Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ
Số chuyên đề: Công nghệ chiến lược - Động lực phát triển Đồng bằng sông Cửu Long (SDMD)
ISSN 1859-2333 | e-ISSN 2815-5599

DOI:10.22144/ctujos.2026.256

# TÁC ĐỘNG CỦA ĐÔ THỊ HÓA ĐẾN MẢNG XANH VÀ NHIỆT BỀ MẶT TẠI THÀNH PHỐ CẦN THƠ GIAI ĐOẠN 2005 - 2025

Phan Kiều Diễm[1], Trần Gia Hồng[1,*], Nguyễn Kiều Diễm[1], Châu Minh Khải[2] và Nguyễn Trọng Nhân[3]

*[1]Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Đại học Cần Thơ, Việt Nam*
*[2]Trường Bách Khoa, Đại học Cần Thơ, Việt Nam*
*[3]Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam*
**Tác giả liên hệ (Corresponding author): tghong@ctu.edu.vn*

***Thông tin chung (Article Information)***

*Nhận bài (Received): 15/08/2026*
*Sửa bài (Revised): 01/10/2026*
*Duyệt đăng (Accepted): 08/11/2026*

***Title:*** *Impacts of Urbanization on green space and surface thermal environment in Can Tho City: A remote sensing perspective (2005 - 2025)*

***Author(s):*** *Phan Kieu Diem[1], Tran Gia Hong[1,*], Nguyen Kieu Diem[1], Chau Minh Khai[2] and Nguyen Trong Nhan[3]*

***Affiliation(s):*** *[1]College of Environment and Natural Resources, Can Tho University, Viet Nam; [2]College of Engineering, Can Tho University, Viet Nam; [3]Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment, Viet Nam*

## TÓM TẮT

*Nghiên cứu ứng dụng viễn thám và GIS nhằm đánh giá biến động mảng xanh, mật độ xây dựng và nhiệt độ bề mặt (LST) tại thành phố Cần Thơ giai đoạn 2005–2025. Phương pháp phân loại hướng đối tượng trên ảnh Landsat được sử dụng để xây dựng bản đồ lớp phủ và tính toán tám chỉ số cảnh quan. Hồi quy OLS và GWR được thực hiện riêng cho từng chỉ số tại 84 xã/phường năm 2005 và 83 xã/phường năm 2025. Trên 83 đơn vị chung, diện tích mảng xanh trung bình giảm từ 1.593,20 xuống 1.415,20 ha; số mảnh tăng 124,95%, trong khi diện tích mảnh trung bình giảm 62,75%. $LST_{max}$ trung bình của 85 xã/phường tăng từ 30,93 lên 30,96°C. MPS có $R^2$ của OLS cao nhất, đạt 0,42 (2005) và 0,24 (2025). Các chỉ số MPS, AWMSI, PSSD và MPE có hệ số OLS âm với $LST_{max}$ ở cả hai năm. Kết quả góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho quy hoạch không gian xanh và quản lý môi trường nhiệt đô thị tại Cần Thơ.*

***Từ khóa:*** *Chỉ số cảnh quan, hồi quy trọng số địa lý, mảng xanh, nhiệt độ bề mặt, thành phố Cần Thơ*

## ABSTRACT

*This study applied remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) to assess changes in green spaces, building density, and land surface temperature (LST) in Can Tho City from 2005 to 2025. Object-based image classification was applied to Landsat imagery to generate land cover maps and calculate eight landscape metrics. Ordinary Least Squares (OLS) and Geographically Weighted Regression (GWR) were performed separately for each metric across 84 communes/wards in 2005 and 83 in 2025. Across 83 common administrative units, the average green space area decreased from 1,593.20 to 1,415.20 ha, while the number of patches increased by 124.95% and mean patch size decreased by 62.75%. The average maximum LST ($LST_{max}$) across 85 communes/wards increased slightly from 30.93°C to 30.96°C. Mean Patch Size (MPS) exhibited the highest OLS $R^2$ values in both years, reaching 0.42 (2005) and 0.24 (2025). MPS, AWMSI, PSSD, and MPE showed negative OLS coefficients with $LST_{max}$ in both years. These findings provide a scientific basis for green space planning and urban thermal environment management in Can Tho City.*

***Keywords:*** *Can Tho city, geographically weighted regression, green space, landscape metrics, land surface temperatur*

## 1. GIỚI THIỆU

Quá trình mở rộng đô thị làm thay đổi lớp phủ và đặc trưng phân bố mảng xanh, đặt ra yêu cầu theo dõi đồng thời biến động cảnh quan và môi trường nhiệt. Tại Cần Thơ, sự đan xen giữa khu vực xây dựng tập trung, vùng đô thị mở rộng và đất sản xuất nông nghiệp tạo nên sự khác biệt về đặc trưng mảng xanh giữa các địa phương. Phan et al. (2025) ghi nhận tỷ lệ diện tích mảng xanh giảm từ 91,61% xuống 83,99% trong giai đoạn 2005 - 2020; đồng thời, mối liên hệ giữa các chỉ tiêu cảnh quan, đô thị hóa và môi trường nhiệt cũng đã được phân tích. Nguyen & Bui (2018) cũng sử dụng dữ liệu Landsat để nghiên cứu sự mở rộng đô thị và mối liên hệ với nhiệt độ tại Cần Thơ. Kết quả của những nghiên cứu này cho thấy sự cần thiết của việc kết hợp thông tin lớp phủ và nhiệt độ bề mặt đất (LST) trong nghiên cứu biến động môi trường đô thị.

Bên cạnh tổng diện tích mảng xanh, các chỉ số cảnh quan phản ánh những khía cạnh khác nhau về số lượng, kích thước, mức độ phân tán và hình dạng của các đối tượng mảng xanh, qua đó cung cấp thông tin chi tiết hơn về cấu trúc cảnh quan. Trong nghiên cứu tại Cần Thơ, Phan et al. (2025) đã sử dụng các chỉ số cảnh quan để đánh giá biến động cấu trúc mảng xanh và xác định mối liên hệ của chúng với các chỉ tiêu đô thị hóa và môi trường nhiệt bằng tương quan Pearson. Tuy nhiên, mỗi chỉ số phản ánh một đặc trưng cảnh quan khác nhau và mức độ liên hệ với nhiệt độ bề mặt có thể không đồng nhất giữa các khu vực. Trong bối cảnh các xã/phường của Cần Thơ có sự khác biệt đáng kể về mức độ xây dựng, quy mô mảng xanh và cấu trúc lớp phủ, việc tiếp tục làm rõ chiều hướng, mức độ và sự biến đổi không gian của mối liên hệ giữa từng chỉ số cảnh quan với LST là cần thiết. Cách tiếp cận này giúp xác định những đặc trưng cảnh quan nào có liên hệ rõ hơn với môi trường nhiệt, đồng thời xem xét liệu chiều hướng và cường độ của các mối liên hệ đó có duy trì nhất quán giữa các địa phương hay không.

Trên cơ sở đó, trong nghiên cứu hiện tại, hồi quy tuyến tính toàn cục (OLS) và hồi quy trọng số địa lý (GWR - Geographically Weighted Regression) đã được sử dụng để phân tích mối liên hệ giữa từng chỉ số cảnh quan mảng xanh và LST tại hai thời điểm năm 2005 và năm 2025. OLS được sử dụng để xác định chiều và mức độ liên hệ chung của từng chỉ số với LST trên toàn khu vực nghiên cứu, trong khi GWR cho phép xem xét sự biến đổi của hệ số hồi quy theo vị trí địa lý. Qua đó, nghiên cứu không tập trung vào việc lựa chọn mô hình tối ưu, mà hướng đến làm rõ đặc trưng quan hệ của từng chỉ số cảnh quan với LST và mức độ ổn định của các quan hệ này giữa các xã/phường. Nghiên cứu này được thực hiện đã kế thừa và phát triển từ phân tích mô tả sơ bộ giai đoạn 2005 - 2020 của Phan et al. (2025) ở hai điểm: (i) mở rộng mốc thời gian đến năm 2025; (ii) thay tương quan Pearson bằng hồi quy OLS kết hợp GWR nhằm làm rõ chiều, mức độ và sự biến đổi theo không gian của mối liên hệ giữa từng chỉ số cảnh quan mảng xanh và LST. Nhờ đó, cơ sở định lượng về việc những đặc trưng cấu trúc mảng xanh nào có liên hệ ổn định với môi trường nhiệt giữa các xã/phường đã được bổ sung, làm căn cứ tham khảo cho việc theo dõi và quản lý mảng xanh tại Cần Thơ.

Cùng với xu thế chuyển đổi số, định hướng phát triển công nghệ chiến lược được thể hiện qua việc ban hành các danh mục công nghệ và sản phẩm công nghệ chiến lược tại Quyết định số 1131/QĐ-TTg ngày 12/6/2025 và Quyết định số 21/2026/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ (2025, 2026). Trong bối cảnh đó, việc ứng dụng viễn thám và GIS để khai thác dữ liệu ảnh vệ tinh, xây dựng bản đồ và phân tích biến động tài nguyên, môi trường là hướng tiếp cận có ý nghĩa đối với chuyển đổi số trong quản lý lãnh thổ. Sự kết hợp giữa dữ liệu Landsat, chỉ số cảnh quan và mô hình hồi quy không gian trong nghiên cứu này giúp cung cấp thông tin định lượng về biến động mảng xanh và mối liên hệ với nhiệt độ bề mặt theo đơn vị xã/phường. Các kết quả góp phần hỗ trợ theo dõi biến động cảnh quan, xác định địa bàn cần quan tâm và bổ sung cơ sở dữ liệu phục vụ quản lý môi trường đô thị tại Cần Thơ.

Nghiên cứu được thực hiện với ba mục tiêu: (i) mô tả biến động lớp phủ, mật độ xây dựng và LST giữa hai thời điểm năm 2005 và năm 2025; (ii) lượng hóa đặc trưng mảng xanh theo đơn vị xã/phường bằng tám chỉ số CA, NP, MPS, MedPS, PSSD, MPE, MSI và AWMSI và (iii) xác định mối liên hệ giữa từng chỉ số cảnh quan mảng xanh và LST ở quy mô toàn cục; đồng thời, sự biến đổi không gian của các mối liên hệ này giữa các xã/phường cũng được xem xét. Kết quả góp phần bổ sung cơ sở dữ liệu và cách tiếp cận phân tích phục vụ giám sát mảng xanh, quản lý cảnh quan và môi trường nhiệt đô thị tại Cần Thơ.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện trên địa bàn thành phố Cần Thơ theo địa giới trước khi sáp nhập đơn vị hành chính cấp tỉnh (trước ngày 01/7/2025). Theo địa giới này, thành phố Cần Thơ là trung tâm vùng đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) với tọa độ địa

lý từ 105°13'38" đến 105°50'35" kinh độ Đông và từ 9°55'08" đến 10°19'38" vĩ độ Bắc, tổng diện tích tự nhiên 1.409,0 km$^2$, gồm 85 xã/ phường phân bố tại năm quận nội thành (Ninh Kiều, Bình Thủy, Cái Răng, Ô Môn, Thốt Nốt) và bốn huyện ngoại thành (Cờ Đỏ, Phong Điền, Thời Lai, Vĩnh Thạnh). Việc giữ nguyên địa giới cũ nhằm đảm bảo tính thống nhất và để so sánh quá trình đô thị hóa của thành phố Cần Thơ trong 20 năm thông qua hai mốc thời gian năm 2005 và 2025.

