

Xanh hóa đô thị: ứng dụng viễn thám và học máy đánh giá hiện trạng mái nhà xanh tại Quận 1, Thành phố Hồ Chí Minh

Nguyễn Trường Ngân^{1,2*}

¹ Bộ môn Địa tin học, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM (HCMUT)

² Đại học Quốc Gia TP.HCM (UN-HCM)

TỪ KHOÁ

Mái nhà xanh
Viễn thám
Ảnh sentinel-2
Random forest
Mảng xanh đô thị
Học máy
Đô thị bền vững

TÓM TẮT

Quá trình đô thị hóa nhanh tại Thành phố Hồ Chí Minh đã dẫn đến sự suy giảm đáng kể diện tích mảng xanh, kéo theo các hệ quả như hiệu ứng đảo nhiệt đô thị và suy thoái môi trường. Tuy nhiên, các thống kê truyền thống về mảng xanh thường bỏ sót mái nhà xanh - một hình thức mảng xanh đô thị mới. Nghiên cứu này nhằm đánh giá hiện trạng mái nhà xanh tại khu vực trung tâm TP.HCM, từ đó góp phần hoàn thiện bức tranh tổng thể về bề mặt xanh đô thị. Dữ liệu đầu vào bao gồm ảnh vệ tinh Sentinel-2, dữ liệu vector từ OpenStreetMap (OSM) và kết quả khảo sát thực địa. Quá trình phân loại bán tự động được thực hiện bằng công cụ Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) trên nền tảng QGIS. Các đối tượng mái nhà được trích xuất, chỉ số NDVI được tính toán từ các kênh phổ của Sentinel-2, và thuật toán học máy Random Forest (RF) được áp dụng để phân loại mái nhà thành "xanh" hoặc "không xanh" dựa trên đặc điểm phổ. Kết quả phân loại đạt độ chính xác tổng thể 78,26 % và hệ số Kappa 0,56, cho thấy mức độ tin cậy chấp nhận được. Thống kê diện tích cho thấy tổng bề mặt xanh chiếm 27,42 % tổng diện tích khu vực nghiên cứu (211,74 ha), trong đó mái nhà xanh đóng góp 3,33 % (tương đương 25,67 ha). Ngược lại, mái nhà không xanh chiếm 25,49 %, cho thấy tiềm năng lớn cho việc phát triển hạ tầng xanh trong tương lai. Nghiên cứu đã tích hợp thành công công nghệ viễn thám và học máy để bổ sung, làm giàu cơ sở dữ liệu mảng xanh đô thị, đặc biệt ở khía cạnh mái nhà xanh còn nhiều khoảng trống. Các kết quả có thể làm cơ sở khoa học cho việc quy hoạch hạ tầng xanh và thúc đẩy phát triển bền vững đô thị. Hướng phát triển tiếp theo là nâng cao độ chính xác phân loại thông qua sử dụng ảnh độ phân giải cao hơn và đánh giá sâu hơn về lợi ích sinh thái của mái nhà xanh.

KEYWORDS

Urban green roofs
Remote sensing
Sentinel-2 imagery
Random forest
Urban green space
Machine learning
Sustainable urban

ABSTRACT

The rapid urbanization process in Ho Chi Minh City has led to a significant decrease in green spaces, worsening problems such as the urban heat island effect and environmental degradation. However, conventional green space inventories often overlook green roofs — an emerging form of urban greenery. This study aims to evaluate the current status of green roofs in the central area of Ho Chi Minh City, helping to provide a more comprehensive assessment of urban green surfaces. The research utilizes a combination of satellite imagery (Sentinel-2), OpenStreetMap (OSM) vector data, and field survey information as input datasets. A semi-automatic classification process was conducted using the Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) in QGIS. Roof features were extracted, and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was computed from Sentinel-2 bands. Random Forest (RF) machine learning algorithm was employed to classify rooftops as "green" or "non-green" based on spectral characteristics. The classification reached an overall accuracy of 78.26% with a Kappa coefficient of 0.56, indicating acceptable reliability. Statistical synthesis showed that the total green surface area accounts for 27.42% of the total urban area analyzed (equivalent to 211.74 ha), of which green roofs contribute 3.33% (equivalent to 25.67 ha). In contrast, non-green roofs occupy 25.49% of the total area, showing the potential for future green infrastructure development. This research successfully integrates remote sensing and machine learning to enhance the mapping of urban green spaces, particularly green roofs — a part often not included in existing databases. The results provide a scientific basis for planning green infrastructure and promoting urban sustainability. Future research may focus on improving classification accuracy by integrating higher-resolution imagery, and assessing the ecological benefits of rooftop greening at a finer scale.

