

Ứng dụng viễn thám và GIS giám sát nhiệt độ bề mặt đất và hiện tượng đảo nhiệt đô thị tại Thành phố Hồ Chí Minh

Nguyễn Hoàng Trọng Khoa^{1,*}, Phạm Thị Mai Thy², Võ Lương Hồng Phước¹

¹Trường Đại học Khoa học tự nhiên, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam,
Đại học Quốc Gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Trung tâm Ứng dụng Công nghệ Vũ trụ TP. HCM, Trung tâm Vũ trụ Việt Nam,
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

*Email tác giả liên hệ: trongkhoa039@gmail.com

<https://doi.org/10.67484/mgc.42>

Tóm tắt: Nghiên cứu đánh giá biến động nhiệt độ bề mặt (LST) và hiện tượng đảo nhiệt đô thị (UHI khu vực TP.HCM trước sáp nhập (2015 – 2024) từ dữ liệu Landsat 8, 9 và MODIS. Dữ liệu được xử lý trên nền tảng Google Earth Engine (GEE). Kết quả LST và UHI phân bố không đồng đều, nhiệt độ (>45°C) vùng sân bay và KCN, (40-45°C) vùng nội thành, (35-40°C) vùng đất nông nghiệp (phụ thuộc mùa vụ), (30-35°C) vùng phủ xanh cao, (<30°C) vùng mặt nước và rừng. LST trích tại trạm cao hơn nhiệt độ không khí đo tại trạm 9,15°C (Landsat) và 4,91°C (MODIS); mức tương quan trung bình ($R^2 = 0,294 - 0,3398$); xu hướng LST rất nhỏ. LST trung bình năm nội thành (>36°C), ngoại thành (Landsat: 30 - 36°C, MODIS: 30 - 35°C), Cần Giờ (Landsat: 26 - 34°C, MODIS: 26 - 30°C). LST trung bình năm MODIS thấp hơn Landsat 3,4°C và 11°C vùng đảo nhiệt mạnh. LST trung bình năm giảm dần từ đất đô thị (37-40°C), đất nông nghiệp (34-36°C), đất nuôi trồng thủy sản (31-35°C), đất rừng (29-33°C), mặt nước (<30°C). LST trung bình năm biến động năm 2019 - 2020, có thể liên quan ENSO. UHI mức rất thấp - thấp vùng phủ xanh cao và mặt nước; mức trung bình vùng ngoại thành; mức cao - rất cao vùng nội thành và KCN. Kết quả LST và UHI phụ thuộc chặt chẽ vào mức độ đô thị hóa và lớp sử dụng đất, cung cấp cơ sở cho các giải pháp giảm thiểu UHI và thích ứng với BĐKH trong bối cảnh đô thị hóa gia tăng.

Từ khóa: Google Earth Engine, Landsat, MODIS, LST, UHI, Thành phố Hồ Chí Minh

Ngày nhận bài: 05/07/2026 Ngày sửa lại: 19/07/2026 Ngày chấp nhận đăng: 20/07/2026 Ngày xuất bản: 30/08/2026

Utilizing Remote Sensing and GIS technologies to monitor land surface temperature and urban heat islands in Ho Chi Minh city

Nguyen Hoang Trong Khoa^{1,*}, Pham Thi Mai Thy², Vo Luong Hong Phuoc¹

¹University of Science, Ho Chi Minh City, Viet Nam,
Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Viet Nam

²Ho Chi Minh City Space Technology Application Center, Vietnam National Space Center,
Vietnam Academy of Science and Technology

*Corresponding Author Email: trongkhoa039@gmail.com

Abstract: This study evaluates LST and UHI variation in Ho Chi Minh City before administrative units merger (2015 – 2024), using Landsat 8, 9 and MODIS. The study was conducted on Google Earth Engine (GEE) platform. LST and UHI are unevenly distributed. Temperature (>45°C) in airport and industrial areas; (40-45°C) in urban cores; (35-40°C) in agricultural areas (depending on cropping seasons); (30-35°C) in high vegetation areas; (<30°C) in water bodies and forests. Station derived-LST higher than observed air temperature 9.15°C (Landsat) and 4.91°C (MODIS). Correlation at average level ($R^2 = 0.294 - 0.3398$), negligible trend line. Annual mean LST in urban core (>36°C), in suburban areas (Landsat: 30 - 36°C, MODIS: 30 - 35°C), in Can Gio (Landsat: 26 - 34°C, MODIS: 26 - 30°C). MODIS-derived annual mean LST is 3.4°C lower than Landsat, 11°C lower in strong UHI zones. Annual mean LST decreases from urban areas (37-40°C) to agricultural lands (34-36°C), aquaculture areas (31-35°C), forests (29-33°C), water bodies (<30°C). Annual mean LST varied in 2019-2020, may be related to ENSO. UHI from very low to low in high vegetation areas and water bodies, moderate in suburban areas, high to very high in urban cores and industrial zones. LST and UHI results are strongly influenced by urbanization and landuse types, thereby providing a basis for solutions to mitigate the impact of the UHI climate change adaptation in the context of increasing urbanization.

Keywords: Google Earth Engine, Landsat, MODIS, LST, UHI, Ho Chi Minh City

Submission received: 05/07/2026 Revised: 19/07/2026 Accepted: 20/07/2026 Published: 30/08/2026

1. Giới thiệu

Biến đổi khí hậu là một thách thức nghiêm trọng toàn cầu, góp phần làm gia tăng các hiện tượng thời tiết cực đoan, trong đó có hiện tượng đảo nhiệt đô thị (UHI). Tại Việt Nam, UHI đang ngày càng đáng lo ngại, đặc biệt ở đô thị lớn như TP.HCM. Cụ thể, mật độ người dân tập trung tại khu vực đô thị ngày càng nhiều kèm theo sự gia tăng dân số và sự mở rộng diện tích đô thị, kéo theo đó là sự suy giảm diện tích che phủ thực vật vốn đóng vai trò quan trọng trong việc điều hòa nhiệt độ, cải thiện chất lượng không khí. Đồng thời, sự tích tụ các vật liệu không thấm nước trên bề mặt như các tấm tôn mái nhà, đường xá, nhựa đường và các công trình xây dựng làm tăng khả năng hấp thụ bức xạ mặt trời, từ đó làm thay đổi dòng năng lượng bề mặt [1]. Hệ quả là hình thành các khu vực có LST cao hơn với các khu vực xung quanh, gây ra nhiều hệ quả tiêu cực, bao gồm: ảnh hưởng sự phát triển thực vật [2]; nhu cầu tiêu thụ năng lượng tăng [3]; suy giảm chất lượng không khí [2] và các vấn đề về sức khỏe chẳng hạn như tỷ lệ tử vong do nắng nóng [4]. Nhiều nhà nghiên cứu bắt đầu tìm hiểu về hiện tượng UHI tại các khu vực trung tâm đô thị hay các thành phố để lý giải sự bất thường của nhiệt độ và ảnh hưởng của chúng đến cuộc sống người dân. Trong đó, việc sử dụng dữ liệu ảnh viễn thám ngày càng rộng rãi, lý do ảnh viễn thám cung cấp ảnh nhìn trực quan, toàn diện và kịp thời hơn so với dữ liệu tại các trạm quan trắc [5]. Một số nghiên cứu sử dụng ảnh Landsat và MODIS như Rubika Singh và Neetu Kapoor (2025) đã phân tích sự biến đổi của LST tại khu vực thành phố Jhansi (Ấn Độ) ghi nhận rằng diện tích lớp phủ xanh bị giảm và tăng diện tích bề mặt không thấm từ 7% lên 26% nên cường độ UHI đã tăng trung bình $1,51^{\circ}\text{C}$ trong 20 năm [6], tại các quận trung tâm tỉnh Kayseri (Thổ Nhĩ Kỳ) phát hiện tương quan dương mạnh với chỉ số đất xây dựng và âm mạnh với chỉ số thực vật [7], LST tại xã Bhairab (quận Kishorehanj, Bangladesh) vào mùa hè năm 2008 và 2023 đang nóng lên [8], tại 1.444 huyện khắp Trung Quốc cho thấy UHI có xu hướng tăng đáng kể [9], tại thành phố Kitakyushu (Nhật Bản) nhận thấy rằng cường độ UHI vào ban ngày có thể bị ước lượng cao hơn đáng kể với mức sai lệch dao động từ $1,09 - 1,18^{\circ}\text{C}$ [10]. Một số nghiên cứu tại TP.HCM đã ghi nhận xu hướng gia tăng LST và mở rộng diện tích UHI trong những thập kỷ gần đây. Cụ thể, Nguyễn Thanh Sơn và các cộng sự (2017) ghi nhận LST trung bình tại các quận trung tâm thành phố tăng từ 30°C (1996) lên hơn 32°C (2016) [11], Nguyễn Huy Anh và các cộng sự (2021) cho thấy diện tích khu vực có nhiệt độ $30 - 40^{\circ}\text{C}$ tại trung tâm thành phố đã tăng thêm 60,56 ha sau 4 năm (2016 - 2020) [12]. Hà và các cộng sự (2023) phát hiện tổng diện tích bề mặt không thấm nước đã tăng thêm 57.338 ha trong 30 năm, LST tăng rõ rệt tại các khu vực đất xây dựng, KCN và bề mặt không thấm nước, với mức tăng trung bình từ 22°C lên 27°C [13]. Các nghiên cứu gần đây (Cường và các cộng sự, 2024; Đỗ Thị Ngọc Anh và các cộng sự, 2024; Thiện và các cộng sự, 2025) tiếp tục khẳng định xu hướng này, đồng thời nhấn mạnh sự chênh lệch LST rõ rệt giữa khu vực có diện tích bề mặt không thấm với các khu vực có thảm thực vật hoặc mặt nước [14]. Các nghiên cứu sử dụng ảnh viễn thám Landsat phân tích UHI tại TP.HCM và ngoài nước chủ yếu chỉ chọn một vài ảnh đại diện trong năm, chủ yếu vào mùa khô để phân tích. Tuy nhiên, cách tiếp cận này có thể không phản ánh đầy đủ biến động không gian – thời gian của LST khi vẫn tồn tại nhiều khu vực quang mây có thể khai thác. Việc sử dụng toàn bộ ảnh Landsat trong năm, kết hợp ảnh MODIS giúp thể hiện rõ xu hướng và mức độ biến động LST theo thời gian. Để khắc phục hạn chế mây che thay vì loại bỏ toàn bộ ảnh có tỷ lệ mây cao, một hướng tiếp cận khác là loại bỏ trực tiếp các pixel chứa mây thông qua kênh QA_PIXEL. Thực tế, phương pháp này đã được áp dụng trong nhiều nghiên cứu. Chẳng hạn, Carmen Zarzuelo và các cộng sự (2025) đã sử dụng kênh QA_PIXEL khi lập bản đồ vùng triều tại vịnh Cadiz (Miền Tây Nam nước Tây Ban Nha) [15]. Yang Shen và các cộng sự (2015) cũng áp dụng kênh QA_PIXEL nhằm xử lý mây mỏng cho ảnh Landsat tại khu vực Tứ Xuyên (Trung Quốc), nơi vốn hoàn toàn bị mây che phủ [16]. Tại Việt Nam, Hoàn và các cộng sự (2025) đã sử dụng kênh QA_PIXEL nhằm đánh giá động thái đô thị tại thành phố Hà Nội [17]. Do đó, nghiên cứu tập trung khai thác toàn bộ chuỗi ảnh Landsat và MODIS giai đoạn 2015 – 2024 kết hợp phương pháp lọc pixel chứa mây dựa trên kênh QA_PIXEL nhằm khai thác tối đa các khu vực quang mây và so sánh với dữ liệu thực đo. Trên cơ sở đó, nghiên cứu cung cấp bản đồ LST cùng với việc xác định các khu vực chịu ảnh

