■Ngày nhận bài: 03/4/2026 ■Ngày sửa bài: 17/4/2026 ■Ngày chấp nhận đăng: 08/5/2026

Thành lập bản đồ hình thái đô thị dựa trên khung phân loại Local Climate Zone: Nghiên cứu điển hình tại TP Hồ Chí Minh

Urban morphology mapping using Local Climate Zone Classification: A case study of Ho Chi Minh City

> THS ĐOÀN THỊ BÍCH NGỌC[1,2,*], PGS.TS CHÂU NGUYỄN XUÂN QUANG[2], TS PHẠM THỊ MAI THY[3]
[1]Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP Hồ Chí Minh
[2]Viện Môi trường và Tài nguyên, Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh
[3]Trung tâm Ứng dụng công nghệ vũ trụ TP Hồ Chí Minh
[*]Email: ngocdtb@hcmunre.edu.vn

TÓM TẮT

Phân tích hình thái đô thị đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá cấu trúc không gian và đặc điểm phát triển đô thị. Nghiên cứu này nhằm thành lập bản đồ hình thái đô thị dựa trên hệ thống phân loại Local Climate Zone (LCZ) cho một khu vực điển hình tại TP.HCM. Dữ liệu huấn luyện được xây dựng thông qua việc số hóa các vùng mẫu trên ảnh độ phân giải cao theo quy trình WUDAPT và phân loại LCZ được thực hiện bằng công cụ trực tuyến LCZ Generator. Kết quả cho thấy khu vực nghiên cứu có sự phân bố đa dạng của các lớp LCZ, trong đó các lớp xây dựng LCZ 3 (nhà thấp tầng mật độ dày đặc) và LCZ 9 (nhà thưa thớt) chiếm ưu thế. Cấu trúc không gian thể hiện tính phân mảnh cao, với sự xen kẽ giữa khu vực xây dựng và bề mặt tự nhiên, phản ánh đặc trưng hình thái đô thị và xu hướng phát triển không đồng đều. Nghiên cứu khẳng định hiệu quả của LCZ Generator trong việc thành lập bản đồ hình thái đô thị và cung cấp cơ sở khoa học phục vụ quy hoạch đô thị bền vững.

Từ khóa: Vùng khí hậu cục bộ; LCZ Generator; WUDAPT; hình thái đô thị; TP Hồ Chí Minh.

ABSTRACT

Urban morphology analysis plays a crucial role in understanding spatial structure and urban development patterns. This study aims to map urban morphology based on the Local Climate Zone (LCZ) classification for a representative area in Ho Chi Minh City. Training data were developed by digitizing training areas from high-resolution imagery following the WUDAPT protocol and LCZ classification was performed using the LCZ Generator online tool. The results reveal a diverse distribution of LCZ classes, where the built-up classes LCZ 3 (compact low-rise) and LCZ 9 (sparsely built) dominate the study area. The spatial structure exhibits a high level of fragmentation, characterized by strong intermixing between built-up and natural surfaces, reflecting heterogeneous urban development patterns. This study demonstrates the effectiveness of the LCZ Generator for urban morphology mapping and provides a scientific basis for sustainable urban planning.

Keywords: Local climate zone; LCZ Generator; WUDAPT; urban morphology; Ho Chi Minh City.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Một trong những phương pháp hiệu quả để phân tích hình thái đô thị là hệ thống phân loại Local Climate Zone (LCZ), được đề xuất bởi Stewart và Oke [1]. Hệ thống này phân chia bề mặt và cấu trúc không gian đô thị thành 17 lớp khác nhau, cho phép mô tả một cách chi tiết và có hệ thống cấu trúc bề mặt đô thị, từ đó hỗ trợ hiệu quả cho các nghiên cứu về môi trường và quy hoạch đô thị [1, 2].

Cùng với sự phát triển của công nghệ viễn thám và học máy, việc phân loại LCZ ngày càng được tự động hóa và nâng cao hiệu quả. Trong bối cảnh đó, quy trình WUDAPT (World Urban Database and Access Portal Tools) đã được phát triển nhằm chuẩn hóa việc thu thập dữ liệu và xây dựng bản đồ LCZ trên phạm vi toàn cầu [2, 3]. Dựa trên nền tảng này, công cụ trực tuyến LCZ Generator cho phép người dùng xây dựng bản đồ LCZ thông qua việc cung cấp các vùng mẫu huấn luyện, trong khi hệ thống tự động thực hiện quá trình phân loại dựa trên dữ liệu viễn thám và các thuật toán học máy [4].

