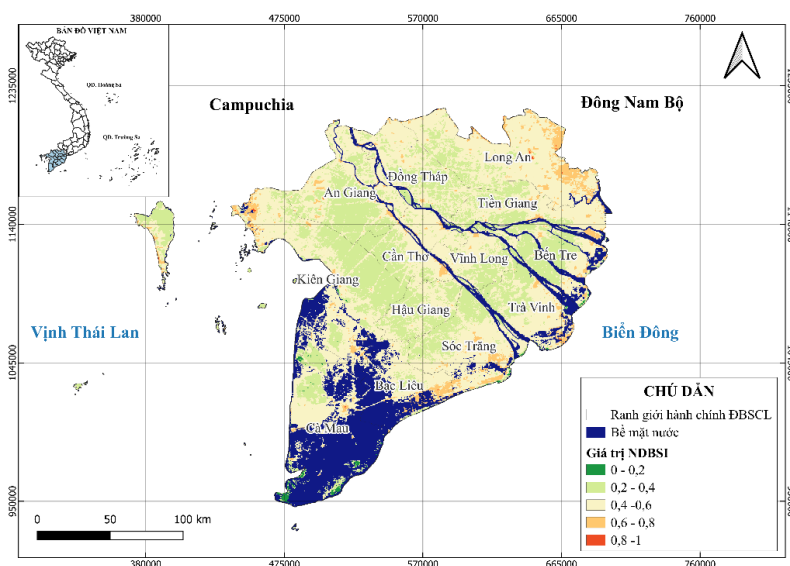
– 0,2) tập trung tại các khu vực khô cằn như trung tâm đô thị và các khu công nghiệp. Nhìn chung, các giá trị độ ẩm cao chủ yếu phân bố ở những khu vực canh tác đất nông nghiệp như vùng lúa - tôm, lúa 2 vụ và lúa 3 vụ. Ngược lại, các giá trị độ ẩm thấp nhất thường xuất hiện tại những khu vực có mật độ xây dựng cao.

(3) Chỉ số bề mặt không thấm khác biệt chuẩn hóa (NDBSI)

Chỉ số bề mặt không thấm khác biệt chuẩn hóa (NDBSI) thường được sử dụng để chỉ thị mức độ phân bố bề mặt không thấm và độ khô của đất trống trong khu vực (Pan et al., 2022). Kết quả ở Hình 9 thể hiện phân bố giá trị độ khô tại vùng ĐBSCL.



Hình 8. Biểu đồ thể hiện diện tích và tỷ lệ phần trăm các khoảng giá trị chỉ số WET



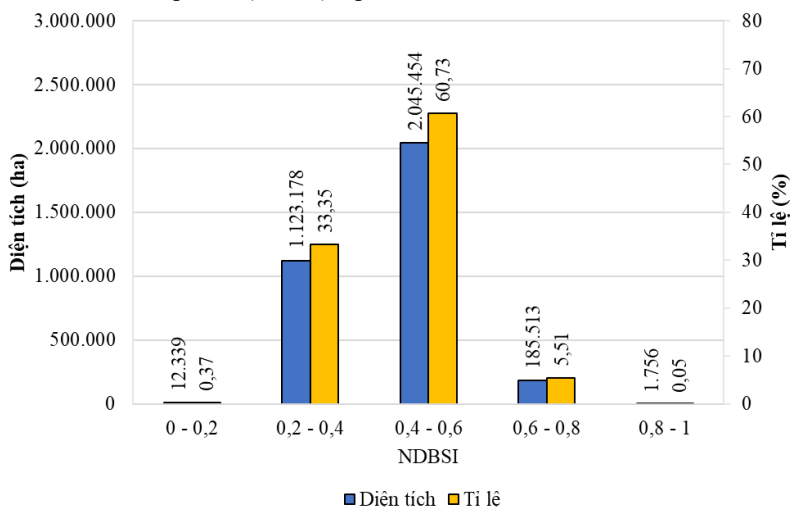
Hình 9. Bản đồ chỉ số NDBSI phân bố tại khu vực nghiên cứu

