

ĐÁNH GIÁ BIẾN ĐỘNG ĐẤT NÔNG NGHIỆP DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA QUÁ TRÌNH ĐÔ THỊ HÓA KHU VỰC PHÍA ĐÔNG THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Nguyễn Thị Thuận^{1,2}, Nguyễn Ngọc Thanh¹, Nguyễn Hữu Ngũ^{1*}

¹Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, 102 Phùng Hưng, Huế, Việt Nam

²Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh, 236B Lê Văn Sỹ, Tân Sơn Hòa, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Tác giả liên hệ: Nguyễn Hữu Ngũ <nhuungu@hueuni.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 02-7-2026; Ngày chấp nhận đăng: 17-8-2026)

Tóm tắt. Nghiên cứu này nhằm đánh giá biến động đất nông nghiệp dưới tác động của quá trình đô thị hóa tại khu vực phía đông Thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 2015-2025. Dữ liệu gồm bản đồ hiện trạng sử dụng đất các năm 2015, 2020 và 2025. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GIS để chuẩn hóa và tái phân loại sử dụng đất, xây dựng ma trận chuyển đổi sử dụng đất và phân tích biến động sử dụng đất. Biến động đất nông nghiệp được đánh giá thông qua các chỉ số định lượng gồm tỷ lệ mất đất nông nghiệp (ALLR), tốc độ chuyển đổi đất nông nghiệp hàng năm (AACR) và chỉ số đóng góp của đô thị hóa vào mất đất nông nghiệp (C_{index}). Kết quả cho thấy diện tích đất nông nghiệp giảm từ 4407,9 ha năm 2015 xuống còn 3457,9 ha năm 2025, tương ứng giảm ròng 950,1 ha. Phần lớn diện tích chuyển đổi sang đất xây dựng (874,3 ha) và đất giao thông (198,9 ha). Chỉ số C_{index} đạt trên 95% ở cả hai giai đoạn nghiên cứu, cho thấy đô thị hóa là nguyên nhân chính dẫn đến mất đất nông nghiệp. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học phục vụ quản lý sử dụng đất và phát triển đô thị bền vững tại khu vực nghiên cứu.

Từ khóa: biến động sử dụng đất, đô thị hóa, GIS, mất đất nông nghiệp, Thành phố Hồ Chí Minh

Assessment of agricultural land loss under the impact of urbanization in Eastern Ho Chi Minh City, Vietnam

Nguyen Thi Thuan^{1,2}, Nguyen Ngoc Thanh¹, Nguyen Huu Ngu^{1*}

¹University of Agriculture and Forestry, Hue University, 102 Phung Hung St., Hue City, Vietnam

²University of Natural Resources and Environment of Ho Chi Minh City, 236B Le Van Sy, Tan Son Hoa, Ho Chi Minh City, Vietnam

* Correspondence to: Nguyen Huu Ngu <nhuungu@hueuni.edu.vn>

(Received: 02 July 2026; Accepted: 17 August, 2026)

Abstract. Agricultural land is increasingly threatened by urbanization, particularly in rapidly developing areas. This study evaluates agricultural land loss in response to urbanization in eastern Ho Chi Minh City during the period 2015-2025. The analysis was based on land use status maps from 2015, 2020, and 2025. GIS technology was used to standardize land-use classes and analyze land-use changes. Agricultural land loss was then quantified using three indicators: Agricultural Land Loss Rate (ALLR),

Annual Agricultural Conversion Rate (AACR), and the Contribution Index of urbanization to agricultural land loss (C_{index}). The results show that agricultural land decreased from 4,407.9 ha in 2015 to 3,457.9 ha in 2025, representing a reduction of 950.1 ha. Most converted agricultural land was transformed into built-up land (874.3 ha) and transportation land (198.9 ha). The C_{index} exceeded 95% in both study periods, indicating that urbanization was the main driver of agricultural land loss. These findings provide a scientific basis for land management and sustainable urban development in the study area.

Keywords: livelihood diversification, livelihood transition, Tam Giang Lagoon, white leg shrimp farming.

1 Đặt vấn đề

Đất nông nghiệp giữ vai trò quan trọng đối với an ninh lương thực thế giới. Tuy nhiên nguồn tài nguyên này đang chịu áp lực ngày càng lớn dưới tác động của quá trình đô thị hóa [1, 2]. Nhiều nghiên cứu quốc tế đã chỉ ra rằng đô thị hóa là một trong những nguyên nhân trực tiếp dẫn đến thu hẹp diện tích đất nông nghiệp, đặc biệt tại các quốc gia đang phát triển có tốc độ tăng trưởng kinh tế và gia tăng dân số cao [3-8]. Theo dự báo của Bren d'Amour và cộng sự, đến năm 2030, quá trình mở rộng đô thị có thể làm giảm khoảng 1,8% - 2,4% diện tích đất trồng trọt toàn cầu [9].

