



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

Đỗ Lan Phương^{1*}, Hoàng Thị Thùy², Đỗ Như Hiệp³

¹Cục Viễn thám Quốc gia, số 79 Văn Tiến Dũng, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

²Trường đại học Mỏ - Địa chất, số 18 Phố Viên, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

³Trường đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, số 41a Phú Diễn, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

Email tác giả liên hệ: phuongdolan264@gmail.com

Tóm tắt:

Trí tuệ nhân tạo hiện nay đã và đang được ứng dụng rất hiệu quả trong nhiều lĩnh vực. Đã có những nghiên cứu sử dụng các thuật toán học máy để phân loại lớp phủ sử dụng đất từ ảnh vệ tinh. Nghiên cứu này sử dụng AI với thuật toán học máy Random Forest để phân loại, giám sát các lớp phủ bề mặt sử dụng đất từ ảnh vệ tinh Sentinel-2 tại khu vực quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội giai đoạn 2019-2023. Kết quả của nghiên cứu đã cho thấy suy giảm diện tích của lớp thực phủ Thực vật dày là 5.32%, ngược lại, sau năm 5 diện tích khu vực dân cư tăng 5.27% tương đương 232.80ha..

Từ khóa: Lớp phủ sử dụng đất, Trí tuệ nhân tạo, Google Earth Engine, Thuật toán RF.

Ngày nhận bài: 15/02/2024

Ngày sửa lại: 03/03/2024

Ngày chấp nhận đăng: 08/03/2024

Ngày xuất bản: 30/03/2024

Application of Artificial Intelligence to monitor changes in land use in the Bac Tu Liem District area, Hanoi, during the period 2019-2023

Do Lan Phuong^{1*}, Hoang Thi Thuy², Do Nhu Hiep³

¹National Remote Sensing Department, No 79 Van Tien Dung Road, Bac Tu Liem District, Ha Noi, Viet Nam

²Hanoi University of Mining and Geology, No 18 Pho Vien Street, Bac Tu Liem District, Ha Noi, Viet Nam

³Hanoi University of Natural Resources and Environment, No 41a Phu Dien Street, Bac Tu Liem District, Ha Noi, Viet Nam

Corresponding Author Email: phuongdolan264@gmail.com

Abstract:

Artificial Intelligence is currently being applied with great effectiveness in various fields. There have been studies utilizing machine learning algorithms to classify land use, land cover from satellite images. This research employs AI with the Random Forest machine learning algorithm to classify, and monitor land use, land cover from Sentinel-2 images in the Bac Tu Liem District, Hanoi, during the period 2019-2023. The results of the study have indicated a decrease of 5.32% in the area covered by dense vegetation, while, conversely, the residential area has increased by 5.27% equivalent to 232.80 hectares after 5 years.

Keywords: GIS, Land use, Land cover, Artificial Intelligence, Google Earth Engine, RF algorithms.

Submission received: 15/02/2024

Revised: 03/03/2024

Accepted: 08/03/2024

Published: 30/03/2024

1. Mở đầu

Công nghệ viễn thám và hệ thống tin địa lý đã và đang phát triển rất mạnh, các phương pháp phân tích, đánh giá về biến động sử dụng đất, về đô thị hóa cũng ngày càng trở nên thuận tiện và có hiệu quả [1].

Trước đây đã có những nghiên cứu sử dụng một số thuật toán như Maximum Likelihood Classifier (MLC), Minimum Distance Classifier (MDC), K-Nearest Neighbor (KNN), Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF) và Classification and regression tree (Cart) [2-5] dựa trên các phần mềm thương mại chuyên dụng để phân loại lớp phủ bề mặt đất từ ảnh vệ tinh, một số nghiên cứu này có thể kể đến như của các tác giả Talukdar năm 2020, Szuste năm 2011 [6, 7]. Các hệ thống phần mềm này đã chứng minh được hiệu quả của mình, tuy nhiên tốn kém kinh phí cho việc thuê, mua của các đơn vị sở hữu bản quyền.

Hiện nay, đã có những nghiên cứu trên thế giới sử dụng các thuật toán học máy để phân loại lớp phủ như là của Swetanisha năm 2022 [8] Tại Việt Nam trong những năm gần đây cũng có một số nghiên cứu đã ứng dụng trí tuệ nhân tạo (Artificial Intelligence - AI) để phân loại lớp phủ sử dụng đất từ dữ liệu ảnh vệ tinh, có thể kể đến như nghiên cứu của tác giả Đặng Thanh Tùng năm 2023 [9]. Hoặc nghiên cứu của tác giả Nguyễn Thị Huyền Trang và cộng sự cũng đã sử dụng thuật toán học máy SVM để phân loại, xác định các lớp phủ sử dụng đất tại khu vực Bắc Từ Liêm Hà Nội năm

2023 [10]. Kết quả của các nghiên cứu này đã sử dụng thuật toán học máy để phân loại được một số lớp phủ bề mặt của khu vực nghiên cứu, tuy nhiên để nâng cao hiệu quả hơn nữa cần có kết quả phân tích của nhiều năm liên tục để theo dõi, giám sát biến động lớp phủ sử dụng đất theo các giai đoạn khác nhau.

