



Original Article

Assessment of Vegetation Cover Dynamics and Its Relationship with Urbanization in Hanoi from 2000 to 2023 Using Multi-temporal Remote Sensing Data

Hoa Thuy Quynh¹, Nguyen Thanh Hoan¹, Nguyen Anh Tuan²,
Ho Le Thu¹, Nguyen Van Dung¹, Vo Trong Hoang^{1,*}

¹*Institute of Earth Sciences, Vietnam Academy of Science and Technology,
84 Chua Lang, Dong Da, Hanoi, Vietnam*

²*VNU International School, 144 Xuan Thuy, Cau Giay, Hanoi, Vietnam*

Received 10th June 2025

Revised 8th September 2025; Accepted 25th September 2025

Abstract: This study investigates changes in vegetation cover and their relationship with urbanization in Hanoi from 2000 to 2023. Landsat optical imagery was used to derive Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Difference Built-up Index (NDBI) indices, while statistical analyses (trend, correlation, and regression) assessed spatiotemporal dynamics. Results reveal significant vegetation loss in peri-urban districts such as Nam Tu Liem (−690 ha), Hoai Duc (−650 ha), Ung Hoa (−629 ha), and Ha Dong (−588 ha), whereas increases were observed in Ba Vi (+807 ha), Gia Lam (+664 ha), and Son Tay (+230 ha). Inner-city districts (e.g., Hai Ba Trung, Hoan Kiem, Ba Dinh) experienced slight greening. NDVI–NDBI correlations show that over 56% of the city’s area exhibits a strong negative relationship ($r < -0.5$), underscoring the close link between urban expansion and vegetation decline. These findings highlight areas most affected by urbanization and provide a scientific basis for urban planning, sustainable development, and environmental protection in Hanoi.

Keywords: Vegetation change; NDVI; urbanization; NDBI; Hanoi.

* Corresponding author.

E-mail address: hoangvt@ies.vast.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuces.5319>

Đánh giá biến động độ che phủ thực vật và mối quan hệ với đô thị hóa tại thành phố Hà Nội giai đoạn 2000-2023 bằng tư liệu viễn thám đa thời gian

Hoa Thúy Quỳnh¹, Nguyễn Thanh Hoàn¹, Nguyễn Anh Tuấn²,
Hồ Lệ Thu¹, Nguyễn Văn Dũng¹, Võ Trọng Hoàng^{1,*}

¹*Viện Các Khoa học Trái đất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,
84 Chùa Láng, Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam*

²*Trường Quốc tế, Đại học Quốc gia Hà Nội, 144 Xuân Thủy, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 10 tháng 6 năm 2025

Chỉnh sửa ngày 8 tháng 9 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 25 tháng 9 năm 2025

Tóm tắt: Nghiên cứu này phân tích sự biến đổi diện tích lớp phủ thực vật và mối quan hệ của chúng với quá trình đô thị hóa tại Hà Nội giai đoạn 2000–2023. Ảnh vệ tinh Landsat được sử dụng để tính toán Chỉ số khác biệt thực vật (NDVI) và Chỉ số khác biệt xây dựng (NDBI), đồng thời các phương pháp phân tích thống kê (xu hướng, tương quan, hồi quy) được áp dụng nhằm đánh giá biến động không gian – thời gian. Kết quả cho thấy lớp phủ thực vật suy giảm mạnh tại các huyện ngoại thành như Nam Từ Liêm (–690 ha), Hoài Đức (–650 ha), Ứng Hòa (–629 ha) và Hà Đông (–588 ha), trong khi tăng tại một số địa phương như Ba Vì (+807 ha), Gia Lâm (+664 ha) và Sơn Tây (+230 ha). Ở khu vực nội thành, diện tích cây xanh tăng nhẹ tại một số quận như Hai Bà Trưng, Hoàn Kiếm và Ba Đình. Phân tích tương quan NDVI–NDBI cho thấy hơn 56% diện tích toàn thành phố có hệ số tương quan âm mạnh ($r < -0,5$), phản ánh mối liên hệ chặt chẽ giữa đô thị hóa và suy giảm lớp phủ thực vật. Các kết quả này góp phần xác định những vùng chịu tác động rõ rệt của đô thị hóa, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học cho công tác quy hoạch đô thị, phát triển bền vững và bảo vệ môi trường tại Hà Nội.

Từ khóa: Biến động thực vật; NDVI; đô thị hóa, NDBI, Hà Nội.

1. Mở đầu

Lớp phủ thực vật đóng vai trò thiết yếu trong các hệ sinh thái tự nhiên và môi trường sống của con người, góp phần điều hòa khí hậu, bảo tồn đa dạng sinh học, giảm thiểu nguy cơ ngập úng và tạo lập không gian sống lành mạnh. Tuy nhiên, trong bối cảnh đô thị hóa diễn ra nhanh chóng tại nhiều thành phố trên thế giới – đặc biệt là ở các quốc gia đang phát triển như Việt Nam – lớp phủ thực vật đang chịu sức ép suy giảm

manh mẽ cả về diện tích và chất lượng. Theo Cục Hạ tầng kỹ thuật (Bộ Xây dựng), tỷ lệ cây xanh bình quân đầu người ở các đô thị Việt Nam chỉ đạt 2-3 m²/người, thấp hơn nhiều so với ngưỡng tối thiểu 10 m²/người theo khuyến nghị của Liên Hợp Quốc và tiêu chuẩn 20-25 m²/người tại các đô thị hiện đại.

Nhiều nghiên cứu đã ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS để phân tích biến động lớp phủ thực vật ở các quy mô và bối cảnh khác nhau [1-3]. Một số nghiên cứu tập trung vào giám sát

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: hoangvt@ies.vast.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5313>

biến động lớp phủ thực vật ở các vùng khô hạn, bán khô hạn [4-7]; nghiên cứu ước lượng độ che phủ tán cây (canopy cover) trong các hệ thống canh tác nông nghiệp, cho thấy NDVI có thể được sử dụng để hiệu chỉnh các mô hình mô phỏng sinh trưởng cây trồng, hỗ trợ quản lý nông nghiệp chính xác [8-10]; hoặc phân loại trạng thái rừng ở khu vực Tây Nguyên [11, 12]. Các nghiên cứu về khu vực đô thị thường chỉ đánh giá trong phạm vi nhỏ hoặc thời gian ngắn hạn, điển hình như việc sử dụng ảnh Landsat để phân tích biến động lớp phủ thực vật tại một số khu vực đô thị và ven đô Hà Nội giai đoạn 2007–2015 [13-15]. Các nghiên cứu này thường chưa đánh giá toàn diện và dài hạn sự thay đổi lớp phủ thực vật tại Hà Nội ở cấp độ toàn đô thị, cũng như chưa xem xét rõ ràng mối liên hệ giữa quá trình đô thị hóa nhanh chóng với suy giảm không gian xanh.

Trong khi đó, Hà Nội – thủ đô và là một trong những đô thị lớn nhất Việt Nam – đang trải qua quá trình đô thị hóa với tốc độ cao, kéo theo sự gia tăng dân số, mở rộng hạ tầng, và sự thay thế các vùng xanh bằng các khu dân cư, khu công nghiệp và giao thông. Những thay đổi này đã dẫn đến các vấn đề như hiệu ứng đảo nhiệt đô thị, gia tăng ô nhiễm không khí và suy giảm chất lượng sống. Thực tế cho thấy, thông tin về diễn biến không gian và thời gian của lớp phủ thực vật trong suốt quá trình mở rộng đô thị ở Hà Nội vẫn còn thiếu, đặc biệt là các nghiên cứu sử dụng chuỗi dữ liệu ảnh vệ tinh có độ phân giải phù hợp để phân tích xu hướng dài hạn.