Trong nghiên cứu, hệ thống ranh giới gồm 85 xã/phường được sử dụng cho cả hai thời điểm. Việc thống kê mật độ xây dựng và LST được thực hiện trên toàn bộ 85 đơn vị. Đối với phân tích quan hệ giữa các chỉ số cảnh quan mảng xanh và LST, chỉ những đơn vị có diện tích thuộc lớp mảng xanh mới được đưa vào mô hình. Năm 2005, phường An Lạc không có diện tích mảng xanh nên số đơn vị phân tích là 84; năm 2025, phường An Lạc và phường Thới Bình không có diện tích mảng xanh nên số đơn vị phân tích là 83. Các đơn vị này được loại trước khi ước lượng mô hình.

Việc so sánh giá trị trung bình của các chỉ số cảnh quan giữa hai thời điểm được thực hiện trên cùng 83 xã/phường có mảng xanh ở cả hai năm. Tổng diện tích và tổng số đối tượng được thống kê trong phạm vi 84 đơn vị có mảng xanh năm 2005, trong đó diện tích và số đối tượng của phường Thới Bình năm 2025 bằng 0.

### 2.2. Dữ liệu nghiên cứu

Nguồn dữ liệu viễn thám được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: Landsat 5 TM, Landsat 9 OLI-2 và TIRS2, các thông số ảnh của các năm được thể hiện như Bảng 1.

**Bảng 1. Thông số dữ liệu ảnh thu thập ở năm 2005 và 2025**

| Năm | Loại ảnh | Ngày chụp | Phần trăm mây |
|---|---|---|---|
| 2005 | Landsat 5 | 24/08/2005 | 3% |
| 2025 | Landsat 9 | 28/02/2025 | 0,33% |

### 2.3. Xây dựng bản đồ lớp phủ năm 2005 và 2025

Ảnh Landsat năm 2005 và 2025 được phân loại theo phương pháp hướng đối tượng, gồm phân đoạn ảnh và gán nhãn đối tượng. Thuật toán Multiresolution Segmentation trong eCognition được sử dụng để tạo các đối tượng ảnh dựa trên đặc trưng phổ và hình dạng. Các tham số phân đoạn gồm tỷ lệ (scale) 10, trọng số hình dạng (shape) 0,1 và độ chặt (compactness) 0,5, được áp dụng cho cả hai thời điểm.

Sau phân đoạn, các đối tượng ảnh được nhận diện sơ bộ theo chìa khóa giải đoán để xem xét giá trị các chỉ số NDVI, NDBI và NDISI tương ứng với từng loại lớp phủ. Các giá trị này là cơ sở lựa chọn ngưỡng ban đầu; sau đó, việc thử phân loại và điều chỉnh ngưỡng được thực hiện thông qua đối chiếu kết quả với đặc điểm đối tượng trên ảnh. Bộ ngưỡng được xác định riêng cho từng năm và sử dụng để gán nhãn đối tượng theo quy tắc phân loại, kết hợp đặc điểm giải đoán ảnh với các ngưỡng NDVI, NDBI và NDISI. MNDWI được tính làm thành phần đầu vào trong công thức NDISI, không được sử dụng như một tiêu chí phân loại độc lập. Do đó, các chỉ số trực tiếp tham gia quy tắc phân loại được trình bày tại Bảng 2.

Trình tự phân loại được xác định riêng cho từng năm. Năm 2005, mặt nước được ưu tiên nhận diện trước, tiếp theo là công trình xây dựng; mảng xanh và đất trống sau đó được tổng hợp thành một lớp. Năm 2025, mặt nước được ưu tiên phân loại trước, tiếp đến là mảng xanh và công trình xây dựng; NDISI được sử dụng bổ sung để phân biệt đất trống:

Chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) được tính theo công thức của Tucker (1979):

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Trong đó: NIR là giá trị kênh phổ ở kênh cận hồng ngoại, RED là giá trị kênh phổ ở kênh đỏ.

Chỉ số xây dựng khác biệt chuẩn hóa (NDBI - Normalized Difference Built-up Index) được tính theo Zha et al. (2003):

$$NDBI = \frac{(SWIR1 - NIR)}{(SWIR1 + NIR)}$$

Trong đó: SWIR1 là giá trị phản xạ phổ ở kênh hồng ngoại sóng ngắn, NIR là giá trị phản xạ phổ ở kênh cận hồng ngoại.

Chỉ số bề mặt không thấm khác biệt chuẩn hóa (NDISI - Normalized difference impervious surface index) được tính theo Xu (2010):

$$NDISI = \frac{[T_b - (MNDWI + NIR + SWIR1)/3]}{[T_b + (MNDWI + NIR + SWIR1)/3]}$$

Trong đó: $T_b$ là nhiệt độ độ sáng từ giá trị bức xạ hồng ngoại nhiệt Landsat, NIR là giá trị phản xạ của kênh cận hồng ngoại, SWIR1 là giá trị phản xạ của

kênh hồng ngoại sóng ngắn thứ nhất, MNDWI là chỉ số nước khác biệt chuẩn hóa cải tiến.

MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) là chỉ số nước khác biệt chuẩn hóa cải tiến, được tính theo công thức của Xu (2010):

$$\text{MNDWI} = \frac{\text{GREEN} - \text{SWIR1}}{\text{GREEN} + \text{SWIR1}}$$

Trong đó, GREEN là giá trị kênh phổ ở kênh xanh lá, SWIR1 là giá trị phản xạ phổ ở kênh hồng ngoại sóng ngắn.

Các tham số phân đoạn được áp dụng thống nhất giữa hai năm, trong khi ngưỡng phân loại được lựa chọn riêng thông qua quá trình thử và điều chỉnh ngưỡng. Các ngưỡng thực tế sử dụng được trình bày trong Bảng 2.

**Bảng 2. Ngưỡng phân loại**

| Năm | Chỉ số | Công trình xây dựng | Mảng xanh | Mặt nước |
|---|---|---|---|---|
| 2005 | NDVI | 0 ≤ NDVI ≤ 0,47 | > 0,47 | < 0 |
| | NDBI | > 0,25 | - | < 0 |
| | NDISI | 0,1 < NDISI ≤ 0,82 | - | - |
| 2025 | NDVI | 0 ≤ NDVI < 0,12 | NDVI≥ 0,05 | NDVI < 0 |
| | NDBI | NDBI ≥ 0 | NDBI < 0 | NDBI < -0,1 |
| | NDISI | NDISI < 0,35 | - | - |

Sau phân loại, chỉ các đối tượng đất trống trong khu vực nông nghiệp được gộp vào lớp mảng xanh nhằm bao quát diện tích canh tác chưa có thực vật che phủ tại thời điểm thu nhận ảnh. Đất trống ngoài khu vực nông nghiệp không được gộp vào lớp này. Theo cách phân nhóm đó, lớp mảng xanh bao gồm các đối tượng có thực vật và đất trống nông nghiệp.

Đồng thời, ranh giới của từng đối tượng được giữ nguyên theo kết quả phân đoạn ảnh; các đối tượng tiếp giáp nhau trong cùng một lớp không được hợp nhất. Các chỉ số cảnh quan được tính trực tiếp từ kết quả sau phân loại.

Các đối tượng mảng xanh được cắt theo ranh giới xã/phường để tính chỉ số cho từng đơn vị hành chính, việc này để phục vụ phân tích ở cấp xã/phường và được áp dụng thống nhất cho cả hai năm. Tuy nhiên, một mảng xanh liên tục về mặt không gian nằm trên 2 ranh giới hành chính có thể bị chia thành nhiều đối tượng và các đối tượng tiếp giáp chưa được hợp nhất cũng được đếm riêng. Vì vậy, NP, MPS, MedPS, PSSD và MPE trong nghiên cứu này được hiểu là đặc trưng của các đối tượng trong kết quả phân loại sau khi cắt theo ranh giới xã/phường, không phải là phép đo trực tiếp mức độ phân mảnh thực tế của không gian xanh.

*** Mật độ xây dựng (MĐXD)** được tính theo công thức:

$$\text{MĐXD} = \frac{SDT}{STN} x100$$

Trong đó: SDT là diện tích công trình xây dựng và STN là tổng diện tích mảng xanh và công trình xây dựng.

### 2.4. Phương pháp đánh giá độ tin cậy

Sau khi có kết quả phân loại, độ tin cậy của bản đồ đã được đánh giá dựa trên 594 điểm khảo sát, trong đó 303 điểm (2005) và 291 điểm (2025) được thu thập từ phần mềm Google Earth và khảo sát thực địa. Điểm tham chiếu năm 2005 được xác định bằng chế độ ảnh lịch sử (Historical Imagery) của Google Earth, điểm tham chiếu năm 2025 được xác định từ Google Earth và khảo sát thực địa. Các chỉ số được sử dụng là độ chính xác toàn cục (T) và chỉ số Kappa (K), theo công thức:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{K} Oii}{n} * 100\%$$

Trong đó:

$\sum_{i=1}^{K} Oii$ là tổng số pixel phân loại đúng,

n là tổng số pixel được phân loại.

Chỉ số Kappa được xác định theo công thức:

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

Trong đó:

K là chỉ số Kappa,

T là độ chính xác toàn cục,

E là đại lượng thể hiện kỳ vọng phân loại chính xác có thể dự đoán trước, nghĩa là R góp phần ước tính khả năng phân loại chính xác trong quá trình phân loại thực sự.