Khoảng giá trị khô hạn cao với giá trị dao động từ 0,8 đến 1 chiếm diện tích 1.756 ha (tương ứng 0,05% tổng diện tích). Khu vực này tập trung chủ yếu ở trung tâm các thành phố có mật độ dân cư cao và tốc độ đô thị hóa nhanh như TP. Cần Thơ, TP. Tân An (Long An) và các thành phố thuộc tỉnh Kiên Giang. Trong khi đó, các giá trị độ khô dao động từ 0,6 đến 0,8 phân bố tại các khu vực ngoại ô đô thị. Các giá trị NDBSI dao động từ 0,4 đến 0,6 chiếm diện tích lớn nhất với 2.045.454 ha (60,73%) tập trung chủ yếu các khu vực trồng lúa 2 vụ, lúa tằm và cây lâu năm phân bố tại các tỉnh Kiên Giang, Cà Mau, Bạc Liêu, Sóc Trăng, Vĩnh Long và Long An. Các khu vực có giá trị NDBSI thấp nhất (0 - 0,2) tập

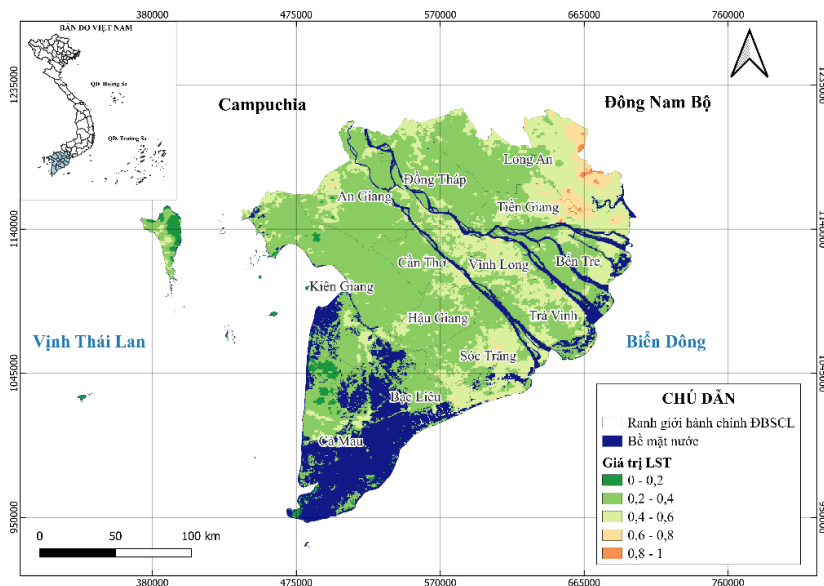
trung chủ yếu ở vùng rừng tại các tỉnh ven biển như Cà Mau, Sóc Trăng, Trà Vinh và Bến Tre. Kể đến, giá trị độ khô từ 0,2 đến 0,4 được ghi nhận tại các khu vực trồng cây lâu năm và lúa 3 vụ với tổng diện tích 1.123.178 ha (chiếm 33,35%) được phân bố ở các tỉnh An Giang, Kiên Giang, Bến Tre, Trà Vinh, Cà Mau và TP. Cần Thơ (Hình 10).

(4) Nhiệt độ bề mặt đất (LST)

Nhiệt độ bề mặt đất (LST) là một yếu tố quan trọng phản ánh chất lượng môi trường sinh thái và tình trạng phân bố nhiệt trong khu vực (Ma et al., 2023). Kết quả ở Hình 11 minh họa mức độ phân bố nhiệt độ bề mặt tại vùng ĐBSCL.



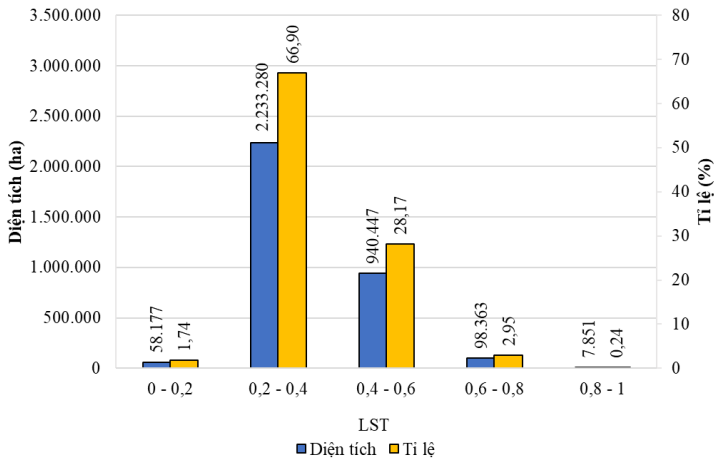
Hình 10. Biểu đồ thể hiện diện tích và tỷ lệ phần trăm các khoảng giá trị chỉ số NDBSI