Do đó, mục tiêu của nghiên cứu này là phân tích sự biến đổi diện tích lớp phủ thực vật và làm rõ mối quan hệ của chúng với quá trình đô thị hóa tại thành phố Hà Nội trong giai đoạn 2000–2023. Nghiên cứu được thực hiện nhằm cung cấp một đánh giá có hệ thống và liên tục về sự biến động lớp phủ thực vật trong mối liên hệ với tiến trình đô thị hóa. Bằng cách khai thác chuỗi dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat có độ phân giải trung bình, kết hợp với chỉ số NDVI và các phương pháp phân tích biến động, nghiên cứu không chỉ cho phép đánh giá định lượng mức độ thay đổi không gian xanh trong thời gian dài mà còn góp phần cung cấp cơ sở dữ liệu quan trọng phục vụ quy hoạch đô thị bền vững, thích ứng với biến

đổi khí hậu và nâng cao chất lượng sống của cư dân đô thị.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Thủ đô Hà Nội nằm về phía tây bắc của trung tâm vùng đồng bằng châu thổ sông Hồng, có vị trí từ 20°34' đến 21°18' vĩ độ Bắc và từ 105°17' đến 106°02' kinh độ Đông, thuộc khu vực trung tâm vùng đồng bằng sông Hồng màu mỡ, tiếp giáp với 8 tỉnh là Thái Nguyên, Vĩnh Phúc ở phía Bắc, Hà Nam, Hòa Bình phía Nam, Bắc Giang, Bắc Ninh và Hưng Yên phía Đông, Hòa Bình cùng Phú Thọ phía Tây (theo đơn vị hành chính trước 1/7/2025) (Hình 1).

Khu vực nghiên cứu bao gồm các quận trung tâm (Hoàn Kiếm, Ba Đình, Đống Đa,...), các quận vùng nội đô (Thanh Xuân, Cầu Giấy, Từ Liêm,...) và các quận huyện ngoại thành (Ba Vì, Thạch Thất, Chương Mỹ,...) nhằm phản ánh sự đa dạng về hiện trạng che phủ thực vật và tác động của quá trình đô thị hóa đến thảm xanh đô thị tại Hà Nội. Các quận trung tâm đặc trưng bởi mật độ xây dựng cao, diện tích cây xanh công cộng hạn chế, trong khi các quận vùng nội đô ghi nhận sự mở rộng nhanh chóng của các khu dân cư, khu công nghiệp xen kẽ với những mảng xanh còn sót lại.

Việc lựa chọn các khu vực này nhằm đánh giá sự phân bố và thay đổi che phủ thực vật giữa các khu vực có mức độ đô thị hóa khác nhau. Phạm vi nghiên cứu bao gồm các khu vực chịu ảnh hưởng mạnh từ hoạt động xây dựng, phát triển hạ tầng và giao thông, qua đó cung cấp cái nhìn toàn diện về sự suy giảm hoặc biến động của lớp phủ thực vật trong tiến trình đô thị hóa tại Hà Nội.

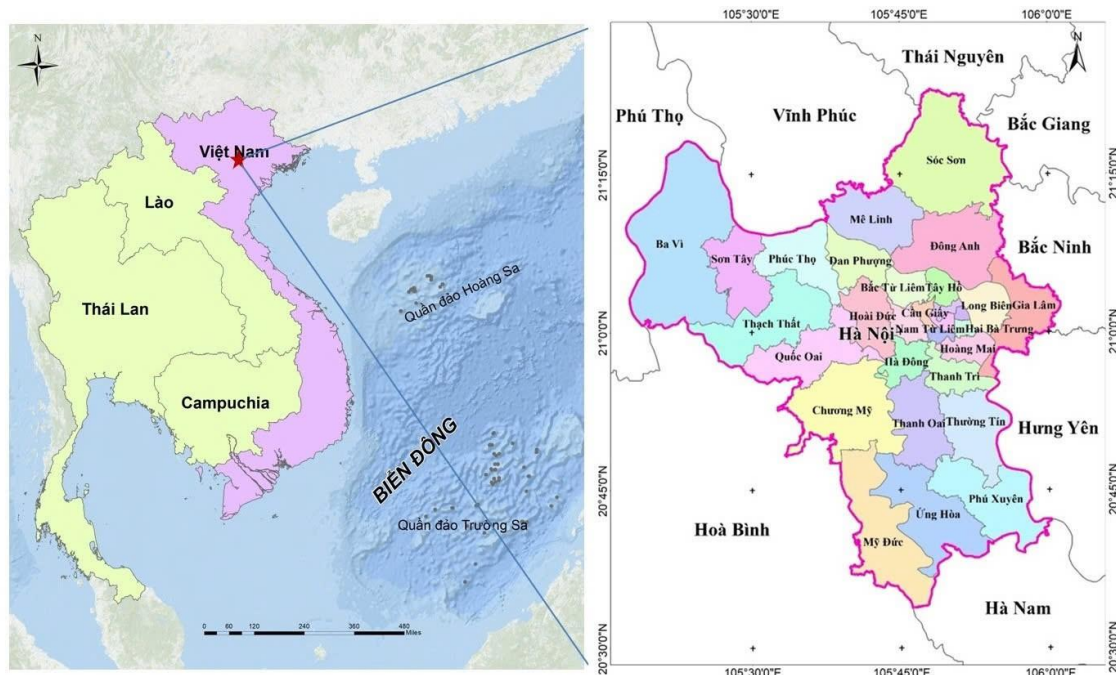
2.2. Tư liệu nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, ảnh vệ tinh Landsat được sử dụng làm nguồn dữ liệu chính để phân tích sự biến động của lớp phủ thực vật, tập trung vào chỉ số Khác biệt Thực vật (NDVI). Dữ liệu Landsat là bộ cơ sở dữ liệu ảnh lớn do NASA và USGS phát triển, cung cấp ảnh đa phổ với độ

phân giải không gian 30 m, rất phù hợp cho việc giám sát sự thay đổi lớp phủ bề mặt theo thời gian.

Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu bao gồm ảnh từ các vệ tinh Landsat 5 và Landsat 8, bao phủ khu vực nghiên cứu trong giai đoạn từ năm 2000 đến 2023. Mỗi vệ tinh cung cấp các tổ hợp

dải phổ riêng biệt, hỗ trợ hiệu quả trong việc tính toán NDVI nhằm phản ánh sự thay đổi về mức độ che phủ thực vật. Ảnh Landsat đặc biệt hữu ích trong nghiên cứu môi trường nhờ chu kỳ quay lại ngắn (khoảng 16 ngày), cho phép theo dõi diễn biến lớp phủ thực vật với độ chi tiết cao.



Hình 1. Sơ đồ minh họa vị trí khu vực nghiên cứu thành phố Hà Nội (khoanh vi màu hồng).

Bảng 1. Dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat được sử dụng trong nghiên cứu

Dữ liệu	Năm	Kênh	Độ phân giải (m)	Số cảnh ảnh sử dụng	Nguồn
Landsat 5 (MSS/TM)	2000	Đa phổ (kênh 3,4,5)	30	53	USGS
Landsat 5 (MSS/TM)	2005	Đa phổ (kênh 3,4,5)	30	61	USGS
Landsat 5 (MSS/TM)	2010	Đa phổ (kênh 3,4,5)	30	47	USGS
Landsat 8 (OLI/TIRS)	2015	Đa phổ (kênh 4,5,6)	30	70	USGS
Landsat 8 (OLI/TIRS)	2020	Đa phổ (kênh 4,5,6)	30	60	USGS
Landsat 8 (OLI/TIRS)	2023	Đa phổ (kênh 4,5,6)	30	60	USGS

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Sơ đồ quy trình nghiên cứu được thể hiện ở Hình 2.

