

Ứng dụng phân tích lân cận GIS đánh giá ảnh hưởng của lớp phủ đất đến nhiệt độ bề mặt đất tại Thành phố Hồ Chí Minh

Phạm Thị Thu Ngân^a, Nguyễn Duy Liêm^{b*}

Tóm tắt:

Giám sát nhiệt độ bề mặt đất (NĐBMĐ) bằng viễn thám được ứng dụng rộng rãi nhưng ảnh hưởng của lớp phủ đất đến NĐBMĐ ít được quan tâm. Nghiên cứu này nhằm phân tích ảnh hưởng của lớp phủ đất đến NĐBMĐ tại thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM). Dựa trên ảnh vệ tinh Landsat 8 ngày 29/3/2015, phương pháp phân loại xác suất cực đại được sử dụng để phân loại lớp phủ đất thành 7 loại: bề mặt không thấm, đất trống, mặt nước, mây, thực vật dày, thực vật thưa, thực vật trung bình. NĐBMĐ được trích xuất theo hệ số phát xạ mặt đất, chỉ số thực vật. Ảnh hưởng của lớp phủ đất đến NĐBMĐ được đánh giá bằng phân tích lân cận trong GIS. Kết quả cho thấy bề mặt không thấm là lớp phủ đất ưu thế, NĐBMĐ của khu vực phần lớn bằng hoặc thấp hơn 34,9°C. NĐBMĐ trung bình của pixel bề mặt không thấm và đất trống giảm khi các pixel lân cận có mức độ che phủ thực vật cao. Các pixel lân cận là bề mặt không thấm, đất trống làm tăng NĐBMĐ trung bình của pixel trung tâm là mặt nước. NĐBMĐ trung bình của pixel thực vật tỉ lệ nghịch với mức độ che phủ thực vật của các pixel lân cận. Kết quả này có ý nghĩa trong việc phát triển giải pháp giảm thiểu tác động NĐBMĐ đối với môi trường đô thị.

Từ khóa: *phân tích lân cận, lớp phủ đất, nhiệt độ bề mặt đất, Landsat 8, TP. Hồ Chí Minh*

^a Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh; Phòng Linh Trung TP. Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh. e-mail: nguyenduyliem@hcmuaf.edu.vn

^b Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh; Phòng Linh Trung, TP. Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh. e-mail: nguyenduyliem@hcmuaf.edu.vn

* Tác giả chịu trách nhiệm chính.

Application of GIS-Based Neighborhood Analysis to Assess the Impacts of Land Cover on Land Surface Temperature in Ho Chi Minh City.

Pham Thi Thu Ngan^a, Nguyễn Duy Liem^{b*}

Abstract:

Land surface temperature (LST) monitoring using remote sensing is widely applied, but the influence of land cover on LST has received limited attention in the literature. This study aims to analyze the impact of various land cover types on LST in Ho Chi Minh City (HCMC), one of the fastest-growing urban areas in Southeast Asia. Based on Landsat 8 satellite imagery acquired on March 29, 2015, the maximum likelihood classification method was used to classify land cover into seven types: impervious surfaces, bare land, water bodies, clouds, dense vegetation, sparse vegetation, and moderate vegetation. LST values were extracted using the land surface emissivity coefficient and vegetation index. The impact of land cover on LST was assessed using neighborhood analysis in GIS. The results show that impervious surfaces are the dominant land cover in HCMC, with most areas having an LST of 34.9°C or lower. Additionally, the average LST of impervious surfaces and bare land decreases as neighboring pixels have higher vegetation cover. Impervious surfaces and bare land in neighboring pixels increase the average LST of water body pixels. The average LST of vegetation pixels is inversely correlated with the vegetation cover of neighboring pixels. These findings provide crucial insights into urban heat management and can inform strategies for mitigating the impact of LST on the urban environment, such as increasing green spaces and improving urban planning.

Keywords: *neighborhood analysis, land cover, land surface temperature, Landsat 8, Ho Chi Minh City*

Received: 30.8.2024; Accepted: 15.6.2025; Published: 30.6.2025

DOI: 10.59907/daujs.4.2.2025.349

^a Nong Lam University; Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam. e-mail: nguyenduy-liem@hcmuaf.edu.vn

^b Nong Lam University; Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam. e-mail: nguyenduy-liem@hcmuaf.edu.vn

* Corresponding author.

Đặt vấn đề

Trong thời đại công nghiệp hiện nay, con người đang phải đối mặt với một mối đe dọa rất nguy hiểm. Đó là tác động của quá trình đô thị hóa và biến đổi khí hậu đang dần hội tụ, theo những cách thức có thể làm tổn hại đến sự bền vững về môi trường, kinh tế, và xã hội con người ở các khu vực đô thị trên thế giới (UN-Habitat, 2011). Rõ ràng là quy mô, tốc độ tăng trưởng, và mật độ của dân số là những yếu tố quyết định lượng phát thải khí nhà kính ở các thành phố (UN-Habitat, 2011). Theo ước tính, đến khoảng 2030 trên cả thế giới sẽ có khoảng 59% dân số thế giới sống ở khu vực đô thị, trong đó tỷ lệ này lần lượt là 81% và 55% ở các quốc gia phát triển và đang phát triển (UN-Habitat, 2011). Sự thay đổi lớp phủ đất trong quá trình đô thị hóa đã dẫn đến thay đổi các điều kiện vi khí hậu và thủy văn khu vực, bao gồm sự hình thành các đảo nhiệt đô thị và thay đổi dòng chảy bề mặt (Jiang et al., 2015). Đảo nhiệt đô thị xảy ra khi vào cùng thời gian, nhiệt độ trong thành phố lớn hơn là nhiệt độ của các khu vực xung quanh. Theo nghiên cứu của Lo et al. (1997) tại thành phố Huntsville, tiểu bang Alabama Hoa Kỳ, nguyên nhân chính gây đảo nhiệt là do sự suy giảm lớp phủ thực vật và thay thế bề mặt đất bằng các vật liệu không thấm khiến cho lượng nước đi vào khí quyển ít hơn là từ bề mặt tự nhiên. Các quá trình này xảy ra gần mặt đất làm nhiệt độ bề mặt tăng và lan truyền lên trên vào trong khí quyển. Vì vậy, NĐBMĐ là một trong những tham số quan trọng nhất trong cân bằng nước và trao đổi năng lượng giữa bề mặt và khí quyển (Ouyang et al., 2014). Nó không chỉ đóng vai trò như là chỉ số của thay đổi khí hậu, mà còn kiểm soát sự trao đổi thông lượng nhiệt ẩn và nhiệt hiện bề mặt với khí quyển (Sun, 2003). Ngoài ra, NĐBMĐ là một biến quan trọng được sử dụng cho nhiều ứng dụng như khí hậu, thủy văn, nông nghiệp, sinh địa hóa và các nghiên cứu biến động. NĐBMĐ tăng do quá trình đô thị hóa và biến đổi khí hậu cũng góp phần gia tăng tần số và thời gian sóng nhiệt, gây ảnh hưởng đến môi trường sống và sức khỏe con người (Wilhelmi et al., 2004; Christina Koppe et al., 2004). Vì vậy, NĐBMĐ cần được điều tra và giám sát. Chính vì sự quản lý đô thị không chặt chẽ làm lớp phủ đất thay đổi theo chiều hướng xấu ảnh hưởng môi trường sống của con người (Sohl & Sohl, 2012).

TP.HCM là đô thị lớn nhất Việt Nam, thu hút nhiều dân nhập cư từ các vùng nông thôn đến làm việc và sinh sống. Tổng dân số của TP.HCM đến năm 2030 được dự báo khoảng 11,9 triệu người; đến năm 2040 khoảng 14,0 triệu người; đến năm 2050 khoảng 15,8 triệu người (UBND TP. Hồ Chí Minh, 2024). Tốc độ phát triển đô thị nhanh chóng làm thay đổi tính chất bề mặt của thành phố, gây ra những biến đổi về vi khí hậu và cấu trúc của các trường khí tượng trong lớp biên, điển hình là hiệu ứng đảo nhiệt đô thị (Luong Văn Việt, 2007). Nhiệt độ của TP.HCM đang gia tăng với mức khoảng $0,02^{\circ}\text{C}/\text{năm}$ dưới áp lực của quá trình phát triển kinh tế - xã hội. Trước tình hình đó, nhu cầu ước tính, giám sát diễn biến thay đổi NĐBMĐ, cũng như dự báo xu hướng NĐBMĐ tương lai là rất cần thiết nhằm cải thiện chất lượng môi trường sống của người dân.