Ngoài ra, một trong những nền tảng ứng dụng hữu ích khác có thể kể đến như là Google Earth Engine (GEE), đây là nền tảng dữ liệu điện toán đám mây, có khả năng xử lý dữ liệu viễn thám online đáp ứng kịp thời các yêu cầu cung cấp thông tin, dữ liệu phục vụ công tác giám sát biến động sử dụng đất [11].

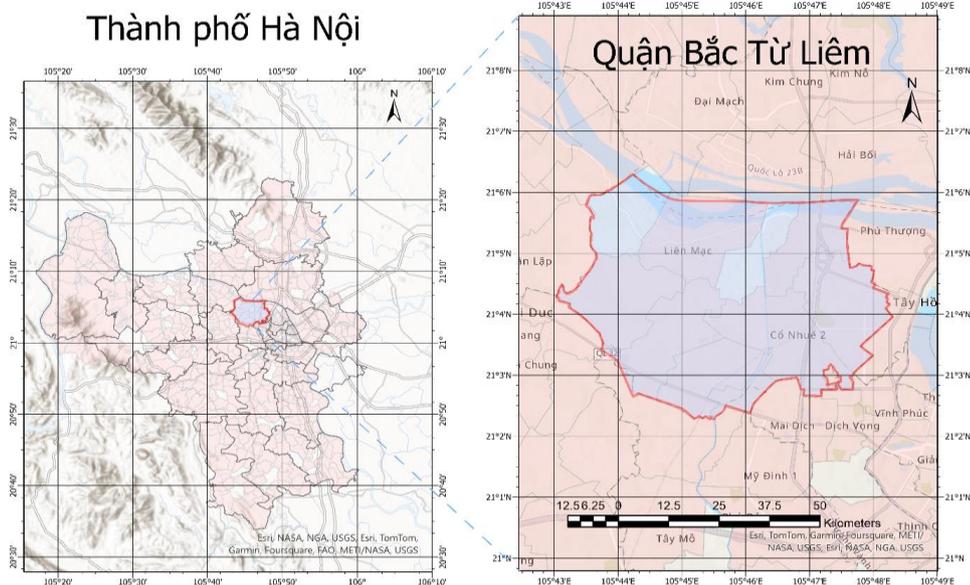
Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2 được xử lý trực tuyến trên nền tảng điện toán đám mây của GEE với ngôn ngữ lập trình Javascript để tính toán, phân tích kết quả. Đây cũng là ưu điểm lớn và là xu thế đang phát triển mạnh trong thời kỳ công nghệ 4.0. Thuật toán RF là thuật toán học máy (Machine Learning) dựa trên mô hình AI được sử dụng để thực hiện việc tự động hóa và nâng cao hiệu quả trong việc phân loại, theo dõi biến động các lớp phủ sử dụng đất trên địa bàn quận Bắc Từ Liêm Hà Nội, giai đoạn 2019-2023.

2. Khu vực và dữ liệu nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Quận Bắc Từ Liêm nằm cách trung tâm thành phố Hà Nội 10 km về phía tây, có địa hình bằng phẳng, độ cao so với mặt nước biển trung bình khoảng từ 6m đến 8m. Là khu vực có nền địa chất ổn định, khí hậu chịu ảnh hưởng của chế độ gió mùa nhiệt đới nóng ẩm, mưa nhiều, mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 10, mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4, nhiệt độ trung bình 24°C , lượng mưa trung bình năm khoảng từ 1600mm đến 1800mm, độ ẩm cao. Khu vực có nhiều sông, hồ là nguồn dự trữ nước ngọt cho địa phương [12].

Quận có diện tích 45,24 km², dân số năm 2020 là 340.605 người, mật độ dân số đạt 7.529 người/km² [12]. Là quận được thành lập tháng 12 năm 2013 đang có tốc độ phát triển và đô thị hóa nhanh, kèm theo đó là các biến động về quản lý, sử dụng đất trên địa bàn [13].