2.3.1. Xử lý ảnh vệ tinh

Các bước xử lý dữ liệu ảnh viễn thám trong nghiên cứu này được thực hiện trên nền tảng Google Earth Engine (GEE). Việc sử dụng GEE

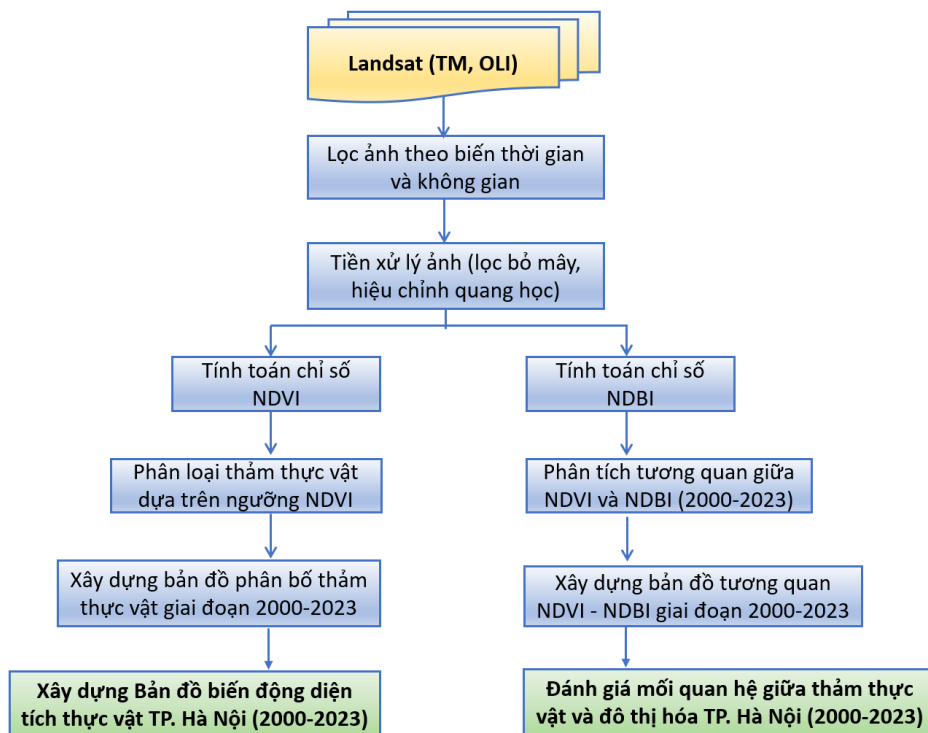
giúp tối ưu hóa quy trình truy xuất, xử lý và phân tích dữ liệu ảnh Landsat với khả năng xử lý nhanh và quy mô lớn. Google Earth Engine là một nền tảng điện toán đám mây tiên tiến, chuyên dụng cho phân tích dữ liệu viễn thám, thông số môi trường và khí tượng ở quy mô từ khu vực nhỏ đến toàn cầu. GEE tích hợp kho dữ liệu đồ sộ, với hàng chục petabyte ảnh vệ tinh miễn phí do các tổ chức uy tín như NASA, USGS, ESA cung cấp, cùng nhiều nguồn dữ liệu khác [16].

Các bước chính trong quá trình xử lý dữ liệu ảnh viễn thám trên nền tảng Google Earth Engine (GEE) bao gồm:

- Lựa chọn nguồn ảnh và khoảng thời gian lấy ảnh: lọc các ảnh có độ che phủ mây dưới 20% nhằm đảm bảo chất lượng dữ liệu đầu vào, đồng thời vẫn duy trì đủ số lượng ảnh để phân tích chuỗi thời gian một cách liên tục và hiệu quả. Thời gian thu thập ảnh từ tháng 1 đến tháng 12 của các năm 2000 đến 2023.

- Xác định khu vực nghiên cứu trên GEE: Vùng nghiên cứu là thành phố Hà Nội.

- Tạo các bộ ảnh Landsat không mây: các ảnh Landsat được xử lý để loại bỏ mây, tạo ra bộ dữ liệu ảnh vệ tinh chất lượng phục vụ cho phân tích theo từng năm.



Hình 2. Sơ đồ nghiên cứu.

2.3.2. Tính toán các chỉ số

- Chỉ số khác biệt thực vật (NDVI)

NDVI [17] tập trung vào sự khác biệt giữa ánh sáng được hấp thụ bởi thực vật ở bước sóng đỏ và gần hồng ngoại. Điều này phản ánh chủ yếu sự phát triển và mật độ của thực vật.

NDVI đã được sử dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng khác nhau như giám sát sự biến động của rừng, theo dõi môi trường nông nghiệp, đánh giá sự khô hạn, và nhiều ứng dụng khác. Công thức tính chỉ số NDVI được xác định như sau:

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

Trong đó:

- NIR là dải cận hồng ngoại,
- SWIR là dải hồng ngoại sóng ngắn.

Thang giá trị NDVI dao động từ -1 đến 1, phản ánh mức độ phát triển của lớp phủ thực vật: giá trị càng cao (tiệm cận 1) biểu thị lớp phủ thực vật dày và khỏe mạnh; giá trị gần 0 hoặc âm thể hiện khu vực không có hoặc rất ít thực vật, bao gồm đất trống, đô thị hoặc mặt nước.

- Chỉ số khác biệt xây dựng (NDBI)

Để theo dõi những thay đổi về diện tích đất đô thị, chỉ số khác biệt xây dựng (NDBI) [18] được tính toán bằng dữ liệu viễn thám. NDBI xác định các khu vực xây dựng bằng cách phân biệt chúng với cảnh quan thiên nhiên, dựa trên độ phản xạ quang phổ trong dải Hồng ngoại sóng ngắn (SWIR) và Hồng ngoại gần (NIR). Công thức tính NDBI như sau:

$$NDBI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)} \quad (2)$$

Trong đó:

- SWIR là dải hồng ngoại sóng ngắn;
- NIR là dải cận hồng ngoại.

Giá trị NDBI nằm trong khoảng từ -1 đến 1, trong đó giá trị càng cao cho thấy khu vực có mật độ xây dựng, khu đô thị hoặc bề mặt nhân tạo càng lớn.

2.3.3. Phân loại lớp phủ thực vật

Phân loại lớp phủ thực vật thường dựa trên việc lựa chọn ngưỡng giá trị NDVI phù hợp nhằm phân biệt khu vực có lớp phủ thực vật và khu vực không có lớp phủ thực vật. Một trong những phương pháp phổ biến là sử dụng ngưỡng cố định, trong đó các điểm ảnh có giá trị NDVI từ 0,3 trở lên được xem là khu vực có lớp phủ thực vật, còn các điểm ảnh có giá trị NDVI dưới 0,3 được coi là vùng không có thực vật hoặc bề mặt đất trống. Ngưỡng này được lựa chọn dựa trên các nghiên cứu trước đây cũng như đặc điểm sinh học của lớp phủ thực vật, giúp phân biệt rõ ràng vùng phủ xanh với các khu vực khác [19]. Khi kết hợp với dữ liệu thực địa, phương pháp chọn ngưỡng này góp phần đảm bảo độ chính xác và phù hợp cho việc phân loại lớp phủ thực vật trong nghiên cứu.

2.3.4. Xác định biến động độ che phủ thực vật

Để đánh giá biến động độ che phủ thực vật tại Hà Nội trong giai đoạn 2000–2023, nghiên cứu tích hợp dữ liệu khu vực xây dựng với bản đồ lớp phủ thực vật để xác định sự thay đổi lớp phủ thực vật. Phương pháp gồm hai bước chính: i) xác định suy giảm lớp phủ thực vật bằng cách so sánh lớp phủ thực vật năm 2000 với bản đồ khu vực xây dựng năm 2023 nhằm phát hiện các khu vực không gian xanh bị thay thế bởi hạ tầng đô thị; và ii) xác định sự gia tăng lớp phủ thực vật thông qua so sánh lớp phủ thực vật năm 2023 với năm 2000 để phát hiện khu vực có sự tái sinh tự nhiên.

Phân loại biến động lớp phủ thực vật được xác định như sau:

- Suy giảm lớp phủ thực vật là khu vực có lớp phủ thực vật năm 2000 nhưng bị thay thế bằng đất xây dựng năm 2023.

