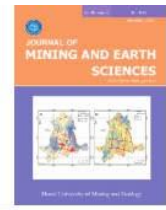




Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <https://jmes.humg.edu.vn>



Quantifying the influence of local climate zones on diurnal and nocturnal land surface temperature variations: a case study in Ho Chi Minh City



Hanh Cao Nguyen ¹, Binh An Nguyen ^{1,*}, Ha Thu Thi Le ², Minh Nhut Ho ², Thao Phuong Thi Nguyen ¹, An Ngoc Nguyen ¹

¹ Department of Geography and Remote Sensing, Institute of Life Sciences, Vietnam Academy of Science and Technology, Hochiminh, Vietnam

² Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 09th Jan. 2025

Revised 14th Apr. 2025

Accepted 29th Apr. 2025

Keywords:

Local climate zone,
Remote sensing,
Time series analysis,
Urban land surface
temperature.

ABSTRACT

Earth observation satellite missions are providing an unprecedented source of land surface temperature with diverse spatial and temporal resolutions over decades, facilitating the accurate modeling and interpretation of environmental interactions across spatiotemporal scales. This study represents a pioneering effort to quantify the intricate interplay between diurnal/nocturnal land surface temperature products and local climate zones within Vietnam, utilizing Ho Chi Minh City as a case study. The Google Earth Engine cloud computing platform was utilized to access and process diurnal and nocturnal land surface temperature data from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Focusing on the hottest period from 2022 - 2024, we elucidate typical monthly land surface temperature, identifying the hottest and coolest months, accompanied by maximum and minimum land surface temperature following consistent spatial patterns. By applying harmonic regression models to daily time series data for each local climate zone, our results pronounced seasonal cycles, alongside a noticeable trend of escalating nighttime land surface temperature, ranging from $1.5 \div 2^{\circ}\text{C}$, over the three-year examined period. Furthermore, maximum daytime and nighttime land surface temperatures were recorded in areas characterized by narrow landscapes, while exhibiting diminishing with increasing open architecture or lower building densities, along with the significant role in temperature-regulating by the Can Gio mangrove forest situated in the southeastern. These findings contribute significantly to a nuanced understanding of urban climate dynamics and the intricate interaction between land surface temperature variations and urban architecture.

Copyright © 2025 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: nabinh@ils.vast.vn

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(3).01



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <https://tapchi.humg.edu.vn>



Định lượng tác động của phân vùng khí hậu địa phương đối với thay đổi nhiệt độ bề mặt ngày và đêm: nghiên cứu điển hình tại thành phố Hồ Chí Minh

Nguyễn Cao Hanh¹, Nguyễn An Bình^{1,*}, Lê Thị Thu Hà², Hồ Nhật Minh², Giang Thị Phương Thảo¹, Nguyễn Ngọc Ân¹

¹ Phòng Địa lý – Viễn thám, Viện Khoa học sự sống, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

² Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 09/01/2025

Sửa xong 14/4/2025

Chấp nhận đăng 29/4/2025

Từ khóa:

Nhiệt độ bề mặt đô thị,
Phân tích chuỗi thời gian,
Phân vùng khí hậu địa
phương,
Viễn thám.

TÓM TẮT

Các vệ tinh quan sát trái đất đã cung cấp một nguồn dữ liệu nhiệt độ bề mặt lớn chưa từng có được lưu trữ hàng chục năm qua với đa độ phân giải không gian và thời gian, tạo điều kiện cho việc mô hình hóa và diễn giải các tương tác với môi trường trên quy mô không gian thời gian một cách chính xác. Nghiên cứu này lần đầu tiên định lượng tương tác giữa nhiệt độ bề mặt ngày và đêm với các loại hình phân vùng khí hậu địa phương tại Việt Nam, lựa chọn thành phố Hồ Chí Minh làm khu vực nghiên cứu điển hình. Giải pháp điện toán đám mây Google Earth Engine đã được sử dụng để truy xuất và xử lý dữ liệu nhiệt độ bề mặt ngày và đêm từ ảnh Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Phân tích giai đoạn 2022 - 2024 được coi là nóng nhất trong lịch sử cho phép xác định mức nhiệt điển hình theo từng tháng, các tháng nóng nhất và mát nhất, nhiệt độ cực đại và cực tiểu theo từng phân vùng không gian một cách nhất quán. Mô hình hồi quy điều hòa Harmonic áp dụng trên chuỗi dữ liệu hàng ngày theo từng loại hình khí hậu địa phương thể hiện rõ ràng chu kỳ mùa, đi cùng với xu thế tăng nhiệt ban đêm từ $1.5 \div 2^{\circ}\text{C}$ trong 3 năm qua. Thêm vào đó, nhiệt độ bề mặt ngày và đêm ghi nhận cao nhất đối với các khu vực cảnh quan chặt hẹp, trong khi giảm dần với khu vực kiến trúc mở hoặc mật độ xây dựng thưa, đi cùng với vai trò điều hòa nhiệt độ của rừng ngập mặn Cần Giờ phía Đông Nam thành phố. Những kết quả này góp phần tăng cường hiểu biết sâu sắc về động lực khí hậu đô thị và sự tương tác phức tạp giữa nhiệt độ bề mặt với các loại hình kiến trúc đô thị khác nhau.

© 2025 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

*Tác giả liên hệ

E - mail: nabinh@ils.vast.vn

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(3).01

1. Mở đầu

Giai đoạn 3 năm trở lại đây ghi nhận sự nóng lên bất thường của bề mặt trái đất cũng như các hiện tượng nhiệt độ cao kỷ lục trên khắp toàn cầu. Mùa hè năm 2023 được xác định là giai đoạn nóng nhất kể từ khi nhiệt độ trung bình toàn cầu được Cơ quan Hàng không và Vũ trụ Hoa Kỳ (NASA) ghi nhận vào năm 1880 (Karen Fox và nnk., 2023), và tín hiệu bất thường này dường như vẫn chưa có dấu hiệu dừng lại (Tollefson, 2023). Do đó, giám sát nhiệt độ trên quy mô khu vực, lục địa, và toàn cầu liên tục theo thời gian tiếp tục đóng vai trò quan trọng phục vụ diễn giải các hiện tượng khí hậu cực đoan, cũng như phản ứng và động lực học của các sinh vật, hệ sinh thái và con người (Li và nnk., 2013; Pu và Bonafoni, 2023).

Bằng các quan sát từ bộ cảm hồng ngoại nhiệt đặt trên vệ tinh, các sản phẩm viễn thám nhiệt độ cho phép giám sát trên quy mô không gian - thời gian với tần suất dày đặc, tạo điều kiện để mô hình hóa chu trình khí hậu trái đất cũng như hướng tới dự báo tương lai một cách chính xác. Lưu ý rằng, công nghệ viễn thám hiện thời cho phép quan sát hai yếu tố nhiệt độ, bao gồm nhiệt độ bề mặt (land surface temperature), và nhiệt độ không khí (air temperature) hay còn gọi là nhiệt độ gần bề mặt (near surface temperature). Các sản phẩm nhiệt độ bề mặt thường được sử dụng nhiều hơn do tính sẵn có từ các quan sát vệ tinh so với nhiệt độ không khí, cũng như vai trò quan trọng khi đánh giá tác động với các loại hình lớp phủ bề mặt (Li và nnk., 2013; Neinavaz và nnk., 2021). Thêm vào đó, nhiệt độ bề mặt cũng được ghi nhận là một trong 55 biến số khí hậu thiết yếu (Essential Climate Variables) của hệ thống quan sát khí hậu toàn cầu (Global Climate Observing System) do tổ chức khí tượng thế giới (World Meteorological Organization) xác lập.