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

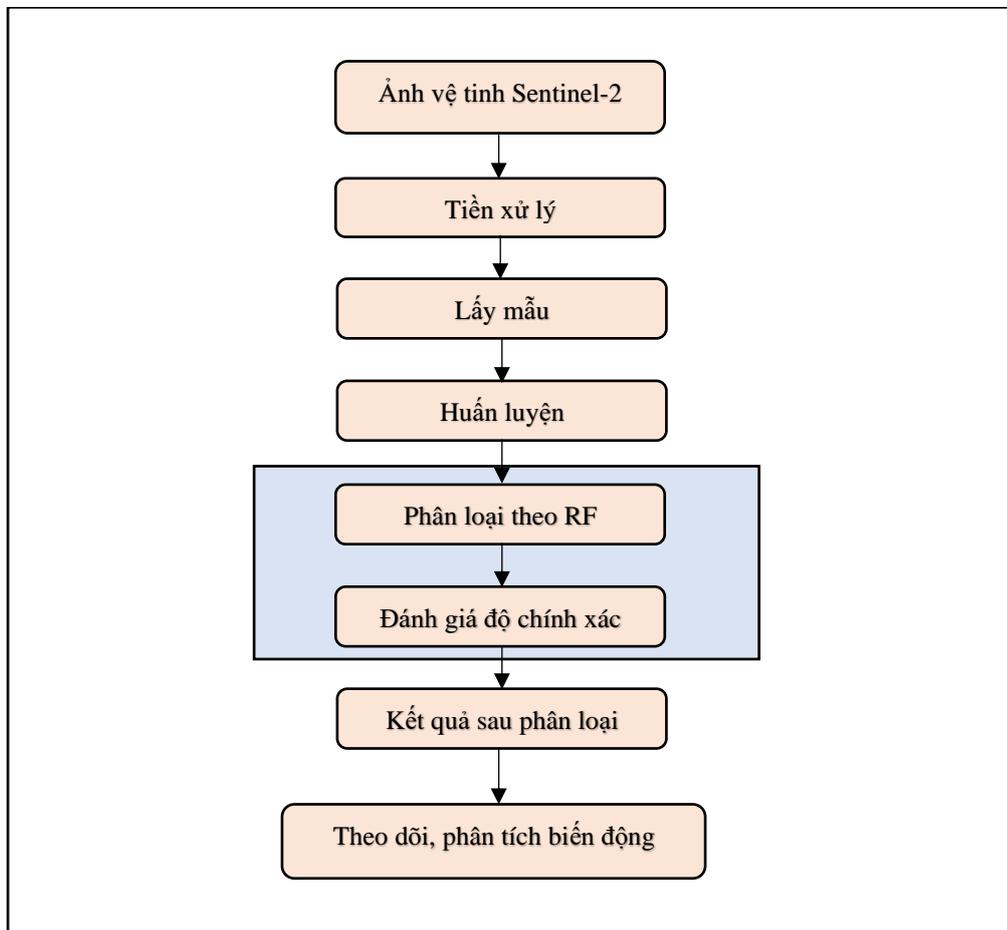
Ảnh vệ tinh Sentinel-2 bao gồm Sentinel-2A và Sentinel-2B do cơ quan hàng không vũ trụ Châu Âu quản lý, thực hiện. Dữ liệu có độ phân giải thời gian là 5 ngày, độ phân giải không gian ở kênh toàn sắc là 10m. Dữ liệu ảnh này có độ phân giải bức xạ cao được lưu giữ ở mức độ 12 bit. Do đó, điều này đem lại khả năng phân biệt mức độ sáng trên ảnh có phạm vi tiềm năng từ 0 - 4 095.

Để đảm bảo chất lượng của ảnh vệ tinh quang học Sentinel-2 được tốt nhất có thể cho khu vực, nghiên cứu đã lựa chọn thu thập dữ liệu là ảnh được tổng hợp từ các ảnh Sentinel-2 thu nhận trong thời gian giữa mùa khô khoảng từ tháng 1 đến tháng 3 hàng năm trong giai đoạn 2019-2023. Độ phủ mây của các ảnh tham gia xử lý dữ liệu đảm bảo dưới 5%.

3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 làm dữ liệu đầu vào để tính toán, phân loại lớp phủ sử dụng đất. Các dữ liệu ảnh đã được lựa chọn tổng hợp là những ảnh có độ phủ mây thấp, và sử dụng thuật toán học máy RF trên nền tảng điện toán đám mây GEE để phân loại ảnh, kết hợp với phần mềm mã nguồn mở QGIS phân tích theo dõi biến động lớp phủ sử dụng đất. Khu vực Bắc Từ Liêm được lựa chọn thử nghiệm phân loại với 5 lớp phủ sử dụng đất bao gồm: 1) lớp phủ Đất trống, 2) lớp phủ Mặt nước, 3) lớp phủ Thực vật dày, 4) lớp phủ Cây bụi, thảm cỏ, 5) lớp phủ Dân cư. Các lớp phủ được lựa chọn để phân loại là hiện trạng tại thời điểm thu nhận ảnh. Đặc điểm của lớp Đất trống được lựa chọn là các khu vực như bãi đất, cát, bãi bồi, khu vực đang san lấp, các khu vực đất đang chuẩn bị xây dựng. Lớp phủ Mặt nước gồm các khu vực ao hồ, sông suối, kênh mương. Lớp phủ Thực vật dày bao gồm những khu vực có cây cối dày đặc, cây lớn, cây có bóng mát. Lớp phủ Dân cư gồm các công trình xây dựng độc lập, và các khu vực nhà cửa, công trình xây dựng tại làng mạc, khu chung cư, các tòa nhà cao tầng. Việc thực hiện phân loại các lớp phủ sử dụng đất được thực hiện tự động dựa trên việc lập trình bằng ngôn ngữ lập trình JavaScript.

