

## ĐÁNH GIÁ QUÁ TRÌNH ĐÔ THỊ HÓA VÀ MỞ RỘNG KHÔNG GIAN ĐÔ THỊ TẠI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH GIAI ĐOẠN 2010-2024

**Hà Tuấn Cường<sup>(1)</sup>, Trần Hà Phương<sup>(2)</sup>**

*(1)Phân viện Điều tra, Quy hoạch rừng Nam bộ*

*(2) Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

*Ngày nhận bài 30/06/2025; Chấp nhận đăng 30/10/2025*

*Liên hệ email: tuancuongdialyk38@gmail.com*

### **Tóm tắt**

Nghiên cứu này áp dụng mô hình Shannon's entropy kết hợp dữ liệu lớp phủ và sử dụng đất ở nguồn mở giai đoạn 2010-2024 để phân tích quá trình đô thị hóa tại Thành phố Hồ Chí Minh. Kết quả cho thấy diện tích đất đô thị tăng từ 34,338ha năm 2010 lên 89,251ha năm 2024. Đồng thời, diện tích rừng, đất nông nghiệp và đất khác cũng suy giảm. Giá trị Shannon's entropy tăng từ 1.460 (2010) lên 1.502 (2020), thể hiện sự phân tán và đa dạng cảnh quan, nhưng giảm xuống 1.291 (2024) do đô thị hóa tập trung và đồng nhất hóa không gian tại các khu vực trung tâm. Phân tích chỉ số Relative entropy chỉ ra mức sai khác cảnh quan tăng rõ rệt sau 2020, trong đó khu vực lõi đô thị có entropy giảm từ 3.21 xuống 1.37, còn vùng ven và ngoại vi vẫn duy trì mức đa dạng cao nhờ đất nông nghiệp, rừng và mặt nước. Kết quả khẳng định Shannon's entropy là công cụ hiệu quả để định lượng mức độ lan tỏa và phức tạp không gian đô thị, cung cấp cơ sở khoa học cho quy hoạch phát triển bền vững và hoạch định chính sách sử dụng đất.

**Từ khoá:** đô thị hóa, Shannon's entropy, phân tán không gian

### **Abstract**

#### **ASSESSMENT OF URBANIZATION PROCESS AND SPATIAL URBAN EXPANSION IN HO CHI MINH CITY FROM 2010 TO 2024**

This study applies Shannon's entropy model with open-source land use and land cover data from 2010 to 2024 to assess urbanization in Ho Chi Minh city. Urban land expanded from 34,338ha in 2010 to 89,251ha in 2024, largely replacing agricultural land, forests and other land categories. Shannon's entropy increased from 1.460 in 2010 to 1.502 in 2020, indicating greater spatial dispersion, but dropped to 1.291 in 2024 as urbanization became more concentrated and central landscapes more homogeneous. Relative entropy analysis highlights marked landscape differentiation after 2020, with core urban areas showing a sharp entropy decline from 3.21 to 1.37, while peri urban and outer zones maintained higher diversity due to the persistence of agriculture, forests and water bodies. These findings demonstrate that Shannon's entropy is an effective tool for measuring the extent and spatial complexity of urban sprawl and provide a solid scientific basis for sustainable urban planning and land use management.

## 1. Đặt vấn đề

Đô thị hóa là hiện tượng nổi bật trong quá trình phát triển kinh tế – xã hội, đặc biệt ở các quốc gia đang phát triển. Tuy nhiên, sự mở rộng đô thị không kiểm soát gây ra nhiều hệ lụy về môi trường, xã hội và quy hoạch như ô nhiễm không khí, tắc nghẽn giao thông, suy giảm dịch vụ công vùng ven và phân mảnh hệ sinh thái (Brueckner, 2000; Knaap và cs., 2013). Quá trình lan tỏa, mở rộng đô thị diễn ra nhanh tại các thành phố lớn dưới tác động của tăng trưởng dân số và di dân, làm biến đổi mạnh mẽ cấu trúc cảnh quan (Sudhira và cs., 2004).

Thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM), đô thị lớn nhất và đầu tàu phát triển vùng Đông Nam Bộ, đã trải qua chuyển đổi không gian – xã hội mạnh mẽ trong vài thập kỷ gần đây (Nguyen và cs., 2016). Diện tích đô thị mở rộng nhanh, chủ yếu tại các vành đai cận đô, với quá trình đô thị hoá vùng ngoại ô dọc theo hành lang giao thông và khu công nghiệp. Khu vực phía Đông TP.HCM (trước đây là quận 2, 9, Thủ Đức; tức thành phố Thủ Đức sau năm 2020) trở thành “*hạt nhân tăng trưởng*” nhờ các dự án hạ tầng lớn như tuyến Metro số 1, cao tốc Long Thành – Dầu Giây và khu công nghệ cao (Kontgis và cs., 2014; Goldblatt và cs., 2018). Quá trình đô thị hóa nhanh đã làm TP.HCM thay đổi diện tích mảng xanh mỗi năm và gia tăng áp lực vùng ven. Việc đánh giá mức độ phân tán và hướng lan tỏa không gian là cấp thiết nhằm nhận diện các vành đai biến động mạnh và cảnh báo rủi ro quy hoạch.

