

Giám sát sự thay đổi không gian xanh đô thị sử dụng dữ liệu Sentinel-2 MSI đa thời gian tại tỉnh Thanh Hóa, Việt Nam

Monitoring Urban Green Space Changes Using Multi-Temporal Sentinel-2 MSI Data in Thanh Hoa Province, Vietnam

> TS.KTS LÊ KIM THƯ¹; KS LÊ KIM BẢO²; NCS LÊ VĂN PHÚ¹

¹Học viện kỹ thuật quân sự

²Sư đoàn 361- QCPKKQ

TÓM TẮT:

Không gian xanh đô thị đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện môi trường đô thị, nâng cao chất lượng cuộc sống và đóng góp vào sự phát triển bền vững của đô thị. Tuy nhiên, quá trình đô thị hóa nhanh chóng đã dẫn đến những thay đổi đáng kể về diện tích đất, đặc biệt là sự suy giảm của đất không gian xanh đô thị. Nghiên cứu này sử dụng hình ảnh vệ tinh Sentinel-2 và các thuật toán học máy nhằm giám sát và phân tích sự thay đổi của không gian xanh đô thị tại thành phố Thanh Hóa, tỉnh Thanh Hóa, Việt Nam. Dữ liệu Sentinel-2 với độ phân giải không gian cao và khả năng đa thời gian đã được xử lý để tính toán các chỉ số thực vật bao gồm NDVI, NDWI, NDBI, BUI và SAVI. Tiếp theo, các tác giả đã sử dụng hai thuật toán học máy là Random Forest (RF) và Support Vector Machine (SVM) để phân loại các đối tượng vào ba nhóm: thực vật, phi thực vật và mặt nước. Trong đó, kết quả phân loại chính xác nhất đã được sử dụng để phân loại lại khu vực thành hai nhóm: không gian xanh đô thị (thực vật) và đối tượng khác (phi thực vật và mặt nước). Phân đoạn đã được thực hiện bằng thuật toán Simple Non-Iterative Clustering (SNIC) để hiệu chỉnh các ranh giới đối tượng. Phân tích cho thấy những thay đổi đáng kể trong không gian xanh đô thị theo thời gian, làm nổi bật tác động của sự mở rộng đô thị đối với phân bố không gian xanh. Đồng thời, những phát hiện này cung cấp những thông tin về sự phát triển và suy thoái của không gian xanh trong các khu đô thị. Kết quả nghiên cứu có thể giúp các nhà hoạch định chính sách và các nhà quy hoạch đô thị xây dựng các chiến lược phát triển đô thị bền vững, đảm bảo sự cân bằng giữa đô thị hóa và bảo tồn môi trường tại thành phố Thanh Hóa và các khu vực đô thị tương tự.

Từ khóa: không gian xanh đô thị, viễn thám, tỉnh Thanh Hóa, Việt Nam.

ABSTRACT

Urban green spaces play a vital role in enhancing the urban environment, improving quality of life, and contributing to the sustainable development of cities. However, rapid urbanization has resulted in substantial changes in land use, particularly the reduction of urban green spaces. This study leverages Sentinel-2 satellite imagery and machine learning algorithms to monitor and analyze changes in urban green spaces in Thanh Hoa City, Thanh Hoa Province, Vietnam. High-resolution, multi-temporal Sentinel-2 data were processed to calculate vegetation indices, including NDVI, NDWI, NDBI, BUI, and SAVI. Two machine learning algorithms, Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM), were applied to classify land cover into three categories: vegetation, non-vegetation, and water. The most accurate classification result was further refined to reclassify the area into two groups: urban green space (vegetation) and other objects (non-vegetation and water). Object boundaries were calibrated using the Simple Non-Iterative Clustering (SNIC) algorithm for segmentation. The analysis revealed notable changes in urban green space over time, emphasizing the effects of urban expansion on green space distribution. These findings provide valuable insights into the development and degradation of urban green spaces, offering critical information for sustainable urban planning. The results can aid policymakers and urban planners in devising strategies that balance urbanization with environmental conservation in Thanh Hoa City and other similar urban areas.

Keywords: Urban green space, Remote sensing, Thanh Hoa Province, Vietnam.