Quy trình thực hiện tuân tự theo các bước lần lượt bao gồm: Trích xuất dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2 của khu vực nghiên cứu; Tiền xử lý dữ liệu ảnh đảm bảo có dữ liệu tốt nhất có thể; Tiến hành việc tạo mẫu, huấn luyện để cho chương trình học và ghi nhận các thông tin về các mẫu cho từng loại lớp phủ; Phân loại các lớp phủ theo mẫu đã huấn luyện; Thu nhận kết quả và đánh giá độ chính xác phân loại; Theo dõi, phân tích biến động. Hình 2 minh họa tổng quan quy trình thực hiện nghiên cứu.



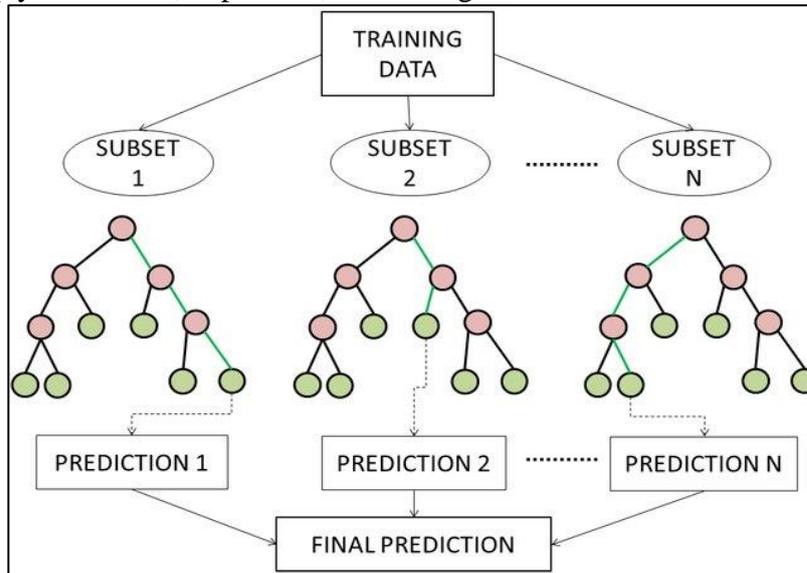
Hình 2. Sơ đồ quy trình nghiên cứu

3.1. Thuật toán RF

Thuật toán RF kết hợp các tính năng ngẫu nhiên để tạo ra một cây. Đây là một thuật toán học máy có thể tích hợp nhiều cây quyết định và sau đó tạo thành một khu rừng. Phương pháp đóng bao được sử dụng để tạo các mẫu huấn luyện và mỗi tính năng đã chọn được rút ngẫu nhiên bằng cách thay thế N kích thước của tập huấn luyện ban đầu. Sau đó, kết quả dự đoán cuối cùng thu được bằng cách kết hợp nhiều cây quyết định [14]. Công thức (1) thực hiện quyết định phân loại cuối cùng như sau:

$$H(x) = \operatorname{argmax}_Y \sum_{i=1}^K I(h_i(x) = Y) \quad (1)$$

Trong đó $H(x)$ là mô hình kết hợp, h_i là mô hình phân loại của cây quyết định đơn lẻ, Y là biến đầu ra (hoặc biến mục tiêu) và $I(\cdot)$ là hàm chỉ báo. Công thức cho thấy rằng RF sử dụng đa số các quyết định biểu quyết để xác định phân loại cuối cùng.



Hình 3. Mô hình phân loại theo thuật toán RF

Thuật toán RF được đánh giá cao bởi tính chính xác của mô hình. Các tham số điều chỉnh của thuật toán RF là số lượng cây thường được chọn theo kinh nghiệm. Trong các bài toán phân lớp dữ liệu thì thuật toán RF được sử dụng phổ biến. Nhược điểm chính của thuật toán RF là khối lượng tính toán lớn. Mặc dù khối lượng tính toán lớn nhưng cũng có ưu điểm là tốc độ xử lý tương đối nhanh [15, 16]. Nghiên cứu sử dụng ngôn ngữ lập trình Javascript để tính toán, xử lý dữ liệu và phân loại ảnh các lớp phủ sử dụng đất từ dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2 trên nền tảng điện toán đám mây GEE từ đó đưa ra kết quả của 5 loại lớp phủ sử dụng đất trên địa bàn quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội.