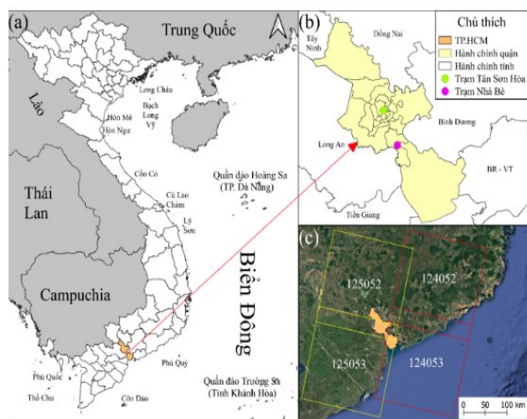
hường của UHI tại một số thời điểm. Đồng thời, đánh giá được sự phân bố LST trung bình năm của từng lớp sử dụng đất theo không gian, phân tích xu hướng biến động nhiệt theo thời gian và sự biến đổi diện tích của các vùng UHI trong giai đoạn từ năm 2015 - 2024.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực và dữ liệu nghiên cứu

2.1.1. Khu vực nghiên cứu

TP.HCM là một trong hai trung tâm kinh tế, văn hóa, chính trị lớn nhất của Việt Nam. Trong nghiên cứu này, phạm vi khu vực nghiên cứu được xác định theo ranh giới hành chính của TP.HCM trước khi sáp nhập với tổng diện tích là 2.095km², dân số trung bình khoảng 9,54 triệu người. Trong đó, 77,8% tập trung ở đô thị và 22,2% ở nông thôn, nam giới chiếm 48,5% và nữ giới 51,5%. Thành phố tọa lạc tại trong vùng chuyển tiếp giữa khu vực Đông Nam Bộ và Tây Nam Bộ. Vị trí địa lý của thành phố nằm trong khu vực có tọa độ từ 10°21' - 11°9' vĩ độ Bắc và từ 106°22' - 107°1' kinh độ Đông. Phía Bắc giáp huyện Dầu Tiếng (Bình Dương) và thị xã Trảng Bàng (Tây Ninh), phía Tây giáp tỉnh Long An, phía Đông Bắc giáp tỉnh Bình Dương và Đồng Nai, phía Đông Nam giáp tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu, phía Tây Nam giáp tỉnh Tiền Giang và phía Nam giáp Biển Đông.



Hình 1. TP.HCM (ranh giới cũ trước 07/2025) và phạm vi ô ảnh Landsat

Địa hình thành phố có xu hướng thấp dần từ Bắc xuống Nam, từ Đông sang Tây. Vùng địa hình cao tập trung ở phía Bắc và Đông Bắc thành phố với cao độ biến đổi từ 4 đến 32m, vùng trũng thấp, lầy tập trung phía Nam – Tây Nam và Đông Nam thành phố với cao độ phổ biến 1 - 2m, vùng phẳng thấp phân bố tại khu vực nội thành có cao độ mặt đất 2 - 4m, vùng trũng thấp ven biển tập trung hầu hết ở các xã thuộc huyện Cần Giờ với cao độ 0 - 1m. Thành phố chịu ảnh hưởng của khí hậu nhiệt đới gió mùa cận xích đạo với khí hậu nóng ẩm kéo dài quanh năm với 2 mùa rõ rệt [18]. Mùa mưa thường diễn ra vào tháng 5 kéo dài đến tháng 11 (đỉnh điểm vào tháng 9). Mùa khô bắt đầu từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau.

2.1.2. Dữ liệu nghiên cứu

Dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: (a) Ảnh vệ tinh Landsat 8 và 9 (LANDSAT/LC08-9/C02/T1_L2) với độ phân giải không gian 30m và chu kỳ lặp 16 ngày cho mỗi vệ tinh vào khoảng 10:12 sáng 05 phút (giờ địa phương). Tuy nhiên, nhờ sự lệch pha quỹ đạo giữa hai vệ tinh, chu kỳ lặp dữ liệu đối với mỗi khu vực được rút ngắn xuống còn 8 ngày. Dữ liệu đóng vai trò quan trọng trong việc giám sát, phân tích và quản lý tài nguyên Trái Đất cũng như các quá trình diễn ra trên bề mặt hành tinh [19]. (b) Ảnh vệ tinh MODIS (MOD11A1.061) từ 2 vệ tinh Terra và Aqua với độ phân giải không gian 1km, chu kỳ lặp 1 ngày [20] được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như thành phần bề mặt đất, hoạt động sinh học trên bề mặt đất, LST, phạm vi đặc tính băng tuyết, vật lý và hoạt động sinh hóa học của đại dương - hồ, tính chất sol khí và tính chất mây [20]. (c) Bên cạnh đó, nghiên cứu còn sử dụng thêm bản đồ sử dụng đất do Trung tâm Nghiên cứu Quan sát Trái Đất (Earth Observation Research Center - EORC) thuộc Cơ quan Thám hiểm Hàng không Vũ trụ Nhật Bản (Japan Aerospace Exploration Agency - JAXA) cung cấp, với độ phân giải không gian 10m; số liệu nhiệt độ không khí thực đo lúc 10:00 tại các trạm khí tượng Nhà Bè, Tân Sơn Hòa do Đài Khí tượng Thủy văn Khu vực Nam Bộ cung cấp; ranh giới hành chính khu vực nghiên cứu dưới dạng shapefile từ các nguồn dữ liệu mở.

Bảng 1. Các dải kênh phổ và kênh đánh giá chất lượng ảnh vệ tinh Landsat [21]

Dải kênh	Mô tả	Bước sóng (nm)	Định danh (Level 2)	Đơn vị	Khoảng giá trị
1	Dải xanh lam	435 - 451	SR_B1	Không	1 - 65455

Dải kênh	Mô tả	Bước sóng (nm)	Định danh (Level 2)	Đơn vị	Khoảng giá trị
	gần cực tím				
2	Dải xanh lam	452 - 512	SR_B2	Không	1 - 65455
3	Dải xanh lục	533 - 590	SR_B3	Không	1 - 65455
4	Dải đỏ	636 - 673	SR_B4	Không	1 - 65455
5	Hồng ngoại gần	851 - 879	SR_B5	Không	1 - 65455
6	Hồng ngoại sóng ngắn 1	1566 - 1651	SR_B6	Không	1 - 65455
7	Hồng ngoại sóng ngắn 2	2107 - 2294	SR_B7	Không	1 - 65455
10	Hồng ngoại nhiệt	10600 - 11190	ST_B10	Kelvin	1 - 65535
QA Level 1			QA_PIXEL	Chỉ số Bit	0 - 65535

Bảng 2. Tập dữ liệu của sản phẩm MOD11A1[22]

Dữ liệu	Đơn vị	Phạm vi giá trị	Dữ liệu	Đơn vị	Phạm vi giá trị
LST_Day_1km	K	7500 - 65535	Night view time	Giờ	0 - 240
QC_Day	Không	0 - 255	Night view angle	Độ	0 - 130
Day view time	Giờ	0 - 240	Emis_31	Không	1 - 255
Day view angle	Độ	0 - 130	Emis_32	Không	1 - 255
LST_Night_1km	K	7500 - 65535	Clear day cov	Không	1 - 65535
QC_Night	Không	0 - 255	Clear night cov	Không	1 - 65535

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Lọc mây

Trong quá trình xử lý ảnh vệ tinh, đặc biệt là ảnh Landsat, các ảnh trong khu vực nghiên cứu có tỷ lệ mây che phủ lớn hơn 10% vào mùa khô sẽ bị loại bỏ. Tuy nhiên, việc lọc ảnh dựa trên tỷ lệ mây dẫn đến chưa khai thác triệt để dữ liệu, nguyên nhân tại nhiều thời điểm chỉ một phần ảnh bị ảnh hưởng mây trong khi các khu vực quang mây vẫn có thể sử dụng được nhưng lại bị bỏ sót. Do đó, việc kết hợp thêm kênh QA_PIXEL nhằm loại bỏ trực tiếp các pixel bị mây che phủ và bóng mây, từ đó tận dụng nhiều khu vực quang mây cho quá trình xử lý. QA_PIXEL là kênh đánh giá chất lượng thuộc bộ dữ liệu Landsat Collection 2, đã được hiệu chỉnh khí quyển và bức xạ (Level 2) với các pixel của ảnh được gán nhãn và mã hóa ở dạng bitwise bởi thuật toán CFMask, một thuật toán đa vòng dựa trên cây quyết định để gán nhãn các pixel trong cảnh ảnh, sau đó xác nhận hoặc loại bỏ nhãn dựa trên thống kê toàn cảnh [23]. Riêng các ảnh MODIS hàng ngày đã được lọc mây sẵn.