Phương pháp này đã được áp dụng rộng rãi tại nhiều đô thị trên thế giới và cho thấy hiệu quả trong việc mô tả cấu trúc hình thái đô thị một cách nhanh chóng và nhất quán [5, 6].

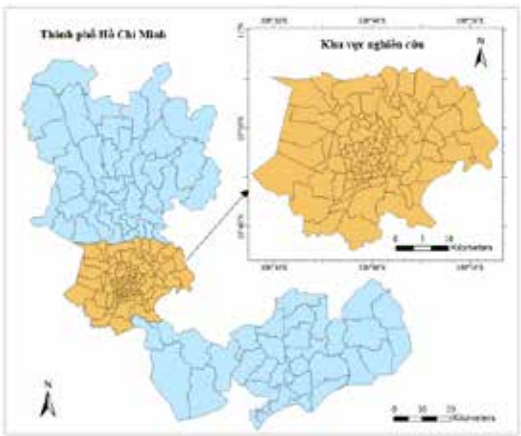
Tại Việt Nam, các nghiên cứu ứng dụng LCZ còn tương đối hạn chế, đặc biệt là trong việc phân tích hình thái đô thị ở quy mô chi tiết. Xuất phát từ thực tế đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm thành lập bản đồ hình thái đô thị dựa trên hệ thống phân loại LCZ cho một khu vực điển hình tại TP.HCM thông qua công cụ LCZ Generator. Đồng thời, nghiên cứu tiến hành phân tích đặc trưng phân bố các lớp LCZ và cấu trúc không gian đô thị, từ đó góp phần cung cấp cơ sở khoa học phục vụ công tác quy hoạch và quản lý đô thị. Kết quả nghiên cứu góp phần làm rõ đặc trưng hình thái đô thị và cung cấp cơ sở tham khảo cho các nghiên cứu ứng dụng LCZ tại Việt Nam trong bối cảnh đô thị hóa nhanh.

2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU

Khu vực nghiên cứu được lựa chọn gồm 94 phường/xã thuộc TP.HCM, có vị trí địa lý khoảng từ $10^0$37′ đến $10^0$56′ vĩ độ Bắc và từ $106^0$27′ đến $106^0$52′ kinh độ Đông, với tổng diện tích tự nhiên khoảng 972 km^2 (Hình 1). Khu vực này mang tính đại diện cho đặc trưng hình thái đô thị của thành phố, với sự đa dạng về loại hình sử dụng đất và cấu trúc không gian.

Về điều kiện tự nhiên, khu vực nghiên cứu nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa cận xích đạo, với nhiệt độ trung bình năm khoảng 27 - 28^{0}C và lượng mưa trung bình năm từ 1.800 - 2.000 mm [7]. Địa hình tương đối bằng phẳng, cao độ thấp, với sự hiện diện của hệ thống sông ngòi và kênh rạch trong khu vực nghiên cứu [8]. Các yếu tố tự nhiên này có ảnh hưởng đáng kể đến quá trình phát triển đô thị cũng như đặc trưng phân bố các lớp LCZ.

Sự kết hợp giữa điều kiện tự nhiên và quá trình đô thị hóa nhanh đã tạo nên sự đa dạng về hình thái đô thị tại khu vực nghiên cứu. Do đó, việc lựa chọn khu vực này làm đối tượng nghiên cứu là phù hợp nhằm đánh giá đặc trưng phân bố các lớp LCZ và cấu trúc không gian đô thị, đồng thời phản ánh điển hình cho bối cảnh đô thị hóa tại TP.HCM.



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu tại TP.HCM

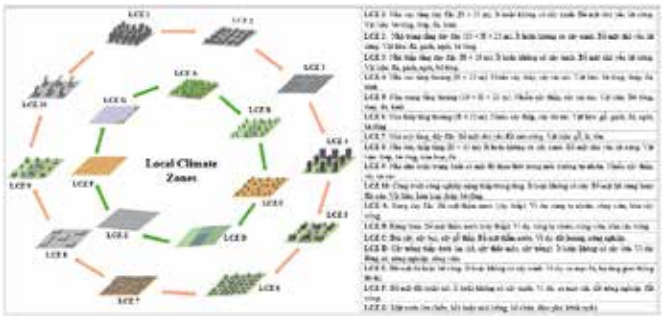
3. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

3.1. Dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng hai nhóm dữ liệu chính, bao gồm dữ liệu huấn luyện do người dùng xây dựng và dữ liệu quan sát trái đất được tích hợp sẵn trong thư mục dữ liệu của hệ thống WUDAPT trên nền tảng Google Earth Engine (GEE).