*Liên hệ tác giả: ntngan@hcmut.edu.vn

Nhận ngày 28/04/2025, sửa xong ngày 03/06/2025, chấp nhận đăng ngày 04/06/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2025.947>

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và đô thị hóa diễn ra ngày càng mạnh mẽ, các đô thị lớn đang đối mặt với nhiều hệ lụy nghiêm trọng như hiệu ứng đảo nhiệt đô thị, suy giảm chất lượng không khí, gia tăng chi phí năng lượng và thiếu không gian xanh. TP.HCM – trung tâm kinh tế và dân cư lớn nhất cả nước – không nằm ngoài xu thế đó, khi ngày càng có mật độ xây dựng cao, thiếu hụt không gian cây xanh và đang chịu ảnh hưởng rõ rệt từ biến đổi khí hậu.

Đến năm 2021, TP.HCM chỉ có khoảng 900 ha đất cây xanh trong tổng số 2.095 km² diện tích đô thị, tương đương khoảng 1,0m² cây xanh cho mỗi người [1]. Con số này thể hiện một sự thiếu hụt nghiêm trọng về không gian xanh so với các đô thị khác trong nước và khu vực (Đà Nẵng = 6,6 m²/người, Cần Thơ = 5,0 m²/người, Bangkok = 3,3 m²/người, Singapore = 66 m²/người, và Bắc Kinh = 15 m²/người).

Một nghiên cứu khác tại TP.HCM đã chỉ ra rằng hiệu ứng đảo nhiệt đô thị (UHI) có thể làm tăng nguy cơ tử vong do nắng nóng, với mỗi km² không gian xanh bổ sung trên 1.000 người dân có thể ngăn ngừa 7,4 ca tử vong liên quan đến nhiệt độ cao [2].

Mái nhà xanh (green roof) – giải pháp thiết kế sử dụng lớp phủ thực vật trên mái công trình – đã được chứng minh là có hiệu quả trong việc cải thiện vi khí hậu đô thị, giảm nhiệt độ mái, tăng khả năng cách nhiệt, hấp thụ CO₂, giảm tiếng ồn và cải thiện chất lượng môi trường sống. Các nghiên cứu cho thấy mái nhà xanh có thể giảm nhiệt độ bề mặt mái nhà từ 2 °C đến 9 °C, góp phần giảm nhu cầu sử dụng điều hòa không khí và tiết kiệm năng lượng [3].

Hiện nay, tại Việt Nam, các chỉ tiêu không gian xanh đô thị được quy định trong các văn bản như QCVN 01:2021/BXD và TCVN 9257:2012, trong đó diện tích mái nhà xanh chưa được tính chính thức vào không gian xanh đô thị. Tuy vậy, trong bối cảnh biến đổi khí hậu và yêu cầu phát triển bền vững, ngày càng có nhiều kiến nghị đưa loại hình này vào hệ thống hạ tầng xanh. Tại một số quốc gia như Đức, Hà Lan, Singapore, Canada, mái nhà xanh đã được công nhận là một phần của không gian xanh đô thị nếu đáp ứng các tiêu chí sinh thái [4,5]. Điều này cho thấy tiềm năng lớn của việc phát triển và ứng dụng các phương pháp đánh giá, giám sát mái nhà xanh, đặc biệt tại các đô thị có mật độ xây dựng cao như TP.HCM.

Trong các định hướng chính sách mới về đô thị xanh, đô thị thông minh và đô thị ứng phó với biến đổi khí hậu, các kiến nghị bổ sung mái nhà xanh vào tính toán không gian xanh đang được đưa ra tại một số hội thảo, như: *"Mái nhà xanh cần được công nhận là một hình thức không gian xanh có giá trị trong đô thị Việt Nam, nhất là tại các khu dân cư mật độ cao"* [6].

Sự phát triển của công nghệ viễn thám và học máy (machine learning) mở ra cơ hội mới để khảo sát, phân loại và đánh giá hiện trạng mái nhà xanh trên diện rộng một cách nhanh chóng, tiết kiệm và có độ chính xác cao. Một số nghiên cứu gần đây trên thế giới đã thành công trong việc ứng dụng mô hình học sâu, đặc biệt là thuật toán Random forest hoặc U-Net, để nhận diện mái nhà xanh từ ảnh vệ tinh

độ phân giải cao. Tuy nhiên, tại Việt Nam, các nghiên cứu theo hướng này vẫn còn rất hạn chế.

Xuất phát từ thực tiễn đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm ứng dụng công nghệ viễn thám kết hợp với học máy để đánh giá hiện trạng phân bố mái nhà xanh tại khu vực trung tâm TP.HCM, nghiên cứu điển hình tại Quận 1. Kết quả nghiên cứu không chỉ có ý nghĩa về mặt học thuật trong việc phát triển phương pháp đánh giá tự động, mà còn góp phần cung cấp cơ sở dữ liệu và công cụ hỗ trợ ra quyết định cho các nhà quy hoạch đô thị, hướng tới phát triển TP.HCM trở thành đô thị xanh – thông minh – thích ứng với biến đổi khí hậu.

