



PHẦN THỨ HAI: NGHIÊN CỨU, ỨNG DỤNG

Ứng dụng Google Earth Engine giám sát biến động không gian xanh tại thành phố Thủ Đức bằng ảnh Sentinel 2 giai đoạn 2019-2024

Phạm Công Hà¹, Nguyễn Trọng Nhân^{1*}

¹Khoa Trắc địa, Bản đồ và Công trình, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh

Email tác giả liên hệ: ntnhan@hcmunre.edu.vn

DOI: 10.5281/zenodo.15795229

Tóm tắt:

Quá trình đô thị hóa đã làm gia tăng diện tích bề mặt không thấm, gián tiếp gây áp lực lên hệ sinh thái xanh đô thị tại thành phố Thủ Đức. Bài báo này sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 tại thời điểm 2019 và 2024, kết hợp thuật toán Random Forest trên nền tảng Google Earth Engine, nhằm xây dựng bản đồ không gian xanh TP. Thủ Đức và phân tích biến động trong giai đoạn nghiên cứu. Kết quả cho thấy không gian xanh năm 2024 có xu hướng suy giảm so với năm 2019, tập trung tại các khu vực ven sông và phía Đông thành phố. Việc tích hợp Machine Learning trong phân loại ảnh vệ tinh đã góp phần nâng cao độ chính xác, tự động hóa xử lý dữ liệu lớn và hỗ trợ hiệu quả công tác giám sát không gian xanh trong bối cảnh đô thị hóa và biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng.

Từ khóa: Biến động, Google Earth Engine, không gian xanh, Machine Learning, Sentinel 2

Ngày nhận bài: 25/05/2025

Ngày sửa lại: 07/06/2025

Ngày chấp nhận đăng: 10/06/2025

Ngày xuất bản: 30/06/2025

Application Google Earth Engine for monitoring green space changes in Thu Duc city using Sentinel-2 images during 2019–2024

Pham Cong Ha¹, Nguyen Trong Nhan^{2*}

¹Department of Geodesy, Cartography and Construction,
University of Natural Resources and Environment Ho Chi Minh City, Viet Nam

Corresponding Author Email: ntnhan@hcmunre.edu.vn

Abstract:

Urbanization has increased the extent of impervious surfaces, indirectly placing pressure on the urban green ecosystem in Thu Duc City. This study utilizes Sentinel-2 satellite imagery from 2019 and 2024, combined with the Random Forest algorithm on the Google Earth Engine platform, to generate green space maps of Thu Duc City and analyze changes during the study period. The results indicate a declining trend in green space by 2024 compared to 2019, particularly in riverside areas and the eastern part of the city. The integration of Machine Learning in satellite image classification has enhanced accuracy, automated the processing of large datasets, and effectively supported green space monitoring amid the growing challenges of urbanization and climate change.

Keywords: Change detection, Google Earth Engine, green space, Machine Learning, Sentinel-2

Submission received: 25/05/2025

Revised: 07/06/2025

Accepted: 10/06/2025

Published: 30/06/2025

1. Giới thiệu

Không gian xanh (KGX) được hiểu là các bề mặt có sự hiện diện của thực vật, bao gồm cây xanh, cỏ và các loại thảm thực vật khác [1]. Trong đô thị, KGX là phần diện tích trên mặt đất được phủ xanh, đóng vai trò quan trọng trong phát triển bền vững [2]. Không gian xanh không chỉ góp phần cải thiện vi khí hậu, giảm ô nhiễm, bảo tồn đa dạng sinh học mà còn nâng cao chất lượng sống và sức khỏe cộng đồng. Tuy nhiên, dưới tác động



của đô thị hóa nhanh, biến đổi khí hậu và khủng hoảng sinh thái toàn cầu, không gian xanh ngày càng bị thu hẹp nghiêm trọng [3]. Tại TP. Hồ Chí Minh, đặc biệt là TP. Thủ Đức – đô thị mới được thành lập vào ngày 1/1/2021 theo Nghị quyết số 1111/NQ-UBTVQH14 thông qua việc sáp nhập ba quận cũ – quá trình đô thị hóa đang diễn ra với tốc độ nhanh chóng, tạo ra nhiều áp lực đối với hệ thống không gian xanh. Với diện tích khoảng 211,6 km² và dân số vượt 1,2 triệu người tính đến năm 2023, TP. Thủ Đức được xem là trung tâm phát triển năng động ở cửa ngõ phía Đông TP.HCM, đóng vai trò kết nối vùng Đông Nam Bộ. Khu vực này tập trung nhiều trục phát triển chiến lược như Khu Công nghệ cao, Đại học Quốc gia TP.HCM và các trung tâm tài chính – thương mại quy mô lớn. Tuy nhiên, sự gia tăng nhanh chóng về dân số và hạ tầng đang đặt ra thách thức lớn đối với quỹ đất không gian xanh. Các phường trung tâm như Linh Trung, Hiệp Bình Chánh, Bình Thọ... là những khu vực chịu tác động rõ rệt, khi diện tích cây xanh ngày càng bị thu hẹp để nhường chỗ cho các công trình xây dựng, dẫn đến sự suy giảm cả về diện tích lẫn chất lượng mảng xanh đô thị. Cùng với đó, TP. Thủ Đức nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa, có nền nhiệt độ cao quanh năm, trung bình khoảng 28,4°C, với những đợt nóng có thể lên đến 37°C vào mùa khô. Trong điều kiện khí hậu như vậy, không gian xanh đóng vai trò thiết yếu trong việc điều hòa vi khí hậu đô thị, giảm thiểu hiện tượng đảo nhiệt. Tuy nhiên, sự suy giảm diện tích cây xanh do đô thị hóa đang khiến khu vực này đối mặt với tình trạng gia tăng nhiệt độ cục bộ 2–3°C so với vùng ngoại ô, làm trầm trọng thêm các vấn đề về sức khỏe, năng lượng và môi trường sống của người dân. Mặc dù chính quyền đã đề ra mục tiêu trồng khoảng một triệu cây xanh trong giai đoạn 2021–2022 và quy hoạch thêm nhiều công viên, tỷ lệ không gian xanh bình quân hiện nay chỉ đạt khoảng 0,5 m²/người – thấp hơn nhiều so với chỉ tiêu 7 m²/người theo quy hoạch đô thị bền vững [4]. Trong giai đoạn 2015–2019, diện tích mảng xanh giảm 0,58%, cây có tán giảm 6,57%, trong khi cây bụi và cỏ lại tăng đến 43,89% [5]. Mặc dù TP. Thủ Đức được định hướng trở thành thành phố thông minh, tập trung vào phát triển công nghệ và giáo dục, nhưng tốc độ đô thị hóa vượt kiểm soát đã khiến nhu cầu đất ở và hạ tầng tăng mạnh, dẫn đến việc chuyển đổi đất nông nghiệp và mảng xanh thành đất xây dựng. Việc theo dõi, đánh giá biến động không gian xanh là cần thiết để hỗ trợ công tác quản lý quy hoạch và phát triển bền vững. Đây là thách thức lớn đòi hỏi những giải pháp quy hoạch hợp lý và chính sách bảo vệ KGX để đảm bảo phát triển bền vững.



Sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ viễn thám trong những thập kỷ gần đây đã mang lại nguồn dữ liệu phong phú và công cụ xử lý hiện đại, đặc biệt khi kết hợp với hệ thống thông tin địa lý (GIS). Những công nghệ này đóng vai trò quan trọng trong giám sát tài nguyên thiên nhiên, theo dõi biến động sử dụng đất và quản lý môi trường, đặc biệt là trong giám sát không gian xanh đô thị [6]. Google Earth Engine (GEE) là một trong những nền tảng nổi bật trong lĩnh vực này có khả năng vượt trội trong việc xử lý và phân tích dữ liệu ảnh vệ tinh có dung lượng lớn trên nền tảng điện toán đám mây, tích hợp kho dữ liệu khổng lồ như Landsat, Sentinel, MODIS,... cùng với các công cụ lập trình và trực quan hóa mạnh mẽ [7]. Điều này giúp các nhà nghiên cứu có thể dễ dàng theo dõi biến động của KGX theo thời gian với độ chính xác cao và tiết kiệm chi phí. Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh chóng, GEE trở thành công cụ hữu hiệu hỗ trợ đánh giá xu hướng suy giảm KGX và đề xuất giải pháp quy hoạch phù hợp [8]. Việc tích hợp các thuật toán Machine Learning như Random Forest, SVM, CART, k-NN, ... với GEE đã nâng cao đáng kể hiệu quả phân loại ảnh vệ tinh và nhận dạng lớp phủ bề mặt [9-13]. Những thuật toán này có khả năng xử lý khối lượng dữ liệu lớn, nhận diện mẫu phức tạp và nâng cao độ chính xác trong phân tích. Trong đó Random Forest (RF) là một trong những thuật toán tối ưu do khả năng xử lý hiệu quả dữ liệu đa chiều từ ảnh vệ tinh, đặc biệt là ảnh viễn thám đa phổ. RF có ưu điểm nổi bật về độ chính xác, ít nhạy cảm với nhiễu và dữ liệu không cân bằng, đồng thời không yêu cầu chuẩn hóa đầu vào như các mô hình SVM hay k-NN. Bên cạnh đó, RF ít phụ thuộc vào tham số và cho phép đánh giá tầm quan trọng của từng biến, giúp nâng cao khả năng giải thích kết quả. Nhiều nghiên cứu trước cũng khẳng định RF thường đạt hiệu suất cao hơn so với các thuật toán như CART, SVM hay k-NN trong phân loại lớp phủ bề mặt [11-13]. Thêm vào đó, khi ứng dụng trên GEE, quá trình phân tích diễn ra nhanh chóng, có thể mở rộng và cập nhật liên tục theo thời gian thực [14-16]. Đây là phương pháp tiếp cận hiệu quả trong theo dõi biến động không gian xanh và sử dụng đất dưới áp lực đô thị hóa, góp phần vào công tác giám sát tài nguyên và quy hoạch phát triển bền vững. Xuất phát từ phân tích trên, bài báo này được thực hiện với mục tiêu giám sát biến động không gian xanh tại TP Thủ Đức giai đoạn 2019-2025 bằng thuật toán Random Forest của Machine Learning trên nền tảng điện toán đám mây GEE. Bên cạnh đó, Earth Engine App còn được xây dựng nhằm trực quan hoá tình hình biến động KGX.



2. Phương pháp nghiên cứu

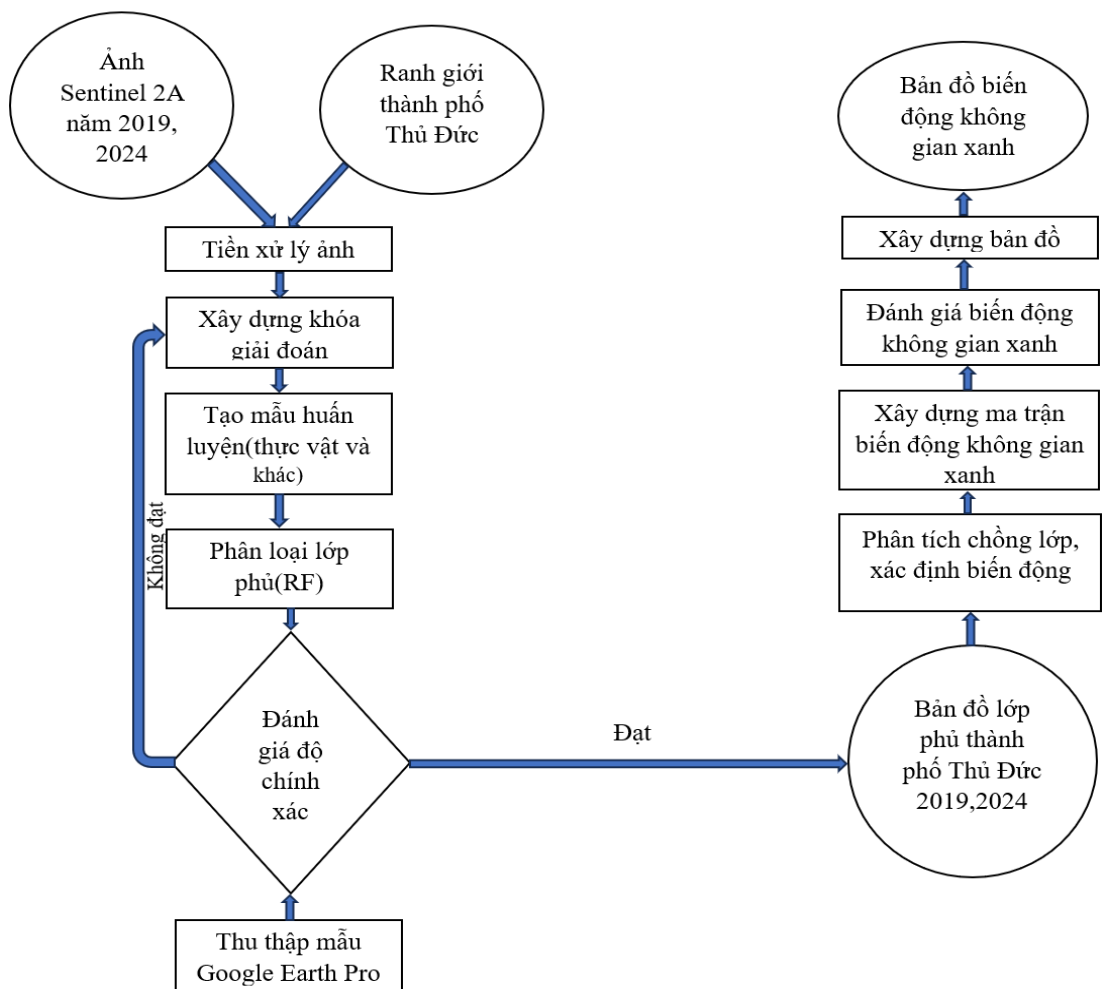
Bài báo sử dụng các kênh phổ trong vùng khả kiến, vùng hồng ngoại của ảnh vệ tinh Sentinel 2 level 2A đã được hiệu chỉnh khí quyển, hiệu chỉnh bức xạ với độ phân giải không gian 10m được thu thập vào mùa khô tại 2 thời điểm 2019 và 2024 (bảng 1) với độ phủ mây dưới 10% được cung cấp bởi tổ chức European Space Agency (ESA).