Hiện nay, công tác giám sát NĐBMĐ bằng phương pháp viễn thám đã được quan tâm và ứng dụng rộng rãi trên thế giới. Có thể kể đến nghiên cứu sử dụng Landsat để ước lượng mối quan hệ giữa NĐBMĐ và thực vật thông qua chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) tại thành phố Indianapolis, Mỹ (Weng et al., 2004). Vai trò của thực vật trong giảm nhiệt độ bề mặt cũng được làm rõ trong một nghiên cứu tại Đức (Alavipanah et al., 2015). Một nghiên cứu sử dụng chuỗi thời gian ảnh Landsat (1989, 1999, 2009) để xác định sự thay đổi lớp phủ đất qua các năm và điều tra ảnh hưởng của thay đổi đó đến NĐBMĐ tại Bangladesh (Ahmed et al., 2013). Tại Việt Nam, đã có những nghiên cứu ứng dụng viễn thám tìm ra mối quan hệ giữa lớp phủ đất và nhiệt độ bề mặt tại các thành phố lớn như TP.HCM (Trần Thị Vân, 2011), Hải Phòng (Lê Văn Anh & Trần Anh Tuấn, 2014), tỉnh Quảng Bình (Lê Văn Anh & Trần Anh Tuấn, 2014) Tuy nhiên, ảnh hưởng của mức độ tập trung của từng loại lớp phủ đến NĐBMĐ thì chưa được các nghiên cứu đề cập đến.

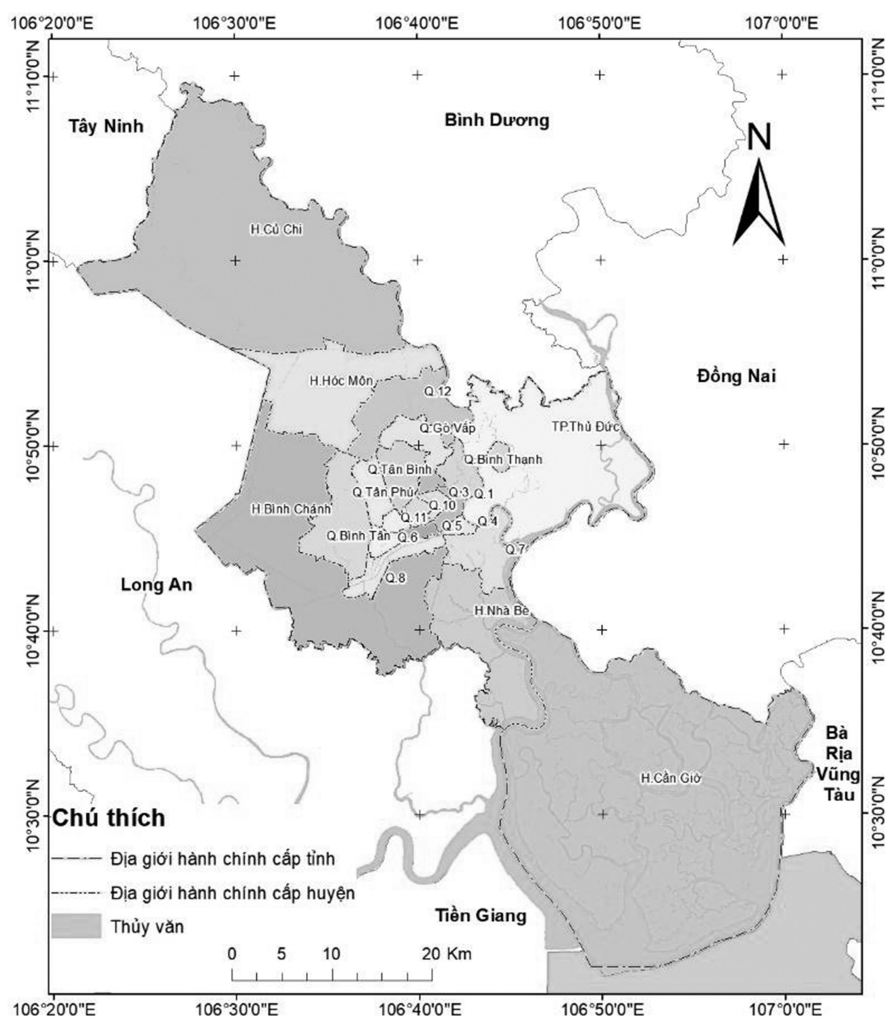
Mục tiêu của nghiên cứu nhằm ứng dụng phân tích lân cận xác định ảnh hưởng của lớp phủ đất đến NĐBMĐ tại TP.HCM. Các mục tiêu cụ thể bao gồm: (1) Thành lập bản đồ lớp phủ đất; (2) Thành lập bản đồ NĐBMĐ; (3) Phân tích ảnh hưởng của lớp phủ đất đến NĐBMĐ tại TP.HCM bằng phương pháp phân tích lân cận.

Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu

TP.HCM là đô thị lớn nhất nước ta, có tọa độ địa lý $10^{\circ}10' - 10^{\circ}38'$ vĩ độ Bắc và $106^{\circ}22' - 106^{\circ}54'$ kinh độ Đông (Hình 1). Về tiếp giáp, phía Bắc giáp tỉnh Bình Dương, phía Tây Bắc giáp tỉnh Tây Ninh, phía Đông và Đông Bắc giáp tỉnh Đồng Nai, phía Đông Nam giáp tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu, phía Tây và Tây Nam giáp tỉnh Long An, Tiền Giang và phía Nam giáp biển Đông (UBND TP. Hồ Chí Minh, 2011). Về mặt địa hình, thành phố có hai đặc điểm chủ yếu sau: (1) Địa hình đồng bằng thấp (nơi cao nhất không vượt quá 40 m, nhiều chỗ còn thấp trũng), bề mặt tương đối bằng phẳng và bị chia cắt bởi mạng lưới sông ngòi, kênh rạch dày đặc. (2) Địa hình có xu hướng thấp dần từ Tây Bắc xuống Đông Nam, nhưng độ dốc nhỏ. Thành phố nằm trong vùng hậu nhiệt đới gió mùa mang tính chất cận xích đạo. Lượng bức xạ tương đối lớn, đạt trung bình khoảng $140 \text{ kcal/cm}^2/\text{năm}$. Số giờ nắng trung bình trong ngày là gần 6 giờ. Biên độ nhiệt trung bình giữa các tháng trong năm thấp, khoảng $2 - 3^{\circ}\text{C}$. Khí hậu của thành phố được chia thành hai mùa rõ rệt: mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 11, mùa khô từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau. Lượng mưa trung bình đạt trên dưới 2.000 mm/năm và phân bố không đều theo không gian và thời gian (UBND TP. Hồ Chí Minh, 2011). Về nguồn nước, nằm ở vùng hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai - Sài Gòn, TP.HCM có mạng lưới sông ngòi kênh rạch rất phát triển, bao gồm hai hệ thống sông lớn là sông Đồng Nai và sông Sài Gòn.

TP.HCM là thành phố đông dân nhất ở Việt Nam và là một trong những đô thị lớn trong khu vực Đông Nam Á và thế giới. Dân số TP.HCM có xu hướng tăng nhanh chóng trong thời gian gần đây. Năm 2022, quy mô dân số TP.HCM là 9.367.066 người, chiếm 9,31% dân số toàn quốc và cao nhất trong 5 đô thị trực thuộc Trung ương. Trong giai đoạn 10 năm (2011 - 2022), tốc độ tăng dân số trung bình của TP.HCM đạt 1,93%/năm, cao hơn tốc độ tăng trung bình của toàn quốc. Mật độ dân số toàn Thành phố năm 2022 là 4.470 người/km², cao gấp 14 lần mật độ trung bình của cả nước (UBND TP. Hồ Chí Minh, 2024). TP.HCM đã vượt qua ngưỡng của đô thị siêu hạng và đang có khuynh hướng trở thành thành phố cực lớn. Hiện nay, thành phố chia thành 3 khu vực đô thị chính, bao gồm khu trung tâm nội thành cũ (có 13 quận), nội thành mới (Quận 7, 12, Bình Tân, thành phố Thủ Đức) và ngoại thành (5 huyện). Trong đó khu nội thành cũ và các quận mới phát triển là khu vực đang diễn ra tốc độ đô thị hóa cao, còn lại khu ngoại thành là khu vực có diện tích đất nông nghiệp còn nhiều và là khu vực giới hạn tối đa đô thị hóa.