Công nghệ viễn thám kết hợp với dữ liệu lớp phủ và sử dụng đất (LULC) là công cụ quan trọng trong giám sát và đánh giá quá trình đô thị hóa. Việc tích hợp LULC với các chỉ số thống kê không gian, đặc biệt là *entropy*, cho phép lượng hóa mức độ phân tán, phức tạp và biến động của đô thị (Aguilera và cs., 2011). Chỉ số entropy phản ánh mức độ phân tán trong phân bố lớp phủ đất, từ đó đánh giá khách quan mức độ lan tỏa đô thị và áp lực lên môi trường tự nhiên (Lata và cs., 2001; Grigorescu và cs., 2012). Các nghiên cứu gần đây cho thấy việc sử dụng Shannon’s entropy kết hợp dữ liệu LULC là phương pháp hiệu quả để đánh giá sự phân tán và phân mảnh không gian đô thị (Rahaman và cs., 2019). Thực nghiệm tại các đô thị lớn của Ấn Độ như Mumbai, Delhi, Kolkata và Chennai chỉ ra rằng đô thị hóa nhanh dẫn đến mở rộng ranh giới đô thị và hợp nhất các khu vực nông thôn lân cận (Shaw & Satish, 2007; Bhatta, 2010; Ghosh & Das, 2017). Nghiên cứu tại Riyadh (1990-2009) và Semarang (2011-2021) tại Indonesia cũng khẳng định hiệu quả của phương pháp entropy kết hợp LULC trong đo lường sự lan tỏa đô thị và biến động giữa các lớp sử dụng đất (Rahman và cs., 2016; Dewa và cs., 2022).

Tại Việt Nam, nhiều nghiên cứu đã khai thác dữ liệu lớp phủ/sử dụng đất (LULC) kết hợp với công nghệ viễn thám và GIS để đánh giá quá trình đô thị hóa và mở rộng không gian đô thị (Nguyễn Trần Tuấn, 2022; 2023; Linh và cs., 2024). Tuy nhiên, cho tới nay, khá ít nghiên cứu áp dụng chỉ số Shannon’s Entropy để đo lường mức độ phân tán và biến đổi cảnh quan. Ngoài ra, việc thống kê và kiểm kê diện tích hiện trạng sử dụng đất hằng năm chủ yếu phản ánh biến động diện tích theo đơn vị hành chính, phục vụ quản lý đất đai mang tính pháp lý. Các báo cáo hiện trạng này chưa đánh giá được cách đô thị hóa lan tỏa theo trục không gian, chưa chỉ ra vùng lõi đang bão hòa hay vùng ven đang chịu áp lực chuyển đổi. Nghiên cứu này sử dụng entropy theo khoảng cách từ trung tâm đến ngoại vi dựa trên dữ liệu LULC 2010-2024, giúp định lượng lan tỏa không gian, nhận diện các vành đai mở rộng.

Để đảm bảo so sánh nhất quán giữa các mốc 2010, 2015, 2020 và 2024, nghiên cứu giữ nguyên ranh hành chính trước sáp nhập trong phân tích không gian.

## 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

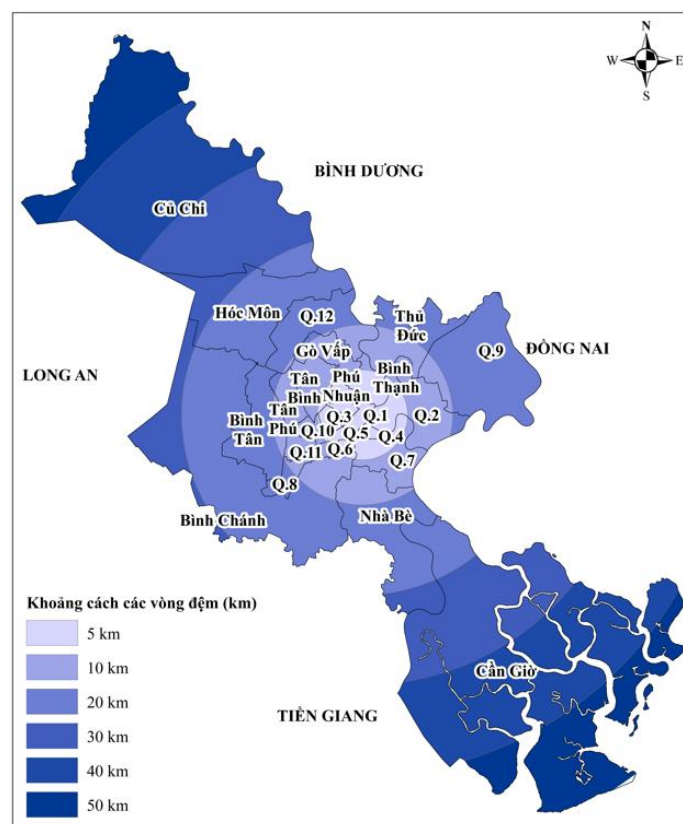
### 2.1. Dữ liệu nghiên cứu

Dữ liệu mặt phủ đất và sử dụng đất (LULC) được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm bản đồ lớp phủ bề đất hàng năm từ *Regional Land Cover Monitoring System (RLCMS)*, phát triển bởi Spatial Informatics Group, hợp tác với NASA’s SERVIR Southeast Asia và Asian Disaster Preparedness Center. Hệ thống này cung cấp bản đồ lớp phủ bề mặt đất với độ phân giải 30m, từ năm 2000 đến năm 2023, dựa trên dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat và MODIS. Để bổ sung dữ liệu cho năm 2024, nghiên cứu sử dụng bộ dữ liệu *Sentinel-2 Land Cover Explorer* từ *ArcGIS Living Atlas*.

Tất cả dữ liệu LULC từ hai nguồn được tổng hợp và chuẩn hóa thành 5 lớp phủ chính: (i) Mặt nước; (ii) đất rừng; (iii) đất xây dựng/đô thị; (iv) đất nông nghiệp; và (v) đất khác (bao gồm mặt nước nuôi thủy sản, đất trống, đất chưa sử dụng, v.v.)