Trong số các loại hình dữ liệu phổ biến hiện nay, các sản phẩm từ vệ tinh Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) có khả năng theo dõi liên tục hàng ngày với độ phân giải không gian trung bình (1 km). Các tư liệu viễn thám hồng ngoại nhiệt có tần suất quan sát thấp hơn nhưng cung cấp độ phân giải không gian cao hơn như Landsat (100 m), ASTER (90 m). Các vệ tinh mới được phóng gần đây như Sentinel 3A (2016) và 3B (2018) với máy đo nhiệt độ bề mặt biển và đất liền (SLSTR) có độ phân giải gốc 1 km. Thêm vào đó,

trong khi các sản phẩm nhiệt độ ban ngày được quan tâm hơn cả, các sản phẩm nhiệt độ ban đêm vẫn chưa thực sự được quan tâm nghiên cứu. Lý do cơ bản đến từ 2 vấn đề: (1) các sản phẩm ban ngày có nhiều ý nghĩa hơn trong việc nghiên cứu và luận giải các hiện tượng có liên quan đến năng lượng bức xạ của mặt trời, lớp phủ và địa hình, (2) số lượng các bộ cảm phục vụ cho giám sát nhiệt độ bề mặt ban đêm thực sự ít ỏi khi so sánh với các bộ cảm ban ngày (Qì và nnk., 2020; Yoo và nnk., 2022). Tuy nhiên, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng, vai trò của việc hạ nhiệt vào ban đêm cũng như chênh lệch nhiệt độ giữa ngày và đêm là một trong những yếu tố có liên quan mật thiết đến hiện tượng đảo nhiệt đô thị, sóng nhiệt, cũng như tác động theo từng phân vùng khí hậu địa phương cụ thể (He và nnk., 2021; Heusinkveld và nnk., 2014; Wang và nnk., 2019; Wicki và nnk., 2018).

Năm 2012, hệ thống phân vùng khí hậu địa phương (Local climate zone) được giới thiệu lần đầu tiên ra toàn thế giới với mục đích bù đắp vào phần thiếu sót của hệ thống phân vùng khí hậu thông thường ở quy mô cấp lục địa và toàn cầu có độ chi tiết không phù hợp khi xem xét đối với các khu vực nhỏ (Stewart và Oke, 2012). Hệ thống phân vùng khí hậu địa phương được phân loại dựa trên nguyên tắc các khu vực có đặc điểm tương tự về lớp phủ bề mặt, thông tin dân cư, kiến trúc công trình và vật liệu xây dựng. Mục đích cuối cùng của hệ thống này là cung cấp một khuôn khổ tiêu chuẩn phục vụ đo lường cho chủ đề nghiên cứu đảo nhiệt đô thị (Urban Heat Island), hiện đang rất được quan tâm trong bối cảnh nóng lên toàn cầu, bao gồm cả định lượng cường độ đảo nhiệt đô thị và chỉ số giảm nhiệt (Aslam và Rana, 2022; Huang và nnk., 2023; Stewart và Oke, 2012). Với sự ra đời của hệ thống phân vùng khí hậu địa phương, nghiên cứu về diễn biến nhiệt độ cũng như đảo nhiệt đô thị dựa trên phân bố không gian các loại hình kiến trúc cụ thể đã giải quyết được nhiều bài toán về chính sách quy hoạch và phát triển các công trình trong thành phố. Các nghiên cứu đo lường mức độ đảo nhiệt đô thị theo các phân vùng khí hậu địa phương đã được thực hiện tại 50 thành phố trên toàn thế giới (Bechtel và nnk., 2019).

Tại Việt Nam, hiểu biết khoa học về các phân vùng khí hậu địa phương cho đến nay thực sự vẫn còn hạn chế và chưa được thực hiện nghiên cứu. Trong khi đó, liên quan đến chủ đề viễn thám nhiệt

độ bề mặt, một số nghiên cứu đã được thực hiện phục vụ mục đích đánh giá diễn biến, phân tích tương tác với lớp phủ, xác định đảo nhiệt đô thị (Lê và nnk., 2020, 2021; Trịnh và nnk., 2017). Phương pháp viễn thám nhiệt bắt đầu được nghiên cứu thử nghiệm tại Việt Nam từ cách đây khoảng 15÷20 năm với sự sẵn có của một số tư liệu ảnh vệ tinh như NOAA, MODIS, Landsat, và ASTER. Các nghiên cứu tập trung vào việc ước tính nhiệt độ bề mặt sử dụng giá trị hằng số độ phát xạ trên toàn cảnh ảnh viễn thám (Lê và Nguyễn, 2006; 2007), hoặc sử dụng nguồn số liệu độ phát xạ có sẵn từ các nghiên cứu trước đó (Ho và nnk., 2007; Tran và Yasuoka, 2002b, 2002a). Tư liệu ảnh viễn thám Sentinel - 3 SLSTR đã được sử dụng để tính toán nhiệt độ ban ngày và ban đêm tại thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM), từ đó chỉ ra được mối quan hệ giữa hiện tượng đảo nhiệt đô thị và mật độ dân số (Lê và nnk., 2021). Quy trình chi tiết hóa (downscaling) và thuật toán tái cấu trúc dữ liệu đã được áp dụng để hoàn thiện các sản phẩm nhiệt độ ngày và đêm từ ảnh MODIS vốn bị ảnh hưởng bởi mây che phủ dưới điều kiện nhiệt đới gió mùa điển hình tại Việt Nam (Hoa và nnk., 2025). Cho đến nay, các bước tính toán và xử lý dữ liệu nhiệt độ ước tính từ ảnh viễn thám gần như đã được hoàn thiện thông qua một quy trình khép kín bởi nhà sản xuất, cho phép cung cấp tới người dùng các sản phẩm cuối sẵn sàng cho các mục đích phân tích khác nhau.

Tiếp cận các luận điểm trên, nghiên cứu này hướng tới việc xác định xu hướng nhiệt độ bề mặt tại đô thị phát triển nhất phía Nam Việt Nam hiện nay, TP.HCM, trong giai đoạn nóng nhất lịch sử toàn cầu 2022 - 2024. Lần đầu tiên, các loại hình phân vùng khí hậu địa phương được đưa vào để định lượng mức độ tương tác và biến động nhiệt độ bề mặt bao gồm cả ban ngày và ban đêm ước tính từ ảnh viễn thám MODIS. Bằng việc quan sát các biến thể không gian - thời gian nhiệt độ bề mặt trung bình tháng, ngày và đêm, giai đoạn nóng nhất và mát nhất, giá trị nhiệt độ bề mặt cực tiểu và cực đại, chuỗi dữ liệu điều hòa cho từng loại hình phân vùng khí hậu địa phương, nghiên cứu mở rộng thảo luận các vấn đề liên quan đến tính khả dụng của giải pháp giám sát nhiệt độ bề mặt bằng công nghệ viễn thám đối với khu vực có nền khí hậu nhiệt đới gió mùa, trong đó áp dụng chi tiết cho các phân vùng khí hậu địa phương. Những phát hiện này góp phần làm sáng tỏ tương tác giữa

nhiệt độ bề mặt và các loại hình kiến trúc cụ thể của đô thị, nâng cao hiểu biết về động lực khí hậu đô thị trong bối cảnh nóng lên toàn cầu hiện nay.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1 Khu vực nghiên cứu

TP.HCM là một trong hai trung tâm kinh tế, văn hóa, chính trị, giáo dục lớn nhất của Việt Nam, với diện tích khoảng 2.093,7 km², có vị trí địa lý nằm trong khoảng từ 10°20'÷11°10' vĩ độ bắc và từ 106°20'÷107°00' kinh độ đông. Phân vùng địa lý của TP.HCM trải dài theo hướng Tây Bắc - Đông Nam, là cầu nối giữa miền Đông Nam bộ và đồng bằng sông Cửu Long. Địa hình TP.HCM tương đối bằng phẳng, theo hướng thấp dần từ Bắc xuống Nam, từ Đông sang Tây. Vùng cao nhất có độ cao trung bình khoảng 10÷25 m, nằm ở phía Bắc - Đông Bắc và một phần ở phía Tây - Tây Bắc. Vùng trung bình, có độ cao trung bình từ 5÷10 m, phân bố ở khu vực trung tâm thành phố. Vùng thấp trũng, có độ cao trung bình trên dưới 1m, cao nhất là 2 m và thấp nhất là 0,5m, phân bố ở phía Nam - Tây Nam và Đông Nam thành phố. Khí hậu ở TP.HCM mang đặc trưng của khí hậu nhiệt đới gió mùa, được chia làm hai mùa rõ rệt bao gồm mùa mưa thường từ tháng 5 đến tháng 11 và mùa khô từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau. TP.HCM cũng là một trong những thành phố có số giờ nắng trung bình hàng năm cao nhất, từ 2.200÷2.400 giờ.