2.2.2. Tính nhiệt độ bề mặt đất (LST)

Trong sản phẩm Landsat Collection 2 Level 2, dữ liệu LST được cung cấp trực tiếp qua kênh ST_B10 dạng số nguyên trong khoảng giá trị từ 1 – 65535 (Bảng 1), đây là kênh LST được tính toán từ dữ liệu hồng ngoại nhiệt (B10) của Landsat sau khi tái xử lý dữ liệu, hiệu chỉnh khí quyển - bức xạ nhằm giảm dung lượng lưu trữ và rút ngắn thời gian tải xuống [24]. Theo USGS, dữ liệu được chia tỷ lệ cho phép chuyển đổi bằng cách áp dụng một giá trị bù (TEMPERATURE_ADD_BAND_ST_B10), sau đó nhân với hệ số chuyển đổi (TEMPERATURE_MULT_BAND_ST_B10) nhằm khôi phục dữ liệu về giá trị số thực ban đầu [21]. Công thức khôi phục về giá trị LST theo phương trình (1):

$$LST_{Landsat} = (ST_B10 * 0,00341802) + 149 - 273,15 \quad (1)$$

Trong đó: ST_B10 là giá trị số nguyên điểm ảnh của kênh 10 Landsat 8/9,

LST_{Landsat} là giá trị nhiệt độ bề mặt (°C).

Kể từ khi phóng, MODIS đã trải qua nhiều lần tái xử lý dữ liệu, hiệu chỉnh bức xạ và định vị địa lý, hiệu chỉnh khí quyển [22]. Dữ liệu LST được cung cấp trực tiếp qua kênh LST_Day_1km dưới dạng số nguyên nằm trong khoảng giá trị từ 7500 – 65535 (Bảng 2). Theo Zhengming Wan và các cộng sự (2006), dữ liệu MODIS lưu dưới dạng số nguyên ở định dạng unit16 cho phép chuyển

đổi thành giá trị LST bằng hệ số chuyển đổi [25]. Công thức chuyển đổi theo phương trình (2):

$$LST_{MODIS} = LST_{Day_1km} * 0,02 - 273,15 \quad (2)$$

Trong đó: LST_{Day_1km} là giá trị số nguyên điểm ảnh nhiệt độ bề mặt ban ngày của MODIS,

LST_{MODIS} là giá trị nhiệt độ bề mặt ($^{\circ}C$).

2.2.3. Tính cường độ đảo nhiệt đô thị (UHI)

Theo Huang và các cộng sự (2019), LST trung bình khu vực nông thôn/ngoại thành được sử dụng để đại diện cho LST trung bình của toàn vùng nghiên cứu, từ đó làm cơ sở xác định chênh lệch nhiệt độ giữa khu vực đô thị và nông thôn, hay chính là hiện tượng UHI [26]. Cường độ đảo nhiệt được tính theo phương trình:

$$UHI = \frac{\Delta T_i}{T_s} = \frac{T_i - T_s}{T_s} \quad (3)$$

Trong đó: T_i là LST của điểm ảnh thứ i ($^{\circ}C$),

T_s là LST trung bình vùng nông thôn/ngoại thành ($^{\circ}C$).

Cường độ UHI được chia thành 5 mức:

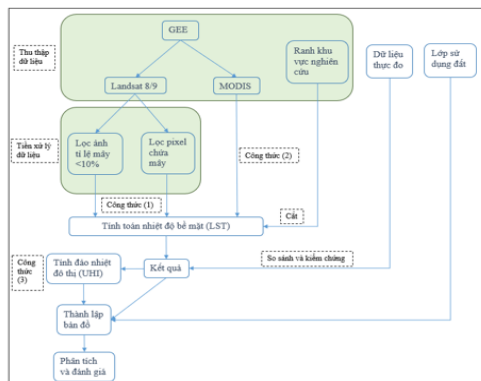
Bảng 3. Các mức độ UHI [26]

Giá trị	Mức độ	Mô tả
$UHI \leq 0$	Rất thấp	Chênh lệch không đáng kể.
$0 < UHI \leq 0,1$	Thấp	Chênh lệch nhỏ.
$0,1 < UHI \leq 0,2$	Trung bình	Chênh lệch ở mức vừa phải.
$0,2 < UHI \leq 0,3$	Cao	Chênh lệch lớn.
$0,3 < UHI$	Rất cao	Chênh lệch rất lớn.

2.2.4. Quy trình nghiên cứu

Quy trình nghiên cứu gồm các bước chính: (a) Truy xuất trực tiếp dữ liệu Landsat 8-9 (LANDSAT/LC08-9/C02/T1_L2) và MODIS (MOD11A1.061) từ kho dữ liệu có sẵn trên GEE giai đoạn 2015 – 2024, các ảnh được chọn dựa trên điều kiện giao với khu vực nghiên cứu. Đối với Landsat, các cảnh ảnh thuộc các ô 124052, 124053, 125052 và 125053 được sử dụng (Hình 1c). (b) Áp dụng phương pháp lọc mây theo tỉ lệ cho ảnh Landsat tại một số thời điểm vào mùa khô trong năm và phương pháp lọc pixel chứa mây cho toàn bộ ảnh Landsat, việc lọc pixel được thực hiện bằng cách xây dựng các điều kiện dựa trên các bit trong dải QA_PIXEL, cụ thể các bit từ 0 đến 4 nhằm loại bỏ các pixel chứa mây và bóng mây trên GEE. (c) Chuyển đổi LST thông qua các công thức tương ứng, với ảnh Landsat sử dụng công thức (1) và MODIS sử dụng công thức (2), các ảnh sau khi chuyển đổi được cắt theo ranh khu vực nghiên cứu. (d) Trích xuất giá trị LST đã tính tại tọa độ vị trí các trạm khí tượng bằng phần mềm QGIS và so sánh với số liệu thực đo tại trạm. (e) Tính UHI từ ảnh Landsat sau khi lọc mây thấp hơn 10% tại một số thời điểm vào mùa khô cho toàn bộ khu vực nghiên cứu theo công thức (3) và phân loại UHI theo bảng 3. (f) Thành lập bản đồ, phân tích và đánh giá kết quả.

3. Kết quả nghiên cứu

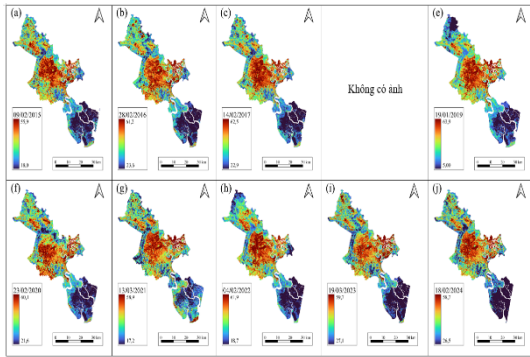


Hình 2. Quy trình nghiên cứu

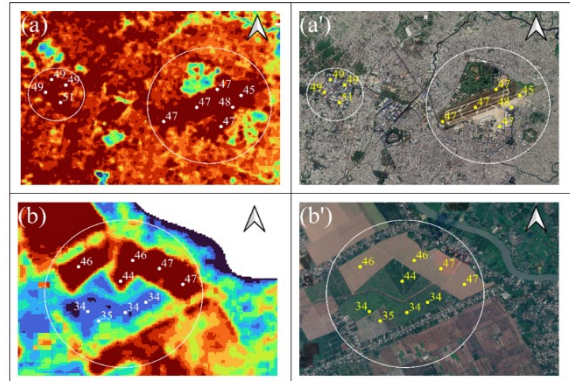
3.1. Biến động nhiệt độ bề mặt tại các thời điểm

Kết quả tính toán cho thấy LST phân bố không đồng đều trên toàn bộ khu vực nghiên cứu (Hình 3). Các khu vực có giá trị LST cao tập trung chủ yếu những khu vực có mức độ đô thị hóa cao như phía Bắc thành phố Thủ Đức, quận 12, quận Tân Bình, quận Tân Phú và quận Bình Tân. Ngược lại, các khu vực phía Nam huyện Cần Giờ, những khu vực có độ phủ xanh lớn và các bề mặt nước có LST thấp hơn rõ rệt. Cụ thể, các khu vực có nhiệt độ trên $45^{\circ}C$ chủ yếu xuất hiện tại khu vực sân bay, các KCN tập trung, KCTX, khu vực công ty sản xuất, khu xử lý chất thải và các bãi đất trống (Hình 4a và 4a'). Nhiệt độ từ 40

- 45°C phân bố rộng ở các khu vực đô thị có bề mặt không thấm cao và mật độ cây xanh thấp, các bãi cỏ nhân tạo, khu vực lân cận KCN - KCX - cơ sở sản xuất. Nhiệt độ từ 35 - 40°C tập trung tại các khu vực đất nông nghiệp, khu vực dọc theo các tuyến giao thông lớn, công viên cây xanh và các khu vui chơi giải trí có hồ nước trong nội thành. Nhiệt độ từ 30 - 35°C chủ yếu xuất hiện ở những khu vực có độ phủ xanh nhiều, các đoạn sông trong khu vực nội thành và khu vực phía Tây Bắc rừng ngập mặn. Trong khi đó, các khu vực có LST thấp hơn 30°C tập trung chủ yếu tại các bề mặt nước và khu vực phía Đông Nam của rừng ngập mặn.