1. GIỚI THIỆU

Việc bảo vệ và phát triển không gian xanh đô thị đang trở thành thách thức quan trọng trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và biến đổi khí hậu nghiêm trọng (Olivadese và Dindo, 2024). Không gian xanh không chỉ giúp cải thiện chất lượng không khí, giảm hiệu ứng đảo nhiệt, tăng đa dạng sinh học mà còn đóng góp lớn vào sức khỏe cộng đồng thông qua các hoạt động giải trí (Zhang và Qiuan, 2024). Tuy nhiên, sự mở rộng đô thị và công nghiệp hóa đã thu hẹp không gian xanh, đe dọa môi trường và hệ sinh thái đô thị (Zhanwen và Islam, 2024).

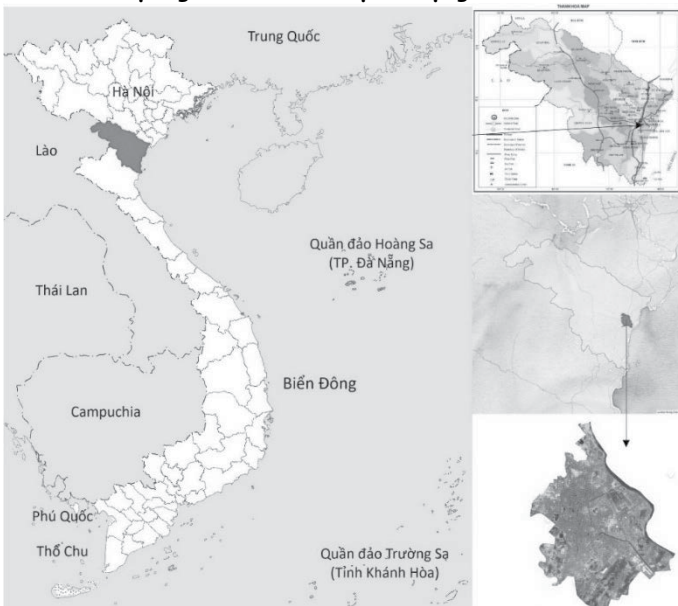
Tại Việt Nam, các thành phố lớn như Hà Nội, TP. Hồ Chí Minh, Đà Nẵng và Thanh Hóa đang chịu áp lực lớn trong việc duy trì không gian xanh trước sự phát triển nhanh chóng (Huong và Tuan, 2024). Riêng Thanh Hóa, quá trình đô thị hóa và công nghiệp hóa đã làm gia tăng áp lực lên không gian xanh, ảnh hưởng đến môi trường sống và sức khỏe cộng đồng (Manika và Dhyani, 2024).

Đu nhận thức về bảo vệ môi trường tại Thanh Hóa ngày càng cải thiện, việc giám sát không gian xanh đô thị vẫn còn hạn chế do chi phí và khó khăn trong bao phủ diện tích rộng. Công nghệ viễn thám và hình ảnh vệ tinh, đặc biệt là Sentinel-2, đã trở thành giải pháp hiệu quả nhờ cung cấp dữ liệu đa thời gian, độ phân giải cao, hỗ trợ giám sát sự thay đổi không gian xanh đô thị một cách chi tiết và kịp thời (Shaikh và Birajdar, 2024). Công cụ đa quang phổ (MSI) của Sentinel-2 cung cấp thông tin về phạm vi và tình trạng lớp phủ xanh, cho phép phát hiện các xu hướng và biến động không gian xanh theo thời gian. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ này tại Thanh Hóa nhằm phân tích sự thay đổi diện tích và chất lượng không gian xanh, đồng thời cung cấp dữ liệu quan trọng cho quy hoạch đô thị bền vững (Nguyễn và nnk, 2021; Phương và nnk, 2024).

