



PHẦN THỨ HAI: NGHIÊN CỨU, ỨNG DỤNG

Phân tích sự thay đổi lớp phủ và ảnh hưởng đến nhiệt độ bề mặt từ hoạt động phát triển sân golf ở Hà Nội bằng viễn thám

Nguyễn Kim Anh¹, Yuei-An Liou^{2*}, Lê Quang Toàn³, Đào Đình Châm¹

¹Viện Các Khoa học Trái đất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Trung tâm nghiên cứu không gian và viễn thám, Trường Đại học Quốc lập Trung ương Đài Loan,

³Trung tâm Vũ trụ Việt Nam, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

*Email tác giả liên hệ: nguyenkimanh@ies.vast.vn, yueian@csrsr.ncu.edu.tw

DOI: 10.5281/zenodo.15205512

Tóm tắt:

Quá trình đô thị hóa dẫn đến những thay đổi đáng kể trong việc sử dụng đất, tác động trực tiếp đến các điều kiện khí hậu địa phương, đặc biệt là nhiệt độ bề mặt (LST). Một trong những hình thức sử dụng đất đang ngày càng được mở rộng là các sân golf, đòi hỏi diện tích lớn và thường thay thế các khu vực phủ thực vật tự nhiên. Điều này dẫn đến sự mất cân bằng năng lượng bề mặt và làm biến đổi môi trường nhiệt khu vực. Nghiên cứu này sử dụng tư liệu viễn thám để phân tích tác động của việc thay đổi lớp phủ bề mặt (LULC) đến nhiệt độ bề mặt trong bối cảnh mở rộng các sân golf tại Hà Nội giai đoạn từ năm 1989 - 2023. Mục tiêu cụ thể của nghiên cứu là (i) đánh giá sự thay đổi LULC và mở rộng sân golf; (ii) tính toán LST; và (iii) phân tích mối quan hệ giữa LULC và LST trong các năm 1989, 1999, 2009, 2020 và 2023. Kết quả cho thấy, sự suy giảm liên tục của diện tích che phủ thực vật theo thời gian, trong khi các khu vực xây dựng và đất trống có xu hướng gia tăng rõ rệt từ năm 1989 đến 2023. Các khu vực trung tâm thành phố, nơi có mật độ xây dựng cao và ít cây xanh, ghi nhận mức nhiệt độ bề mặt cao nhất. Đặc biệt, quá trình chuyển đổi đất thành sân golf cũng góp phần làm gia tăng LST, tùy thuộc vào loại hình phủ bề mặt trước đó. Phân tích thống kê giữa các khu vực bên trong và bên ngoài sân golf cho thấy sự khác biệt rõ rệt về LST, phản ánh mức độ ảnh hưởng của việc phát triển sân golf. Những phát hiện này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc tích hợp yếu tố nhiệt vào quy hoạch đô thị, hướng tới sự phát triển bền vững trong bối cảnh đô thị hóa diễn ra nhanh chóng.

Từ khóa: Sân golf; Viễn thám; Thay đổi sử dụng và lớp phủ bề mặt đất (LULC); Nhiệt độ bề mặt (LST); Đô thị hóa; Hà Nội

Ngày nhận bài: 14/03/2025

Ngày sửa lại: 28/03/2025

Ngày chấp nhận đăng: 31/03/2025

Ngày xuất bản: 14/04/2025

Assessing Land Cover Changes and Surface Temperature Impact of Golf Course Development in Hanoi Using Remote Sensing

Kim-Anh Nguyen¹, Yuei-An Liou^{2*}, Quang Toan Le³, Dinh Cham Dao¹

¹Institute of Earth Science, Vietnam Academy of Science and Technology,
18 Hoang Quoc Viet Rd., Cau Giay District, Hanoi 100000, Viet Nam

²Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University,
No. 300, Zhongda Rd., Zhongli District, Taoyuan City 320317, Taiwan, R.O.C.

³Vietnam National Space Center, Vietnam Academy of Science and Technology,
18 Hoang Quoc Viet Rd., Cau Giay District, Hanoi 100000, Viet Nam

Corresponding author: Email: nguyenkimanh@ies.vast.vn, yueian@csrsr.ncu.edu.tw

Abstract:

The rapid pace of urbanization has led to significant changes in land use, directly impacting local climatic conditions, particularly land surface temperature (LST). Among the expanding forms of land use are golf courses, which require large areas and often replace natural vegetation cover. This shift disrupts the surface energy balance and alters the regional thermal environment. This study employs remote sensing data to analyze the effects of land use and land cover (LULC) changes on LST in the context of golf course expansion in Hanoi from 1989 to 2023. The specific objectives of this research are: (i) to assess changes in LULC and the expansion of golf courses; (ii) to calculate LST; and (iii) to analyze the relationship between LULC and LST in the years 1989, 1999, 2009, 2020, and 2023. The results show a continuous



decline in vegetative cover over time, while built-up areas and bare land have significantly increased from 1989 to 2023. The highest LST values were recorded in the city center, where high building density and limited greenery are observed. Notably, the conversion of land into golf courses has also contributed to LST increases, depending on the previous land cover type. Statistical analysis between areas inside and outside golf courses reveals clear differences in LST, indicating the thermal impact of golf course development. These findings highlight the importance of integrating thermal considerations into urban planning, aiming for sustainable development amid rapid urbanization.

Keywords: *Golf course expansion; Remote sensing; Land use and land cover change (LULC); Land surface temperature (LST); Urbanization; Hanoi.*

Ngày nhận bài: 26/03/2025 Ngày sửa lại: 08/04/2025 Ngày chấp nhận đăng: 10/04/2025 Ngày xuất bản: 14/04/2025

1. Giới thiệu

Ngày nay, với sự tích hợp khéo léo của công nghệ viễn thám và GIS trong giám sát linh hoạt việc sử dụng đất và thay đổi loại hình phủ bề mặt (LULC) theo thời gian (Nguyen et al., 2016, 2020a; Hauser et al., 2017; Hoan et al., 2018; Guo et al., 2021). Với khả năng ghi nhận sự thay đổi không gian và thời gian quy mô lớn khiến cho viễn thám trở thành phương pháp thiết yếu để khảo sát tài nguyên đất và phân tích các chuyển đổi cảnh quan (Nguyen et al., 2020b; Li et al., 2021). Khi quá trình đô thị hóa và phát triển đất đai ngày càng tăng cao, những thay đổi trong LULC gây ra những tác động môi trường đáng kể, đặc biệt là đến nhiệt độ bề mặt đất (LST) (Tran et al., 2017; Iman et al., 2021; Singh et al., 2022; Santhosh and Shilpa, 2023; Le et al., 2022; Thien et al., 2024, 2025).

LST phản ánh nhiệt độ phát ra từ bề mặt Trái đất, bao gồm cả thực vật và đất trống. Theo dõi LST giúp đánh giá tác động môi trường và hiện tượng đảo nhiệt đô thị. Việc kết hợp công nghệ viễn thám với phân tích LST cung cấp những dữ liệu quan trọng về đặc điểm nhiệt của bề mặt, từ đó hỗ trợ cho việc quản lý sử dụng đất bền vững và đề xuất giải pháp thích ứng với biến đổi khí hậu.

Những thay đổi LULC diễn ra do nhiều nguyên nhân và là hệ quả tất yếu của quá trình phát triển đô thị, đặc biệt là ở những thành phố đang phát triển nhanh như Hà Nội. Một trong những yếu tố góp phần là việc mở rộng các sân golf, điều này ảnh hưởng đến mối quan hệ giữa LULC và LST. Tác động của việc phát triển sân golf vượt xa phạm vi chuyển đổi đất, ảnh hưởng đến vi khí hậu địa phương và nhiệt bề mặt. Các sân golf đã trở thành đối tượng nghiên cứu trong nhiều lĩnh vực như sinh thái, quy hoạch cảnh quan, khoa học môi trường, nghiên cứu đất, quản lý không gian xanh và quy hoạch đô thị (Dimock, 2004; Lyman et al., 2007; Chen et al., 2011; Zhang et al., 2012; Carlson et al., 2022; Mauri et al., 2021).