3.2. Đánh giá độ chính xác phân loại ảnh

Nghiên cứu này sử dụng ma trận sai lẫn (Confusion Matrix) để đánh giá độ chính xác phân loại các lớp phủ sử dụng đất. Đây là phương pháp quan trọng và phổ biến được sử dụng để đánh giá độ chính xác, có thể mô tả độ chính xác của phân loại và chỉ ra sự nhầm lẫn giữa các lớp đối tượng [17]. Các thống kê cơ bản cho ma trận nhầm lẫn bao gồm: Sai số tổng thể (Overall Accuracy - OA) và hệ số Kappa. Trong đó hệ số Kappa có giá trị từ 0.4 đến 0.6 được đánh giá là đạt kết quả trung bình, giá trị từ lớn hơn 0.6 đến 0.8 là tốt và hơn 0.8 đến 1.0 là rất tốt [16]. Trong đó sử dụng 70% số lượng mẫu dùng để phân loại ảnh và 30% số lượng mẫu dùng để kiểm tra đánh giá [18].

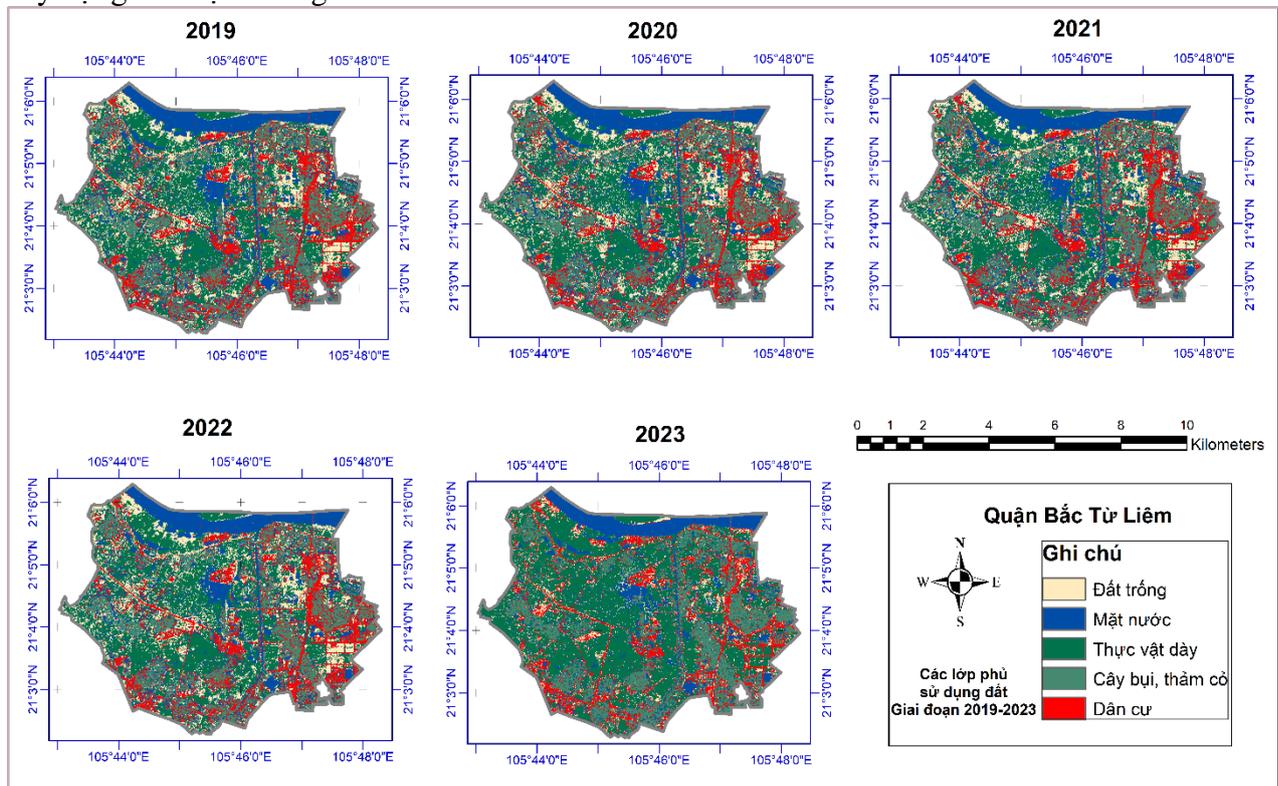
3.3. Phân tích, theo dõi biến động các lớp phủ sử dụng đất

Kết quả các lớp phủ sử dụng đất từ việc phân loại ảnh vệ tinh tại khu vực nghiên cứu được sử dụng làm dữ liệu đầu vào để phân tích, theo dõi các biến động tại khu vực trong giai đoạn 2019-2023. Việc phân tích, theo dõi biến động lớp phủ sử dụng đất được thực hiện với phần mềm mã nguồn mở QGIS. Đây là phần mềm miễn phí hiện đang được sử dụng phổ biến trên toàn cầu, nhất là đối với các lĩnh vực nghiên cứu và ứng dụng trong ngành khoa học trái đất [19]. Các lớp dữ liệu được tính toán tổng hợp và tiến hành chồng xếp không gian để tìm ra các thay đổi qua từng năm và thay đổi tổng thể của cả giai đoạn 5 năm từ 2019 đến 2023.