- Gia tăng lớp phủ thực vật là khu vực không có thực vật năm 2000 nhưng có lớp phủ thực vật vào năm 2023.

2.3.5. Tương quan giữa NDVI và NDBI

Phương pháp phân tích tương quan giữa NDVI và NDBI được thực hiện trên dữ liệu ma trận 3 chiều, với hai chỉ số được đo đạc không gian theo tọa độ x, y và theo thời gian từ năm 2000 đến 2023. Mỗi chỉ số được biểu diễn dưới dạng ma trận 3D có kích thước tương ứng với không gian (x, y) và thời gian (t) [20].

Để xác định mối quan hệ giữa NDVI và NDBI, hệ số tương quan Pearson được tính toán cho từng điểm ảnh (pixel) theo chuỗi giá trị thời gian tương ứng. Cụ thể, tại mỗi vị trí không gian (x, y), chuỗi NDVI và NDBI trải dài theo 24 năm được sử dụng để tính hệ số tương quan, phản ánh mức độ liên quan tuyến tính giữa biến động lớp phủ thực vật và sự phát triển đô thị tại vị trí đó qua thời gian.

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \\ &= \frac{\sum_{t=1}^T (X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y})}{\sqrt{(\sum_{t=1}^T (X_t - \bar{X})^2) \times (\sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{Y})^2)}} \quad (3) \end{aligned}$$

Trong đó:

X_t, Y_t là giá trị NDVI và NDBI tại thời điểm t;
 $\bar{X}, \bar{Y}$ là giá trị trung bình chuỗi thời gian.

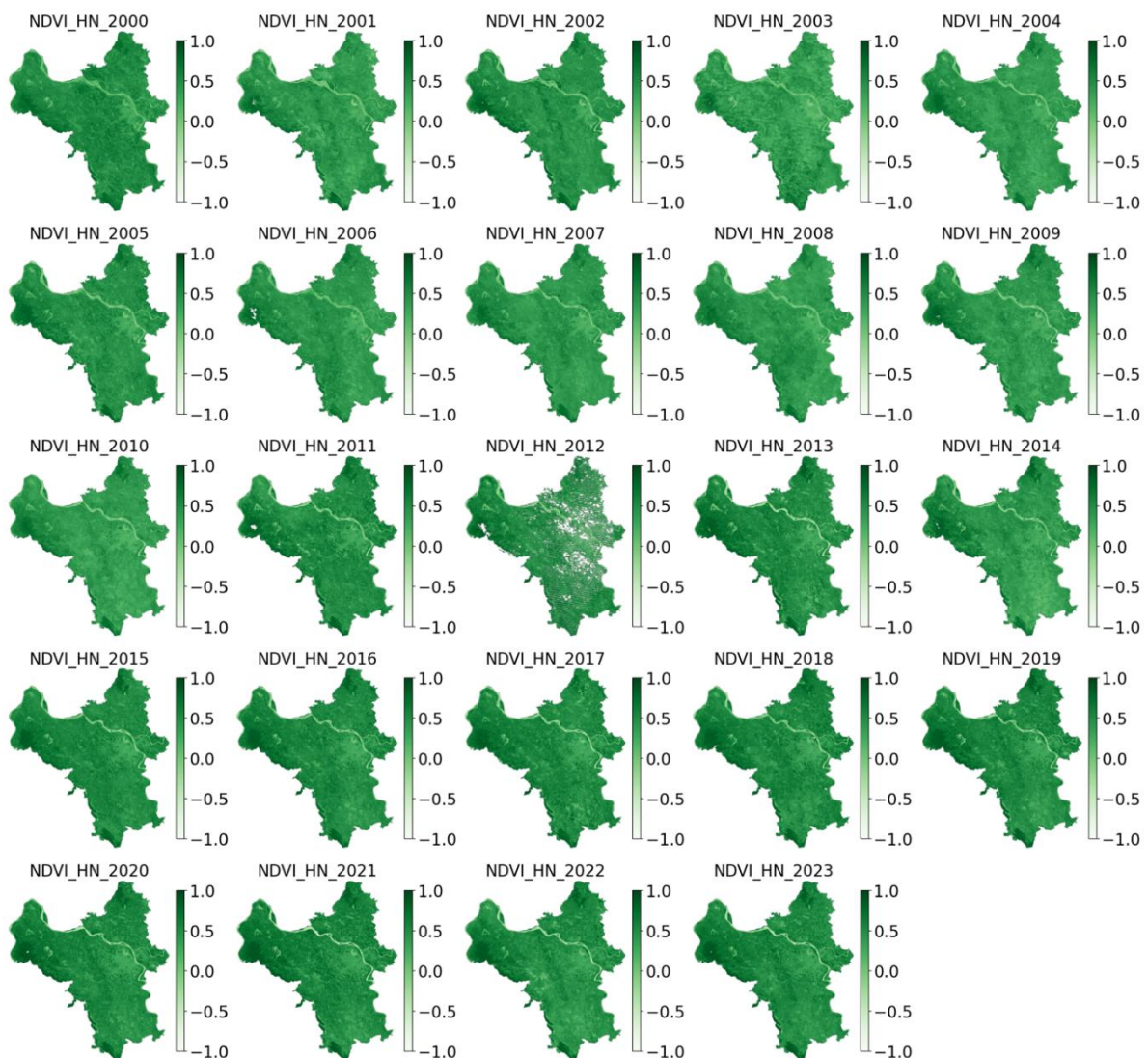
3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Biến động độ che phủ thực vật thành phố Hà Nội giai đoạn 2000-2023

Bộ bản đồ chỉ số NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) được xây dựng từ dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat cho các năm từ 2000 đến 2023 được trình bày trong Hình 3.

Thông qua chuỗi bản đồ NDVI theo thời gian, có thể nhận diện được xu thế phân bố và biến động của lớp phủ thực vật trên toàn địa bàn thành phố Hà Nội. Kết quả phân tích cho thấy,

khu vực có mật độ lớp phủ thực vật cao nhất là vùng rừng đặc dụng thuộc Vườn Quốc gia Ba Vì và các khu vực lân cận tại huyện Ba Vì. Bên cạnh đó, các huyện ngoại thành như Sóc Sơn, Thạch Thất, Chương Mỹ cũng ghi nhận diện tích lớn đất trồng cây lâu năm và cây ăn quả. Các khu vực phía nam Hà Nội, gồm Phú Xuyên, Ứng Hòa, Thanh Oai, là nơi tập trung chủ yếu của các loại cây trồng nông nghiệp hàng năm như lúa và ngô. Trong khi đó, các quận nội thành có lớp phủ thực vật hạn chế, chủ yếu là cây xanh đô thị, công viên và các hành lang xanh hẹp.

