



TẠP CHÍ KHOA HỌC ĐẠI HỌC ĐỒNG THÁP
Dong Thap University Journal of Science

Chuyên san Khoa học Tự nhiên

ISSN 0866-7675 | e-ISSN 2815-567X



DOI: <https://doi.org/10.52714/dthu.14.8.2025.1547>

THEO DÕI SỰ THAY ĐỔI NHIỆT ĐỘ BỀ MẶT ĐẤT TẠI TỈNH KIÊN GIANG - CÁCH TIẾP CẬN DỰA TRÊN DỮ LIỆU VIỄN THÁM ĐA THỜI GIAN

Bùi Hữu Trí¹, Huỳnh Quang Thái¹, Nguyễn Trọng Nguyễn² và Nguyễn Hồ^{3,4*}

¹*Sinh viên, Khoa Nông nghiệp, Tài nguyên và Môi trường,
Trường Đại học Đồng Tháp, Việt Nam*

²*Bộ môn Tài nguyên Đất đai, Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên,
Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam*

³*Bộ môn Quản lý đất đai, Khoa Nông nghiệp, Tài nguyên và Môi trường,
Trường Đại học Đồng Tháp, Việt Nam*

⁴*Viện Sinh thái Cảnh quan, Đại học Münster, 48149 Münster, Cộng hòa Liên bang Đức*

**Tác giả liên hệ, Email: nguyenho@dthu.edu.vn*

Lịch sử bài báo

Ngày nhận: 13/10/2024; Ngày nhận chỉnh sửa: 16/01/2025; Ngày duyệt đăng: 11/02/2025

Tóm tắt

Nhiệt độ bề mặt đất (Land Surface Temperature - LST) là một thông số quan trọng trong việc theo dõi các điều kiện khí hậu, đặc biệt trong điều kiện biến đổi khí hậu gia tăng như hiện nay. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm theo dõi sự thay đổi LST tỉnh Kiên Giang giai đoạn 2005 – 2023. Ảnh vệ tinh Terra MODIS (MOD11A1) và Aqua MODIS (MYD11A1) theo ngày được sử dụng để trích xuất LST trên nền tảng Google Earth Engine. Kết quả cho thấy có sự tương quan đáng kể giữa nhiệt độ bề mặt đất và nhiệt độ không khí đo tại các trạm quan trắc, với hệ số xác định là 0,56 đối với Terra và 0,76 đối với Aqua. Các khu vực trung tâm quận/huyện/thành phố có nhiệt độ cao hơn, đặc biệt là những nơi có mật độ xây dựng dày đặc. Trong đó, thành phố Rạch Giá là một trong những khu vực có nền nhiệt nóng nhất, do sự phát triển đô thị nhanh chóng và sự tập trung của các công trình xây dựng. Ngược lại, các khu vực có nhiệt độ thấp hơn tập trung ở các vùng nông nghiệp, đất ngập nước và khu vực nuôi trồng thủy sản. Thành phố Phú Quốc, nằm tách biệt với đất liền và được bao quanh bởi môi trường biển, có nền nhiệt độ thấp hơn so với các khu vực khác trong tỉnh. Kết quả nghiên cứu không chỉ cung cấp cái nhìn tổng quan về sự thay đổi LST mà còn giúp các nhà quản lý quy hoạch chiến lược phát triển đô thị một cách bền vững, trong bối cảnh biến đổi khí hậu và quá trình đô thị hóa ngày càng gia tăng.

Từ khóa: Đồng bằng sông Cửu Long, MODIS, môi trường nhiệt đô thị, mở rộng đô thị, nhiệt độ bề mặt đất, thay đổi sử dụng đất/lớp phủ, viễn thám.

Trích dẫn: Bùi, H. T., Huỳnh, Q. T., Nguyễn, T. N., & Nguyễn, H. (2025). Theo dõi sự thay đổi nhiệt độ bề mặt đất tại tỉnh Kiên Giang - cách tiếp cận dựa trên dữ liệu viễn thám đa thời gian. *Tạp chí Khoa học Đại học Đồng Tháp*, 14(8), 3-17. <https://doi.org/10.52714/dthu.14.8.2025.1547>

Copyright © 2025 The author(s). This work is licensed under a CC BY-NC 4.0 License.

MONITORING LAND SURFACE TEMPERATURE CHANGES IN KIEN GIANG PROVINCE – A MULTI-TEMPORAL REMOTE SENSING APPROACH

Bui Huu Tri¹, Huynh Quang Thai¹, Nguyen Trong Nguyen², and Nguyen Ho^{3,4*}

*¹Student, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment,
Dong Thap University, Cao Lanh 870000, Viet Nam*

*²Department of Land Management, College of Environment and Natural Resources,
Can Tho University, Viet Nam*

*³Department of Land Management, Faculty of Agriculture, Natural Resources and
Environment, Dong Thap University, Cao Lanh 870000, Viet Nam*

⁴Institute of Landscape Ecology, University of Münster, 48149 Münster, Germany

**Corresponding author, Email: nguyenho@dthu.edu.vn*

Article history

Received: 13/10/2024; Received in revised form: 16/01/2025; Accepted: 11/02/2025

Abstract

Land Surface Temperature (LST) is a crucial parameter for monitoring climatic conditions, especially amid increasing climate change. This study was to track the LST changes in Kien Giang province from 2005 to 2023. Daily Terra MODIS (MOD11A1) and Aqua MODIS (MYD11A1) satellite imagery were used to extract LST data on the Google Earth Engine platform. The results indicate a significant correlation between land surface temperature and air temperature measured at weather stations, with coefficients of determination of 0.56 for Terra and 0.76 for Aqua. Central areas of districts, towns, and cities exhibit higher temperatures, particularly in densely built-up areas. Among them, Rach Gia city stands out as one of the hottest areas, attributed to rapid urban development and the concentration of construction activities. Conversely, lower temperatures are found in agricultural zones, wetlands, and aquaculture areas. Phu Quoc city, isolated from the mainland and surrounded by a marine environment, has lower temperatures compared to other areas in the province. These obtained results not only provide an overview of LST changes but also offer valuable insights for land-use planners in formulating sustainable development strategies amid the increasing impacts of climate change and urbanization.

Keywords: *Land surface temperature, land use/land cover change, MODIS, remote sensing, urban expansion, Urban thermal environment, Vietnam Mekong Delta.*

1. Đặt vấn đề

Sự phát triển kinh tế - xã hội trong những thập niên gần đây dẫn đến gia tăng áp lực làm thay đổi lớp phủ bề mặt đất và sử dụng đất (Land use and land cover - LULC). Cùng với đó, quá trình đô thị hóa, công nghiệp hóa và hiện đại hóa đã tác động mạnh mẽ đến lớp phủ thực vật, làm cho bề mặt Trái Đất thay đổi một cách nhanh chóng. Những thay đổi này dẫn đến sự biến đổi nhiệt độ của khí quyển khu vực (Anh & cs., 2021; Sajjan & cs., 2023). Đặc biệt, trong các khu dân cư đông đúc, nhiệt độ thường cao hơn so với các vùng nông thôn xung quanh thành phố. Nguyên nhân là do các vật liệu như bê tông, nhựa đường, và mái lợp hấp thụ nhiều năng lượng từ mặt trời hơn các bề mặt tự nhiên khác (Firat & cs., 2022). Những thay đổi nhiệt độ này có tác động tiêu cực đến sự phát triển của thành phố, ảnh hưởng đến hệ thực vật đô thị, vi khí hậu, nồng độ chất ô nhiễm, chất lượng không khí, sức khỏe con người, môi trường, kinh tế, và sự thoải mái về nhiệt (Firozjaei & cs., 2020). Việc giảm thiểu những tác động tiêu cực này là cần thiết nhằm cải thiện và nâng cao chất lượng cuộc sống cho người dân tại các khu vực đô thị (Maulana & Bioresita, 2023).