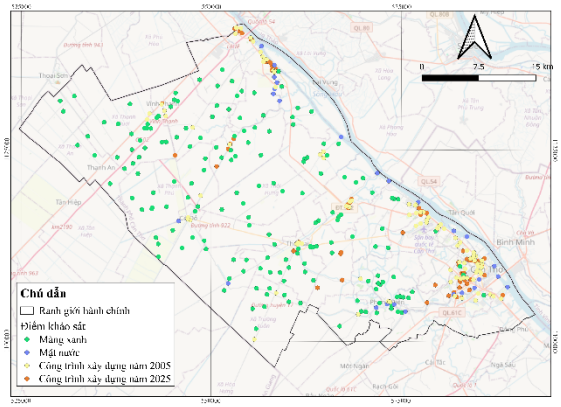
Bên cạnh đó, ma trận sai số được xây dựng cho hai lớp phủ có điểm kiểm chứng là mảng xanh và công trình xây dựng (không sử dụng điểm kiểm chứng lớp mặt nước). Độ chính xác người sản xuất (PA - Producer's Accuracy) và độ chính xác người dùng (UA - User's Accuracy) của từng lớp được tính theo công thức:

$$PA_i = n_{ii} / n_{+i} \times 100\%$$

$$UA_i = n_{ii} / n_{i+} \times 100\%$$

Trong đó: $n_{ii}$ là số điểm phân loại đúng của lớp i, $n_{+i}$ là tổng số điểm tham chiếu của lớp i (tổng theo cột của ma trận sai số), $n_{i+}$ là tổng số điểm được phân loại vào lớp i (tổng theo hàng). PA phản ánh mức độ bỏ sót của lớp, còn UA phản ánh mức độ nhầm lẫn thừa vào lớp đó; hai chỉ số này cho biết sai số tập trung ở lớp nào.

Chi tiết các điểm khảo sát được thể hiện như Hình 1:




**Hình 1. Điểm khảo sát năm 2005 và 2025**

### 2.5. Phương pháp ước tính nhiệt độ bề mặt đất

Nhiệt độ bề mặt được ước tính trên nền tảng Google Earth Engine từ dữ liệu Landsat Collection 2 Level-1, kênh nhiệt Band 6 của Landsat 5 TM được sử dụng cho năm 2005 và Band 10 của Landsat 9 TIRS-2 được sử dụng cho năm 2025. Quy trình gồm chuyển đổi giá trị số sang bức xạ phổ tại cảm biến, xác định nhiệt độ sáng và hiệu chỉnh độ phát xạ bề mặt.

Giá trị số của kênh nhiệt được chuyển thành bức xạ phổ tại cảm biến theo công thức (USGS, 2024).

$$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L$$

Trong đó: $L_\lambda$ là giá trị bức xạ phổ tại cảm biến ($Wm^{-2}$ $ster^{-1}$ $\mu m^{-1}$), $Q_{cal}$ là giá trị số của pixel (DN), $M_L$ và $A_L$ lần lượt là hệ số nhân và hệ số cộng được lấy từ metadata của kênh nhiệt tương ứng.

Nhiệt độ chiếu sáng được xác định theo công thức:

$$T_B = K2 / \ln(K1 / L_\lambda + 1)$$

Trong đó: $T_B$ là nhiệt độ chiếu sáng tại cảm biến K, K1 và K2 là các hằng số chuyển đổi nhiệt được lấy từ metadata của kênh 6 đối với Landsat 5 và kênh 10 đối với Landsat 9.

Chỉ số thực vật được tính toán theo công thức:

$$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)$$

Trong đó: NDVI là chỉ số thực vật, NIR là kênh cận hồng ngoại và R là kênh đỏ.

Công thức chỉ số thực vật được sử dụng để tính toán tỷ phần thực vật (fv - fractional vegetation). Tỉ lệ thực vật được tính toán theo công thức:

$$fv = [(NDVI - NDVI_đ)/(NDVI_{tv} - NDVI_đ)]^2$$

Trong đó, $NDVI_đ$ và $NDVI_{tv}$ là ngưỡng các giá trị NDVI của các điểm ảnh không có thực vật và có thực vật hiện diện. Theo Ren et al (2017), hai ngưỡng giá trị này lần lượt là 0,2 và 0,86. Các điểm ảnh có fv = 0 là đất trống và fv = 1 đối với lớp đất phủ kín thực vật.

Độ phát xạ bề mặt được xác định theo công thức của Vân (2006):

$$\varepsilon = fv * \varepsilon_{tv} + (1 - fv) * \varepsilon_{đt}$$

Trong đó, các giá trị $\varepsilon_{tv}$ và $\varepsilon_{đt}$ lần lượt là 0,97 và 0,96, fv là tỷ phần thực vật trong 1 điểm ảnh.

Công thức xác định nhiệt độ bề mặt được thực hiện theo (Artis & Carnahan., 1982).

$$LST = \frac{T_B}{1 + (\frac{\lambda T_B}{C_2})\ln(\varepsilon)} - 273{,}15$$

Trong đó:

LST là giá trị nhiệt độ bề mặt (°C),

$T_B$ là giá trị nhiệt độ sáng (độ K),

$\varepsilon$ là độ phát xạ bề mặt,

$\lambda$ là bước sóng trung tâm kênh nhiệt,

$C_2$ là hệ số được tính bằng $\frac{hc}{s}$ (1,4388 × $10^{-2}$ mK); trong đó, h là hằng số Planck (6,626 × $10^{-34}$ Js), s là hằng số Boltzmann (1,38 × $10^{-23}$ $JK^{-1}$) và c là tốc độ ánh sáng (2,998 × $10^8$ $ms^{-1}$).

### 2.6. Tính toán chỉ số cảnh quan

Dựa trên một số nghiên cứu trước đây về sự tác động của mở rộng đô thị đến các cấu trúc mảng xanh thông qua các chỉ số cảnh quan (Qian et al., 2019; McGarigal & Marks, 1995), các chỉ số cảnh quan đã được lựa chọn để đánh giá lớp phủ thực vật, bao gồm: CA, NP, MPS, MedPS, PSSD, MPE, MSI và AWMSI. Các chỉ số này được trình bày tại Bảng 3 và tính toán bằng công cụ Patch Analysis được tích hợp trong ArcGIS 10.8.

**Bảng 3. Thông số tính chỉ số cảnh quan**

| Chỉ số | Diễn giải | Công thức tính | Đơn vị |
|---|---|---|---|
| MPS | Mean Patch Size - diện tích trung bình của đối tượng | $\frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{10000n}$ | ha |
| AWMSI | Area Weighted Mean Shape Index - chỉ số hình dạng trung bình có trọng số diện tích | $\sum_{i=1}^{n}[\frac{p_i}{2\sqrt{\pi a_i}}\frac{a_i}{\sum_{j=1}^{n} a_j}$ | - |
| NP | Number of patches - số lượng mảnh | n | mảnh |
| MedPS | Median Patch Size - trung vị diện tích đối tượng | $\frac{median(a_1,....,a_n)}{10000}$ | ha |
| PSSD | Patch Size Standard Deviation -độ lệch chuẩn của đối tượng | $\frac{1}{10000}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(a_i-\bar{a})^2}{n}}$ | ha |
| CA | Class Area - tổng diện tích của lớp phân tích | $\frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{10000}$ | ha |
| MPE | Mean Patch Edge - chu vi trung bình của đối tượng | $\frac{\sum_{i=1}^{n} p_i}{n}$ | m |
| MSI | Mean Shape Index - chỉ số hình dạng trung bình | $\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{p_i}{2\sqrt{\pi a_i}}$ | - |

*(Nguồn: Ferit, 2019)*

*Ghi chú: n là đối tượng thuộc lớp phân tích trong một xã/phường, $a_i$ là đối tượng thứ i, tính bằng $m^2$, $p_i$ là chu vi đối tượng thứ i, tính bằng m, $\bar{a} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_i$ là diện tích trung bình của các đối tượng, tính bằng $m^2$.*

### 2.7. Phương pháp phân tích tương quan (OLS và mô hình GWR)

Trong nghiên cứu, hồi quy tuyến tính toàn cục theo phương pháp bình phương nhỏ nhất thông thường (OLS - Ordinary Least Squares) và hồi quy trọng số địa lý (GWR - Geographically Weighted Regression) đã được sử dụng để phân tích mối liên hệ giữa các chỉ số cảnh quan mảng xanh và nhiệt độ bề mặt đất (LST). Phân tích được thực hiện riêng cho hai thời điểm năm 2005 và năm 2025, với số đơn vị xã/phường đưa vào mô hình lần lượt là 84 và 83 (trong tổng số 85 xã/phường, phường An Lạc được loại khỏi bộ số liệu cả hai năm và phường Thới Bình được loại khỏi bộ số liệu năm 2025 do không có diện tích mảng xanh để tính chỉ số cảnh quan). $LST_{max}$ là biến phụ thuộc; mỗi chỉ số CA, NP, MPS, MedPS, PSSD, MPE, MSI và AWMSI được sử dụng làm biến giải thích trong một mô hình riêng.

$$y = \beta_0 + \sum_{k=1}^{p} \beta_k x_k + \varepsilon$$

Trong đó: y là giá trị nhiệt độ bề mặt, $\beta_0$ là hệ số chặn, $x_k$ là giá trị các chỉ số cảnh quan, $\beta_k$ là hệ số

hồi quy toàn cục của biến $x_k$, p là tổng số biến độc lập được sử dụng trong mô hình, k là chỉ số thứ tự của biến độc lập. $\mathcal{E}$ là thành phần sai số ngẫu nhiên thể hiện sự chênh lệch giữa giá trị thực tế quan sát được và giá trị mô hình dự báo.

Mô hình GWR (Geographically Weighted Regression - hồi quy trọng số địa lý) được mở rộng từ OLS bằng cách cho phép hệ số hồi quy thay đổi theo vị trí địa lý (Comber et al., 2023). Mô hình có dạng:

$$y_i = \beta_0(u_i,v_i) + \sum_{i=1}^{k} \beta_j(u_i,v_i)x_{ji} + e_i$$

Trong đó: $y_i$ thể hiện giá trị nhiệt độ bề mặt (LST), $x_{ij}$ thể hiện giá trị các chỉ số cảnh quan, k là tổng số đơn vị hành chính cấp xã/phường được đưa vào phân tích, $e_i$ là sai số ngẫu nhiên, $(u_i, v_i)$ thể hiện vị trí không gian của đơn vị i, $\beta_0(u_i, v_i)$ là hệ số chặn tại vị trí i, và $\beta_j(u_i,v_i)$ là hệ số hồi quy cục bộ ước lượng cho biến độc lập $x_{ji}$. Hệ số hồi quy OLS được trình bày cùng khoảng tin cậy 95% tính bằng sai số chuẩn vững HC3 (MacKinnon & White, 1985) để điều chỉnh đối với phương sai không đồng nhất.