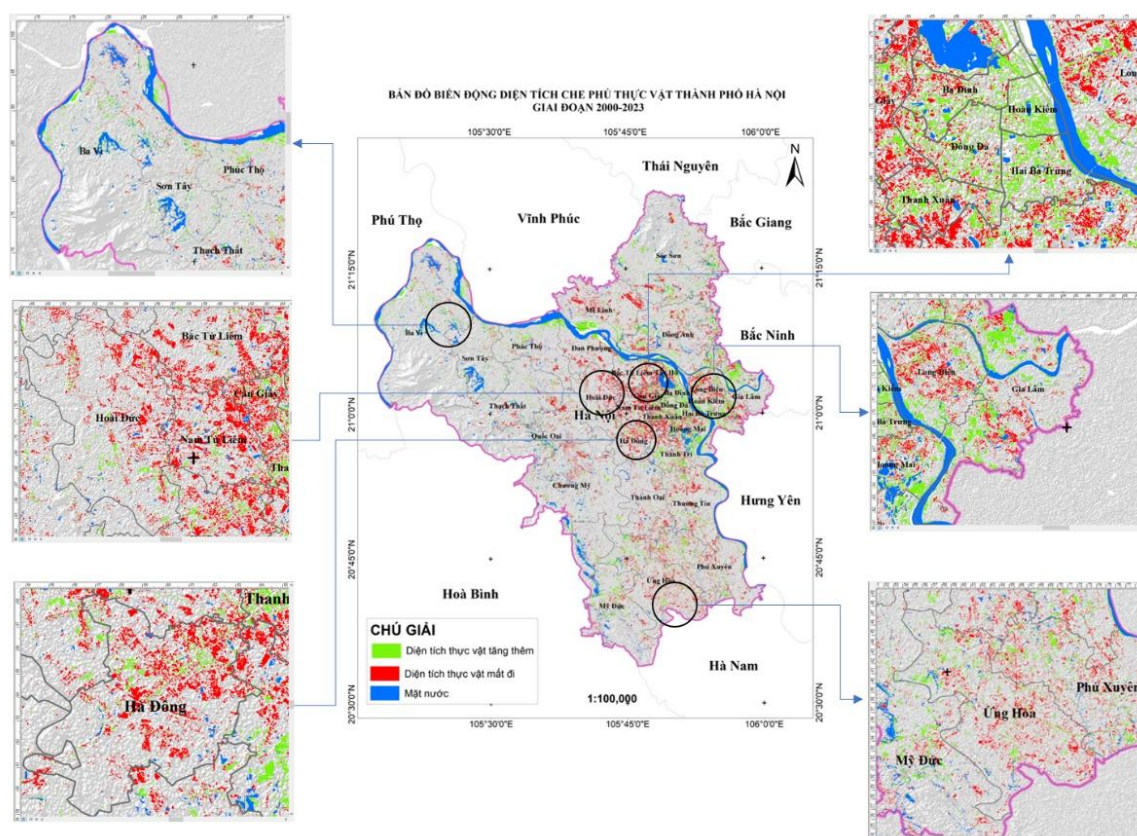


Hình 3. Bản đồ chỉ số NDVI (NDVI $\rightarrow$ 1: thảm thực vật càng khỏe mạnh; NDVI $<$ 0: không phải thực vật.).

Giai đoạn 2000–2023 cũng chứng kiến sự thay đổi đáng kể trong cấu trúc lớp phủ thực vật do quá trình đô thị hóa mạnh mẽ và phát triển kinh tế - xã hội. Nhiều khu vực trước đây là đất nông nghiệp hoặc có lớp phủ thực vật tự nhiên đã bị chuyển đổi thành đất xây dựng, đặc biệt tại các vùng ven đô.

Mặc dù quá trình phát triển kinh tế - xã hội trong hơn hai thập kỷ qua đã dẫn đến sự suy giảm

lớp phủ thực vật tại nhiều khu vực, tuy nhiên, điều này không đồng nghĩa với việc toàn bộ sự thay đổi đều mang tính tiêu cực đối với hệ sinh thái. Trên thực tế, sự phát triển đô thị và các chính sách quy hoạch đất đai có thể đồng thời tạo ra những chuyển biến tích cực, chẳng hạn như việc gia tăng diện tích cây xanh đô thị, phục hồi rừng, hoặc chuyển đổi đất hoang hóa thành các khu vực trồng cây lâu năm và cây ăn quả.



Hình 4. Bản đồ biến động diện tích lớp phủ thực vật (thu từ tỉ lệ 1:100.000).

Quan sát bản đồ biến động lớp phủ thực vật giai đoạn 2000–2023 (Hình 4), có thể dễ dàng nhận thấy các khu vực có sự thay đổi rõ rệt thông qua mã hóa màu sắc: các vùng hiển thị màu đỏ thể hiện diện tích lớp phủ thực vật đã bị suy giảm và được thay thế bằng các loại hình sử dụng đất khác vào năm 2023; trong khi đó, các vùng màu xanh lá cây biểu thị sự gia tăng lớp phủ thực vật so với thời điểm năm 2000.

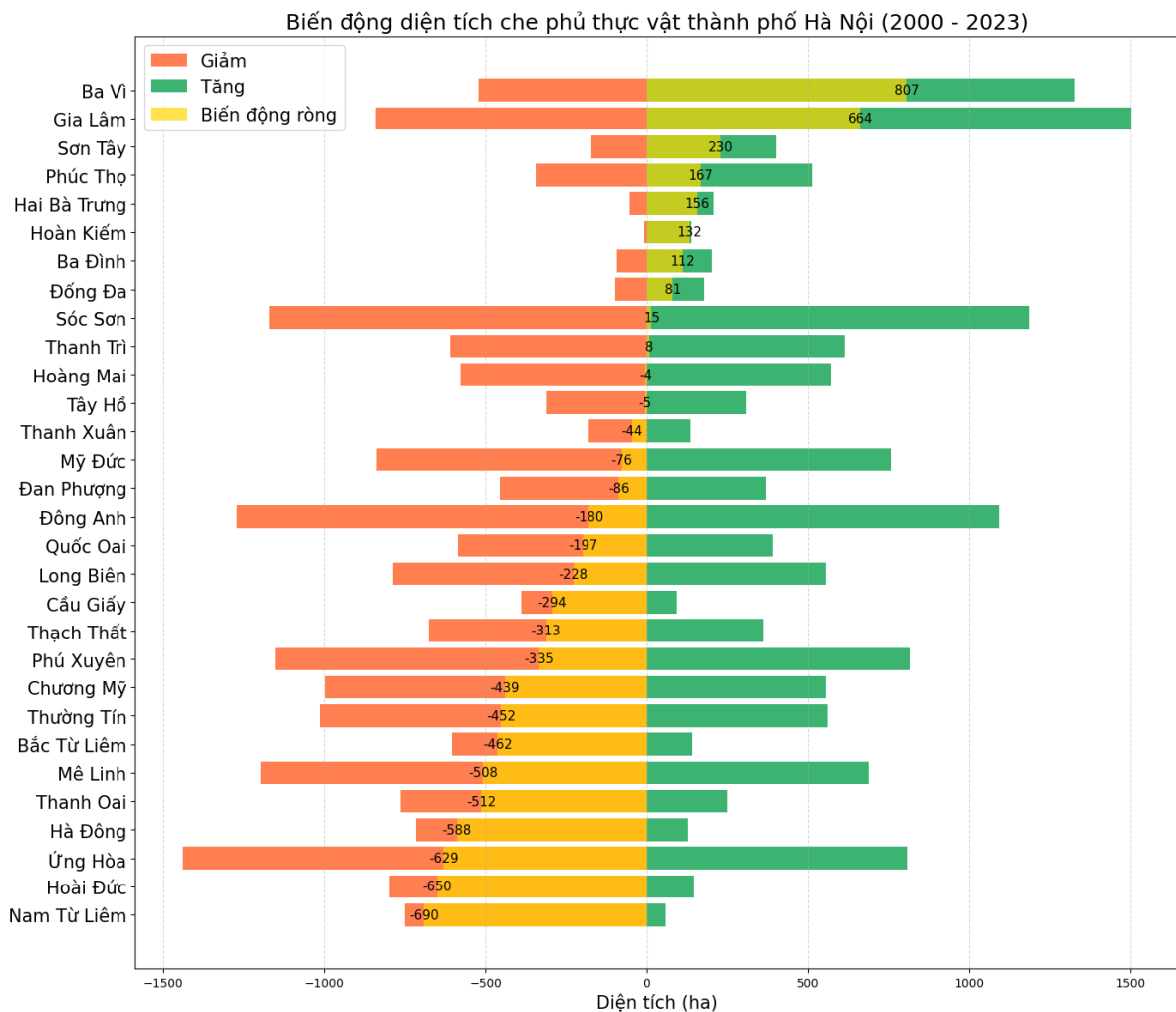
Phân bố không gian của các biến động này cho thấy, các khu vực có mức suy giảm lớn nhất về diện tích thực vật chủ yếu tập trung tại các quận, huyện ven trung tâm như Hoàng Mai, Hà Đông, Nam Từ Liêm, Đông Anh, Hoài Đức, nơi vốn vào năm 2000 còn có nhiều đất nông nghiệp hoặc chưa phát triển mạnh về đô thị. Trong hơn hai thập kỷ, đây cũng là những địa bàn ghi nhận tốc độ đô thị hóa cao nhất, dẫn đến việc chuyển

đổi mạnh mẽ từ đất có lớp phủ thực vật sang đất xây dựng, hạ tầng kỹ thuật và các mục đích phi nông nghiệp khác.