### 2.2. Cơ sở lựa chọn khoảng cách các vòng đệm (buffer)

Việc thiết lập hệ thống vòng tròn đồng tâm được xây dựng dựa trên nguyên lý gradient đô thị – nông thôn, là nền tảng trong nhiều nghiên cứu về cấu trúc cảnh quan và đô thị. Các nghiên cứu trước đây về cấu trúc cảnh quan và hiệu ứng đô thị hóa (Voogt và cs., 2003; Weng, 2007; Dai và cs., 2018; McKinney, 2002) đều phân biệt ba khu vực không gian chính: khu vực lõi đô thị (*urban core*), vùng chuyển tiếp (*peri-urban transition*), và khu vực ven đô/nông thôn (*rural or exurban fringe*). Nghiên cứu này xây dựng các vòng tròn đồng tâm làm đơn vị phân tích, với các mốc khoảng cách tăng dần 5-10-20-30-40-50km và được thể hiện ở hình 1.



**Hình 1.** Khoảng cách các vòng đệm theo khoảng cách với hạt nhân trung tâm là quận 1

### 2.3. Tính toán tốc độ tăng trưởng đô thị trung bình hằng năm

Để đánh giá mức độ đô thị hóa và mở rộng không gian đô thị tại TP.HCM, dữ liệu phân loại sử dụng đất và lớp phủ mặt đất (LULC) được sử dụng ở các mốc thời gian khác nhau (2010, 2015, 2020, 2024). Diện tích đất xây dựng tại mỗi thời điểm ( $A_t$ ) được trích xuất thông qua phân tích GIS, dựa trên thống kê diện tích pixel. Tốc độ tăng trưởng đô thị được thể hiện qua công thức 1 như sau (UN, 2025):

$$\frac{A_{t_2} - A_{t_1}}{A_{t_1}} \times \frac{1}{t} \times 100 \quad (1)$$

### 2.4. Đo lường mức độ phân tán đô thị hoá bằng chỉ số Shannon's Entropy

Theo quan niệm của Shannon (1948), entropy dùng biểu thị mức độ ngẫu nhiên hoặc bất định trong một hệ thống. Khi được áp dụng cho phân tích không gian đô thị, Shannon's entropy được sử dụng như một chỉ số đo lường mức độ tập trung hay phân tán của một biến địa lý, thường là diện tích đất xây dựng hoặc tỷ lệ các loại lớp phủ sử dụng đất (Yeh & Li, 2001; Sudhira và cs., 2004). Chỉ số Shannon's entropy được tính ở công thức 2 như sau:

$$H_n = - \sum P_i \log_e(P_i) \quad (2)$$

Trong đó,  $P_i$  là tỷ lệ của biến cần phân tích tại vùng thứ  $i$ ;  $n$  là tổng số vùng (đơn vị hành chính/phường).

Giá trị entropy dao động từ 0 đến  $\log_n$ , trong đó các giá trị gần 0 phản ánh cấu trúc tập trung, còn giá trị gần  $\log_n$  biểu thị sự phân tán mạnh, gắn liền với hiện tượng lan tỏa đô thị (*urban sprawl*) (Barnes và cs., 2001; Shekhar, 2004).

### 2.5. Đánh giá mức độ sai khác cảnh quan bằng chỉ số Relative Entropy

Shannon's entropy chỉ phản ánh mức độ đa dạng hoặc phân tán tại một thời điểm, chưa thể hiện biến đổi theo thời gian. Do đó, các nghiên cứu đề xuất dùng Relative Entropy (entropy tương đối) hay Kullback–Leibler divergence để đo mức độ khác biệt giữa các phân bố cảnh quan ở các thời điểm khác nhau (Thomas, 1981; Das và cs., 2021). Entropy tương đối cho biết mức độ khác biệt của cấu trúc cảnh quan hiện tại so với năm gốc, phản ánh cường độ biến động không gian. Kết hợp Shannon's entropy và Relative entropy giúp đánh giá toàn diện mức độ và hướng biến động đô thị (Barman và cs., 2024). Giá trị Relative entropy (entropy tương đối) cho  $n$  vùng được tính theo công thức 3:

$$H_1 = \frac{H_n}{\sum_{i=1}^n \ln(n)} \quad (3)$$

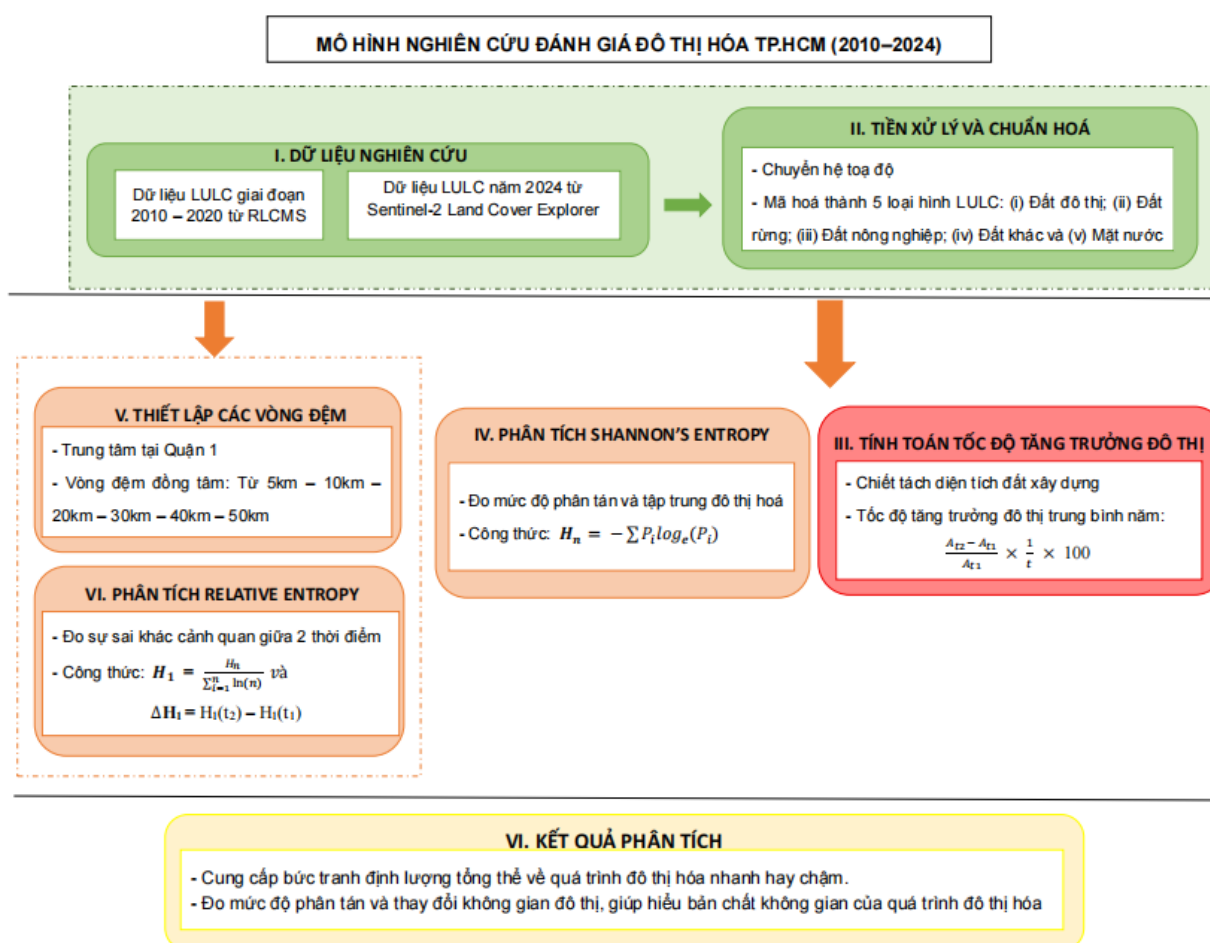
Trong đó,  $H_1$  là entropy tương đối,  $H_n$  là entropy tuyệt đối và  $n$  là tổng số vùng.

Để đo tốc độ thay đổi hoặc mức độ gia tăng quá trình lan tỏa đô thị theo thời gian, mức chênh lệch entropy tương đối giữa hai thời điểm được tính theo công thức 4:

$$\Delta H_1 = H_1(t_2) - H_1(t_1) \quad (4)$$

Trong đó,  $\Delta H$  là mức biến động entropy tương đối giữa hai thời kỳ,  $H_1(t_1)$  là entropy tại thời điểm ban đầu;  $H_1(t_2)$  là entropy tại thời điểm sau (Sun và cs., 2007).

Hình 2 mô tả quy trình đánh giá đô thị hóa TP.HCM giai đoạn 2010-2024, tích hợp dữ liệu LULC đa thời gian và phân tích entropy nhằm định lượng tốc độ mở rộng đô thị và mức độ phân tán không gian theo hướng tâm.



Hình 2. Sơ đồ tóm tắt các bước nghiên cứu chính

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Thay đổi diện tích lớp phủ sử dụng đất giai đoạn 2010-2024