Trong nghiên cứu này, OLS được dùng để xác định chiều và mức độ liên hệ chung giữa từng chỉ số cảnh quan mảng xanh và LST trên toàn khu vực (hệ số hồi quy, khoảng tin cậy 95% và $R^2$). GWR được dùng để xem xét chiều liên hệ đó có được duy trì khi xét theo vị trí hay không (hệ số cục bộ). Kết quả được hiểu theo ý nghĩa của hệ số và xu hướng của $R^2$ giữa hai thời điểm, nghiên cứu không nhằm chọn mô hình tối ưu hay đánh giá mức cải thiện của GWR so với OLS.

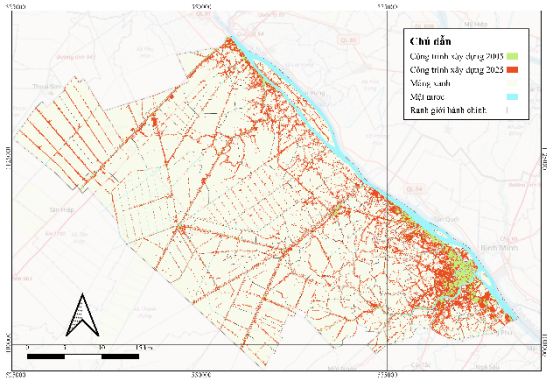
Đối với các hệ số cục bộ của GWR, giá trị p được điều chỉnh bằng phương pháp Benjamini-Yekutieli (BY) (Benjamini & Yekutieli, 2001) để kiểm soát tỷ lệ phát hiện sai khi thực hiện nhiều kiểm định. Việc điều chỉnh được thực hiện riêng cho từng năm trên toàn bộ tập kiểm định cục bộ của 8 chỉ số.

Hàm kernel bi-vuông thích ứng được sử dụng để xác định trọng số không gian, và phương pháp tiêu chuẩn thông tin Akaike hiệu chỉnh (AICc) được sử dụng để xác định bán kính ảnh hưởng tối ưu. Với kernel thích ứng, băng thông được biểu thị bằng số đơn vị lân cận gần nhất tham gia ước lượng tại mỗi vị trí và được chọn tự động bằng cách cực tiểu hóa AICc, riêng cho từng mô hình (từng chỉ số, từng năm). Sự phụ thuộc không gian còn lại sau khi ước lượng mô hình được đánh giá bằng chỉ số Moran's I của phần dư. Chỉ số này dựa trên cơ sở đo lường tự tương quan không gian của Moran (1950) và cách tiếp cận kiểm định phần dư hồi quy của Cliff and Ord (1972). Phần dư của cả OLS và GWR được kiểm tra ở mức ý nghĩa 0,05 để hỗ trợ diễn giải mối liên hệ giữa các chỉ số cảnh quan và $LST_{max}$. Ma trận trọng số không gian dùng để tính Moran's I là ma trận tiếp giáp Queen, được chuẩn hóa theo hàng.

## 3. KẾT QUẢ THẢO LUẬN

### 3.1. Biến động mảng xanh và mật độ xây dựng năm 2005 và 2025

Kết quả phân tích trên 85 đơn vị hành chính cấp xã/phường cho thấy năm 2025 mảng xanh của thành phố Cần Thơ tiếp tục có xu hướng suy giảm được ghi nhận qua hai mốc thời gian năm 2005 và 2025.




**Hình 2. Biến động lớp phủ năm 2005 và 2025 của thành phố Cần Thơ**

Kết quả đánh giá độ chính xác phân loại trên 594 điểm kiểm chứng cho thấy mức độ phù hợp giữa kết quả phân loại và dữ liệu tham chiếu khác nhau giữa hai thời điểm. Năm 2005, có 275/303 điểm được phân loại đúng, đạt độ chính xác toàn cục 90,76% và hệ số Kappa 0,75. Năm 2025, số điểm phân loại đúng đạt 273/291 điểm, tương ứng độ chính xác toàn cục 93,81% và hệ số Kappa 0,85 (Bảng 4). So với năm 2005, độ chính xác toàn cục năm 2025 cao hơn 3,06 điểm phần trăm; tỷ lệ điểm phân loại sai giảm từ 9,24% xuống 6,19%. Xét theo từng lớp, mảng xanh có PA lần lượt là 96,4% và 97,1%, UA là 91,5% và 94,3% (năm 2005 và 2025); lớp công trình xây dựng có PA thấp hơn (75,0% năm 2005 và 86,2% năm 2025) nhưng UA cao (88,2% và 92,6%). Sai số chủ yếu là các điểm công trình xây dựng bị phân loại thành mảng xanh (20 điểm năm 2005 và 12 điểm năm 2025), nên diện tích mảng xanh có thể bị ước tính cao và diện tích công trình xây dựng bị ước tính thấp, rõ hơn ở năm 2005. Do đó, mức giảm diện tích mảng xanh và mức tăng mật độ xây dựng giữa hai năm có thể được phản ánh hơi cao hơn thực tế, và các chỉ số cảnh quan tính từ lớp mảng xanh cần được diễn giải trong giới hạn sai số này. Các kết

quả này cung cấp căn cứ đánh giá độ tin cậy của kết quả phân loại trước khi sử dụng để phân tích biến động lớp phủ và tính toán chỉ số cảnh quan.

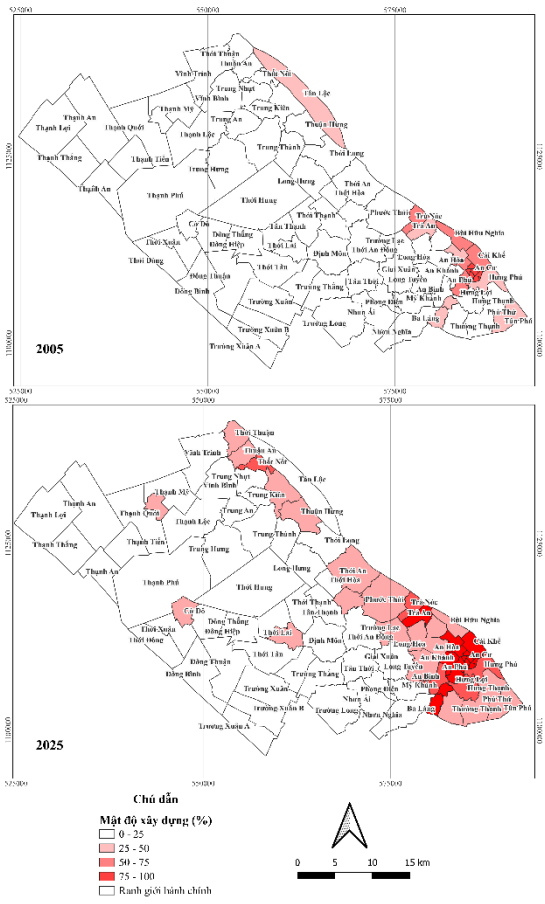
**Bảng 4. Ma trận sai số**

| Năm | Phân loại | Điểm khảo sát | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Mảng xanh | CTXD | Tổng | UA |
| 2005 | Mảng xanh | 215 | 20 | 235 | 91,5% |
| | CTXD | 8 | 60 | 68 | 88,2% |
| | Tổng | 223 | 80 | 303 | |
| | PA | 96,4% | 75,0% | | |
| | Độ chính xác toàn cục | | 90,76% | | |
| | Hệ số Kappa | | 0,75 | | |
| 2025 | Mảng xanh | 198 | 12 | 210 | 94,3% |
| | CTXD | 6 | 75 | 81 | 92,6% |
| | Tổng | 204 | 87 | 291 | |
| | PA | 97,1% | 86,2% | | |
| | Độ chính xác toàn cục | | 93,81% | | |
| | Hệ số Kappa | | 0,85 | | |

**Bảng 5. Mật độ xây dựng trung bình toàn thành phố và tốc độ tăng qua hai mốc thời gian 2005 và 2025 (%)**

| Mốc thời gian | MĐXD đầu kỳ | MĐXD cuối kỳ | Tăng (%) |
|---|---|---|---|
| 2005 - 2025 | 17,99 | 35,82 | +17,83 |

Mật độ xây dựng (MĐXD) trung bình toàn thành phố (85 xã/phường) tăng qua 2 mốc thời gian 2005 và 2025, từ 17,99% (2005) lên 35,82% (2025), tăng gần gấp đôi sau 20 năm. Kết quả so sánh năm 2005 và 2025 cho thấy mật độ xây dựng tại thành phố Cần Thơ gia tăng, đồng thời phân hóa rõ giữa khu vực đô thị và các xã ngoại thành. Trên bản đồ, những khu vực có mật độ xây dựng cao tập trung ở phía đông và đông nam thành phố; đến năm 2025, phạm vi các vùng thuộc nhóm mật độ xây dựng cao mở rộng hơn so với năm 2005. Theo kết quả tính toán, các phường An Cư, An Nghiệp và An Hội vốn có mật độ xây dựng cao năm 2005, lần lượt đạt 89,72%, 86,46% và 86,03%, tiếp tục tăng lên khoảng 99,98%, 99,59% và 99,53% năm 2025. Bên cạnh đó, mức tăng lớn được ghi nhận tại An Khánh từ 14,95% lên 94,38%, tương ứng tăng 79,43% và An Bình từ 6,63% lên 67,77%, tương ứng tăng 61,14%. Những biến động này cho thấy sự gia tăng tỷ lệ diện tích xây dựng tại các phường đã có mật độ cao và những địa phương có mật độ thấp hơn ở thời điểm đầu.