Hình 1. Vị trí địa lý TP. Hồ Chí Minh

Dữ liệu

Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau, bao gồm: Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ, Sở Tài nguyên và Môi trường TP.HCM, Tổ chức Khí tượng Thế giới, Trung tâm Dự báo Môi trường Quốc gia Hoa Kỳ. Thông tin mô tả chi tiết được thể hiện qua Bảng 1, Bảng 2.

Bảng 1. Dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu

TT	Tên dữ liệu	Nguồn dữ liệu
1	Ảnh vệ tinh Landsat 8 chụp ngày 29.3.2015	Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ
2	Bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2015	Sở Tài nguyên và Môi trường TP.HCM
3	Bản đồ hành chính	Sở Tài nguyên và Môi trường TP.HCM
4	Số liệu thời tiết	Tổ chức Khí tượng Thế giới
5	Tham số khí quyển	Trung tâm Dự báo Môi trường Quốc gia Hoa Kỳ

Bảng 2. Giá trị của các yếu tố thời tiết

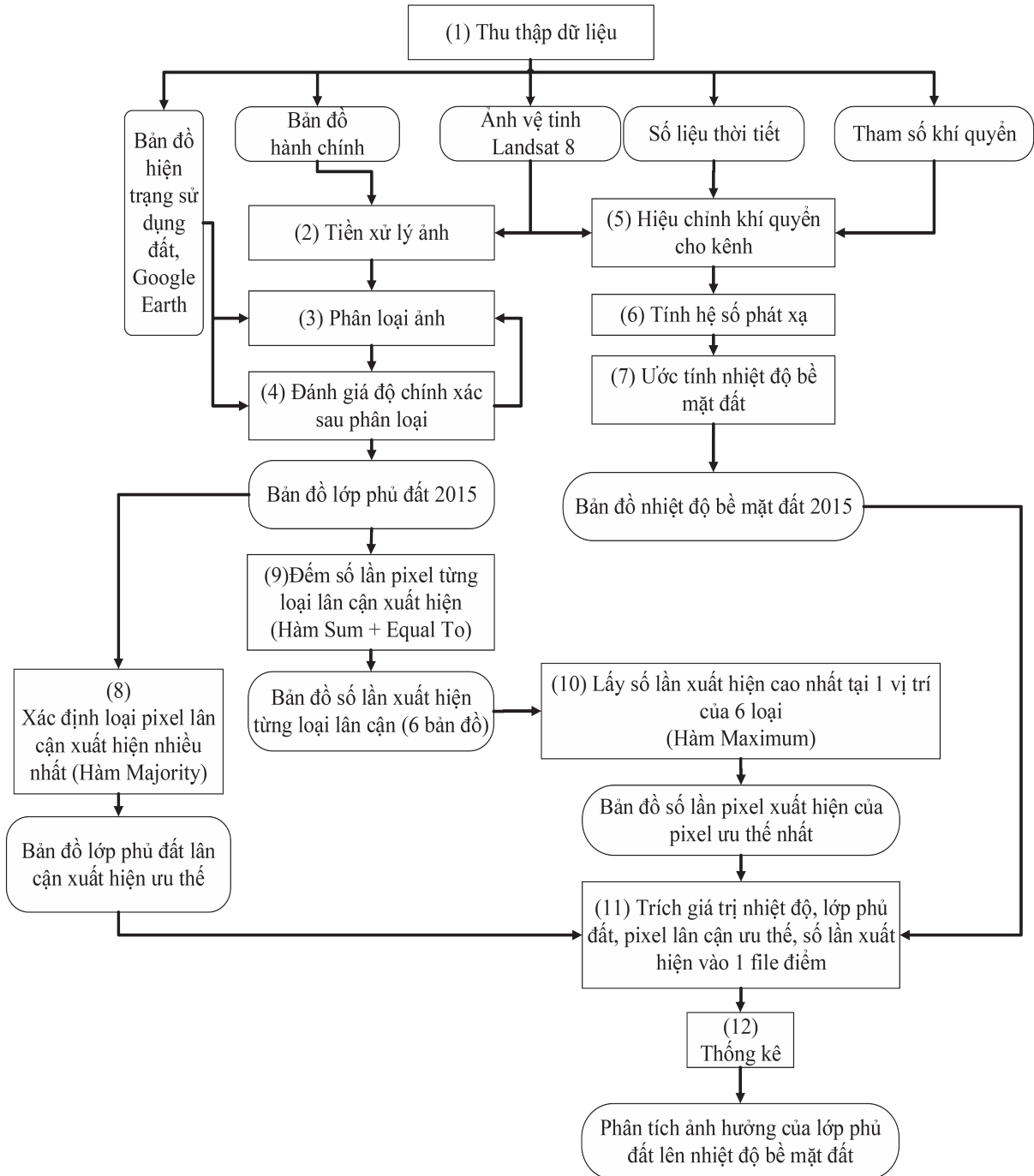
Ngày	Giờ	Các yếu tố thời tiết (*)	Giá trị
29.3.2015	10:00	Nhiệt độ không khí (°C)	33
		Độ ẩm tương đối (%)	46
		Áp suất khí quyển (hPa)	1.012
	Giờ	Tham số khí quyển (**)	Giá trị
	10:13	Giá trị bức xạ đi xuống ($W.m^{-2}.\mu m^{-1}$)	6,26
		Giá trị bức xạ đi lên ($W.m^{-2}.\mu m^{-1}$)	4,11
Hệ số truyền dẫn (hPa)		0,52	

(*) *The Weather Company. LCC (2016)*; (**) *NASA (2011)*

Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu của đề tài được thực hiện theo Hình 2. Trong đó, bước 1 là thu thập các dữ liệu liên quan về đối tượng nghiên cứu và khu vực nghiên cứu. Ở bước 2, 3, 4 tiến hành thành lập bản đồ lớp phủ đất gồm: tiền xử lý ảnh (cắt ảnh theo khu vực nghiên cứu), phân loại ảnh và đánh giá độ chính xác sau phân loại. Tiếp đến, bước 5, 6, 7 tiến hành thành lập bản đồ NĐBMĐ gồm: hiệu chỉnh khí quyển, tính hệ số phát xạ và

ước tính NĐBMĐ. Bước 8 xác định loại lớp phủ đất lân cận xuất hiện nhiều nhất bằng hàm Majority. Tiếp đến, bước 9, 10 lấy số lần xuất hiện nhiều nhất của lớp phủ đất tại các pixel lân cận quanh pixel trung tâm trong khung cửa sổ 3x3 bằng hàm Sum, Equal To và Maximum. Cuối cùng là bước 11, 12 tiến hành thống kê phân tích ảnh hưởng của lớp phủ đất lên NĐBMĐ.



Hình 2. Quy trình phương pháp nghiên cứu

Phương pháp thành lập bản đồ lớp phủ đất

Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân loại xác suất cực đại (Maximum Likelihood Classification) dựa trên cơ sở giả thiết hàm mật độ xác suất tuân theo luật phân bố chuẩn. Mỗi pixel được tính xác suất thuộc vào một loại nào đó và được chỉ định gán tên loại mà xác suất thuộc vào loại đó là lớn nhất.

Phương pháp thành lập bản đồ nhiệt độ bề mặt đất

Chuyển đổi giá trị số sang giá trị bức xạ cho kênh 10 theo công thức 1:

$$B_{\lambda} = 0,0003342 * Q_{Cal} + 0,1 \quad (1)$$

Trong đó, B_{λ} là giá trị bức xạ đến vệ tinh ($W.m^{-2}.srad^{-1}.\mu m^{-1}$), Q_{Cal} là giá trị số của pixel và lượng tử hóa (thứ nguyên).

Chuyển đổi giá trị số sang giá trị bức xạ cho kênh 4, 5 theo công thức 2:

$$\rho_{\lambda} = \frac{M_{\rho} Q_{Cal} + A_{\rho}}{\sin(\theta_{se})} \quad (2)$$

Trong đó: M_{ρ} là hệ số nhân phản xạ cho kênh Red và NIR được mô tả trong metadata ($W.m^{-2}.srad^{-1}.\mu m^{-1}$), Q_{Cal} là giá trị số của pixel đã được hiệu chỉnh và lượng tử hóa (thứ nguyên), A_{ρ} là hệ số cộng phản xạ cho kênh Red và NIR được mô tả trong metadata ($W.m^{-2}.srad^{-1}.\mu m^{-1}$), θ_{se} : góc độ cao Mặt Trời (độ).