Bài báo tập trung vào việc sử dụng dữ liệu Sentinel-2 MSI để đánh giá sự thay đổi không gian xanh tại Thanh Hóa, nhận diện xu hướng phát triển và suy thoái, từ đó đề xuất các giải pháp bảo tồn và phát triển bền vững. Nghiên cứu này hỗ trợ quy hoạch đô thị, nâng cao chất lượng môi trường và sức khỏe cộng đồng trong bối cảnh đô thị hóa và biến đổi khí hậu.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Khu vực nghiên cứu và dữ liệu sử dụng



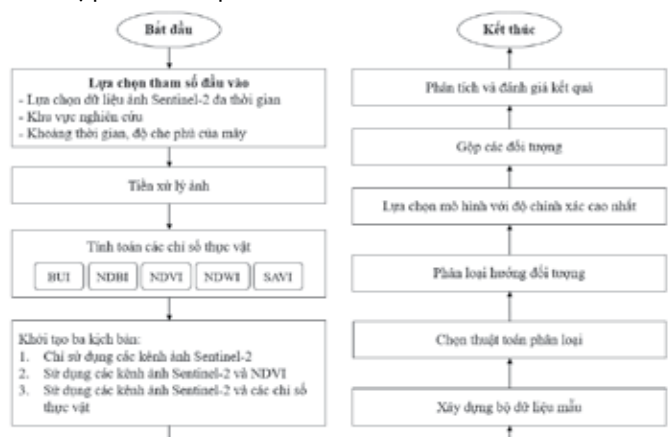
Hình 1: Vị trí địa lý của thành phố Thanh Hóa (tỉnh Thanh Hóa, Việt Nam)

Thành phố Thanh Hóa là đô thị trẻ ở Bắc Trung Bộ Việt Nam, nằm hai bên sông Mã với diện tích 147 km², có vị trí chiến lược kết nối miền Bắc và miền Trung qua các quốc lộ và cảng Lũ Môn. Địa hình có sự kết hợp giữa đồng bằng ven biển và núi nhỏ. Thành phố có khí hậu nhiệt đới gió mùa, ảnh hưởng rõ rệt đến nông nghiệp và đời sống. Hệ sinh thái đa dạng với các cây lương thực và cây ăn quả phát triển ở đồng bằng ven sông Mã, cùng rừng nguyên sinh chứa nhiều loài cây quý. Tuy nhiên, đô thị hóa và biến đổi khí hậu đã làm suy giảm rừng tự nhiên, ảnh hưởng đến năng suất và loại cây trồng.

Dữ liệu Sentinel-2, thuộc chương trình Copernicus của Cơ quan Vũ trụ Châu Âu, cung cấp hình ảnh vệ tinh chất lượng cao hỗ trợ nghiên cứu môi trường, nông nghiệp, thảm họa và quy hoạch đô thị. Hệ thống gồm hai vệ tinh Sentinel-2A (2015) và Sentinel-2B (2017), trang bị Công cụ đa quang phổ (MSI) thu thập dữ liệu từ 13 kênh phổ với độ phân giải không gian 10-60 m và phạm vi phủ sóng 290 km x 290 km. Với chu kỳ 5 ngày, Sentinel-2 cho phép giám sát môi trường gần như thời gian thực, hữu ích trong phân tích đất, thực vật, nước và khu vực đô thị, cũng như đánh giá tài nguyên nước và mở rộng đô thị.

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. Trước hết, các tác giả lựa chọn hình ảnh phù hợp với khu vực nghiên cứu, đảm bảo bao phủ đầy đủ phạm vi địa lý và thiết lập thời gian phân tích theo mùa hoặc hàng năm, tùy thuộc vào mục tiêu nghiên cứu. Ngưỡng độ che phủ mây được đặt ra để loại bỏ các hình ảnh có sự can thiệp quá mức, đảm bảo chất lượng dữ liệu. Sau khi lựa chọn, hình ảnh Sentinel-2 sẽ trải qua quá trình tiền xử lý, bao gồm lọc 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 này đảm bảo dữ liệu nhất quán, chính xác và sạch, tạo nền tảng cho phân tích không gian đáng tin cậy. Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu có sẵn trên nền tảng Google Earth Engine (GEE), nơi đã thực hiện tiền xử lý cần thiết để hỗ trợ phân tích tiếp theo.



