

# ỨNG DỤNG DỮ LIỆU VỆ TINH SENTINEL-2 TRÊN NỀN TẢNG GOOGLE EARTH ENGINE TRONG ĐÁNH GIÁ KHÔNG GIAN XANH ĐÔ THỊ KHU VỰC THÀNH PHỐ THANH HÓA, TỈNH THANH HÓA

Lưu Thùy Dương<sup>1\*</sup>, Lê Văn Phú<sup>2</sup>, Lê Kim Thu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

<sup>2</sup>Học viện Kỹ thuật quân sự

## Tóm tắt

*Không gian xanh đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện môi trường đô thị, tuy nhiên do quá trình đô thị hóa, diện tích không gian xanh đô thị có xu hướng ngày càng thu hẹp. Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-2 và các thuật toán học máy trong đánh giá sự thay đổi của không gian xanh đô thị tại thành phố Thanh Hóa, tỉnh Thanh Hóa. Dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2 MSI các năm 2016, 2020 và 2024 được sử dụng để tính các chỉ số thực vật, sau đó phân loại không gian xanh đô thị bằng các thuật toán học máy khác nhau. Kết quả nhận được cho thấy, diện tích không gian xanh đô thị ở thành phố Thanh Hóa có sự suy giảm mạnh trong giai đoạn 2016 - 2024, từ 58,06 % tổng diện tích khu vực nghiên cứu năm 2016 xuống 49,56 % năm 2020 và 32,02 % năm 2024. Kết quả nhận được trong nghiên cứu cung cấp thông tin đầu vào quan trọng, giúp các nhà quản lý trong quy hoạch và phát triển bền vững không gian xanh đô thị.*

**Từ khóa:** Học máy; Không gian xanh đô thị; Viễn thám; Thanh Hóa; Việt Nam.

## Abstract

### *Application of Sentinel-2 satellite data on Google Earth Engine platform in evaluating urban green space in Thanh Hoa city, Thanh Hoa province*

*Green spaces play a crucial role in improving the urban environment. However, due to urbanization, the area of urban green spaces tends to shrink. This study utilizes Sentinel-2 satellite data and machine learning algorithms to assess the changes in urban green spaces in Thanh Hoa city, Thanh Hoa province. Sentinel-2 MSI satellite imagery data from 2016, 2020, and 2024 were used to calculate vegetation indices, and then classify urban green spaces using various machine learning algorithms. The results indicate a significant decrease in the area of urban green spaces in Thanh Hoa city during the period from 2016 to 2024, dropping from 58.06 % of the total study area in 2016 to 49.56 % in 2020 and 32.02 % in 2024. The findings of this study provide important input information to assist managers in planning and sustainably developing urban green spaces.*

**Keywords:** Machine learning; Urban green space; Remote sensing; Thanh Hoa; Vietnam.

BBT nhận bài: 15/01/2025; Phản biện xong: 21/01/2025; Chấp nhận đăng: 26/03/2025

\*Tác giả liên hệ, Email: ltduong@hunre.edu.vn

DOI: <http://doi.org/10.63064/khtnmt.2025.655>

## Nghiên cứu

### 1. Mở đầu

Giữa tốc độ đô thị hóa ngày càng nhanh và sự gia tăng mức độ nghiêm trọng của biến đổi khí hậu, việc bảo vệ và phát triển không gian xanh đô thị đã trở thành những thách thức quan trọng đối với các thành phố trên toàn thế giới [16, 20]. Không gian xanh không chỉ đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện chất lượng không khí, giảm hiệu ứng đảo nhiệt đô thị, tăng cường đa dạng sinh học mà còn góp phần đáng kể vào sức khỏe cộng đồng bằng cách cung cấp các không gian cho hoạt động vui chơi và giải trí [2, 17, 32]. Tuy nhiên, sự mở rộng đô thị nhanh chóng và sự phát triển công nghiệp đã dẫn đến sự thu hẹp của không gian xanh, đe dọa sự ổn định môi trường và giảm khả năng phục hồi của các hệ sinh thái đô thị [3, 23, 31].

Tại Việt Nam, quá trình đô thị hóa đang diễn ra nhanh chóng, đặc biệt là tại các thành phố lớn như Hà Nội, thành phố Hồ Chí Minh, Đà Nẵng và các tỉnh lân cận khác [5, 12, 14]. Thanh Hóa nằm ở khu vực Bắc Trung Bộ của Việt Nam, cũng không nằm ngoài xu hướng này. Với dân số phát triển nhanh, đô thị hóa và công nghiệp hóa, Thanh Hóa đang phải đối mặt với những thách thức lớn trong việc duy trì và mở rộng không gian xanh đô thị [19]. Các khu vực xanh của thành phố không chỉ quan trọng trong việc nâng cao chất lượng môi trường sống mà còn ảnh hưởng đến sức khỏe và phúc lợi của con người. Tuy nhiên, khi các khu vực đô thị và công nghiệp mở rộng, áp lực lên các không gian này ngày càng gia tăng, đe dọa sự bền vững của chúng [15].

Mặc dù nhận thức về bảo vệ môi trường và phát triển bền vững ngày càng

cải thiện trong chính quyền địa phương và cộng đồng, nhưng việc giám sát và đánh giá sự thay đổi của không gian xanh đô thị tại Thanh Hóa vẫn còn hạn chế. Các phương pháp giám sát truyền thống thường bị hạn chế bởi chi phí cao, thời gian và khó khăn trong việc bao phủ diện tích rộng. Do đó, công nghệ viễn thám và hình ảnh vệ tinh đã trở thành những công cụ hữu ích trong việc cung cấp thông tin chính xác, kịp thời và chi tiết về sự thay đổi của không gian xanh [9, 24]. Trong số các công nghệ này, Sentinel-2 là một phần chương trình Copernicus của Cơ quan Vũ trụ Châu Âu cung cấp dữ liệu đa thời gian với độ phân giải cao, phù hợp cho việc giám sát sự thay đổi trong các môi trường đô thị [28].

Công cụ đa quang phổ (MSI) của Sentinel-2 cung cấp thông tin quan trọng về phạm vi, cấu trúc và tình trạng của lớp phủ xanh đô thị. Bằng cách sử dụng dữ liệu vệ tinh đa thời gian, công nghệ cho phép giám sát biến động của không gian xanh theo thời gian, giúp phát hiện các xu hướng, sự thay đổi và tác động của các yếu tố khác nhau đối với môi trường đô thị [19]. Việc sử dụng công nghệ này không chỉ mang lại giải pháp hiệu quả về chi phí mà còn cho phép giám sát các khu vực đô thị rộng lớn như Thanh Hóa, đang trải qua những thay đổi nhanh chóng trong thay đổi không gian xanh đô thị [21].