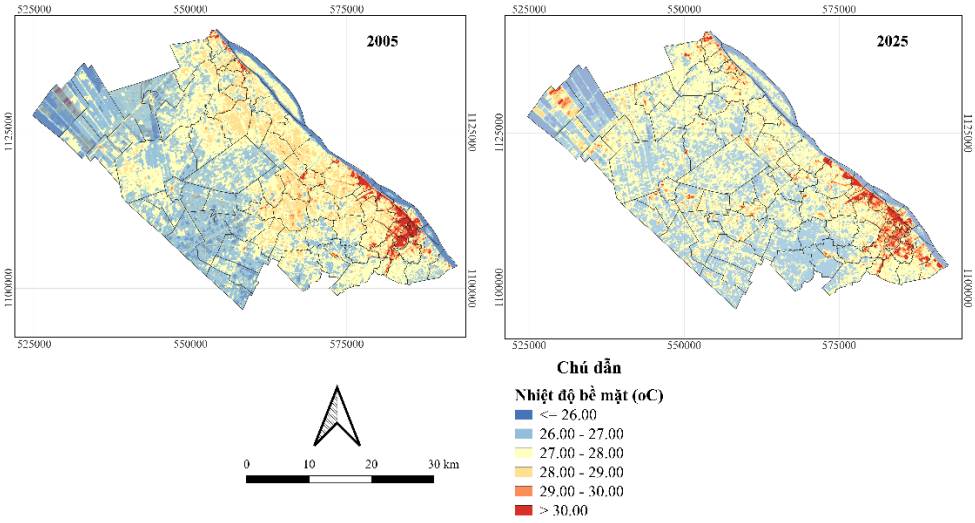



**Hình 3. Mật độ xây dựng trung bình theo xã/phường**

Ở khu vực ngoại thành, mật độ xây dựng nhìn chung vẫn thấp hơn khu vực đô thị, với nhiều xã/phường thuộc nhóm dưới 25% trên bản đồ năm 2025. Theo kết quả phân loại, mật độ xây dựng tại Đông Bình tăng từ 0,38% lên 9,64%, Đông Hiệp từ 0,57% lên 8,74%, Mỹ Khánh từ 0,26% lên 11,38% và Nhơn Ái từ 0,04% lên 22,85%. Sự gia tăng này phản ánh việc mở rộng diện tích xây dựng tại các địa bàn ngoài khu vực đô thị tập trung, nhưng mức độ thay đổi không đồng đều. Chẳng hạn, xã Thới Đông ghi nhận mức giảm nhẹ từ 6,57% xuống 6,11%, tương ứng khoảng 0,46%. Nhìn chung, hai thời điểm thể hiện sự gia tăng mật độ xây dựng trên phần lớn các xã/phường thể hiện ở Hình 3, đồng thời duy trì khác biệt không gian giữa khu vực đô thị có mật độ cao và vùng ngoại thành có mật độ thấp.

### 3.2. Diễn biến nhiệt độ bề mặt (LST) năm 2005 và 2025

Nhiệt độ bề mặt (LST) được thống kê theo giá trị cực đại của từng xã/phường (kí hiệu là $LST_{max}$) trên 85 xã/phường. Năm 2005, $LST_{max}$ dao động từ 28,09 đến 35,13°C, năm 2025 dao động từ 28,35 đến 34,27°C (Hình 4, Bảng 6). Trung bình cộng gần như không đổi (30,93°C và 30,96°C, khác biệt khoảng 0,03°C), trung vị tăng từ 30,76 lên 31,03°C, trong khi độ lệch chuẩn giảm từ 1,63 xuống 1,29°C và biên độ giữa giá trị cao nhất và thấp nhất thu hẹp từ 7,04 xuống 5,92°C. Như vậy, mức nhiệt cực đại trung bình gần như không thay đổi giữa hai thời điểm, nhưng mức chênh lệch nhiệt độ bề mặt giữa các xã/phường giảm.




**Hình 4. Nhiệt độ bề mặt trung bình thành phố Cần Thơ năm 2005 và 2025**

**Bảng 6. Thống kê nhiệt độ bề mặt thành phố Cần Thơ năm 2005 và 2025**

| Đại lượng | 2005 | 2025 |
|---|---|---|
| $LST_{max}$ thấp nhất giữa các xã/phường (°C) | 28,09 | 28,35 |
| $LST_{max}$ cao nhất giữa các xã/phường (°C) | 35,13 | 34,27 |
| Trung bình cộng $LST_{max}$ (°C) | 30,93 | 30,96 |
| Trung vị $LST_{max}$ (°C) | 30,76 | 31,03 |
| Độ lệch chuẩn của $LST_{max}$ | 1,63 | 1,29 |

*Ghi chú: Đại lượng LST trong bảng được thống kê từ giá trị cực đại của từng xã/phường.*

Năm 2005, phường Thới Thuận có $LST_{max}$ cao nhất, đạt 35,13°C, tiếp theo là Trà Nóc (34,93°C), Phước Thới (34,32°C), An Hòa (34,19°C), Phú Thứ (33,86°C) và Hưng Lợi (33,79°C); các vùng nhiệt độ cao tập trung ở phía đông và đông nam thành phố trên bản đồ. Ngược lại, xã Thạnh Lợi có $LST_{max}$ thấp nhất, đạt 28,09°C; các xã Trường Xuân B, Thạnh Mỹ và Thới Xuân cũng có giá trị thấp, lần lượt là 28,22; 28,31 và 28,38°C.

Năm 2025, Phước Thới có $LST_{max}$ cao nhất, đạt 34,27°C, tiếp theo là xã Đông Thắng (34,11°C); các phường Tân Phú, Thới Thuận, Trà Nóc và An Thới cũng có giá trị cao, lần lượt đạt 33,48; 33,24; 33,20 và 33,04°C. $LST_{max}$ thấp nhất được ghi nhận tại xã Tân Thới (28,35°C) và Trường Thanh (28,42°C). Thứ hạng và vị trí của các địa phương có $LST_{max}$ cao thay đổi giữa hai thời điểm.

Mức biến động $LST_{max}$ khác biệt rõ theo địa phương. Xã Đông Thắng tăng từ 28,60 lên 34,11°C

(tăng 5,52°C), Xuân Thắng tăng từ 28,75 lên 32,56°C (tăng 3,81°C) và Thạnh Lợi tăng từ 28,09 lên 31,21°C (tăng 3,13°C). Ngược lại, phường Hưng Lợi giảm từ 33,79 xuống 31,74°C (giảm 2,06°C), An Hòa giảm 1,95°C, Thới Thuận giảm 1,90°C và Trà Nóc giảm 1,73°C. Phước Thới duy trì $LST_{max}$ cao ở cả hai thời điểm, chỉ giảm khoảng 0,05°C.

Sự gia tăng tại một số địa phương đồng thời với mức giảm ở những địa phương khác giải thích vì sao trung bình cộng LST gần như không thay đổi. Trong khi đó, giá trị $LST_{max}$ cao nhất của toàn bộ tập dữ liệu giảm từ 35,13°C xuống 34,27°C, tương ứng khoảng 0,87°C. Hai kết quả này mô tả những đặc điểm khác nhau của phân bố nhiệt: trung bình các giá trị $LST_{max}$ tại các xã/phường tăng nhẹ, nhưng giá trị $LST_{max}$ cao nhất trong phạm vi nghiên cứu giảm. Vì vậy, kết quả này không thể diễn giải mức giảm của giá trị cao nhất thành sự suy giảm nhiệt độ đồng đều trên toàn thành phố.

Khác biệt giữa hai thời điểm cũng cần được xem xét trong bối cảnh ảnh năm 2005 được thu nhận vào mùa mưa, còn ảnh năm 2025 thuộc mùa khô. LST từ một cảnh ảnh phản ánh trạng thái nhiệt của bề mặt tại thời điểm vệ tinh đi qua, khác với nhiệt độ không khí và không đại diện cho nhiệt độ trung bình của cả mùa (NASA, 2026). Do đó, ảnh mùa khô không nhất thiết có giá trị nhiệt độ cao hơn ảnh mùa mưa tại mọi địa phương. Khác biệt về bức xạ mặt trời, mây che trước thời điểm chụp, lượng mưa trước đó, độ ẩm bề mặt và trạng thái thực vật là những khả năng cần xem xét. Tại khu vực nông nghiệp, tình trạng tưới nước và giai đoạn sinh trưởng của cây trồng cũng có thể góp phần vào khác biệt nhiệt độ.

Việc sử dụng $LST_{max}$ giúp tập trung phân tích mức nhiệt cực đại trong từng đơn vị hành chính. Tuy nhiên, giá trị này không thể hiện diện tích của vùng nóng hoặc nền nhiệt chung của toàn xã/phường: một địa phương có $LST_{max}$ cao vẫn có thể chứa nhiều khu vực nhiệt độ thấp. Vì vậy, khi đánh giá nhiệt độ bề mặt cần phân tích đồng thời sự phân bố không gian và kết quả thống kê của $LST_{max}$. Trong nghiên cứu này, kết quả tại hai ngày 24/8/2005 và 28/2/2025 được sử dụng để mô tả khác biệt không gian và thời điểm quan sát; việc xác định xu hướng nhiệt dài hạn cần sử dụng chuỗi ảnh nhiều năm có thời điểm thu nhận tương đồng theo mùa, kết hợp thông tin khí tượng để xem xét ảnh hưởng của điều kiện thời tiết (Zhou et al., 2019), đồng thời độ chính xác của LST ước tính được kiểm chứng bằng dữ liệu tham chiếu phù hợp (Li et al., 2013).

### 3.3. Biến động chỉ số cảnh quan về mảng xanh năm 2005 và 2025

Kết quả phân loại cho thấy tổng diện tích được phân loại là mảng xanh trong phạm vi 84 xã/phường của bộ dữ liệu năm 2005 (trừ phường An Lạc) giảm từ 132.236,60 ha xuống 117.461,90 ha năm 2025, tương ứng giảm 14.774,70 ha, khoảng 11,17%. Phường Thới Bình có 1,1751 ha mảng xanh năm 2005 nhưng đến năm 2025 kết quả phân loại diện tích mảng xanh là 0. Vì các chỉ số kích thước và hình dạng không xác định khi không có đối tượng nên việc so sánh các chỉ số này được thực hiện trên cùng 83 đơn vị có mảng xanh ở cả hai thời điểm.