Bảng 1. Thông tin thu thập ảnh Landsat

Thời gian	ID ảnh	Loại vệ tinh
27/02/2019	COPERNICUS/S2_SR	Sentinel 2 level 2A
22/03/2024	COPERNICUS/S2_SR	Sentinel 2 level 2A

Theo dõi biến động không gian xanh từ ảnh vệ tinh Sentinel-2, nghiên cứu sử dụng phương pháp phân loại có giám sát với thuật toán Random Forest (RF) – một kỹ thuật trong lĩnh vực Machine Learning (ML), vốn tập trung vào việc phát triển các mô hình toán học nhằm cho phép máy tính học hỏi từ dữ liệu và tự động đưa ra quyết định [17]. Trong bối cảnh viễn thám, ML ngày càng đóng vai trò quan trọng trong việc xử lý và phân tích khối lượng lớn dữ liệu ảnh nhờ khả năng nhận diện mẫu, phân loại và dự đoán chính xác. Các phương pháp này đã chứng minh hiệu quả trong nhiều lĩnh vực như quy hoạch đô thị, giám sát môi trường và quản lý tài nguyên thiên nhiên [5-15]. Trên nền tảng Google Earth Engine (GEE) gồm nhiều thuật toán học máy như Support Vector Machine, Classification and Regression Trees,... và đặc biệt là Random Forest, được tích hợp để hỗ trợ quá trình phân tích ảnh vệ tinh. Random Forest là mô hình bao gồm tập hợp nhiều cây quyết định (decision trees), trong đó mỗi cây được xây dựng từ một tập con ngẫu nhiên của dữ liệu huấn luyện và các đặc trưng (features) cũng được chọn lọc ngẫu nhiên khi phân chia nút. Điều này giúp tăng cường khả năng tổng quát hóa của mô hình, giảm thiểu hiện tượng quá khớp (overfitting), đồng thời nâng cao độ chính xác trong phân loại hoặc hồi quy [17]. Thuật toán RF sử dụng phương pháp bagging để tạo ra các mẫu huấn luyện khác nhau bằng cách lấy mẫu ngẫu nhiên có hoàn lại từ tập dữ liệu gốc. Mỗi cây trong rừng học trên một tập mẫu riêng biệt và kết quả dự đoán cuối cùng được đưa ra thông qua việc tổng hợp (voting hoặc trung bình) kết quả từ tất cả các cây [15,18]. Nhờ đó, RF đặc biệt phù hợp với các bài toán xử lý dữ liệu lớn và đa chiều như ảnh viễn thám, mang lại hiệu quả cao trong việc phân loại lớp phủ bề mặt, bao gồm giám sát sự thay đổi của không gian xanh.

Để đánh giá độ chính xác kết quả phân loại ảnh vệ tinh, bài báo áp dụng phương pháp lập ma trận sai số (Confusion Matrix). Đây là phương pháp phổ biến trong phân tích viễn thám, cho phép xác định mức độ chính xác tổng thể và mức độ nhầm lẫn giữa các lớp đối tượng [14]. Các chỉ số đánh giá chính bao gồm: Độ chính xác tổng thể (Overall Accuracy – OA): tỷ lệ phần trăm các điểm được phân loại đúng so với tổng số mẫu kiểm tra; Hệ số Kappa: đo lường mức độ nhất quán giữa kết quả phân loại và dữ liệu thực tế, đã hiệu chỉnh theo sự trùng hợp ngẫu nhiên. Theo thang đánh giá, hệ số Kappa có giá trị từ: 0,4–0,6: mức độ chính xác trung bình; >0,6–0,8: chính xác tốt; >0,8–1,0: chính xác rất tốt [14].



Hình 1. Quy trình thực hiện



Quá trình theo dõi biến động không gian xanh trên địa bàn TP. Thủ Đức được thực hiện thông qua dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2, áp dụng trên nền tảng Google Earth Engine (GEE). Quy trình phân tích được mô tả tại Hình 1, gồm hai bước chính: Phân loại không gian xanh từ ảnh vệ tinh sử dụng thuật toán Random Forest, triển khai bằng ngôn ngữ JavaScript trên GEE; Phân tích biến động không gian xanh trong giai đoạn 2019–2024, dựa trên ảnh đã phân loại và được tính toán biến động theo công thức:

$$ID(2019) * 100 + ID(2024)$$

Trong đó: ID là mã số đại diện cho từng lớp đối tượng sau phân loại; Đối tượng không gian xanh được gán ID = 1; các đối tượng khác được gán ID = 2; Việc nhân với 100 giúp mã hóa thuận tiện cho việc tạo ma trận biến động, tuy nhiên hệ số nhân này có thể thay đổi tùy mục đích (10, 1000, 10000 đều có thể sử dụng). Mặt khác, việc đảm bảo tính thống nhất về mã ID giữa hai thời điểm là yêu cầu bắt buộc để đảm bảo độ chính xác trong phân tích biến động. Trong quá trình tính toán, GEE hỗ trợ thực hiện phép nhân bằng hàm multiply() và phép cộng bằng hàm add() – giúp chuẩn hóa quá trình mã hóa và so sánh ảnh tại hai thời điểm. Kết quả phân tích được thể hiện dưới dạng ma trận 2x2, phản ánh bốn trường hợp biến động điển hình giữa năm 2019 và 2024, cụ thể:

$$\begin{vmatrix} 101 & 102 \\ 201 & 202 \end{vmatrix}$$

Trong đó: đường chéo với mã 101, 202 là những đối tượng không biến động, ngược lại mã 102, 201 là những đối tượng biến động theo không gian và thời gian. Cụ thể từng mã sẽ mang một loại biến động như sau:

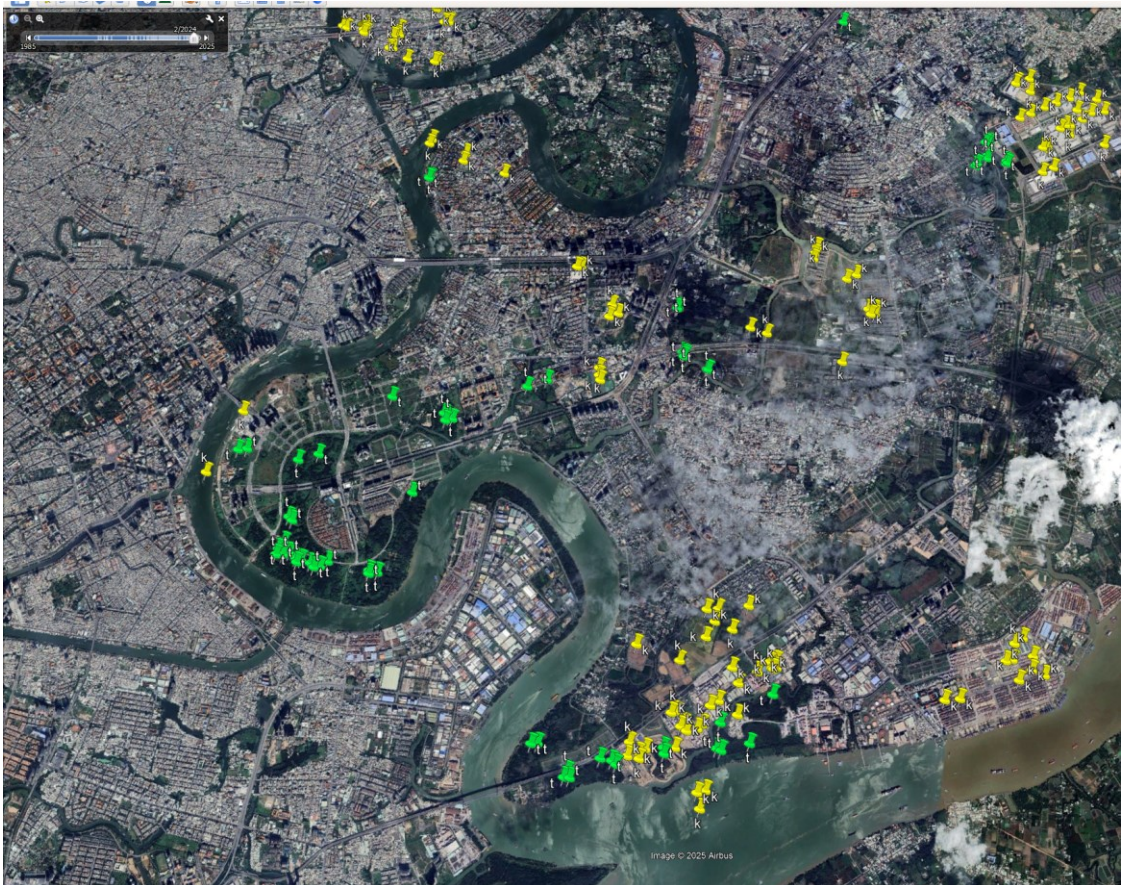
101 là đối tượng không gian xanh không biến động (do ID = 1 qua hai thời điểm không đổi)

102 là đối tượng không gian xanh thu hẹp/giảm (do ID = 1 tại thời điểm 2019 chuyển thành ID =2 tương ứng tại thời điểm 2024 nghĩa là đối tượng không gian xanh chuyển thành đối tượng khác)

201 là đối tượng không gian xanh mở rộng/tăng (do ID = 2 tại thời điểm 2019 chuyển thành ID =1 tương ứng tại thời điểm 2024 nghĩa là đối tượng khác chuyển thành đối tượng không gian xanh)

202 là đối tượng khác không biến động (do ID = 2 qua hai thời điểm không đổi)

Phương pháp này không chỉ cho phép phát hiện nhanh chóng các khu vực suy giảm hoặc gia tăng diện tích cây xanh, mà còn là công cụ hữu hiệu trong quy hoạch đô thị, giám sát môi trường, và theo dõi diễn biến sử dụng đất theo thời gian. Ngoài ra, một bước khá quan trọng trong quy trình là xây dựng khóa giải đoán, dựa trên các yếu tố hình ảnh như màu sắc, độ sáng, cấu trúc, hình dạng, kích thước và mối quan hệ không gian giữa các đối tượng,.... Các đặc điểm này được phân tích trên tổ hợp kênh NIR–Red–Green (B8–B4–B3) của ảnh Sentinel-2 và được đối chiếu với Google Earth Pro nhằm đảm bảo tính chính xác. Để phân loại không gian xanh, bài báo lấy 600 mẫu huấn luyện tại mỗi thời điểm tương ứng 2019 và 2024 phục vụ cho công tác phân loại. Đồng thời thu thập ngẫu nhiên 800 mẫu tại 2 thời điểm bằng công cụ Historical Imagery trên Google Earth Pro (Hình 2) để tiến hành đánh giá độ chính xác thông qua ma trận sai số, tính toán sai số toàn cục và hệ số Kappa [14].



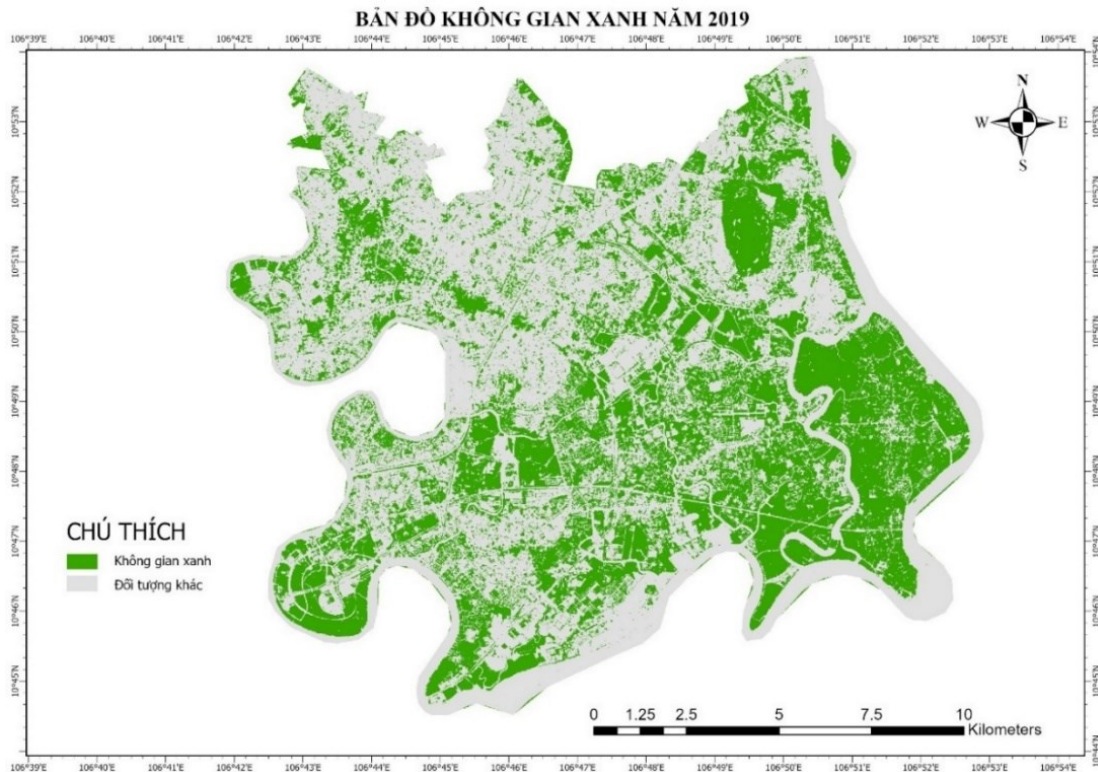
Hình 2. Lấy mẫu đánh giá thời điểm 2024 trên Google Earth Pro