Nguyen et al. (2022) đã nghiên cứu vai trò của sân golf trong việc giảm hiệu ứng đảo nhiệt đô thị tại Perth, Úc sử dụng công nghệ viễn thám. Kết quả nghiên cứu cho thấy các sân golf đô thị có LST thấp thứ hai ($\sim 31^{\circ}\text{C}$), chỉ sau các khu bảo tồn ($\sim 30^{\circ}\text{C}$), trong khi các khu dân cư mật độ cao, công nghiệp và đường chính ghi nhận LST cao hơn. Giá trị nhiệt độ bề mặt đất (LST) dao động từ 35°C đến 37°C . Điều này cho thấy các sân golf đóng vai trò quan trọng trong việc làm giảm nhiệt đô thị vào mùa hè.



Nghiên cứu này nhằm đánh giá tác động của thay đổi lớp phủ sử dụng đất (LULC) đến nhiệt độ bề mặt đất (LST) liên quan đến việc mở rộng sân golf ở Hà Nội trong giai đoạn từ 1989 đến 2023, sử dụng công nghệ viễn thám. Bằng cách phân tích các mô hình không gian và nhiệt dài hạn, nghiên cứu cung cấp thông tin quan trọng về hệ quả môi trường của việc phát triển sân golf, đặc biệt trong bối cảnh hiệu ứng đảo nhiệt đô thị (UHI) và quản lý sử dụng đất bền vững. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp những tư liệu cần thiết giúp hỗ trợ các chính sách phát triển bền vững, phù hợp với Mục tiêu Phát triển Bền vững (SDGs) của Liên Hợp Quốc, đặc biệt là SDG 11 (Thành phố và cộng đồng bền vững) và SDG 15 (Bảo vệ tài nguyên đất).

Mục tiêu nghiên cứu:

(i) Đánh giá sự thay đổi của lớp phủ sử dụng đất và sự mở rộng không gian của các sân golf trong giai đoạn nghiên cứu.

(ii) Phân tích những biến động của nhiệt độ bề mặt đất (LST) liên quan đến các thay đổi lớp phủ này.

(iii) Phân tích mối quan hệ giữa LULC và LST tại thành phố Hà Nội các năm 1989, 1999, 2009, 2020 và 2023.

Ngoài ra, nghiên cứu còn góp phần mở rộng thảo luận về tính bền vững môi trường về sự phát triển sân golf, bằng cách xem xét vai trò của chúng trong việc làm mát hoặc gia tăng nhiệt đô thị. Kết quả sẽ giúp xác định sân golf có thực sự hoạt động như các không gian làm mát hay chỉ góp phần làm tăng nhiệt độ đô thị do việc chuyển đổi đất đai, giảm thảm thực vật, mất nguồn nước và thay đổi kiểu sử dụng đất xung quanh.

2. Phương pháp nghiên cứu

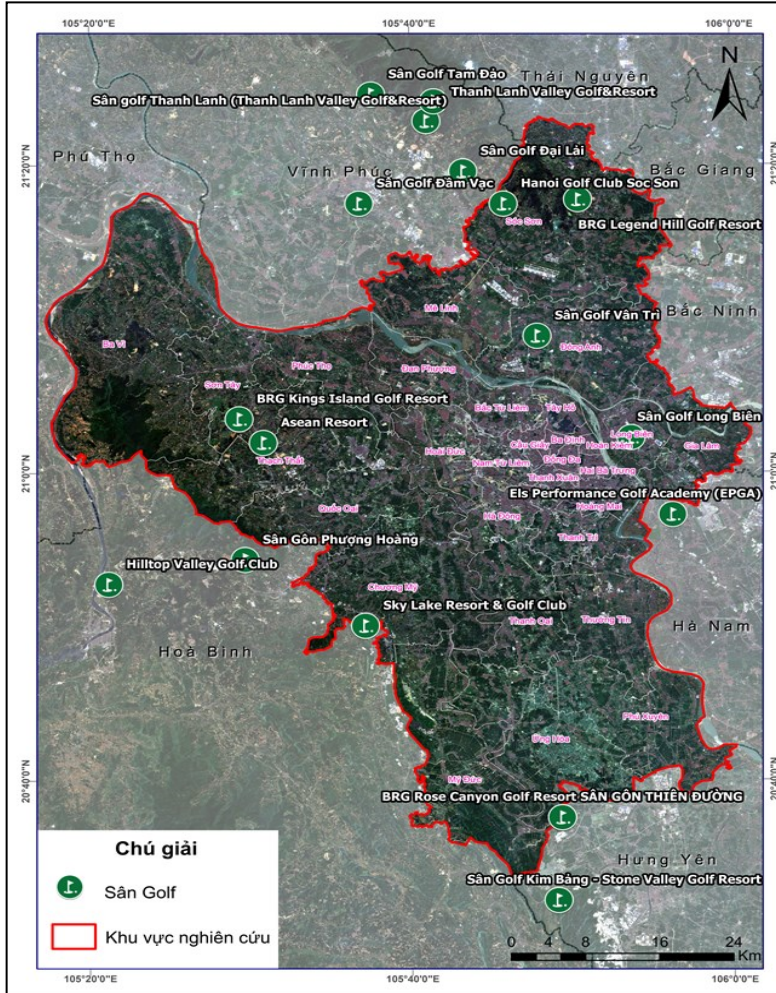
2.1. Khu vực nghiên cứu

Thành phố Hà Nội là một trong những đô thị phát triển và mở rộng nhanh. Là trung tâm chính trị, kinh tế và văn hóa của cả nước, Hà Nội đã trải qua những thay đổi đáng kể về sử dụng đất trong vài thập kỷ qua. Tính đến tháng 12 năm 2022, dân số Hà Nội ước tính khoảng 8,4 triệu người, trở thành một trong những thành phố đông dân và phát triển nhanh nhất Đông Nam Á.

Hà Nội có khí hậu cận nhiệt đới ẩm với bốn mùa rõ rệt. Thành phố nhận được lượng bức xạ mặt trời cao trong năm, nhiệt độ trung bình hàng năm khoảng 24,9°C. Độ ẩm thường dao động trong khoảng 80–82%, và lượng mưa trung bình hàng năm trên 1.800 mm (Do et al., 2023). Các điều kiện khí hậu này, kết hợp với quá trình đô thị hóa nhanh, đã làm tăng cường hiệu ứng đảo nhiệt đô thị (UHI), khiến việc quy hoạch sử dụng đất và không gian xanh trở nên ngày càng cấp thiết.

Trong những năm gần đây, với sự mở rộng của các sân golf ở Hà Nội đã nhận được sự quan tâm do tác động của chúng đối tới thay đổi sử dụng đất và tính bền vững môi trường. Dù sân golf thường được quảng bá là không gian xanh giúp làm mát đô thị và cung cấp những tiện ích giải trí, nhưng sự mở rộng của chúng cũng đang đặt ra nhiều lo ngại về

phá rừng, chuyển đổi đất và quản lý tài nguyên nước. Do đó, việc hiểu rõ sự thay đổi không gian của sự mở rộng sân golf và tác động của chúng đến LST là thiết yếu để quy hoạch đô thị và phát triển bền vững có cơ sở.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu thành phố Hà Nội, Việt Nam

2.2. Dữ liệu Landsat và Sentinel-2

Để phân tích thay đổi LULC trong khu vực nghiên cứu, nghiên cứu sử dụng ảnh vệ tinh được thu thập qua các năm như bao gồm Landsat 5TM cho các năm 11/09/1989, 02/05/1999, 08/05/2007 và 04/10/2009; Landsat 8 OLI/TIRS cho các năm 01/07/2015, 30/07/2020 và 23/07/2023; và Sentinel-2 cho các năm 05/12/2019 và 31/08/2023. Những dữ liệu này được lấy miễn phí từ nền tảng Earth Explorer của Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS) <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

2.3. Xử lý ảnh và phân loại

Việc phân loại các lớp phủ có thành công hay không phần lớn phụ thuộc và tính hợp lý của hệ thống phân loại. Để đạt độ chính xác cao, hệ thống này cần dễ hiểu và bao gồm tất cả các lớp phủ mặt đất có trong khu vực nghiên cứu. Tất cả các lớp trong hệ thống phân loại cần được định nghĩa rõ ràng để tránh nhầm lẫn và thường được nhóm theo



cấp bậc để thuận tiện cho thành lập bản đồ. Hệ thống phân loại lớp phủ sử dụng đất (LULC) trong nghiên cứu này được chia thành năm nhóm chính: (1) đất cát và đất trống, (2) đất trống, (3) Đất xây dựng, (4) mặt nước, và (5) thảm thực vật. Việc phân loại dựa trên dữ liệu khảo sát thực địa và ảnh có độ phân giải cao từ Google Earth Pro, đảm bảo độ chính xác và tính nhất quán trong việc xác định lớp phủ bề mặt.