Ngược lại, tại khu vực các quận trung tâm như Hoàn Kiếm, Ba Đình, Hai Bà Trưng và Đống Đa – nơi có mật độ xây dựng cao và diện tích đất hạn chế – lại ghi nhận xu hướng gia tăng lớp phủ thực vật, chủ yếu thông qua việc mở rộng không gian xanh đô thị, trồng bổ sung cây xanh ven đường, cải tạo và phát triển công viên.

Đây có thể là minh chứng cho nỗ lực của chính quyền thành phố trong việc cải thiện chất lượng môi trường sống tại khu vực nội đô.

Biến động cụ thể về diện tích lớp phủ thực vật theo từng quận, huyện được trình bày chi tiết trong Hình 5. Biểu đồ được sắp xếp theo thứ tự giảm dần, từ các đơn vị hành chính có mức tăng lớp phủ cao nhất cho đến các địa phương có mức suy giảm mạnh nhất.



Hình 5. Diện tích biến động lớp phủ theo các quận huyện.

Dựa trên biểu đồ biến động diện tích lớp phủ thực vật, có thể nhận thấy sự biến động đáng kể về diện tích thực vật giữa các quận, huyện của Hà Nội, phản ánh rõ nét tác động của quá trình

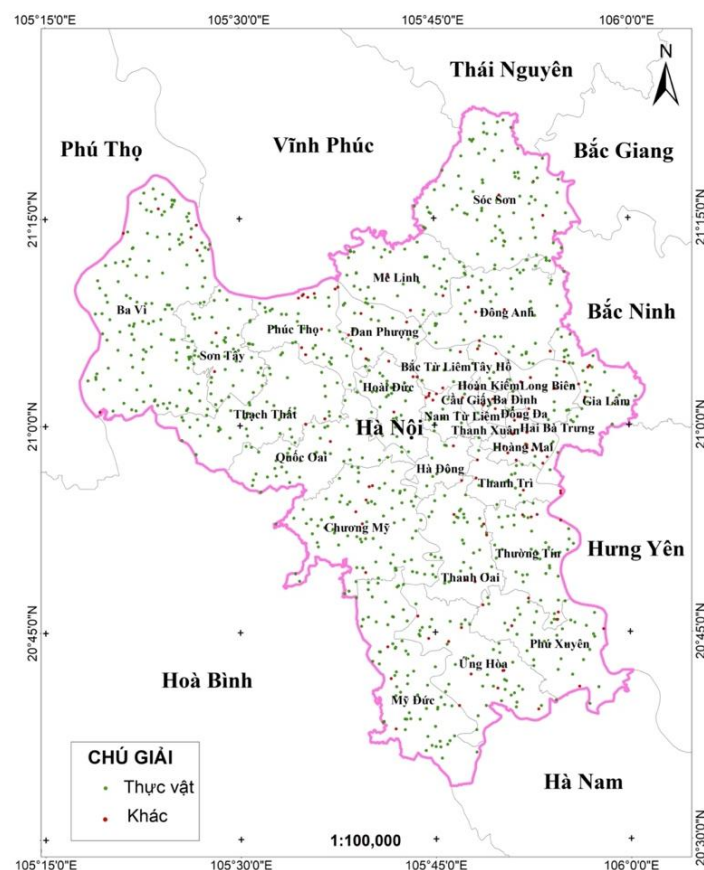
đô thị hóa trong hơn hai thập kỷ qua. Các khu vực ngoại thành như Nam Từ Liêm (–690 ha), Hoài Đức (–650 ha), Ứng Hòa (–629 ha), và Hà Đông (–588 ha) ghi nhận mức mất thực vật lớn

nhất, chủ yếu do quá trình chuyển đổi đất phục vụ phát triển công nghiệp, khu dân cư và hạ tầng đô thị. Xu hướng này cho thấy áp lực rõ rệt từ đô thị hóa không kiểm soát, đồng thời làm suy giảm các chức năng sinh thái vốn có của hệ thực vật như điều hòa khí hậu, hấp thụ carbon và chống ngập úng. Trong khi đó, một số khu vực như Ba Vì (+807 ha), Gia Lâm (+664 ha) và Sơn Tây (+230 ha) lại có mức tăng diện tích thực vật đáng kể, cho thấy vai trò quan trọng của các vùng ít chịu tác động đô thị trong việc phục hồi sinh thái và duy trì cân bằng môi trường. Đáng chú ý, tại khu vực nội thành, mặc dù quỹ đất hạn chế, một số quận như Hai Bà Trưng, Hoàn Kiếm và Ba Đình vẫn ghi nhận mức tăng diện tích xanh nhờ các sáng kiến xanh hóa đô thị như trồng cây đường phố, vườn trên mái và công viên nhỏ. Tuy nhiên, nhìn chung, mức tăng này còn rất hạn chế so với nhu cầu về không gian xanh trong đô thị

mật độ cao. Sự chênh lệch giữa các khu vực trung tâm và ngoại thành phản ánh khoảng cách ngày càng rõ rệt trong tiếp cận và phân bổ không gian xanh, từ đó đặt ra yêu cầu cấp thiết về việc tích hợp hạ tầng xanh vào quy hoạch phát triển đô thị, đồng thời ban hành các chính sách sử dụng đất nghiêm ngặt nhằm hạn chế việc chuyển đổi đất không bền vững.

3.2. Đánh giá độ chính xác kết quả phân loại

Kết quả phân loại bản đồ lớp phủ thảm thực vật khu vực Hà Nội năm 2023 được kiểm định độ chính xác thông qua bộ mẫu kiểm chứng độc lập gồm 1000 điểm ảnh được xác định từ ảnh vệ tinh độ phân giải cao trên nền tảng Google Earth. Các điểm kiểm chứng này được phân loại thành hai lớp: Thực vật và Không thực vật (Hình 6).



Hình 6. Bản đồ phân bố bộ mẫu kiểm chứng (thu từ tỉ lệ 1:100.000).

Phương pháp đánh giá sử dụng các chỉ số thống kê bao gồm: Overall Accuracy (OA), Producer's Accuracy (PA), User's Accuracy (UA), Kappa coefficient.

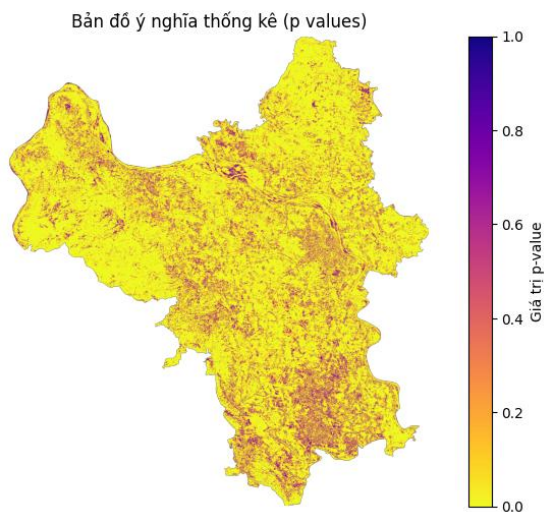
Kết quả thống kê độ chính xác được thể hiện trong Bảng 2 và 3.