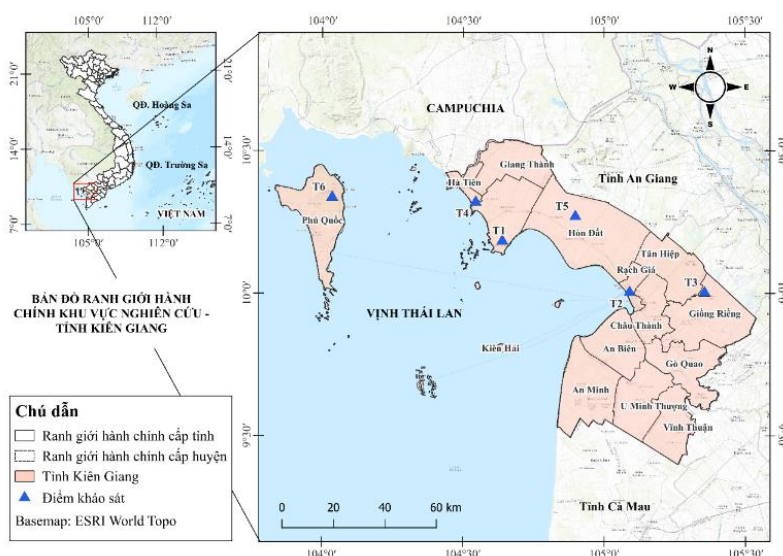
Một chỉ số quan trọng để xác định sự thay đổi khí hậu ở một khu vực là nhiệt độ bề mặt đất (Land Surface Temperature - LST). LST được định nghĩa là nhiệt độ trung bình của bề mặt được mô tả trong một điểm ảnh trên nhiều loại bề mặt khác nhau (Jaelani & Handayani, 2022). Năng lượng nhiệt từ mặt trời làm nóng các vật thể, và các vật liệu sử dụng trong quá trình đô thị hóa và xây dựng hấp thụ năng lượng này bằng cách không phản xạ lại, gây ra sự gia tăng nhiệt độ bề mặt. Vì vậy, quan sát nhiệt độ bề mặt đã trở thành một nguồn thông tin quan trọng để nghiên cứu thay đổi khí hậu và tình trạng quá nhiệt liên quan đến cảnh quan đô thị. Tuy nhiên, dữ liệu về nhiệt độ không khí không mang tính đại diện cao về mặt không gian (từ các trạm khí tượng) hoặc quá thô đối với các nghiên cứu về sự nóng lên theo khu vực (Wang & cs., 2022).

Để khắc phục các nhược điểm trên, viễn thám là một kỹ thuật thay thế hợp lý để phân tích những thay đổi về nhiệt độ, cung cấp các chỉ số thực nghiệm và hiệu quả liên quan đến thông tin quan trọng về môi trường và sinh thái ở cấp độ địa điểm (Neteler, 2010). Phương pháp này thu thập thông tin về một vật thể, khu vực hoặc hiện tượng bằng cách phân tích dữ liệu từ các công cụ không tiếp xúc trực tiếp với vật thể, khu vực hoặc hiện tượng được nghiên cứu (Congalton, 2015). Các cảm biến nhiệt được sử dụng phổ biến nhất là cảm biến trên vệ tinh Landsat, với độ phân giải thời gian 16 ngày và độ phân giải không gian 30 m (cảm biến Thematic Mapper - TM trên Landsat 4 và 5 và cảm biến hồng ngoại nhiệt - TIRS trên Landsat 8 và 9); cảm biến Terra/Aqua (MODIS) với độ phân giải không gian 1 km và độ phân giải thời gian hai lần mỗi ngày và Terra (ASTER) với độ phân giải thời gian hai lần mỗi ngày và độ phân giải không gian 90 m (Almeida & cs., 2021). Phân tích dữ liệu trong thời gian nghiên cứu dài thường yêu cầu xử lý khối lượng dữ liệu lớn. Google Earth Engine (GEE) là một nền tảng trực tuyến giúp người dùng cảm biến từ xa dễ dàng thực hiện phân tích dữ liệu lớn mà không cần nhiều tài nguyên tính toán. Danh mục dữ liệu của GEE bao gồm toàn bộ kho lưu trữ Landsat, Sentinel-1 & 2, MODIS và ASTER, cùng nhiều dữ liệu dự báo khí hậu, môi trường, địa vật lý và kinh tế xã hội khác (Gorelick & cs., 2017). Các nghiên cứu ứng dụng GEE ngày càng nhiều và đa dạng (Pham-Duc & cs., 2023), đặc biệt trong các lĩnh vực liên quan tới thay đổi lớp phủ bề mặt/sử dụng đất, giám sát biến đổi môi trường, và quan trắc thay đổi LST (Amani & cs., 2020; Roy & Bari, 2022; Binh & cs., 2021; Nghĩa & cs., 2022).

Ở Việt Nam, trong những năm gần đây, đã có nhiều nghiên cứu ứng dụng viễn thám hồng ngoại nhiệt để ước tính LST tại các khu vực khác nhau. Những nghiên cứu này đã sử dụng nhiều dữ liệu hình ảnh vệ tinh, bao gồm Landsat 5 (Vân & cs., 2006), Landsat 7 (Hải & Khang, 2017), Landsat 8 (Huy, 2016) và MODIS (Binh & cs., 2018). Các nghiên cứu thường tập trung vào các thành phố lớn với thời gian quan sát ngắn. Tuy nhiên, vẫn chưa có nhiều

nghiên cứu về việc quan sát chi tiết LST tại tỉnh Kiên Giang trong thời gian dài. Nhằm bổ sung nguồn dữ liệu lâu dài về LST cũng như phân tích các biến động xảy ra, nghiên cứu này đã được thực hiện tại tỉnh Kiên Giang với thời gian quan sát từ tháng 1 năm 2005 đến tháng 12 năm 2023. Kết quả thu được từ nghiên cứu này có thể hữu ích đối với các định hướng và quy hoạch phát triển bền vững tại địa phương trong tương lai.

Kiên Giang là tỉnh ven biển thuộc vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), nằm ở phía Tây Nam Việt Nam, giáp Campuchia ở phía Bắc và vịnh Thái Lan với hơn 200 km bờ biển ở phía Tây Nam. Tỉnh có tổng diện tích tự nhiên 634.853 ha, chia thành 4 tiểu vùng: Tứ giác Long Xuyên, Tây sông Hậu, U Minh Thượng và vùng đảo, hải đảo, với dân số 1.721.763 người và 15 đơn vị hành chính gồm 3 thành phố (Rạch Giá, Hà Tiên, Phú Quốc) và 12 huyện (Cục Thống kê tỉnh Kiên Giang, 2023) (Hình 1).



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu

Năm 2023, tỷ lệ đô thị hóa toàn đô thị của tỉnh đạt 35,6%, nội thị là 30,12% (Cục Thống kê tỉnh Kiên Giang, 2023). Mặc dù tỷ lệ đô thị hóa toàn tỉnh ở mức trung bình nhưng nhiều bằng chứng cho thấy quá trình đô thị hóa, công nghiệp hóa đã làm giảm mạnh diện tích rừng và đất ngập nước, trong khi diện tích khu vực xây dựng và đô thị tăng nhanh, gây gia tăng nhiệt độ bề mặt trong những thập niên gần đây (Nguyen & cs., 2022a; Nguyen & cs., 2022b, Vu & cs., 2022). Đặc biệt, việc khai thác núi đá vôi để sản xuất xi măng trong nhiều năm qua đã làm suy giảm lớp phủ thực vật và rừng trên các khu vực núi đá vôi, khiến môi trường tự nhiên ngày càng bị ảnh hưởng bởi các tác động tiêu cực (Sơn, 2017).