4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

4.1. Phân loại các lớp phủ sử dụng đất.

Kết quả phân loại bao gồm 5 lớp phủ sử dụng đất của từng năm theo giai đoạn 2019-2023. Nghiên cứu đã cho thấy sự biến động rõ rệt của các lớp phủ sử dụng đất tại khu vực nghiên cứu trong giai đoạn 2019- 2023. Hình 4 thể hiện sản phẩm các lớp phủ bề mặt sau phân loại tại khu vực nghiên cứu. Các kết quả chi tiết của các lớp phủ sử dụng đất trong bảng 1 tại khu vực Hà Nội cho thấy rằng trung bình trong 5 năm từ 2019 đến 2023, lớp Đất trống chiếm 8.40%, Mặt nước 41.31%, Thực vật dày 22.65%, Cây bụi, thảm cỏ 13.01%, Dân cư 14.64% so với tổng diện tích tự nhiên. Đồng thời, kết quả cũng thể hiện có sự tăng, giảm khác biệt qua từng năm, điều này cũng thể hiện thực trạng về sử dụng đất có sự thay đổi khác nhau phụ thuộc nhiều yếu tố, trong đó có các yếu tố ảnh hưởng của tốc độ phát triển kinh tế xã hội tại địa phương, nhất là nhu cầu phát triển khu vực đất xây dựng trên địa bàn nghiên cứu.



Hình 4. Kết quả phân loại lớp phủ giai đoạn 2019-2023 tại quận Bắc từ Liêm, Hà Nội

Bảng 1. Diện tích các lớp phủ sử dụng đất giai đoạn 2019-2023

Diện tích lớp phủ (ha)	Năm 2019	Năm 2020	Năm 2021	Năm 2022	Năm 2023
Đất trống	265.06	301.51	322.28	362.78	334.29
Mặt nước	2000.45	1959.87	1900.11	1834.64	1860.03
Thực vật dày	1182.99	1161.63	1127.21	1013.36	947.72
Cây bụi, thảm cỏ	532.90	538.91	548.49	596.73	606.56
Dân cư	436.94	456.38	520.22	610.83	669.74

Việc phân loại các lớp phủ sử dụng đất từ ảnh vệ tinh Sentinel-2 tại khu vực quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội bao gồm lớp phủ Đất trống, lớp phủ Mặt nước, lớp phủ Thực vật, lớp phủ Đất xây dựng cho thấy từng khu vực được phân loại rõ ràng, với độ tin cậy đảm bảo. Cụ thể độ chính xác phân loại theo Ma trận sai lẫn đã đưa ra hệ số Kappa với giá trị 0.75, 0.72, 0.83, 0.77, 0.75, độ chính xác tổng thể OA đạt 0.83, 0.80, 0.87, 0.84, 0.83 tương ứng lần lượt theo các năm 2019, 2020, 2021, 2022, 2023. Các kết quả đánh giá độ chính xác phân loại này là tương đối cao, do đó đủ độ tin cậy

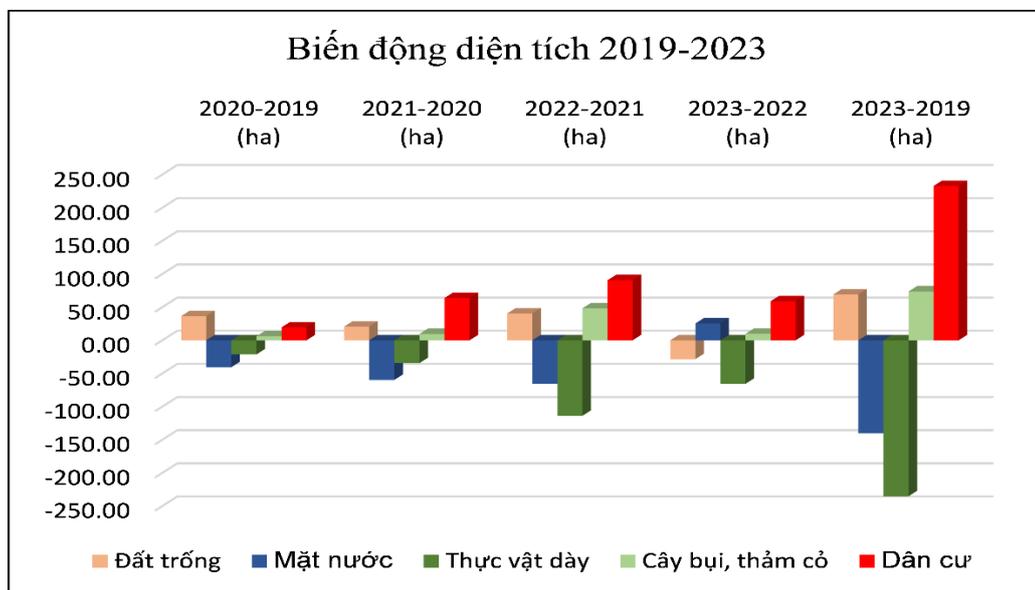
để sử dụng cho các phân tích, theo dõi biến động sử dụng đất trong giai đoạn 2019-2023 tại quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội.