2. Dữ liệu và phương pháp

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu được lựa chọn là Quận 1- trung tâm hành chính, kinh tế và văn hóa lâu đời TP.HCM. Với diện tích 772,1 ha, dân số năm 2019 là 142.525 người [7], Quận 1 có mật độ xây dựng cao và mật độ dân số đông, điển hình cho quá trình đô thị hóa nhanh chóng tại các đô thị lớn ở Việt Nam. Tuy giữ vai trò trung tâm đô thị hóa, Quận 1 hiện đối mặt với thách thức nghiêm trọng về thiếu hụt không gian xanh, ảnh hưởng đến chất lượng sống của cư dân.

Theo kết quả nghiên cứu năm 2018 của nhóm tác giả Trần Thị Vân [8], quận 1 có tổng diện tích cây xanh khoảng 166 ha, chiếm tỷ lệ 21,5 % tổng diện tích tự nhiên, xấp xỉ tỷ lệ cây xanh trung bình của 13 quận nội thành cũ của TP.HCM. Chỉ số không gian xanh đô thị của quận 1 năm 2018 tính được là 11,56 m²/người, thấp hơn so với mức tối thiểu theo TCVN 9257:2012 [9] (12 - 15 m²/người). Kết quả trích xuất mái nhà từ ảnh google earth năm 2024 cho thấy quận 1 có hơn 11.500 mái nhà (chưa tính các tòa nhà cao tầng và các cơ quan xí nghiệp) với tổng diện tích xấp xỉ 222 ha (chiếm 28,8 % tổng diện tích tự nhiên của quận 1). Do đó, các giải pháp gia tăng tỷ lệ mảng xanh bằng cách tăng tỷ lệ mái nhà xanh là vô cùng khả thi cho trường hợp của Quận 1.

2.2. Dữ liệu sử dụng

Nghiên cứu sử dụng tổng hợp nhiều nguồn dữ liệu khác nhau nhằm đảm bảo độ chính xác và đa dạng cho việc đánh giá hiện trạng mái nhà xanh tại Quận 1, Thành phố Hồ Chí Minh, bao gồm:

Ảnh vệ tinh Google Earth: Sử dụng làm dữ liệu nền có độ phân giải cao để trực quan hóa và trích xuất ranh giới mái nhà trong khu vực nghiên cứu bằng plugin Mapflow trong QGIS. Ngày chụp (capture date) của ảnh Google Satellite được sử dụng trong nghiên cứu là 13 tháng 01 năm 2025.

Ảnh viễn thám Sentinel-2: Cung cấp dữ liệu phổ phản xạ với độ phân giải 10m, sử dụng hai băng phổ đỏ (Band 4) và cận hồng ngoại (Band 8) để tính toán chỉ số NDVI, phục vụ phân tích mức độ phủ xanh trên bề mặt mái nhà. Ảnh Sentinel-2 được tải trực tiếp từ Copernicus browser [10]. Ngày chụp của ảnh Sentinel-2 L2A sử dụng trong nghiên cứu là 28 tháng 02 năm 2025.

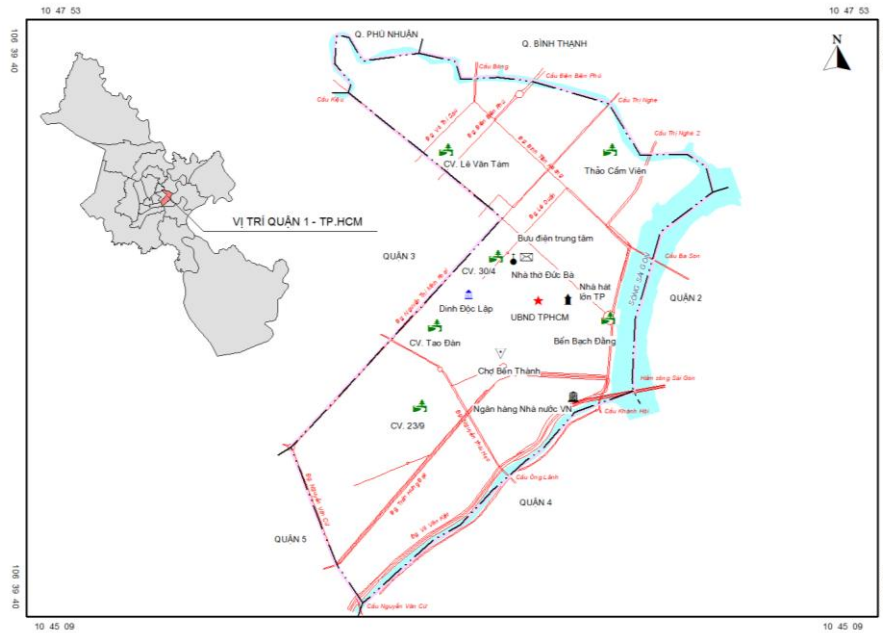
Dữ liệu OpenStreetMap (OSM): Được khai thác để đối chiếu vị trí các khu vực công viên, cây xanh, bổ sung thông tin về hiện trạng không gian xanh tự nhiên. Dữ liệu OSM dùng trong nghiên cứu được cập nhật tới ngày 02 tháng 03 năm 2025 [11].