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về sự thay đổi không gian xanh ở các thành phố lớn, nhưng việc ứng dụng công nghệ viễn thám để giám sát sự thay đổi của không gian xanh tại Thanh Hóa vẫn còn hạn chế. Vì vậy, việc sử dụng dữ liệu Sentinel-2 để đánh giá động thái của lớp phủ xanh đô thị tại Thanh Hóa là một nghiên cứu

quan trọng. Nghiên cứu này nhằm cung cấp những thông tin giá trị về tình trạng không gian xanh tại thành phố, cung cấp thông tin thiết yếu cho các nhà quy hoạch đô thị, nhà hoạch định chính sách và các bên liên quan trong việc phát triển các chiến lược bảo tồn và phát triển bền vững các khu vực xanh đô thị. Việc hiểu rõ sự thay đổi về số lượng và chất lượng của không gian xanh sẽ giúp các nhà ra quyết định nhận diện các xu hướng, tác động và nguy cơ tiềm ẩn, từ đó thực hiện các biện pháp hiệu quả để bảo vệ và nâng cao các không gian này trong bối cảnh đô thị hóa nhanh chóng và biến đổi khí hậu [22, 29].

Bài báo này tập trung vào việc sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-2 MSI để giám sát và đánh giá sự thay đổi của không gian xanh đô thị tại thành phố Thanh Hóa trong những thời điểm cụ thể. Mục tiêu của nghiên cứu là phân tích sự dao động về phạm vi và diện tích không gian xanh, nhận diện các xu hướng chính trong sự phát triển và suy thoái của các khu vực này. Cuối cùng, nghiên cứu này sẽ đóng góp vào công tác quy hoạch đô thị bền

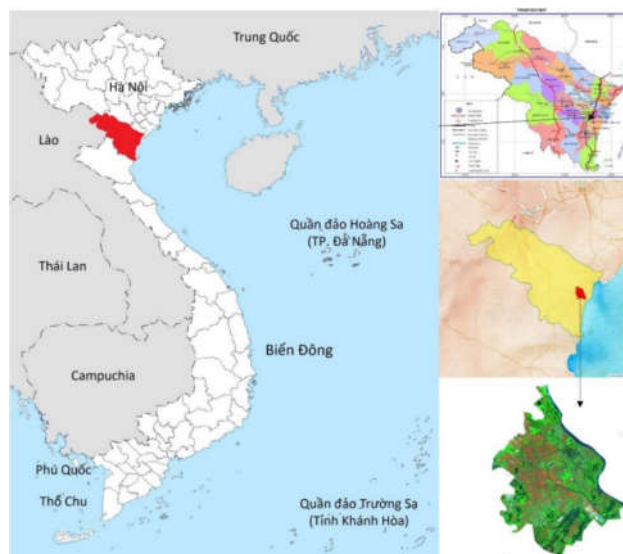
vững và cải thiện chất lượng môi trường và sức khỏe cộng đồng tại Thanh Hóa, hỗ trợ cư dân thành phố trong bối cảnh mở rộng đô thị và các thách thức về biến đổi khí hậu.

## **2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu**

### **2.1. Khu vực nghiên cứu và dữ liệu sử dụng**

#### **2.1.1. Khu vực nghiên cứu**

Thanh Hóa là một khu vực đô thị trẻ, nằm ở trung tâm tỉnh Thanh Hóa, tọa lạc hai bên Sông Mã, với vị trí địa lý thuận lợi cho phát triển kinh tế, giao thông và văn hóa. Tỉnh nằm ở phía Bắc của Miền Trung Việt Nam, cách Hà Nội 150 km về phía Nam. Với vị trí chiến lược, địa hình đặc trưng và khí hậu đặc biệt, thành phố Thanh Hóa đóng vai trò là trung tâm hành chính, kinh tế và văn hóa của tỉnh Thanh Hóa. Đồng thời, thành phố cũng là cửa ngõ quan trọng kết nối Miền Bắc và Miền Trung Việt Nam, đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển toàn diện của khu vực Bắc Trung Bộ Việt Nam [25].



**Hình 1: Vị trí địa lý của thành phố Thanh Hóa (tỉnh Thanh Hóa, Việt Nam)**

## Nghiên cứu

### 2.1.2. Dữ liệu sử dụng

Dữ liệu Sentinel-2 được phát triển dưới chương trình Copernicus của Cơ quan Vũ trụ Châu Âu (ESA), cung cấp hình ảnh vệ tinh chất lượng cao về bề mặt Trái đất, hỗ trợ nhiều ứng dụng trong nghiên cứu môi trường, nông nghiệp, giám sát thảm họa và quy hoạch đô thị [28]. Chùm vệ tinh Sentinel-2 bao gồm hai vệ tinh chính: Sentinel-2A và Sentinel-2B lần lượt được phóng vào các năm 2015 và 2017, được trang bị thiết bị quét đa phổ (MSI) thu thập dữ liệu từ 13 kênh phổ khác nhau, bao gồm xanh, đỏ, cận hồng ngoại và hồng ngoại

sóng ngắn. Điều này cho phép phân tích chi tiết các đặc điểm bề mặt như đất, thực vật, nước và khu vực đô thị với độ phân giải không gian dao động từ 10 - 60 m tùy theo kênh phổ [28]. Với khả năng phủ sóng diện tích rộng lớn 290 × 290 km mỗi lần quét và độ phân giải thời gian là 5 ngày, Sentinel-2 có thể giám sát sự thay đổi môi trường gần như thời gian thực. Dữ liệu Sentinel-2 đã chứng minh giá trị của nó trong nhiều lĩnh vực, từ giám sát sự phát triển của cây trồng và sức khỏe thực vật đến đánh giá tài nguyên nước và phân tích sử dụng đất và sự mở rộng đô thị [27].