Tiếp theo, để chuyển đổi giá trị bức xạ đến vệ tinh (cho kênh 4, 5) sang giá trị phản xạ của bề mặt đất, nghiên cứu sử dụng mô hình hiệu chỉnh khí quyển FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) trong phần mềm ENVI. Hiệu chỉnh khí quyển được thực hiện nhằm loại bỏ các ảnh hưởng của khí quyển đến tín hiệu phản xạ thu được từ cảm biến. Mô hình FLAASH được sử dụng vì đây là công cụ mạnh mẽ, cho phép hiệu chỉnh dữ liệu ảnh đa phổ hoặc siêu phổ dựa trên các thông số khí quyển cụ thể. Nguyên lý tính giá trị bức xạ B_{λ} tại một pixel trên cảm biến theo phương trình 3:

$$B_{\lambda} = \left(\frac{a\rho}{1 - \rho_e S} \right) + \left(\frac{b\rho_e}{1 - \rho_e S} \right) + B_{\alpha} \quad (3)$$

Trong đó, ρ là giá trị phản xạ của bề mặt đất, ρ_e là giá trị phản xạ trung bình của bề mặt đất và vùng lân cận, B_{α} là bức xạ ngược gây ra bởi tán xạ của khí quyển ($W.m^{-2}.srad^{-1}.\mu m^{-1}$), a và b là hệ số phụ thuộc vào điều kiện khí quyển và hình học, S là suất phản chiếu hình cầu của khí quyển. Giá trị a , b , S , B_{α} được tính từ mô hình MODTRAN4 (MODerate resolution atmospheric TRANsmission) dựa trên góc nhìn của vệ tinh, góc mặt trời và độ cao trung bình của bề mặt đất thông qua khai báo các biến đầu vào bao gồm mô hình aerosol (Urban-đô thị), mô hình khí quyển (Tropical-nhiệt đới), tầm nhìn ban đầu (40 km).

MODTRAN4 được lựa chọn vì khả năng mô phỏng chính xác quá trình truyền dẫn bức xạ qua khí quyển trong nhiều điều kiện khác nhau. Mô hình này hỗ trợ dải phổ rộng, từ cực tím đến hồng ngoại xa, và cho phép tùy chỉnh các kiểu khí quyển (như tropical, mid-latitude) và aerosol (urban, rural). Với khả năng cung cấp các tham số cần thiết như hệ số phản xạ, bức xạ, và độ truyền dẫn, MODTRAN4 giúp loại bỏ ảnh hưởng khí quyển, đảm bảo độ chính xác cao trong phân tích dữ liệu viễn thám. Mô hình này cũng đã được kiểm chứng và ứng dụng rộng rãi trong các nghiên cứu và dự án quốc tế.

Để tính hệ số phát xạ mặt đất ε , nghiên cứu dựa vào phương pháp NDVI. Giá trị ngưỡng NDVI_s, NDVI_v (tương ứng là chỉ số thực vật của thực vật và đất thuần túy) được xác định bằng cách kế thừa và lấy giá trị trung bình của NDVI_s, NDVI_v (đã kiểm nghiệm tại thực địa) tại 4 thời điểm trong nghiên cứu Trần Thị Vân (2011) với kết quả lần lượt là 0,1 và 0,7. Phương trình ngưỡng NDVI cho khu vực nghiên cứu như công thức 4:

$\varepsilon = \begin{cases} 0,98 \\ 0,980 - 0,042\rho_{red} \\ \varepsilon_s + (\varepsilon_v - \varepsilon_s)P_v + 4\overline{d_\varepsilon}p_v(1 - p_v) \\ 0,993 \end{cases}$	NDVI < 0	Nước	(4)
	$0 \leq \text{NDVI} < 0,1$	Đất trống	
	$0,1 \leq \text{NDVI} \leq 0,7$	Hỗn hợp đất, thực vật	
	NDVI > 0,7	Thực vật	

Trong đó, ρ_{red} là giá trị phản xạ của kênh đỏ, ε_v và ε_s là hệ số phát xạ của thực vật và đất thuần túy được tính theo công thức 5 (Bảng 3) (Van De Griend & Owe, 1993), P_v là hợp phần thực vật được tính theo công thức 6, d_ε là giá trị hiệu ứng lỗ rỗng của bề mặt nhám (do tính chất gồ ghề của phân tử độ nhám dẫn đến bức xạ ghi nhận trên bộ cảm biến cao hơn bức xạ phát ra trực tiếp bởi các phân tử độ nhám) được tính theo công thức 7 (Valor & Caselles, 1996).

$\varepsilon_{v/s} = 1,0094 + 0,047 \ln(\text{NDVI}_{v/s})$	(5)
$P_v = \left(\frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_s}{\text{NDVI}_v - \text{NDVI}_s} \right)^2$	(6)
$d_\varepsilon = 4\overline{d_\varepsilon}P_v(1 - P_v)$	(7)

Với $\overline{d_\varepsilon}$ là giá trị trung bình của cấu trúc thực vật. Giá trị này được tham khảo từ nghiên cứu (Caselles et al., 2011) (Bảng 4).

Bảng 3. Giá trị NDVI, hệ số phát xạ của đất trống, thực vật thuần túy trên ảnh vệ tinh

NDVI _s	NDVI _v	$\epsilon\epsilon_s$	$\epsilon\epsilon_v$
0,1	0,7	0,901	0,993

Nguồn: Tác giả

Bảng 4. Giá trị d_ϵ của tầng lớp phủ đất trong bước sóng 11 μm , 12 μm

Lớp phủ đất	Bước sóng 11 μm	Bước sóng 12 μm
Cây ngập nước/mùa vụ/đồng cỏ	0	0
Rừng ngập nước/ cây bụi	0,014 \pm 0,004 (đất) 0,004 \pm 0,001 (nước)	0,010 \pm 0,003 (đất) 0,007 \pm 0,002 (nước)
Cây bụi	0,014 \pm 0,004 (đất)	0,010 \pm 0,003 (đất)
Rừng lá rộng/lá kim rụng lá	0,019 \pm 0,006	0,015 \pm 0,004
Rừng lá rộng/lá kim thường xanh	0,019 \pm 0,005	0,015 \pm 0,004

Caselles et al., (2011)

Nghiên cứu tiến hành hiệu chỉnh khí quyển cho kênh 10 theo phương trình truyền dẫn 8:

$$B_{hc} = \frac{B_\lambda - B \uparrow}{\epsilon\tau} - \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} B \downarrow \quad (8)$$

Trong đó, B_{hc} là giá trị bức xạ đã hiệu chỉnh khí quyển ($\text{W.m}^{-2}.\mu\text{m}^{-1}$), B_λ là giá trị bức xạ trên vệ tinh ($\text{W.m}^{-2}.\mu\text{m}^{-1}$), $B \uparrow$ là giá trị bức xạ đi lên ($\text{W.m}^{-2}.\mu\text{m}^{-1}$), $B \downarrow$ là giá trị bức xạ đi xuống ($\text{W.m}^{-2}.\mu\text{m}^{-1}$), τ là hệ số truyền dẫn, ϵ là hệ số phát xạ. Giá trị $B \uparrow$, $B \downarrow$, τ chi tiết từ Bảng 2.

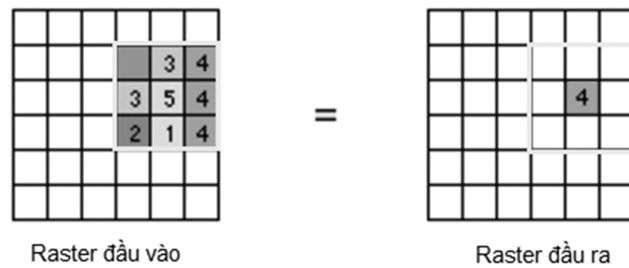
Từ định luật Planck, suy ra NĐBMĐ được xác định theo công thức 9:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{B_{hc}} + 1\right)} \quad (9)$$

Trong đó, T là NĐBMĐ nhận tại vệ tinh (K), B_{hc} là độ bức xạ mặt đất đã hiệu chỉnh ($\text{W.m}^{-2}.\text{srad}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$) được tính từ phương trình (9), K_1 là hằng số hiệu chỉnh 1 ($\text{W.m}^{-2}.\text{srad}^{-1}.\mu\text{m}^{-1}$), K_2 là hằng số hiệu chỉnh 2 (K).