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1 Thu thập dữ liệu thứ cấp

2.1.1. Dữ liệu vệ tinh

Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu từ hai vệ tinh Terra và Aqua MODIS, cụ thể là các sản phẩm MOD11A1 và MYD11A1. Những sản phẩm này được tích hợp sẵn giá trị LST theo ngày với độ phân giải không gian 1 km (Jaelani and Handayani, 2022). Tất cả các ảnh vệ tinh này được thu thập trên nền tảng GEE trong giai đoạn 2000 – 2023 (đối với Aqua MODIS thu thập từ tháng 5/2002) với hệ quy chiếu WGS 84 / UTM zone 48N. Thông tin chi tiết về các sản phẩm vệ tinh được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Thông số vệ tinh MODIS

Thông số	Terra MODIS	Aqua MODIS
Thời gian phóng	12/1999	05/2002
Giờ chụp ảnh	10:30	13:30
Dải quét	2330 km x 2330 km	2330 km x 2330 km
Độ phân giải không gian	1 km	1 km
Hệ quy chiếu	WGS 84 48N (EPSG: 32648)	WGS 84 48N (EPSG: 32648)
Thời gian thu thập ảnh	1/2005 – 12/2023	1/2005 – 12/2023

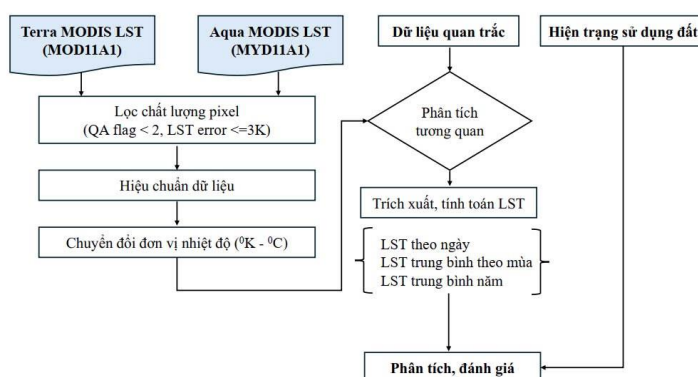
2.1.2. Dữ liệu quan trắc

Dữ liệu về nhiệt độ không khí được thu thập từ các trạm quan trắc khí tượng tại tỉnh Kiên Giang trong tháng 04 năm 2023. Dữ liệu này thu thập từ Báo cáo quan trắc chất lượng môi trường của Sở Tài Nguyên và Môi Trường tỉnh Kiên Giang, bao gồm tổng cộng 41 điểm quan trắc không khí xung quanh phân bố trong khu vực nghiên cứu (Sở Tài Nguyên và Môi Trường tỉnh Kiên Giang, 2023).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Mục tiêu của nghiên cứu là theo dõi sự biến động nhiệt độ bề mặt đất (LST) trong giai đoạn 2005 – 2023 tại tỉnh Kiên Giang. Đầu tiên, dữ liệu vệ tinh từ các sản phẩm MOD11A1 và MYD11A1 của Terra và Aqua MODIS được thu thập thông qua nền tảng GEE. Dữ liệu này được lọc chất lượng bằng lớp QC nhằm loại bỏ các giá trị pixel bị thiếu hoặc kém chất lượng bởi mây. Tiếp theo, dữ liệu LST được hiệu chỉnh bằng cách chuyển đổi giá trị độ sáng từ kênh phổ LST_Day_1km sang độ Kelvin (K) và sau đó chuyển đổi đơn vị nhiệt độ từ độ Kelvin (K) sang độ Celsius (°C). Sau khi hiệu chỉnh, giá trị LST trung bình theo tháng và năm trong giai đoạn 2005 – 2023 được tính toán để phân tích sự thay đổi nhiệt độ bề mặt theo thời gian và không gian.

Độ tin cậy của dữ liệu nhiệt độ bề mặt được đánh giá thông qua phân tích hồi quy tương quan giữa LST đã hiệu chỉnh và dữ liệu nhiệt độ không khí từ các trạm quan trắc. Kết quả cuối cùng được trình bày dưới dạng bản đồ nhiệt độ bề mặt, cung cấp thông tin trực quan về xu hướng biến động nhiệt độ theo không gian và thời gian. Quy trình chi tiết về phương pháp trích xuất nhiệt độ bề mặt đất (LST) từ dữ liệu Aqua MODIS và Terra MODIS được trình bày ở Hình 2.



Hình 2. Lưu đồ thực hiện nghiên cứu

2.2.1 Trích xuất nhiệt độ bề mặt từ sản phẩm MODIS

LST được trích xuất từ các sản phẩm MODIS Terra và Aqua thông qua kênh phổ nhiệt độ bề mặt ban ngày (LST_Day_1km) trên nền tảng Google Earth Engine. Dữ liệu LST trích xuất từ vệ tinh cần được hiệu chuẩn để đảm bảo tính chính xác. Ngoài ra, nhiệt độ ban đầu được cung cấp dưới dạng độ Kelvin (K), do đó cần chuyển đổi sang độ Celsius (°C) để phù hợp với các phương pháp phân tích tiếp theo theo các công thức (1) và (2) (Zhengming, 2019).

- Hiệu chuẩn dữ liệu:

$$LST (K) = DN * Scale \quad (1)$$

Trong đó: DN là giá trị độ sáng trên kênh LST_Day_1km (12bit)

Scale là hệ số chuyển đổi được cung cấp bởi nhà sản xuất (0.02)

LST (K) là nhiệt độ bề mặt đất sau hiệu chuẩn (độ Kelvin – K)

- Chuyển đổi đơn vị nhiệt độ:

$$LST (°C) = LST (K) - 273,15 \quad (2)$$

Trong đó: LST (K) là nhiệt độ bề mặt đất sau hiệu chuẩn (độ Kelvin – K)

LST (°C) là nhiệt độ bề mặt đất sau hiệu chuẩn (độ Celsius)

2.2.2. Tính toán LST trung bình năm, trung bình tháng

Để phân tích diễn biến nhiệt độ bề mặt theo thời gian, hàm mean() sẽ được sử dụng để tính toán giá trị LST trung bình theo tháng và năm trong giai đoạn từ 2005 đến 2023 để xác định xu hướng biến đổi LST theo thời gian tại khu vực nghiên cứu.