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Kết quả nghiên cứu

3.1.1. Kết quả xây dựng bản đồ không gian xanh

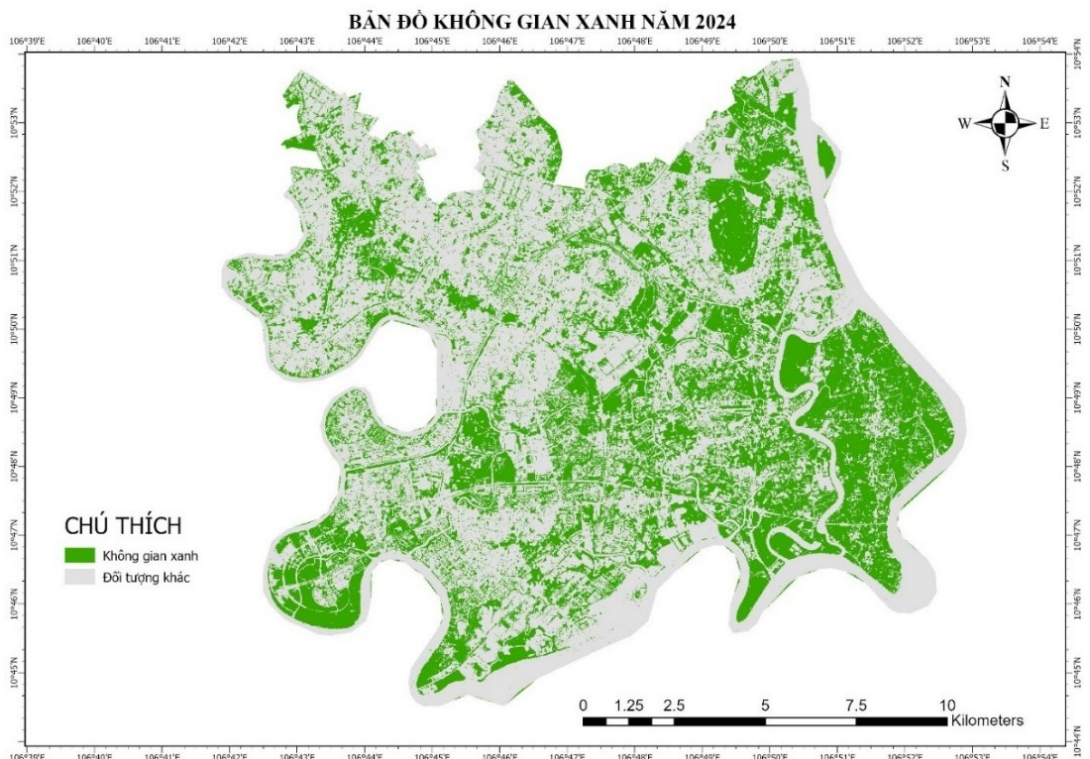
Trên nền tảng Google Earth Engine, thuật toán Random Forest được sử dụng để phân loại đối tượng không gian xanh từ ảnh Sentinel-2 tại hai thời điểm: năm 2019 và 2025. Kết quả phân loại sau đó được biên tập và trực quan hóa bằng phần mềm ArcGIS Pro, thể hiện qua Hình 3 và Hình 4 cho thấy không gian xanh chủ yếu phân bố tập trung phía Đông, Đông Bắc, Đông Nam và phân bố không đều ở phía còn lại do bề mặt không thấm ngày càng mở rộng. Bên cạnh đó, kết quả đánh giá độ chính xác cho thấy mô hình đạt độ tin cậy cao với độ chính xác tổng thể (Overall Accuracy) lần lượt là 96,62% và 97,73% và hệ số Kappa đạt 0,93 đến 0,96 tương ứng với hai thời điểm nghiên cứu.



Hình 3. Bản đồ không gian xanh thời điểm 2019

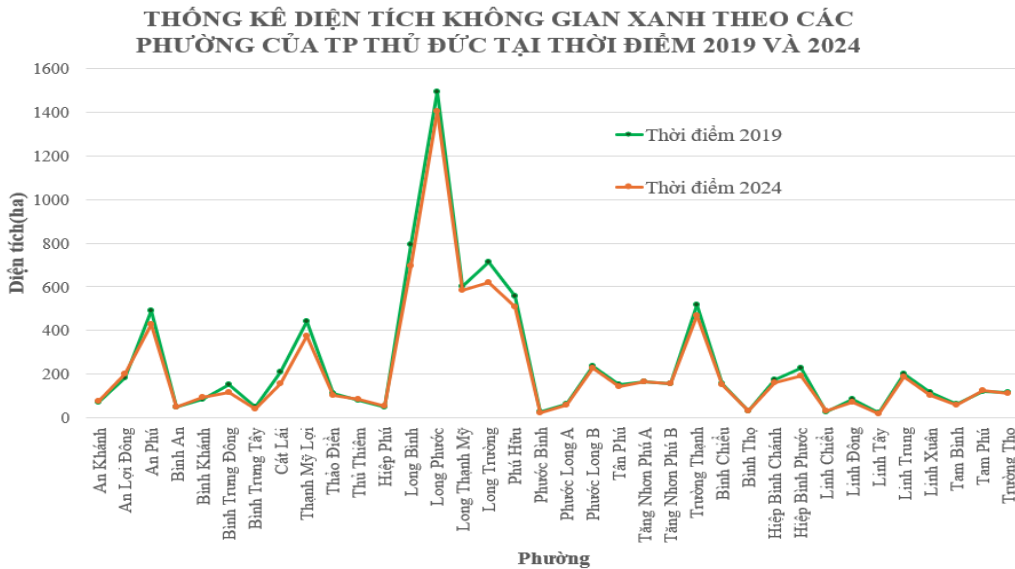
Biểu đồ thống kê diện tích không gian xanh theo từng phường trên địa bàn TP. Thủ Đức trong hai thời điểm 2019 và 2024 cho thấy xu hướng suy giảm nhẹ tại phần lớn các phường được thể hiện qua hình 5. Diễn biến này phản ánh hệ quả tất yếu của quá trình đô thị hóa diễn ra với tốc độ nhanh chóng, khi quỹ đất tự nhiên ngày càng bị thu hẹp để nhường chỗ cho các hoạt động xây dựng, mở rộng hạ tầng và phát triển kinh tế. Đặc biệt, các phường như An Phú, Thảo Điền, Thủ Thiêm và Bình Trưng Đông – vốn có vị trí địa