3.1.1. Dữ liệu huấn luyện

Các vùng mẫu được số hóa thủ công dưới dạng đa giác thông qua ứng dụng Google Earth Pro. Dữ liệu này đóng vai trò là nguồn tham chiếu để mô hình học các đặc trưng hình thái đô thị. Hệ thống phân loại LCZ được áp dụng theo Stewart and Oke [1], bao gồm 17 lớp LCZ tiêu chuẩn với 10 lớp xây dựng (LCZ 1-10) và 7 lớp phủ bề mặt (LCZ A-G) (Hình 2). Trong nghiên cứu này, 10 lớp LCZ được lựa chọn phù hợp với đặc điểm khu vực nghiên cứu, bao gồm các lớp xây dựng (LCZ 2, 3, 6, 8, 9) và các lớp phủ bề mặt (LCZ B, D, E, F, G) (Hình 3).



Hình 2. Các loại hình LCZ theo Stewart và Oke [1]

3.1.2. Dữ liệu quan sát trái đất

Công cụ LCZ Generator cung cấp sẵn 33 đặc trưng đầu vào ở độ phân giải không gian 100 m [4].

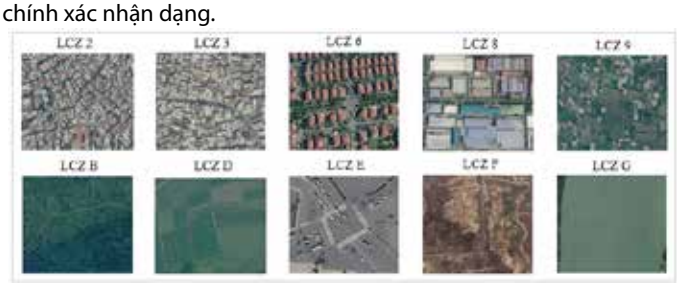
Ngoài ra, dữ liệu ranh giới hành chính được sử dụng để xác định phạm vi nghiên cứu và hỗ trợ trình bày kết quả bản đồ.

3.2. Phương pháp xây dựng bản đồ hình thái đô thị

Quy trình nghiên cứu gồm 3 bước: (i) Chuẩn bị dữ liệu đầu vào; (ii) phân loại và kiểm soát chất lượng tự động; (iii) đánh giá độ chính xác và hậu xử lý kết quả. Cụ thể được trình bày chi tiết trong Hình 4.

3.2.1. Chuẩn bị dữ liệu đầu vào

Các mẫu huấn luyện được xây dựng theo hướng dẫn WUDAPT, đảm bảo đồng nhất về hình thái và lớp phủ bề mặt. Dữ liệu được số hóa từ ảnh Google Earth Pro (02/2025), kết hợp Street View để tăng độ chính xác nhận dạng.



Hình 3. Các mẫu LCZ đại diện được trích xuất từ Google Earth Pro trong khu vực nghiên cứu

Quy trình tuân thủ các nguyên tắc: Chọn khu vực đủ lớn (≥ 200 m), loại bỏ vùng nhỏ lẻ, giữ khoảng cách giữa các lớp (>100 m), đảm bảo 5 - 15 mẫu mỗi lớp, ưu tiên khu vực ổn định và kiểm chứng bằng Street View [9].

3.2.2. Phân loại và kiểm soát chất lượng tự động

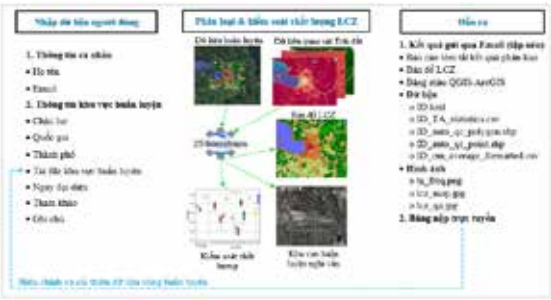
Quá trình phân loại được thực hiện thông qua công cụ LCZ Generator trên nền tảng Google Earth Engine, vận hành trên nền tảng điện toán đám mây GEE, sử dụng thuật toán Random Forest kết hợp với 33 đặc trưng đầu vào ở độ phân giải 100 m [4].