Để tạo ảnh tổng hợp nhiều phổ cho phân loại, các dải phổ từ vệ tinh Landsat và Sentinel-2 đã được sử dụng như dải 1–5 và dải 7 từ Landsat 5 TM, dải 1–7 từ Landsat 8 OLI/TIRS, dải 2–4 và dải 8 từ Sentinel-2, được xếp chồng để tạo ảnh tổng hợp. Sau khi hiệu chỉnh hình học và bức xạ, thuật toán phân loại có giám sát dựa trên phương pháp maximum likelihood được áp dụng.

Để đánh giá sự biến động LULC theo thời gian, các bản đồ phân loại từ các năm khác nhau được chồng lớp và so sánh. Phân tích biến động được thực hiện theo các giai đoạn: 1989–1999, 1999–2009, 2009–2020 và 2020–2023. Phương pháp này làm rõ những biến đổi LULC lâu dài, đồng thời đánh giá tác động của quá trình đô thị hóa, bao gồm cả sự phát triển sân golf đối với khu vực nghiên cứu.

2.4. Nhiệt độ bề mặt đất (LST)

LST là tham số quan trọng trong các nghiên cứu về lĩnh vực khí hậu và môi trường, cho thấy nhiệt độ bức xạ của bề mặt Trái Đất. Công nghệ viễn thám cung cấp phương pháp hiệu quả để ước tính LST, nhờ khả năng quan sát nhiệt không gián đoạn theo không gian trên diện rộng.

Trong nghiên cứu này, LST được suy ra từ các dải hồng ngoại nhiệt của ảnh Landsat trong các năm trùng với giai đoạn phân loại LULC và những năm có sự kiện thời tiết cực đoan ở Hà Nội. Giá trị LST được ước tính từ các dải nhiệt của cảm biến Landsat, cụ thể là: Dải 6 từ Landsat 5 TM (1989, 1999, 2007 và 2009), dải 10 từ Landsat 8 OLI/TIRS (2015, 2020, 2023).

Việc chuyển đổi giá trị số (DN) sang độ bức xạ sử dụng các phương trình hiệu chuẩn:

$$L_{\lambda} = \frac{L_{max\lambda} - L_{min\lambda}}{QCal_{max} - QCal_{min}} x(QCal - QCal_{min}) + L_{min\lambda} \quad (1)$$

Trong đó:

- L_{λ} : độ bức xạ cảm biến
- $L_{max\lambda}, L_{min\lambda}$: độ bức xạ tối đa và tối thiểu của dải
- $QCal_{max}, QCal_{min}$: giá trị DN được hiệu chỉnh tối đa và tối thiểu
- $QCal$: giá trị DN của điểm ảnh

$$L_{\lambda} = M_L x QCAL + A_L \quad (2)$$

Trong đó:

- M_L : hệ số nhân

- AL: hệ số cộng cho bức xạ

Sau đó, công thức sau được áp dụng để tính nhiệt độ sáng theo độ C:

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

Với K_1 và K_2 là hằng số hiệu chuẩn cho Landsat 5 và 8.

Để hiệu chỉnh giá trị nhiệt độ bề mặt, phương pháp dựa trên độ phát xạ (ε) được áp dụng. Quy trình hiệu chỉnh nhiệt độ này được thực hiện theo các bước sau đây:

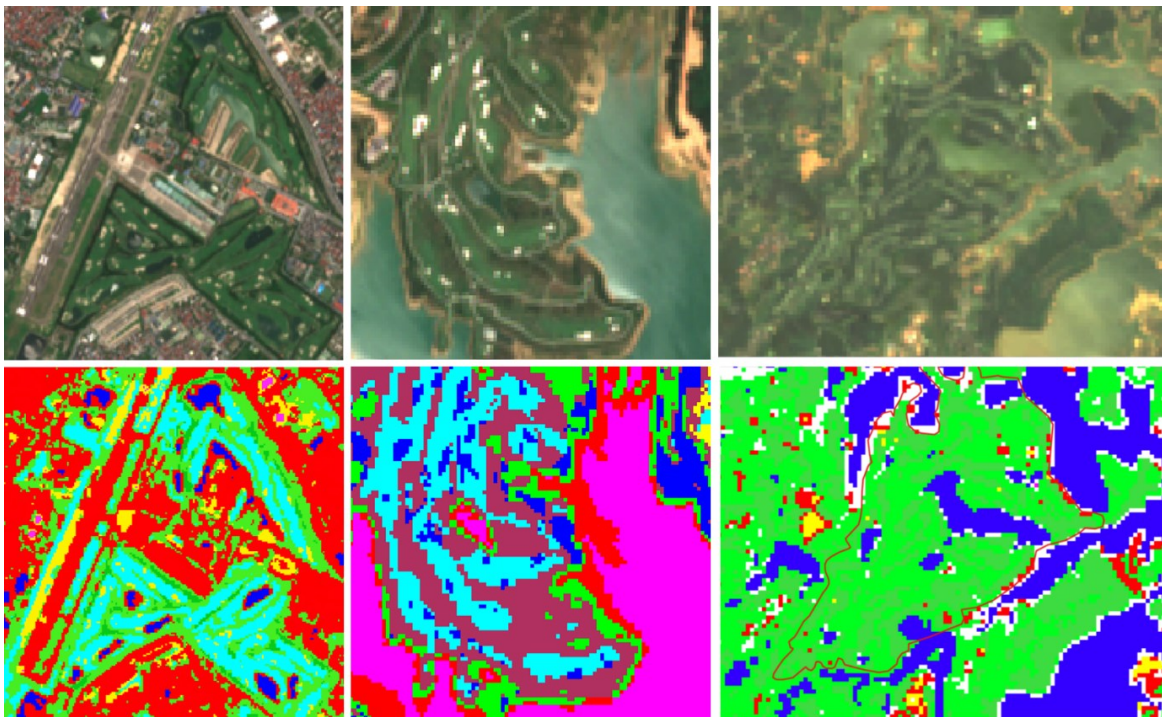
$$LST = \frac{T_B}{1 + \frac{\lambda \cdot T_B}{\rho} \times \ln \varepsilon} \quad (4)$$

Trong đó λ : là bước sóng trung tâm của dải bức xạ phát ra; $\rho = hc/K$ (1.43810^{-2} mK); h : hằng số Planck (6.2610^{-34} J.giây); c : tốc độ ánh sáng (2.99810^8 m/giây); K : hằng số Stefan-Boltzmann (1.3810^{-23} J/K); $\varepsilon = 0.004 \times P_v + 0.986$.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phân tích động thái LULC

Phân tích LULC tại Hà Nội giai đoạn 1989-2023 bằng phương pháp phân loại có kiểm định đã xác định dạng cảnh quan đa dạng gồm thảm thực vật, đất trống/hoang, khu xây dựng, đất cát và mặt nước. Những kết quả này cung cấp những thông tin giá trị về sự thay đổi cả không gian và thời gian của biến động LULC, đồng thời cho thấy rõ ảnh hưởng của quá trình mở rộng đô thị và sử dụng tài nguyên đất đối với môi trường thành phố.



Hình 2. Lớp phủ đất tại các khu vực sân golf của thành phố Hà Nội



Để giám sát và định lượng sự biến đổi của lớp phủ cũng như mục đích sử dụng đất (LULC) qua thời gian, phân tích biến động đất đai đóng vai trò cực kỳ quan trọng. Kỹ thuật này dựa trên việc đối chiếu điểm ảnh từ các ảnh vệ tinh thu thập ở những thời điểm khác nhau nhằm xác định, phân loại và đo lường những thay đổi về mặt không gian của cảnh quan. Nhờ đó, các mô hình và xu thế trong quá trình chuyển đổi đất đai được nhận diện, cung cấp cái nhìn thấu đáo về động lực của việc mở rộng đô thị, mất rừng, chuyển đổi nông nghiệp và các thay đổi môi trường khác. Những phát hiện này là cơ sở dữ liệu giá trị, hỗ trợ công tác ra quyết định trong quy hoạch đô thị, quản lý môi trường và xây dựng chính sách, qua đó thúc đẩy các phương pháp tiếp cận sử dụng đất bền vững.