4.2. Biến động lớp phủ sử dụng đất 2019-2023

Bảng 2 thể hiện kết quả biến động diện tích của từng lớp phủ sử dụng đất tại khu vực nghiên cứu theo từng năm từ 2019 đến 2023. Các kết quả cho thấy rằng lớp có xu hướng tăng diện tích là lớp Đất trồng, lớp Cây bụi, thảm cỏ, lớp Dân cư. Trong khi đó các lớp Mặt nước, lớp Thực vật dày có xu hướng giảm diện tích che phủ.

Bảng 2. Biến động diện tích các lớp phủ sử dụng đất giai đoạn 2019-2023

Chênh lệch diện tích lớp phủ (%)	2020-2019	2021-2020	2022-2021	2023-2022	2023-2019
Đất trồng	0.83	0.47	0.92	-0.64	1.57
Mặt nước	-0.92	-0.14	-1.48	0.57	-3.18
Thực vật dày	-0.48	-0.08	-2.58	-1.49	-5.32
Cây bụi, thảm cỏ	0.14	0.02	1.09	0.22	1.67
Dân cư	0.44	0.14	2.05	1.33	5.27



Hình 5. Biểu đồ biến động các lớp phủ sử dụng đất tại quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội

Nghiên cứu đã cho thấy sự biến động rõ rệt của các lớp phủ sử dụng đất tại khu vực nghiên cứu trong giai đoạn 2019- 2023. Hình 5 là biểu đồ thể hiện sự biến động diện tích các lớp phủ bề mặt sau phân loại tại khu vực nghiên cứu theo thuật toán RF. Kết quả giám sát biến động lớp phủ mặt nước giai đoạn 2019-2023 tại khu vực Bắc Từ Liêm, Hà Nội cho thấy rằng có sự suy giảm đáng kể về diện tích lớp phủ Thực vật dày và lớp Mặt nước qua từng năm tại quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội. Cụ thể, sau khoảng 5 năm từ 2019 đến 2023 phát triển, lớp Mặt nước có diện tích giảm 3.18% tương đương khoảng 140.42 ha. Lớp Thực phủ dày giảm 235.27 ha tương ứng giảm 5.32%. Các lớp có diện tích tăng trong giai đoạn này là lớp Đất trồng, lớp Cây bụi, thảm cỏ, lớp Dân cư với diện tích tăng tương ứng là 69.23ha (1.57%), 73.65ha (1.67%), 232.80ha (5.27%). Các lớp phủ sử dụng đất có sự tăng giảm khác nhau theo từng năm, tuy nhiên nghiên cứu đã chỉ ra rằng lớp Dân cư có xu hướng tăng liên tục nhất là trong thời gian từ năm 2021 đến 2022 đã tăng 2.05% tương đương 90.61ha và năm 2022-2023 tăng 1.33% tương đương 58.92ha. Điều này cũng phù hợp với sự phát triển chung về kinh tế xã hội của khu vực nghiên cứu.

5. Kết luận

Công nghệ trí tuệ nhân tạo, thuật toán học máy RF sử dụng trong nghiên cứu đã cho thấy hiệu quả về việc phân loại các lớp phủ sử dụng đất trên địa bàn quận Bắc Từ Liêm được nhanh chóng và có độ tin cậy cao. Kết quả biến động trong giai đoạn 2019-2023 cho thấy sự gia tăng liên tục hàng năm về diện tích của lớp phủ dân cư, sau 5 năm diện tích đã tăng 5.27% tương đương 232.80ha.



Ngược lại là xu hướng suy giảm diện tích một cách rõ rệt của lớp phủ Thực vật dày đặc với mức độ giảm diện tích sau 5 năm là 5.32% tương đương 235.27ha.

Để có những kết quả chuyên sâu hơn cũng như có độ tin cậy cao hơn nữa, cần bổ sung các nghiên cứu chi tiết, khảo sát thực địa và các tài liệu so sánh đối chứng ở những nghiên cứu tiếp theo. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu này có thể có khả năng sử dụng tham khảo cho công tác quản lý đất đai, giám sát tình hình sử dụng, thực hiện quy hoạch sử dụng đất tại địa bàn nghiên cứu.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Cục Viễn thám Quốc gia, Bộ Tài nguyên và Môi trường đã hỗ trợ nghiên cứu này, đồng thời cũng xin cảm ơn các cơ quan, tổ chức quốc tế như Google Earth Engine, National Aeronautics and Space Administration (NASA), Chương trình Copernicus của Cơ quan hàng không vũ trụ châu Âu (ESA) đã cung cấp nền tảng xử lý và cung cấp dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2 miễn phí cho nghiên cứu này của chúng tôi.