Hình 11. Bản đồ phân bố chỉ số LST tại khu vực nghiên cứu

Khoảng giá trị LST cao nhất (0,8 - 1) được ghi nhận tại các khu cụm công nghiệp và công trình xây dựng thuộc 02 tỉnh Long An và Tiền Giang với diện tích 7.851 ha, chiếm tỷ lệ 0,24% trên tổng diện tích (Hình 12). Giá trị LST từ 0,6 đến 0,8 có diện tích 98.363 ha (chiếm 2,95%) chủ yếu phân bố tại các khu vực vùng ven đô thị thuộc các tỉnh và thành phố. Giá trị LST trung bình từ 0,4 đến 0,6 với 940.447 ha (28,17%) phân bố ở hiện trạng lúa 02 vụ và một

phần diện tích cây lâu năm tại Long An, Tiền Giang, Bến Tre, Vĩnh Long và Sóc Trăng. Giá trị LST từ 0,2 đến 0,4 chiếm phần lớn diện tích khu vực nghiên cứu, tương đương với 2.233.280 ha (66,90%). Những khu vực này chủ yếu thuộc các hiện trạng cây lâu năm, lúa 2 vụ, lúa 3 vụ và lúa tằm. Các giá trị LST thấp nhất (0 - 0,2) phân bố tại những khu vực có mật độ che phủ thực vật cao, chủ yếu là các vùng rừng thuộc 02 tỉnh Cà Mau và Kiên Giang.



Hình 12. Biểu đồ thể hiện diện tích và tỷ lệ phần trăm các khoảng giá trị chỉ số LST

3.2.2. Phân tích thành phần chính (PCA)

Kết quả được thể hiện ở Bảng 4 trình bày các giá trị riêng và tỷ lệ phần trăm đóng góp của từng chỉ số trong các thành phần chính được xác định thông qua phân tích thành phần chính (PCA) tại vùng ĐBSCL.

Bảng 4. Kết quả phân tích thành phần chính

Chỉ số	PC1	PC2	PC3	PC4
NDVI	0,45	0,66	0,03	0,60
WET	0,34	-0,67	0,48	0,45
NDBSI	-0,61	-0,16	-0,41	0,66
LST	-0,55	0,31	0,77	0,04
Giá trị riêng	0,14	0,12	0,06	0,02
Tỉ lệ (%)	51,68	38,16	8,93	1,22

Giá trị riêng thể hiện mức độ biến thiên mà mỗi chỉ số giải thích trong dữ liệu, trong khi tỷ lệ phần trăm phản ánh mức độ đóng góp của mỗi thành phần vào tổng biến thiên. Thành phần chính đầu tiên (PC1) thường có giá trị riêng cao nhất, giải thích phần lớn biến thiên và mang thông tin quan trọng nhất, trong khi các thành phần tiếp theo (PC2, PC3, PC4) có giá trị riêng giảm dần. Dựa trên kết quả phân tích thành phần chính, PC1 chiếm tỷ lệ đóng góp giá trị riêng lớn nhất (51,68%) và được chọn để tính toán chỉ số sinh thái viễn thám (RSEI).

Mối quan hệ giữa các yếu tố được phân tích cho thấy rằng thành phần chính đầu tiên trong mô hình RSEI có mối tương quan dương với NDVI và WET, cho thấy rằng việc duy trì và phát triển thảm thực vật cùng độ ẩm cao sẽ nâng cao chất lượng môi trường sinh thái. Ngược lại, các chỉ số NDBSI (độ khô) và LST (nhiệt) có mối tương quan âm, phản ánh sự phát triển của các khu vực đô thị hóa và mật độ xây dựng cao sẽ làm giảm chất lượng môi trường sinh thái (Xu et al., 2019; Hao et al., 2022).