**Bảng 1. Đặc điểm các kênh của Sentinel-2 [8]**

Kênh	Mô tả	Bước sóng trung tâm S2A (nm)	Bước sóng trung tâm S2B (nm)	Độ phân giải (m)
1	Coastal Aerosol	443,9	442,3	60
2	Blue	496,6	492,1	10
3	Green	560	559	10
4	Red	664,5	665	10
5	Vegetation Red Edge 1	703,9	703,8	20
6	Vegetation Red Edge 2	740,2	739,1	20
7	Vegetation Red Edge 3	782,5	779,7	20
8	NIR	835,1	833	10
9	Narrow NIR	864,8	864	20
10	Water Vapour	945	943,2	60
11	SWIR-Circus	1375,5	1376,9	60
12	SWIR	1613,7	1610,4	20
13	SWIR	2202,4	2185,7	20

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Quy trình phân tích không gian xanh đô thị sử dụng hình ảnh Sentinel-2 đa thời gian được trình bày trong Hình 2. Các bước chi tiết như sau:

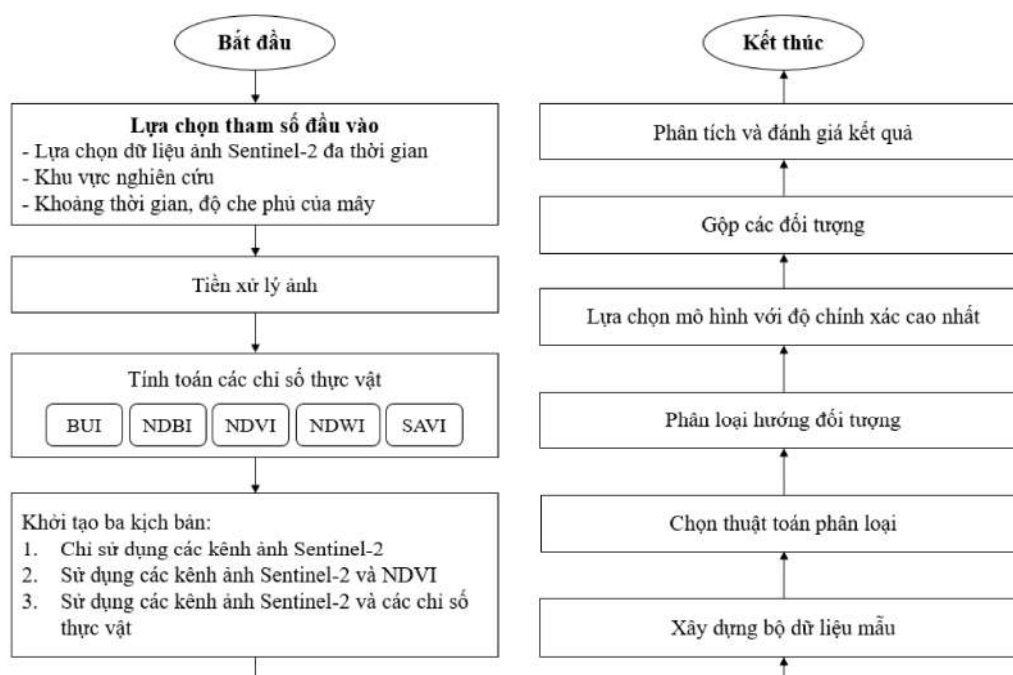
*Lựa chọn các tham số hình ảnh đầu vào:* Bước đầu tiên là lựa chọn dữ liệu hình ảnh Sentinel-2, quan trọng để giám sát khu vực nghiên cứu. Bước này yêu cầu

xác định ranh giới khu vực nghiên cứu, đảm bảo rằng các hình ảnh bao phủ phạm vi địa lý cần thiết. Thêm vào đó, thời gian phân tích cần được xác định, có thể bao gồm dữ liệu theo mùa hoặc hàng năm, tùy thuộc vào mục tiêu nghiên cứu. Một tham số quan trọng khác là độ che phủ của mây, nơi một ngưỡng giá trị được đặt ra để loại trừ các hình ảnh có sự can thiệp mây quá

mức, đảm bảo chất lượng dữ liệu ảnh cho phân tích tiếp theo.

*Tiền xử lý hình ảnh:* Sau khi lựa chọn các tham số đầu vào, các hình ảnh Sentinel-2 sẽ trải qua quá trình tiền xử lý để đảm bảo tính nhất quán và độ chính xác của dữ liệu. Điều này bao gồm lọc mây để loại bỏ mây và bóng mây, hiệu chỉnh khí quyển để chuẩn hóa giá trị phản xạ và tái

lấy mẫu các kênh phổ về cùng độ phân giải không gian. Quá trình tiền xử lý đảm bảo rằng các hình ảnh được làm sạch, có tọa độ chính xác, cung cấp một nền tảng vững chắc cho kết quả đáng tin cậy. Dữ liệu Sentinel-2 được sử dụng trong nghiên cứu có sẵn trên nền tảng GEE. Các dữ liệu này đã được tiền xử lý, đảm bảo cho phân tích không gian tiếp theo [8].



**Hình 2: Quy trình phân tích không gian xanh đô thị sử dụng hình ảnh Sentinel-2 đa thời gian**

*Tính toán các chỉ số phổ:* Một số chỉ số phổ được tính toán để trích xuất thông tin đối tượng có liên quan sử dụng hình ảnh Sentinel-2. Các chỉ số này bao gồm: NDVI, NDWI, NDBI, BUI, SAVI.

Dựa trên dữ liệu đầu vào và các chỉ số thực vật đã tính toán, ba mô hình khác nhau được khởi tạo để phân tích:

1. Chỉ sử dụng các kênh Sentinel-2.
2. Sử dụng các kênh Sentinel-2 và chỉ số NDVI, tập trung vào phân tích thực vật.
3. Kết hợp các kênh Sentinel-2 và tất cả các chỉ số thực vật đã tính toán.

Các mô hình này giúp so sánh độ chính xác và hiệu quả của các phương pháp phân loại và phân tích khác nhau.

*Tạo bộ dữ liệu mẫu:* Nghiên cứu đã phát triển một bộ dữ liệu mẫu bao gồm ba lớp phủ đất chính: Thực vật, phi thực vật và mặt nước. Các lớp này là thiết yếu để đảm bảo phân loại chính xác không gian xanh đô thị. Bộ dữ liệu mẫu đã được thiết kế bao gồm đủ số lượng mẫu cho mỗi lớp

## Nghiên cứu

để đạt được sự đại diện cân bằng, giảm thiểu sai số trong quá trình phân loại [4].

Đối với thực vật, các mẫu được chọn từ các khu vực có thực vật dày và khỏe mạnh cũng như thực vật thưa, cây bụi để nắm bắt đặc trưng. Các mẫu phi thực vật bao gồm các khu vực xây dựng, đất trống và các bề mặt không có thực vật, đảm bảo đại diện đa dạng cho các lớp phủ đất đô thị và nhân tạo. Đối với mặt nước, các mẫu được lấy từ sông, hồ và các đặc điểm nước khác để tính đến sự khác biệt quang phổ trong môi trường thủy sinh.