Hình 3: Nhiệt độ bề mặt TP.HCM tại các thời điểm

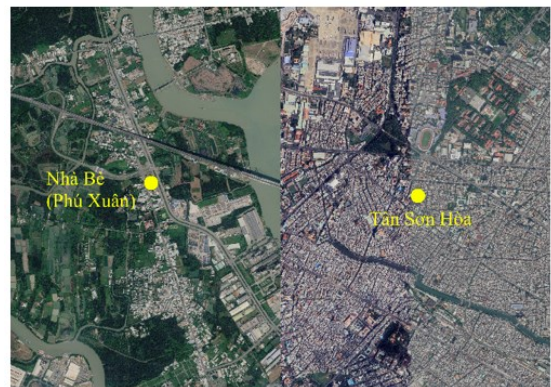


Hình 4: Nhiệt độ bề mặt tại khu vực sân bay Tân Sơn Nhất, KCN Vĩnh Lộc, các bãi đất nông nghiệp thời điểm 18/02/2024 (Landsat) và ảnh Google Earth

Tuy nhiên, sự phân bố LST có sự khác biệt ở một số khu vực chẳng hạn các khu vực nội thành và KCN có nền LST cao tương đối ổn định trong năm; ngược lại, các khu vực đất nông nghiệp thể hiện sự biến động LST theo tháng, phụ thuộc vào chu kỳ mùa vụ. Trong giai đoạn cây trồng phát triển mạnh, độ che phủ thực vật cao dẫn đến LST giảm; sau thu hoạch, bề mặt đất trống chiếm ưu thế và độ che phủ thực vật suy giảm, LST có xu hướng tăng lên rõ rệt, diễn hình tại các khu vực đất nông nghiệp thuộc huyện Củ Chi, Hóc Môn và Bình Chánh (Hình 4b và 4b').

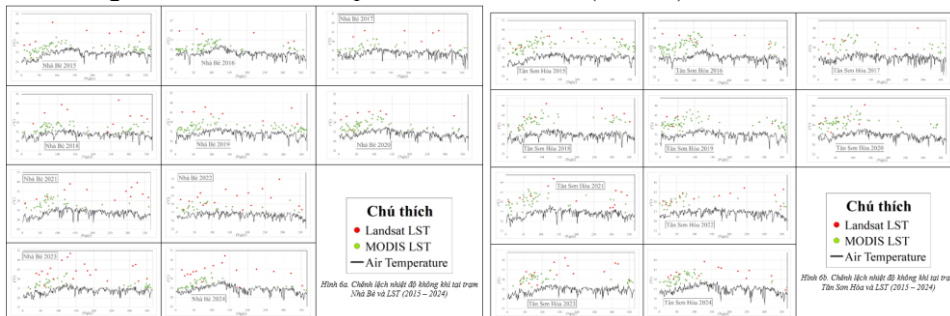
3.2. Xu hướng nhiệt độ bề mặt

Các kết quả từ Hình 6a và 6b cho thấy giá trị LST tính từ ảnh vệ tinh được trích xuất tại vị trí các trạm khí tượng có tần suất xuất hiện nhiều vào các tháng đầu năm và cuối năm, trong khi ít xuất hiện vào các tháng giữa năm. Nguyên nhân chủ yếu là do mùa mưa tại khu vực TP.HCM kéo dài từ tháng 5 đến tháng 11, làm gia tăng độ phủ mây, từ đó hạn chế số lượng ảnh vệ tinh ít mây để tính toán LST. Kết quả so sánh cho thấy giá trị LST từ vệ tinh Landsat và MODIS đều cao hơn so với nhiệt độ không khí thực đo quan trắc tại các trạm khí tượng lần lượt khoảng 9,15°C và 4,91°C, lý do bề mặt hấp thụ trực tiếp bức xạ mặt trời và nóng lên nhanh hơn nhiệt độ không khí [27]. Trong đó, LST tính từ ảnh Landsat có xu hướng cao hơn, với nhiều giá trị vượt 41°C, trong khi LST từ ảnh MODIS thấp hơn, chủ yếu dao động trong khoảng 31 - 41°C. Sự khác biệt này có thể được giải thích bởi vệ tinh Landsat có độ phân giải cao hơn (30m), cho phép phân biệt sự khác biệt về nhiệt độ giữa các loại hình bề mặt chi tiết hơn, trong khi đó vệ tinh MODIS có độ phân giải thấp hơn (1000m) vốn lấy giá trị trung bình trên diện rộng [28]. Ngoài ra, thời điểm bay qua và góc quan sát cũng góp phần làm gia tăng sự khác biệt, điều này khiến Landsat nhạy hơn với sự thay đổi tỷ lệ các thành phần lớp

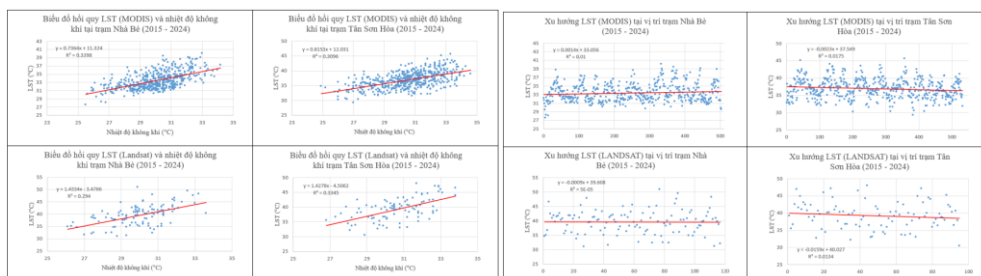


Hình 5. Vị trí trạm Nhà Bè và Tân Sơn Hòa

phủ bề mặt có độ tương phản nhiệt cao cũng như sự giảm độ phát xạ bề mặt [29]. Giá trị LST từ vệ tinh MODIS trích tại vị trí trạm Nhà Bè có xu hướng thấp hơn so với trạm Tân Sơn Hòa. Nguyên nhân liên quan đến vị trí đặt trạm và đặc điểm lớp phủ bề mặt xung quanh. Cụ thể, trạm Nhà Bè nằm cách sông Soài Rạp khoảng 900m và khu vực xung quanh chủ yếu là đất nông nghiệp và đất rừng, trong khi trạm Tân Sơn Hòa được đặt tại khu vực trung tâm thành phố, nơi có mật độ bề mặt không thấm và vật liệu hấp thụ nhiệt cao hơn (Hình 5).



Trong giai đoạn 2015 – 2024, xu hướng LST tại vị trí các trạm khí tượng có sự khác biệt giữa dữ liệu MODIS và Landsat (Hình 8). Tại vị trí trạm Nhà Bè, LST từ MODIS có hệ số dương rất nhỏ (0,0014) thể hiện xu hướng tăng nhẹ, trong khi LST từ Landsat có hệ số âm rất nhỏ (-0,0009) thể hiện xu hướng giảm nhẹ. Tại trạm Tân Sơn Hòa, cả MODIS và Landsat đều có hệ số âm lần lượt là (-0,0023 đối với MODIS) và (-0,0159 đối với Landsat) cho thấy xu hướng giảm nhẹ. Tuy nhiên, độ lớn của các hệ số đều nhỏ, điều này cho thấy tốc độ biến đổi của LST theo thời gian là rất nhỏ.



Hình 7. Biểu đồ hồi quy tuyến tính LST (MODIS và Landsat) và nhiệt độ không khí tại các trạm khí tượng

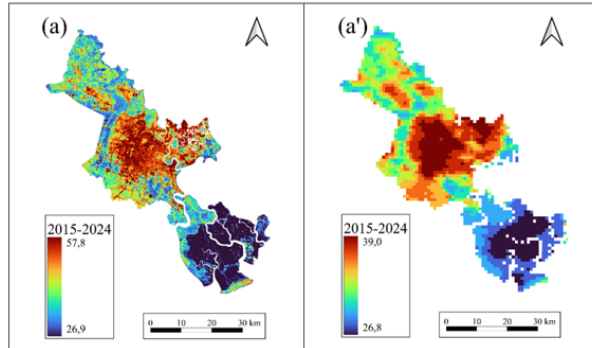
Hình 8. Xu hướng LST (MODIS và Landsat) tại vị trí các trạm khí tượng

3.3. Nhiệt độ bề mặt trung bình năm

Nhiệt độ bề mặt trung bình năm và nhiều năm tính từ dữ liệu Landsat (được lọc mây bằng kênh QA_PIXEL nhằm giữ các ảnh có khu vực quang mây) và MODIS cho thấy sự tương đồng rõ rệt về phân bố theo không gian. Kết quả các khu vực trung tâm thành phố và phía Bắc thành phố Thủ Đức luôn có giá trị LST trung bình cao, trên 36°C đối với cả hai nguồn dữ liệu. Ngược lại, các khu vực ngoại thành có nền nhiệt trung bình thấp hơn, dao động trong khoảng 30 - 36°C đối với Landsat, trong khi MODIS ghi nhận khoảng 30 - 35°C. Tại khu vực huyện Cần Giờ ghi nhận giá trị LST trung bình thấp nhất, với MODIS dao động từ 26 - 30°C, còn Landsat từ 26 - 34°C. Tuy nhiên, tại khu vực ven biển Cần Giờ, một số vùng ghi nhận có LST trung bình cao hơn, nguyên nhân chủ yếu đây là khu vực có dân cư sinh sống tập trung, xen kẽ với đất nông nghiệp và đất nuôi trồng thủy sản, làm thay đổi đặc điểm lớp phủ bề mặt. Kết quả MODIS tại khu vực này ghi nhận giá trị LST trung bình cao nhất khoảng 31,6°C, trong khi Landsat đạt khoảng 40°C.