Bảng 1. Biến động lớp phủ và sử dụng đất (LULC) của thành phố Hà Nội giai đoạn 1989 - 2023 (ha)

Tên lớp phủ	1989	1999	2009	2020	2023
Đất trồng	25.498,6	23.168,8	21.408,9	17.384,2	20.730,2
Đất cát	3.599,8	1.497,1	2.197,1	1.967,0	1.847,1
Lớp phủ thực vật	193.759,0	175.931,2	168.407,1	170.607,1	146.528,0
Đất xây dựng	27.432,0	52.388,2	57.843,5	63.026,9	91.577,6
Mặt nước	26.211,2	23.515,3	266.44,1	23.515,3	15.817,7
Tổng cộng	276.500,6	276.500,6	276.500,6	276.500,6	276.500,6

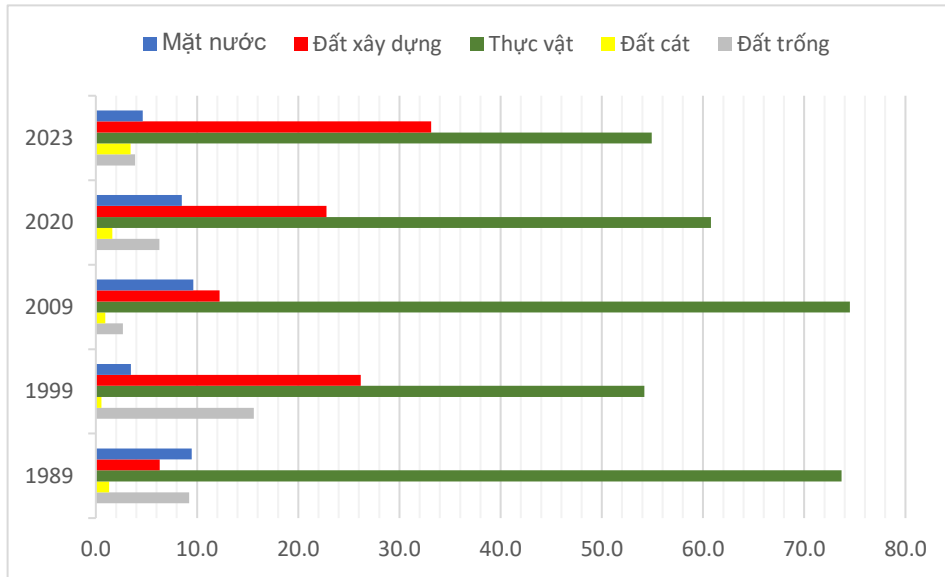
3.2. Đô thị hóa và biến đổi sử dụng đất ở Hà Nội

Quá trình mở rộng của thành phố thể hiện qua ba mô hình chính: phát triển lấp đầy (khai thác các lô đất trống xen kẽ), lan tỏa ra bên ngoài, và hình thành các dải đô thị dọc theo các tuyến giao thông lớn (Phạm và cộng sự, 2015). Trong quá trình phát triển, tâm điểm phát triển đô thị nằm ở nội thành, ảnh hưởng của nó đã lan rộng ra các khu vực ngoại ô và ven đô, làm thay đổi lớp phủ sử dụng đất. Hệ quả rõ rệt từ quá trình này là sự thu hẹp quy mô lớn diện tích đất nông nghiệp để nhường chỗ cho các loại hình sử dụng phi nông nghiệp, bao gồm khu dân cư, thương mại và vui chơi giải trí. Trong bối cảnh đó, việc xây dựng các sân golf nổi lên như một nhân tố đáng kể góp phần vào sự chuyển đổi đất đai, đồng thời làm dấy lên các vấn đề liên quan đến tác động môi trường và kinh tế - xã hội. Việc phân tích và nắm bắt những biến động này là nền tảng quan trọng cho quy hoạch đô thị bền vững và quản lý tài nguyên đất một cách hợp lý.

Phân tích so sánh lớp phủ và sử dụng đất (LULC) từ các năm 1989, 1999, 2009, 2020 và 2023 cho thấy rõ tác động đáng kể của quá trình đô thị hóa và phát triển kinh tế tới cảnh quan Hà Nội. Các kết quả chỉ ra một sự chuyển đổi lớn từ đất nông nghiệp sang các loại hình sử dụng đất phi nông nghiệp, đi kèm với đó là nhu cầu ngày càng tăng đối với không gian giải trí (Lin và cộng sự, 2022).

Hình 3, lớp phủ thực vật đã suy giảm liên tục theo thời gian, chủ yếu chuyển đổi thành các khu vực xây dựng. Tương tự, diện tích đất trồng đã giảm mạnh, đặc biệt là từ năm 2009 đến nay. Diện tích được phân loại là mặt nước cũng cho thấy sự giảm nhẹ qua các năm. Đáng chú ý là, mặc dù sự mở rộng đô thị vẫn tiếp diễn, tốc độ tăng trưởng diện

tích xây dựng đã chậm lại trong những năm gần đây. Xu hướng này đã góp phần làm giảm sự tích tụ nhiệt từ các khu vực mặt nước như hồ và ao, có khả năng ảnh hưởng đến vi khí hậu đô thị của Hà Nội trong giai đoạn nghiên cứu.



Hình 3. Tỷ lệ (%) thay đổi lớp phủ và sử dụng đất (LULC) của thành phố Hà Nội giai đoạn 1989 - 2023"

3.3 Đánh giá và kiểm tra độ chính xác

Để đánh giá độ chính xác của bản đồ phân loại lớp phủ đất, ma trận sai số là một công cụ không thể thiếu. Công cụ hoạt động bằng cách đối chiếu kết quả phân loại với dữ liệu thực tế (dữ liệu tham chiếu) được thu thập tại các điểm mẫu ngẫu nhiên (theo Stein và cộng sự, 1999; Congalton và Green, 2019). Bảng ma trận này không chỉ đánh giá dựa trên dữ liệu thống kê về hiệu suất phân loại mà còn là nền tảng để tính toán các chỉ số đo lường độ chính xác quan trọng.

Để đảm bảo đánh giá chặt chẽ, nghiên cứu áp dụng các tiêu chí đánh giá độ chính xác được chuẩn hóa dựa trên ma trận sai số. Ba chỉ số độ chính xác chính được xem xét là: độ chính xác tổng thể (overall accuracy), độ chính xác theo lớp (PA - Producer's Accuracy & UA - User's Accuracy). Chỉ số Kappa từ 0.75 – 0.8 là tốt, từ 0.8 trở lên là gần như hoàn hảo. Ngoài ra, hệ số Kappa được sử dụng để đánh giá độ tin cậy của kết quả phân loại. Khoảng tin cậy 95% được xác định trên 2 tập giá trị: mẫu đánh giá và kết quả phân loại mẫu đánh giá. Mỗi khoảng bao thể hiện độ chính xác nhỏ nhất và lớn nhất của kết quả phân loại theo lớp đối tượng. Chỉ số độ chính xác chung là giá trị trung bình của khoảng tin cậy, bằng số đối tượng xác định đúng và phân loại đúng, chia cho từng tập mẫu.

Hệ số Kappa được tính toán theo công thức dưới đây:

$$\hat{K} = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}} \quad (5)$$



Việc đánh giá độ chính xác được tiến hành bằng cách chọn ngẫu nhiên các đối tượng (features) trên các bản đồ đã phân loại và đối chiếu chúng với ảnh có độ phân giải cao từ Google Earth. Một vùng quan tâm (ROI - Region of Interest) cụ thể tại Hà Nội đã được chọn cho mục đích này. Trong vùng ROI này, 500 điểm kiểm định ngẫu nhiên đã được tạo và nhập vào Google Earth để đánh giá độ chính xác phân loại tại bốn thời điểm chính: 1989, 2009, 2020 và 2023.