Quá trình mở rộng đô thị thường kéo theo sự chuyển đổi đất nông nghiệp sang các loại hình sử dụng đất phi nông nghiệp để phục vụ cho các nhu cầu phát triển hạ tầng, công nghiệp và dịch vụ. Xu hướng này làm giảm quỹ đất sản xuất nông nghiệp, đồng thời đặt ra nhiều thách thức đối với phát triển bền vững và công tác quản lý sử dụng đất [10, 11]. Nghiên cứu tại Trung Quốc cho thấy đất nông nghiệp là loại đất bị chuyển đổi chủ yếu trong quá trình đô thị hóa, với hơn 33,080 km² đất nông nghiệp đã bị mất trong giai đoạn 2001-2013 do mở rộng đô thị quy mô lớn [12]. Gần đây hơn, Wen và cộng sự (2024) chỉ ra rằng khoảng 41% diện tích đô thị mở rộng được chuyển đổi trực tiếp từ đất nông nghiệp [13].

Tại Việt Nam, quá trình công nghiệp hóa và đô thị hóa trong hơn hai thập kỷ qua đã thúc đẩy

chuyển đổi mạnh mẽ cơ cấu sử dụng đất, đặc biệt tại các vùng đô thị lớn như Thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM). Nghiên cứu của Kontgis và cộng sự (2014) cho thấy trong giai đoạn 1990-2012, có khoảng 660,2 km² đất nông nghiệp tại TP.HCM được chuyển đổi sang đất xây dựng. Quá trình này làm diện tích đất đô thị tăng gần 5 lần, phản ánh xu hướng giảm mạnh quỹ đất nông nghiệp dưới tác động của mở rộng đô thị [14]. Gần đây hơn, Liang và cộng sự (2025) chỉ ra rằng trong giai đoạn 2010-2020, 93,76% diện tích đất xây dựng mới tại TP.HCM được chuyển đổi trực tiếp từ đất canh tác, cho thấy đất nông nghiệp tiếp tục là nguồn đất chính phục vụ quá trình mở rộng đô thị [15]. Đồng thời, Nguyen Tran Tuan và cộng sự (2025) ghi nhận diện tích đất nông nghiệp toàn thành phố đã giảm gần 10% trong giai đoạn 2000-2020 và được dự báo tiếp tục giảm mạnh trong những thập niên tới [16].

Đối với TP.HCM, khu vực phía đông được định hướng trở thành động lực tăng trưởng mới của Thành phố [17]. Khu vực này đã và đang triển khai nhiều dự án hạ tầng lớn như Khu Công nghệ cao, tuyến Metro số 1 và các khu đô thị mới quy mô lớn, tạo áp lực chuyển đổi sử dụng đất ngày càng gia tăng. Đã có nhiều bài báo phân tích biến động sử dụng đất và quá trình đô thị hóa tại TP.HCM, cũng như khu vực phía đông. Tuy nhiên, các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào mô tả xu hướng mở rộng đô thị hoặc dự báo phát triển không gian trong tương lai, mà chưa đi sâu vào biến động đất nông nghiệp do quá trình đô thị hóa. Xuất phát từ

thực tiễn đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm phân tích biến động sử dụng đất khu vực phía đông TP.HCM giai đoạn 2015-2025, từ đó đánh giá biến động đất nông nghiệp dưới tác động của quá trình đô thị hóa. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học hỗ trợ công tác quản lý đất đai và định hướng phát triển đô thị bền vững.