2.2.3. Phân tích hồi quy tương quan

Dữ liệu đầu vào cho việc phân tích hồi quy tương quan bao gồm dữ liệu nhiệt độ không khí tại 41 điểm quan trắc được thu thập từ báo cáo quan trắc môi trường, cùng với dữ liệu LST được trích xuất từ hình ảnh vệ tinh tại các điểm quan trắc đó. Mục tiêu của phân tích này là đánh giá mối quan hệ giữa hai biến, trong đó nhiệt độ không khí là biến phụ thuộc và dữ liệu LST từ vệ tinh là biến độc lập. Phương trình tương quan sẽ được thiết lập và đánh giá dựa trên hệ số xác định (R^2), được tính toán theo công thức (3):

$$R^2 = \frac{ESS}{TSS} = \frac{TSS - RSS}{TSS} \quad (3)$$

Trong đó:

ESS là tổng các độ lệch bình phương phần dư

TSS là tổng các độ lệch bình phương tổng thể

RSS là tổng các độ lệch bình phương giải thích từ hồi quy

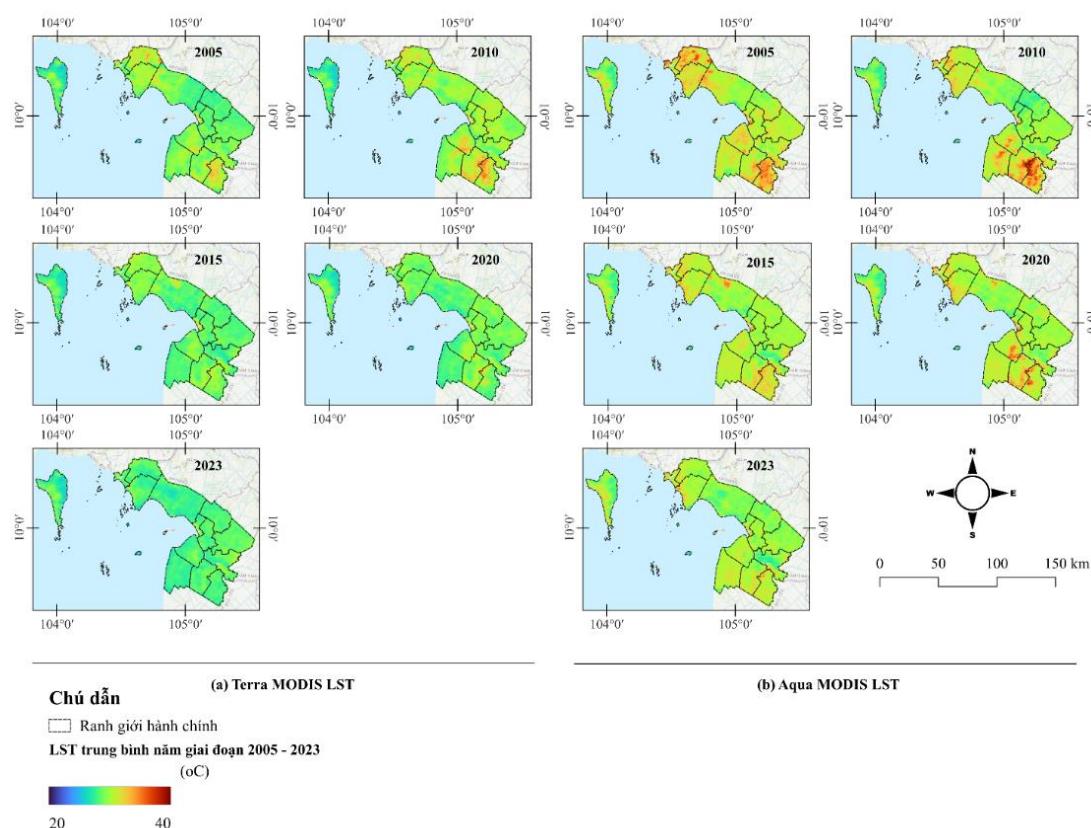
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Nhiệt độ bề mặt đất trung bình năm trích xuất từ vệ tinh MODIS

3.1.1. Phân bố LST trung bình năm

Phân bố LST hàng năm tại tỉnh Kiên Giang được thể hiện qua dải màu từ xanh dương đến đỏ, trong đó màu xanh dương đại diện cho những khu vực có LST thấp nhất, khoảng 20°C, và màu đỏ cho thấy các khu vực có LST cao nhất, đạt tới 40°C, như minh họa trong Hình 3.

Trong giai đoạn 2005 – 2023, tỉnh Kiên Giang đã có sự biến động đáng kể về LST. Các khu vực có nhiệt độ cao nhất chủ yếu tập trung tại các trung tâm huyện và thành phố, đặc biệt là những nơi có mật độ xây dựng cao. Những khu vực phía Nam, Đông Nam, và Tây Bắc của tỉnh cũng ghi nhận mức nhiệt độ cao, bao gồm Thành phố Rạch Giá, U Minh Thượng, Vĩnh Thuận, An Minh, An Biên, Giang Thành, và Kiên Lương. Đặc biệt, một số khu vực núi đá vôi ở Hà Tiên, Kiên Lương cũng ghi nhận nhiệt độ cao bất thường so với xung quanh. Điều này có thể lý giải do hoạt động khai thác đá vôi làm nguyên liệu sản xuất xi măng khiến cho thảm thực vật trên các núi đá vôi bị mất đi là để lộ ra các bề mặt đá trống khiến LST gia tăng vào ban ngày (Son, 2017). Riêng thành phố Phú Quốc, do nằm tách biệt và bao quanh bởi môi trường biển cùng các yếu tố địa lý đặc thù, có nền nhiệt độ thấp hơn so với các khu vực khác trong tỉnh.



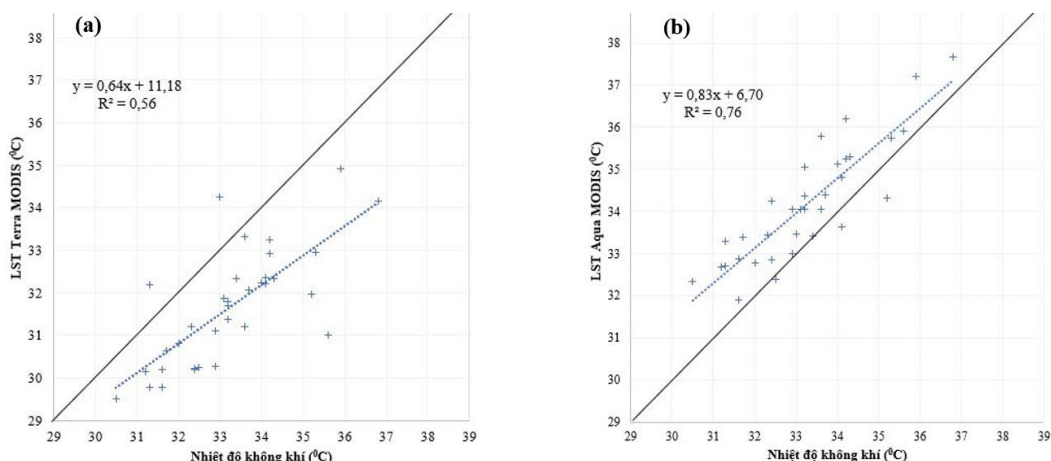
Hình 3. Bản đồ phân bố LST trung bình năm trích xuất từ ảnh vệ tinh MODIS, trong đó (a) từ Terra MODIS và (b) từ Aqua MODIS

3.1.2. Mối liên hệ giữa nhiệt độ bề mặt và nhiệt độ không khí

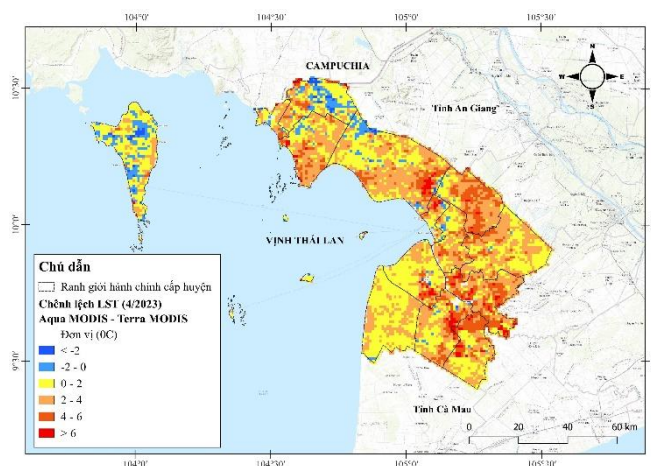
Kết quả đánh giá mối tương quan giữa LST trích xuất từ vệ tinh Terra MODIS và Aqua MODIS với nhiệt độ không khí cho thấy có sự tương quan đáng kể (Hình 4). Cụ thể, hệ số xác định (R^2) dao động từ 0,56 đối với Terra MODIS đến 0,76 đối với Aqua MODIS. Điểm quan trắc có nhiệt độ không khí cao nhất là 36,8°C được ghi nhận tại UBND xã Định An, huyện Gò Quao. Tại điểm này, LST được vệ tinh Terra MODIS ghi nhận là 34,17°C (Hình 4a), trong khi Aqua MODIS ghi nhận 37,66°C (Hình 4b).