Kết quả đánh giá cho thấy mức độ chính xác phân loại cao, với giá trị Kappa vượt quá 0,8 cho tất cả các năm được phân tích. Sự phù hợp cao này giữa kết quả phân loại và dữ liệu tham chiếu khẳng định tính vững chắc và độ tin cậy của thuật toán phân loại đã được áp dụng. Tuy nhiên, mặc dù có độ chính xác tổng thể cao, thuật toán vẫn bộc lộ một số hạn chế nhất định. Cụ thể, các tòa nhà có độ phản xạ cao đôi khi bị phân loại nhầm thành cát, điều này có thể ảnh hưởng đến việc xác định chính xác các sân golf.

3.4. Xây dựng bản đồ nhiệt độ bề mặt đất (LST) tại thành phố Hà Nội

Bản đồ nhiệt độ bề mặt đất (LST - Land Surface Temperature) của Hà Nội được xây dựng từ các kênh hồng ngoại nhiệt của ảnh vệ tinh Landsat cho các năm đã được chọn trong quá trình phân loại LULC (lớp phủ và sử dụng đất). Ngoài ra, LST cũng được tính toán cho những năm ghi nhận các đợt nắng nóng cực đoan (extreme heat events) để phân tích sự biến thiên nhiệt độ theo thời gian.

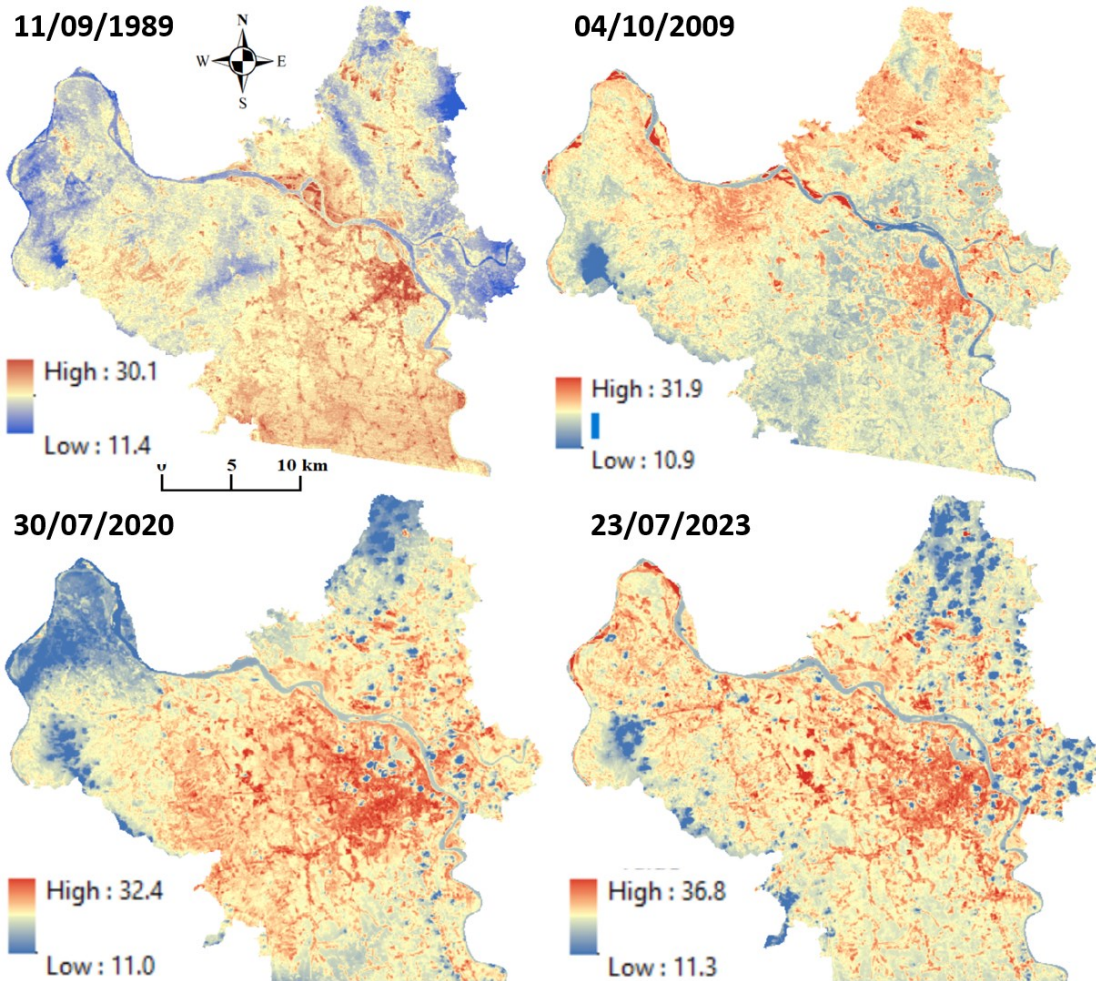
Hình 4 trình bày các kết quả LST thu được từ ảnh Landsat cho các năm 1989, 2007, 2009, 2015, 2020 và 2023. Các bản đồ này cung cấp một phân tích toàn diện theo thời gian về sự phân bố nhiệt độ trên toàn thành phố, làm nổi bật tác động của quá trình đô thị hóa và thay đổi lớp phủ đất đến động thái nhiệt (thermal dynamics). Những phát hiện này góp phần vào việc tìm hiểu hiệu ứng đảo nhiệt đô thị và mối tương quan của nó với những biến đổi trong sử dụng đất tại Hà Nội.

Kết quả trình bày trong Hình 4 cho thấy rằng các giá trị nhiệt độ bề mặt đất (LST) cao chủ yếu tập trung ở trung tâm thành phố, nơi mà công trình xây dựng dày đặc, lớp phủ thực vật hạn chế, và các bề mặt lát đá/nhựa rộng lớn góp phần làm tăng nhiệt độ. Ngoài ra, các trục đường giao thông chính cũng thể hiện giá trị LST cao do sự giữ nhiệt từ mặt đường và khí thải xe cộ.

Ngoài khu vực lõi đô thị, các khu vực có bề mặt cát trống, bao gồm các bãi cát ven sông và các vùng đất cát trống trải, cũng cho thấy giá trị LST cao. Ngược lại, các khu vực có độ ẩm cao như các khu vực mặt nước, vùng ngập lũ trũng thấp, và các khu vực có thảm thực vật dày đặc thể hiện giá trị LST thấp hơn đáng kể. Đáng chú ý là, khu vực phía Bắc và phía Tây Hà Nội, nơi có lớp phủ thực vật nhiều hơn và địa hình cao hơn, luôn cho thấy nhiệt độ bề mặt thấp hơn.

Nhiệt độ bề mặt đất (LST) cao nhất được ghi nhận trong giai đoạn nghiên cứu được quan sát vào ngày 1 tháng 7 năm 2015, đạt đỉnh điểm là 40,9°C. Sự kiện nhiệt độ cực đoan này nhấn mạnh tác động của hiệu ứng đảo nhiệt đô thị (UHI - Urban Heat Island)

và làm nổi bật sự cần thiết của các chiến lược quy hoạch đô thị bền vững để giảm thiểu nhiệt độ gia tăng ở Hà Nội.



Hình 4. Nhiệt độ bề mặt đất (LST) của thành phố Hà Nội từ năm 1989 đến năm 2023.

3.5 Ảnh hưởng của những thay đổi lớp phủ và sử dụng đất đến nhiệt độ bề mặt đất trong quá trình phát triển sân golf

3.5.1. Chuyển đổi lớp phủ đất phục vụ phát triển sân golf tại Hà Nội

Việt Nam đang ngày càng khẳng định vị thế là một điểm đến golf hàng đầu châu Á, một xu hướng được phản ánh qua sự mở rộng đáng kể của ngành công nghiệp golf trong nước. Theo Tổ chức Golf Quốc gia (National Golf Foundation), hiện có 78 sân golf đang hoạt động và 43 sân khác đang được xây dựng, đánh dấu mức tăng trưởng kỷ lục so với một thập kỷ trước.

Sự phát triển này không chỉ dừng ở số lượng. Việt Nam đang ưu tiên xây dựng các sân golf chất lượng cao, được thiết kế để hòa hợp tối ưu với địa hình tự nhiên và đặt tại những vị trí chiến lược, vừa thuận tiện di chuyển vừa tăng cường sức hấp dẫn du lịch. Lý do thúc đẩy cho sự mở rộng này đến từ nhu cầu trải nghiệm golf đẳng cấp ngày càng tăng của cả thị trường nội địa và quốc tế.