Thành phố gồm nhiều loại hình lớp phủ với kiến trúc xây dựng khác nhau, mật độ quy hoạch dày đặc từ khu vực trung tâm mở rộng ra toàn vùng. Cùng với đó là sự phát triển của các tỉnh thành lân cận với các mức độ đô thị khác nhau, tác động trực tiếp đến khí hậu của TP.HCM, bao gồm sự phát triển các khu công nghiệp ở tỉnh Bình Dương (phía Bắc) và tỉnh Đồng Nai (phía Đông), phát triển đô thị tại Bà Rịa - Vũng Tàu (phía Đông Nam), canh tác nông nghiệp tại các tỉnh Tây Ninh, Long An, Tiền Giang (phía Tây và Tây Nam), cũng như hệ sinh thái rừng ngập mặn Cần Giờ trải dài trên khoảng 15 km đường bờ biển (phía Nam).

2.2. Dữ liệu

Nguồn dữ liệu với các sản phẩm được ước tính từ ảnh viễn thám được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm nhiệt độ bề mặt và phân vùng khí hậu địa phương. Các bản đồ nhiệt độ bề mặt ban

ngày và ban đêm được lấy từ các sản phẩm số hiệu MOD11A1 V6.1 (1 km) thuộc bộ dữ liệu nhiệt độ bề mặt giám sát hàng ngày từ cảm biến MODIS đặt trên vệ tinh Terra. Tổng số 2042 sản phẩm được sử dụng để phân tích trong giai đoạn từ 1/2022 đến tháng 10/2024. Dữ liệu phân vùng khí hậu địa phương toàn cầu được lấy về theo nghiên cứu của Demuzere và nnk., (2022). Hệ thống phân vùng khí hậu địa phương bao gồm 17 loại hình tiêu chuẩn, trong đó 10 loại hình dành cho công trình xây dựng và 7 loại hình dành cho thảm thực vật (Stewart & Oke, 2012). Bản đồ phân vùng khí hậu địa phương được xử lý cho khu vực nghiên cứu TP.HCM, độ phân giải 100 m, sau đó tiến hành kiểm định và chuẩn hóa lại trên nền bản đồ hiện trạng lớp phủ và ảnh vệ tinh độ phân giải cao (<https://earth.google.com/>) (Hình 1).

2.3. Xử lý tính toán dữ liệu

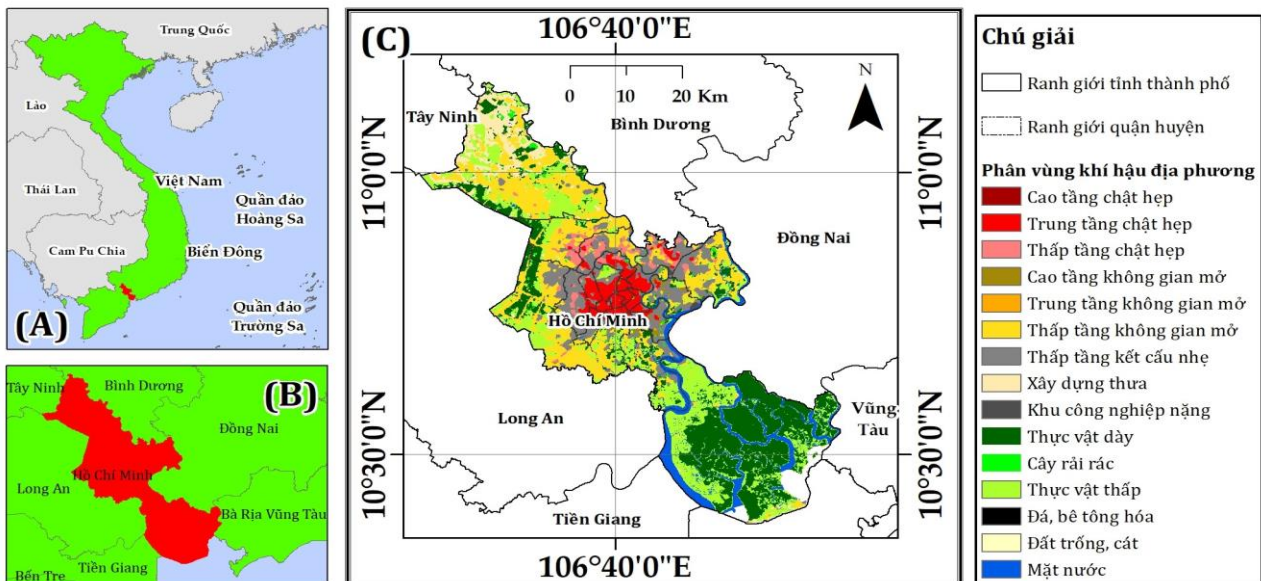
Google Earth Engine (GEE) là nền tảng điện toán đám mây viễn thám đang được sử dụng rộng rãi hiện nay. GEE cho phép người dùng thông qua kết nối Internet thực hiện việc truy xuất, tiền xử lý ảnh và tính toán một cách nhanh chóng. Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng ngôn ngữ JavaScript lập trình trên GEE để thu thập và xử lý các sản phẩm viễn thám phục vụ nghiên cứu.

Tập dữ liệu MODIS các sản phẩm bản đồ nhiệt độ bề mặt trung bình tháng giai đoạn 2022 - 2024 được tổ hợp từ các sản phẩm hàng ngày, bao gồm

cả ban ngày và ban đêm. Bằng cách nắm bắt các giá trị trung bình hàng tháng cho phép giảm thiểu ảnh hưởng của các dị thường nhiệt độ ngắn hạn và cung cấp quan sát ổn định hơn (Liu và nnk., 2023). Các sản phẩm nhiệt độ bề mặt hàng tháng đã được khuyến nghị trong các nghiên cứu về khí hậu (Chen và nnk., 2017) và các phân tích tương tác thảm thực vật (Sun và Kafatos, 2007; Yu và nnk., 2023) do chúng biểu diễn ổn định các biến động nhiệt độ (Liu và nnk., 2023). Ngoài ra, trong nghiên cứu này, các sản phẩm hàng tháng cũng làm giảm tác động của các khoảng trống dữ liệu lớn trong mùa mưa do mây che phủ hạn chế quan sát của bộ cảm vệ tinh. Tiếp theo đó, các tháng nóng nhất và lạnh nhất, nhiệt độ cực đại và cực tiểu trên quy mô không gian toàn vùng TP.HCM được xác định, tạo điều kiện cho việc xác định rõ ràng các khu vực có nhiệt độ cao nhất và thấp nhất, cũng như thời gian bị ảnh hưởng trong năm. Cuối cùng, thông qua việc xác định các loại hình khí hậu địa phương phổ biến tại TP.HCM, các loại hình này được lấy mẫu nhiệt độ bề mặt theo các sản phẩm ngày/đêm nhằm mục đích phân tích mức độ tương tác của từng loại hình cụ thể với thay đổi nhiệt độ bề mặt trong giai đoạn quan sát.

2.4. Phân tích xu hướng

Một trong những thách thức của nghiên cứu là sự thay đổi nhiệt độ bề mặt giữa các thời điểm trong năm cũng như ảnh hưởng của mùa mưa và



Hình 1. Vị trí địa lý của đô thị TP.HCM trên lãnh thổ Việt Nam (A), trong không gian vùng chuyển tiếp giữa Đông Nam Bộ - Tây Nam Bộ (B), và phân vùng khí hậu địa phương (C).

mùa khô trên nền khí hậu nhiệt đới gió mùa đặc trưng tại khu vực nghiên cứu. Để hỗ trợ cho việc nắm bắt biên độ dao động theo mùa cũng như xác định xu thế của chuỗi dữ liệu quan sát trong vòng 3 năm qua, mô hình điều hòa (Harmonic) được sử dụng (Jakubauskas & Legates, 2000). Đặc điểm chính của mô hình điều hòa trong phân tích chuỗi dữ liệu là cho phép làm mịn chuỗi dữ liệu thông qua việc giảm thiểu các giá trị nhiễu hoặc dị thường (Zhou và nnk, 2022), đồng thời còn cho phép nội suy các giá trị thiếu trong trường hợp sản phẩm từ viễn thám bị mây che phủ hoặc lỗi cảm biến (Zhou và nnk, 2015). Công thức cơ bản được biểu diễn dưới dạng sau:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 t + A \cos(2\pi\omega t - \phi) + \varepsilon^t \quad (1)$$