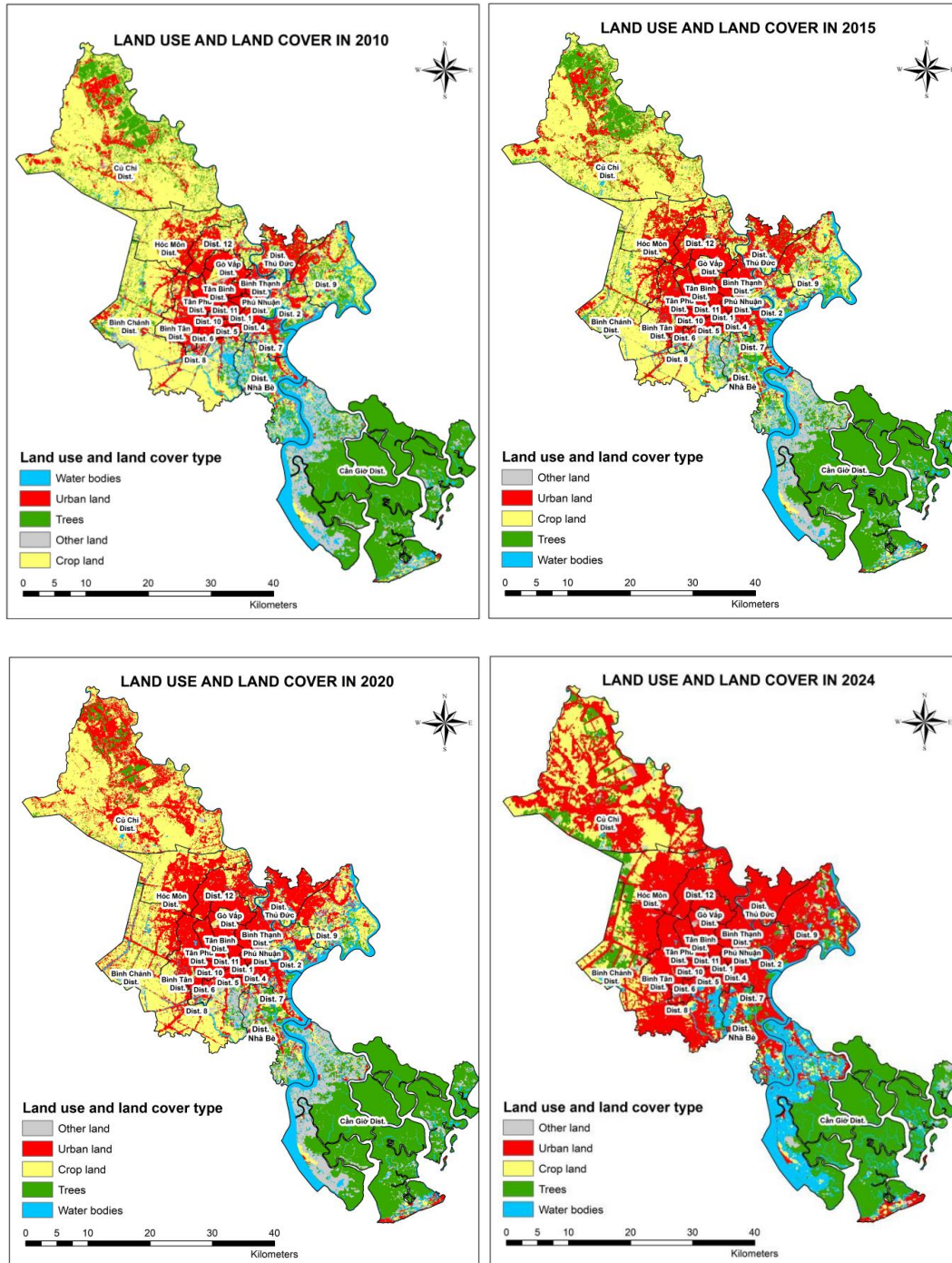
##### 3.1.1. Đánh giá biến động diện tích các lớp phủ đất

Giai đoạn 2010-2024, TP.HCM trải qua sự chuyển dịch lớn trong cơ cấu sử dụng đất, phản ánh quá trình đô thị hóa diễn ra nhanh và lan tỏa rộng trong không gian.

**Bảng 1.** Diện tích (ha) của các loại hình lớp phủ và sử dụng đất giai đoạn 2010-2024

Loại hình LULC	Năm 2010	Năm 2015	Năm 2020	Năm 2024
Đất nông nghiệp (Crop land)	70,442.66	67,230.79	61,104.65	29,945.10
Đất rừng (Trees)	54,527.80	54,875.38	43,128.90	43,702.20
Đất đô thị (Urban land)	34,337.77	39,229.78	55,974.08	89,250.50
Mặt nước (Water bodies)	21,964.02	19,592.96	20,484.71	27,280.10
Đất khác (Other land)	13,685.50	14,028.80	14,265.40	4,788.02
<b>Tổng</b>	<b>194,957.75</b>	<b>194,957.71</b>	<b>194,957.74</b>	<b>194,965.92</b>

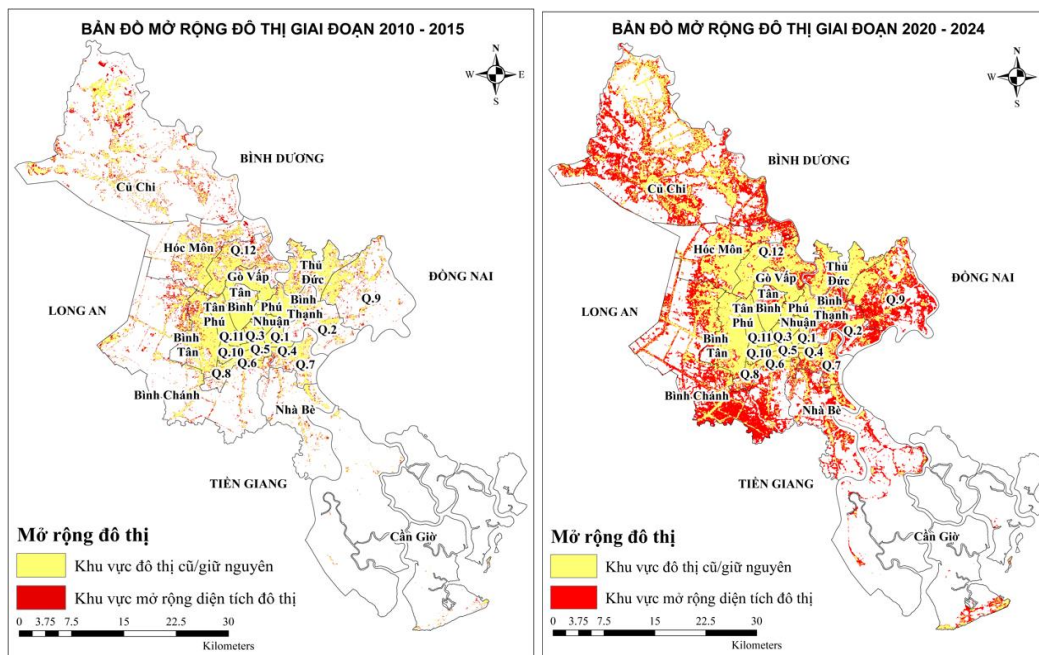
Diện tích đất đô thị tăng gần 2.6 lần, từ 34,338ha lên 89,251ha, chủ yếu ở các huyện ven đô như Bình Chánh, Hóc Môn, Củ Chi và Nhà Bè. Đất nông nghiệp giảm mạnh từ 70,443ha xuống 29,945ha. Diện tích đất rừng biến động qua các năm, cụ thể diện tích giảm từ 54,528ha (2010) xuống 43,129ha (2020) rồi tăng lên 43,702ha (2024), chủ yếu do thay đổi diện tích rừng trồng. Nhóm đất khác thu hẹp đáng kể, từ 13,686ha còn 4,788ha, cho thấy phần lớn diện tích này đã được chuyển đổi phục vụ phát triển đô thị và hạ tầng. Sự thay đổi diện tích 5 loại hình LULC được thể hiện qua hình 3.