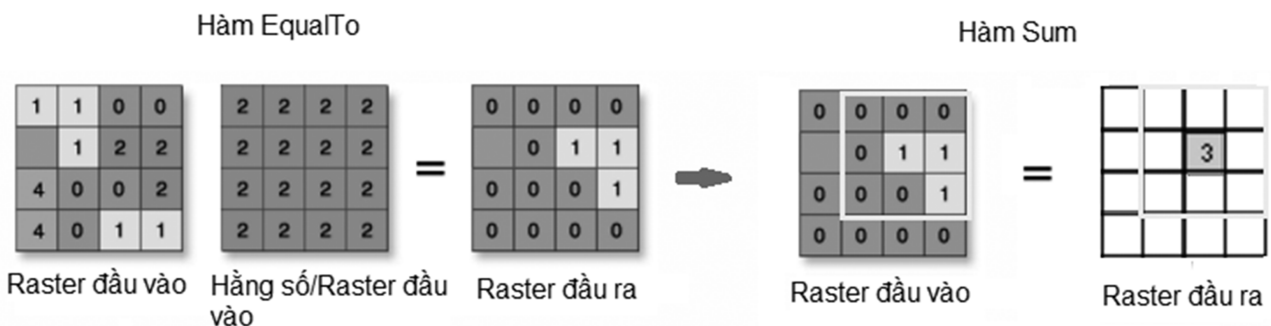
Phương pháp phân tích lân cận

Để xác định ảnh hưởng của các pixel lớp phủ lân cận đến nhiệt độ pixel trung tâm, nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích lân cận, cụ thể là công cụ Focal Statistics với khung cửa sổ trượt là 3x3 (ESRI, 2024). Trước tiên, xác định loại lớp phủ ưu thế quanh pixel trung tâm trong vùng cửa sổ trượt bằng hàm Majority (Hình 3).



Hình 3. Mô phỏng hàm Majority trong công cụ Focal Statistics

Sau khi đã biết loại lớp phủ ưu thế quanh pixel trung tâm, nghiên cứu sử dụng công cụ thống kê không gian theo từng pixel (Cell Statistics) để xác định số lần lớp phủ đất xuất hiện tại pixel lân cận. Trước khi dùng chức năng này, cần đếm số lần xuất hiện của mỗi loại lớp phủ trong khung cửa sổ 3x3 bằng công cụ Focal Statistics kết hợp với hàm Sum và EqualTo như Hình 4. Hàm EqualTo so sánh giá trị lớp phủ tại từng pixel của hai raster đầu vào. Nếu giá trị lớp phủ giống nhau thì kết quả trả ra là 1, ngược lại kết quả là 0. Sau đó, hàm Sum tính tổng số lần xuất hiện của giá trị đó, bằng cách cộng các giá trị 1. Cuối cùng, dùng hàm Maximum trong Cell Statistics để xác định số lần pixel lân cận ưu thế xuất hiện.



Hình 4. Mô phỏng hàm EqualTo và hàm Sum trong công cụ Focal Statistics

Kết quả và thảo luận

Bản đồ lớp phủ đất

Kết quả giải đoán lớp phủ đất TP.HCM năm 2015 thể hiện qua Bảng 5 và Hình 5. Theo đó, diện tích bề mặt không thấm chiếm đa số với 29,4%, phân bố ở các quận nội thành

cũ, nội thành mới và dọc các tuyến đường chính. Đất trống chiếm 9,7% tập trung ở phần lớn ở huyện Bình Chánh, Hóc Môn, Củ Chi và thành phố Thủ Đức. Mặt nước chiếm 14,4% phân bố chủ yếu trên Sông Sài Gòn và huyện Cần Giờ. Thực vật dày chiếm 9,9% tập trung tại huyện Cần Giờ, diện tích giảm đi do phần lớn bị mây che phủ. Thực vật trung bình và thưa lần lượt chiếm 11,4%, 16,6% phân bố chủ yếu tại huyện ngoại thành như Củ Chi, Bình Chánh, Hóc Môn.

Bảng 5. Diện tích của lớp phủ đất năm 2015

Lớp phủ đất	Diện tích (ha)	Tỉ lệ (%)
Bề mặt không thấm	57.544,02	29,4
Đất trống	18.976,86	9,7
Mặt nước	28.294,83	14,4
Mây	16.902,72	8,6
Thực vật dày	19.291,68	9,9
Thực vật thưa	32.497,11	16,6
Thực vật trung bình	22.335,39	11,4
Tổng	196.059,78	100,0

Việc lấy mẫu đánh giá dựa trên phương pháp khảo sát trên ảnh vệ tinh, ảnh Google Earth và bản đồ hiện trạng sử dụng đất của TP.HCM năm 2015. Bộ mẫu kiểm tra tương ứng với 6 loại lớp phủ đất, được lấy ngẫu nhiên với số lượng trên 30 pixel cho mỗi mẫu. Các mẫu này sau đó được chồng ghép lên lớp phân loại để tính thống kê cho ra ma trận sai số. Độ chính xác toàn cục của phân loại lớp phủ đất năm 2015 là 80,8%, chỉ số Kappa là 0,7 (Bảng 6). Trong các loại lớp phủ đất, thực vật trung bình được phân loại có độ chính xác thấp nhất (53,7%) và bị phân loại nhầm vào lớp thực vật thưa.

Bảng 6. Độ chính xác kết quả phân loại lớp phủ đất năm 2015

Lớp phủ đất	Độ chính xác người dùng (%)	Độ chính xác sản xuất (%)
Bề mặt không thấm	90,7	93,6
Đất trống	63,6	61,8
Mặt nước	90,6	95,1
Thực vật dày	81,6	86,4
Thực vật trung bình	73,3	53,7
Thực vật thưa	58,9	57,9
Độ chính xác toàn cục (%)	80,8	
Hệ số Kappa	0,7	

Bản đồ nhiệt độ bề mặt đất

Nhiệt độ thành phố dao động 0 - 56,7°C với giá trị trung vị 34,9°C (Hình 6). Giá trị 0 ghi nhận tại các vị trí mây và bóng mây chưa được loại bỏ hoàn toàn. Khoảng 75% diện tích thành phố có NĐBMĐ bằng hoặc thấp hơn 34,9°C. Nơi có NĐBMĐ cao hơn 40°C chiếm khoảng 24,2% diện tích đô thị, phân bố tập trung ở khu trung tâm và mở rộng ra các quận huyện theo hướng Đông - Đông Bắc, Bắc - Tây Bắc và Tây - Tây Nam. Đa số khu vực có nhiệt độ cao tập trung tại các khu công nghiệp, bãi rác, khu dân cư và vùng đất trống. Khu vực có nhiệt độ thấp dưới 25°C chiếm 9,4% diện tích thành phố, tập trung ở huyện Cần Giờ, một phần nhỏ Bình Chánh và thành phố Thủ Đức.

Ảnh hưởng của lớp phủ đất đến nhiệt độ bề mặt đất

Năm 2015 phần lớn số pixel lân cận cùng loại với pixel trung tâm chiếm ưu thế hơn các pixel lân cận khác loại (Hình 7, Bảng 7). Ngoài ra, đất trống lân cận góp phần làm NĐBMĐ trung bình của pixel trung tâm cùng loại cao hơn so với pixel bề mặt không thấm lân cận. Mức độ che phủ thực vật của pixel lân cận tỉ lệ nghịch với NĐBMĐ trung bình pixel bề mặt không thấm trung tâm. Đối với pixel đất trống, sự xuất hiện càng nhiều pixel lân cận là thực vật trung bình, thực vật dày hoặc mặt nước làm NĐBMĐ trung bình pixel trung tâm giảm lần lượt 8,6°C, 12,3°C, 14,8°C. Đối với mặt nước, pixel lân cận là bề mặt không thấm hoặc đất trống chiếm ưu thế lần lượt làm tăng NĐBMĐ trung bình của mặt nước khoảng 9 - 10°C. Đối với lớp thực vật, NĐBMĐ trung bình pixel trung tâm thay đổi theo tỉ lệ nghịch vào mức độ che phủ thực vật của pixel lân cận.

Đối với trường hợp pixel trung tâm là bề mặt không thấm, pixel mặt nước, thực vật trung bình và thực vật dày lân cận xuất hiện ưu thế làm NĐBMĐ trung bình của pixel trung tâm giảm xuống 6 - 14°C. Chỉ riêng pixel thực vật thưa lân cận giúp nhiệt độ trung bình của pixel trung tâm giảm 2°C. Điều này có nghĩa là mức độ che phủ thực vật của pixel lân cận tỉ lệ nghịch với NĐBMĐ trung bình pixel trung tâm.