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

Một số chỉ số thực vật được tính toán để trích xuất thông tin đối tượng có liên quan sử dụng hình ảnh Sentinel-2. Các chỉ số thực vật như NDVI, NDWI, NDBI, BUI và SAVI thường được tính toán để đánh giá sức khỏe thực vật, quản lý tài nguyên nước, phân loại không gian xanh và theo dõi mở rộng đô thị. Chúng cung cấp thông tin đáng tin cậy, hỗ trợ quy hoạch bền vững và giám sát môi trường hiệu quả. Công thức của các chỉ số như sau:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (2)$$

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \quad (3)$$

$$BUI = NDBI - NDVI \quad (4)$$

$$SAVI = \frac{(NIR - Red) * (1 + L)}{NIR + Red + L} \quad (5)$$

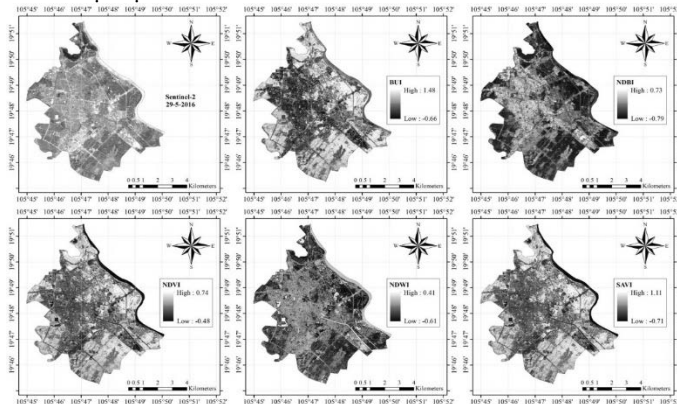
trong đó L là yếu tố điều chỉnh, thường được đặt là 0.5 ở các khu vực có lớp phủ thực vật vừa phải (Ismayilova và Timpf, 2022).

Dựa trên dữ liệu Sentinel-2 và các chỉ số thực vật, ba mô hình phân tích được xây dựng: Chỉ sử dụng các kênh Sentinel-2; Sử dụng Sentinel-2 và NDVI, tập trung vào thực vật; Kết hợp Sentinel-2 với tất cả các chỉ số thực vật. Bộ dữ liệu mẫu được tạo từ khu vực nghiên cứu, gồm ba lớp phủ chính: thực vật, phi thực vật và mặt nước. Mẫu thực vật bao gồm cả thực vật dày đặc và cây bụi; phi thực vật đại diện cho các khu vực xây dựng và đất trống; mặt nước bao gồm sông, hồ và các đặc điểm thủy sinh, hỗ trợ huấn luyện và xác thực mô hình phân loại hiệu quả.

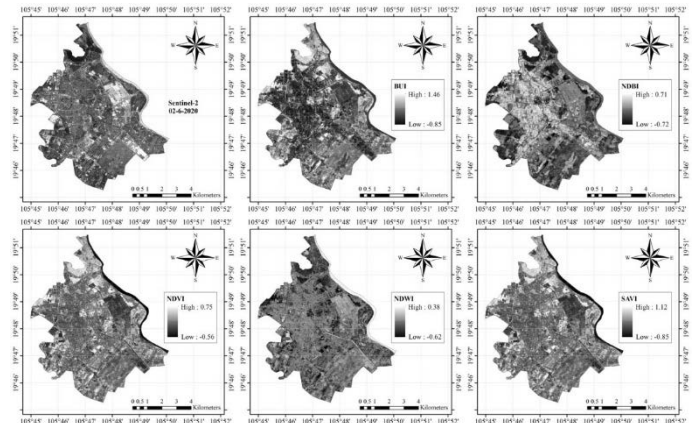
Nghiên cứu sử dụng hai thuật toán học máy, Random Forest (RF) và Support Vector Machine (SVM), kết hợp phương pháp phân loại hướng đối tượng để đảm bảo độ chính xác cao trong phân loại lớp phủ đất. Phương pháp này sử dụng thuật toán SNIC để nhóm các điểm ảnh thành các đối tượng, giảm sai số và phản ánh chính xác hơn mô hình thực tế. Kết quả phân loại từ ba mô hình được đánh giá qua độ chính xác tổng thể và hệ số Kappa, với mô hình tốt nhất được chọn để phân tích. Lớp thực vật được phân loại thành không gian xanh, các lớp khác thuộc đối tượng khác. Dữ liệu tổng diện tích và tỷ lệ không gian xanh qua các thời kỳ được phân tích, cung cấp thông tin về xu hướng thay đổi và động thái phát triển không gian xanh đô thị.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