Sự khác biệt về LST giữa hai vệ tinh chủ yếu là do thời gian ghi nhận ảnh. Terra MODIS chụp ảnh vào khoảng 10:30, phản ánh nhiệt độ buổi sáng sớm, trong khi Aqua MODIS ghi

nhận vào lúc 13:30, đại diện cho nhiệt độ giữa trưa, khiến LST từ Aqua cao hơn (Hình 5). Khi so sánh với nhiệt độ không khí từ các trạm quan trắc, LST từ ảnh vệ tinh Aqua MODIS cho thấy sự tương quan tốt hơn so với Terra MODIS. Điều này chứng tỏ Aqua MODIS có khả năng phản ánh chính xác hơn các điều kiện nhiệt độ không khí trong ngày, phù hợp với các nghiên cứu trước đây ở khu vực khác (Yu & cs., 2011; Zhang & cs., 2014).



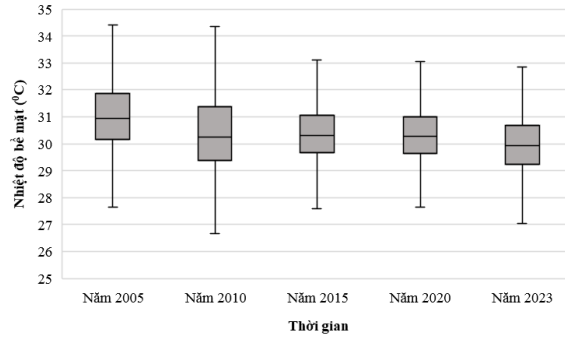
Hình 4. Biểu đồ tương quan giữa nhiệt độ không khí tại các điểm quan trắc và LST trích xuất từ ảnh vệ tinh tháng 04/2023, (a) Terra MODIS và (b) Aqua MODIS



Hình 5. Chênh lệch nhiệt độ giữa vệ tinh Aqua MODIS và Terra MODIS (4/2023)

3.2. LST trung bình năm giai đoạn 2005 – 2023

Dựa trên các số liệu về nhiệt LST từ năm 2005 đến 2023, có thể thấy rõ những thay đổi đáng kể (Hình 6). Giá trị tối thiểu (min) LST ghi nhận trong giai đoạn này dao động từ 26,67°C vào năm 2010 đến 27,64°C trong các năm 2005 và 2020. Mặt khác, giá trị tối đa (max) cho thấy xu hướng giảm dần, với mức cao nhất đạt 34,42°C vào năm 2005 và giảm xuống còn 32,86°C vào năm 2023. Giá trị trung vị (median) cũng ghi nhận sự giảm nhẹ, từ 30,95°C (2005) xuống còn 29,93°C (2023), cho thấy sự suy giảm nhiệt độ trung bình theo thời gian. Nhiệt độ cao vào những năm 2005 và 2010 so với các thời điểm còn lại được giải thích bởi đây là thời điểm được ghi nhận là hai năm có nhiệt độ ấm nhất kể từ khi bắt đầu có các ghi chép đáng tin cậy về nhiệt độ trên toàn cầu (Rebecca, 2011). Theo báo cáo của Trung tâm Dữ liệu Khí hậu Quốc gia của NOAA, nhiệt độ năm 2010 ấm hơn 0,62°C ($\pm 0,07^\circ\text{C}$) so với nhiệt độ trung bình của thế kỷ 20 (Rebecca, 2011).



Hình 6. Biểu đồ thống kê nhiệt độ trung bình năm giai đoạn 2005 – 2023 từ vệ tinh Aqua MODIS

Khoảng phân tán (IQR) của các năm cũng cung cấp cái nhìn sâu sắc về sự biến động của LST. Trong đó năm 2010 có IQR lớn nhất từ 29,37°C đến 31,37°C, các năm 2005 (30,15°C – 31,86°C), 2015 (29,67°C – 31,05°C), 2020 (29,65°C – 31,01°C), và 2023 (29,23°C – 30,69°C) cho thấy sự thu hẹp khoảng phân tán, chỉ ra rằng sự biến động của LST trong năm đã giảm dần theo thời gian.

3.3. Nhiệt độ trung bình năm phân theo đơn vị hành chính cấp huyện

Trong giai đoạn từ 2005 đến 2023, nhiệt độ bề mặt trung bình năm tại tỉnh Kiên Giang đã có những biến động đáng kể tại các huyện (Bảng 2).

Bảng 2. LST trung bình năm giai đoạn 2005 – 2023 phân theo quận/huyện

Huyện/ thành phố	Nhiệt độ bề mặt đất (°C)				
	2005	2010	2015	2020	2023
An Biên	31,64	31,09	30,63	31,42	30,33
An Minh	30,82	31,42	30,69	30,74	30,66
Châu Thành	30,79	29,52	29,92	30,44	29,99
Giồng Riềng	30,76	29,88	29,94	30,01	29,70
Giang Thành	32,70	31,03	31,00	30,65	30,28
Gò Quao	30,92	30,09	29,82	30,10	29,39
Hà Tiên	32,14	31,49	31,39	31,54	31,27
Hòn Đất	30,57	29,76	30,02	29,74	29,20
Kiên Hải	27,84	28,21	27,99	28,15	27,50
Kiên Lương	31,81	31,28	31,02	30,97	30,45
Phú Quốc	29,55	28,85	29,27	29,16	29,73
Rạch Giá	31,05	29,33	30,25	30,50	30,31
Tân Hiệp	30,19	28,64	30,04	29,99	29,28
U Minh Thượng	31,39	32,35	30,94	31,75	30,61
Vĩnh Thuận	33,42	33,81	31,90	31,53	30,97

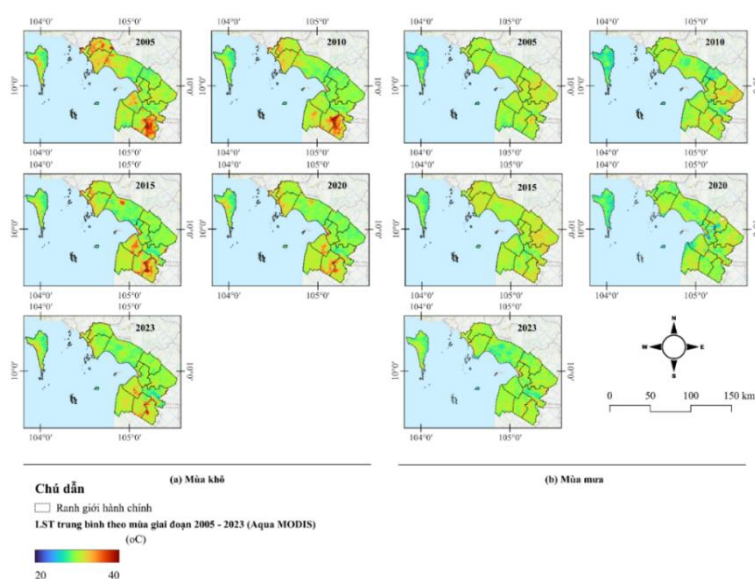
Vĩnh Thuận là huyện có nền nhiệt cao nhất, đạt 33,42°C vào năm 2005, nhưng đã giảm xuống 30,97°C vào năm 2023. Giang Thành và Hà Tiên cũng ghi nhận mức nhiệt độ bề mặt cao, lần lượt đạt 32,70°C và 32,14°C vào năm 2005. Tuy nhiên, giống như Vĩnh Thuận, cả hai

huyện này cũng cho thấy xu hướng giảm nhiệt theo thời gian.