*Chọn thuật toán phân loại:* Trong quá trình phân loại, nghiên cứu đã thử nghiệm hai thuật toán học máy phổ biến là Random Forest (RF) và Support Vector Machine (SVM), để đảm bảo độ chính xác và hiệu quả trong việc phân loại các loại lớp phủ đất bao gồm thực vật, phi thực vật và mặt nước.

*Phân loại hướng đối tượng:* Để nâng cao độ chính xác, phương pháp phân loại hướng đối tượng được thực hiện. Thay vì phân tích từng điểm ảnh, phương pháp này nhóm các điểm ảnh thành các đối tượng (phân đoạn) dựa trên các đặc điểm quang phổ và không gian, đảm bảo rằng phân loại phản ánh chính xác hơn các mô hình thực tế. Bước này giúp giảm thiểu sai số và cải thiện tính nhất quán của kết quả phân loại. Nghiên cứu sử dụng thuật toán SNIC (Simple Non-Iterative Clustering) cho quá trình phân đoạn [1].

*Lựa chọn mô hình tốt nhất:* Kết quả phân loại từ ba mô hình kết hợp với hai thuật toán học máy đã được đánh giá dựa trên các chỉ số độ chính xác bao gồm độ chính xác tổng thể và hệ

số Kappa. Mô hình có độ chính xác cao nhất được chọn để tiếp tục phân tích và báo cáo cuối cùng.

*Gộp các đối tượng và đánh giá kết quả:* Kết quả phân loại từ thuật toán có độ chính xác cao nhất được nhóm thành hai loại: Không gian xanh và đối tượng khác. Trong quá trình này, lớp thực vật được phân loại lại thành không gian xanh, trong khi tất cả các lớp khác được nhóm vào đối tượng khác.

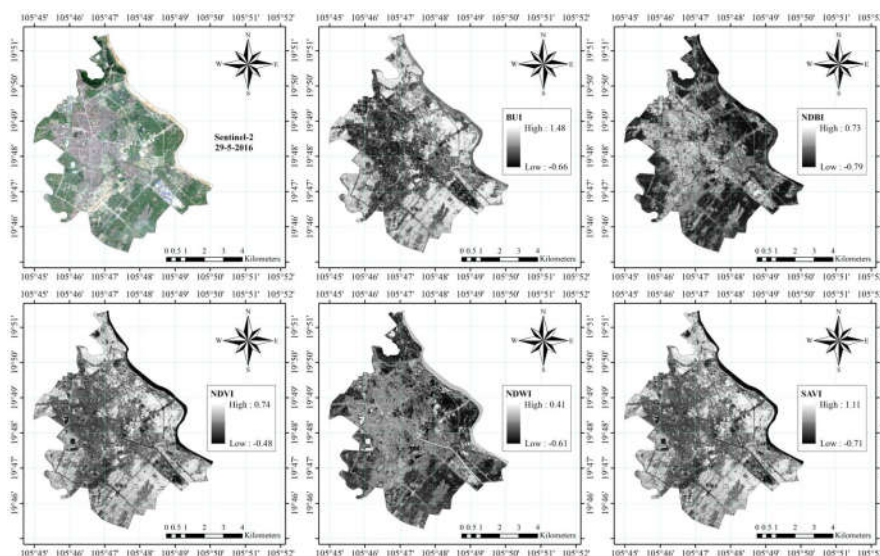
Cuối cùng, dữ liệu chi tiết về tổng diện tích và tỷ lệ diện tích cho không gian xanh sẽ được phân tích để đánh giá sự thay đổi của không gian xanh trong khu vực nghiên cứu. Phân tích này tập trung vào việc xác định xu hướng mở rộng hoặc thu hẹp không gian xanh theo thời gian. Bằng cách so sánh kết quả phân loại qua các thời kỳ khác nhau, nghiên cứu nhằm định lượng mức độ thay đổi này, cung cấp những hiểu biết về động thái phát triển không gian xanh đô thị.

### **3. Kết quả và thảo luận**

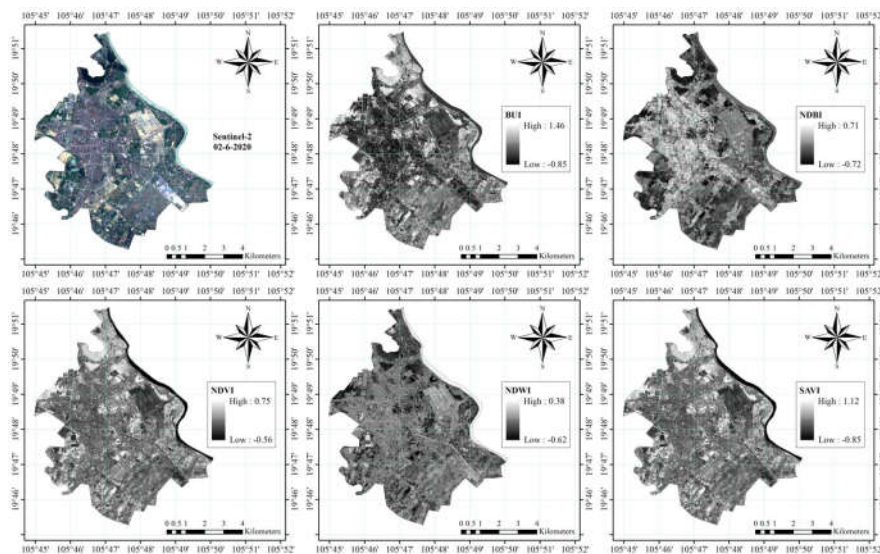
Nghiên cứu đã sử dụng hình ảnh vệ tinh Sentinel-2 được chụp vào ba ngày khác nhau: Ngày 29 tháng 5 năm 2016, ngày 02 tháng 6 năm 2020 và ngày 16 tháng 6 năm 2024. Các ngày này được chọn cẩn thận để đại diện cho các mốc thời gian khác nhau trong khoảng thời gian 8 năm, cung cấp cái nhìn toàn diện về sự thay đổi của lớp phủ đất và không gian xanh đô thị trong khu vực nghiên cứu. Các hình ảnh được chọn dựa trên chất lượng cao, độ phủ mây tối thiểu và tính liên quan đến mùa sinh trưởng của thực vật, đảm bảo độ chính xác của các chỉ số thực vật và phân loại đất.