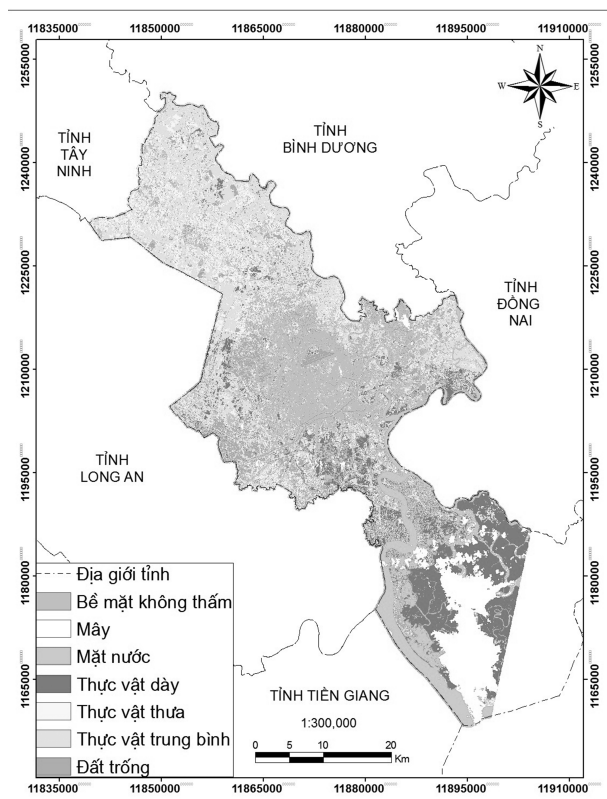
Đối với trường hợp pixel trung tâm là mặt nước, pixel mặt nước lân cận xuất hiện càng nhiều thì NĐBMĐ càng giảm. Ngoài ra, mặt nước nằm gần kề với nhiều pixel bề mặt không thấm (> 6 pixel) thì NĐBMĐ pixel mặt nước cao trên 45°C. Với những pixel thực vật dày chiếm ưu thế nằm lân cận với mặt nước làm NĐBMĐ trung bình của mặt nước giảm 1,6°C (từ 26,7°C xuống 25,1°C).

Đối với trường hợp pixel trung tâm là thực vật dày, số lần pixel lân cận cùng loại ưu thế với pixel trung tâm xuất hiện càng nhiều thì NĐBMĐ của pixel trung tâm càng nhỏ (< 30°C). NĐBMĐ trung bình pixel thực vật dày tăng dần khi có các loại pixel lân cận ưu thế lần lượt là mặt nước, thực vật trung bình, thực vật thưa và bề mặt không thấm.

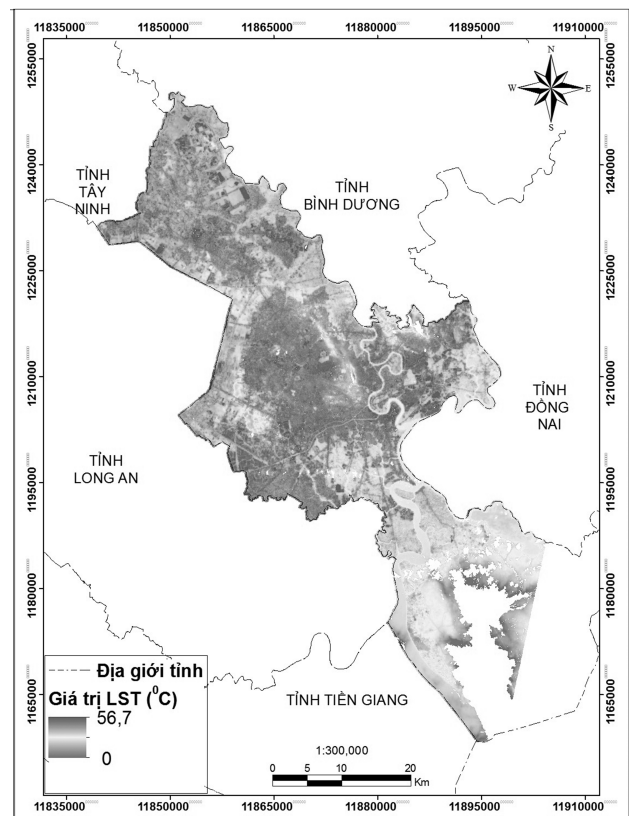
Đối với trường hợp pixel trung tâm là thực vật thưa, số lượng pixel lân cận là thực vật trung bình chiếm nhiều nhất, làm NĐBMĐ trung bình của thực vật thưa giảm $3,6^{\circ}\text{C}$ (từ $37,2^{\circ}\text{C}$ xuống $33,6^{\circ}\text{C}$). Đất trống làm NĐBMĐ trung bình của thực vật dày tăng cao nhất ($40,3^{\circ}\text{C}$), tiếp đến là pixel lân cận bề mặt không thấm ($36,7^{\circ}\text{C}$), thấp nhất là pixel thực vật dày lân cận ($28,8^{\circ}\text{C}$).

Đối với trường hợp pixel trung tâm là thực vật trung bình, số lượng pixel lân cận là thực vật trung bình chiếm nhiều nhất. Bề mặt không thấm làm tăng NĐBMĐ trung bình của pixel trung tâm thêm $4,7^{\circ}\text{C}$ so với nơi tập trung toàn thực vật trung bình. Thực vật dày giảm $2,7^{\circ}\text{C}$ NĐBMĐ trung bình của pixel trung tâm.

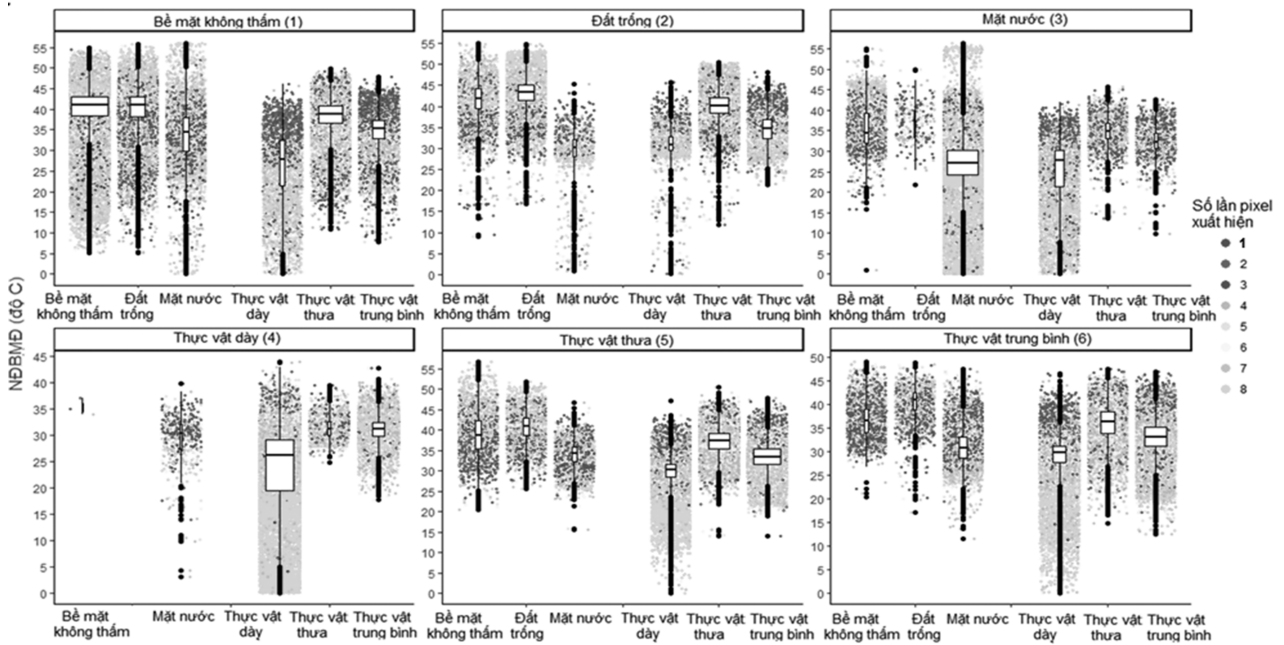
Đối với trường hợp pixel trung tâm là đất trống, số lượng pixel lân cận là đất trống chiếm nhiều nhất. NĐBMĐ trung bình của đất trống cao nhất khi có bề mặt không thấm lân cận chiếm ưu thế. Ngoài ra, thực vật thưa nằm lân cận với đất trống làm NĐBMĐ đất trống dao động $25 - 39^{\circ}\text{C}$.