Bộ dữ liệu khảo sát thực địa: Bao gồm lớp vector các mái nhà đã được kiểm tra thực tế và gán nhãn phân loại mái nhà xanh (238 mẫu, id = 1) và mái nhà không xanh (500 mẫu, id = 2), làm dữ liệu huấn luyện cho mô hình học máy. Mẫu huấn luyện mái nhà xanh được thu thập qua khảo sát thực địa từ ngày 01 đến 04 tháng 4 năm 2025 (quan

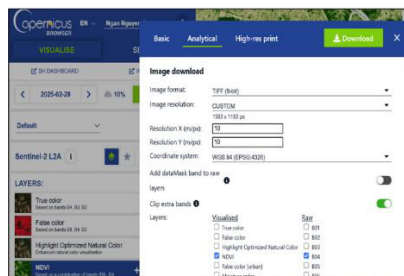
sát + hỏi, ghi chép, chuyển vị trí lên bản đồ) (hình 3). Các mẫu mái nhà không xanh được lựa chọn từ kết quả chạy Mapflow và đối chiếu trực quan với ảnh Google Earth.

Ranh giới hành chính Quận 1: Lớp vector thể hiện phạm vi nghiên cứu, đảm bảo các phân tích không vượt ra ngoài khu vực khảo sát. Dữ liệu hành chính thu thập từ GADM [12].

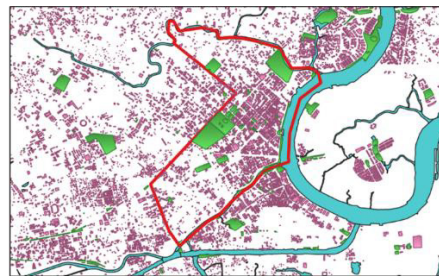
Các tập dữ liệu này sau khi được tiền xử lý, chuẩn hóa hệ tọa độ và tổ chức phù hợp đã tạo thành nền tảng cho quy trình phân tích, huấn luyện mô hình và đánh giá không gian xanh trên mái nhà.



Hình 1. Vị trí Quận 1 – Trung tâm hành chính, kinh tế, văn hóa của TP.HCM.



a. Các thông số tải ảnh Sentinel-2



b. Các dữ liệu: thủy hệ, công viên và nhà cao tầng từ OSM



c. Ảnh google earth



d. Kênh 4 (Red) ảnh Sentinel-2

Hình 2. Dữ liệu ảnh viễn thám và OSM sử dụng trong nghiên cứu.



Hình 3. Dữ liệu thực địa mái nhà xanh dùng huấn luyện mô hình học máy.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Quy trình nghiên cứu gồm 6 bước chính như sau:

Bước 1: Chuẩn bị dữ liệu ảnh viễn thám

Thu thập ảnh Google Earth (RGB) độ phân giải cao cho khu vực trung tâm TP.HCM để trích xuất ranh giới mái nhà, đồng thời tải dữ liệu ảnh Sentinel-2 (band 4 và band 8) phục vụ tính toán chỉ số thực vật NDVI.

Bước 2: Trích xuất mái nhà từ ảnh RGB

Sử dụng plugin Mapflow AI tích hợp trong QGIS để tự động phát hiện và trích xuất các mái nhà từ ảnh Google Earth, tạo lớp vector ranh giới mái nhà cho khu vực nghiên cứu.

Bước 3: Chuẩn bị lớp mẫu huấn luyện

Khảo sát thực địa, kết hợp đối chiếu ảnh vệ tinh, để xác định và phân loại các mái nhà thành hai nhóm: "mái nhà xanh" và "mái nhà không xanh", gán nhãn ID tương ứng và tạo lớp ROI mẫu huấn luyện.

Bước 4: Tính toán chỉ số NDVI

Từ hai band 4 (Red) và band 8 (NIR) của ảnh Sentinel-2, tính toán NDVI cho khu vực nghiên cứu nhằm phản ánh mức độ phù xanh bề mặt mái nhà.

Bước 5: Phân loại mái nhà bằng Random Forest

Ứng dụng plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) trên QGIS để huấn luyện mô hình Random Forest từ lớp mẫu ROI, sau đó phân loại toàn bộ tập dữ liệu mái nhà, sau khi đã loại trừ các mái nhà là mẫu huấn luyện mô hình, dựa trên giá trị NDVI và nhãn mẫu huấn luyện. Đánh giá độ chính xác phân loại qua các chỉ số thống kê từ mô hình Random Forest.