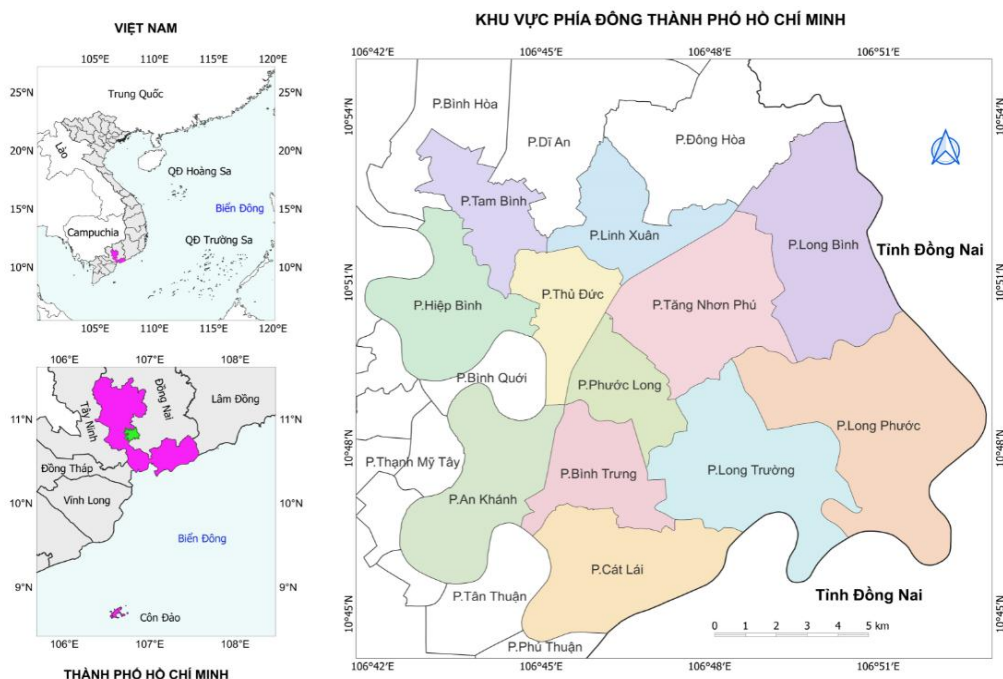
2 Dữ liệu và phương pháp

2.1 Khu vực nghiên cứu

Khu vực phía đông TP.HCM trong nghiên cứu này được xác định tương ứng với phạm vi thành phố Thủ Đức trước đây với diện tích khoảng 211 km². Hiện đây là một trong những địa bàn có tốc độ đô thị hóa cao của TP.HCM [18]. Theo Niên giám thống kê TP.HCM, dân số khu vực đạt 1.018.100 người năm 2015, tăng lên 1.214.592 người năm 2020 và 1.374.139 người năm 2025 [19, 20]. Tương ứng, dân số tăng 19,3% trong giai đoạn

2015-2020, tăng 13,1% trong giai đoạn 2020-2025 và tăng khoảng 35,0% trong cả giai đoạn 2015-2025. Sự gia tăng dân số cùng với quá trình phát triển hạ tầng và mở rộng không gian đô thị đã làm gia tăng nhu cầu về đất ở, đất xây dựng và các công trình hạ tầng, góp phần thúc đẩy quá trình chuyển đổi sử dụng đất trong khu vực nghiên cứu.

Theo định hướng phát triển của TP.HCM, khu vực phía đông được xác định là trung tâm đổi mới sáng tạo, phát triển theo mô hình đô thị tri thức và công nghệ cao. Tại đây tập trung nhiều động lực phát triển lớn như Khu Công nghệ cao, Đại học Quốc gia TP.HCM, khu đô thị mới Thủ Thiêm, hệ thống cảng logistics và các tuyến giao thông chiến lược kết nối với vùng kinh tế trọng điểm phía Nam [21, 22]. Những yếu tố này góp phần thu hút dân cư, thúc đẩy quá trình đô thị hóa và làm gia tăng nhu cầu chuyển đổi mục đích sử dụng đất trong khu vực.



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu

Quá trình mở rộng đô thị, phát triển hạ tầng kỹ thuật đã tạo ra áp lực chuyển đổi sử dụng đất ngày càng lớn tại khu vực này. Nhiều khu vực đất nông nghiệp đã và đang được chuyển đổi phục vụ phát triển đô thị, công nghiệp và dịch vụ. Do đó,

khu vực phía đông TP.HCM được lựa chọn làm địa bàn nghiên cứu nhằm đánh giá biến động đất nông nghiệp dưới tác động của quá trình đô thị hóa trong giai đoạn 2015-2025.

2.2 Dữ liệu nghiên cứu

Dữ liệu được thu thập gồm các bản đồ hiện trạng sử dụng đất (HTSDĐ) của khu vực nghiên cứu các năm 2015, 2020 và 2025. Dữ liệu do Sở Tài nguyên và Môi trường TP.HCM, nay là Sở Nông nghiệp và Môi trường TP.HCM (Sở NN&MT) cung cấp ở định dạng *.dgn, hệ tọa độ VN2000, kinh tuyến trung ương 105°45', múi chiều 3^o (Bảng 1). Các bản đồ HTSDĐ được thành lập theo đúng quy định của Bộ NN&MT trên nền phần mềm Microstation.

Trong giai đoạn 2015-2020, khu vực phía đông TP.HCM gồm 3 quận: Quận 2, Quận 9 và quận Thủ Đức. Do đó, dữ liệu các năm 2015, 2020 gồm các bản đồ HTSDĐ của 3 quận ở tỷ lệ 1:10000. Giai đoạn 2021-2025, khu vực phía đông TP.HCM chính là thành phố Thủ Đức cũ, nên dữ liệu cần thu thập là bản đồ HTSDĐ thành phố Thủ Đức năm 2025 ở tỷ lệ 1:25000. Do sự thay đổi đơn vị hành chính giữa các thời điểm nghiên cứu, dữ liệu được chuẩn hóa về cùng phạm vi nghiên cứu trước khi thực hiện phân tích biến động sử dụng đất.