Hình 3. Phân loại LULC tại TP.HCM giai đoạn 2010-2024 từ dữ liệu nguồn mở

3.1.2. Tốc độ tăng trưởng đô thị TP.HCM trung bình năm giai đoạn 2010-2024

Diện tích đô thị TP. HCM tăng mạnh trong giai đoạn 2010-2024, thể hiện xu thế mở rộng không gian rõ rệt. Giai đoạn 2010-2015, diện tích đô thị tăng 14.26%, với tốc độ tăng trưởng 2.66%/năm, chủ yếu quanh trung tâm và các quận ven như Bình Tân, Gò Vấp, Thủ Đức. Từ 2015-2020, tốc độ tăng trưởng đô thị đạt 7.20%/năm, lan rộng về phía Bắc như Củ Chi, Hóc Môn và phía Nam tại huyện Nhà Bè, quận 7. Giai đoạn 2020-2024 đạt mức cao nhất (12.63%/năm), phản ánh đô thị hóa nhanh, lan tỏa đến vùng ngoại thành, nhất là dọc các trục giao thông hướng Long An, Đồng Nai và Bình Dương.



Hình 4. Tốc độ tăng trưởng đô thị dựa trên dữ liệu LULC giai đoạn 2010-2024

3.2. Đánh giá biến động đa dạng cảnh quan qua chỉ số Shannon (2010-2024)

3.2.1. Tổng quan đa dạng cảnh quan TP.HCM bằng chỉ số Shannon entropy

Kết quả tính toán chỉ số Shannon entropy (H) cho giai đoạn 2010-2024 cho thấy sự biến động rõ rệt trong mức độ đa dạng và phân bố không gian của các loại hình sử dụng đất. Giá trị H tăng nhẹ từ 1.460 (năm 2010) lên 1.502 (năm 2020), sau đó giảm mạnh xuống 1.291 (năm 2024).

Khi chuẩn hóa theo giá trị cực đại  $H_{max} = \ln(5) = 1.609$ , chỉ số entropy chuẩn hóa ( $H'$ ) dao động từ 0.90-0.93 trong giai đoạn 2010-2020 và giảm xuống 0.80 vào năm 2024.

Bảng 2. Chỉ số Shannon entropy và chỉ số chuẩn hóa ( $H'$ )

Năm	Shannon's Entropy (H)	Chỉ số chuẩn hoá $H' = \frac{H}{1.609}$	Đánh giá xu thế
2010	1.460	0.907	Phân tán cao
2015	1.472	0.915	Phân tán cao
2020	1.502	0.934	Phân tán cao nhất
2024	1.291	0.802	Tiến tới tập trung hơn

Kết quả Shannon entropy phản ánh hai pha chuyển hóa rõ rệt của cấu trúc cảnh quan TP.HCM. Giai đoạn 2010-2020 entropy tăng cho thấy mức độ đa dạng và phân tán

không gian tăng lên khi đất nông nghiệp và đất khác được chuyển đổi sang nhiều loại hình đô thị và cảnh quan mới. Đến 2024 entropy giảm do đất xây dựng chiếm ưu thế, cảnh quan trở nên tập trung và đơn dạng hơn. Dù số lượng dự án mới chậm lại bởi ảnh hưởng dịch Covid-19 và khó khăn kinh tế trong năm 2020 và 2021, tuy nhiên xu hướng này phù hợp với kết quả nghiên cứu dự báo sử dụng đất của Nguyen Tran Tuan và cs. (2025), trong đó đất nông nghiệp TP.HCM giảm gần 10% và đất đô thị tăng gần 25% giai đoạn 2000-2020. Điều này khẳng định đô thị đang chuyển từ mở rộng biên sang tái cấu trúc theo chiều sâu, tập trung điền đầy các khu vực đã phát triển.

### 3.2.2. Đánh giá biến động cảnh quan bằng chỉ số Relative Entropy

Nghiên cứu sử dụng chỉ số *Relative entropy (entropy tương đối)* nhằm định lượng mức độ khác biệt cảnh quan theo thời gian. Cụ thể, bằng cách so sánh phân bố lớp phủ và sử dụng đất của các năm 2015, 2020 và 2024 với năm 2010 làm tham chiếu, bổ sung cho kết quả Shannon entropy về đa dạng cảnh quan ở mục 3.2.1.

Giai đoạn 2010-2015, chỉ số entropy tương đối  $\approx 0.0085$ , phản ánh sự khác biệt rất nhỏ, cảnh quan hầu như không có sự biến động. Từ năm 2020, chỉ số tăng lên 0.0394, chủ yếu do đất xây dựng mở rộng và đất nông nghiệp, đất rừng giảm nhẹ, cảnh quan bắt đầu có sự thay đổi nhưng phân bố lớp đất vẫn tương đối đồng đều. Đến 2024, chỉ số entropy tương đối tăng lên 0.2626, chủ yếu vì đất xây dựng mở rộng, chiếm tỷ lệ lớn hơn các lớp đất khác, trong khi đất nông nghiệp và đất khác giảm đáng kể. Kết quả cho thấy đô thị hóa tập trung, làm giảm sự cân bằng và giảm sự đa dạng lớp phủ đất, phù hợp với xu hướng giảm Shannon entropy trong cùng giai đoạn.