Ngược lại, Kiên Hải là huyện có nền nhiệt thấp nhất, chỉ đạt $27,50^{\circ}\text{C}$ vào năm 2023. Nhiệt độ ổn định và thấp hơn đáng kể của Kiên Hải có thể được giải thích bởi vị trí địa lý gần biển và thảm thực vật dày, trong đó có rừng còn che phủ nhiều xung quanh các đảo. Trong khi đó, Châu Thành, Giồng Riềng, và Gò Quao đều ghi nhận mức nhiệt độ giảm dần, với Châu Thành có nhiệt độ trung bình chỉ còn $29,99^{\circ}\text{C}$ vào năm 2023.

Huyện U Minh Thượng cũng cho thấy sự biến động đáng chú ý; mặc dù có nhiệt độ trung bình cao vào năm 2010 ($32,35^{\circ}\text{C}$), nhưng đã giảm xuống còn $30,61^{\circ}\text{C}$ vào năm 2023. Cuối cùng, Rạch Giá và Tân Hiệp cũng ghi nhận mức nhiệt giảm trong các năm gần đây. Điều này cho thấy những thay đổi trong điều kiện khí hậu trên toàn cầu và tại khu vực có thể đã tác động đến nhiệt độ bề mặt tại các thành phố, huyện trong tỉnh.

3.4. Sự thay đổi nhiệt độ bề mặt theo mùa giai đoạn 2005 – 2023



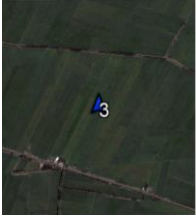
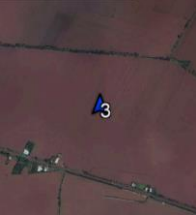
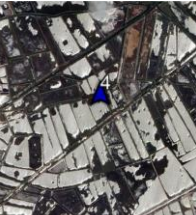
Hình 7. Nhiệt độ trung bình năm theo mùa giai đoạn 2005 – 2023, trong đó (a) mùa khô và (b) mùa mưa

So sánh nhiệt độ giữa mùa mưa và mùa khô tại tỉnh Kiên Giang trong giai đoạn 2005 đến 2023 cho thấy xu hướng nhiệt độ mùa khô luôn cao hơn so với mùa mưa trong tất cả các năm được khảo sát (Hình 7). Mùa khô diễn ra từ tháng 12 đến tháng 5, trong khi mùa mưa kéo dài từ tháng 6 đến tháng 11 (Hồng & cs., 2021). Đặc biệt, năm 2010 nổi bật với sự chênh lệch nhiệt độ rõ rệt nhất giữa hai mùa, phản ánh điều kiện khí hậu đặc thù của năm này như là một trong những năm nóng nhất trên Trái đất từng được ghi nhận (Rebecca, 2011). Sự gia tăng nhiệt độ trong mùa khô có thể được giải thích bởi ảnh hưởng của thời tiết khô ráo, nắng nhiều và ít mây, trong khi mùa mưa lại có sự xuất hiện của mưa và độ ẩm cao, dẫn đến việc giảm nhiệt độ.

3.5. Xu hướng thay đổi nhiệt độ bề mặt giai đoạn 2005 – 2023 trên hiện trạng sử dụng đất

Nghiên cứu đã tiến hành khảo sát xu hướng biến thiên nhiệt độ bề mặt trung bình năm trong giai đoạn 2005 - 2023 tại sáu điểm mẫu hiện trạng đặc trưng, bao gồm: khu vực khai thác đá (T1), trung tâm đô thị (T2), vùng trồng lúa (T3), khu nuôi trồng thủy sản (T4), rừng (T5), và khu vực hải đảo (T6). Vị trí cũng như thông tin mô tả chi tiết về các điểm mẫu này được trình bày rõ ràng trong Hình 1 và Bảng 3.

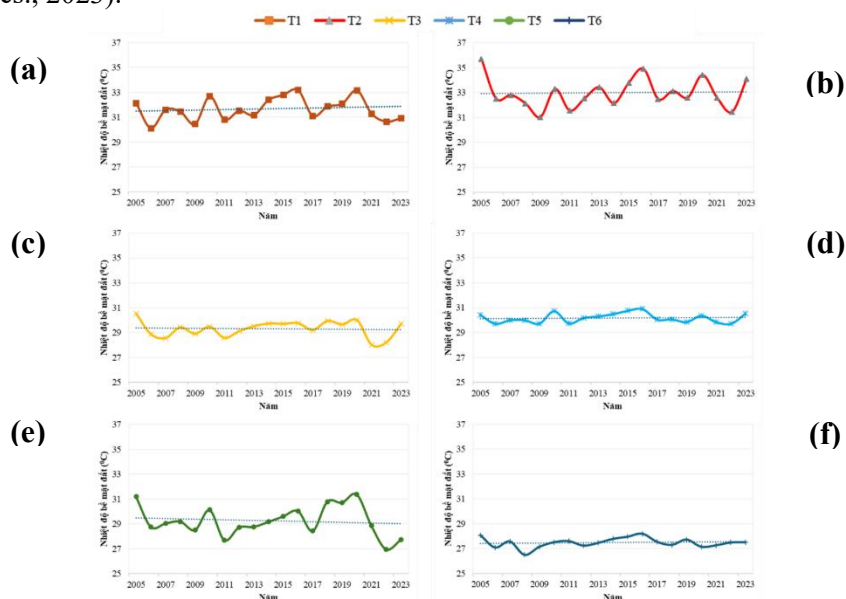
Bảng 3. Bảng mô tả thông tin các điểm khảo sát hiện trạng

Tên điểm	Ảnh vệ tinh 2005 (*)	Ảnh vệ tinh 2023 (*)	Mô tả
T1			Khu vực khai thác đá xã Bình Trị, huyện Kiên Lương
T2			Trung tâm đô thị phường Vĩnh Bảo, thành phố Rạch Giá
T3			Khu vực trồng lúa nước tại xã Thạnh Phước, huyện Giồng Riềng
T4			Khu vực nuôi trồng thủy sản tại xã Dương Hòa, huyện Kiên Lương
T5			Khu vực rừng phòng hộ tại huyện Hòn Đất
T6			Khu vực vườn Quốc gia Phú Quốc, xã Cửa Dương, thành phố Phú Quốc

Nguồn (*): Google Earth Pro, tỷ lệ 1:12.500

Biến động nhiệt độ bề mặt trung bình hàng năm trong giai đoạn 2005 – 2023 phản ánh rõ tác động của các hoạt động dân sinh và đặc điểm tự nhiên tại từng loại hình sử dụng đất (Hình 8). Các kết quả phân tích cho thấy sự khác biệt rõ nét giữa các hiện trạng LULC, trong