lý thuận lợi và tốc độ phát triển kinh tế cao – đều ghi nhận sự sụt giảm rõ rệt về diện tích cây xanh. Thực trạng này cho thấy áp lực ngày càng gia tăng từ việc chuyển đổi mục đích sử dụng đất, trong đó không gian xanh phải nhường chỗ cho nhà ở, thương mại và dịch vụ. Bên cạnh đó, một số phường tại TP. Thủ Đức vẫn duy trì được diện tích không gian xanh tương đối lớn, điển hình như Long Phước (1.404,78 ha), Long Trường (620,28 ha), Long Thạnh Mỹ (584,95 ha), Trường Thạnh (468,91 ha), Phú Hữu (510,4 ha) và An Phú (427,58 ha). Đây chủ yếu là những khu vực ven đô thị có mật độ xây dựng thấp và còn giữ được mảng xanh tự nhiên, qua đó góp phần duy trì cân bằng sinh thái cho toàn khu vực. Tuy nhiên, ngay cả các phường ven đô như Long Phước, Long Bình và Long Thạnh Mỹ – vốn từng giữ vai trò là không gian xanh chủ lực của thành phố – cũng đang đối mặt với nguy cơ suy giảm diện tích xanh do sự mở rộng của các dự án nhà ở, khu công nghiệp và các công trình giao thông. Ngược lại, đối với các phường như Phước Bình (20,64 ha), Bình Thọ (30,25 ha), Bình Chiểu (151,39 ha), Hiệp Phú (54,57 ha) và Tam Bình (56,7 ha) lại có diện tích không gian xanh thấp, phản ánh rõ nét mức độ đô thị hóa cao và sự thu hẹp quỹ đất dành cho cây xanh do nhu cầu phát triển hạ tầng và gia tăng mật độ xây dựng.



Hình 4. Bản đồ không gian xanh thời điểm 2024

Tuy nhiên, so với năm 2019, diện tích không gian xanh tại nhiều phường thuộc TP. Thủ Đức vào thời điểm năm 2024 đã ghi nhận xu hướng giảm nhẹ, đặc biệt là ở những khu vực nằm dọc theo các trục giao thông chính hoặc đang trải qua quá trình chuyển đổi mục đích sử dụng đất nhằm phục vụ phát triển đô thị. Sự suy giảm này phản ánh những áp lực ngày càng lớn từ nhu cầu mở rộng hạ tầng kỹ thuật, xây dựng nhà ở, khu thương mại và các công trình công cộng. Khi diện tích đất dành cho phát triển đô thị gia tăng, không gian xanh thường là đối tượng bị lấn chiếm hoặc thu hẹp đầu tiên, do không trực tiếp tạo ra lợi nhuận kinh tế ngắn hạn. Trong bối cảnh đó, việc phân tích diện tích không gian xanh theo đơn vị hành chính – cấp phường – đóng vai trò quan trọng trong việc nhận diện các khu vực cần ưu tiên bảo vệ hoặc phục hồi hệ sinh thái đô thị. Cách tiếp cận này không chỉ giúp làm rõ hiện trạng phân bố không gian xanh trên địa bàn thành phố mà còn hỗ trợ quá trình ra quyết định trong quy hoạch sử dụng đất, đặc biệt ở những địa bàn có tốc độ đô thị hóa nhanh hoặc mật độ dân số cao.

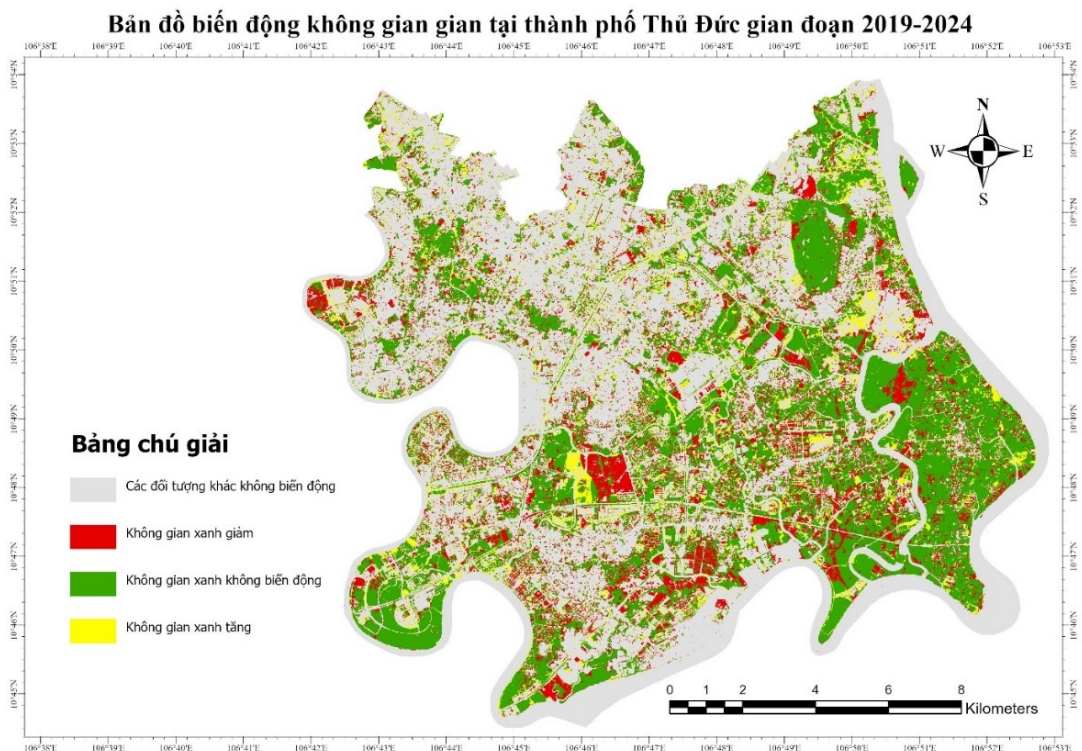


Hình 5. Biểu đồ thống kê diện tích không gian theo phường

3.1.2. Kết quả xây dựng bản đồ biến động không gian xanh

Quá trình biến động mảng xanh tại TP. Thủ Đức có xu hướng giảm nhẹ từ năm 2019 đến 2024 được thể hiện qua hình 6 với bốn lớp: không gian xanh không biến động (xanh lá đậm), không gian xanh tăng (vàng), không gian xanh giảm (đỏ) và các đối tượng khác không biến động (xám). Qua tính toán và thống kê không gian cho thấy không gian xanh không biến động chiếm diện tích lớn với 6.159,32 ha (29,1%), phân bố chủ yếu tại các khu vực ngoại thành như Long Phước, Long Bình và vùng ven sông Đồng Nai. Đây là