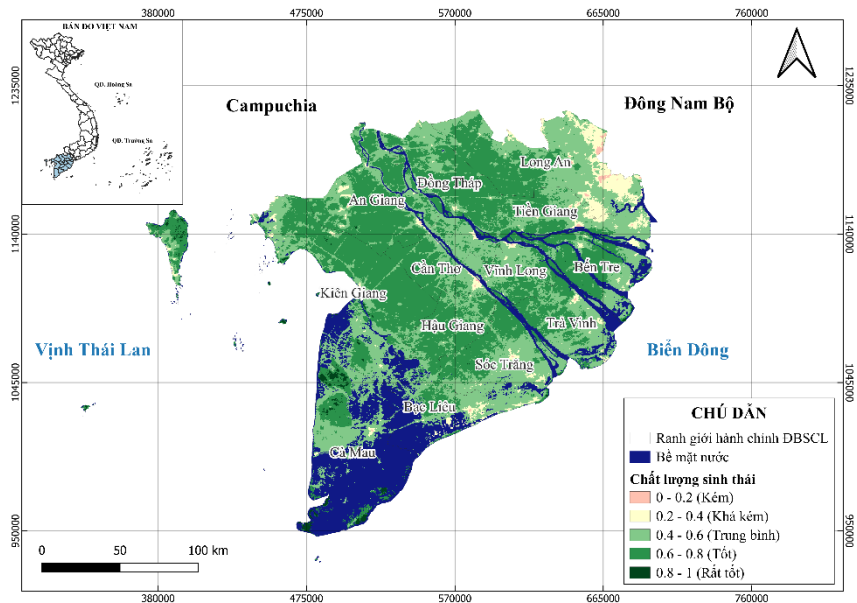
3.3. Chất lượng môi trường sinh thái vùng ĐBSCL năm 2023

Dựa trên kết quả phân tích bốn yếu tố sinh thái (NDVI, WET, NDBSI, LST), RSEI cho thấy khả năng ứng dụng hiệu quả trong việc giám sát chất lượng môi trường sinh thái của ĐBSCL. Chất lượng môi trường sinh thái ĐBSCL được chia thành 05 mức độ kém (0 - 0,2), khá kém (0,2 - 0,4), trung bình (0,4 - 0,6), tốt (0,6 - 0,8), rất tốt (0,8 - 1) (Hình 13).

Trong đó, các khu vực có chất lượng môi trường sinh thái rất tốt thường nằm ở vùng có độ phủ thực vật cao như rừng, được phân bố tập trung tại các tỉnh Cà Mau, Kiên Giang, Bến Tre, Trà Vinh và An Giang. Chất lượng môi trường sinh thái trung bình và tốt phân bố chủ yếu ở các khu vực trồng cây lâu

năm, lúa 3 vụ và lúa 2 vụ. Trong khi đó, các khu vực lúa tôm và tôm rừng có chất lượng môi trường sinh thái khá kém, chủ yếu phân bố ở các khu vực ven biển. Các khu vực có chất lượng môi trường sinh

thái kém tập trung chủ yếu tại trung tâm các tỉnh/thành phố, nơi có mật độ xây dựng cao và chịu tác động mạnh của hiệu ứng nhiệt (LST) cũng như giảm độ ẩm và thảm thực vật (NDVI, WET).



Hình 13. Bản đồ chất lượng môi trường sinh thái ĐBSCL năm 2023

Kết quả được thể hiện ở Bảng 5 trình bày diện tích và tỷ lệ phần trăm chất lượng môi trường sinh thái RSEI tại vùng ĐBSCL năm 2023. Trong đó, chất lượng môi trường sinh thái rất tốt chiếm 27.175,0 ha (0,8%), chất lượng môi trường sinh thái trung bình và tốt chiếm 94,1% diện tích toàn khu vực nghiên cứu với 3.142.018,8 ha. Chất lượng môi trường sinh thái khá kém và kém chiếm tổng diện tích là 170.256,3 ha (chiếm 5,1%).

Bảng 5. Thống kê diện tích chất lượng môi trường sinh thái vùng ĐBSCL năm 2023

Chất lượng	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)
Kém	8.462,5	0,3
Khá kém	161.793,8	4,8
Trung bình	1.485.456,3	44,5
Tốt	1.656.562,5	49,6
Rất tốt	27.175,0	0,8
Tổng	3.339.450,0	100

3.4. Mối quan hệ giữa chỉ số sinh thái viễn thám và hiện trạng sử dụng đất

Các yếu tố tự nhiên như lớp phủ sử dụng đất mang lại nhiều ảnh hưởng tốt đến chất lượng môi trường sinh thái (Zhang et al., 2023). Giá trị dao động của RSEI trên từng hiện trạng tại vùng ĐBSCL được trình bày ở Bảng 6.