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] Giang Thị Phương Thảo, Phạm Thị Thu Hương, Phạm Việt Hòa, and Nguyễn An Bình, "Đánh giá độ chính xác trong phân loại lớp phủ dựa trên thuật toán học máy và dữ liệu viễn thám thông qua Google Earth Engine: Áp dụng tại tỉnh Đắk Lắk," *Journal of Science on Natural Resources Environment*, no. 46, pp. 55-65, 2021.
- [2] Abbas Taati, Fereydoon Sarmadian, Amin Mousavi, Chamran Taghati Hossien Pour, and Amir Hossein Esmaili Shahir, "Land use classification using support vector machine and maximum likelihood algorithms by Landsat 5 TM images," *Walailak Journal of Science*, vol. 12, no. 8, pp. 681-687, 2015.
- [3] Sadegh Bafandeh Imandoust and Mohammad Bolandraftar, "Application of k-nearest neighbor (knn) approach for predicting economic events: Theoretical background," *International journal of engineering research applications*, vol. 3, no. 5, pp. 605-610, 2013.
- [4] Nabila Farnaaz and MA Jabbar, "Random forest modeling for network intrusion detection system," *Procedia Computer Science*, vol. 89, pp. 213-217, 2016.
- [5] Roger J Lewis, "An introduction to classification and regression tree (CART) analysis," in *Annual meeting of the society for academic emergency medicine in San Francisco, California*, 2000, vol. 14: Department of Emergency Medicine Harbor-UCLA Medical Center Torrance San.
- [6] Swapan Talukdar, Pankaj Singha, Susanta Mahato, Swades Pal, Yuei-An Liou, and Atiqur Rahman, "Land-use land-cover classification by machine learning classifiers for satellite observations - A review," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 7, p. 1135, 2020.
- [7] Brian W Szuster, Qi Chen, and Michael Borger, "A comparison of classification techniques to support land cover and land use analysis in tropical coastal zones," *Applied Geography*, vol. 31, no. 2, pp. 525-532, 2011.
- [8] Subhra Swetanisha, Amiya Ranjan Panda, and Dayal Kumar Behera, "Land use/land cover classification using machine learning models," *International Journal of Electrical Computer Engineering*, vol. 12, no. 2, 2022.
- [9] Đặng Thanh Tùng, "Nghiên cứu, ứng dụng hệ thống phần mềm mã nguồn mở thực hiện đánh giá biến động các lớp phủ sử dụng đất từ dữ liệu ảnh vệ tinh trên địa bàn thành phố Hà Nội giai đoạn 2013-2023", cơ quan chủ quản "Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội," Mã số: 13.01.23.M.03, 2023.
- [10] Nguyễn Thị Huyền Trang, Đặng Thanh Tùng, Phạm Thị Sao Mai, and Hà Thị Thu Hồng, "Nghiên cứu phân loại lớp phủ sử dụng đất từ ảnh vệ tinh Sentinel-2 dựa trên thuật toán SVM," *Science Journal of Natural Resources*, no. 45, pp. 74-82, 2023.
- [11] Tung Dang Thanh, Thanh Huyen Dinh Thi, Thuy Hoang Thi, and Ngoc Ta Minh, "Application of Satellite Images and Artificial Intelligence to Monitor Land Cover Changes



- in Hanoi Area During 2013-2023 Period," *VNU Journal of Science: Earth Environmental Sciences*, vol. 39, no. 4, 2023.
- [12] UBND quận Bắc Từ Liêm. (2024, 17/1). *Giới thiệu chung*. Available: <https://bactuliem.hanoi.gov.vn/gioi-thieu-chung>
- [13] UBND quận Bắc Từ Liêm. (2024, 17/1). *Quy hoạch, kế hoạch sử dụng đất*. Available: <https://bactuliem.hanoi.gov.vn/quy-hoach-va-ke-hoach-su-dung-dat>
- [14] Leo Breiman, "Random forests," *Machine learning*, vol. 45, pp. 5-32, 2001.
- [15] J Ross Quinlan, "Bagging, boosting, and C4. 5," in *Aaai/Iaai*, vol. 1, 1996, pp. 725-730.
- [16] Giang Thị Phương Thảo, Phạm Thị Thu Hương, Phạm Việt Hòa, and Nguyễn An Bình, "Đánh giá độ chính xác trong phân loại lớp phủ dự trên thuật toán học máy và dữ liệu viễn thám thông qua Google Earth Engine: Áp dụng tại tỉnh Đắk Lắk," *Journal of Science on Natural Resources Environment*, no. 46, pp. 55-65, 2021.
- [17] Am Hay, "The derivation of global estimates from a confusion matrix," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 9, no. 8, pp. 1395-1398, 1988.
- [18] Ahmed M Abdel-Zaher and Ayman M Eldeib, "Breast cancer classification using deep belief networks," *Expert Systems with Applications*, vol. 46, pp. 139-144, 2016.
- [19] Nguyễn Hữu Trung, "Ứng dụng mã nguồn mở Thông Tin Địa Lý (Open GIS) trong giảng dạy và nghiên cứu quản lý môi trường và tài nguyên thiên nhiên," *Trường Đại học Cần Thơ*, 2020.