Bảng 2. Biến động đất sân golf của thành phố Hà Nội

Giai đoạn	Diện tích gia tăng (ha)	Tốc độ tăng trưởng (%)
1989-2000	266,0	31,8
2000-2010	64,1	7,7
2010-2020	505,1	60,5
Tổng cộng	835,1	100,0

Với sự gia tăng nhanh chóng về mức độ phổ biến của môn golf trên khắp Việt Nam, Hà Nội đã chứng kiến sự tăng trưởng đáng kể trong hạ tầng golf của mình. Thành phố hiện có sáu sân golf quy mô lớn (tiêu chuẩn), mỗi sân có 18 lỗ trở lên, cùng với nhiều cơ sở tập golf phục vụ cho cả người chơi nghiệp dư và chuyên nghiệp (Liou và Nguyen, 2023).

Việc mở rộng mạng lưới sân golf trên toàn quốc mang lại nhiều lợi ích đa dạng về kinh tế, môi trường và xã hội. Cụ thể, chúng đóng góp giá trị về mặt giải trí và sinh thái, cải thiện không gian xanh và cảnh quan đô thị, tạo ra cơ hội việc làm trong lĩnh vực dịch vụ - khách sạn, đồng thời thúc đẩy tăng trưởng xanh và phát triển du lịch.

Tuy nhiên, song song với những ưu điểm đó, sự phát triển nhanh chóng của các sân golf cũng kéo theo việc chuyển đổi một phần đáng kể diện tích đất nông nghiệp – bao gồm cả ruộng lúa và vườn cây ăn trái – sang phục vụ cho các dự án này. Thực trạng này đặt ra những câu hỏi về an ninh lương thực, tính bền vững trong quy hoạch sử dụng đất và các tác động tiềm ẩn đến môi trường.

Để xác định nguồn gốc các loại hình lớp phủ bị chuyển đổi thành sân golf, Bảng 3 trình bày diện tích của từng loại lớp phủ đất đã được chuyển đổi thành đất sân golf tại các sân golf lớn ở Hà Nội. Trong số đó, Kings' Island Golf Resort là sân lớn nhất, với diện tích 266 hecta, trong đó 203 hecta được chuyển đổi từ lớp phủ thực vật—đây là xu hướng được quan sát thấy ở hầu hết các sân golf trong thành phố.

Đáng chú ý, Sân golf Minh Trí chủ yếu được phát triển trên đất trống và đất xây dựng, khác biệt so với các sân khác vốn chủ yếu thay thế các khu vực có thảm thực vật. Những thay đổi về lớp phủ đất này đóng vai trò then chốt trong việc làm thay đổi nhiệt độ bề mặt đất (LST) tại địa phương, một yếu tố sẽ được phân tích sâu hơn ở phần tiếp theo để đánh giá tác động môi trường của việc mở rộng sân golf.

Bảng 3. Nguồn gốc lớp phủ đất của các sân golf tại thành phố Hà Nội (ha)

Tên lớp phủ	Kings' Island Golf Resort	Sân golf Minh Trí	BRG Legend Hill Golf Resort	Sân golf Vân Trì	Sân golf Long Biên	Sky Lake Golf & Resort
Đất trống	8,0	69,0	59,8	0,2	11,9	2,8
Đất cát	0,0	0,0	0,8	3,5	0,0	0,0
Thảm thực vật	203,1	6,6	84,5	53,1	87,4	136,7



Đất xây dựng	0,0	8,6	8,1	0,0	3,2	0,0
Mặt nước	54,9	1,6	10,9	7,4	7,6	5,7
Tổng	266,0	85,8	164,1	64,1	110,1	145,2

3.5.2. Phân tích nhiệt độ bề mặt đất (LST) ở khu vực sân golf

Lớp phủ hiện tại của các sân golf ở Hà Nội chủ yếu bao gồm ba loại chính: Lớp phủ thực vật (V), Đất trồng & Đất xây dựng (B), và Mặt nước (W). Để đánh giá sự biến động nhiệt độ bề mặt đất (LST) cả bên trong và bên ngoài khu vực sân golf, các điểm lấy mẫu ngẫu nhiên đã được chọn trong các năm khác nhau. Cụ thể: 739 điểm đã được thu thập vào năm 1989; 738 điểm vào năm 2009; 806 điểm vào năm 2020; 807 điểm vào năm 2023.

Trong mỗi năm, các điểm ngẫu nhiên được phân bố trên ba loại lớp phủ chính, cả bên trong ranh giới sân golf và trong vùng đệm 5km bên ngoài mỗi sân golf ở Hà Nội. Các giá trị LST đã được trích xuất từ ảnh vệ tinh nhiệt tại các điểm này cho các năm được chọn (1989, 2009, 2020 và 2023) và sau đó được tính trung bình để so sánh sự biến động nhiệt độ theo loại lớp phủ.

Kết quả tính toán LST cho từng loại lớp phủ bên trong và bên ngoài sân golf được tóm tắt trong Bảng 5, cung cấp cái nhìn sâu sắc về việc phát triển sân golf ảnh hưởng như thế nào đến động thái nhiệt tại địa phương.

Bảng 4. Kết quả đánh giá biến động nhiệt độ bề mặt đất (LST) theo từng loại lớp phủ bên trong và bên ngoài mỗi sân golf tại bốn thời điểm 1989, 2009, 2020 và 2023 (V: Lớp phủ thực vật; B: Đất trồng và Đất xây dựng; W: Mặt nước).

Tên sân golf	Loại lớp phủ	LST (°C) bên trong khu vực sân golf				LST (°C) bên ngoài sân golf (vùng đệm 5 km)			
		1989	2009	2020	2023	1989	2009	2020	2023
(1) Kings' Island Golf Resort	V	24,0	24,7	23,4	24,5	23,6	24,0	22,9	24,0
	B	24,4	24,8	24,1	25,1	23,9	24,4	24,7	25,8
	W	23,0	24,2	22,8	23,8	22,3	23,6	22,8	23,5
(2) Sân golf Minh Trí	V	24,1	26,0	22,3	24,1	22,4	24,5	20,3	22,0
	B	25,3	26,4	22,6	24,3	24,8	25,6	21,6	23,4
	W	24,1	25,5	21,6	23,5	22,5	23,8	20,0	21,0
(3) BRG Legend Hill Golf Resort	V	23,6	24,5	21,9	20,6	22,9	24,3	20,7	20,0
	B	24,7	24,2	22,2	21,3	24,2	25,2	22,1	21,9
	W	23,3	23,8	21,3	22,1	22,3	23,8	21,3	21,3
(4) Sân golf Vân Trì	V	21,8	23,9	23,0	24,3	22,5	23,5	22,3	23,4
	B	22,1	23,8	23,1	23,4	23,9	25,0	24,1	25,9
	W	22,2	23,2	22,5	23,1	22,3	22,7	22,0	22,5



(5) Sân golf Long Biên	V	22,3	23,8	23,9	24,7	21,9	23,9	23,1	23,9
	B	24,1	24,9	24,5	24,5	23,3	25,4	25,1	26,6
	W	22,3	23,5	23,6	24,5	21,3	22,7	20,9	22,0
(6) Sky Lake Golf & Resort	V	24,7	23,4	24,1	23,9	23,8	23,6	23,2	23,0
	B	24,4	23,8	24,2	24,3	25,0	23,7	25,4	24,5
	W	24,2	22,8	23,2	22,3	23,1	24,2	22,7	22,3
Trung bình (Tất cả sân golf)	V	23,8	24,2	23,2	23,4	22,9	23,9	22,3	22,9
	B	24,7	24,8	23,2	23,6	24,3	24,9	23,8	24,6
	W	23,2	23,8	22,3	23,2	22,3	23,2	22,0	22,5

Bảng 5. Biến động chênh lệch nhiệt độ giữa bên trong và bên ngoài sân golf theo năm đối với từng loại lớp phủ mặt đất. Chú thích: Dấu “+” thể hiện nhiệt độ bên trong sân golf cao hơn bên ngoài, còn dấu “-” thể hiện nhiệt độ bên trong sân golf thấp hơn bên ngoài.