Bảng 6. Giá trị chỉ số RSEI trên hiện trạng sử dụng đất

Hiện trạng	Giá trị trung bình	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất
Lúa tôm	0,36	0,21	0,56
Đô thị	0,31	0,08	0,49
Lúa 2 vụ	0,58	0,16	0,83
Cây hàng năm	0,56	0,26	0,87
Cây lâu năm	0,61	0,46	0,90
Lúa 3 vụ	0,64	0,32	0,83
Rừng	0,72	0,30	1,00

Hiện trạng rừng có giá trị RSEI trung bình lớn nhất (0,72) do tỷ lệ phủ xanh quanh năm nên chỉ số độ xanh cao, nhiệt độ thấp, trong đó 02 chỉ số độ ẩm và độ khô ở mức trung bình và thấp. Lúa 3 vụ có giá trị RSEI trung bình là 0,64, cây lâu năm có giá trị RSEI thấp hơn với 0,61. Sự chênh lệch này chủ yếu do độ ẩm đất, khi lúa 3 vụ được canh tác trong điều kiện ngập nước thường xuyên, giúp duy trì độ ẩm cao hơn. Kế đến, cây hàng năm và lúa 02 vụ có giá trị RSEI trung bình lần lượt là 0,56 và 0,58. Giá trị RSEI thấp ở hiện trạng đô thị và lúa tôm với giá trị lần lượt là 0,31 và 0,36. Qua đó, chất lượng môi trường sinh thái theo các hiện trạng sử dụng đất khác nhau được sắp xếp từ cao đến thấp là rừng > lúa 3

vụ > cây lâu năm > lúa 2 vụ > cây hàng năm > lúa tôm > đô thị.

Sự hiện diện của các khu vực được phủ xanh rộng lớn không chỉ tăng cường độ ẩm và hình thành các hồ chứa nước tự nhiên, cải thiện điều kiện thủy văn, mà còn khẳng định vai trò quan trọng của thảm thực vật trong việc điều tiết môi trường. Bên cạnh đó, việc mở rộng diện tích đất xây dựng có thể trực tiếp gây nên sự suy giảm chất lượng môi trường sinh thái (Sun et al., 2022; Zhang & Hong, 2022).

Tuy nhiên, các khu vực ven biển với hoạt động nuôi trồng lúa tôm và các khu vực đô thị hóa cao vẫn đang chịu tác động tiêu cực từ các hoạt động nhân tạo, cần có các giải pháp quản lý và quy hoạch phù hợp để hướng tới phát triển bền vững trong tương lai.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu sử dụng chuỗi ảnh viễn thám MODIS xây dựng bản đồ lớp phủ sử dụng đất vùng ĐBSCL năm 2023 gồm 09 hiện trạng gồm sông, lúa 2 vụ, lúa 3 vụ, lúa tôm, cây lâu năm, cây hàng năm, thủy sản, rừng và đất đô thị với độ tin cậy ở mức rất tốt, độ chính xác toàn cục T là 89,48% và hệ số là K= 0,87.

Chất lượng môi trường sinh thái tại ĐBSCL đa phần dao động từ mức trung bình đến tốt, chiếm gần

95% tổng diện tích, trong đó mức trung bình là 44,5% và mức tốt là 49,6%. Mối quan hệ giữa chất lượng môi trường sinh thái và việc sử dụng đất tại khu vực đã được phân tích trong nghiên cứu, chất lượng môi trường sinh thái được phân bố theo thứ tự giảm dần như sau: rừng > lúa 3 vụ > cây lâu năm > lúa 2 vụ > cây hàng năm > lúa tôm > đô thị.

Các hoạt động như đô thị hóa, xây dựng khu công nghiệp và phát triển hạ tầng đang diễn ra mạnh mẽ, đã gây ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng môi trường sinh thái. Việc sử dụng đất không phù hợp có thể giảm hiệu suất dinh dưỡng trong đất và làm giảm khả năng tái tạo của các hệ sinh thái tự nhiên (Sun et al., 2022). Do đó, việc quản lý và sử dụng đất bền vững là rất quan trọng để bảo vệ chất lượng môi trường sinh thái cho con người và các loài sinh vật khác sinh sống và phát triển.