**Bảng 3.** Giá trị *Relative entropy (entropy tương đối)* so với năm tham chiếu 2010

Lớp phủ và sử dụng đất	2015 vs 2010	2020 vs 2010	2024 vs 2010
Đất nông nghiệp	-0.0142	-0.0441	-0.1308
Đất rừng	0.0035	-0.0512	-0.0501
Đất xây dựng	0.0282	0.1382	0.4373
Mặt nước	-0.0112	-0.0070	0.0312
Đất khác	0.0022	0.0035	-0.0250
<b>Tổng</b>	<b><math>\approx 0.0085</math></b>	<b><math>\approx 0.0394</math></b>	<b><math>\approx 0.2626</math></b>

### 3.2.3. Phân tích không gian đa dạng cảnh quan theo vùng đệm đồng tâm

Phân tích chỉ số Shannon entropy của các lớp sử dụng đất/cảnh quan (LULC) tại các khoảng cách vòng đệm từ quận 1 cho thấy gradient không gian rõ rệt.

Ở vòng đệm nhỏ nhất < 5km, đại diện cho trung tâm thành phố, giá trị entropy giảm mạnh vào năm 2024 ( $\sim 1.37$ ) so với các năm trước ( $\sim 3.21$  năm 2010,  $\sim 3.06$  năm 2015,  $\sim 2.88$  năm 2020). Sự suy giảm đáng kể này phản ánh cảnh quan đô thị hóa đồng nhất hóa, phù hợp với quá trình phát triển đô thị mạnh mẽ tại trung tâm TP.HCM.

Ở các vòng đệm trung gian từ 10-20km, bao gồm các quận lân cận trung tâm như quận 2, quận 7 và Bình Thạnh,... giá trị entropy cũng giảm rõ rệt vào năm 2024. Điều này cho thấy đô thị hóa đã biến các vùng cảnh quan trước đây đa dạng thành môi trường đồng nhất hơn, với đặc trưng không gian là đất xây dựng.

Đối với các vòng đệm khoảng cách 30-50km so với trung tâm, giá trị entropy vẫn ổn định qua các năm. Điều này cho thấy các vùng ngoại vi, bao gồm Cần Giuộc, Hóc Môn và Củ Chi, vẫn giữ đa dạng LULC, với sự kết hợp giữa rừng ngập mặn (hoặc rừng tròng), đất nông nghiệp và các khu dân cư.

**Bảng 4.** Giá trị Shannon entropy theo khoảng cách các vòng đệm giai đoạn 2010-2024

Khoảng cách (km)	2010	2015	2020	2024
5km	3.209	3.055	2.879	1.366
10km	6.277	6.106	5.561	2.885
20km	7.164	7.148	6.690	4.216
30km	5.874	5.771	5.865	4.980
40km	5.530	5.617	5.371	5.738
50km	5.890	5.654	5.632	5.617

#### 4. Kết luận

Trong giai đoạn 2010-2024, TP.HCM trải qua quá trình đô thị hóa nhanh và mạnh mẽ, diện tích đất xây dựng tăng gần 2.6 lần, chủ yếu lấn vào đất nông nghiệp và một phần đất khác. Sự gia tăng này tập trung tại các quận, huyện ven đô và vùng chuyển tiếp, trong khi khu vực trung tâm gần như bão hòa. Kết quả tính toán tốc độ tăng trưởng đô thị cho thấy giai đoạn 2015-2020 đạt 7.20%/năm, phản ánh sự bùng nổ không gian đô thị, giai đoạn 2020-2024 với mức tăng trung bình trở lại 12.63%/năm, phản ánh quá trình lấp đầy không gian đô thị sau giai đoạn gián đoạn do COVID-19; xu hướng này đồng thời cho thấy chuyển dịch từ chiều rộng sang phát triển chiều sâu.

Phân tích Shannon entropy cho thấy sự gia tăng đa dạng cảnh quan đến năm 2020, nhưng giảm mạnh vào 2024 do đô thị hóa tập trung làm cảnh quan đồng nhất. Đồng thời, kết quả chỉ số Relative entropy khẳng định mức độ sai khác cảnh quan ngày càng lớn so với năm tham chiếu 2010, đặc biệt rõ rệt ở giai đoạn 2020-2024. Phân tích theo gradient không gian cho thấy khu vực lõi đô thị và vành đai cận trung tâm suy giảm mạnh về đa dạng cảnh quan, trong khi các vùng ngoại vi như Cần Giờ, Củ Chi, Hóc Môn vẫn duy trì tính đa dạng sinh thái. Điều này chỉ ra rằng quá trình đô thị hóa tại TP.HCM đang tập trung vào vùng lõi và cận lõi, trong khi vùng ngoại biên giữ vai trò vành đai sinh thái.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Aguilera, F., Valenzuela, L. M., & Botequilha-Leitão, A. (2011). Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: A case study in a Spanish metropolitan area. *Landscape and Urban Planning*, 99(3,4), 226-238.
- [2] Barman, S., Roy, D., Sarkar, B. C., Almohamad, H., & Abdo, H. G. (2024). Assessment of urban growth in relation to urban sprawl using landscape metrics and Shannon's entropy model in Jalpaiguri urban agglomeration, West Bengal, India. *Geocarto International*, 39(1), 2306258.
- [3] Barnes, K. B., Morgan, J. M. III, Roberge, M. C., & Lowe, S. (2001). *Sprawl development: Its patterns, consequences, and measurement* (Master's thesis). Towson University.
- [4] Brueckner, J.K. (2000) Urban Sprawl, Diagnosis and Remedies. *International and Regional Science Review*, 23, 160-171.
- [5] Chong, C. (2012). *Comparison of spatial data types for urban sprawl analysis using Shannon's entropy*. University of Southern California Spatial Sciences Institute.
- [6] Dai, X., Liu, J., Wang, Y., & Zhou, S. (2018). Spatiotemporal analysis of urban expansion and its driving forces in metropolitan regions of China. *Landscape and Urban Planning*, 177, 302-313.