Nhìn chung, phân bố LST trung bình năm cả 2 vệ tinh tương đồng về mặt không gian, tuy nhiên vẫn tồn tại những khác biệt đáng kể. Cụ thể, giá trị LST tính từ MODIS có xu hướng thấp hơn so với Landsat trung bình khoảng 3,4°C; đặc biệt, tại các khu vực đảo nhiệt mạnh (khu công

nghiệp, khu chế xuất,...) mức chênh lệch này lên tới trung bình khoảng 11°C. Sự khác biệt này chủ yếu xuất phát từ độ phân giải không gian. Landsat với độ phân giải cao cho phép thể hiện chi tiết sự phân bố LST và nhận diện rõ các biến động cục bộ, chẳng hạn như tuyến đường Rừng Sác có LST trung bình khoảng 31-32°C, trong khi xung quanh là rừng ngập mặn Cần Giờ với LST trung bình khoảng 28-29°C. Trong khi đó, MODIS có độ phân giải thấp hơn thể hiện sự phân bố LST một cách tổng thể theo không gian, chủ yếu chỉ thấy một vùng nhiệt lớn không thể hiện rõ



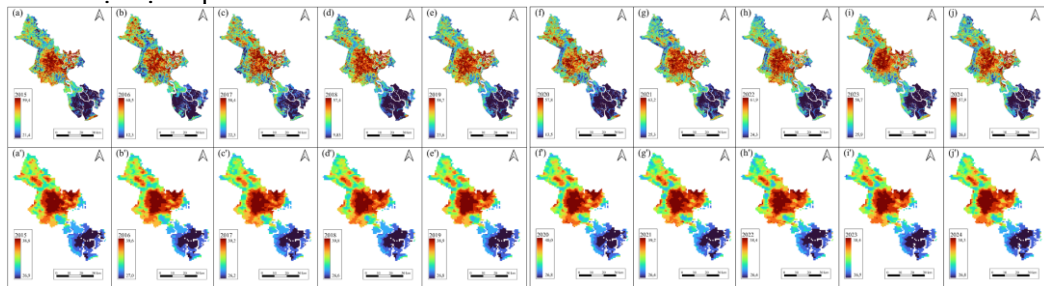
Hình 9. Nhiệt độ bề mặt trung bình nhiều năm 2015-2024 (Landsat: a và MODIS: a')

cấu trúc chi tiết bên trong. Kết quả phân bố LST trung bình năm và nhiều năm được trình bày trong Hình 9 đến Hình 10.

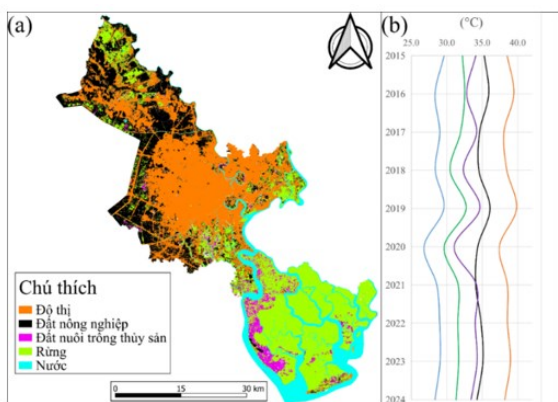
3.4. Biến động nhiệt độ bề mặt trung bình năm theo từng lớp sử dụng đất

Bản đồ sử dụng đất được phân thành năm nhóm chính, bao gồm: đô thị, đất nông nghiệp, đất nuôi trồng thủy sản, rừng và mặt nước. LST trung bình của từng loại hình sử dụng đất được xác định dựa trên chức năng Statistics của phần mềm QGIS. Kết quả cho thấy LST trung bình giảm dần theo thứ tự các loại hình sử dụng đất, với khu vực đô thị

ghi nhận giá trị cao nhất, tiếp đến là đất nông nghiệp, đất nuôi trồng thủy sản và rừng, còn lại mặt nước có nhiệt độ thấp nhất.



Hình 10. Nhiệt độ bề mặt trung bình năm 2015 - 2019 (Landsat: a – e, MODIS: a' – e') và 2020 - 2024 (Landsat: f – j, MODIS: f' – j')



Hình 11. (a) Bản đồ sử dụng đất khu vực nghiên cứu (Nguồn: JAXA); (b) LST trung bình năm theo từng lớp sử dụng đất

Khu vực đô thị có LST trung bình dao động trong khoảng 37 - 40°C, chủ yếu do sự hiện diện của các bề mặt không thấm nước và khả năng hấp thụ nhiệt lớn của vật liệu xây dựng (bê tông, nhựa đường và mái tôn,...). Ngược lại, các khu vực rừng và mặt nước có LST trung bình thấp hơn nhờ khả năng che phủ bề mặt và quá trình thoát hơi nước; LST trung bình của khu vực rừng dao động trong khoảng 29 - 33°C, trong khi khu vực mặt nước có nhiệt độ trung bình nhỏ hơn 30°C. Đối với khu vực đất nông nghiệp, LST biến động theo mùa vụ; trong các giai đoạn sau thu hoạch, sự xuất hiện của các bãi đất trống không có

lớp phủ thực vật dẫn đến sự gia tăng LST, với giá trị trung bình dao động trong khoảng 34 - 36°C. Trong khi đó, các khu vực đất nuôi trồng thủy sản có nền LST tương đối cao, khoảng 31 - 35°C, có thể liên quan đến đặc trưng sử dụng đất bao gồm sự hiện diện của các ao nuôi thủy sản sử dụng lớp lót nhân tạo, kết hợp với mực nước ao nông và quanh khu vực bờ ao chủ yếu là đất trống hoặc bê tông.

Đáng chú ý, giá trị LST trung bình năm 2019 tăng đồng loạt ở tất cả các nhóm sử dụng đất, trong khi năm 2020 ghi nhận xu hướng giảm. Sự khác biệt này nhiều khả năng chịu ảnh hưởng của hiện tượng ENSO. Theo tài liệu của Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn, Môi trường và Biển năm 2021, hiện tượng El Nino xuất hiện từ cuối năm 2018 và kéo dài đến giữa năm 2019. Mặc dù cường độ yếu nhưng đã làm gia tăng số đợt nắng nóng kéo dài và mùa mưa bão đến muộn hơn bình thường. Đến đầu năm 2020, ENSO chuyển sang trạng thái trung tính, sau đó chuyển sang pha La Nina từ tháng 8/2020 gây mưa bão nhiều và kéo dài đến đầu năm 2021 [30].

3.5. Cường độ đảo nhiệt tại các thời điểm

Nhiệt độ bề mặt vùng nông thôn/ngoại thành (T_s) được xác định từ giá trị trung bình của bản đồ nhiệt độ bề mặt trung bình nhiều năm (2015–2024) tại các khu vực đất nông nghiệp và rừng, sử dụng công cụ Statistics_mean trong QGIS. Kết quả tính toán cho thấy $T_s = 32,9^\circ\text{C}$.

Dựa trên dữ liệu ảnh Landsat các thời điểm từ 2015 đến 2024, kết quả phân tích cho thấy sự biến động rõ rệt của các mức cường độ theo thời gian, phản ánh tác động của sự thay đổi lớp phủ bề mặt:

- + Diện tích nhóm khu vực có cường độ đảo nhiệt rất thấp biến động mạnh nhất. Năm 2015 ghi nhận diện tích lớn nhất, sau đó giảm đột ngột từ 911 km² xuống còn 318 km² vào năm 2016. Trong giai đoạn 2017 - 2020, diện tích nhóm này có xu hướng tăng dần. Tuy nhiên, đến năm 2021 diện tích giảm rõ rệt trước khi tăng vọt lên 815 km² vào năm 2022, rồi giảm trở lại từ năm 2023.

- + Diện tích nhóm khu vực có cường độ thấp dao động trong khoảng từ 360 đến 630 km². Năm 2021 ghi nhận giá trị lớn nhất, khoảng 629 km², sau đó giảm đáng kể vào năm 2022 và duy trì ở mức thấp trong hai năm 2023 và 2024.

- + Đối với nhóm khu vực có cường độ trung bình, diện tích thể hiện sự ổn định tương đối, dao động trong khoảng 360 – 540 km². Cường độ tăng nhẹ vào năm 2021 và sau đó ổn định trở lại trong các năm tiếp theo.