Sau đó, các chỉ số thực vật đã được tính toán bao gồm BUI, NDBI, NDVI, NDWI và SAVI. Các chỉ số này được tính toán từ các kênh quang phổ của hình ảnh Sentinel-2, mỗi chỉ số phục vụ một mục đích cụ thể trong việc phân biệt các loại lớp phủ đất. BUI và NDBI được sử dụng để phát hiện các khu vực đô thị hóa và xây dựng, trong khi NDVI và SAVI làm nổi bật sức khỏe và mật độ thực vật. NDWI được

sử dụng để xác định các khu vực mặt nước và đánh giá hàm lượng nước trong thực vật. Bằng cách sử dụng các chỉ số này, nghiên cứu đã có được sự hiểu biết toàn diện về các đặc tính quang phổ của khu vực nghiên cứu, từ đó cho phép phân loại chính xác và giám sát sự thay đổi của không gian xanh đô thị theo thời gian. Hình 3, 4 và 5 lần lượt trình bày hình ảnh Sentinel-2 gốc và các chỉ số thực vật đã tính toán.

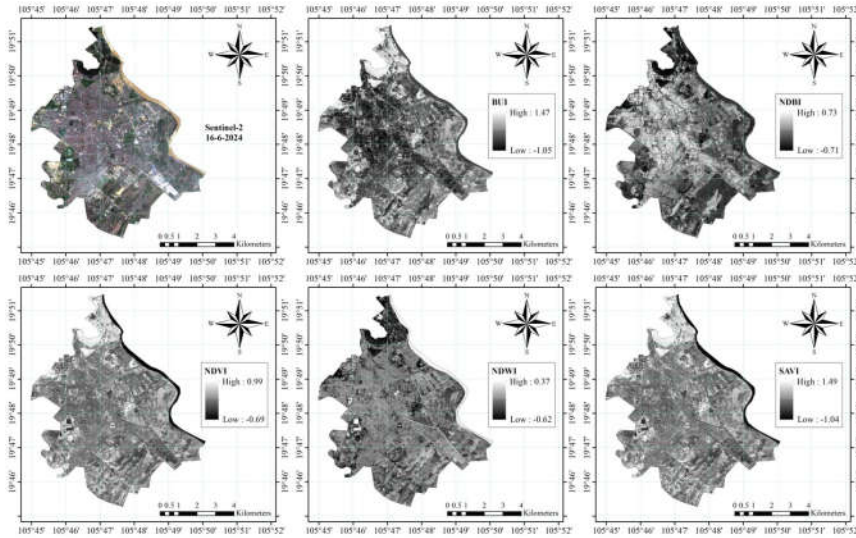


***Hình 3: Hình ảnh Sentinel-2 của khu vực nghiên cứu được thu thập vào ngày 29 tháng 5 năm 2016 và các chỉ số thực vật***



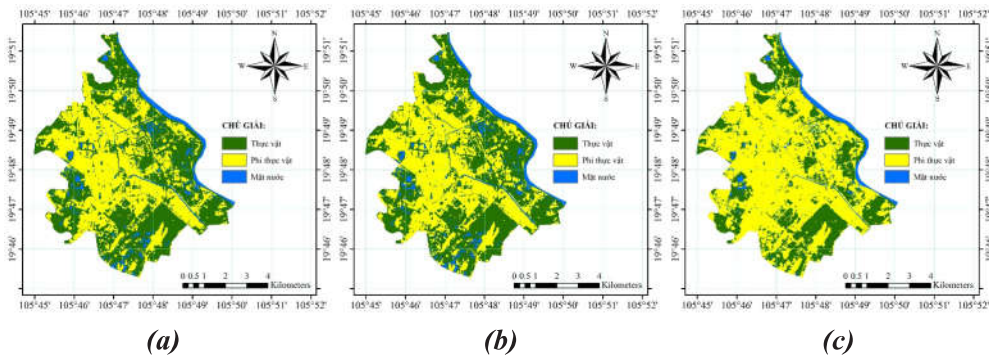
***Hình 4: Hình ảnh Sentinel-2 của khu vực nghiên cứu được thu thập vào ngày 02 tháng 6 năm 2020 và các chỉ số thực vật***

***Nghiên cứu***

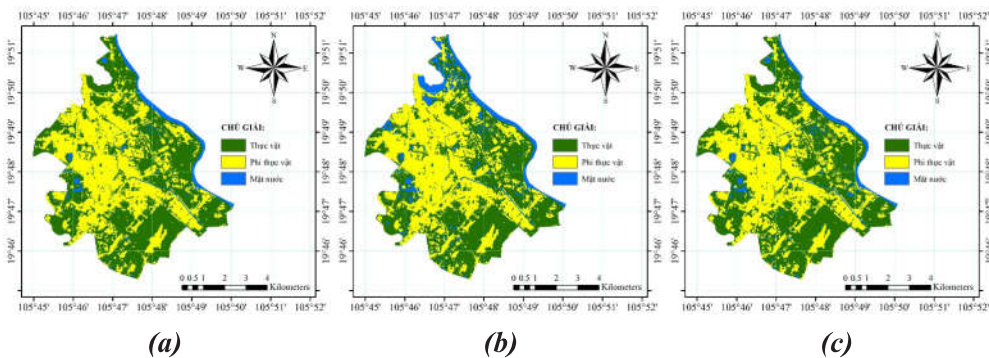


**Hình 5: Hình ảnh Sentinel-2 của khu vực nghiên cứu được thu thập vào ngày 16 tháng 6 năm 2024 và các chỉ số thực vật**

Ba kịch bản được mô tả ở trên được thiết kế để thử nghiệm các tổ hợp đầu vào khác nhau cho việc phân loại. Mỗi kịch bản được xử lý bằng các thuật toán RF và SVM để đánh giá hiệu suất của chúng trong việc phân biệt các lớp phủ đất (thực vật, phi thực vật và mặt nước).



**Hình 6: Kết quả phân loại hướng đối tượng theo các kịch bản sử dụng thuật toán RF: (a) Chỉ sử dụng các kênh Sentinel-2; (b) Các kênh Sentinel-2 và NDVI; (c) Kết hợp các kênh Sentinel-2 và các chỉ số thực vật**



**Hình 7: Kết quả phân loại hướng đối tượng theo các kịch bản sử dụng thuật toán SVM: (a) Chỉ sử dụng các kênh Sentinel-2; (b) Các kênh Sentinel-2 và NDVI; (c) Kết hợp các kênh Sentinel-2 và các chỉ số thực vật**

**Bảng 2. Độ chính xác tổng thể và chỉ số Kappa của các thuật toán học máy và kịch bản**

Kịch bản	SVM		RF	
	Độ chính xác tổng thể (%)	Chỉ số Kappa	Độ chính xác tổng thể (%)	Chỉ số Kappa
Chỉ sử dụng các kênh ảnh Sentinel-2	90,45	0,735	96,59	0,895
Các kênh ảnh Sentinel-2 và NDVI	90,91	0,748	97,72	0,926
Kết hợp các kênh ảnh Sentinel-2 và các chỉ số thực vật	92,27	0,778	98,18	0,941