Trước khi phân loại, hệ thống thực hiện bước tiền xử lý nhằm chuẩn hóa dữ liệu huấn luyện. Cụ thể, các mẫu có diện tích quá lớn (> 1,5 km^2) được tự động điều chỉnh về quy mô chuẩn nhằm tránh mất cân bằng dữ liệu và đảm bảo tính ổn định của mô hình.

3.2.3. Đánh giá độ chính xác và hậu xử lý

Độ chính xác của bản đồ LCZ được đánh giá thông qua phương pháp kiểm tra chéo với kỹ thuật bootstrap (25 lần lặp) [4]. Trong mỗi lần lặp, tập dữ liệu được chia thành 70% cho huấn luyện và 30% cho kiểm tra độc lập. Các chỉ số đánh giá bao gồm: Độ chính xác tổng thể (OA); hệ số Kappa; độ chính xác của người dùng (UA) và độ chính xác của nhà sản xuất (PA).

Kết quả cuối cùng bao gồm bản đồ LCZ thô và bản đồ đã được hậu xử lý bằng bộ lọc Gaussian hình thái nhằm làm mịn không gian.



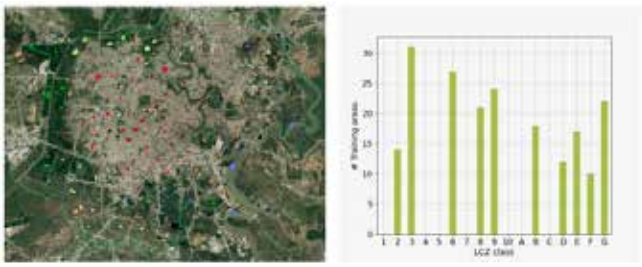
Hình 4. Sơ đồ phân loại theo LCZ Generator [4]

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

4.1. Dữ liệu huấn luyện và đánh giá độ chính xác phân loại

Bộ dữ liệu huấn luyện phục vụ phân loại được xây dựng với tổng cộng 196 vùng mẫu, đại diện cho 10 lớp LCZ đặc trưng tại khu vực nghiên cứu. Số lượng mẫu cho mỗi lớp dao động từ 10 đến 31 đa giác, đảm bảo tính đại diện và tuân thủ các hướng dẫn kỹ thuật của quy trình WUDAPT (Hình 5).

Kết quả đánh giá độ chính xác cho thấy mô hình phân loại đạt hiệu quả cao với độ chính xác tổng thể (OA) là 89,1% và hệ số Kappa đạt 0,88. Các chỉ số này phản ánh mức độ tin cậy và tính nhất quán cao của bản đồ hình thái đô thị được thành lập.



Hình 5. Mẫu huấn luyện theo các lớp LCZ được lấy trên Google Earth

Kết quả tại Bảng 1 cho thấy sự khác biệt về khả năng nhận diện giữa các nhóm lớp:

- Nhóm lớp phủ tự nhiên: Đạt độ chính xác rất cao, đặc biệt là LCZ G (mặt nước) với PA là 100% và UA là 99,4%. Các lớp LCZ B (rừng cây thưa), LCZ E (bề mặt cứng) và LCZ F (đất trống) đều có các chỉ số độ chính xác trên 90%.

- Nhóm lớp xây dựng: Các chỉ số UA và PA dao động trong khoảng từ 71,2% đến 84,6%. Sự nhầm lẫn nhẹ giữa các lớp xây dựng (như LCZ 2, 3, 6) có thể xuất phát từ sự tương đồng về vật liệu bề mặt và cấu trúc không gian phức tạp trong lõi đô thị.