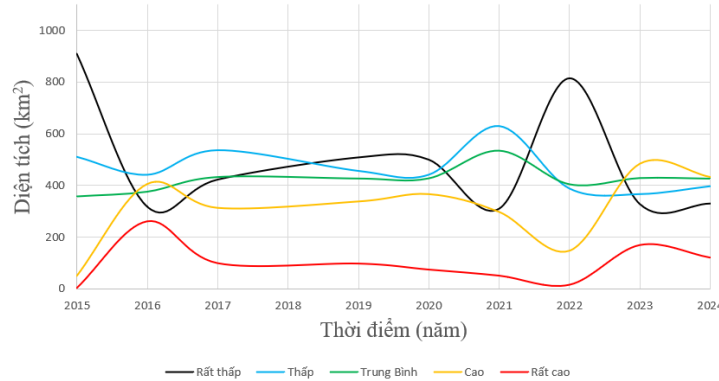
- + Diện tích nhóm khu vực có cường độ cao tăng mạnh từ năm 2015 đến năm 2016, từ 50,5 km² lên 407 km². Giai đoạn 2017 - 2021, diện tích nhóm này duy trì trong khoảng 330 - 400 km² và đạt giá trị thấp nhất vào năm 2022. Tuy nhiên, từ năm 2023 trở đi, diện tích có xu hướng gia tăng trở lại.

- + Tương tự, diện tích nhóm khu vực có cường độ rất cao tăng mạnh trong giai đoạn 2015 - 2016, từ 4,82 km² lên 262 km², sau đó giảm dần còn 17,6 km² vào năm 2022. Từ năm 2023, diện tích nhóm này tăng trở lại, cho thấy gia tăng các điểm nóng đảo nhiệt đô thị.

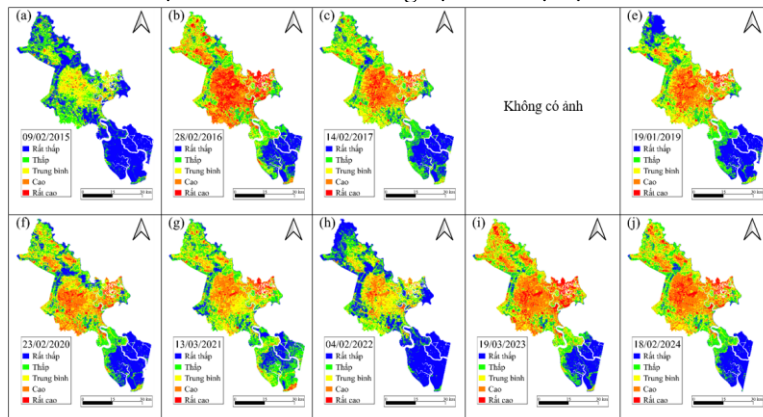
Xét về phân bố không gian, nhóm khu vực có cường độ đảo nhiệt rất thấp chủ yếu tập trung tại những nơi có tỉ lệ bề mặt nước cao, điển hình như rừng ngập mặn Cần Giờ, cùng với các vùng đất nông nghiệp ngập nước ở phía Nam huyện Củ Chi. Nhóm khu vực có cường độ thấp chủ yếu phân bố tại các vùng đất rừng, những khu vực có độ che phủ thực vật cao, các vùng đất nông nghiệp ở phía Tây Bắc - Tây huyện Hóc Môn và Bình Chánh, cũng như khu vực Đông Bắc huyện Củ Chi. Tuy nhiên, khu vực đất nông nghiệp có sự biến động cường độ theo mùa vụ, trong một số thời điểm có thể xuất hiện cường độ rất thấp hoặc thấp, thậm chí đạt mức cao. Nhóm khu vực có cường độ trung bình tập trung ở các vùng ngoại thành, dọc các tuyến đường lớn và xung quanh các khu nuôi trồng thủy sản. Trong khi đó, nhóm khu vực có cường độ cao tập trung chủ yếu tại khu vực nội thành, đặc biệt ở các quận Gò Vấp, Bình Thạnh, Phú Nhuận, các quận 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 và Tân Phú. Đối với nhóm khu vực có cường độ rất cao, phân bố rải rác hơn và thường xuất hiện tại các khu vực như sân bay, khu công nghiệp, khu chế xuất, các cơ sở sản xuất, khu xử lý chất thải và các bãi đất trống ở quận Bình Tân, quận 7, huyện Bình Chánh, Hóc Môn và phía Bắc thành phố Thủ Đức (Hình 13).

Ngoài ra, nghiên cứu xây dựng các tuyến mặt cắt trên bản đồ LST tại hai thời điểm 09/02/2015 và 18/02/2024, đi qua một số khu vực có mức UHI cao và rất cao nhằm đánh giá sự biến thiên nhiệt theo không gian và sự thay đổi theo thời gian. Kết quả phân tích tại khu vực bãi rác Đa Phước (Hình 14) cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa hai thời điểm. Đoạn từ 0 - 500m, tuyến mặt cắt đi qua khu vực đất rừng có độ che phủ thực vật tương đối tốt nên LST duy trì ở mức thấp,

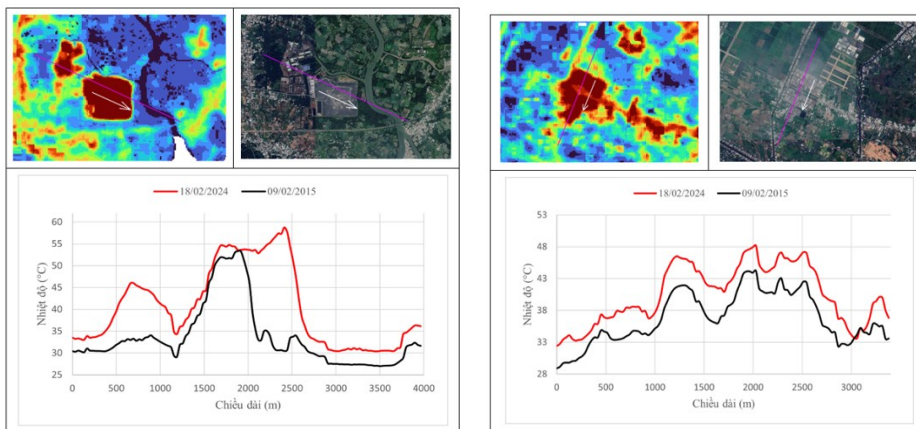
khoảng 30 - 33°C trong cả hai năm. Từ 500 - 1200m xuất hiện một đỉnh nhiệt; năm 2015 khu vực này chủ yếu là đất trống với nhiệt độ khoảng 32,5°C, trong khi đến năm 2024 đã được xây dựng thành nhà máy xử lý chất thải Mộc An Châu, làm gia tăng khả năng hấp thụ nhiệt của bề mặt và nhiệt độ khoảng 45°C. Tiếp theo, trong giai đoạn năm 2015, đoạn từ 1200 - 2100m đi qua bãi rác Đa Phước và ghi nhận thêm một đỉnh nhiệt. Tuy nhiên, đến năm 2024, vùng đỉnh nhiệt kéo dài từ 1200 - 2700m với LST đạt khoảng 50 - 57°C. Sự gia tăng chiều dài là do sự mở rộng diện tích bãi rác trong những năm gần đây. Đoạn mặt cắt còn lại tiếp tục đi qua sông Cần Giuộc, LST giảm mạnh xuống còn khoảng 27 - 30°C.



Hình 12. Diện tích các nhóm cường độ đảo nhiệt tại các thời điểm



Hình 13. Cường độ đảo nhiệt TP.HCM tại các thời điểm



Hình 14. Mặt cắt giá trị nhiệt độ bề mặt khu vực bãi rác Đa Phước Hình 15. Mặt cắt giá trị nhiệt độ bề mặt khu vực KCN Lê Minh Xuân

Tại khu vực Khu công nghiệp Lê Minh Xuân (Hình 15), LST theo tuyến mặt cắt cũng thể hiện sự biến thiên rõ rệt tương ứng với đặc điểm sử dụng đất. Đoạn từ 0 - 250m đi qua khu đất nông nghiệp có độ phủ xanh khá cao nên nhiệt độ bề mặt dao động trong khoảng 29 - 33°C. Đến đoạn 250 - 1000m, mật độ cây xanh thưa hơn và bề mặt đất lộ ra nhiều hơn, khiến nhiệt độ tăng

lên khoảng 34 - 38°C. Đặc biệt, đoạn từ 1000 - 2800m đi qua khu công nghiệp với mật độ xây dựng cao, tập trung nhiều nhà xưởng, bề mặt bê tông và đường giao thông, khiến nhiệt độ bề mặt tăng mạnh, đạt khoảng 43 - 48°C. So sánh giữa hai thời điểm cho thấy nhiệt độ bề mặt tại khu vực này năm 2024 cao hơn năm 2015 khoảng 4°C. Sự chênh lệch này phản ánh tác động của quá trình gia tăng mật độ xây dựng và mở rộng bề mặt không thấm nước, góp phần làm gia tăng nhiệt độ bề mặt theo cả không gian và thời gian.