Bảng 2. Ma trận nhầm lẫn (Confusion matrix)

N=1000	Thực tế: Có TV (1)	Thực tế: Không TV (0)
Phân loại: 1 (TV)	824 (TP)	14 (FT)
Phân loại: 0 (Không TV)	54 (FN)	108 (TN)

Bảng 3. Các chỉ số đánh giá độ chính xác

Chỉ số	Giá trị
Overall Accuracy	93,2%
Hệ số Kappa	0,722
PA – Thực vật	93,8%
UA - Thực vật	98,3%
PA – Không thực vật	88,5%
UA – Không thực vật	66,7%



Hình 7. Bản đồ ý nghĩa thống kê của tương quan (thu từ tỉ lệ 1:100.000).

Các kết quả trên cho thấy rằng lớp Thực vật có độ chính xác cao, thể hiện rõ qua cả hai chỉ số PA và UA. Trong khi đó, lớp Không thực vật có PA tương đối tốt nhưng UA thấp hơn, phản ánh

hiện tượng lỗi phân loại sai thành thực vật (false positives), có thể do ảnh hưởng của bề mặt đất trống có tín hiệu phổ tương tự với thực vật thưa trong ảnh Landsat.

Mức độ ý nghĩa thống kê được xác định thông qua giá trị p-value, với ngưỡng phổ biến là $p < 0.05$ để xác định tương quan có ý nghĩa.

Các vùng có ý nghĩa thống kê chủ yếu phân bố ở khu vực có thảm thực vật, nơi giá trị NDVI ổn định hơn, trong khi những vùng không có ý nghĩa thống kê thường thuộc khu vực không thực vật, với hệ số tương quan rất thấp ($r \approx 0$).

3.3. Mối quan hệ giữa lớp phủ thực vật và đô thị hóa thành phố Hà Nội

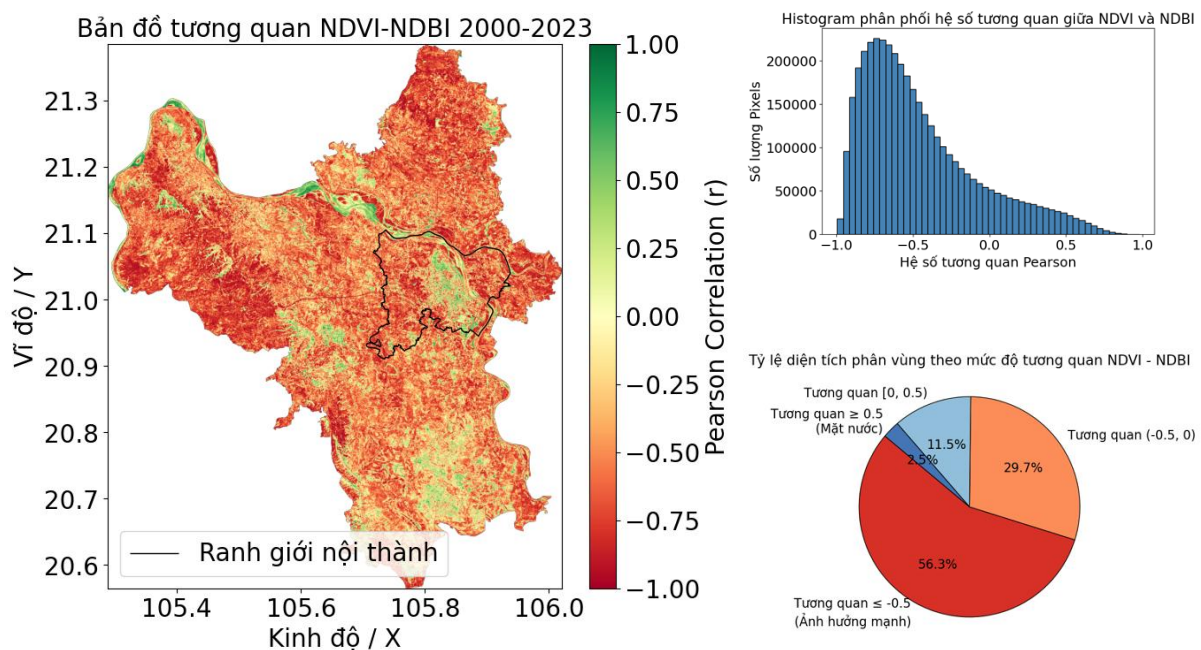
Mối quan hệ giữa lớp phủ thực vật và quá trình đô thị hóa được làm rõ hơn thông qua phân tích mối tương quan giữa hai chỉ số viễn thám quan trọng: NDVI, đại diện cho mức độ phủ xanh, và NDBI, phản ánh cường độ xây dựng đô thị. Để đánh giá mối liên hệ này một cách toàn diện cả về không gian và thời gian, thuật toán tương quan ba chiều đã được áp dụng, cho phép tính toán hệ số tương quan tại từng điểm ảnh (pixel) giữa hai chỉ số NDVI và NDBI trong suốt chuỗi thời gian 24 năm (2000–2023). Kết quả được thể hiện qua bản đồ tương quan không gian (Hình 8), cho thấy rõ mức độ và hướng tương quan (dương hoặc âm) tại mỗi khu vực trên toàn bộ địa bàn thành phố Hà Nội.

Kết quả phân tích mối tương quan không gian giữa chỉ số NDVI và NDBI cho thấy phần lớn diện tích thành phố Hà Nội có mối quan hệ nghịch giữa phát triển xây dựng và lớp phủ thực vật. Quan sát bản đồ tương quan và biểu đồ histogram cho thấy, ngoại trừ một số vùng mặt nước – nơi cả NDVI và NDBI đều thấp và có tương quan cao do tính đồng nhất – thì đa phần các khu vực đều thể hiện tương quan âm rất mạnh. Biểu đồ pie chart phân loại diện tích theo mức độ tương quan cho thấy rằng, vùng có hệ số tương quan $r < -0,5$ chiếm tới hơn 56% diện tích toàn thành phố, phản ánh xu thế đô thị hóa làm suy giảm diện tích cây xanh rõ rệt. Các vùng có tương quan âm nhẹ hơn, với hệ số nằm trong khoảng từ 0 đến $-0,5$, chiếm khoảng 29% diện tích, chủ yếu là các khu vực chuyển tiếp hoặc

chưa phát triển hoàn toàn. Ngược lại, chỉ có khoảng 11,5% diện tích thể hiện tương quan dương ($r > 0$), và những khu vực này phân bố rải rác, thường có quy mô nhỏ.

Xét về đặc điểm không gian, các vùng có tương quan âm mạnh nhất – thể hiện bằng màu đỏ đậm trên bản đồ – tập trung ở các quận, huyện từng là vùng ven đô vào năm 2000 nhưng đến năm 2023 đã trở thành khu vực nội thành do quá trình đô thị hóa nhanh chóng, như Hà Đông, Nam Từ Liêm, Hoàng Mai và Đông Anh. Những khu vực này ghi nhận sự gia tăng đột biến về mật

độ xây dựng và hạ tầng, đồng thời dẫn đến mất mát đáng kể về lớp phủ thực vật. Trong khi đó, các vùng thể hiện tương quan dương – thể hiện bằng màu xanh lá đậm – chủ yếu xuất hiện ở các quận lõi trung tâm như Hoàn Kiếm, Ba Đình, Hai Bà Trưng, nơi quá trình phát triển đô thị đã đạt ngưỡng bão hòa từ trước năm 2000. Tại đây, việc tăng cường diện tích cây xanh thông qua cải tạo công viên, trồng cây ven đường và phát triển các không gian xanh công cộng đã góp phần làm gia tăng đồng thời cả NDVI và NDBI, tạo nên mối tương quan thuận, dù hiếm gặp nhưng đáng chú ý.



Hình 8. Kết quả tương quan giữa NDBI và NDVI (thu từ tỉ lệ 1:100.000).