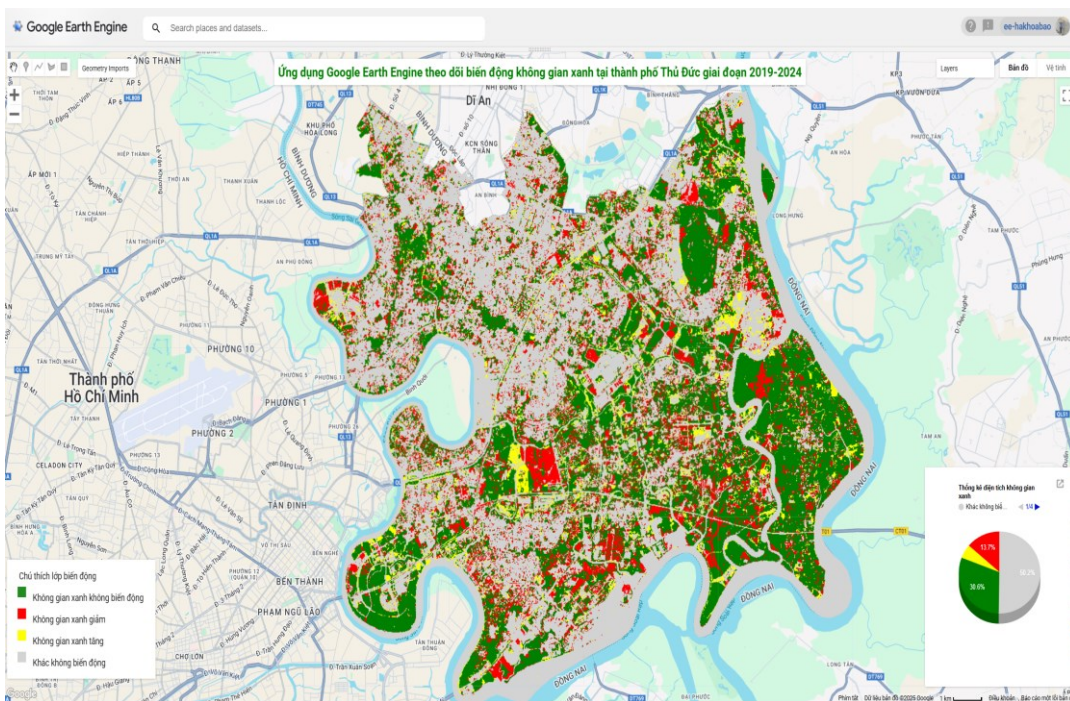
những khu vực có đất nông nghiệp, rừng cây hoặc chưa bị đô thị hóa, cho thấy tính ổn định của mảng xanh tự nhiên. Đối với, tình hình không gian xanh giảm với 2.472,68 ha (11,7%) tập trung tại các phường trung tâm như Linh Trung, Linh Chiểu, Trường Thọ và một phần Thảo Điền – nơi có tốc độ đô thị hóa cao, kéo theo nhu cầu mở rộng hạ tầng và nhà ở, dẫn đến thu hẹp diện tích cây xanh. Tuy nhiên, không gian xanh tăng có diện tích là 1.490,77 ha (7%) phân bố rải rác, nổi bật quanh khu Đại học Quốc gia TP.HCM và một số khu vực ven sông. Sự gia tăng này phản ánh tác động từ các chương trình trồng cây xanh, cải tạo cảnh quan và xây dựng công viên mới. Các đối tượng khác không biến động chiếm phần lớn khu vực trung tâm, thể hiện sự ổn định về hiện trạng sử dụng đất của các khu dân cư và cơ sở hạ tầng hiện hữu. Nguyên nhân biến động chủ yếu đến từ tốc độ đô thị hóa nhanh sau khi Thủ Đức được nâng cấp thành thành phố trực thuộc TP.HCM. Diện tích cây xanh bị thu hẹp để nhường chỗ cho phát triển hạ tầng, nhà ở và dịch vụ. Trong khi đó, các chương trình trồng cây xanh và mở rộng không gian công cộng chỉ đóng vai trò cục bộ và chưa đủ bù đắp phần diện tích đã mất. Những khu vực giữ được không gian xanh thường thuộc quy hoạch đất nông nghiệp, công viên hoặc vùng ngập ven sông – nơi ít bị tác động bởi quá trình đô thị hóa.



Hình 6. Bản đồ biến động không gian xanh giai đoạn 2019-2024

3.1.3. Kết quả xây dựng Earth Engine App

Ngoài ra, bài báo còn xây dựng Earth Engine App để trực quan hoá diễn biến thay đổi không gian xanh tại TP Thủ Đức giai đoạn 2019-2024 (Hình 7) với khả năng hiển thị bản đồ phân loại lớp phủ không gian xanh cho hai thời điểm năm 2019 và 2024, cùng với lớp bản đồ thể hiện biến động không gian xanh. Earth Engine App còn tích hợp biểu đồ thống kê tỷ lệ diện tích của các nhóm biến động (tăng, giảm, không thay đổi), giúp người dùng dễ dàng nhận diện xu hướng và mức độ thay đổi không gian xanh theo khu vực. Giao diện ứng dụng được thiết kế thân thiện, trực quan và có thể truy cập công khai thông qua liên kết chia sẻ. Việc triển khai GEE Apps không chỉ đơn giản hóa quá trình truyền đạt kết quả đến người dùng, mà còn góp phần nâng cao tính minh bạch, khả năng truy cập và tái sử dụng dữ liệu phục vụ các nghiên cứu tiếp theo hoặc hoạt động quản lý đô thị bền vững.



Hình 7. Trực quan hoá không gian xanh tại TP Thủ Đức giai đoạn 2019–2024 bằng Earth Engine App

3.2. Thảo luận

Thông qua việc khai thác ảnh vệ tinh Sentinel-2 tại hai thời điểm (2019 và 2024) kết hợp với thuật toán phân loại Random Forest trên nền tảng Google Earth Engine (GEE), bài báo đã xây dựng thành công bản đồ phân loại không gian xanh của TP. Thủ Đức và phân tích xu hướng biến động trong giai đoạn nghiên cứu. Kết quả cho thấy diện



tích không gian xanh năm 2024 có xu hướng suy giảm so với năm 2019, đặc biệt tại các khu vực ven sông, vùng công viên, đất trống và đất nông nghiệp ở rìa đô thị. Nguyên nhân chủ yếu dẫn đến suy giảm không gian xanh tại TP. Thủ Đức được xác định là do quá trình đô thị hóa diễn ra nhanh chóng và thiếu kiểm soát. Sự phát triển mạnh mẽ về dân số và kinh tế kéo theo nhu cầu ngày càng cao về nhà ở, cơ sở hạ tầng, giao thông và dịch vụ đô thị. Điều này dẫn đến việc chuyển đổi mục đích sử dụng đất từ các khu vực cây xanh, đất nông nghiệp, hoặc đất trống sang các loại hình sử dụng đất mang tính phi sinh thái như khu dân cư, khu công nghiệp và công trình xây dựng. Bên cạnh đó, tốc độ đô thị hóa thường vượt trước quy hoạch, khiến nhiều khu vực cây xanh bị lấn chiếm hoặc không được tích hợp đầy đủ trong kế hoạch sử dụng đất dài hạn. Việc thiếu các chính sách bảo vệ và quy định pháp lý rõ ràng về bảo tồn không gian xanh cũng góp phần làm gia tăng áp lực chuyển đổi đất. Hệ quả là không chỉ diện tích mảng xanh bị thu hẹp mà còn ảnh hưởng tiêu cực đến vi khí hậu đô thị, đa dạng sinh học và chất lượng sống của cư dân. Mặc dù đạt được những kết quả khá tin cậy nhưng bài báo vẫn còn tồn tại một số hạn chế. Thứ nhất, bộ dữ liệu huấn luyện và kiểm tra được thu thập thủ công, nên có thể chưa phản ánh đầy đủ sự đa dạng của các loại lớp phủ thực địa. Thứ hai, việc phân loại chỉ giới hạn ở hai nhóm chính (không gian xanh và không gian khác) làm giảm mức độ chi tiết và khả năng ứng dụng sâu hơn trong các lĩnh vực như quy hoạch cây xanh hay giám sát đa dạng sinh học. Thứ ba, nghiên cứu mới chỉ sử dụng ảnh tại hai thời điểm riêng biệt, chưa phản ánh đầy đủ diễn biến không gian xanh theo chuỗi thời gian liên tục.