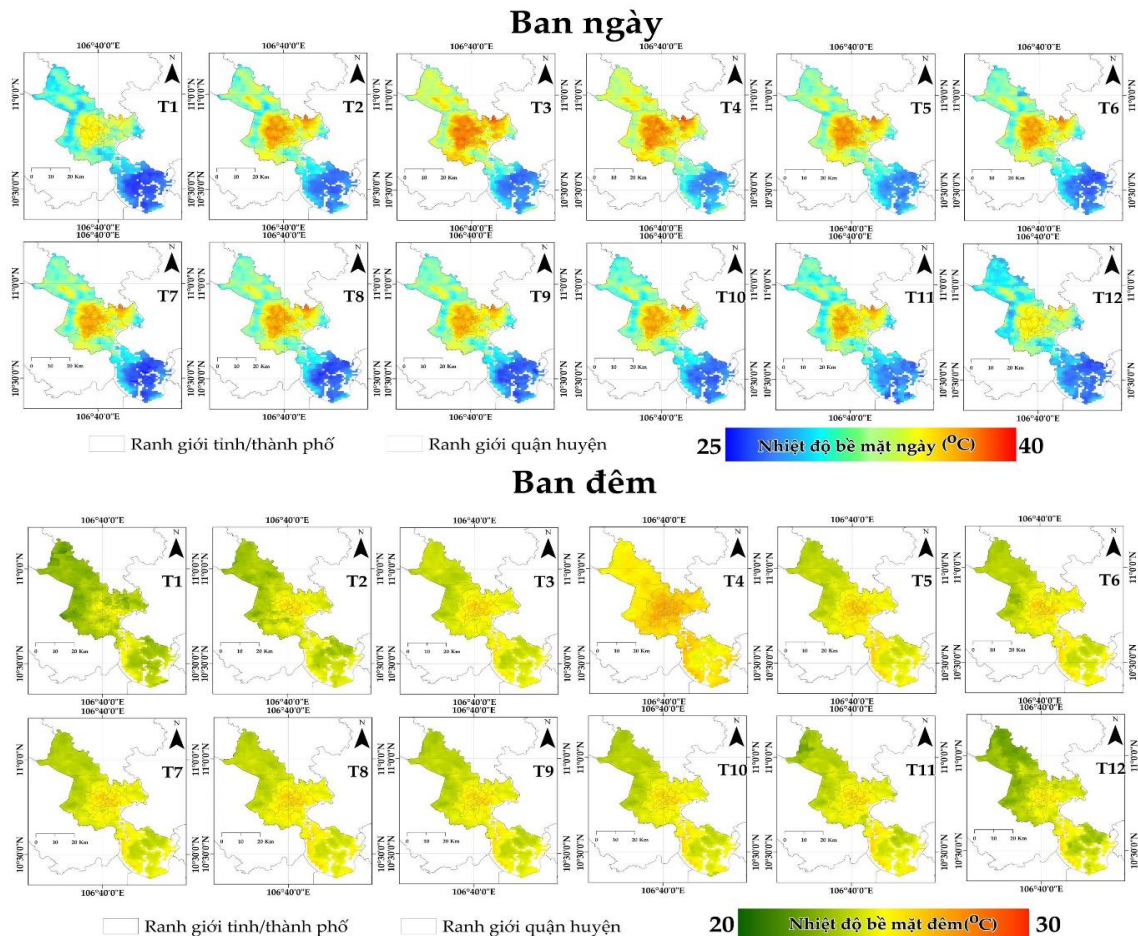
Trong đó: y_t - giá trị nhiệt độ bề mặt tại thời điểm t ; β_0 và β_1 - độ dốc và hệ số chặn của hàm hồi quy tuyến tính của chuỗi dữ liệu; A - biên độ; ω - tần số góc; ϕ - pha; ε^t - sai số.

Trong nghiên cứu này, chuỗi điều hòa cho phép mô hình hóa hiệu quả chu kỳ tuần hoàn của nhiệt độ tương ứng với mùa khô và mùa mưa, xác định thời kỳ bắt đầu tăng và giảm nhiệt, ước tính nhiệt cao nhất và thấp nhất trong giai đoạn quan sát. Thêm vào đó, phân tích đối với từng loại hình khí hậu địa phương cho phép định lượng được mức độ dao động và xu thế cụ thể, cũng như ước tính được sự khác nhau giữa các loại hình.

3. Kết quả

3.1. Phân bố không gian nhiệt độ trung bình tháng, tháng nóng/lạnh

Hình 2 mô tả nhiệt độ bề mặt trung bình tháng giai đoạn 2022 - 2024 ban ngày và ban đêm tại TP.HCM. Với nhiệt độ trung bình ban ngày, khu vực có nhiệt độ cao nhất nằm ở trung tâm của thành phố với nền nhiệt giao động từ 35°C ÷ 40°C.



Hình 2. Bản đồ nhiệt độ bề mặt ban ngày và ban đêm tính trung bình theo tháng cho giai đoạn 2022 - 2024 tại TP. HCM.

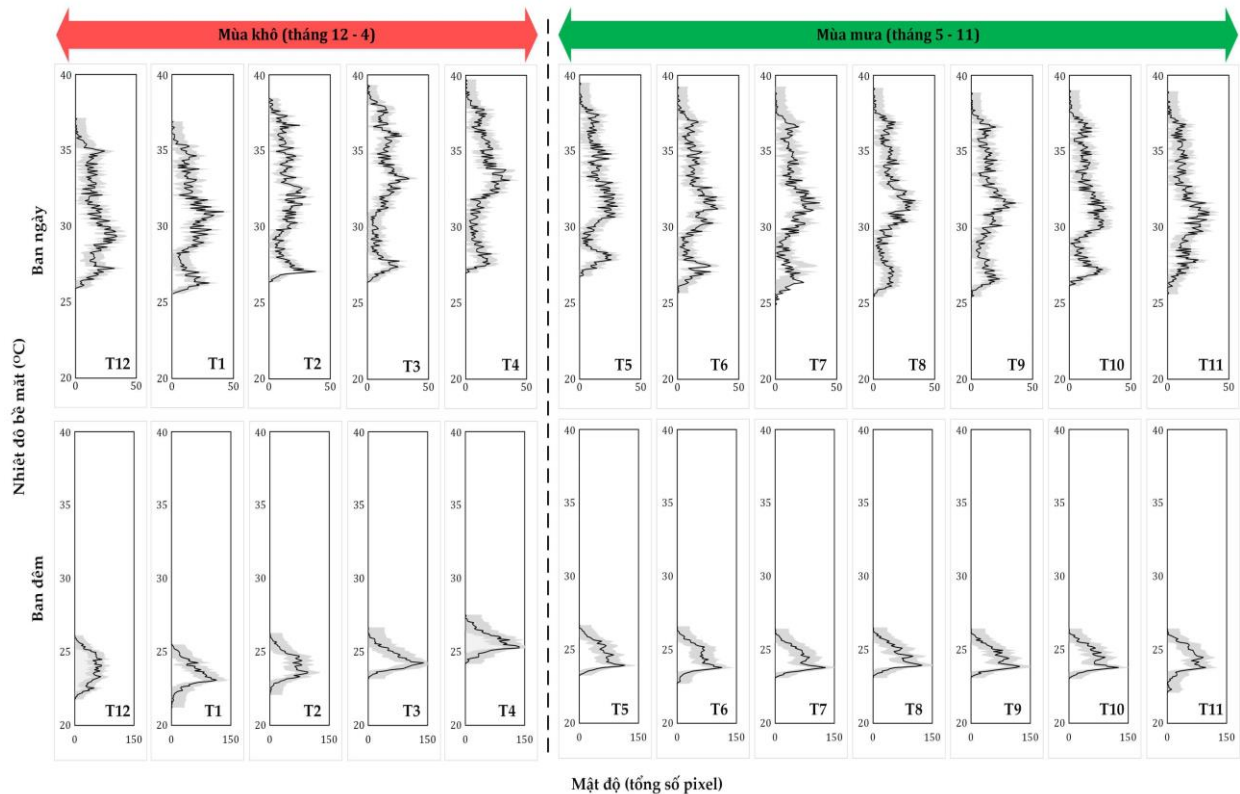
Khu vực có nền nhiệt độ thấp nhất ghi nhận tại khu vực phía Đông Nam thành phố ($25\div 27^{\circ}\text{C}$), trong khi các khu vực còn lại nhiệt độ trung bình tăng từ khoảng thấp nhất 27°C đến cao nhất 35°C tùy thuộc vào thời điểm cụ thể trong năm. Về ban đêm, sự phân bố nhiệt độ có sự khác biệt đối với ban ngày khi mà khu vực phía Tây Bắc lại có nhiệt độ thấp hơn khu vực phía Đông Nam trung bình từ $3\div 5^{\circ}\text{C}$. Cụ thể, nhiệt độ bề mặt ban đêm tính trung bình cho khu vực phía Tây Bắc thay đổi từ $20\div 23^{\circ}\text{C}$, phía Đông Nam trong khoảng $23\div 25^{\circ}\text{C}$, trong khi tại khu vực trung tâm vẫn mang nền nhiệt cao nhất $25\div 30^{\circ}\text{C}$.