**Hình 5. Bản đồ lớp phủ đất TP.HCM
29.3.2015**



**Hình 6. Bản đồ nhiệt độ bề mặt đất
TP.HCM 29.3.2015**



Hình 7. Mối quan hệ giữa loại pixel lân cận đến nhiệt độ bề mặt đất của loại pixel trung tâm ngày 29.3.2015

Bảng 7. Mối quan hệ giữa loại pixel lân cận đến NDBMĐ của loại pixel trung tâm

Loại pixel trung tâm	Loại pixel lân cận	Số pixel lân cận (n)	% diện tích cửa sổ 3x3 ($n/9*100$)	NDBMĐ (°C)	NDBMĐ trung bình (°C)	
Bề mặt không thấm	Bề mặt không thấm	1 - 8	> 78	38 - 54	40,2	
		1 - 8	> 22	< 38		
	Đất trống	3 - 8	> 44	> 43	40,1	
		1 - 6	22 - 77	< 43		
	Mặt nước	Mặt nước	1 - 8	> 22	18 - 49	34,1
			1 - 3	< 44	> 33	
Thực vật dày		3 - 8	> 44	< 33	26,1	
		1 - 3	< 44	> 37		
Đất trống	Thực vật thưa	4 - 7	55 - 88	30 - 47,7	38,4	
		1 - 3	< 44	> 37		
	Thực vật trung bình	3 - 7	> 44	< 37	34,8	
		1 - 3	< 44	> 37		
	Đất trống	Bề mặt không thấm	1 - 8	> 22	33 - 51	41,4
			6 - 8	> 77	> 45	
Đất trống		1 - 7	22 - 88	< 41	43,2	
		1 - 8	> 22	21 - 39		
Mặt nước		Thực vật dày	1 - 8	> 22	25 - 37	30,9
	1 - 7		> 22	32 - 47		
	Thực vật trung bình	1 - 7	> 22	25 - 43	34,6	

Loại pixel trung tâm	Loại pixel lân cận	Số pixel lân cận (n)	% diện tích cửa sổ 3x3 (n/9*100)	NĐBMĐ (°C)	NĐBMĐ trung bình (°C)
Mặt nước	Bề mặt không thấm	1 - 8	> 22	21 - 50	35,8
	Đất trống	3 - 6	44 - 77	23 - 50	36,7
	Mặt nước	7 - 8 1 - 6	> 89 < 22	< 30 > 30	26,7
	Thực vật dày	1 - 4 4 - 8	< 55 > 55	< 30 > 30	25,1
	Thực vật thưa	1 - 5	< 66	27 - 43	34,9
	Thực vật trung bình	1 - 5	< 66	25 - 40	32,5
Thực vật dày	Bề mặt không thấm	1 - 2	< 33	34 - 37	35,6
	Mặt nước	3 - 7	44 - 88	20 - 39	29,4
	Thực vật dày	6 - 8 1 - 6	> 77 < 77	< 35 > 35	23,7
	Thực vật thưa	3 - 7	44 - 88	26 - 36	31,3
	Thực vật trung bình	6 - 8	> 77	26 - 36	31,1
Thực vật thưa	Bề mặt không thấm	1 - 7	< 88	25 - 53	38,7
	Đất trống	1 - 7	< 88	32 - 49	40,7
	Mặt nước	1 - 7	< 88	26,6 - 41,1	33,8
	Thực vật dày	3 - 7	44 - 88	24 - 36	29,6
	Thực vật thưa	4 - 7	55 - 88	30 - 45	37,2
	Thực vật trung bình	6 - 8 1 - 6	> 77 < 77	< 32 > 32	33,6
Thực vật trung bình	Bề mặt không thấm	1 - 3	< 44	26 - 47	36,7
	Đất trống	1 - 3	< 44	33 - 48	40,3
	Mặt nước	1 - 7	< 88	22 - 39	31,1
	Thực vật dày	6 - 8 1 - 6	> 77 < 77	< 31 > 31	28,8
	Thực vật thưa	3 - 6	44 - 77	27 - 45	36,1
	Thực vật trung bình	3 - 7	> 44	25 - 41	33,1

Đề xuất giải pháp hạn chế ảnh hưởng của nhiệt độ bề mặt đất trong quy hoạch đô thị

Trong khu vực nội thành cũ, nhiệt độ cao (47 - 50°C) thường tập trung ở khu công nghiệp, các cơ sở sản xuất kinh doanh (dệt, nhựa), chợ đầu mối Bình Điền (Quận 8) và sân bay Tân Sơn Nhất. Nguyên nhân là do diện tích đất dành cho trồng cây xanh trong các khu vực này thấp. Vì vậy, tại những nhà máy, bãi kho hàng có diện tích hạn hẹp nên bổ sung diện tích cây xanh dọc tuyến đường, hoặc sử dụng các kỹ thuật làm mát mái tôn khi xây dựng. Đối với những khu công nghiệp, khu chế xuất có diện tích lớn hơn nên dành một khu đất để trồng cây dạng công viên tối thiểu 0,5 ha hoặc xây dựng các hồ điều tiết nước. Bổ sung diện tích cây xanh quanh các nhà lồng của chợ đầu mối Bình Điền thấp và giảm nhiệt độ mái lồng bằng cách phun sơn chống nóng. Nhiệt độ cao tại các sân bay sẽ làm giảm khả năng cất cánh của máy bay. Để tránh điều này, nên thiết kế mô hình sân bay thân thiện môi trường với nhiều cây xanh trước và sau từ quây làm thủ tục tới cổng. Ngoài ra, nguồn nước tại các kênh rạch ô nhiễm trong khu nội thành không có khả năng điều hòa NĐBMĐ, do vậy cần cải tạo và trồng cây xanh dọc các dòng kênh rạch này.

Trong khu vực nội thành mới, bề mặt không thấm có NĐBMĐ trên 50°C tập trung tại các khu công nghiệp (như Cát Lái, Linh Trung, Tân Tạo, Tân Thuận), khu chế xuất, nhà máy chế biến gỗ Fotime. Thông thường, các nhà máy được xây dựng gần nhau tập trung trong 1 khu vực, điều này làm NĐBMĐ cộng hưởng tăng cao. Do vậy, để giảm nhiệt độ ở những khu này cần xây dựng giãn cách các nhà máy, đồng thời bố trí xen kẽ các nhà máy là hàng cây lớn dọc đường đi, cây xanh dạng công viên hoặc hồ nước và trồng cây xanh xung quanh hồ. Đối với những nhà máy lớn mặc dù có cây xanh xung quanh nhưng nhiệt độ vẫn cao, cần giảm nhiệt cho mái tôn bằng cách phun sơn chống nóng phía trên mái kết hợp với lắp màng nhôm phản xạ nhiệt phía dưới mái tôn, hoặc thiết lập hệ thống phun sương, thông gió trực tiếp trên mái tôn. Tại các khu vực bến cảng, bãi đỗ xe container, xe khách là những nơi có NĐBMĐ cao (45 - 50°C) cần thiết kế trồng thêm cây xanh dọc lối đi. Khu đất trống có NĐBMĐ trên 50°C là những khu đất hoang chưa sử dụng ở thành phố Thủ Đức, Quận 12. Đây là những khu vực được quy hoạch là đất ở và đất chuyên dụng, nên khi xây dựng cần chú ý phối hợp xây dựng thêm hồ bơi, hồ nước công viên chiếm khoảng hơn 55% diện tích. Khi đó, NĐBMĐ đất trống có thể giảm xuống 14°C. Đối với mặt nước có nhiệt độ trên 48°C tập trung tại các bến cảng, khu công nghiệp, nên trồng thêm cây xanh lớn có thể giảm nhiệt 3 - 4°C.

Trong khu vực ngoại thành, ngoài các khu công nghiệp, bãi rác và khu vực xử lý chất thải là những nơi xuất hiện NĐBMĐ cao. Đối với các khu công nghiệp, khu chế xuất cần có các giải pháp giảm nhiệt được thực hiện tương tự như ở khu vực nội thành mới. Ở ngoại thành có ưu thế về diện tích hơn trong nội thành mới nên dễ dàng áp dụng xây dựng nhà máy giãn cách và xen kẽ cây xanh hơn. Tại các bãi chôn lấp rác thải sản sinh nhiệt cao, cần thiết lập những hệ thống quản lý nhiệt (khai thác, điều chỉnh và bổ sung) dựa trên mô hình

phân tích thực nghiệm để xác minh tính hiệu quả và khả thi. Ngoài ra, việc xây dựng một hệ thống xử lý chất thải tại các bãi rác đạt tiêu chuẩn quốc tế là điều cần thiết. Tuy nhiên với một lượng rác khổng lồ mà hàng ngày các bãi rác này nhận xử lý là quá tải. Vì vậy bên cạnh phủ xanh bãi rác, cần nâng cao ý thức người dân để hạn chế việc sử dụng bao ni lông nhằm bảo vệ môi trường sống.