Ngoài ra, các vùng có hệ số tương quan gần bằng 0 – thể hiện bằng màu trắng hoặc rất nhạt – cho thấy không có mối liên hệ rõ ràng giữa NDVI và NDBI. Đây thường là các khu vực chuyển tiếp giữa đô thị và nông thôn, hoặc nơi mà sự phát triển hạ tầng và cây xanh diễn ra không đồng bộ.

Tổng thể, mối tương quan âm giữa NDVI và NDBI phản ánh rõ nét xu hướng suy giảm lớp phủ thực vật trong quá trình phát triển đô thị, kéo theo những hệ quả tiêu cực như gia tăng hiệu ứng đảo nhiệt đô thị, ô nhiễm không khí và suy giảm đa dạng sinh học. Ngược lại, các khu vực có

tương quan dương – mặc dù chiếm tỷ lệ nhỏ – lại là minh chứng tích cực cho các mô hình đô thị bền vững, nơi không gian xanh được bảo tồn hoặc phát triển song song với quá trình xây dựng, góp phần cải thiện chất lượng môi trường sống và thích ứng với biến đổi khí hậu.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã sử dụng dữ liệu viễn thám Landsat kết hợp các chỉ số NDVI và NDBI để đánh giá biến động độ che phủ thực vật và môi

liên hệ với quá trình đô thị hóa tại thành phố Hà Nội trong giai đoạn 2000–2023. Kết quả giải đoán đạt độ tin cậy phù hợp để đánh giá hiện trạng và biến động lớp phủ với độ chính xác tổng thể 93,2% và hệ số Kappa 0,722. Kết quả cho thấy trong giai đoạn 2000–2023, độ che phủ thực vật ở Hà Nội suy giảm đáng kể dưới tác động của đô thị hóa, phản ánh mối quan hệ nghịch giữa NDVI và NDBI từ tư liệu viễn thám đa thời gian. Xu hướng suy giảm này tập trung chủ yếu tại các khu vực đô thị hóa nhanh như nội thành và vùng ven đang chịu áp lực mở rộng hạ tầng, trong khi sự gia tăng độ che phủ thực vật chỉ xuất hiện rải rác ở ngoại thành với quy mô nhỏ và tính phân mảnh cao.

Mối tương quan nghịch giữa chỉ số NDVI và NDBI thể hiện rõ tác động của quá trình đô thị hóa đến suy giảm lớp phủ thực vật, làm thay đổi cấu trúc không gian sử dụng đất và ảnh hưởng đến môi trường đô thị. Việc ứng dụng tư liệu viễn thám đa thời gian đã chứng minh hiệu quả trong việc giám sát, phân tích xu hướng và không gian biến động che phủ thực vật phục vụ công tác quy hoạch và quản lý đô thị.

Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học quan trọng hỗ trợ các nhà quản lý và hoạch định chính sách trong việc xây dựng chiến lược phát triển đô thị bền vững, đảm bảo cân bằng giữa phát triển kinh tế và bảo vệ môi trường, đặc biệt là trong bối cảnh Hà Nội tiếp tục đối mặt với áp lực gia tăng dân số và mở rộng đô thị trong những thập kỷ tới.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam trong đề tài mã số VAST01.01/23-24

Tài liệu tham khảo

- [1] G. M. Gandhi, S. Parthiban, N. Thummalu, A. Christy, Ndbi: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis—A Case Study of Vellore District, *Procedia Computer Science*, Vol. 57, 2015, pp. 1199-1210.
- [2] Y. Yang, J. Zhu, C. Zhao, S. Liu, X. Tong, The Spatial Continuity Study of NDVI Based on Kriging and BPNN Algorithm, *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 54, No. 3-4, 2011, pp. 1138-1144.
- [3] Y. Lan, Development of an Integration Sensor and Instrumentation System for Measuring Crop Conditions, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 2009.
- [4] T. R. Tenreiro, M. G. Vila, J. A. Gómez, J. A. J. Berni, E. Fereres, Using NDVI for the Assessment of Canopy Cover in Agricultural Crops Within Modelling Research, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 182, 2021, pp. 106038.
- [5] R. G. Allen, L. S. Pereira, Estimating Crop Coefficients from Fraction of Ground Cover and Height, *Irrigation Science*, Vol. 28, 2009, pp. 17-34.
- [6] J. A. Gómez, T. A. Sobrinho, J. V. Giráldez, E. Fereres, Soil Management Effects on Runoff, Erosion and Soil Properties in An Olive Grove of Southern Spain, *Soil and Tillage Research*, Vol. 102, No. 1, 2009, pp. 5-13.
- [7] R. Almalki, M. Khaki, P. M. Saco, J. F. Rodriguez, Monitoring and Mapping Vegetation Cover Changes in Arid and Semi-arid Areas Using Remote Sensing Technology: A Review, *Remote Sensing*, Vol. 14, No. 20, 2022, pp. 5143.
- [8] X. Cui, C. Gibbes, J. Southworth, P. Waylen, Using Remote Sensing to Quantify Vegetation Change and Ecological Resilience in A Semi-arid System, *Land*, Vol. 2, No. 2, 2013, pp. 108-130.
- [9] Z. G. Bai, D. L. Dent, L. Olsson, M. E. Schaepman, Proxy Global Assessment of Land Degradation, *Soil Use and Management*, Vol. 24, No. 3, 2008, pp. 223-234.
- [10] J. Li, J. Lewis, J. Rowland, G. Tappan, L. Tieszen, Evaluation of Land Performance in Senegal Using Multi-Temporal NDVI and Rainfall Series, *Journal of Arid Environments*, Vol. 59, No. 3, 2004, pp. 463-480.
- [11] C. Yang, J. H. Everitt, D. Murden, Evaluating High Resolution SPOT 5 Satellite Imagery for Crop Identification, *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 75, No. 2, 2011, pp. 347-354.
- [12] Y. Ding, Y. Feng, K. Chen, X. Zhang, Analysis of Spatial and Temporal Changes in Vegetation Cover and Its Drivers in the Aksu River Basin, China, *Scientific Reports*, Vol. 14, No. 1, 2024, pp. 10165.
- [13] H. A. Huy, Assessment of Vegetation Cover Changes in Some Urban and Peri-urban Areas of Hanoi Using Multispectral and Multitemporal LANDSAT Satellite Imagery, *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 2016.

- [14] P. V. Khoa, N. Q. Hieu, N. T. T. An, P. D. Son, P. V. Duan, Application of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for Rapid Identification of Selected Forest Types in the Central Highlands, Vietnam, *Journal of Forestry Science and Technology*, Vol. 5, 2019, pp. 81-89.
- [15] D. N. B. Toan, D. T. Nhung, N. T. D. My, N. N. Thach, P. V. Manh, Monitoring Mangrove Vegetation Using Remote Sensing and Machine Learning Models: A Case Study in Quy Nhon City, Binh Dinh Province, Vietnam, *Journal of Surveying and Mapping Science*, Vol. 50, 2021, pp. 29-38.
- [16] N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, R. Moore, Google Earth Engine: Planetary-scale Geospatial Analysis for Everyone, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 202, 2017, pp. 18-27.
- [17] F. J. Kriegler, Preprocessing transformations and Their Effects on Multispectral Recognition, In *Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 1969, pp. 97-131.
- [18] Y. Zha, J. Gao, S. Ni, Use of Normalized Difference Built-up Index in Automatically Mapping Urban Areas from TM Imagery, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 3, 2003, pp. 583-594.
- [19] J. Chen, P. Jönsson, M. Tamura, Z. Gu, B. Matsushita, L. Eklundh, A Simple Method for Reconstructing A High-quality NDVI Time-series Data Set Based on the Savitzky-golay Filter, *Remote sensing of Environment*, Vol. 91, No. 3-4, 2004, pp. 332-344, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.03.014>.
- [20] K. Pearson, VII. Mathematical Contributions to the Theory of Evolution -III. Regression, Heredity, and Panmixia, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, Containing Papers of A Mathematical or Physical Character*, No. 187, 1896, pp. 253-318.