Lấy mẫu và tính trung bình toàn vùng, đồ thị phân bố tần suất nhiệt độ bề mặt ban ngày và ban đêm (Hình 3) cho từng tháng chỉ ra rằng thời điểm nóng nhất thường dao động từ tháng 3 đến tháng 5, trong khi giai đoạn khí hậu mát nhất rơi vào tháng 12 hoặc tháng 1 năm sau. Nhiệt độ ban ngày và ban đêm tăng dần từ tháng 12 đến tháng 4 trong mùa khô, sau đó giảm dần khi chuyển sang mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 11. Ngoài ra, mức độ dao động nhiệt ban ngày thường cao hơn so với ban đêm, cho thấy biến động nhiệt độ bề mặt ban ngày đối với các khu vực có nhiều loại hình lớp

phủ và kiến trúc xây dựng khác nhau thường phức tạp hơn.

Xét trên quy mô không gian và thời gian, có thể thấy nhiệt độ bề mặt ban ngày và ban đêm có sự phân bố nhất quán theo mùa cũng như theo các phân vùng địa lý khác nhau. Nền nhiệt độ tại khu vực trung tâm, nơi tập trung đông dân cư với loại hình lớp phủ phổ biến là các công trình xây dựng, ghi nhận các giá trị cao nhất. Trong khi đó khu vực phía Đông Nam có nền nhiệt độ thấp nhất vào ban ngày và trung bình vào ban đêm cho thấy vai trò điều hòa không khí rất lớn của hệ sinh thái rừng ngập mặn Cần Giờ cho thành phố. Khu vực phía Tây Bắc, với mật độ xây dựng thấp hơn có nền nhiệt ngày đêm ở mức trung bình thấp. Trên toàn vùng, chu kỳ chuyển tiếp mùa khô sang mùa mưa đại diện cho nền khí hậu nhiệt đới gió mùa đặc trưng của khu vực nghiên cứu.

Hình 4 diễn giải chi tiết hơn các biến thể không gian về thời điểm nhiệt độ bề mặt đạt mức cao/thấp nhất cho cả ban ngày và ban đêm. Kết quả phân tích chỉ ra rằng mặc dù hầu hết các khu vực trên địa bàn TP.HCM đều có tháng nóng nhất ban ngày là tháng 5, tuy nhiên có một số vùng ven như huyện Bình Chánh, Hóc Môn, Củ Chi và Cần



Hình 3. Đồ thị tần suất thể hiện phân bố nhiệt độ bề mặt trung bình tháng giai đoạn 2022 - 2024 theo mùa khô (tháng 12÷4) và mùa mưa (tháng 5÷11) bao gồm ban ngày và ban đêm tại TP.HCM.

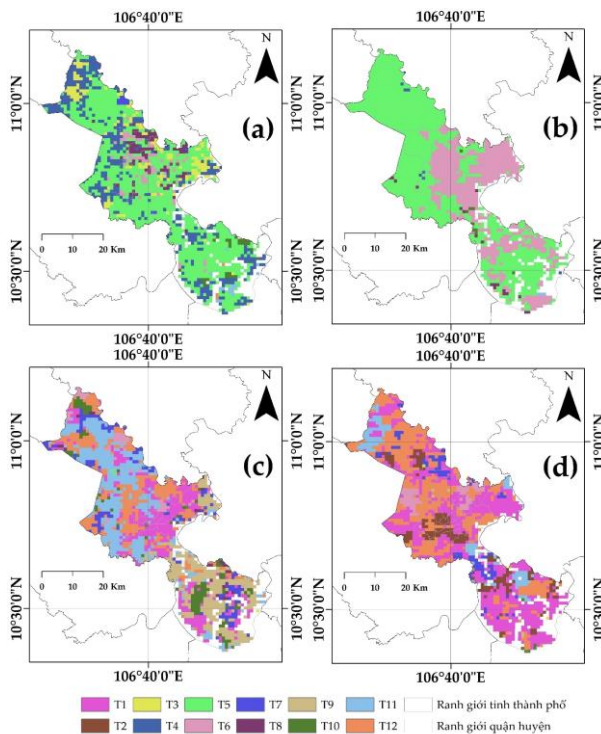
Giờ tháng nóng nhất lại là tháng 3 và 4, trong khi tại vùng lõi trung tâm của thành phố tháng nóng nhất là tháng 2. Đối với giai đoạn nóng nhất về đêm, tháng nóng nhất chủ yếu là tháng 5 ở khu vực vùng ven và tháng 6 ở khu vực trung tâm, một số khu vực nhỏ lẻ là tháng 7 và tháng 8. Ngược lại, phân bố không gian các tháng mát nhất ban ngày và ban đêm cho thấy mức độ ít nhất quán hơn so với các tháng nóng nhất. Cụ thể, tháng mát nhất ban ngày chủ yếu là tháng 1, 11 và 12, cá biệt một số khu vực rừng ngập mặn Cần Giờ nằm ở phía Đông Nam thành phố ghi nhận tháng 9. Trong khi đó, tháng mát nhất ban đêm chủ yếu rơi vào giai đoạn cuối và đầu năm sau.

Hình 5 thể hiện giá trị nhiệt độ bề mặt cao và thấp nhất cho cả ban ngày và ban đêm tại TP.HCM trong giai đoạn quan sát. Có thể thấy rằng giá trị nhiệt độ bề mặt lớn nhất/nhỏ nhất cũng phân bố tùy thuộc vào đặc trưng lớp phủ. Tại khu vực trung tâm có những điểm nhiệt độ bề mặt ban ngày cao nhất lên đến $41,7^{\circ}\text{C}$, trong khi thấp nhất $27,5^{\circ}\text{C}$ đối với rừng ngập mặn Cần Giờ phía Đông Nam thành phố. Về ban đêm, nhiệt độ bề mặt cao nhất là khoảng $28,5^{\circ}\text{C}$, ở khu vực trung tâm của

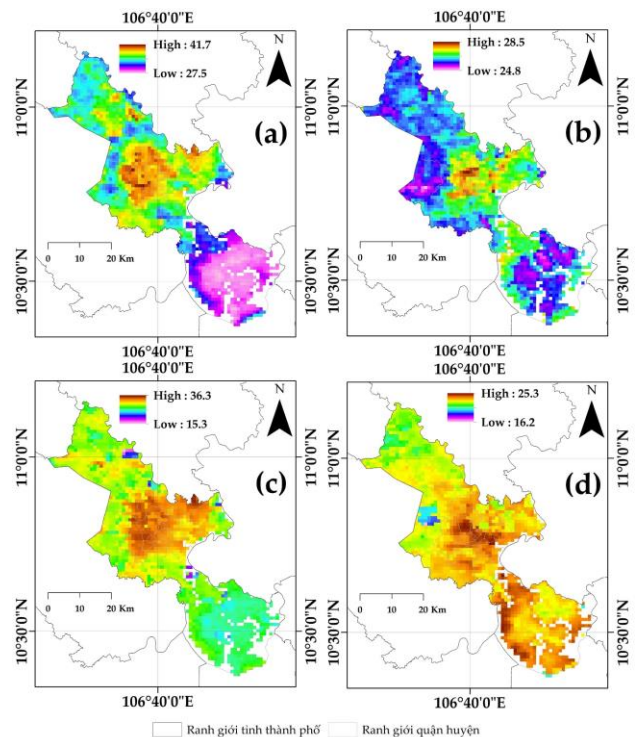
thành phố. Giai đoạn mát nhất vào ban ngày và ban đêm ghi nhận nền nhiệt độ bề mặt ổn định nhất tương ứng $25 \div 32^{\circ}\text{C}$ và $22 \div 25^{\circ}\text{C}$. Các tháng nóng nhất và lạnh nhất, cũng như giá trị nhiệt độ cực đại và cực tiểu cho thấy có sự thay đổi theo các khu vực khác nhau. Điều này có thể giải thích do hiện trạng lớp phủ, cùng kết cấu xây dựng nếu xem xét ở quy mô chi tiết theo các phân vùng khí hậu địa phương khác nhau, dẫn tới sự thay đổi và tương tác với nhiệt độ bề mặt ngày/đêm không đồng nhất.