đó khu vực đô thị là nơi ghi nhận nhiệt độ bề mặt cao nhất, dao động từ 31,04°C đến 35,72°C, với nhiệt độ trung bình đạt 32,98°C (Hình 8a). Nguyên nhân chính là do hệ quả của quá trình đô thị hóa, làm gia tăng các bề mặt hấp thụ nhiệt như bê tông và nhựa đường, đồng thời suy giảm diện tích cây xanh và mặt nước (Mumtaz & cs., 2020). Tương tự, các khu vực khai thác đá vôi phục vụ sản xuất xi măng cũng cho thấy xu hướng gia tăng nhiệt độ mạnh mẽ, với nhiệt độ trung bình thường xuyên vượt mức 32°C trong giai đoạn này (Hình 8b). Bề mặt tro trụi và thiếu lớp phủ thực vật tại các khu vực khai thác đá làm tăng khả năng hấp thụ nhiệt, góp phần đáng kể vào sự nóng lên của bề mặt. Ngoài ra, các bề mặt đất trống và đất xây dựng nói chung có nhiệt độ cao hơn các khu vực xung quanh do đặc tính hấp thụ nhiệt từ ánh sáng mặt trời và phát xạ dưới dạng bức xạ hồng ngoại nhiệt. Quá trình này còn phụ thuộc vào màu sắc và độ ẩm của đất, với đất ẩm và sẫm màu hấp thụ nhiều năng lượng hơn so với đất khô sáng màu (Javaid & cs., 2023).



Hình 8. Thay đổi LST trên hiện trạng lớp phủ bề mặt/sử dụng đất giai đoạn 2005 – 2023

(a) T1, (b) T2, (c) T3, (d) T4, (e) T5 và (f) T6

Ngược lại, các khu vực rừng và đất ngập nước, bao gồm rừng ở hải đảo và các vùng rừng tràm ngập nước tự nhiên, có nhiệt độ bề mặt thấp nhất trong tất cả các loại hình LULC. Tại các khu vực này, nhiệt độ dao động từ 26,51°C đến 28,19°C, với giá trị trung bình chỉ đạt 27,48°C (Hình 8e, 8f). Đặc biệt, các khu vực hải đảo như Phú Quốc có nền nhiệt thấp nhất, nhờ sự điều hòa nhiệt độ tự nhiên của hệ sinh thái và các yếu tố địa lý (Du & cs., 2019). Điều này khẳng định vai trò quan trọng của các hệ sinh thái tự nhiên trong việc làm mát bề mặt đất và giảm thiểu tác động từ biến đổi khí hậu. Việc bảo vệ và phục hồi các hệ sinh thái này cần được ưu tiên trong các chiến lược phát triển bền vững.

Các khu vực sản xuất nông nghiệp, bao gồm trồng lúa và nuôi trồng thủy sản, ghi nhận mức nhiệt độ trung bình từ 29°C đến 30°C (Hình 8c, 8d). Sự biến động nhiệt độ ở đây có liên quan đến yếu tố mùa vụ thay đổi mỗi năm và kỹ thuật canh tác, đóng vai trò quan trọng trong việc điều hòa nhiệt độ nhờ sự hiện diện của thảm thực vật và mặt nước.

Nhìn chung, xu hướng biến động nhiệt độ bề mặt trong giai đoạn 2005 – 2023 cho thấy rõ ràng mối quan hệ giữa các loại hình sử dụng đất và nhiệt độ bề mặt. Khu vực đô thị và khai thác đá vôi cần các giải pháp giảm nhiệt độ thông qua cải thiện cảnh quan và giảm thiểu các

bề mặt/vật liệu hấp thụ nhiệt. Đồng thời, bảo vệ và phục hồi rừng, đất ngập nước cùng với việc quản lý bền vững các khu vực nông nghiệp là các yếu tố cốt lõi để ứng phó với biến đổi khí hậu, hướng đến sự cân bằng giữa phát triển kinh tế và bảo vệ môi trường (Kafy & cs., 2021; Tiwari & Kanchan, 2024).

5. Kết luận

Nghiên cứu đã ứng dụng vệ tinh MODIS Aqua và Terra trong việc giám sát nhiệt độ bề mặt ở tỉnh Kiên Giang trong giai đoạn 2005 – 2023. Kết quả cho thấy vệ tinh Aqua có sự tương quan cao hơn so với Terra đối với nhiệt độ không khí được quan trắc.

Phân bố nhiệt độ trung bình hàng năm từ vệ tinh Aqua trong giai đoạn 2005 – 2023 cho thấy sự chênh lệch rõ rệt giữa các quận/huyện, với các khu vực trung tâm đô thị thường có nhiệt độ cao hơn so với các khu vực nông thôn và hải đảo. Ngoài ra, phân tích theo mùa cho thấy nhiệt độ mùa khô luôn cao hơn mùa mưa, với năm 2010 là năm có sự khác biệt lớn nhất giữa hai mùa.

Tuy nhiên, cần có thêm các nghiên cứu sâu hơn về ảnh hưởng của mây đến việc trích xuất và tính toán LST từ các sản phẩm vệ tinh MODIS. Mặc dù các sản phẩm MODIS đã loại bỏ các pixel bị che phủ bởi mây, nhưng việc thiếu giá trị cho các vùng bị che mây làm phát sinh khó khăn trong quá trình tính toán LST. Ngoài ra, sự thiếu hụt của mạng lưới quan trắc về nhiệt độ tại bề mặt tại khu vực nghiên cứu cũng là một thách thức. Điều này làm hạn chế độ chính xác của kết quả và khả năng so sánh giữa dữ liệu vệ tinh và dữ liệu thực địa.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi đề tài mã số SPD2023.02.06.

Tài liệu tham khảo

- Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326–5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>
- Anh, N. H., Trang, N. T. Đ., Nguyễn, N. T. T., Trọng, T. V., & Sơn, T. V. (2021). Ứng dụng ảnh viễn thám khảo sát nhiệt độ bề mặt tại thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 2016–2020. *Journal of Hydro-meteorology*, 729(9), 29–39. [https://doi.org/10.36335/vnshm.2021\(729\).29-39](https://doi.org/10.36335/vnshm.2021(729).29-39)
- Bình, N. A., Nhut, H. S., An, N. N., Phuong, T. A., Hanh, N. C., Thao, G. T. P., Pham, T. T., Hong, P. V., Ha, L. T. T., Bui, D. T., & Hoa, P. V. (2021). Thirty-Year Dynamics of LULC at the Dong Thap Muoi Area, Southern Vietnam, Using Google Earth Engine. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(4), 226. <https://doi.org/10.3390/ijgi10040226>
- Bình, N. T., Hải, P. M., Tuấn, N. V. (2018). Thành lập bản đồ độ ẩm đất sử dụng tư liệu viễn thám đa thời gian MODIS bằng phương pháp tam giác NDVI/LST, nghiên cứu thí điểm cho lưu vực sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, 36, 24–31. <https://doi.org/10.54491/jgac.2018.36.272>
- Congalton, R. G. (2015). Remote Sensing and Image Interpretation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(8), 615–616. <https://doi.org/10.14358/pers.81.8.615>
- Cục Thống kê tỉnh Kiên Giang. (2023). *Điều kiện tự nhiên của tỉnh Kiên Giang*. <http://cucthongkekg.gov.vn/news.php?id=52>
- De Almeida, C. R., Teodoro, A. C., & Gonçalves, A. (2021). Study of the Urban Heat Island (UHI) Using Remote Sensing Data/Techniques: A Systematic Review. *Environments*, 8(10), 105. <https://doi.org/10.3390/environments8100105>