Kết luận

Nghiên cứu đã phân loại lớp phủ đất, trích xuất NDBMĐ từ ảnh vệ tinh Landsat 8 chụp ngày 29/3/2015, phân tích ảnh hưởng của lớp phủ đất đến NDBMĐ. Từ đó, đề xuất những giải pháp hạn chế ảnh hưởng của NDBMĐ trong quy hoạch đô thị. Kết quả cho thấy độ chính xác toàn cục của phân loại lớp phủ đất (bề mặt không thấm, đất trống, mặt nước, mây, thực vật dày, thực vật thưa, thực vật trung bình) năm 2015 là 80,8%, chỉ số Kappa là 0,7. Trong số các lớp phủ đất, diện tích bề mặt không thấm chiếm đa số với 29,4%, phân bố ở các quận nội thành cũ, nội thành mới và dọc các tuyến đường chính. NDBMĐ của khu vực nghiên cứu dao động 0 - 56,7°C với giá trị trung vị 34,9°C. Khoảng 75% diện tích thành phố có NDBMĐ bằng hoặc thấp hơn 34,9°C. Phần lớn số pixel lân cận là cùng loại với lớp phủ đất của pixel trung tâm. Mức độ che phủ thực vật của pixel lân cận tỉ lệ nghịch với NDBMĐ trung bình pixel bề mặt không thấm tại trung tâm. Đối với pixel đất trống, sự xuất hiện càng nhiều pixel thực vật trung bình, thực vật dày và mặt nước lân cận làm NDBMĐ trung bình pixel trung tâm giảm lần lượt 8,6°C, 12,3°C và 14,8°C. Đối với mặt nước, pixel lân cận là bề mặt không thấm, đất trống chiếm ưu thế lần lượt làm tăng NDBMĐ trung bình của mặt nước 9 - 10°C. Đối với lớp thực vật, NDBMĐ trung bình pixel trung tâm tỉ lệ nghịch với mức độ che phủ thực vật của pixel lân cận.

Nghiên cứu còn một số hạn chế về dữ liệu và phương pháp. Trước tiên, thiếu dữ liệu thực địa, đặc biệt là thư viện phổ phản xạ đất tại khu vực nghiên cứu, dẫn đến khó khăn trong việc tính toán NDBMĐ. Các đối tượng mây và bóng mây gây ảnh hưởng đến quá trình thu hồi nhiệt nhưng nghiên cứu mới chỉ dừng lại ở việc loại bỏ mây mà chưa xác định lớp phủ đất bên dưới. Ngoài ra, không có dữ liệu đo đạc thực địa NDBMĐ để đánh giá độ chính xác của phương pháp. Về phân tích, nghiên cứu chủ yếu mô tả định tính mối quan hệ giữa NDBMĐ và lớp phủ đất, chưa giải thích được nguyên nhân của các giá trị NDBMĐ bất thường tại một số loại lớp phủ đất. Ngoài ra, kết quả phân loại lớp phủ đất còn nhầm lẫn, đặc biệt giữa đất trống, thực vật thưa và thực vật trung bình do khó khăn trong việc xác định mẫu đất trống.

Hướng phát triển của nghiên cứu bao gồm việc tích hợp dữ liệu thống kê về dịch bệnh bùng phát trong mùa nắng nóng và số liệu tiêu thụ điện năng để đánh giá tác động của NDBMĐ đến đời sống người dân. Đồng thời, phân tích mối tương quan giữa các yếu tố tự

nhiên và con người ảnh hưởng đến NĐBMĐ, nhằm đưa ra cảnh báo và giải pháp cho công tác quy hoạch đô thị trong tương lai.

Tài liệu tham khảo

- Ahmed, B., Kamruzzaman, M., Zhu, X., Rahman, M., & Choi, K. (2013). Simulating Land Cover Changes and Their Impacts on Land Surface Temperature in Dhaka, Bangladesh. *Remote Sensing*, 5(11), 5969-5998. <https://doi.org/10.3390/rs5115969>
- Alavipanah, S., Wegmann, M., Qureshi, S., Weng, Q., & Koellner, T. (2015). The Role of Vegetation in Mitigating Urban Land Surface Temperatures: A Case Study of Munich, Germany during the Warm Season. *Sustainability*, 7(4), 4689-4706. <https://doi.org/10.3390/su7044689>
- Caselles, E., Abad, F. J., Valor, E., & Caselles, V. (2011). Automatic Generation of Land Surface Emissivity Maps. In *Climate Change - Research and Technology for Adaptation and Mitigation* (pp. 102-114). InTech.
- Christina Koppe, Kovats, S., Jendritzky, G., & Menne, B. (2004). *Heat-waves: risks and responses*. World health Organization. *Health and Global Environmental Change. Series, No. 2*. Copenhagen.
- ESRI (2024). *Focal Statistics*. <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/focal-statistics.htm>
- Jiang, Y., Fu, P., & Weng, Q. (2015). Assessing the Impacts of Urbanization-Associated Land Use/Cover Change on Land Surface Temperature and Surface Moisture: A Case Study in the Midwestern United States. *Remote Sensing*, 7(4), 4880-4898.
- Lê Văn Anh, Trần Anh Tuấn (2014). Nghiên cứu nhiệt độ bề mặt sử dụng phương pháp tính toán độ phát xạ từ chỉ số thực vật. *Tạp chí Các Khoa học về Trái đất*, 36(2), 184-192.
- Lo, C. P., Luvall, J. C., & Quattrochi, D. A. (1997). Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect. *International Journal of Remote Sensing*, 18(2), 287-304.
- Luong Văn Việt (2007). Sự phát triển đô thị và xu thế biến đổi khí hậu tại Thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 558, 29-36.
- NASA (2011). *Atmospheric Correction Parameter Calculator*. <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>
- Ouyang, X., Jia, L., Pan, Y., & Hu, G. (2014). Retrieval of Land Surface Temperature over the Heihe River Basin Using HJ-1B Thermal Infrared Data. *Remote Sensing*, 7(1), 300-318. <https://doi.org/10.3390/rs70100300>
- Sohl, T. L., & Sohl, L. B. (2012). Land-Use Change in the Atlantic Coastal Pine Barrens Ecoregion. *Geographical Review*, 102(2), 180-201.

- Sun, D. (2003). Estimation of land surface temperature from a Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES-8). *Journal of Geophysical Research*, 108(D11). <https://doi.org/10.1029/2002JD002422>
- The Weather Company LCC. (2016). *Weather Underground*. <https://www.wunderground.com/>
- Trần Thị Vân (2011). *Nghiên cứu biến đổi nhiệt độ đô thị dưới tác động của quá trình đô thị hóa bằng phương pháp viễn thám và GIS, trường hợp khu vực Thành phố Hồ Chí Minh*. Luận văn tiến sĩ. Đại học Quốc gia TP.HCM.
- UBND TP. Hồ Chí Minh (2024). *Báo cáo tổng hợp quy hoạch Thành phố Hồ Chí Minh thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050*.
- UBND TP. Hồ Chí Minh. (2011). *Điều kiện tự nhiên*. <http://www.hochiminhcity.gov.vn/thongtinthanhpho/gioithieu/Lists/Posts/AllPosts.aspx?CategoryId=17>
- UN-Habitat (United Nations Human Settlements Programme) (2011). *Global report on human settlements 2011: Cities and Climate Change*. Earthscan. <https://doi.org/10.1787/9789264091375-en>
- Valor, E., & Caselles, V. (1996). Mapping Land Surface Emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American Area. *Remote Sensing of the Environment*, 57, 167-184.
- Van De Griend, a. a., & Owe, M. (1993). On the relationship between thermal emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for natural surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, 14(6), 1119-1131.
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467-483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- Wilhelmi, O. V, Purvis, K. L., & Harriss, R. C. (2004). Designing a Geospatial Information Infrastructure for Mitigation of Heat Wave Hazards in Urban Areas. *Natural Hazards Review*, 5(3), 147-158. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2004\)5:3\(147\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2004)5:3(147))