3.2. Xu hướng nhiệt độ và tương tác giữa các loại hình lớp phủ

Phân tích các loại hình phân vùng khí hậu địa phương tại TP.HCM từ dữ liệu phân vùng khí hậu địa phương toàn cầu xác định được 15 trong số 17 loại hình (Hình 1). Trong nghiên cứu này, các loại hình phân vùng khí hậu địa phương cùng loại hoặc có cơ cấu diện tích không đáng kể được gộp vào các lớp phục vụ thống kê bao gồm: (1) Kiến trúc chặt hẹp gồm các loại hình công trình cao tầng/trung tầng/thấp tầng chặt hẹp, (2) Kiến trúc

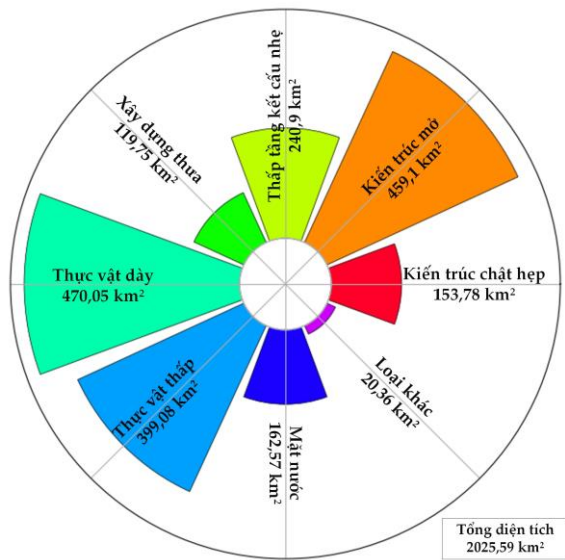


Hình 4. Bản đồ các tháng (a) nóng nhất ban ngày, (b) nóng nhất ban đêm, (c) mát nhất ban ngày, và (d) mát nhất ban đêm giai đoạn 2022 - 2024 tại TP.HCM.



Hình 5. Bản đồ giá trị nhiệt độ (a) nóng nhất ban ngày, (b) nóng nhất ban đêm, (c) mát nhất ban ngày, và (d) mát nhất ban đêm giai đoạn 2022 - 2024 tại TP.HCM.

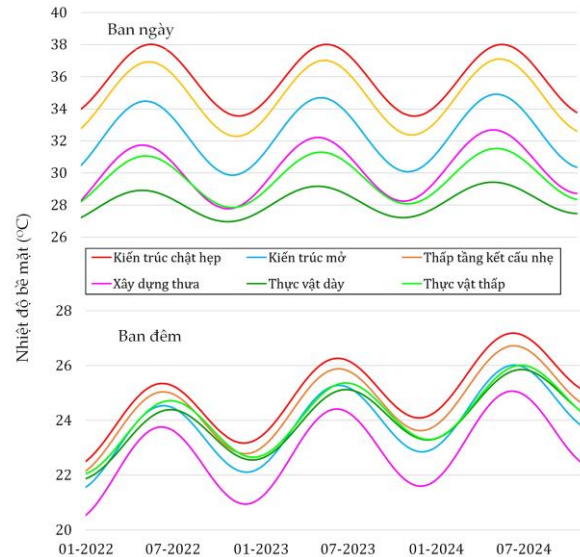
mở bao gồm công trình xây dựng cao tầng/trung tầng/thấp tầng chặt có không gian mở, (3) thấp tầng kết cấu nhẹ, (4) xây dựng thưa, (5) thực vật dày, (6) thực vật thấp, (7) mặt nước, (8) loại khác gồm các loại hình còn lại có diện tích không đáng kể. Thống kê (Hình 6) cho thấy loại hình thực vật dày (được biết đến chủ yếu là rừng ngập mặn phân bố ở phía Đông Nam thành phố) vẫn chiếm cơ cấu diện tích lớn nhất (23,2%). Các loại hình kiến trúc xây dựng chủ đạo bao gồm kiến trúc mở (22,7%), nhà thấp tầng có kết cấu nhẹ (11,9%), kiến trúc chật hẹp (7,6%), khu vực xây dựng thưa thớt (5,9%) xen kẽ với các loại hình thực phủ thấp như nông nghiệp hoặc cây bụi (19,7%).



Hình 6. Thống kê các loại hình phân vùng khí hậu phổ biến tại TP.HCM.

Giả định không có nhiều sự thay đổi về quá trình đô thị hóa trong giai đoạn 5 năm gần đây, các loại hình khí hậu địa phương phổ biến của TP.HCM được lấy mẫu theo chuỗi dữ liệu nhiệt độ bề mặt giai đoạn 2022 - 2024 bao gồm cả ngày và đêm để phân tích và biểu diễn theo phương pháp chuỗi dữ liệu điều hòa (Hình 7). Kết quả cho thấy, đối với nhiệt độ ban ngày, chuỗi dữ liệu điều hòa thể hiện rõ ràng các thành phần theo mùa cùng xu hướng bình ổn trong giai đoạn quan sát. Mức nhiệt cao nhất vào ban ngày ghi nhận đối với loại hình kiến trúc chặt hẹp, theo sau đó là loại hình kiến trúc thấp tầng có kết cấu nhẹ, và kiến trúc mở. Loại hình xây dựng thưa và thực vật thấp ghi nhận xu thế không quá khác biệt. Thực vật dày (chủ yếu là rừng ngập mặn) ghi nhận xu thế nhiệt độ bề mặt

ban ngày theo mùa thấp nhất. Ngược lại, xu hướng tăng lên rõ ràng của nhiệt độ bề mặt vào ban đêm được quan sát cho thấy tất cả các loại hình phân vùng khí hậu địa phương tại TP.HCM. So sánh giữa thời điểm nóng nhất mùa khô năm 2024 và năm 2022, giá trị nhiệt độ bề mặt ban đêm đã chênh cao hơn trung bình khoảng $1,5 \pm 2^{\circ}\text{C}$ đối với tất cả các loại hình.



Hình 7. Diễn biến nhiệt độ bề mặt theo các loại hình phân vùng khí hậu phổ biến giai đoạn 2022 - 2024 tại TP.HCM.

4. Thảo luận

Xuất phát từ các kết quả nghiên cứu đã đạt được, chúng tôi quay trở lại bàn luận 3 vấn đề chính liên quan đến các khía cạnh xoay quanh chủ đề viễn thám nhiệt độ bề mặt theo các phân vùng khí hậu địa phương đối với khu vực có nền khí hậu nhiệt đới gió mùa bao gồm: (1) khả năng của bộ cảm hồng ngoại nhiệt (2) chuỗi dữ liệu điều hòa trong giám sát đa thời gian, và (3) tương tác giữa nhiệt độ bề mặt đối với các phân vùng khí hậu địa phương.

Liên quan đến giám sát nhiệt độ bề mặt từ dữ liệu viễn thám, nghiên cứu này sử dụng các sản phẩm được ước tính từ ảnh MODIS. Ưu điểm của loại dữ liệu này bao gồm khả năng cung cấp các quan sát cho cả ban ngày và ban đêm, đồng thời cho phép cập nhật hàng ngày. Ngược lại, độ phân giải 1 km được cho là còn thấp khi sử dụng để phân tích ở quy mô chi tiết. Vấn đề này có thể được giải quyết bằng việc tăng cường độ phân giải

không gian thông qua các mô hình giảm tỷ lệ (downscaling) (Hoa và nnk., 2025) hoặc trộn ảnh (fusion) (Pu và Bonafoni, 2023). Đồng bộ dữ liệu quan sát nhiệt độ bề mặt sử dụng đa cảm biến hồng ngoại nhiệt cũng là một giải pháp tiềm năng (Desai và nnk., 2021), tuy nhiên cần hiệu chỉnh các vấn đề về sai khác quỹ đạo bộ cảm trong thu nhận thông tin nhiệt cũng như sai khác về thời gian thu nhận dữ liệu (Crosson và nnk., 2012). Thêm vào đó, các kết quả trong nghiên cứu này cho thấy thay đổi đáng kể khí hậu đô thị TP.HCM về ban đêm, thường được liên kết với hiện tượng đảo nhiệt đô thị. Vấn đề này có thể được giải thích là do các vật liệu xây dựng ở đô thị hấp thụ nhiệt trong ngày và tỏa nhiệt ra môi trường vào ban đêm, khiến nhiệt độ bề mặt ban đêm tăng cao hơn so với vùng nông thôn. Vì vậy, các nghiên cứu tiếp theo nên quan tâm tới cả thay đổi, xu thế, và tương tác giữa nhiệt độ ngày và đêm. Lưu ý rằng, dữ liệu thu nhận từ bộ cảm hồng ngoại nhiệt vào ban đêm vẫn còn tương đối ít khi so sánh với các sản phẩm nhiệt độ ban ngày, dẫn tới số lượng nghiên cứu còn hạn chế (Qì và nnk., 2020; Yoo và nnk., 2022).