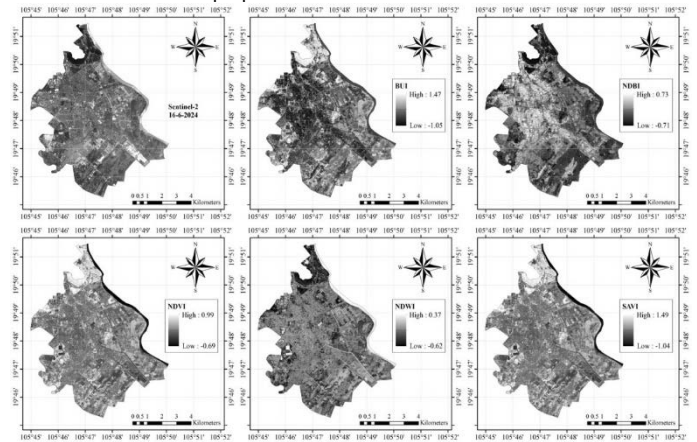
Nghiên cứu đã sử dụng hình ảnh vệ tinh Sentinel-2 được chụp vào ba ngày khác nhau: ngày 29 tháng 5 năm 2016, ngày 02 tháng 6 năm 2020 và ngày 16 tháng 6 năm 2024. Các hình ảnh được chọn dựa trên chất lượng cao, độ phủ mây tối thiểu và tính liên quan đến mùa sinh trưởng của thực vật, đảm bảo độ chính 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. Hình 3, Hình 4 và Hình 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

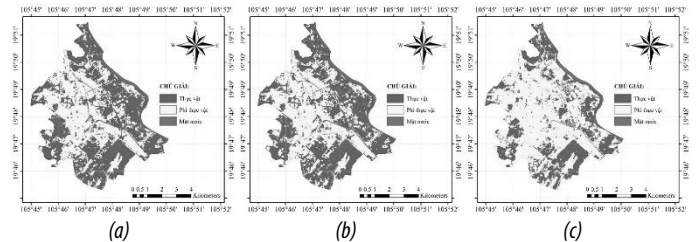


Hình 4: Hình ảnh Sentinel-2 của khu vực nghiên cứu được thu thập vào ngày 02 tháng 6 năm 2020 và các chỉ số thực vật

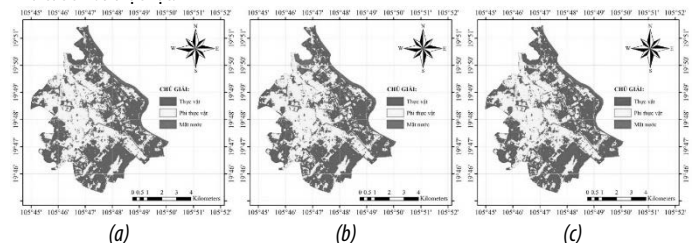


Hình 5: Hình ảnh Sentinel-2 của khu vực nghiên cứu được thu thập vào ngày 16 tháng 6 năm 2024 và các chỉ số thực vật

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 so sánh hiệu suất của hai thuật toán SVM và RF qua ba kịch bản dữ liệu. Khi chỉ sử dụng các kênh Sentinel-2, RF đạt độ chính xác 96.59% và chỉ số Kappa 0.895, vượt trội so với SVM (90.45% và 0.735). Khi thêm NDVI, cả hai thuật toán đều cải thiện, với RF đạt 97.72% độ chính xác và Kappa 0.926, trong khi SVM tăng nhẹ lên 90.91% và 0.748. Ở kịch bản thứ ba, kết hợp các chỉ số thực vật, RF tiếp tục dẫn đầu với 98.18% và 0.941, trong khi SVM đạt cao nhất là 92.27% và 0.778. Kết quả cho thấy RF vượt trội trong cả ba kịch bản,

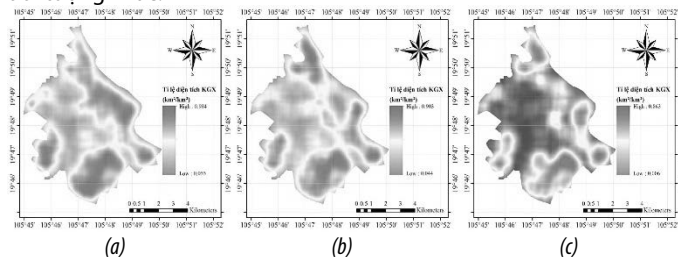
với hiệu suất tăng dần khi bổ sung NDVI và các chỉ số thực vật, khẳng định việc tích hợp dữ liệu phong phú và sử dụng RF là phương pháp tối ưu cho phân loại chính xác.