Bảng 2 trình bày sự so sánh hiệu suất của hai thuật toán học máy bao gồm SVM và RF được đánh giá dựa trên ba kịch bản riêng biệt dựa trên dữ liệu đầu vào. Các kịch bản này bao gồm chỉ sử dụng các kênh Sentinel-2, kết hợp các kênh Sentinel-2 với NDVI và kết hợp các kênh Sentinel-2 với các chỉ số thực vật. Hai chỉ số được sử dụng để đánh giá là độ chính xác tổng thể và chỉ số Kappa, cả hai đều đánh giá hiệu suất phân loại và mức độ phù hợp của dự đoán với giá trị thực tế. Trong kịch bản đầu tiên, khi chỉ sử dụng các kênh Sentinel-2, thuật toán RF đạt độ chính xác tổng thể 96,59 % và chỉ số Kappa là 0,895, vượt trội đáng kể so với SVM, đạt độ chính xác 90,45 % và chỉ số Kappa là 0,735. Sự khác biệt đáng chú ý này chứng minh rằng RF có khả năng xử lý và phân loại dữ liệu chính xác hơn chỉ với các đầu vào kênh quang phổ. Chuyển sang kịch bản thứ hai, việc thêm NDVI dẫn đến sự cải thiện ở cả hai thuật toán. SVM đạt độ chính xác 90,91 % và chỉ số Kappa là 0,748 cho thấy một cải thiện nhỏ, trong khi RF tăng lên 97,72 % độ chính xác với chỉ số Kappa là 0,926 cho thấy sự cải thiện mạnh mẽ hơn trong khả năng phân biệt giữa các lớp. Xu hướng này làm nổi bật sự đóng góp quan trọng của NDVI vì nó đóng vai trò như một đặc trưng bổ sung nắm bắt sức khỏe và mật độ của thực vật, giúp cải thiện quy trình phân loại.

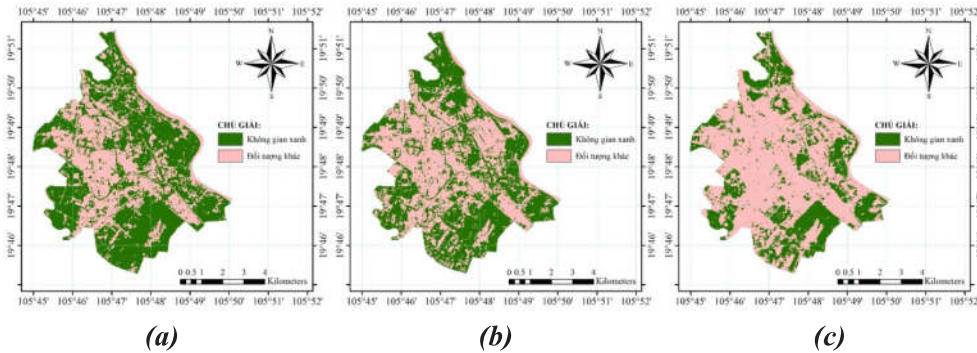
Trong kịch bản thứ ba, việc bổ sung các chỉ số thực vật cùng với các kênh Sentinel-2 mang lại hiệu suất tổng thể tốt nhất cho cả hai thuật toán. SVM đạt độ chính xác tổng thể 92,27 % và chỉ số Kappa là 0,778 đánh dấu hiệu suất cao nhất của nó trong ba kịch bản. Tuy nhiên, thuật toán RF tiếp tục cho thấy kết quả vượt trội, đạt độ chính xác tổng thể 98,18 % và chỉ số Kappa là 0,941 thể hiện sự phù hợp tốt nhất với các giá trị thực tế. Sự gia tăng đáng kể này cho thấy rằng việc tích hợp các chỉ số thực vật cung cấp thông tin phong phú và phù hợp hơn để phân biệt các lớp, đặc biệt đối với phân loại lớp phủ đất hoặc các nhiệm vụ liên quan đến thực vật. Tổng thể, bảng cho thấy thuật toán RF luôn vượt trội hơn SVM trong cả ba kịch bản, đạt độ chính xác và chỉ số Kappa cao hơn. Thêm vào đó, những cải thiện dần dần được thấy khi thêm NDVI và các chỉ số thực vật cho thấy rằng việc bổ sung các đặc trưng dẫn xuất có thể nâng cao đáng kể hiệu suất của các mô hình phân loại. Do đó, trong các nhiệm vụ liên quan đến dữ liệu Sentinel-2, việc kết hợp các kênh quang phổ với các chỉ số thực vật bổ sung và sử dụng thuật toán RF được khuyến nghị để đạt được kết quả chính xác và đáng tin cậy nhất. Do đó, trong các nhiệm vụ liên quan đến dữ liệu Sentinel-2, việc kết hợp các kênh quang phổ với các chỉ số thực vật bổ sung và sử dụng thuật toán

**Nghiên cứu**

RF được khuyến nghị để đạt được kết quả chính xác và đáng tin cậy nhất.

Dựa trên kết quả phân loại sử dụng các kênh Sentinel-2 kết hợp với các chỉ

số thực vật và thuật toán RF với độ chính xác và hiệu quả cao, các đối tượng dựa trên kết quả này được nhóm thành 2 lớp: Không gian xanh và đối tượng khác.



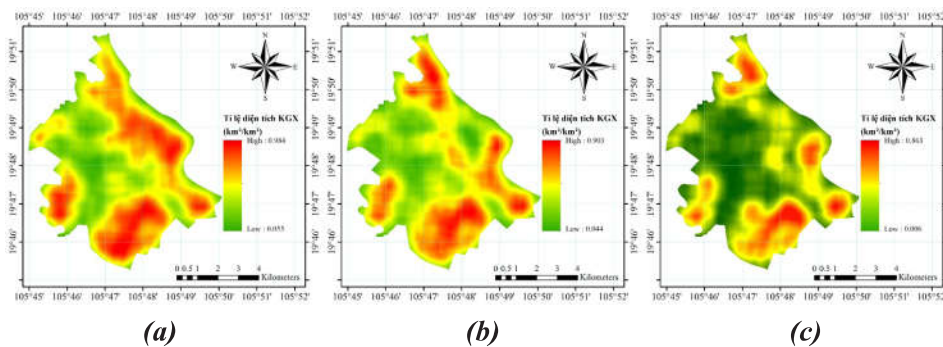
**Hình 8: Kết quả gộp lớp tại từng thời điểm nghiên cứu: (a) Ngày 29 tháng 5 năm 2016; (b) Ngày 02 tháng 6 năm 2020; (c) Ngày 16 tháng 6 năm 2024**