Các vùng sinh thái mặt nước đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì chất lượng môi trường sinh thái (Liu et al., 2023). Tuy nhiên, chất lượng môi trường sinh thái và những thay đổi của chất lượng môi trường sinh thái tại các vùng nước chưa được đề cập đến trong nghiên cứu. Trong tương lai, việc đánh giá toàn diện chất lượng môi trường sinh thái sẽ được tập trung nghiên cứu, bao gồm cả vùng nước nhằm cung cấp cái nhìn chi tiết và toàn diện hơn về môi trường sinh thái tại khu vực nghiên cứu vùng ĐBSCL.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Aronson, M., Lepczyk, A. C., & Evans, L. K. (2017). Biodiversity in the city: key challenges for urban green space management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(4), 189-196. <https://doi.org/10.1002/fee.1480>
- Congalton, R. G., & Green, K. (1999) Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data Principles and Practices. *Lewis Publishers, Boca Raton*. <https://doi.org/10.1201/9781420048568>
- Hao, H., Lian, Z., Zhao, J., Wang, H., & He, Z. (2022). A Remote-Sensing Ecological Index Approach for Restoration Assessment of Rare-Earth Elements Mining. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2022/5335419>
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2020). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1-6. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>
- Jianbo, Z., & Wanqing, L. (2022). Monitoring and Evaluation of Eco-Environment Quality Based on Remote Sensing-Based Ecological Index (RSEI) in Taihu Lake Basin, China. *Sustainability*, 14(9), 5642. <https://doi.org/10.3390/su14095642>
- Le, H. T. H., & Truong, T. V. (2014). Impacts of climate change on natural ecosystems in the Mekong Delta. *Journal of Science, Ho Chi Minh City University of Education*, 64, 155-162 (in Vietnamese).
- Le, T. V. (2005). Remote Sensing. National University of Ho Chi Minh City Publishing House (in Vietnamese).
- Liu, P., Ren, C., Yu, W., Ren, H., & Xia, C. (2023). Exploring the ecological quality and its drivers based on annual remote sensing ecological index and multisource data in Northeast China. *Ecological Indicators*, 154, 110589. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110589>
- Ma, M., Xu, G., Lv, Z., Chen, S., Li, H., & Zhang, G. (2023). Urban ecological quality and statistical correlation analysis based on satellite remote sensing. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1171(1), 012042. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1171/1/012042>