Bảng 1. Kết quả đánh giá độ chính xác phân loại LCZ

Lớp LCZ	LCZ2	LCZ 3	LCZ 6	LCZ 8	LCZ 9	LCZ B	LCZ D	LCZ E	LCZ F	LCZ G
PA	72,3	83,8	76,7	80,8	80,4	98,3	87,1	94,4	96,8	100
UA	82,9	84,6	83,5	71,2	78,7	90,8	98,4	92,7	90,9	99,4
OA		89,10								
Kappa		0,88								

4.2. Đặc điểm phân bố không gian và cơ cấu diện tích của các lớp LCZ

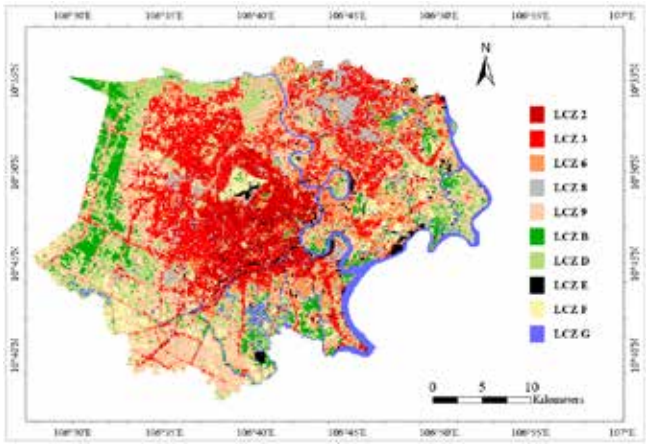
Kết quả xây dựng bản đồ hình thái đô thị (Hình 6) và số liệu thống kê diện tích (Bảng 2) cho thấy:

Các lớp LCZ 2 và LCZ 3 tập trung chủ yếu ở lõi trung tâm khu vực nghiên cứu, nơi có mật độ xây dựng dày đặc và cấu trúc đô thị nén. Trong đó, LCZ 3 chiếm tỷ lệ cao nhất (19,2%) với diện tích 186,8 km^2, phản ánh đặc trưng phổ biến của nhà phố liền kề mật độ cao. LCZ 2 chiếm diện tích khiêm tốn hơn với 60,8 km^2 (6,3%), chủ yếu là các khu vực nhà trung tầng tại các phường trung tâm lâu đời.

LCZ 6 (nhà thấp tầng mật độ vừa phải) chiếm 155,3 km^2 (16,0%), phân bố xem kẽ trong các quận nội thành mở rộng. Đây là hình thái đại diện cho các khu dân cư truyền thống hoặc các khu đô thị mới có quy hoạch hạ tầng đồng bộ.

LCZ 8 (nhà xưởng quy mô lớn) có diện tích 65,8 km^2 (6,8%), phân bố chủ yếu ở vùng ven, nơi tập trung các khu công nghiệp, khu chế xuất. Trong khi đó, LCZ E (bề mặt cứng) chiếm tỷ lệ thấp nhất với 2,2% (21,7 km^2), gắn liền với các công trình hạ tầng chuyên biệt như sân bay, kho cảng, bãi đỗ xe và đường giao thông.

LCZ 9 (nhà thưa thớt) là lớp chiếm ưu thế tương đương LCZ 3 với 186,6 km^2 (19,2%). Lớp này xuất hiện rải rác ở vùng chuyển tiếp giữa nội và ngoại thành, phản ánh xu hướng đô thị hóa phân tán với sự xen kẽ giữa nhà ở và đất trống và khu vực thực vật.



Hình 6. Bản đồ hình thái đô thị năm 2025 tại khu vực nghiên cứu

Hệ thống mảng xanh tập trung mạnh ở phía Tây Bắc với LCZ B (64,0 km^2) và LCZ D (116,8 km^2), đóng vai trò là vùng đệm sinh thái. Ngược lại, phía Tây Nam chiếm ưu thế bởi LCZ F (59,7 km^2), nơi vẫn duy trì các hoạt động nông nghiệp hoặc quỹ đất chưa đô thị hóa. Lớp mặt nước LCZ G chiếm 54,6 km^2 (5,6%), phân bố theo hệ thống sông ngòi, kênh rạch đặc trưng của khu vực.

Nhìn chung, cấu trúc hình thái đô thị tại khu vực nghiên cứu mang tính phân mảnh cao với sự chiếm ưu thế của các lớp xây dựng mật độ trung bình và thấp (LCZ 3 và LCZ 9), cho thấy một đô thị đang trong quá trình mở rộng mạnh mẽ nhưng vẫn giữ được những mảng không gian tự nhiên quan trọng ở các khu vực cửa ngõ.