**Bảng 3. Diện tích và tỷ lệ diện tích của các đối tượng**

	Ngày 29 tháng 5 năm 2016		Ngày 02 tháng 6 năm 2020		Ngày 16 tháng 6 năm 2024	
	ha	%	ha	%	ha	%
Không gian xanh	3115,02	58,06	2658,92	49,56	1718,19	32,02
Đối tượng khác	2250,19	41,94	2706,29	50,44	3647,02	67,98

Bảng 3 cung cấp dữ liệu về diện tích (ha) và tỷ lệ phần trăm của hai loại sử dụng đất: Không gian xanh và đối tượng khác qua ba thời điểm: Ngày 29 tháng 5 năm 2016, ngày 02 tháng 6 năm 2020 và ngày 16 tháng

6 năm 2024. Dữ liệu nêu bật những thay đổi đáng kể trong việc phân bổ đất qua các năm, đặc biệt cho thấy sự suy giảm đáng kể của không gian xanh và sự gia tăng tương ứng của nhóm đối tượng khác.



**Hình 9: Tỷ lệ diện tích không gian xanh tại từng thời điểm nghiên cứu: (a) Ngày 29 tháng 5 năm 2016; (b) Ngày 02 tháng 6 năm 2020; (c) Ngày 16 tháng 6 năm 2024**

Vào năm 2016, không gian xanh lớn trong diện tích đất, gợi ý sự hiện diện mạnh mẽ của thảm thực vật, công viên hoặc các khu vực xanh tương tự tại thời điểm này. Ngược lại, nhóm đối tượng khác

chiếm một tỷ lệ nhỏ trong diện tích đất, gợi ý sự hiện diện yếu ớt của thảm thực vật, công viên hoặc các khu vực xanh tương tự tại thời điểm này. Ngược lại, nhóm đối tượng khác

chiếm 2250,19 ha, tương ứng 41,94 % tổng diện tích. Sự cân bằng giữa không gian xanh và các đối tượng khác vào năm 2016 cho thấy rằng không gian xanh đô thị đã được ưu tiên trong cảnh quan.

Đến ngày 02 tháng 6 năm 2020, diện tích không gian xanh đã giảm rõ rệt xuống còn 2658,92 ha, chiếm 49,56 % tổng diện tích. Sự thay đổi này cho thấy một bước ngoặt khi nhóm đối tượng khác lần đầu tiên vượt qua không gian xanh. Những thay đổi này có thể phản ánh các quá trình đô thị hóa như phát triển cơ sở hạ tầng, mở rộng khu dân cư hoặc thương mại và sự suy giảm các không gian xanh. Sự suy giảm gần 456 ha trong vòng 4 năm là đáng kể và cho thấy rằng không gian xanh đô thị ngày càng được chuyển đổi sang các mục đích sử dụng đất khác, có thể ảnh hưởng đến chất lượng môi trường, đa dạng sinh học, và tính bền vững đô thị.

Đến ngày 16 tháng 6 năm 2024, sự suy giảm của không gian xanh trở nên rõ rệt hơn, với diện tích giảm xuống còn 1718,19 ha, chỉ chiếm 32,02 % tổng diện tích. Ngược lại, nhóm các đối tượng khác tiếp tục mở rộng đáng kể lên 3647,02 ha, chiếm 67,98 % tổng diện tích. Sự thay đổi nhanh chóng này làm nổi bật một xu hướng quan trọng về việc giảm dần không gian xanh để nhường chỗ cho các hình thức sử dụng đất khác. Sự mất mát không gian xanh từ năm 2016 đến 2024 lên tới khoảng 1396,83 ha, minh họa cho sự suy giảm đáng lo ngại của không gian xanh trong vòng 8 năm. Sự chuyển đổi mạnh mẽ như vậy có thể là kết quả của sự lan rộng đô thị nhanh chóng, các dự án phát triển đất đai, và các biện pháp không đủ để bảo tồn các không gian xanh hiện có.

#### **4. Kết luận**

Nghiên cứu này sử dụng hình ảnh vệ tinh Sentinel-2 và các thuật toán học máy để theo dõi và phân tích các thay đổi, qua đó tiết lộ các xu hướng đáng lo ngại về sự mất mát không gian xanh tại thành phố Thanh Hóa. Năm 2016, không gian xanh bao phủ 3.115,02 ha, chiếm 58,06 % tổng diện tích. Đến năm 2020, không gian xanh đã giảm xuống còn 2.658,92 ha (49,56 %), phản ánh tác động ngày càng tăng của quá trình phát triển đô thị. Tình hình trở nên nguy cấp hơn vào năm 2024, khi không gian xanh chỉ còn lại 1.718,19 ha, giảm mạnh xuống còn 32,02 % tổng diện tích. Trong giai đoạn 8 năm, không gian xanh đã mất khoảng 1.396,83 ha, giảm hơn 26 % so với diện tích ban đầu. Sự suy giảm này nhấn mạnh áp lực ngày càng tăng của sự lan rộng đô thị, nơi không gian xanh bị thay thế bởi cơ sở hạ tầng và nhà ở. Bằng cách áp dụng các chỉ số thực vật cùng với các thuật toán học máy như Random Forests (RF) và Support Vector Machines (SVM), nghiên cứu đã phân loại và phân tích hiệu quả các thay đổi trong không gian xanh đô thị. Những phát hiện này nhấn mạnh nhu cầu cấp thiết về quy hoạch đô thị cân bằng nhằm giải quyết các hậu quả môi trường và xã hội do mất không gian xanh. Các nhà hoạch định chính sách cần ưu tiên các chiến lược để bảo vệ, khôi phục và mở rộng không gian xanh, chẳng hạn như tích hợp cơ sở hạ tầng xanh, thực thi các quy định nghiêm ngặt hơn về sử dụng đất và thúc đẩy tăng trưởng đô thị bền vững. Nghiên cứu này chứng minh vai trò quan trọng của hình ảnh vệ tinh tiên tiến và học máy trong việc hỗ trợ các quyết định dựa trên dữ liệu nhằm đảm bảo ổn định sinh thái, khả năng chống chịu đô

## Nghiên cứu

thị và nâng cao chất lượng cuộc sống cho các thể hệ trong lai.