4. Kết luận

Dựa trên ảnh vệ tinh Sentinel-2 tại thời điểm 2019, 2024 và thuật toán Random Forest tích hợp trên Google Earth Engine, bài báo đã xây dựng bản đồ không gian xanh TP. Thủ Đức và phân tích biến động trong giai đoạn 5 năm. Kết quả cho thấy không gian xanh năm 2024 có xu hướng suy giảm so với năm 2019, phân bố tập trung tại các khu vực ven sông, công viên,.. ở phía Đông thành phố. Qua đó, việc ứng dụng các thuật toán Machine Learning trong phân loại ảnh vệ tinh không chỉ là bước tiến quan trọng trong nâng cao độ chính xác phân tích không gian, mà còn tạo tiền đề vững chắc cho công tác giám sát biến động không gian xanh nói riêng và theo dõi bề mặt Trái Đất, quản lý tài nguyên thiên nhiên nói chung. Cách tiếp cận này giúp tự động hóa quy trình xử lý dữ liệu



lớn, tăng khả năng phát hiện sớm các thay đổi và hỗ trợ ra quyết định hiệu quả trong bối cảnh đô thị hóa và biến đổi khí hậu ngày càng phức tạp.

Cam kết của các tác giả

Tất cả các 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] Taylor & Hochuli. “Defining greenspace: Multiple uses across multiple disciplines”. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 158, pages 25-38, 2017.
- [2] Trần Thị Vân, Phạm Khánh Hòa, Thảm Thị Ngọc Hân. “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. *Tạp chí khoa học công nghệ giao thông vận tải*. Số 29-08, trang 56-63, 2018.
- [3] Lê Việt Nhân, Nguyễn Bảo Thành, Đỗ Phú Hưng. “Vấn đề thiếu cây xanh ở Thành Phố Hồ Chí Minh: góc nhìn từ quản lý đô thị và ý thức xã hội”. *Tạp chí Khoa học & Công nghệ Trường đại học xây dựng miền tây*. Số 10, trang 55-63, 2024.
- [4] Trung Kiên. “Không gian xanh của đô thị văn minh”. *Báo điện tử Quân Đội Nhân Dân*. Truy cập ngày 6/6/2025 tại <https://www.qdnd.vn/xa-hoi/cac-van-de/khong-gian-xanh-cua-do-thi-van-minh-718751>
- [5] Nguyễn Duy Liêm, Trần Thị Ngọc Diễm. “Phân tích khả năng tiếp cận không gian xanh tại thành phố thủ đức, thành phố Hồ Chí Minh”. *Tạp chí khoa học Yersin*. Số 19, trang 25-37, 2024.
- [6] Phạm Văn Dẫn, Hoàng Văn Khiên, Nguyễn Văn Tùng. “Xây dựng bản đồ không gian xanh bằng thuật toán random forest trên nền tảng điện toán đám mây của Google Earth Engine”. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*. Số 6, trang 58-67, 2022.
- [7] Nguyễn Trọng Nhân, Vũ Xuân Cường. “Sử dụng Google Earth Engine trong giám sát biến động diện tích rừng TP Lâm đồng giai đoạn 2010-2016”. *Kỷ yếu khoa học công nghệ lần 4 - Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Thành phố Hồ Chí Minh*. Trang 254-265, 2018.
- [8] Phạm Văn Dẫn, Hoàng Văn Khiên, Nguyễn Văn Tùng. “Xây dựng bản đồ không gian xanh bằng thuật toán random forest (RF) trên nền tảng điện toán đám mây của Google Earth Engine”. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*. Số 6, trang 58-67, 2022.
- [9] Sultana S, Inayathulla M. “Precision Land Use and LandCover Classification Using GoogleEarth Engine: Integrating RandomForest and Support Vector Machine Algorithms”. *Geo-Eye*. Vol. 11, no.2, pages 9-14, 2022.
- [10] Le Thi Lan, Tran Quoc Vinh, Pham Quy Giang. “A Comparison among Different Machine Learning Algorithms in Land Cover Classification Based on the Google Earth Engine Platform: The Case Study of Hung Yen Province, Vietnam”. *Journal of Environmental & Earth Sciences*. Vol. 7, no.1, pages 132–139, 2025.
- [11] Nguyễn Minh Hải. “Nghiên cứu khả năng ứng dụng thuật toán Random Forest và ảnh vệ tinh Sentinel-2 trong phân loại lớp phủ mặt đất tỉnh Quảng Bình trên nền tảng Google Colab”. *Vietnam Journal of Hydrometeorology*. Tập 765, số 12, trang 29-41, 2023.
- [12] Trịnh Thị Thu Thủy, Lê Như Ngà. “Đánh giá các phương pháp phân loại lớp phủ thực vật tỉnh Hà Giang sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh SENTINEL-2”. *Tạp chí Môi Trường*. Số 2, trang 41-48, 2025.
- [13] Nguyễn Thành Tuấn. “Sử dụng ảnh viễn thám Sentinel 2 và thuật toán máy học để thành lập bản đồ hiện trạng rừng tại huyện Bù Đăng, tỉnh Bình Phước”. *Tạp chí Khoa học trường đại học Cần Thơ*. Tập 58, số 6, trang 150-163, 2022.



- [14] Đỗ Lan Phương, Hoàng Thị Thủy, Đỗ Như Hiệp. “Nghiên cứu ứng dụng trí tuệ nhân tạo theo dõi biến động lớp phủ sử dụng đất khu vực quận Bắc Từ Liêm Hà Nội giai đoạn 2019-2023”. *Tạp chí Trắc địa - Bản đồ*. Tập 10, số 01, trang 23-30, 2024.
- [15] Đặng Thị Mai Trâm, Nguyễn Trọng Nhân. “Ứng dụng Google Earth Engine trong phân tích biến động của hiện tượng đảo nhiệt đô thị trên địa bàn thành phố Quảng Ngãi giai đoạn 1995 – 2021, đề xuất một số giải pháp trong quy hoạch và phát triển”. *Kỷ yếu hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc 2022*. Trang 308-315, 2022.
- [16] Breiman, L. “Random forests”. *Springer Nature*. Vol. 4, no.1, pages 5–32, 2001.
- [17] Nguyễn Trọng Nhân, Lưu Hải Tùng. Ứng dụng thuật toán Machine Learning trên điện toán đám mây Google Earth Engine phục vụ xây dựng WEBGIS giám sát độ mặn trong đất tỉnh Bến Tre. *Hội thảo GIS toàn quốc năm 2022*. Trang 381-388, 2022.