Bảng 2. Diện tích và tỷ lệ các lớp LCZ trong khu vực nghiên cứu

Lớp LCZ	Diện tích (km²)	Tỷ lệ (%)
LCZ 2	60,8	6,3
LCZ 3	186,8	19,2
LCZ 6	155,3	16,0
LCZ 8	65,8	6,8
LCZ 9	186,6	19,2
LCZ B	64,0	6,6
LCZ D	116,8	12,0
LCZ E	21,7	2,2
LCZ F	59,7	6,1
LCZ G	54,6	5,6
Tổng cộng	**972,0**	**100,0**

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng bản đồ hình thái đô thị theo hệ thống LCZ cho khu vực trung tâm TP.HCM bằng công cụ LCZ Generator, đạt độ chính xác cao (OA = 89,1%, Kappa = 0,88), cho thấy phương pháp phù hợp với điều kiện đô thị nhiệt đới phức tạp.

Kết quả phản ánh cấu trúc đô thị phân mảnh, với sự xen kẽ giữa khu xây dựng và bề mặt tự nhiên. Trong đó, LCZ 3 và LCZ 9 chiếm ưu thế, thể hiện xu hướng phát triển nén ở nội thành và mở rộng ở vùng ven.

Nghiên cứu cung cấp dữ liệu hữu ích cho phân tích khí hậu đô thị, hỗ trợ nhận diện đảo nhiệt và định hướng hạ tầng xanh, đồng thời khẳng định hiệu quả áp dụng WUDAPT và LCZ Generator tại Việt Nam..

Hạn chế của nghiên cứu là mới sử dụng 10 lớp LCZ cơ bản, chưa phản ánh đầy đủ tính đa dạng hình thái đô thị. Do đó, các nghiên cứu tiếp theo cần mở rộng phân loại các lớp LCZ để phản ảnh chi tiết hơn hình thái của đô thị.

Lời cảm ơn: Các kết quả trong nghiên cứu này là một phần sản phẩm của đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường năm 2026, mã số CT.2026.14 của Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] ID Stewart, TR Oke. Local climate zones for urban temperature studies. Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 93, no. 12, pp. 1879-1900, 2012, doi: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1.

[2] A Rodler, T Udel. Local climate zone approach on local and micro scales: Dividing the urban open space. Urban Climate, vol. 28, pp. 100457, 2019, doi: 10.1016/j.uclim.2019.100457.

[3] B Bechtel, PJ Alexander, J Böhner, J Ching, O Conrad, J Feddema, G Mills, L See and I Stewart. Mapping local climate zones for a worldwide database of the form and function of cities. ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 4, no. 1, pp. 199-219, 2015, doi: 10.3390/ijgi4010199.

[4] J Ching, G Mills, B Bechtel, L See, J Feddema, X Wang, C Ren, O Brousse, A Martilli and M Neophytou. WUDAPT: An urban weather, climate and environmental modeling infrastructure for the anthropocene. Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 99, no. 9, pp. 1907-1924, 2018, doi: 10.1175/BAMS-D-16-0236.1.

[5] JM Demuzere, J Kittner and B Bechtel. LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps. Frontiers in Environmental Science, vol. 9, pp. 637455, 2021, doi: 10.3389/fenvs.2021.637455.

[6] KPS Cordovil, YT Brou, OA Guedi, IV Peres, WB Machado, ABS Gaspar, H Bencherif, LRM Gonçalves and LG de Carvalho. Local Climate Zones Classification Applied to a Brazilian Amazon City. Urban Science, vol. 8, no. 4, pp. 253, 2024, doi: 10.3390/urbansci8040253.

[7] LCH Chung, C Yoo. Recent improvements in supervised pixel-based LCZ classification. Sustainable Urban Development: Experience from East and Southeast Asian High-Density Cities, Springer, pp. 53-75, 2024.

[8] AN Le, TN Vo, HV Nguyen and DM Nguyen. Climate trends and climate change scenarios in Ho Chi Minh City. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 964, no. 1, pp. 012009, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/964/1/012009.

[9] C Huỳnh, R Eckert, M Maikämper, B Horst, F Schwartze. Cẩm nang Quy hoạch và Thiết kế đô thị thích ứng với biến đổi khí hậu cho TP. Hồ Chí Minh. Internet: https://www-docs.b-tu.de/megacity-hcmc/public/2013_edition_handbook_on_climate_change_adapted_urban_planning_and_design_VIE.pdf, (truy cập tháng 04/2026).

[10] WUDAPT. Digitize training areas. Internet: https://www.wudapt.org/digitize-training-areas (accessed: 04/2026).