Random Forest là một thuật toán phân loại dựa trên tập hợp (ensemble) nhiều cây quyết định (decision trees), mỗi cây được huấn luyện từ một tập con dữ liệu được chọn ngẫu nhiên. Kết quả phân loại cuối cùng được xác định theo nguyên tắc biểu quyết số đông (majority voting), giúp giảm thiểu hiện tượng quá khớp (overfitting) và tăng độ chính xác tổng thể.

Độ chính xác phân loại được đánh giá thông qua các chỉ số: Producer's Accuracy (PA), User's Accuracy (UA) và hệ số Kappa. PA

phản ánh tỷ lệ đối tượng thực tế thuộc một lớp nào đó được mô hình phân loại đúng (độ chính xác theo hàng), còn UA cho biết tỷ lệ đối tượng mà mô hình phân loại vào một lớp thực sự thuộc về lớp đó (độ chính xác theo cột). Hệ số Kappa là một chỉ số thống kê đo lường mức độ đồng thuận giữa kết quả phân loại và dữ liệu thực tế, đã loại trừ yếu tố ngẫu nhiên. Giá trị Kappa nằm trong khoảng từ -1 đến 1, trong đó giá trị > 0.4 được xem là chấp nhận được, > 0.6 là khá tốt, và > 0.8 là rất tốt. Trong nghiên cứu này, mô hình đạt độ chính xác tổng thể là 78.26 % và hệ số Kappa là 0.56, cho thấy mức độ tin cậy phù hợp cho phân tích không gian.

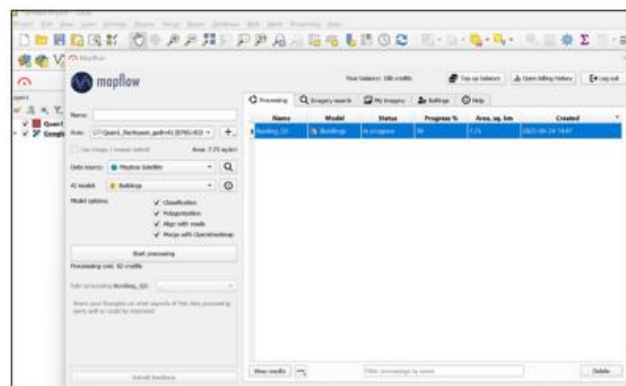
Bước 6: Bản đồ không gian xanh đô thị, thảo luận và đề xuất

Tổng hợp dữ liệu hiện có từ OpenStreetMap và các nguồn chính thức, từ đó tính toán chỉ số không gian xanh đô thị cho trường hợp bổ sung diện tích mái nhà xanh, biên tập bản đồ phân bố không gian xanh và đề xuất hướng phát triển đô thị xanh bền vững cho khu vực nghiên cứu.

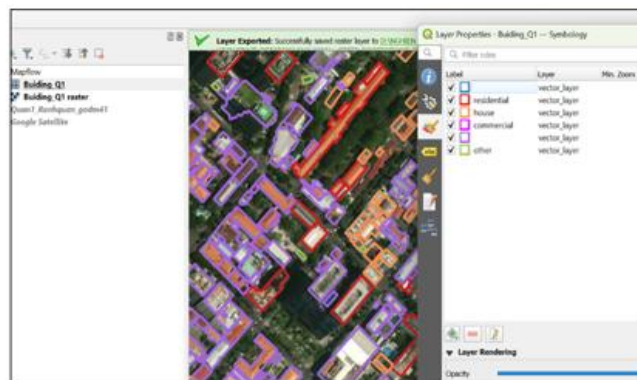
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Trích xuất mái nhà từ ảnh RGB

Plugin Mapflow AI trích xuất tự động mái nhà, chia thành 4 nhóm: residential (mã 101), house (mã 102), commercial (mã 103) và other (mã 100, 104 và 105).



a. Giao diện Mapflow AI trong QGIS

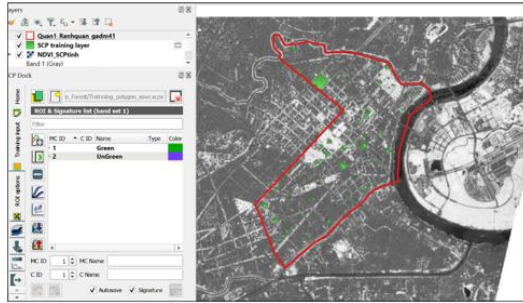


b. Kết quả trích xuất mái nhà

Hình 4. Trích xuất mái nhà tự động bằng Mapflow AI trong QGIS.

Kết quả thu được: Quận 1 có tổng cộng 11.549 mái nhà, chia thành 1.392 residential với diện tích 50,67 ha; 8.622 house với diện tích 128,78 ha; và 1.535 other với diện tích 44,8 ha.