- [7] Das, S., & Angadi, D. P. (2021). Assessment of urban sprawl using landscape metrics and Shannon's entropy model approach in town level of Barrackpore sub-divisional region, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(2), 1071-1095.
- [8] Dewa, D. D., Buchori, I., Sejati, A. W., & Liu, Y. (2022). Shannon entropy-based urban spatial fragmentation to ensure sustainable development of the urban coastal city: A case study of Semarang, Indonesia. *Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.*, 28, 100839.
- [9] Ghosh S, Das A. (2017). Exploring the lateral expansion dynamics of four metropolitan cities of India using DMSP/OLS night time image. *Spat Inf Res.*, 25(6), 779-789.
- [10] Goldblatt, R., Deininger, K., & Hanson, G. (2018). Utilizing publicly available satellite data for urban research: Mapping built-up land cover and land use in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Development Engineering*, 3, 83-99.
- [11] Grigorescu, I., Mitrică, B., Kucsicsa, G., Popovici, E.-A., Dumitrașcu, M., & Cuculici, R. (2012). Post-communist land use changes related to urban sprawl in the Romanian metropolitan areas. *Human Geographies*, 6(1), 35-46.
- [12] Knaap, G., Talen, E., Olshansky, R., & Forrest, C. (2013). *Government policy and urban sprawl*. Illinois Department of Natural Resources, Office of Realty and Environmental Planning.
- [13] Kontgis, C., Schneider, A., Fox, J., Saksena, S., Spencer, J., & Castrence, M. (2014). Monitoring peri-urbanization in the greater Ho Chi Minh City metropolitan area. *Applied Geography*, 53, 377-388.
- [14] Lata, K. M., Rao, C. S., Prasad, V. K., Badarianth, K. V. S., & Raghavasamy, V. (2001). Measuring urban sprawl: A case study of Hyderabad. *GIS Dev.*, 5(12), 26-29.
- [15] Linh, N. H. K., Pham, T. G., Pham, T. H., Tran, C. T. M., Nguyen, T. Q., Ha, N. T., & Ngoc, N. B. (2024). Land-Use and Land-Cover Changes and Urban Expansion in Central Vietnam: A Case Study in Hue City. *Urban Science*, 8(4), 242.
- [16] McKinney, M. L. (2002). Urbanization, biodiversity, and conservation. *BioScience*, 52(10), 883-890.
- [17] Nguyen Tran Tuan, Hegedüs, G., & Nguyen Thi Tung Phuong. (2025). Urbanization and forecast possibilities of land use changes by 2050: New evidence in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Open Agriculture*, 10(1).
- [18] Nguyễn Trần Tuấn. (2022). Urbanization and land use change: A study in Vietnam. *Environmental & Socio-economic Studies*, 10(2), 19-29.
- [19] Nguyễn Trần Tuấn. (2023). A comparative study of urban land use efficiency of the cities of Hai Phong and Can Tho, Vietnam. *Environ. Socioecon. Stud.*, 11(3), 43-53.
- [20] Nguyen, T. B., Samsura, D. A. A., van der Krabben, E., & Le, A.-D. (2016). Saigon-Ho Chi Minh City. *Cities*, 50, 16-27.
- [21] Rahaman, M., Dutta, S., Sahana, M., & Das, D. N. (2019). *Analysing urban sprawl and spatial expansion of Kolkata urban agglomeration using geospatial approach*. In P. Kumar, M. Rani, P. Chandra Pandey, H. Sajjad, & B. S. Chaudhary (Eds.), *Applications and challenges of geospatial technology*, pp. 205-221. Springer.
- [22] Rahman, M. T. (2016). Land use and land cover changes and urban sprawl in Riyadh, Saudi Arabia: An analysis using multi-temporal Landsat data and Shannon's entropy index. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B8, 1017-1021.
- [23] Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423.

- [24] Shekhar, S. (2004). Urban sprawl assessment using entropy approach. *GIS Development*, 8, 43-48.
- [25] Sudhira, H. S., Ramachandra, T. V., Jagadish, K. S. (2004). Urban sprawl: metrics, dynamics and modelling using GIS. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf*, 5(1), 29-39.
- [26] Sun, H., Forsythe, W., & Waters, N. (2007). Modeling urban land use change and urban sprawl: Calgary, Alberta, Canada. *Netw. Spat. Econ*, 7(4), 353-376.
- [27] Thomas, R. W. (1981). *Information statistics in geography*. Norwich: Geo Abstracts.
- [28] UN-Habitat (2025). *SDG 11.3.1 - SDG indicator metadata*.
- [29] Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370-384.
- [30] Weng, Q. (2007). A remote sensing–GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International Journal of Remote Sensing*, 28(10), 2265-2285.
- [31] Yeh, A. G.-O., & Li, X. (2001). Measurement and monitoring of urban sprawl in a rapidly growing region using entropy. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 67(1), 83-90.