### TÀI LIỆU VÀ THAM KHẢO

- [1]. Achanta R., Susstrunk S., (2017). *Superpixels and Polygons using Simple Non-Iterative Clustering*. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 10.1109/CVPR.2017.520.
- [2]. Athokpam, V., Chamroy, T., Ngairangbam, H., (2024). *The role of urban green spaces in mitigating climate change: An integrative review of ecological, social, and health benefits*. Environmental Reports; an International Journal, 10 - 14.
- [3]. Azhar, R., Javed, M. A., Nasar-u-Minallah, M., Machado, S., Jabbar, M., (2024). *Urban transformation in Lahore: Three decades of land cover changes, green space decline, and sustainable development challenges*. Geography, Environment, Sustainability, 17(2), 6 - 17.
- [4]. Cui, Y., Jia, M., Lin, T. Y., Song, Y., Belongie, S., (2019). *Class-balanced loss based on the effective number of samples*. In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition (p. 9268 - 9277).
- [5]. Downes, N. K., Storch, H., Viet, P. Q., Diem, N. K., Dinh, L. C., (2024). *Assessing Peri-Urbanisation and Urban Transitions between 2010 and 2020 in Ho Chi Minh city using an Urban Structure Type Approach*. Urban Science, 8(1), 11.
- [6]. Ettehadi Osgouei, P., Kaya, S., Sertel, E., Alganci, U., (2019). *Separating built-up areas from bare land in Mediterranean cities using Sentinel-2A imagery*. Remote Sensing, 11(3), 345.
- [7]. Gao, B. C., (1996). *NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space*. Remote sensing of Environment, 58, 257 - 266.
- [8]. Google Earth Engine (2024). *Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A*. [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS\\_S2\\_SR\\_HARMONIZED](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR_HARMONIZED), Truy cập ngày 11 tháng 12 năm 2024.
- [9]. Han, H., Liu, Z., Li, J., Zeng, Z., (2024). *Challenges in remote sensing based climate and crop monitoring: Navigating the complexities using AI*. Journal of Cloud Computing, 13(1), 34.
- [10]. He, C.; Shi, P.; Xie, D.; Zhao, Y., (2010). *Improving the normalized difference built-up index to map urban built-up areas using a semiautomatic segmentation approach*. Remote Sens. Lett. 1, 213 - 221.
- [11]. Huete, A. R., (1988). *A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)*. Remote sensing of Environment, 25, 295 - 309.
- [12]. Huong, P. L., Tuan, N. T., (2024). *Ecosystem service value in the context of urbanization: Comparison among economic-social regions of Vietnam*. Heliyon, 10(21).
- [13]. Ismayilova, I., Timpf, S., (2022). *Classifying urban green spaces using a combined Sentinel-2 and random forest approach*. AGILE: GIScience Series, 3, 38.
- [14]. Kim, H. M., (2024). *Foreign direct investment and urban growth in Vietnam: spatial, economic, and demographic perspectives*. Asian Geographer, 41(2), 167 - 184.
- [15]. Manika, N., Dhyani, S., (2024). *Rampant urbanization, loss of green spaces, depleting foraging wisdom for nutrition, health, and protecting urban green scapes: Lessons from Populous Uttar Pradesh, India*. In Urban Foraging in the Changing World (p. 79 - 102). Singapore: Springer Nature Singapore.
- [16]. Mabon, L., Shih, W. Y., (2021). *Urban greenspace as a climate change adaptation strategy for subtropical Asian cities: A comparative study across cities in three countries*. Global Environmental Change, 68, 102248.
- [17]. Mamajonova, N., Oydin, M., Usmonali, T., Olimjon, A., Madina, A., Marg'uba, M., (2024). *The role of green*

- spaces in urban planning enhancing sustainability and quality of life*. Holders of Reason, 2(1), 346 - 358.
- [18]. Myneni, R. B., Hall, F. G., Sellers, P. J., and Marshak, A. L., (1995). *The interpretation of spectral vegetation indexes*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 33, 481 - 486.
- [19]. Nguyen, V. N., Trinh, L. H., Nguyen, T. T. N., Le, T. L., (2021). *Assessment of change in urban green spaces using Sentinel-2 MSI data and GIS techniques: A case study in Thanh Hoa city, Vietnam*. Inżynieria Mineralna.
- [20]. Olivadese, M., Dindo, M. L., (2024). *Water, Ecosystem Services, and Urban Green Spaces in the Anthropocene*. Land, 13(11), 1948.
- [21]. Phuong, T. T., Le Hung, T., Bien, T. X., (2024). *Assessment of land cover changes using sentinel-2 satellite image data: A case study of Thanh Hoa coastal area, Viet Nam*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1345, No. 1, p. 012026). IOP Publishing.
- [22]. Sadler, J., Bates, A., Hale, J., James, P., (2010). *Bringing cities alive: the importance of urban green spaces for people and biodiversity*. Urban ecology, 230 - 260.
- [23]. Semeraro, T., Scarano, A., Buccolieri, R., Santino, A., Aarrevaara, E., (2021). *Planning of urban green spaces: An ecological perspective on human benefits*. Land, 10(2), 105.
- [24]. Shaikh, M., Birajdar, F., (2024). *Advancements in remote sensing and GIS for sustainable groundwater monitoring: Applications, challenges, and future directions*. International Journal of Research in Engineering, Science and Management, 7(3), 16 - 24.
- [25]. Ủy ban nhân dân thành phố Thanh Hóa (2024). *Tổng quan thành phố*. <https://tpthanhhoa.thanhhoa.gov.vn/web/gioi-thieu-chung/gioi-thieu/tong-quan-ve-thanh-pho>, Truy cập ngày 12 tháng 12 năm 2024.
- [26]. The European Space Agency (ESA) (2024). *Overview of Sentinel-2 Mission*. <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission>, Truy cập ngày 11 tháng 12 năm 2024.
- [27]. The European Space Agency (ESA) (2013). *Sentinel-2 User Handbook*. Truy cập ngày 13 tháng 12 năm 2024.
- [28]. The European Space Agency (ESA) (2024). *Sentinel Online*. <https://sentinel.esa.int/>, Truy cập ngày 13 tháng 12 năm 2024.
- [29]. Wang, J., Zhou, W., Wang, J., Qian, Y., (2019). *From quantity to quality: Enhanced understanding of the changes in urban greenspace*. Landscape Ecology, 34, 1145 - 1160.
- [30]. Zha, Y., Gao, J., Ni, S., (2003). *Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery*. International Journal of Remote Sensing, 24, p. 583 - 594.
- [31]. Zhanwen, Q., Islam, M. Z., (2024). *Urban equilibrium: Legal imperatives for sustainable development and habitat preservation in Shenzhen, China*. Urban Ecosystems, 27(6), 2223 - 2243.
- [32]. Zhang, F., Qian, H., (2024). *A comprehensive review of the environmental benefits of urban green spaces*. Environmental Research, 118837.