3.2. Phân loại mái nhà bằng học Random Forest



a. Giao diện Plugin SCP

RasterValue	Reference	Classification	PixelSum
1	1	1	943
2	2	1	132
3	1	2	311
4	2	2	831

ERROR MATRIX [pixel count]			
> Reference			
V_Classified	1	2	Total
1	943	132	1075
2	311	831	1142
Total	1254	963	2217
PA [%]	65.1816	91.0689	
UA [%]	87.7209	72.7671	
Kappa hat	0.7570	0.4495	

Overall accuracy [%] = 78.2635
Kappa hat classification = 0.5640

Area unit = degree^2
SE = standard error
CI = confidence interval
PA = producer's accuracy
UA = user's accuracy

b. Độ chính xác phân loại

Hình 5. Kết quả phân loại mái nhà bằng thuật toán Random Forest.

Kết quả phân loại mái nhà xanh và không xanh bằng thuật toán Random Forest cho thấy độ chính xác tổng thể (Overall Accuracy) đạt 78,26 %, hệ số Kappa đạt 0,564, phản ánh mức độ đồng thuận trung bình giữa kết quả phân loại và dữ liệu tham chiếu.

Trong đó, lớp mái nhà xanh có độ chính xác của nhà sản xuất (PA) là 65,18 % và độ chính xác của người dùng (UA) là 87,72 %. Ngược lại, lớp mái nhà không xanh đạt PA là 91,07 % và UA là 72,77 %. Điều này cho thấy mô hình có khả năng nhận diện tốt các mái nhà không xanh, trong khi đối với mái nhà xanh, mặc dù độ chính xác người dùng cao, độ chính xác nhà sản xuất còn hạn chế, phản ánh hiện tượng một số mái nhà xanh chưa được phân loại đúng.

Nguyên nhân của sự nhầm lẫn chủ yếu có thể xuất phát từ đặc điểm mái nhà có diện tích xanh hạn chế hoặc sự pha trộn quang phổ trong ảnh vệ tinh, ảnh hưởng đến chỉ số NDVI. Ngoài ra, hạn chế về số lượng và sự đa dạng của dữ liệu huấn luyện cũng có thể là một yếu tố.

Trong các nghiên cứu trước, Random Forest đã được chứng minh là thuật toán hiệu quả cho phân loại sử dụng đất/che phủ mặt đất nhờ khả năng xử lý dữ liệu có tính đa dạng cao và hạn chế hiện tượng overfitting [13].

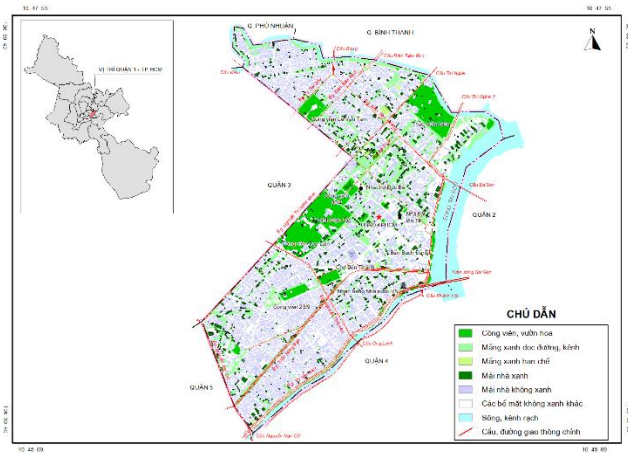
Để cải thiện độ chính xác, các hướng phát triển tiếp theo có thể bao gồm việc mở rộng tập dữ liệu huấn luyện, bổ sung thêm các chỉ số quang học phụ trợ như SAVI hoặc NDWI, và thử nghiệm với các siêu tham số của mô hình Random Forest.

3.3. Bản đồ không gian xanh đô thị

Tổng hợp kết quả phân loại mái nhà xanh, kết quả phân loại NDVI theo ngưỡng 0,3 và dữ liệu cây xanh từ OSM, chúng tôi xác định được diện tích và tỷ lệ mảng xanh đô thị của Quận 1 như tại Bảng 1. Phân bố không gian của các loại mảng xanh này được thể hiện như bản đồ tại Hình 6.

Bảng 1. Tổng hợp mảng xanh đô thị Quận 1 – TPHCM năm 2025.

STT	Loại bề mặt	Diện tích (ha)	Tỷ lệ	Ghi chú
I	Bề mặt xanh	211,7449	27,42	
I.1	Mảng xanh công cộng	182,7807	23,67	
a	Công viên, vườn hoa	61,4414	7,96	OSM
b	Dọc đường giao thông, bờ kênh	121,3394	15,72	NDVI
I.2	Mảng xanh hạn chế	3,2907	0,43	OSM
I.3	Mái nhà xanh	25,6734	3,33	RF
II	Bề mặt không xanh	503,8838	65,26	
II.1	Mái nhà không xanh	196,8371	25,49	RF
II.2	Bề mặt không xanh khác	307,0467	39,77	
III	Mặt nước	56,4713	7,31	OSM
IV	Tổng diện tích	772,1000	100,00	



Hình 6. Bản đồ không gian xanh đô thị quận 1 năm 2025.