Dựa trên kết quả phân loại sử dụng các kênh Sentinel-2 kết hợp với các chỉ số thực vật và thuật toán Random Forest 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.

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 bố 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

Năm 2016, không gian xanh tại khu vực nghiên cứu chiếm 3115,02 ha (58,06% diện tích), thể hiện sự ưu tiên lớn cho thảm thực vật và cảnh quan xanh đô thị. Tuy nhiên, đến ngày 2/6/2020, diện tích này giảm còn 2658,92 ha (49,56%), lần đầu bị nhóm đối tượng khác vượt qua. Sự suy giảm gần 456 ha trong 4 năm phản ánh quá trình đô thị hóa và phát triển cơ sở hạ tầng. Đến ngày 16/6/2024, không gian xanh tiếp tục giảm mạnh xuống 1718,19 ha (32,02%), trong khi nhóm đối tượng khác mở rộng lên 3647,02 ha (67,98%). Sự mất mát 1396,83 ha không gian xanh trong 8 năm là đáng lo ngại, cho thấy sự chuyển đổi đất đai nhanh chóng do đô thị hóa, thiếu biện pháp bảo tồn, ảnh hưởng đến môi trường, đa dạng sinh học và tính bền vững đô thị.

4 KẾT LUẬN

Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu Sentinel-2 và thuật toán học máy để theo dõi sự suy giảm không gian xanh tại Thành phố Thanh Hóa từ năm 2016 đến 2024, với diện tích giảm từ 58,06% xuống còn 32,02%, tương đương mất 1.396,83 ha. Kết quả cho thấy áp lực ngày càng lớn từ đô thị hóa, khi không gian xanh bị thay thế bởi cơ sở hạ tầng và khu dân cư, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường và chất lượng sống. Nghiên cứu nhấn mạnh tầm quan trọng của việc

áp dụng các giải pháp quy hoạch đô thị bền vững, bao gồm bảo vệ, khôi phục và mở rộng không gian xanh thông qua tích hợp cơ sở hạ tầng xanh, thực thi chính sách sử dụng đất nghiêm ngặt và thúc đẩy phát triển cân bằng. Bên cạnh đó, việc sử dụng hình ảnh vệ tinh và các thuật toán học máy như RF và SVM đã chứng minh hiệu quả trong việc phân tích và hỗ trợ ra quyết định dựa trên dữ liệu. Những phát hiện này kêu gọi hành động khẩn cấp từ các nhà hoạch định chính sách nhằm đảm bảo ổn định sinh thái, khả năng chống chịu đô thị, và nâng cao chất lượng sống cho các thế hệ tương lai.

TÀI LIỆU VÀ THAM KHẢO

- 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.
- 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).
- Ismayilova, I., Timpf, S. (2022). Classifying urban green spaces using a combined Sentinel-2 and random forest approach. *AGILE: GIScience Series*, 3, 38.
- Manika, N., & Dhyani, S. (2024). Rampant Urbanization, Loss of Green Spaces, Depleting Foraging Wisdom for Nutrition, Health, and Protecting Urban Greenscapes: Lessons from Populous Uttar Pradesh, India. In *Urban Foraging in the Changing World* (pp. 79-102). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Olivadese, M., & Dindo, M. L. (2024). Water, Ecosystem Services, and Urban Green Spaces in the Anthropocene. *Land*, 13(11), 1948.
- Phuong, T. T., Le Hung, T., & Bien, T. X. (2024, May). 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Zhang, F., & Qian, H. (2024). A comprehensive review of the environmental benefits of urban green spaces. *Environmental Research*, 118837.