Đối với mô hình Harmonic, chuỗi dữ liệu điều hòa cho phép diễn giải biên độ theo mùa và xu thế tốt hơn khi trung hòa các giá trị bất thường trên chuỗi dữ liệu thời gian dài (Jakubauskas và Legates, 2000; Zhou và nnk., 2015; 2022), đặc biệt hiệu quả đối với các khu vực có nền khí hậu nhiệt đới nói chung và nhiệt đới gió mùa nói riêng. Về mặt kỹ thuật viễn thám, chuỗi điều hòa Harmonic còn cho phép tái cấu trúc dữ liệu trong điều kiện thiếu các quan sát trong thời điểm mây che phủ lớn (ví dụ: mùa mưa). Trong nghiên cứu này, chuỗi điều hòa cho phép định lượng được biên độ dao động theo mùa rõ ràng và theo chu kỳ hàng năm. Mặc dù vậy, cũng cần lưu ý rằng các giá trị nhiệt độ cực đại/cực tiểu quan sát từ bộ cảm hồng ngoại nhiệt cũng có thể đại diện cho các thời điểm nhiệt độ bất thường. Ngoài ra, cũng không thể loại trừ trường hợp nhiều quan sát từ chính bộ cảm hồng ngoại nhiệt, cộng thêm với việc thực hiện quan sát trên các khu vực có nền khí hậu nhiệt đới gió mùa như Việt Nam (Hoa và nnk., 2025). Vì vậy, bên cạnh việc sử dụng chuỗi điều hòa để phân tích được biên độ dao động theo mùa và xu thế, các thời điểm nhiệt độ bất thường cần được kiểm định hoặc liên kết với các sự kiện thực tế xảy ra, tạo cơ sở khoa học tin cậy trong việc diễn giải các vấn đề tăng nhiệt môi trường, vốn là một chủ đề đầy

thách thức hiện nay.

So với các nghiên cứu xác định động lực học của nhiệt độ đối với từng loại hình lớp phủ vốn đã khá phổ biến, phân vùng khí hậu địa phương sử dụng trong nghiên cứu này thể hiện mức độ chi tiết hơn khi xem xét tương tác nhiệt độ bề mặt ngày/đêm với từng loại hình có kết cấu xây dựng khác nhau. Trước hết vai trò của hệ sinh thái rừng ngập mặn Cần Giờ trong việc điều hòa khí hậu TP.HCM đã được thể hiện rõ với mức nhiệt thấp nhất ban ngày trong giai đoạn quan sát. Xem xét kỹ hơn, các loại hình kiến trúc xây dựng chặt hẹp hoặc thấp tầng có kết cấu nhẹ (nhà tạm, vật liệu mái tôn) gần như duy trì mức nhiệt trung bình cao hơn hẳn các loại hình xây dựng còn lại như kiến trúc mở và xây dựng thưa. Các quan sát này trên quy mô không gian chứng minh cho các hiểu biết thực tế về cách thức nhiệt độ bề mặt tương tác với môi trường, không gian, và kiến trúc đô thị. Từ đó, cho phép chuyển đổi hiểu biết khoa học này sang các ứng dụng thực tiễn phục vụ quy hoạch đô thị, khu dân cư, không gian xanh phù hợp đảm bảo cho các mục tiêu phát triển kinh tế xã hội bền vững trong bối cảnh gia tăng nóng lên toàn cầu hiện nay.

5. Kết luận

Nghiên cứu đã sử dụng dữ liệu ảnh viễn thám MODIS để định lượng tác động của phân vùng khí hậu địa phương đối với sự thay đổi nhiệt độ bề mặt ngày và đêm tại TP.HCM trong giai đoạn được coi là nóng nhất trong lịch sử 2022 - 2024. Để giải quyết hiệu quả bài toán này, giải pháp điện toán đám mây GEE đã được áp dụng nhằm tự động truy xuất dữ liệu lớn viễn thám, xử lý nhanh chóng, đồng thời tạo điều kiện thực hiện các phân tích nâng cao trên quy mô không gian - thời gian. Các kết quả cho phép xác định mô hình không gian về phân bố nhiệt độ bề mặt ngày và đêm trên quy mô toàn vùng theo từng tháng cụ thể. Trong giai đoạn nghiên cứu, các tháng nóng và lạnh nhất, cùng giá trị nhiệt độ cực đại và cực tiểu thay đổi theo các khu vực cụ thể do ảnh hưởng bởi hiện trạng lớp phủ, vật liệu và kiến trúc xây dựng, đại diện cho từng phân vùng khí hậu địa phương. Phân tích chi tiết diễn biến theo thời gian đối với từng loại hình phân vùng khí hậu địa phương điển hình của TP.HCM đã cho thấy các khu vực có kiến trúc xây dựng chặt hẹp hoặc vật liệu kết cấu nhẹ ghi nhận giá trị nhiệt độ bề mặt cao nhất cho cả ngày và đêm. Trong khi xu thế được định lượng bằng mô

hình chuỗi dữ liệu điều hòa Harmonic giai đoạn 3 năm gần đây cho thấy không có nhiều sự thay đổi đối với nhiệt độ bề mặt ban ngày, dấu hiệu của hiện tượng đảo nhiệt đô thị đến từ sự gia tăng nhiệt độ bề mặt vào ban đêm với mức trung bình khoảng $1,5 \pm 2^\circ\text{C}$. Việc sử dụng đa dạng nguồn sản phẩm từ viễn thám cho thấy khả năng phân tích trên quy mô không gian lớn và thời gian dài, trong khi vẫn có thể chi tiết hóa cho từng loại hình kiến trúc xây dựng cụ thể của một khu vực. Nghiên cứu hướng tới cung cấp một giải pháp phục vụ đo lường và xác nhận các xu hướng, diễn biến theo mùa, tương tác với lớp phủ và kiến trúc đô thị, hướng tới tăng cường hiểu biết và tiếp cận toàn diện các vấn đề về khí hậu đô thị để đạt được các mục tiêu phát triển bền vững bối cảnh nóng lên toàn cầu khó lường hiện nay.

Lời cảm ơn

Bài báo được hỗ trợ dữ liệu và kinh phí từ đề tài Khoa học và Công nghệ cấp Viện hàn lâm Khoa học và Công nghệ VN, mã số VAST.05.01/25 - 26 “Nghiên cứu định lượng tác động của các phân vùng khí hậu địa phương đối với xu thế thay đổi nhiệt độ bề mặt trong quá trình đô thị hóa thành phố Hồ Chí Minh”.

Đóng góp của tác giả

Nguyễn Cao Hanh - phương pháp luận, viết bản thảo bài báo, phân tích xử lý dữ liệu; Nguyễn An Bình - phương pháp luận, viết bản thảo bài báo, đánh giá và chỉnh sửa, phân tích xử lý dữ liệu; Lê Thị Thu Hà, Hồ Nhật Minh - phương pháp luận, viết bản thảo bài báo, đánh giá và chỉnh sửa; Giang Thị Phương Thảo - viết bản thảo bài báo, phân tích xử lý dữ liệu, biên tập bản đồ; Nguyễn Ngọc Ẩn - điều tra khảo sát, phân tích xử lý dữ liệu.

Tài liệu tham khảo

Aslam, A., & Rana, I. A. (2022). The use of local climate zones in the urban environment: A systematic review of data sources, methods, and themes. In *Urban Climate* (Vol. 42). <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101120>.

Bechtel, B., Demuzere, M., Mills, G., Zhan, W., Sismanidis, P., Small, C., & Voogt, J. (2019). SUHI analysis using Local Climate Zones-A comparison of 50 cities. *Urban Climate*, 28.

<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.01.005>.