3.4. Thảo luận

Kết quả tổng hợp tại Bảng 1 cho thấy tổng diện tích mảng xanh tại khu vực nghiên cứu đạt 211,74 ha, chiếm tỷ lệ 27,42 % tổng diện tích quận. Trong đó, diện tích mảng xanh công cộng (bao gồm công viên, vườn hoa và mảng xanh dọc đường giao thông, bờ kênh) chiếm 23,67 %, đóng vai trò chủ yếu trong hệ thống mảng xanh đô thị. Ngược lại, mảng xanh hạn chế chỉ chiếm 0,43 %, phản ánh sự thiếu hụt các không gian xanh dạng bán công cộng hoặc thuộc sở hữu tư nhân nhưng có giá trị sinh thái.

Đáng chú ý, mái nhà xanh – yếu tố chủ yếu được phân loại từ mô hình Random Forest trong nghiên cứu này – đóng góp 25,67 ha, tương đương 3,33 % tổng diện tích. Trong khi đó, diện tích mái nhà không xanh lên tới 196,84 ha (25,49 %), cho thấy tiềm năng lớn trong việc cải thiện mảng xanh đô thị thông qua các giải pháp xanh hóa mái nhà trong tương lai.

Chỉ số không gian xanh đô thị (sử dụng dân số năm 2021 là 141.919 người [14] trong trường hợp chưa tính mái nhà xanh là 13,11 m²/người, lớn hơn số liệu do Trần Thị Vân [8] công bố, và đạt chỉ tiêu theo TCVN 9257:2012 (12 - 15 m²/người). Nếu tính thêm mái nhà xanh, chỉ số không gian xanh đạt mức 14,92 m²/người, gần đạt ngưỡng trên của TCVN 9257:2012 [9]. Sự khác biệt giữa kết quả bài báo và nghiên cứu [8] chủ yếu do 2 lý do: (i) chênh lệch thời gian giữa hai thời điểm ảnh viễn thám (4 năm); và (ii) thành phần mảng xanh của bài báo bổ sung thêm mảng xanh cấp kênh rạch (cỏ, cây phân tán) và mảng xanh hạn chế.

Kết quả phân loại mái nhà xanh bằng kỹ thuật viễn thám và học máy đã bổ sung một thành phần chi tiết và cập nhật vào hệ thống thống kê bề mặt đô thị. Đây là một đóng góp đáng kể vì dữ liệu từ các nguồn công khai như OpenStreetMap (OSM) thường thiếu thông tin chi tiết về mái nhà xanh. Việc tích hợp dữ liệu phân tích từ ảnh viễn thám đã nâng cao độ chính xác và đầy đủ của bức tranh mảng xanh hiện trạng, đồng thời tạo nền tảng dữ liệu quan trọng phục vụ công tác quy hoạch và phát triển đô thị bền vững.

3.5. Một số giải pháp công nghệ và vật liệu khả thi để phát triển mái nhà xanh

Đối với đặc thù khu vực trung tâm như Quận 1, nơi mật độ xây dựng cao, phần lớn mái nhà là dạng bê tông cốt thép hoặc mái tôn cũ, việc phát triển mái nhà xanh cần những giải pháp đơn giản, khả thi, tránh yêu cầu thay đổi kết cấu hoặc xin phép xây dựng. Các nhóm giải pháp đề xuất gồm:

Thảm thực vật nhẹ (modular green roof): Sử dụng các khay cây trồng sẵn với giá thể nhẹ, có hệ thống thoát nước tự động. Giải pháp này giúp lắp đặt nhanh trên mái bằng hoặc mái tôn phẳng mà không cần gia cố thêm [4]. Ví dụ, kết quả khảo sát tại một hộ gia đình trên đường Nguyễn Bình Khiêm đã triển khai giàn cây leo sử dụng từ trên mái sân thượng, chi với chi phí dưới 10 triệu đồng. Cấu trúc mái không thay đổi và không cần xin phép cải tạo.

Màng phủ xanh di động (mobile green blanket): Áp dụng các thảm phủ cỏ hoặc cây chịu hạn (sedum, cỏ vetiver) cuộn sẵn, đặt trực tiếp lên mái có lớp cách nhiệt, giúp giảm nhiệt mái tức thì và có thể tháo dỡ khi cần bảo trì. Ví dụ, quá trình khảo sát đã ghi nhận một quán cà phê ở Phường Bến Nghé đã lắp đặt thảm phủ sedum di động trên mái tôn, sử dụng hệ thống tưới nhỏ giọt đơn giản, giúp giảm nhiệt độ không gian tầng thượng đến 5–7 °C.

Hệ thống cây leo phủ mái (vertical and climbing plants): Thiết kế giàn khung nhẹ cho cây dây leo như sử dụng từ, hoa giấy, cúc tần Ấn Độ... vừa tạo mảng xanh vừa giảm nắng nóng hiệu quả cho nhà phố đô thị [5].