**Bảng 7. Biến động tổng diện tích và số mảnh của mảng xanh trong phạm vi 84 đơn vị hành chính**

| Đại lượng | Năm 2005 | Năm 2025 | Biến động |
|---|---|---|---|
| Số đơn vị có mảng xanh | 84 | 83 | -1 |
| Tổng diện tích mảng xanh (ha) | 132.236,60 | 117.461,90 | -14.774,70 |
| Tổng số mảnh thống kê theo đơn vị hành chính | 354.737 | 797.948 | + 443.211 |

**Bảng 8. Biến động giá trị trung bình các chỉ số cảnh quan mảng xanh trên 83 đơn vị hành chính chung**

| Chỉ số | 2005 | 2025 | Thay đổi (%) |
|---|---|---|---|
| CA | 1.593,20 | 1.415,20 | −11,17 |
| NP | 4.273,81 | 9.613,83 | +124,95 |
| MPS | 0,3284 | 0,1223 | −62,75 |
| MedPS | 0,1951 | 0,0800 | −58,99 |
| PSSD | 0,3578 | 0,1483 | −58,56 |
| MPE | 248,80 | 137,26 | −44,83 |
| MSI | 1,3041 | 1,3103 | +0,48 |
| AWMSI | 1,4656 | 1,3160 | −10,21 |

Kết quả tính toán cho thấy CA trung bình giảm từ 1.593,20 xuống 1.415,20 ha, cho thấy diện tích mảng xanh giảm trong hai mốc thời gian nghiên cứu. Mức giảm diện tích lớn nhất được ghi nhận tại phường Phước Thới, khoảng 668,96 ha, tiếp theo là Phú Thứ, Long Hòa và Hưng Thạnh, lần lượt giảm 459,36; 419,20 và 376,02 ha. Đây là những khu vực có sự chuyển đổi lớp phủ từ mảng xanh thành công trình xây dựng cao trong khu vực. Ngược với xu hướng diện tích, NP trung bình của 83 đơn vị xã/phường tăng từ 4.273,81 lên 9.613,83 mảnh, tương ứng tăng 124,95%. Mức tăng nổi bật tại xã Thới Hưng và xã Thạnh Phú, lần lượt tăng 26.775 và 23.584 mảnh. Đồng thời, MPS giảm 62,75% và MedPS giảm 58,99%, cho thấy các đối tượng mảng xanh năm 2025 có quy mô diện tích nhỏ hơn so với năm 2005. Bên cạnh đó, MPE trung bình giảm 44,83%, từ 248,80 xuống 137,26 m, cho thấy sự thu nhỏ kích thước đối tượng mảng xanh; PSSD giảm 58,56%, cho thấy mức phân tán của diện tích đối tượng giảm. Do các đối tượng được cắt theo ranh giới xã/phường và các đối tượng tiếp giáp chưa được hợp nhất nên mức tăng NP cũng như mức giảm MPS, MPE và PSSD chỉ nên được hiểu là sự thay đổi về số lượng và kích thước của các đối tượng trong kết quả phân loại, chưa phải bằng chứng trực tiếp về sự phân mảnh thực tế của không gian xanh.

MPS trung bình giảm từ 0,3284 ha năm 2005 xuống 0,1223 ha năm 2025, tương ứng giảm 62,75%. Đồng thời, MedPS trung bình giảm từ 0,1951 xuống 0,0800 ha, tương ứng giảm 58,99%. Sự giảm đồng thời của hai chỉ số cho thấy xu hướng thu nhỏ kích thước mảnh được thể hiện qua cả diện tích trung bình và diện tích trung vị. MPE trung bình giảm từ 248,80 xuống 137,26, tương ứng giảm 44,83%. Kết hợp với biến động MPS và NP, kết quả phản ánh sự chuyển dịch theo hướng phân thành nhiều mảnh có diện tích và chu vi nhỏ hơn trong kết quả phân loại mảng xanh. Đồng thời, chỉ số PSSD trung bình giảm từ 0,3578 xuống 0,1483 ha, tương ứng giảm 58,56%, cho thấy độ phân tán của diện tích mảnh giảm.

MSI trung bình tăng nhẹ từ 1,3041 lên 1,3103, tương ứng 0,48%. Ngược lại, trung vị MSI giữa các xã/phường giảm từ 1,3143 xuống 1,2875. Sự khác biệt giữa biến động trung bình và trung vị cho thấy thay đổi hình dạng không đồng nhất trong phạm vi nghiên cứu, mức tăng tại một số khu vực có thể làm tăng giá trị trung bình dù xu hướng của phần giữa phân bố là giảm. Bên cạnh đó, chỉ số AWMSI trung bình giảm từ 1,4656 xuống 1,3160, tương ứng 10,21%.

Kết quả cho thấy diện tích mảng xanh suy giảm, các mảng xanh này chuyển đổi sang đất công trình xây dựng vào năm 2025. Mức giảm diện tích nổi bật tại Phước Thới, Phú Thứ, Long Hòa và Hưng Thạnh cho thấy sự mở rộng đất công trình xây dựng đã thay thế một phần diện tích mảng xanh tại các địa bàn này. Đồng thời, số lượng mảnh của mảng xanh tăng trong khi diện tích và chu vi trung bình giảm, cho thấy các đối tượng mảng xanh trên kết quả phân loại nhiều hơn về số lượng và nhỏ hơn về kích thước. PSSD giảm cho thấy độ phân tán của diện tích đối tượng thấp hơn. Về hình dạng, MSI trung bình tăng nhẹ nhưng trung vị giảm, cho thấy xu hướng gia tăng độ phức tạp không mang tính phổ biến; AWMSI giảm thể hiện mức giảm chỉ số hình dạng khi xét trọng số diện tích. Tuy nhiên, do các đối tượng được cắt theo ranh giới xã/phường (một mảng xanh liên tục có thể bị chia thành nhiều đối tượng) và các đối tượng mảng xanh tiếp giáp chưa được gộp, những thay đổi này chưa đủ để khẳng định mức độ phân mảnh của các vùng xanh liên tục ngoài thực địa. Kết quả hiện tại chủ yếu phản ánh sự thay đổi diện tích và cấu trúc các đối tượng được nhận diện là mảng xanh, cung cấp cơ sở lựa chọn các địa bàn cần kiểm chứng thêm về chuyển đổi lớp phủ và tính liên tục của mảng xanh.

### 3.4. Mối quan hệ giữa chỉ số cảnh quan mảng xanh với nhiệt độ bề mặt năm 2005 và 2025

Trong phân tích hồi quy, biến phụ thuộc được sử dụng thống nhất là $LST_{max}$, nhằm đánh giá mối liên hệ giữa các chỉ số cảnh quan mảng xanh và nhiệt độ bề mặt cực đại theo đơn vị hành chính. Trong nghiên cứu này, mối liên hệ chỉ được xem xét cho lớp mảng xanh, thông qua tám chỉ số cảnh quan CA, NP, MPS, MedPS, PSSD, MPE, MSI và AWMSI tính từ các đối tượng mảng xanh trong từng xã/phường (84 xã/phường năm 2005 và 83 xã/phường năm 2025). Năm 2025, các chỉ số CA, MPS, MedPS, PSSD, MPE và AWMSI giảm còn NP tăng (Bảng 8) so với năm 2005. Kết quả cho thấy đặc trưng liên hệ giữa chỉ số cảnh quan trong quá trình đô thị hóa và $LST_{max}$ như sau: OLS cho biết chiều và độ lớn của liên hệ chung (Bảng 10), còn $R^2$ và GWR cho biết liên hệ đó có được duy trì giữa hai thời điểm và khi xét theo vị trí hay không (Bảng 9).

Ở cả hai thời điểm, MPS là chỉ số có $R^2$ của OLS cao nhất, đạt 0,417 năm 2005 và 0,236 năm 2025. Năm 2005, các chỉ số có $R^2$ tiếp theo lần lượt là MPE (0,396), PSSD (0,375) và AWMSI (0,341); năm 2025 là AWMSI (0,226), PSSD (0,221) và MPE (0,213). Như vậy, MPS, MPE, PSSD và AWMSI là

nhóm chỉ số thể hiện mức độ liên hệ với $LST_{max}$ rõ hơn so với CA, NP, MedPS và MSI trong các mô hình OLS riêng biệt.

Đối với GWR, hệ số hồi quy được phép thay đổi theo vị trí, qua đó giúp xem xét tính ổn định và sự biến đổi không gian của mối liên hệ giữa từng chỉ số cảnh quan và $LST_{max}$. $R^2$ của GWR cao hơn OLS đối với tất cả các chỉ số ở cả hai thời điểm, nhưng sự chênh lệch này không được sử dụng để kết luận GWR phù hợp hơn OLS do hai mô hình có cấu trúc khác nhau. Đáng chú ý, $R^2$ của cả OLS và GWR nhìn chung thấp hơn vào năm 2025, cho thấy tỷ lệ biến thiên $LST_{max}$ được giải thích bởi từng chỉ số cảnh quan riêng lẻ thấp hơn so với năm 2005. Kết quả này cần được xem xét trong bối cảnh hai ảnh được thu nhận ở các mùa khác nhau và mức phân hóa $LST_{max}$ giữa các xã/phường cũng thấp hơn vào năm 2025.

Hệ số OLS mang dấu âm đối với cả tám chỉ số năm 2005 và bảy chỉ số năm 2025, ngoại lệ là MSI năm 2025. Khoảng tin cậy 95% (sai số chuẩn HC3) nằm hoàn toàn phía âm ở cả hai thời điểm đối với CA, NP, MPS, MedPS, PSSD, MPE và AWMSI, cho thấy tính nhất quán của quan hệ nghịch với $LST_{max}$; riêng MSI chỉ có khoảng tin cậy hoàn toàn phía âm năm 2005 (Bảng 9).

**Bảng 9. So sánh $R^2$ của OLS và GWR đối với các chỉ số mảng xanh**

| Chỉ số | $R^2$ OLS 2005 | $R^2$ GWR 2005 | $R^2$ OLS 2025 | $R^2$ GWR 2025 |
|---|---|---|---|---|
| CA | 0,276 | 0,442 | 0,142 | 0,275 |
| NP | 0,222 | 0,424 | 0,100 | 0,284 |
| MPS | 0,417 | 0,449 | 0,236 | 0,253 |
| MedPS | 0,171 | 0,306 | 0,039 | 0,281 |
| PSSD | 0,375 | 0,394 | 0,221 | 0,236 |
| MPE | 0,396 | 0,451 | 0,213 | 0,266 |
| MSI | 0,185 | 0,377 | 0,066 | 0,275 |
| AWMSI | 0,341 | 0,404 | 0,226 | 0,246 |

*Ghi chú: Mỗi chỉ số được phân tích trong một mô hình riêng.*

**Bảng 10. Hệ số OLS và khoảng tin cậy 95% sử dụng sai số chuẩn HC3**

| Chỉ số | β OLS 2005 | Khoảng tin cậy HC3 2005 | β OLS 2025 | Khoảng tin cậy HC3 2025 |
|---|---|---|---|---|
| CA | −0,000561 | [−0,000890; −0,000233] | −0,000330 | [−0,000641; −0,000020] |
| NP | −0,000209 | [−0,000340; −0,000079] | −0,000050 | [−0,000084; −0,000016] |
| MPS | −10,798 | [−13,663; −7,934] | −13,188 | [−17,708; −8,669] |
| MedPS | −11,575 | [−15,625; −7,524] | −13,887 | [−24,883; −2,892] |
| PSSD | −7,397 | [−9,403; −5,391] | −8,029 | [−10,673; −5,385] |
| MPE | −0,02144 | [−0,02708; −0,01581] | −0,01972 | [−0,02792; −0,01151] |
| MSI | −14,330 | [−25,657; −3,004] | 4,177 | [−1,278; 9,632] |
| AWMSI | −9,767 | [−12,877; −6,658] | −8,473 | [−11,177; −5,769] |

Kiểm định Moran's I cho thấy tự tương quan không gian của phần dư giảm khi chuyển từ OLS sang GWR. Năm 2025, phần dư GWR của cả tám mô hình không còn tự tương quan có ý nghĩa, năm 2005 vẫn còn ở MedPS, MPE và MSI (Bảng 11). Do tự tương quan chủ yếu ảnh hưởng đến sai số chuẩn và mức ý nghĩa nên các nhận định trong nghiên cứu này tập trung vào chiều và tính ổn định của mối liên hệ.