- Du, H., Ai, J., Cai, Y., Jiang, H., & Liu, P. (2019). Combined Effects of the Surface Urban Heat Island with Landscape Composition and Configuration Based on Remote Sensing: A Case Study of Shanghai, China. *Sustainability*, 11(10), 2890. <https://doi.org/10.3390/su11102890>
- Firat, M. N., Kaya, Y., & Polat, N. (2022). *Calculation of daily land surface temperature values using Google Earth Engine*. 5th Intercontinental Geoinformation Days (IGD), 108–111, Netra, India
- Firozjaei, M. K., Kiavarz, M., & Alavipanah, S. K. (2022). Impact of surface characteristics and their adjacency effects on urban land surface temperature in different seasonal conditions and latitudes. *Building and Environment*, 219, 109145. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109145>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hải, P. M. và Khang, N. V. (2017). Phân tích hiện tượng đảo nhiệt đô thị mới liên hệ giữa nhiệt độ bề mặt đất và bề mặt không thấm nước. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, 31, 17–22. <https://doi.org/10.54491/jgac.2017.31.206>
- Hồng, N. V., Nguyễn, V. T., Ngọc, L. A., Mi, N. T. C. (2021). Xu thế biến đổi các yếu tố khí hậu tại tỉnh Kiên Giang. *Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu*, 18(2021), 19–25.
- Huy, H. A. (2016). Nghiên cứu sự phân bố nhiệt độ bề mặt đất khu vực thành phố Thái Nguyên trên cơ sở sử dụng vệ tinh LANDSAT-8, kênh hồng ngoại nhiệt (TIRS). *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 10(2016), 26–32.
- Jaelani, L., & Handayani, C. (2022). Spatio-temporal Analysis of Land Surface Temperature Changes in Java Island from Aqua and Terra MODIS Satellite Imageries Using Google Earth Engine. *International Journal of Geoinformatics*, 18(5), 01–12. <https://doi.org/10.52939/ijg.v18i5.2365>
- Javaid, K., Ghafoor, G. Z., Sharif, F., Shahid, M. G., Shahzad, L., Ghafoor, N., Hayyat, M. U., & Farhan, M. (2023). Spatio-temporal analysis of land use land cover change and its impact on land surface temperature of Sialkot City, Pakistan. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49608-x>
- Kafy, A.-. A., Dey, N. N., Rakib, A. A., Rahaman, Z. A., Nasher, N. M. R., & Bhatt, A. (2021). Modeling the relationship between land use/land cover and land surface temperature in Dhaka, Bangladesh using CA-ANN algorithm. *Environmental Challenges*, 4, 100190. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100190>
- Maulana, J., & Bioresita, F. (2023). Monitoring of Land Surface Temperature in Surabaya, Indonesia from 2013-2021 Using Landsat-8 Imagery and Google Earth Engine. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 1127(1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1127/1/012027>
- Mumtaz, F., Tao, Y., De Leeuw, G., Zhao, L., Fan, C., Elnashar, A., Bashir, B., Wang, G., Li, L., Naeem, S., Arshad, A., & Wang, D. (2020). Modeling Spatio-Temporal Land Transformation and Its Associated Impacts on land Surface Temperature (LST). *Remote Sensing*, 12(18), 2987. <https://doi.org/10.3390/rs12182987>
- Neteler, M. (2010). Estimating daily land surface temperatures in mountainous environments by reconstructed MODIS LST data. *Remote Sensing*, 2(1), 333–351. <https://doi.org/10.3390/rs1020333>
- Nghia, B. P. Q., Pal, I., Chollacoop, N., & Mukhopadhyay, A. (2022). Applying Google earth engine for flood mapping and monitoring in the downstream provinces of Mekong river. *Progress in Disaster Science*, 14, 100235. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2022.100235>
- Nguyen, H., Pham, V. P., & Nguyen, T. H. D. (2022a). Monitoring 15-year land use/land cover change in the Vietnamese Mekong Delta. *Dong Thap University Journal of Science*,

- 11(5), 93–103. <https://doi.org/10.52714/dthu.11.5.2022.985>
- Nguyen, H., Trung, T. H., Phan, D. C., Anh Tran, T., Thi Hai Ly, N., Nasahara, K. N., Prishchepov, A. V., & Hölzel, N. (2022b). Transformation of rural landscapes in the Vietnamese Mekong Delta from 1990 to 2019: A spatio-temporal analysis. *Geocarto International*, 37(26), 13881–13903. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2086623>
- Pham-Duc, B., Nguyen, H., Phan, H., & Tran-Anh, Q. (2023). Trends and applications of google earth engine in remote sensing and earth science research: A bibliometric analysis using scopus database. *Earth Science Informatics*, 16(3), 2355–2371. <https://doi.org/10.1007/s12145-023-01035-2>
- Rebecca, L. (ngày 12/01/2011). 2010 Ties 2005 As the Warmest Year on Record. *Climate.gov*. Truy cập từ: <https://www.climate.gov/news-features/featured-images/2010-ties-2005-warmest-year-record>
- Roy, B., & Bari, E. (2022). Examining the relationship between land surface temperature and landscape features using spectral indices with Google Earth Engine. *Heliyon*, 8(9), e10668. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10668>
- Sajan, N. B., Kanga, N. S., Singh, N. S. K., Mishra, N. V. N., & Durin, N. B. (2023). Spatial variations of LST and NDVI in Muzaffarpur district, Bihar using Google earth engine (GEE) during 1990-2020. *Journal of Agrometeorology*, 25(2), 262–267. <https://doi.org/10.54386/jam.v25i2.2155>
- Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Kiên Giang. (2023). *Báo cáo kết quả quan trắc chất lượng môi trường tỉnh Kiên Giang đợt 3 (tháng 4) năm 2023*. Truy cập từ: <https://stnmt.kiengiang.gov.vn/trang/TinTuc/166/2180/Bao-cao-ket-qua-quan-trac-chat-luong-moi-truong-tinh-Kien-Giang-dot-3--thang-4--nam-2023.html>
- Son, L. (ngày 20/06/2017). Kiên Lương đang đối diện với sự tàn phá khủng khiếp. *Tuổi Trẻ*. Truy cập từ: <https://tuoitre.vn/kien-luong-dang-doi-dien-voi-su-tan-pha-khung-khiiep-1334511.htm>
- Tiwari, A. K., & Kanchan, R. (2024). Analytical study on the relationship among land surface temperature, land use/land cover and spectral indices using geospatial techniques. *Discover Environment*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44274-023-00021-1>
- 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*, 09, 70–74.
- Vu, H. T. D., Tran, D. D., Schenk, A., Nguyen, C. P., Vu, H. L., Oberle, P., Trinh, V. C., & Nestmann, F. (2022). Land use change in the Vietnamese Mekong Delta: New evidence from remote sensing. *Science of The Total Environment*, 813, 151918. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151918>
- Wang, X., Zhong, L., & Ma, Y. (2022). Estimation of 30 m land surface temperatures over the entire Tibetan Plateau based on Landsat-7 ETM+ data and machine learning methods. *International Journal of Digital Earth*, 15(1), 1038–1055. <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2088873>
- Yu, W., Ma, M., Wang, X., Song, Y., & Tan, J. (2011). Validation of MODIS land surface temperature products using ground measurements in the Heihe River Basin, China. *SPIE Proceedings, Vol. 8174, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIII*, 817423. <https://doi.org/10.1117/12.897571>
- Zhang, P., Bounoua, L., Imhoff, M. L., Wolfe, R. E., & Thome, K. (2014). Comparison of MODIS Land Surface Temperature and Air Temperature over the Continental USA Meteorological Stations. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 40(2), 110–122. <https://doi.org/10.1080/07038992.2014.935934>
- Zhenming, W. (2019). MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide. *The Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC)*. Truy cập từ: https://lpdaac.usgs.gov/documents/715/MOD11_User_Guide_V61.pdf