Tên sân golf	Tên lớp phủ	1989	2009	2020	2023
(1) Kings' Island Golf Resort (Năm đi vào hoạt động: 1993)	V	0,4	0,7	0,5	0,5
	B	0,5	0,4	-0,6	-0,7
	W	0,7	0,6	0,0	0,3
(2) Sân golf Minh Trí (Năm đi vào hoạt động: 2017)	V	1,7	1,5	2,0	2,1
	B	0,5	0,8	1,0	0,9
	W	1,6	1,7	1,6	2,5
(3) BRG Legend Hill Golf Resort (Năm đi vào hoạt động: 2015)	V	0,7	0,2	1,2	0,6
	B	0,5	-1,0	0,1	-0,6
	W	1,0	0,0	0,0	0,8
(4) Sân golf Vân Trì (Năm đi vào hoạt động: 2007)	V	-0,7	0,4	0,7	0,9
	B	-1,8	-1,2	-1,0	-2,5
	W	-0,1	0,5	0,5	0,6
(5) Sân golf Long Biên (Năm đi vào hoạt động: 2014)	V	0,4	-0,1	0,8	0,8
	B	0,8	-0,5	-0,6	-2,1
	W	1,0	0,8	2,7	2,5
(6) Sky Lake Golf & Resort (Năm đi vào hoạt động: 2012)	V	0,9	-0,2	0,9	0,9
	B	-0,6	0,1	-1,2	-0,2
	W	1,1	-1,4	0,5	0,0

Kết quả trong Bảng 4 và 5 làm nổi bật sự biến động về nhiệt độ bề mặt đất (LST) giữa các khu vực sân golf và môi trường xung quanh trong bốn năm được chọn (1989, 2009, 2020 và 2023). Các quan sát chính bao gồm:

- Các sân golf (1) và (2): Nhiệt độ bề mặt đất (LST) trung bình bên trong các sân này cao hơn LST bên ngoài tại cả bốn thời điểm. Điều này cho thấy rằng các loại lớp phủ và phương thức quản lý sân góp phần vào sự nóng lên cục bộ.



- Các sân golf (5) và (6): Các sân golf này bao gồm cả thảm thực vật và vùng nước, tuy nhiên nhiệt độ của chúng thường cao hơn so với khu vực xung quanh. Mô hình nhiệt độ này có thể liên quan đến hoạt động tưới tiêu, bảo dưỡng cỏ và các bề mặt phản xạ ánh sáng, vốn làm thay đổi điều kiện vi khí hậu.
- Đất trống và đất xây dựng trong sân golf (4, 5) và (6): Trái lại, nhiệt độ bề mặt (LST) bên trong sân golf lại thấp hơn so với bên ngoài. Nguyên nhân có thể là do mức độ đô thị hóa và mật độ xây dựng cao ở các khu vực xung quanh, dẫn đến nhiệt độ bên ngoài sân golf cao hơn.
- Sân golf (4): Thảm thực vật và mặt nước không cho thấy sự khác biệt đáng kể về nhiệt độ bề mặt (LST) giữa bên trong và bên ngoài sân golf trong cả bốn năm khảo sát. Tuy nhiên, các khu vực đất trống và khu vực xây dựng bên trong sân golf liên tục có giá trị LST thấp hơn so với bên ngoài, phù hợp với xu hướng quan sát được tại các sân golf (5) và (6).

Những phát hiện này cho thấy rằng mặc dù các sân golf có thể góp phần vào hiệu ứng làm mát cục bộ, tác động của chúng thay đổi tùy thuộc vào loại lớp phủ, quản lý tưới tiêu và các xu hướng đô thị hóa xung quanh

3.6.3. Tác động của việc mở rộng sân golf đến nhiệt độ bề mặt đất (LST)

Phân tích sự biến động nhiệt độ bề mặt đất (LST) tại các sân golf của Hà Nội giai đoạn từ năm 1989 - 2023 cho thấy các xu hướng rõ rệt đối với từng loại lớp phủ khác nhau:

- Đối với thảm thực vật và mặt nước: Một phát hiện đáng chú ý qua cả bốn năm nghiên cứu là nhiệt độ bề mặt trung bình (LST) đo được bên trong các sân golf luôn vượt trội so với các vùng xung quanh. Xu hướng này chỉ ra rằng các hoạt động như tưới nước, tạo cảnh quan và sự thay đổi đặc tính phản xạ của bề mặt đã góp phần làm tăng nhiệt độ cục bộ ngay tại các sân golf.
- Đối với đất trống và đất xây dựng: Trong giai đoạn năm 1989 - 2009, LST bên trong sân golf cao hơn so với các khu vực xung quanh. Tuy nhiên, từ năm 2009 trở đi, xu hướng này đã đảo ngược, với các khu vực bên ngoài có nhiệt độ cao hơn do sự gia tăng đô thị hóa và mật độ xây dựng.
- Ảnh hưởng tổng thể của việc mở rộng sân golf đến LST: Bảng 3 cung cấp những dữ liệu cho thấy hầu hết các sân golf được xây dựng trong giai đoạn nghiên cứu nằm trên các khu vực trước đây là thảm thực vật. Sự thay đổi lớp phủ này đã tác động đáng kể đến nhiệt độ bề mặt đất (LST), dẫn đến xu hướng LST tăng lên trong phạm vi các khu vực sân golf mới hình thành, ảnh hưởng đến đặc tính nhiệt của các loại hình che phủ đất khác nhau trong quá trình chuyển đổi.

3.6.4. Động thái chuyển đổi đất đai và đô thị hóa

Sự mở rộng sân golf tại Hà Nội trong những thập kỷ qua được đặc trưng bởi:

- Các dự án phát triển quy mô lớn, thường có diện tích từ 100 đến 300 hecta mỗi sân.



- Việc chuyển đổi đất nông nghiệp, đất rừng, hoặc đất bỏ hoang thành khu vực sân golf.
- Ưu tiên lựa chọn các vị trí ngoại thành hoặc ven đô, nơi có quỹ đất và không gian xanh cung cấp môi trường lý tưởng cho việc phát triển sân golf.
- Quá trình đô thị hóa được đẩy nhanh, do các sân golf mới thúc đẩy sự phát triển cơ sở hạ tầng và bất động sản ở các khu vực xung quanh.

Những thay đổi này cho thấy việc mở rộng sân golf đã định hình lại việc sử dụng đất tại Hà Nội, ảnh hưởng đến động thái nhiệt độ, các xu hướng đô thị hóa và sự phân bố không gian xanh.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã sử dụng ảnh vệ tinh Landsat để phân tích những thay đổi về lớp phủ sử dụng đất (LULC) và tác động của chúng đến nhiệt độ bề mặt đất (LST) tại Hà Nội giai đoạn 1989 - 2023. Các kết quả cho thấy rõ quá trình đô thị hóa nhanh chóng, với sự chuyển đổi đáng kể đất nông nghiệp sang các mục đích sử dụng phi nông nghiệp, bao gồm các khu phát triển dân cư, công nghiệp và giải trí như sân golf.

Phân tích sự thay đổi lớp phủ sử dụng đất (LULC) cho thấy diện tích thảm thực vật đã giảm dần, trong khi khu vực xây dựng lại mở rộng và đất trống giảm mạnh, đặc biệt sau năm 2009. Về mặt nhiệt độ bề mặt đất (LST), bản đồ phân bố chỉ ra rằng các khu vực đô thị đông đúc, dọc theo các tuyến đường lớn và vùng cát có nhiệt độ cao hơn; ngược lại, nhiệt độ thấp hơn được ghi nhận ở các khu vực có mặt nước, không gian xanh và địa hình cao.

Sự phát triển của các sân golf đã góp phần làm tăng đáng kể LST tại những nơi đất bị chuyển đổi, với mức độ ảnh hưởng khác nhau tùy thuộc vào loại lớp phủ ban đầu. Mặc dù sân golf mang lại nhiều lợi ích về không gian xanh, cảnh quan và du lịch cao cấp, sự gia tăng nhanh chóng của chúng cũng đặt ra những vấn đề về quy hoạch quản lý đất đai, việc sử dụng nguồn nước và tính bền vững của môi trường, nhất là khi xét đến tác động làm thay đổi nhiệt độ cục bộ. Do đó, việc quản lý hiệu quả quá trình biến đổi đất đai này là yếu tố then chốt để Hà Nội có thể cân bằng giữa phát triển đô thị, duy trì bền vững sinh thái và tăng cường khả năng chống chịu với biến đổi khí hậu.