4. Thảo luận

LST trung bình năm tính từ Landsat và MODIS tuy khác nhau về độ phân giải nhưng có sự tương đồng về xu thế phân bố không gian; khu vực nội thành và phía Bắc thành phố Thủ Đức luôn duy trì nền nhiệt cao, trong khi rừng Cần Giờ có giá trị thấp nhất. Kết quả xu thế phân bố này tương đồng với các kết quả đã được công bố trong các nghiên cứu trước đây của Nguyễn Thanh Sơn và cộng sự (2017), Nguyễn Huy Anh và cộng sự (2021), Hà và cộng sự (2023), Cường và cộng sự (2024). Tuy nhiên, vẫn tồn tại sự khác biệt, giá trị LST trung bình MODIS có xu hướng thấp hơn Landsat do Landsat thể hiện sự phân bố LST chi tiết hơn trong khi MODIS thể hiện một cách tổng thể theo không gian và mang tính trung bình trên diện rộng. Giá trị LST được trích xuất trực tiếp tại vị trí các trạm khí tượng và so sánh với nhiệt độ không khí thực đo cho thấy LST luôn cao hơn nhiệt độ không khí do tốc độ hấp thụ bức xạ nhiệt. Bên cạnh đó, giá trị LST trích xuất từ MODIS thường thấp hơn Landsat, xuất phát từ sự khác biệt về độ phân giải, thời điểm bay và góc quan sát giữa 2 vệ tinh. Ngoài ra, LST tại trạm Nhà Bè thấp hơn trạm Tân Sơn Hòa do khác biệt lớp phủ bề mặt, khi xung quanh trạm Nhà Bè gần sông và độ phủ xanh cao hơn khu vực đô thị hóa mạnh như trạm Tân Sơn Hòa. Mức độ tương quan giữa LST và nhiệt độ không khí tại trạm ở mức trung bình do LST phản ánh nhiệt độ bề mặt còn nhiệt độ không khí được đo ở lớp không khí gần mặt đất, xu hướng LST theo thời gian rất nhỏ. Phân tích theo từng loại hình sử dụng đất cho thấy nhiệt độ trung bình giảm dần theo thứ tự: đô thị - đất nông nghiệp - đất nuôi trồng thủy sản - rừng - mặt nước, LST trung bình năm 2019 tăng đồng loạt và giảm năm 2020 khả năng do ảnh hưởng hiện tượng ENSO. Đồng thời, diện tích các mức UHI biến động rõ rệt theo thời gian và không gian, nhóm cường độ cao và rất cao tập trung tại khu vực nội thành, sân bay, KCN, KCX và các bãi đất trống. Nhóm cường độ rất thấp chủ yếu phân bố tại rừng ngập mặn Cần Giờ, bề mặt nước và các vùng đất nông nghiệp ngập nước, trong khi nhóm cường độ thấp xuất hiện ở những khu vực có độ che phủ thực vật cao; nhóm trung bình thường tập trung tại vùng ven và dọc các trục giao thông chính cho thấy vai trò nổi bật của bề mặt không thấm trong việc hình thành và gia tăng các điểm nóng UHI.

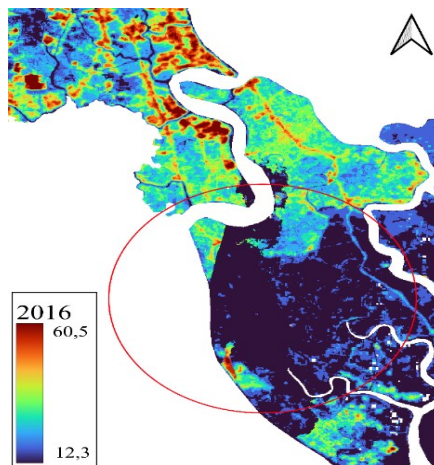
Nghiên cứu đã ứng dụng kênh đánh giá chất lượng QA_PIXEL nhằm loại bỏ các pixel chứa mây và giữ lại các pixel quang mây từ toàn bộ ảnh Landsat 8 và 9 (chu kỳ lặp 8 ngày) nhằm nâng cao độ tin cậy của dữ liệu đầu vào, kết hợp với dữ liệu MODIS (chu kỳ lặp 1 ngày) xây dựng chuỗi dữ liệu dài hạn và thành lập bản đồ LST trung bình năm. Ưu điểm đạt được là khai thác được thêm giá trị LST tại các khu vực quang mây, tính được bản đồ LST trung bình năm và nhiều năm so với nhiều nghiên cứu trước chỉ sử dụng một số ảnh đại diện trong năm. Tuy nhiên, phương pháp này vẫn tồn tại một số hạn chế:

- + Chuỗi số liệu cả 2 vệ tinh vẫn bị gián đoạn do ảnh hưởng của mây. Vào các tháng mùa mưa, khu vực nghiên cứu gần như không thu thập được dữ liệu.

- + Độ phân giải không gian của dữ liệu vẫn còn thấp. Cụ thể, ảnh Landsat có độ phân giải cao nhất là 30 m, trong khi MODIS khoảng 1000 m, chưa thể hiện chi tiết theo không gian các phạm vi nhỏ hơn.

- + Độ chính xác của bản đồ LST trung bình năm phụ thuộc vào tần suất xuất hiện mây. Trong những năm có mật độ mây cao, số lượng ảnh đạt điều kiện quang mây giảm đáng kể. Điển hình, tại khu vực xã An Thới Đông và xã Lý Nhơn (huyện Cần Giờ) năm 2016 bị mây che phủ kéo dài khiến bản đồ LST trung bình năm thể hiện sự phân bố không đồng đều về không gian (Hình 16).

+ Phạm vi ô ảnh của Landsat không bao phủ hoàn toàn khu vực nghiên cứu. Như thể hiện trong Hình 3 và Hình 13, một phần khu vực phía Đông Nam huyện Cần Giờ không có dữ liệu do nằm ngoài phạm vi của ô ảnh 125052 và 125053 (Hình 1c). Tuy nhiên, các ô ảnh 124052 và 124053 được chụp tại thời điểm khác nên không được ghép bổ sung. Bên cạnh đó, ranh giới hành chính TP.HCM được mở rộng thông qua sáp nhập với các tỉnh như Bình Dương và Bà Rịa – Vũng Tàu vào 07/2025 cũng đặt ra thách thức trong việc xây dựng bản đồ LST cho toàn bộ khu vực tại cùng một thời điểm. Từ những hạn chế trên, có thể thấy rằng việc phát triển các phương pháp ước tính LST trong điều kiện có mây che phủ đối với dữ liệu Landsat, cũng như phương pháp nội suy hoặc khôi phục giá trị cho các pixel trống trong dữ liệu MODIS, kết hợp các phương pháp khác giúp tăng độ phân giải không gian là những hướng cần thiết trong tương lai. Các hướng tiếp cận này sẽ góp phần nâng cao khả năng giám sát LST và UHI chính xác hơn và định hướng quy hoạch đô thị tại TP.HCM.



Hình 16. Bản đồ LST trung bình năm 2016 (Landsat) phóng to tại khu vực chịu ảnh hưởng mây nhiều

5. Kết luận

Nghiên cứu đã tính toán và phân tích LST và UHI tại TP.HCM giai đoạn 2015 - 2024 dựa trên dữ liệu vệ tinh Landsat và MODIS, áp dụng phương pháp lọc mây ($< 10\%$) và xử lý pixel chứa mây bằng kênh QA_PIXEL trên nền tảng GEE cho dữ liệu Landsat. Kết quả cho thấy LST và UHI tại TP.HCM phân bố không đồng đều với nhiệt độ trên 45°C tập trung tại khu vực sân bay, khu công nghiệp,...; $40 - 45^{\circ}\text{C}$ phân bố tại khu vực nội thành; $35 - 40^{\circ}\text{C}$ tại các khu vực đất nông nghiệp (phụ thuộc vào chu kỳ mùa vụ); $30 - 35^{\circ}\text{C}$ tại các khu vực có độ phủ xanh cao; và dưới 30°C tại các khu vực bề mặt nước và phía Đông Nam rừng ngập mặn. Kết quả trích tại vị trí các trạm khí tượng cho thấy LST luôn cao hơn nhiệt độ không khí (MODIS cao hơn khoảng $4,91^{\circ}\text{C}$ và Landsat khoảng $9,15^{\circ}\text{C}$), dữ liệu từ Landsat có xu hướng cho giá trị cao hơn từ MODIS và giá trị LST từ MODIS trích tại trạm Nhà Bè thấp hơn so với trạm Tân Sơn Hòa, mức độ tương quan giữa LST và nhiệt độ không khí ở mức $R^2 = 0,294 - 0,3398$, xu hướng LST theo thời gian rất nhỏ. Nhiệt độ bề mặt trung bình năm và nhiều năm khu vực trung tâm thành phố và phía Bắc thành phố Thủ Đức ($>36^{\circ}\text{C}$), khu vực ngoại thành ($30 - 36^{\circ}\text{C}$ đối với Landsat, $30 - 35^{\circ}\text{C}$ đối với MODIS), và huyện Cần Giờ ($26 - 30^{\circ}\text{C}$ đối với MODIS, $26 - 34^{\circ}\text{C}$ đối với Landsat); riêng khu vực bãi biển Cần Giờ ghi nhận LST trung bình cao hơn (cao nhất $31,6^{\circ}\text{C}$ đối với MODIS và 40°C đối với Landsat) do mật độ dân cư sinh sống xen kẽ đất nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản. Ngoài ra, giá trị LST trung bình năm của MODIS thấp hơn Landsat trung bình khoảng $3,4^{\circ}\text{C}$ và lên đến 11°C tại các vùng có cường độ đảo nhiệt mạnh. Về loại hình sử dụng đất, khu vực đô thị có LST trung bình khoảng $37 - 40^{\circ}\text{C}$; đất nông nghiệp khoảng $34 - 36^{\circ}\text{C}$; đất nuôi trồng thủy sản khoảng $31 - 35^{\circ}\text{C}$; đất rừng khoảng $29 - 33^{\circ}\text{C}$; và khu vực mặt nước $<30^{\circ}\text{C}$. Về phân bố UHI, mức rất thấp tập trung khu vực có tỉ lệ bề mặt nước cao, mức thấp tập trung tại khu vực đất rừng và đất nông nghiệp; mức trung bình tập trung tại các khu vực ngoại thành, các tuyến giao thông lớn và vùng nuôi trồng thủy sản; mức cao tập trung tại các khu vực nội thành; và mức rất cao phân bố rải rác tại khu vực sân bay, các khu công nghiệp, khu chế xuất, cơ sở sản xuất, khu xử lý chất thải và các bãi đất trống. Tuy nhiên, cường độ UHI tại khu vực đất nông nghiệp có sự biến động theo mùa vụ, trong một số thời điểm có thể giảm xuống mức rất thấp hoặc thấp, thậm chí tăng đến mức cao.