Chen, X., Su, Z., Ma, Y., Cleverly, J., & Liddell, M. (2017). An accurate estimate of monthly mean land surface temperatures from MODIS clear-sky retrievals. *Journal of Hydrometeorology*, 18(10). <https://doi.org/10.1175/JHM-D-17-0009.1>.

Crosson, W. L., Al-Hamdan, M. Z., Hemmings, S. N. J., & Wade, G. M. (2012). A daily merged MODIS Aqua-Terra land surface temperature data set for the conterminous United States. *Remote Sensing of Environment*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.12.019>.

Demuzere, M., Kittner, J., Martilli, A., Mills, G., Moede, C., Stewart, I. D., Van Vliet, J., & Bechtel, B. (2022). A global map of local climate zones to support earth system modelling and urban-scale environmental science. *Earth System Science Data*, 14(8). <https://doi.org/10.5194/essd-14-3835-2022>.

Desai, A. R., Khan, A. M., Zheng, T., Paleri, S., Butterworth, B., Lee, T. R., Fisher, J. B., Hulley, G., Kleynhans, T., Gerace, A., Townsend, P. A., Stoy, P., & Metzger, S. (2021). Multi-Sensor Approach for High Space and Time Resolution Land Surface Temperature. *Earth and Space Science*, 8(10). <https://doi.org/10.1029/2021EA001842>.

He, B. J., Wang, J., Liu, H., & Ulpiani, G. (2021). Localized synergies between heat waves and urban heat islands: Implications on human thermal comfort and urban heat management. *Environmental Research*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110584>.

Heusinkveld, B. G., Steeneveld, G. J., Van Hove, L. W. A., Jacobs, C. M. J., & Holtslag, A. A. M. (2014). Spatial variability of the rotterdam urban heat island as influenced by urban land use. *Journal of Geophysical Research*, 119(2). <https://doi.org/10.1002/2012JD019399>.

Ho, T. M. D., Le, V. T. & Tran, T. V. (2007). Surface Emissivity in Determining Land Surface Temperature. *International Journal of Geoinformatics*.

- Hoa, P. V., Binh, N. A., Thao, G. T. P., An, N. N., Trinh, P. T., Tuan, N. Q., & Hanh, N. C. (2025). Long-Term Trend and Seasonal Cycles of Gap-Free Downscaled Diurnal/Nocturnal LST and the Interaction to Functional Plant Trait Under Tropical Monsoon Climate. *Earth and Space Science*, 12(2), e2024EA003888. <https://doi.org/10.1029/2024EA003888>.
- Huang, F., Jiang, S., Zhan, W., Bechtel, B., Liu, Z., Demuzere, M., Huang, Y., Xu, Y., Ma, L., Xia, W., Quan, J., Jiang, L., Lai, J., Wang, C., Kong, F., Du, H., Miao, S., Chen, Y., & Chen, J. (2023). Mapping local climate zones for cities: A large review. In *Remote Sensing of Environment* (Vol. 292). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113573>.
- Jakubauskas, M. E., & Legates, D. R. (2000). Harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data for characterizing US Great Plains land use/land cover. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B4).
- Karen Fox, Aries Keck, & Jacob Richmond. (2023). *NASA Announces Summer 2023 Hottest on Record*. <https://www.nasa.gov/news-release/nasa-announces-summer-2023-hottest-on-record/>.
- Lê, T. T. H., Đoàn, D. N., Huỳnh, T. L., Nguyễn, T. T., Nguyễn, T. N. H., Lư, T. T. T., Võ, T. C. C., và Lê, T. N. (2020). Đánh giá vai trò của cơ cấu lớp phủ bề mặt đô thị trong việc giảm hiệu ứng đảo nhiệt đô thị bằng công nghệ viễn thám và GIS. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, số 61(2), 76-85. [https://doi.org/10.46326/JMES.2020.61\(2\).09](https://doi.org/10.46326/JMES.2020.61(2).09).
- Lê, H. T. T., Nguyễn, T. V., Nguyễn, K. N., Nguyễn, P. D., Võ, T. T., Nguyễn, T. G., Phạm, T. V., & Lê, D. V. (2021). Nghiên cứu mối quan hệ giữa đảo nhiệt đô thị và mật độ dân số các quận, huyện ở Thành phố Hồ Chí Minh bằng dữ liệu ảnh Sentinel - 3 SLSTR. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*. 62(5), 67-75. [https://doi.org/10.46326/JMES.2021.62\(5\).06](https://doi.org/10.46326/JMES.2021.62(5).06).
- Lê, V. T. & Nguyễn, T. M. (2006). Mapping Land Surface Temperature (LST) from Satellite Imageries. Case Study in HoChiMinh City. *GIS-IDEAS*.
- Lê, V. T. & Nguyễn, T. M. (2007). Trích lọc giá trị nhiệt bề mặt (LST) từ ảnh vệ tinh Landsat 7 ETM+. *Đặc San "Viễn Thám và Đại Tin Học" Số 3 Trung tâm Viễn thám - Bộ Tài nguyên Môi trường*.
- 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. In *Remote Sensing of Environment* (Vol. 131). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>.
- Liu, X., Li, Z. L., Li, J. H., Leng, P., Liu, M., & Gao, M. (2023). Temporal Upscaling of MODIS 1-km Instantaneous Land Surface Temperature to Monthly Mean Value: Method Evaluation and Product Generation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2023.3247428>.
- Neinavaz, E., Schlerf, M., Darvishzadeh, R., Gerhards, M., & Skidmore, A. K. (2021). Thermal infrared remote sensing of vegetation: Current status and perspectives. In *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (Vol. 102). <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102415>.
- Pu, R., & Bonafoni, S. (2023). Thermal infrared remote sensing data downscaling investigations: An overview on current status and perspectives. In *Remote Sensing Applications: Society and Environment* (Vol. 29). <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100921>.
- Qi, P., Cui, Y., Zhang, H., Hu, S., Yao, L., & Bailian Li, L. (2020). Evaluating multivariable statistical methods for downscaling nighttime land surface temperature in urban areas. *IEEE Access*, 8. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3021034>.
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12). <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>.
- Sun, D., & Kafatos, M. (2007). Note on the NDVI-LST relationship and the use of

- temperature-related drought indices over North America. *Geophysical Research Letters*, 34(24). <https://doi.org/10.1029/2007GL031485>.
- Tollefson, J. (2023). Earth's hottest month: these charts show what happened in July and what comes next. In *Nature* (Vol. 620, Issue 7975). <https://doi.org/10.1038/d41586-023-02552-2>.
- Tran, H. & Yasuoka Y. (2002a). Monitoring Urban Surface from Space: Case Study of Hochiminh City and Surrounding Region. *GIS-IDEAS*.
- Tran, H. & Yasuoka Y. (2002b). Remote Sensing to Analyze The Changes of Surface Biophysical Parameters in Vietnam's Urbanized Area. *ACRS*.
- Trịnh, H. L., Vũ, T. D., & Vương, K. T. (2017). Xây dựng quy trình bán tự động chiết tách thông tin nhiệt độ bề mặt từ ảnh viễn thám hồng ngoại nhiệt Landsat sử dụng phần mềm Erdas Imagine. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*. 58(4), 27-33.
- Wang, K., Aktas, Y. D., Stocker, J., Carruthers, D., Hunt, J., & Malki-Epshtein, L. (2019). Urban heat island modelling of a tropical city: Case of kuala lumpur. *Geoscience Letters*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40562-019-0134-2>.
- Wicki, A., Parlow, E., & Feigenwinter, C. (2018). Evaluation and modeling of urban heat island intensity in Basel, Switzerland. *Climate*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/cli6030055>.
- Yoo, C., Im, J., Cho, D., Lee, Y., Bae, D., & Sismanidis, P. (2022). Downscaling MODIS nighttime land surface temperatures in urban areas using ASTER thermal data through local linear forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102827>.
- Yu, L., Liu, Y., Li, X., Yan, F., Lyne, V., & Liu, T. (2023). Vegetation-induced asymmetric diurnal land surface temperatures changes across global climate zones. *Science of the Total Environment*, 896. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165255>.
- Zhou, J., Jia, L., & Menenti, M. (2015). Reconstruction of global MODIS NDVI time series: Performance of Harmonic ANalysis of Time Series (HANTS). *Remote Sensing of Environment*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.03.018>.
- Zhou, Q., Zhu, Z., Xian, G., & Li, C. (2022). A novel regression method for harmonic analysis of time series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.01.006>.