Về kích thước, MPS có hệ số OLS âm rõ nhất, đạt -10,798 năm 2005 và -13,188 năm 2025. Theo mô hình tuyến tính, khi diện tích trung bình của đối tượng mảng xanh tăng 0,1 ha, $LST_{max}$ thấp hơn tương ứng khoảng 1,08°C năm 2005 và 1,32°C năm 2025. Kết quả GWR cũng cho thấy hệ số MPS mang dấu âm và có ý nghĩa sau điều chỉnh BY tại tất cả các vị trí phân tích ở cả hai thời điểm. Điều này cho thấy mối liên hệ nghịch giữa MPS và $LST_{max}$ được duy trì trên toàn bộ khu vực nghiên cứu, thay vì chỉ xuất hiện khi xem xét một hệ số chung cho toàn thành phố. MedPS cũng có hệ số âm ở cả hai năm. CA duy trì quan hệ nghịch với $LST_{max}$, với khoảng tin cậy 95% không chứa 0 ở cả hai thời điểm. Tuy nhiên, hệ số CA năm 2025 có độ lớn nhỏ hơn và khoảng tin cậy tiến gần 0 hơn, cho thấy mối liên hệ này yếu hơn so với năm 2005. CA và NP chịu ảnh hưởng bởi quy mô đơn vị hành chính, trong khi NP còn phụ thuộc vào cách phân đoạn ảnh và việc cắt đối tượng theo ranh giới xã/phường. Do đó, mối liên hệ của hai chỉ số này với $LST_{max}$ cần được diễn giải thận trọng, tránh kết luận rằng sự gia tăng số mảnh

mảng xanh phản ánh trực tiếp tác động nhiệt của quá trình phân mảnh cảnh quan.

Về chu vi, phân tán và hình dạng, MPE, PSSD và AWMSI đều có hệ số âm ở cả hai năm: các xã/phường có chu vi trung bình lớn hơn, kích thước đối tượng phân tán hơn hoặc chỉ số hình dạng có trọng số diện tích lớn hơn có xu hướng có $LST_{max}$ thấp hơn. Tuy nhiên, MPE có mối liên hệ chặt với kích thước đối tượng, vì các mảnh có diện tích lớn thường cũng có chu vi lớn hơn. Trong năm 2005 và 2025, MPE và MPS đều giảm, lần lượt 44,83% và 62,75%, cho thấy hai chỉ số này cùng phản ánh một phần sự thu nhỏ của các đối tượng mảng xanh. Vì vậy, hệ số âm của MPE với $LST_{max}$ chưa thể kết luận được là tác động độc lập của chu vi hay độ phức tạp đường biên đối với môi trường nhiệt. Đối với các chỉ số hình dạng, AWMSI có hệ số âm với $LST_{max}$ ở cả hai thời điểm. Tuy nhiên, do AWMSI được tính có trọng số theo diện tích, giá trị của chỉ số này chịu ảnh hưởng lớn hơn từ các đối tượng có diện tích lớn. Vì vậy, mối liên hệ âm giữa AWMSI và $LST_{max}$ chưa thể được diễn giải hoàn toàn là ảnh hưởng độc lập của độ phức tạp hình dạng. Trong khi đó, MSI năm 2025 có hệ số dương nhưng khoảng tin cậy 95% chứa 0, cho thấy chưa có bằng chứng rõ ràng về chiều liên hệ giữa hình dạng trung bình của các đối tượng mảng xanh và $LST_{max}$. Nhìn chung, mối liên hệ giữa các đặc trưng hình dạng cảnh quan và LST không hoàn toàn nhất quán giữa các chỉ số và thời điểm, do đó cần thận trọng khi diễn giải riêng tác động của độ phức tạp hình dạng. Du et al. (2016) cũng cho thấy ảnh hưởng của thành phần và cấu hình cảnh quan lên LST có thể thay đổi theo cấp độ và bối cảnh không gian.

**Bảng 11. Băng thông GWR và Moran's I của phần dư các mô hình OLS và GWR**

| Năm | Chỉ số | Băng thông | I OLS | p OLS | I GWR | p GWR |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2005 | CA | 39 | 0,179 | 0,0036 | 0,090 | 0,148 |
| | NP | 39 | 0,227 | 0,0003 | 0,097 | 0,120 |
| | MPS | 82 | 0,145 | 0,0128 | 0,129 | 0,060 |
| | MedPS | 73 | 0,294 | <0,0001 | 0,175 | 0,008 |
| | PSSD | 82 | 0,129 | 0,0234 | 0,118 | 0,060 |
| | MPE | 81 | 0,170 | 0,0043 | 0,135 | 0,034 |
| | MSI | 59 | 0,217 | 0,0005 | 0,139 | 0,038 |
| | AWMSI | 81 | 0,155 | 0,0084 | 0,116 | 0,086 |
| 2025 | CA | 48 | 0,089 | 0,1195 | 0,026 | 0,540 |
| | NP | 44 | 0,141 | 0,0204 | 0,032 | 0,514 |
| | MPS | 81 | 0,080 | 0,1325 | 0,059 | 0,282 |
| | MedPS | 39 | 0,216 | 0,0005 | 0,020 | 0,622 |
| | PSSD | 81 | 0,069 | 0,1783 | 0,051 | 0,326 |
| | MPE | 65 | 0,098 | 0,0767 | 0,047 | 0,370 |
| | MSI | 46 | 0,190 | 0,0028 | 0,036 | 0,478 |
| | AWMSI | 81 | 0,051 | 0,2815 | 0,021 | 0,644 |

*Ghi chú: I – hệ số Moran's I của phần dư; băng thông là số đơn vị lân cận gần nhất của kernel thích ứng, được chọn theo AICc.*

Đặt trong bối cảnh đô thị hóa được xem xét qua hai thời điểm 2005 và 2025, mật độ xây dựng tăng đồng thời với sự thay đổi rõ rệt của các đặc trưng mảng xanh, thể hiện qua sự giảm của MPS, MPE và PSSD. Trong đó, MPS phản ánh sự giảm diện tích trung bình của các đối tượng mảng xanh, MPE phản ánh sự giảm chu vi trung bình, còn PSSD cho thấy mức độ phân tán kích thước giữa các đối tượng giảm. Do các chỉ số này đều có quan hệ nghịch với $LST_{max}$ ở cả hai thời điểm nên kết quả cho thấy những xã/phường có đặc trưng mảng xanh với giá trị MPS, MPE và PSSD thấp hơn thường đi kèm với $LST_{max}$ cao hơn. Tuy nhiên, đây là quan hệ giữa các đơn vị hành chính tại từng thời điểm, không phải mức tăng nhiệt trực tiếp do chuyển đổi mỗi hecta mảng xanh; vì trung bình $LST_{max}$ giữa hai năm gần như không đổi. Kết quả còn bị giới hạn bởi một ảnh LST cho mỗi năm, khác biệt mùa giữa hai ảnh, các đối tượng mảng xanh tiếp giáp chưa được gộp và bị cắt theo ranh giới xã/phường, và các chỉ số chỉ tính cho lớp mảng xanh mà chưa xét mặt nước (sông, kênh rạch), đồng thời phần dư của một số mô hình, đặc biệt OLS năm 2005, vẫn còn tự tương quan không gian (Bảng 11).

### 3.5. Ứng dụng trong quy hoạch và quản lý cảnh quan thành phố Cần Thơ theo hướng đô thị sinh thái

Kết quả nghiên cứu cho thấy qua hai mốc thời gian 2005 và 2025, quá trình gia tăng mật độ xây

dựng tại thành phố Cần Thơ diễn ra đồng thời với sự suy giảm diện tích và thay đổi đặc trưng của các đối tượng mảng xanh. Mật độ xây dựng trung bình của 85 xã/phường tăng từ 17,99% lên 35,82%, trong khi diện tích mảng xanh trung bình trên các đơn vị được so sánh giảm 11,17%. Bên cạnh đó, MPS giảm 62,75% và MPE giảm 44,83%, phản ánh sự giảm về diện tích trung bình và chu vi trung bình của các đối tượng mảng xanh trên kết quả phân loại.

Kết quả hồi quy cũng cho thấy MPS, MPE và PSSD có quan hệ nghịch với $LST_{max}$ ở cả hai thời điểm. Tuy nhiên, các chỉ số này phản ánh những khía cạnh khác nhau của cấu trúc mảng xanh: MPS thể hiện diện tích trung bình của đối tượng, MPE phản ánh chu vi trung bình, còn PSSD biểu thị mức độ phân tán về kích thước giữa các đối tượng. Vì vậy, các kết quả không nên được diễn giải theo hướng đơn giản rằng đối tượng mảng xanh càng lớn thì nhiệt độ bề mặt càng thấp, mà kết quả cho thấy đặc trưng về kích thước, chu vi và sự phân bố kích thước của các đối tượng mảng xanh đều có liên hệ với $LST_{max}$ ở cấp xã/phường.

Từ góc độ quản lý, các chỉ số cảnh quan có thể được sử dụng kết hợp với bản đồ LST như nguồn thông tin bổ trợ để nhận diện những khu vực cần ưu tiên theo dõi và rà soát mảng xanh. Các địa phương có mức suy giảm diện tích mảng xanh đáng chú ý như Phước Thới, Phú Thứ, Long Hòa và Hưng Thạnh cần được quan tâm trong quá trình cập nhật hiện trạng lớp phủ và theo dõi biến động cảnh quan. Đồng thời, MPS, MPE và PSSD có thể hỗ trợ mô tả sự khác biệt về đặc trưng không gian của mảng xanh giữa các xã/phường, qua đó bổ sung thông tin cho công tác quản lý cảnh quan và định hướng phát triển đô thị sinh thái.