Lời cảm ơn

Công trình này là một sản phẩm chính của đề tài do Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam tài trợ. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ tài chính thông qua mã số đề tài VAST01.01/24-25, do TS. Nguyễn Kim Anh làm chủ nhiệm.

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] Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of sensors*, 2016(1), 1480307.
- [2] Carlson, M. G., Gaussoin, R. E., & Puntel, L. A. (2022). A review of precision management for golf course turfgrass. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 8(2), e20183.
- [3] Chen, C., Chen, J., & Zhang, X. (2011, September). Extraction of golf course based on texture feature of SPOT5 image. In *2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)* (pp. 254-257). IEEE.
- [4] Chen, J., Wang, C., He, D., Chen, J., & Yue, A. (2017). Practical Bottom-Up Golf Course Detection Using Multispectral Remote Sensing Imagery. In *Image and Graphics: 9th International Conference, ICIG 2017, Shanghai, China, September 13-15, 2017, Revised Selected Papers, Part II 9* (pp. 552-559). Springer International Publishing.
- [5] Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press.
- [6] Dimock, W. J. (2004). *Spatial factors affecting white grub presence and abundance in golf course turf*. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [7] Do, T. N., Nguyen, D. M. T., Ghimire, J., Vu, K. C., Do Dang, L. P., Pham, S. L., & Pham, V. M. (2023). Assessing surface water pollution in Hanoi, Vietnam, using remote sensing and machine learning algorithms. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(34), 82230-82247.
- [8] Fung, C. K., & Jim, C. Y. (2017). Assessing the cooling effects of different vegetation settings in a Hong Kong golf course. *Procedia Environmental Sciences*, 37, 626-636.
- [9] Giannini, M. B., Belfiore, O. R., Parente, C., & Santamaria, R. (2015). Land Surface Temperature from Landsat 5 TM images: comparison of different methods using airborne thermal data. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 8(3).
- [10] Guo, L., Xi, X., Yang, W., & Liang, L. *Monitoring Land Use/Cover Change Using Remotely Sensed Data in Guangzhou of China. Sustainability* 2021, 13, 2944.
- [11] Hauser, L. T., Vu, G. N., Nguyen, B. A., Dade, E., Nguyen, H. M., Nguyen, T. T. Q., ... & Pham, H. V. (2017). Uncovering the spatio-temporal dynamics of land cover change and fragmentation of mangroves in the Ca Mau peninsula, Vietnam using multi-temporal SPOT satellite imagery (2004–2013). *Applied Geography*, 86, 197-207.
- [12] Imran, H. M., Hossain, A., Islam, A. S., Rahman, A., Bhuiyan, M. A. E., Paul, S., & Alam, A. (2021). Impact of land cover changes on land surface temperature and human thermal comfort in Dhaka city of Bangladesh. *Earth Systems and Environment*, 5, 667-693.
- [13] Le, H. T., Zablotskii, V. R., Zenkov, I. V., Vu, D. T., & Dao, K. H. (2022). Relationship between the Land Surface Temperature and Land Cover Types, a Case Study in Hanoi City, Vietnam. *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*, 58(9), 1111-1120.
- [14] Li, W., Lu, C., & Cao, S. Y. (2021). Dynamic remote sensing monitoring of land cover in ecological protection area based on GIS technology. *International journal of environmental technology and management*, 24(1-2), 77-92.
- [15] Lin, L., Liu, Q., Xiao, X., & Luo, Q. (2022). Perceived constraints on active recreational sport participation among residents in urban China. *International journal of environmental research and public health*, 19(22), 14884.
- [16] Liou, Y. A., & Nguyen, K. A. (2023, December). Remote Sensing-Based Monitoring and Analysis of Golf Course Distribution and Dynamics in Hanoi City, Vietnam. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 2023, pp. GH54A-03).
- [17] Lonsdorf, E. V., Nootenboom, C., Janke, B., & Horgan, B. P. (2021). Assessing urban ecosystem services provided by green infrastructure: Golf courses in the Minneapolis-St. Paul metro area. *Landscape and Urban Planning*, 208, 104022.
- [18] Lyman, G. T., Throssell, C. S., Johnson, M. E., Stacey, G. A., & Brown, C. D. (2007). Golf course profile describes turfgrass, landscape, and environmental stewardship features. *Applied turfgrass science*, 4(1), 1-25.
- [19] Mauri, P. V., Parra, L., Mostaza-Colado, D., Garcia, L., Lloret, J., & Marin, J. F. (2021). The combined use of remote sensing and wireless sensor network to estimate soil moisture in golf course. *Applied Sciences*, 11(24), 11769.



- [20] Mauro, G. (2020). Rural–urban transition of Hanoi (Vietnam): Using Landsat imagery to map its recent peri-urbanization. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(11), 669.
- [21] Nguyen, A. K., Liou, Y. A., Li, M. H., & Tran, T. A. (2016). Zoning eco-environmental vulnerability for environmental management and protection. *Ecological Indicators*, 69, 100-117.
- [22] Nguyen, H. T. T., Chau, Q. T. N., Pham, A. T., Phan, H. T., Tran, P. T. X., Cao, H. T., ... & Nguyen, D. T. H. (2020a). Land use/land cover changes using multi-temporal satellite. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 6, 83-90.
- [23] Nguyen, K. A., Liou, Y. A., Tran, H. P., Hoang, P. P., & Nguyen, T. H. (2020b). Soil salinity assessment by using near-infrared channel and Vegetation Soil Salinity Index derived from Landsat 8 OLI data: a case study in the Tra Vinh Province, Mekong Delta, Vietnam. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7(1), 1-16.
- [24] Nguyen, T. T., Eslick, H., Barber, P., Harper, R., & Dell, B. (2022). Cooling effects of urban vegetation: the role of golf courses. *Remote Sensing*, 14(17), 4351.
- [25] Pham, V. C., Pham, T. T. H., Tong, T. H. A., Nguyen, T. T. H., & Pham, N. H. (2015). The conversion of agricultural land in the peri-urban areas of Hanoi (Vietnam): patterns in space and time. *Journal of Land Use Science*, 10(2), 224-242.
- [26] Prime Minister of Vietnam. (2020). *Decision No. 147/QĐ-TTg: Approval of the Vietnam Tourism Development Strategy to 2030*. Government of Vietnam.
- [27] Santhosh, L. G., & Shilpa, D. N. (2023). Assessment of LULC change dynamics and its relationship with LST and spectral indices in a rural area of Bengaluru district, Karnataka India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 29, 100886.
- [28] Singh, V. D., Ali, S. R., & Piyooosh, A. K. (2022, December). A Review on the Relationship between LULC and LST using Geospatial Technologies. In *2022 11th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART)* (pp. 472-476). IEEE.
- [29] Stein, A., van der Meer, F. D., & Gorte, B. (Eds.). (1999). *Spatial statistics for remote sensing* (Vol. 1). Springer Science & Business Media.
- [30] Thanh Hoan, N., Liou, Y. A., Nguyen, K. A., Sharma, R. C., Tran, D. P., Liou, C. L., & Cham, D. D. (2018). Assessing the effects of land-use types in surface urban heat islands for developing comfortable living in Hanoi City. *Remote Sensing*, 10(12), 1965.
- [31] Thien, B. B., Ovsepyan, A. E., & Phuong, V. T. (2024). Monitoring Land Surface Temperature Relationship to Land Use and Land Cover in Hai Duong Province, Vietnam: 10.32526/enrj/22/20230194. *Environment and Natural Resources Journal*, 22(2), 145-157.
- [32] Thien, B. B., Phuong, V. T., & Huong, D. T. V. (2025). Investigating land cover changes and their impact on land surface temperature in Tay Ninh province, Vietnam. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(1), 1-26.
- [33] Tran, D. X., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S. W., Caetano, M., & Kieu, H. V. (2017). Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124, 119-132.
- [34] Zhang, J., Liu, Y., Cui, S., Wang, Z., & Zhao, Q. (2012, June). Dynamic monitoring of golf course land in Beijing based on remote sensing technology. In *2012 2nd International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering* (pp. 1-4). IEEE.