- Ministry of Construction of Vietnam. (2016). *Adjustment of the construction planning for the Mekong Delta region until 2030 with a vision to 2050 (in Vietnamese)*. https://sxd.tiengiang.gov.vn/style/1468161/data/185/2016_QHV_DBSC_L_TMTT_201701130335503130.pdf
- Ministry of Construction of Vietnam. (2023). *Sustainable urban development in the Mekong Delta region (in Vietnamese)*. <https://moc.gov.vn>.
- Ministry of Industry and Trade of the Socialist Republic Vietnam. (2024). *Trade promotion and import-export development in the Mekong Delta region (in Vietnamese)*. <https://moit.gov.vn/tin-tuc/hoat-dong-cua-lanh-dao-bo/xu-c-tie-n-thuong-ma-i-va-pha-t-trie-n-xua-t-nha-p-kha-u-vu-ng-dong-bang-song-cuu-long.html>
- Musse, A. M., Barona, A. D., & Rodriguez, S. M. L. (2018). Urban environmental quality assessment using remote sensing and census data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 71, 95-108. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.05.010>.
- Nguyen, D. T. H., Huynh, T. T. H., Dinh, D. K., & Nguyen, T. N. (2024b). Evaluation of the change in crop structure under the impact of flood prevention dikes in the Long Xuyen Quadrangle in the period 2005-2020. *Ministry of Science and Technology Vietnam*, 66(4), 60-64. [https://doi.org/10.31276/vjst.66\(4\).60-64](https://doi.org/10.31276/vjst.66(4).60-64)
- Nguyen, D. T. H., Nguyen, N. T., Hieu, D. C., Huong, N. T. T., & Trang, D. H. (2024a). Environmental Quality Monitoring Using Remote Sensing Ecological Index (RSEI) in Can Tho City, Vietnam. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1345(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1345/1/012018>
- Nguyen, H. Q., Ngo, T. V., Phan, T. V., & Vo, M. Q. (2019). Application of Landsat 8 remote sensing imagery for cropping season mapping and rice yield estimation in Soc Trang Province. *Can Tho University Journal of Science*, 55(Environnement), 8 (in Vietnamese). <https://doi.org/10.22144/ctu.jsi.2019.126>
- Nguyen, H., Van, P. P., Thi, P. N., Tram, A. L. N., Hai, L. N. T., & Hong, D. N. T. (2020). Wetland monitoring in the Plain of Reeds using Landsat images. *Journal of Science Natural Science*, 65(3), 194-204 (in Vietnamese). <https://doi.org/10.18173/2354-1059.2020-0022>
- Pan, Y., Gong, J., & Li, J. (2022). Assessment of remote sensing ecological quality by introducing water and air quality indicators: a case study of Wuhan, China. *Land*, 11(12), 2272. <https://doi.org/10.3390/land11122272>
- Phung, K. V., Do, L. X., Nguyen, H. V., Nguyen, H. Q., Nguyen, G. Q., Kieu, D. T., Nguyen, H. H., Bui, D. X., Pham, D. V., Le, S. T., Dong, H. T., & Do, A. T. (2015). Analyzing land cover change at the watershed scale based on vegetation index and multi-temporal Landsat imagery. *Journal of Forest Science and Technology*, 2015, 83 – 89 (in Vietnamese).
- Reza, H. I. M., & Abdullah, A. S. (2011). Regional Index of Ecological Integrity: A need for sustainable management of natural resources. *Ecological Indicators*, 11(2), 220-229. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.08.010>.
- Sun, C., Li, J., Liu, Y., Cao, L., Zheng, J., Yang, Z., Ye, J., & Li, Y. (2022). Ecological quality assessment and monitoring using a time-series remote sensing-based ecological index (ts-RSEI). *GIScience & Remote Sensing*, 59(1), 1793-1816. <https://doi.org/10.1080/15481603.2022.2138010>
- Sun, C., Li, X., Zhang, W., & Li, X. (2020). Evolution of ecological security in the Tableland region of the Chinese Loess Plateau using a Remote-Sensing-Based Index. *Sustainability*, 12(8), 3489. <https://doi.org/10.3390/su12083489>
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Tran, H. T., & Vo, M. Q. (2014). The change of rice crop calendar in the Mekong Delta using remote sensing and geographic information systems. *Can Tho University Journal of Science*, 3 (Agriculture), 101 - 110 (in Vietnamese).
- Vietnam National Mekong Committee. (2020). *Mekong River basin (in Vietnamese)*. https://vnmc.gov.vn/?page_id=1878
- Willis, S. K. (2015). Remote sensing change detection for ecological monitoring in United States protected areas. *Biological Conservation*, 182, 233-242. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.12.006>.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- Xu, H. (2008). A new index for delineating built-up land features in satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 29(14), 4269-4276. <https://doi.org/10.1080/01431160802039957>
- Xu, H. (2013). A remote sensing urban ecological index and its application. *Acta Ecol*, 33(24),

- 7853–7862.
<https://doi.org/10.5846/stxb201208301223>.
- Xu, H., Wang, Y., Guan, H., Shi, T., & Hu, X. (2019). Detecting Ecological Changes with a Remote Sensing Based Ecological Index (RSEI) Produced Time Series and Change Vector Analysis. *Remote Sensing*, 11(20), 2345. <https://doi.org/10.3390/rs11202345>
- Zhang, T., Ruiqing, Y., Yibo, Y., Long, L. & Longqian, C. (2021). Assessing the Urban Eco-Environmental Quality by the Remote-Sensing Ecological Index: Application to Tianjin, North China. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 10(7), 475. <https://doi.org/10.3390/ijgi10070475>
- Zhang, X., & Hong, L. (2022). Monitoring and Evaluating Ecological Environment Quality Change Based on RSEI Model in the Golden Quadrangle Region in the Border of China, Myanmar, Thailand and Laos. 2022 *International Conference on Information System, Computing and Educational Technology (ICISCET)*, 195–199. <https://doi.org/10.1109/iciscet56785.2022.00055>
- Zhang, Y., Yi, L., Xie, B., Li, J., Xiao, J., Xie, J., & Liu, Z. (2023). Analysis of ecological quality changes and influencing factors in Xiangjiang River Basin. *Scientific Reports*, 13 (1), 4375. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31453-7>