Từ kết quả nghiên cứu, cần tăng cường các giải pháp quy hoạch đô thị bền vững như mở rộng diện tích cây xanh, phát triển không gian xanh trong các khu công nghiệp, sử dụng vật liệu xây dựng có khả năng hấp thụ nhiệt kém, hạn chế mở rộng bề mặt không thấm và thúc đẩy các mô hình mái xanh, tường xanh. Những giải pháp này góp phần giảm hấp thụ nhiệt độ bề mặt, hạn

chế cường độ đảo nhiệt và nâng cao chất lượng môi trường sống đô thị trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

Lời cảm ơn

Nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Khoa học Tự nhiên TP. Hồ Chí Minh, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh; Khoa Vật lý – Vật lý Kỹ thuật, Bộ môn Hải dương, Khí tượng và Thủy văn; cùng Trung tâm Ứng dụng Công nghệ Vũ trụ Thành phố Hồ Chí Minh đã tạo điều kiện thuận lợi, hỗ trợ chuyên môn và cung cấp số liệu để hoàn thiện nghiên cứu này.

Ngoài ra nghiên cứu này thực hiện với sự hỗ trợ của đề tài “Nghiên cứu xây dựng mô hình vùng khí hậu địa phương và đánh giá ảnh hưởng với đảo nhiệt đô thị bằng kỹ thuật địa tin học” mã số NDT/ITA/24/08 thuộc Nhiệm vụ Nghị định thư với Italia cấp Bộ Khoa học và Công nghệ.

Cam kết của các tác giả

Nhóm tác giả có tên trong bài báo cam kết sự đồng thuận và không có xung đột lợi ích trong công bố khoa học tại bài báo này.

Tài liệu tham khảo

- [1] S. Sabrin, M. Karimi, M. G. R. Fahad, and R. Nazari, “Quantifying environmental and social vulnerability: Role of urban Heat Island and air quality, a case study of Camden, NJ,” *Urban Clim.*, vol. 34, pp. 100–699, Dec. 2020, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100699>.
- [2] Q. Yang, X. Huang, and Q. Tang, “The footprint of urban heat island effect in 302 Chinese cities: Temporal trends and associated factors,” *Science of TheTotal Environment*, vol. 655, pp. 652–662, Mar. 2019, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.171>.
- [3] X. Li, Y. Zhou, S. Yu, G. Jia, H. Li, and W. Li, “Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings,” May 01, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.183>.
- [4] K. Chen *et al.*, “Estimating Heat-Related Exposures and Urban Heat Island Impacts: A Case Study for the 2012 Chicago Heatwave,” *Geohealth*, vol. 6, no. 1, Jan. 2022, <https://doi.org/10.1029/2021GH000535>.
- [5] S. S. Bhatti and N. K. Tripathi, “Built-up area extraction using Landsat 8 OLI imagery,” *GLsci. Remote Sens.*, vol. 51, no. 4, pp. 445–467, Jul. 2014, <https://doi.org/10.1080/15481603.2014.939539>.
- [6] R. Singh and N. Kapoor, “Assessing the impact of land use land cover change and urbanization on urban heat island through remote sensing and geospatial techniques in Jhansi, India (2001–2021),” *Urban Clim.*, vol. 61, pp. 102–432, Jun. 2025, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102432>.
- [7] M. Cetin, M. O. Kavlak, M. A. S. Kurcuoglu, G. B. Ozturk, S. N. Cabuk, and A. Cabuk, “Determination of land surface temperature and urban heat island effects with remote sensing capabilities: the case of Kayseri, Türkiye,” *Natural Hazards*, vol. 120, no. 6, pp. 5509–5536, Feb. 2024, <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06431-5>.
- [8] J. Saha, S. S. Ria, J. Sultana, U. A. Shima, M. M. H. Seyam, and M. M. Rahman, “Assessing seasonal dynamics of land surface temperature (LST) and land use land cover (LULC) in Bhairab, Kishoreganj, Bangladesh: A geospatial analysis from 2008 to 2023,” *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 9, Jun. 2024, [10.1016/j.csee.2023.100560](https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100560).
- [9] Q. Zhang, B. Jia, T. Li, Y. Yang, and Y. Fang, “Dynamic changes and drives of surface urban heat islands in China,” *City and Environment Interactions*, vol. 27, pp. 100–203, Aug. 2025, <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2025.100203>.
- [10] W. Peng, R. Wang, J. Duan, W. Gao, and Z. Fan, “Surface and canopy urban heat islands: Does urban morphology result in the spatiotemporal differences?,” *Urban Clim.*, vol. 42, pp. 101–136, Mar. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101136>.
- [11] N. T. Son, C. F. Chen, C. R. Chen, B. X. Thanh, and T. H. Vuong, “Assessment of urbanization and urban heat islands in Ho Chi Minh City, Vietnam using Landsat data,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 30, pp. 150–161, Apr. 2017, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.01.009>.
- [12] N. H. Anh, N. T. D. Trang, N. T. T. Nguyen, T. V Trong, and T. V Son, “Ứng dụng ảnh viễn thám khảo sát nhiệt độ bề mặt tại thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 2016–2020,” *Vietnam Journal of Hydrometeorology*, vol. 729, no. 9, pp. 29–39, Sep. 2021, [https://doi.org/10.36335/vnjhm.2021\(729\).29-39](https://doi.org/10.36335/vnjhm.2021(729).29-39).
- [13] T. C. Ha and T. P. C. Nguyen, “Application of Multi-Temporal Landsat Images to Analyze the Relationship between the Land Surface Temperature (LST) and the Land Use Land Cover (LULC)

- in Ho Chi Minh City,” in *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2023, pp. 012–017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1170/1/012017>.
- [14] B. B. Thien, V. T. Phuong, I. R. Alexsander, and K. O. Denis, “Machine learning-based assessment of land use change effects on land surface temperature fluctuations in Ho Chi Minh city, Vietnam,” *Environ. Monit. Assess.*, vol. 197, no. 10, Oct. 2025, <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14540-2>.
- [15] C. Zarzuelo, A. López-Ruiz, M. Bermúdez, M. Ortega-Sánchez, and I. Caballero, “Monitoring intertidal ecosystems: Assessing spatio-temporal variability with Sentinel-2 and Landsat 8,” *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 142, pp. 104–676, Aug. 2025, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104676>.
- [16] Y. Shen, Y. Wang, H. Lv, and H. Li, “Removal of thin clouds using cirrus and QA bands of Landsat-8,” *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, vol. 81, no. 9, pp. 721–731, Sep. 2015, <https://doi.org/10.14358/PERS.81.9.721>.
- [17] N. T. Hoan, H. T. Quynh, V. T. Hoang, H. L. Thu, N. V Dung, and N. A. Tuan, “Monitoring urban dynamics and their impact on Hanoi’s green ecosystem using integrated landsat and sentinel-1 observations,” *Appl. Ecol. Environ. Res.*, vol. 23, no. 3, pp. 5883–5903, May 2025, http://dx.doi.org/10.15666/aeer/2303_58835903.
- [18] UBND TP.HCM, “Báo cáo đánh giá tác động môi trường của dự án nạo vét, cải tạo môi trường, xây dựng hạ tầng rạch Xuyên Tâm (từ kênh Nhiêu Lộc - Thị Nghè đến sông Vàm Thuật) quận Bình Thạnh, quận Gò Vấp,” Aug. 2023.
- [19] USGS, “What are the acquisition schedules for the Landsat satellites?,” Mar. 2026.
- [20] J. Xiong, G. Toller, J. Sun, B. Wenny, A. Angal, and W. Barnes, “MODIS Level 1B Algorithm Theoretical Basis Document,” *National Aeronautics and Space Administration*, vol. 4, Jun. 2013.
- [21] USGS, “Landsat 8-9 Operational Land Imager (OLI)-Thermal Infrared Sensor (TIRS) Collection 2 (C2) Level 2 (L2) Data Format Control Book (DFCB),” Dec. 2022.
- [22] Z. Wan, “Collection-6 MODIS Land Surface Temperature Products Users’ Guide,” Jun. 2019.
- [23] J. Ju *et al.*, “The Harmonized Landsat and Sentinel-2 version 2.0 surface reflectance dataset,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 324, pp. 114–723, Jul. 2025, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.114723>.
- [24] C. J. Crawford *et al.*, “The 50-year Landsat collection 2 archive,” *Science of Remote Sensing*, vol. 8, pp. 100–103, Dec. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.srs.2023.100103>.
- [25] Z. Wan, “MODIS Land Surface Temperature Products Users’ Guide,” Mar. 2006.
- [26] Q. Huang, J. Huang, X. Yang, C. Fang, and Y. Liang, “Quantifying the seasonal contribution of coupling urban land use types on Urban Heat Island using Land Contribution Index: A case study in Wuhan, China,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 44, pp. 666–675, Jan. 2019, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.016>.
- [27] NASA, “Land Surface Temperature & Vegetation Comparison.”
- [28] Z. Aiyin and Z. Xiaoli, “Land surface temperature retrieved from Landsat-8 and comparison with MODIS temperature product,” *Journal of Beijing Forestry University*, vol. 41, no. 3, pp. 1–13, 2019, <https://dx.doi.org/10.13332/j.1000-1522.20180234>.
- [29] L. Vlassova, F. Perez-Cabello, H. Nieto, P. Martín, D. Riaño, and J. D. La Riva, “Assessment of methods for land surface temperature retrieval from landsat-5 TM images applicable to multiscale tree-grass ecosystem modeling,” *Remote Sens. (Basel)*, vol. 6, no. 5, pp. 4345–4368, 2014, <https://doi.org/10.3390/rs6054345>.
- [30] IMHEMS, “Thông báo tóm tắt khí hậu năm 2020,” Mar. 2021