Tuy nhiên, các hàm ý trên chỉ mang tính định hướng do kết quả nghiên cứu phản ánh mối liên hệ tại hai thời điểm quan sát, dựa trên một ảnh LST cho mỗi năm và các chỉ số được tính từ các đối tượng phân đoạn chưa gộp và được cắt theo ranh giới xã/phường. Do đó, kết quả nghiên cứu chưa đủ cơ sở để xác lập quan hệ nhân quả hoặc xác định các ngưỡng cụ thể về diện tích, kích thước hay khoảng cách mảng xanh cần thiết để tạo hiệu quả giảm nhiệt. Trong các nghiên cứu tiếp theo, chuỗi ảnh có thời điểm thu nhận tương đồng theo mùa cần bổ sung, diện tích mảng xanh liên tục và khoảng cách đến mảng xanh cần được phân tích; đồng thời, các yếu tố lớp phủ khác cần được xem xét thêm trước khi đề xuất giải pháp bố trí mảng xanh cụ thể.

## 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết quả nghiên cứu cho thấy qua hai mốc thời gian 2005 và 2025, quá trình đô thị hóa tại Cần Thơ diễn ra đồng thời với những thay đổi rõ rệt về cấu trúc mảng xanh ở cấp xã/phường. Bên cạnh xu hướng gia tăng diện tích xây dựng và suy giảm diện tích mảng xanh, số lượng đối tượng mảng xanh tăng trong khi kích thước trung bình giảm, cho thấy các đối tượng mảng xanh trên kết quả phân loại có xu hướng nhiều hơn về số lượng và nhỏ hơn về kích thước; do được cắt theo ranh giới xã/phường nên kết quả này chưa phải bằng chứng trực tiếp về sự phân mảnh thực tế của không gian xanh. Mức độ biến động không đồng đều giữa các địa phương, trong đó Phước Thới, Phú Thứ, Long Hòa và Hưng Thạnh là những khu vực ghi nhận mức suy giảm diện tích mảng xanh đáng chú ý. Những kết quả này cho thấy biến động mảng xanh tại Cần Thơ không chỉ thể hiện ở thay đổi về tổng diện tích mà còn ở sự thay đổi về đặc trưng không gian của các đối tượng mảng xanh.

Kết quả hồi quy cho thấy một số đặc trưng của mảng xanh có mối liên hệ ổn định với $LST_{max}$ ở cả hai thời điểm nghiên cứu. Trong đó, MPS thể hiện mối liên hệ rõ nhất, với xu hướng các xã/phường có diện tích trung bình của đối tượng mảng xanh lớn hơn thường có $LST_{max}$ thấp hơn. PSSD, MPE và AWMSI cũng duy trì quan hệ nghịch với $LST_{max}$, nhưng các chỉ số này phản ánh những khía cạnh khác nhau của cấu trúc cảnh quan và có thể đồng thời chịu ảnh hưởng của kích thước đối tượng, do đó cần thận trọng khi diễn giải riêng tác động của hình dạng hay đường biên. Riêng MSI chưa cho thấy chiều liên hệ rõ ràng vào năm 2025. Nhìn chung, mức độ giải thích của các chỉ số cảnh quan đối với biến thiên $LST_{max}$ thấp hơn ở năm 2025 so với năm 2005, cho thấy mối liên hệ giữa cấu trúc mảng xanh và môi trường nhiệt có thể thay đổi theo thời điểm, điều kiện không gian và mục đích sử dụng đất.

Trong nghiên cứu này, một ảnh Landsat được sử dụng cho mỗi thời điểm, trong đó ảnh năm 2005 và năm 2025 được thu nhận ở hai mùa khác nhau. Vì vậy, LST trong nghiên cứu phản ánh trạng thái nhiệt bề mặt tại thời điểm vệ tinh đi qua và có thể chịu ảnh hưởng của điều kiện thời tiết, độ ẩm bề mặt và trạng thái thảm thực vật. Do đó, các kết quả được diễn giải chủ yếu theo mối liên hệ không gian giữa đặc trưng mảng xanh và $LST_{max}$ tại từng thời điểm, không đại diện cho xu thế nhiệt dài hạn. Bên cạnh đó, các mô hình được xây dựng riêng cho từng chỉ số cảnh quan nên kết quả phản ánh mối liên hệ ở cấp xã/phường, chưa xác định được ảnh hưởng độc lập của từng đặc trưng mảng xanh.

Kết quả phân loại và các chỉ số cảnh quan còn chịu ảnh hưởng của sự khác biệt về mùa chụp, cảm biến, ngưỡng phân loại và quá trình phân đoạn ảnh giữa hai thời điểm. Do các đối tượng liền kề cùng lớp chưa được gộp và các đối tượng được cắt theo ranh giới xã/phường nên số lượng, kích thước và hình dạng đối tượng có thể chưa phản ánh đầy đủ cấu trúc mảng xanh liên tục trong thực tế. Trong các nghiên cứu tiếp theo, ảnh có điều kiện mùa tương đồng cần được ưu tiên sử dụng, quy trình tiền xử lý và kiểm tra tính ổn định của quy tắc phân loại cần được thống nhất; đồng thời, các đối tượng liền kề cần được gộp trước khi tính toán lại chỉ số cảnh quan. Việc so sánh giữa các thời điểm cũng nên được thực hiện trên cùng hệ thống ranh giới không gian và kết hợp bản đồ chuyển đổi lớp phủ để xác định rõ vị trí, diện tích và dạng biến động của mảng xanh. Ngoài ra, kiểm định Moran's I cho thấy phần dư của các mô hình OLS năm 2005 còn tự tương quan không gian có ý nghĩa thống kê, và phần dư GWR năm 2005 của MedPS, MPE và MSI cũng còn sự tự tương quan không gian; do đó, khoảng tin cậy và mức ý nghĩa của các hệ số tương ứng cần được diễn giải thận trọng. Tuy nhiên, năm 2025, phần dư của tất cả mô hình GWR không còn tự tương quan không gian có ý nghĩa thống kê.

Các nghiên cứu tiếp theo, chuỗi ảnh có điều kiện mùa tương đồng cần được mở rộng, dữ liệu khí tượng và quan trắc nhiệt độ bề mặt cần được kết hợp để kiểm chứng LST; đồng thời, các vùng mảng xanh liên tục cần được phân tích sau khi gộp các đối tượng liền kề và xây dựng mô hình đa biến có xem xét phụ thuộc không gian. Bên cạnh đó, việc bổ sung phân tích theo khoảng cách đến mảng xanh sẽ giúp làm rõ hơn vai trò của các đặc trưng cảnh quan và tăng cơ sở định lượng cho các giải pháp quy hoạch, bố trí và duy trì mảng xanh phù hợp với điều kiện đô thị Cần Thơ.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO


Artis, D. A., & Carnahan, W. H. (1982). Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote sensing of Environment*, *12*(4), 313-329. https://doi.org/10.1016/0034-4257(82)90043-8

Benjamini, Y., & Yekutieli, D. (2001). The control of the false discovery rate in multiple testing under dependency. *The Annals of Statistics*, *29*(4), 1165–1188. https://doi.org/10.1214/aos/1013699998

Comber, A., Brunsdon, C., Charlton, M., Dong, G., Harris, R., Lu, B., Lü, Y., Murakami, D., Nakaya, T., Wang, Y., & Harris, P. (2023). A route map for successful applications of geographically weighted regression. *Geographical Analysis*, *55*(1), 155–178. https://doi.org/10.1111/gean.12316

Cliff, A. D., & Ord, J. K. (1972). Testing for spatial autocorrelation among regression residuals. *Geographical Analysis*, *4*(3), 267–284. https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1972.tb00475.x

Phan, D. K., Tran, H. G., & Nguyen, D. K. (2025). Analyzing the Dynamics of Green Space Structure in Can Tho City (2005–2020) Using Remote Sensing and Landscape Indicators. In: Boonpook, W., Lin, Z., Downes, N.K., Truong, Q.C. (eds.). *Applied Geography and Geoinformatics for Sustainable Development. ICGGS 2023*. Springer Geography. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-84308-2_13

Du, S., Xiong, Z., Wang, Y.-C., & Guo, L. (2016). Quantifying the multilevel effects of landscape composition and configuration on land surface temperature. *Remote Sensing of Environment*, 178, 84–92. https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.063

Ferit. (2019). *Patch Analyst*. https://www.ferit.ca/patchanalyst/Patch5_2_Install.html

Li, Z.-L., Tang, B.-H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I. F., & Sobrino, J. A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131, 14–37. https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008

McGarigal, K. & Marks, B. J. (1995). *Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Pacific Northwest Research Station. 122 p.

MacKinnon, J. G., & White, H. (1985). Some heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimators with improved finite sample properties. *Journal of Econometrics*, *29*(3), 305–325. https://doi.org/10.1016/0304-4076(85)90158-7

Moran, P. A. P. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, *37*(1–2), 17–23. https://doi.org/10.1093/biomet/37.1-2.17

National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2026). *Land surface temperature*. NASA Science. https://science.nasa.gov/earth/earth-

observatory/global-maps/land-surface-temperature/

Qian, Y., Li, Z., Zhou, W., & Chen, Y. (2019). Quantifying spatial pattern of urban greenspace from a gradient perspective of built-up age. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, *111*, 78-85. https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.05.001

Ren, H., Liu, R., Qin, Q., Fan, W., Yu, L., & Du, C. (2017). Mapping finer-resolution land surface emissivity using Landsat images in China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *122*(13), 6764–6781. https://doi.org/10.1002/2017JD026910

Nguyen, S. T., & Bui, T. X. (2018). Decadal assessment of urban sprawl and its effects on local temperature using Landsat data in Can Tho city, Vietnam. *Sustainable Cities and Society*, *36*, 81-91. https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.010

Thủ tướng Chính phủ. (2025). *Quyết định về việc ban hành Danh mục công nghệ chiến lược và sản phẩm công nghệ chiến lược* (Số 1131/QĐ-TTg).

Thủ tướng Chính phủ. (2026). *Quyết định về việc ban hành Danh mục công nghệ chiến lược và sản phẩm công nghệ chiến lược* (Số 21/2026/QĐ-TTg).

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.

U.S. Geological Survey (USGS). (2024). *Using the USGS Landsat Level-1 Data Product*. https://www.usgs.gov/landsat-missions/using-usgs-landsat-level-1-data-product

Vân, T. T. (2006). Ứng dụng viễn thám nhiệt khảo sát đặc trưng nhiệt độ bề mặt đô thị với sự phân bố các kiểu thảm phủ ở thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ*, tập, 8, 70-74.

Xu, H. (2010). Analysis of impervious surface and its impact on urban heat environment using the Normalized Difference Impervious Surface Index (NDISI). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, *76*(5), 557–565. https://doi.org/10.14358/PERS.76.5.557

Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, *24*(3), 583–594. https://doi.org/10.1080/01431160304987

Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., Frolking, S., Yao, R., Qiao, Z., & Sobrino, J. A. (2019). Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives. *Remote Sensing*, *11*(1), 48. https://doi.org/10.3390/rs11010048