Vật liệu giá thể sinh học nhẹ: Ưu tiên dùng giá thể đất trộn xơ dừa, trấu hun, đá pumice nhằm giảm trọng lượng lên mái, phù hợp với các kết cấu mái cũ.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã xây dựng thành công một quy trình ứng dụng viễn thám và học máy, kết hợp dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2, ảnh nền Google Earth và thuật toán Random Forest trong QGIS, để đánh giá hiện trạng mái nhà xanh khu vực trung tâm Thành phố Hồ Chí Minh.

Kết quả phân loại cho thấy diện tích mái nhà xanh hiện tại còn rất hạn chế, chiếm tỷ lệ nhỏ so với tổng diện tích mái nhà, phản ánh thách thức trong việc phát triển không gian xanh đô thị tại khu vực có mật độ xây dựng cao.

So sánh với nguồn dữ liệu OpenStreetMap và khảo sát thực địa đã phần nào xác thực độ tin cậy của mô hình phân loại, đồng thời minh chứng tiềm năng ứng dụng các phương pháp bán tự động này trong công tác quy hoạch và giám sát đô thị xanh.

Phương pháp được đề xuất cho thấy hiệu quả về chi phí và khả năng nhân rộng, đặc biệt phù hợp cho các đô thị đang phát triển tại Việt Nam trong bối cảnh cần tăng cường quản lý không gian xanh hướng tới mục tiêu phát triển bền vững.

Tuy nhiên, nghiên cứu cũng nhận thấy một số hạn chế do độ phân giải trung bình của ảnh Sentinel-2, ảnh hưởng đến việc phân biệt các mái nhà nhỏ hoặc phân mảnh. Hướng nghiên cứu tiếp theo sẽ thử

nghiệm tích hợp dữ liệu độ phân giải cao hơn và tối ưu hóa mô hình học máy nhằm nâng cao độ chính xác phân loại.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM). Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ thời gian, phương tiện và cơ sở vật chất cho nghiên cứu này.

Tuyên bố tác giả

Tác giả không có xung đột lợi ích.

Tài liệu tham khảo

- [1]. UBND TP.HCM (2021). *Nhiệm vụ điều chỉnh quy hoạch chung Thành Phố Hồ Chí Minh đến năm 2040, tầm nhìn đến năm 2060*. <https://chinhphu.vn/default.aspx?pageid=27160&docid=204071>, truy cập ngày 15/05/2025.
- [2]. Tran Ngoc Dang et al. (2018). Green Space and Deaths Attributable to the Urban Heat Island Effect in Ho Chi Minh City, *Am J Public Health*, 108(S2):S137-S143. DOI: 10.2105/AJPH.2017.304123.
- [3]. Wong, N.H., Tan, C.L., Kolokotsa, D.D. et al. (2021). Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat, *Nat Rev Earth Environ*, 2, 166–181. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00129-5>.
- [4]. Berlin Senate Department for the Environment (2019). *Strategy for Biodiversity and Green Spaces in Berlin*. <https://oppla.eu/casestudy/19454>, truy cập ngày 15/05/2025.
- [5]. National Parks Board (Nparks) (2020). *City in Nature: Singapore Green Plan 2030*. <https://www.nparks.gov.sg/who-we-are/city-in-nature-key-strategies>, truy cập ngày 15/05/2025.
- [6]. Hội Kiến trúc sư Việt Nam (2022). *Đô thị xanh – Giải pháp bền vững. Hội thảo quốc tế "Đô thị xanh – Giải pháp bền vững", Hà Nội, Việt Nam*.
- [7]. Tổng cục Thống kê (2020). *Kết quả tổng điều tra dân số và nhà ở năm 2019*, Nhà xuất bản Thống kê, Hà Nội.
- [8]. Trần Thị Vân, Phạm Khánh Hòa và Thẩm Thị Ngọc Hân (2018), Đánh giá thực trạng không gian xanh – thước đo chất lượng môi trường hướng đến phát triển đô thị xanh cho thành phố Hồ Chí Minh, *Journal of Transportation Science and Technology*, vol 29, 56-63.
- [9]. TCVN 9257:2012. *Không gian cây xanh sử dụng công cộng - Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Xây dựng, Việt Nam.
- [10]. Copernicus Data Space Ecosystem (2024). *Sentinel-2 imagery*. <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>, truy cập ngày 15/04/2025.
- [11]. Geofabrik (2024). *Map data from OpenStreetMap 2024*. <https://download.geofabrik.de/asia/>, truy cập ngày 15/04/2025.
- [12]. GADM (2024). *Database of Global Administrative Areas (Version 4.1)*. <https://gadm.org/>, truy cập ngày 15/04/2025.
- [13]. Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- [14]. Cục thống kê TPHCM (2021, 2025). *Niên giám thống kê 2021, 2025*. <http://www.pso.hochiminhcity.gov.vn/web/guest/nam-20211>, truy cập ngày 15/04/2025.