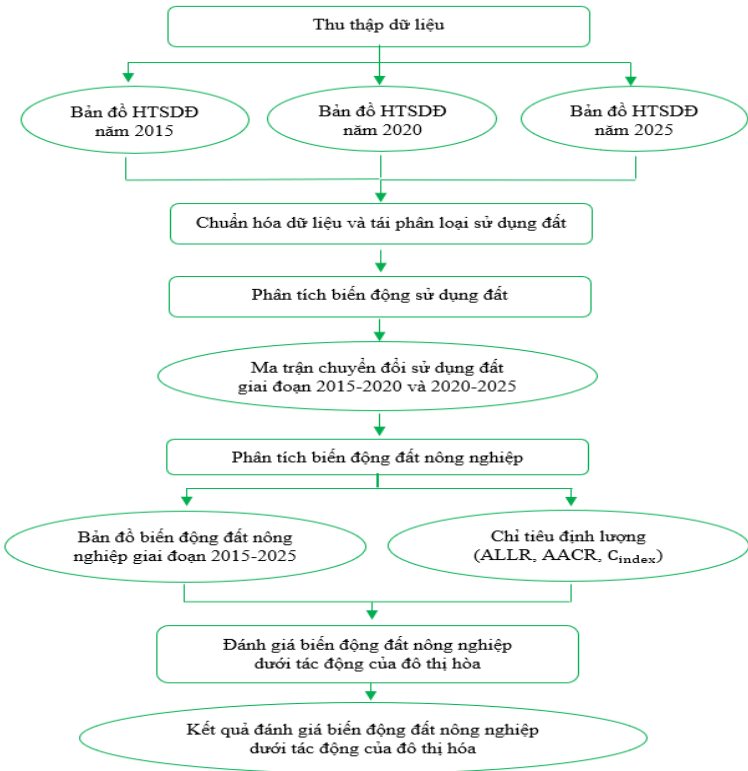
Bảng 1. Mô tả dữ liệu nghiên cứu

STT	Dữ liệu	Năm	Tỷ lệ	Hệ tọa độ	Định dạng	Nguồn
1	Bản đồ HTSDĐ Quận 2	2015 và 2020	1:10000	VN2000, kinh tuyến trung ương 105°45', múi chiều 3 ^o	*.dgn	Sở NN&MT TP.HCM
2	Bản đồ HTSDĐ Quận 9	2015 và 2020	1:10000			
3	Bản đồ HTSDĐ quận Thủ Đức	2015 và 2020	1:10000			
4	Bản đồ HTSDĐ thành phố Thủ Đức	2025	1:25000			

2.3 Phương pháp nghiên cứu

Quy trình nghiên cứu gồm 3 bước chính: (1) chuẩn hóa dữ liệu và tái phân loại sử dụng đất; (2)

phân tích biến động sử dụng đất; (3) đánh giá biến động đất nông nghiệp dưới tác động đô thị hóa (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ quy trình nghiên cứu

Bước 1. Chuẩn hóa dữ liệu và tái phân loại sử dụng đất

Các bản đồ HTSDĐ năm 2015, 2020 và 2025 được chuẩn hóa lớp đối tượng và chuyển đổi định dạng từ *.dgn sang *.shp bằng phần mềm ArcGIS 10.8 nhằm đảm bảo tính đồng nhất dữ liệu trước khi phân tích.

Dựa vào mã màu của khoanh đất hiện trạng, tiến hành truy xuất thuộc tính loại đất cho dữ liệu bản đồ HTSDĐ. Thuộc tính loại đất được phân loại chi tiết theo quy định của Bộ NN&MT tương ứng với từng thời điểm thành lập bản đồ, gồm Thông tư số 28/2014/TT-BTNMT, Thông tư số 27/2018/TT-BTNMT và Thông tư số 08/2024/TT-BTNMT [23–25]. Trong nghiên cứu này, loại đất được tái phân loại thành 6 nhóm đất chính gồm đất nông nghiệp (NNP), đất ở và xây dựng công trình đô thị (gọi tắt là đất xây dựng - DXD), đất giao thông (DGT), đất sản xuất kinh doanh phi nông nghiệp (gọi tắt là đất sản xuất kinh doanh - SKD), đất mặt nước (MNC)

và đất chưa sử dụng (CSD). Trong đó, đất nông nghiệp gồm đất trồng cây hàng năm, cây lâu năm, đất lâm nghiệp, đất nuôi trồng thủy sản và đất nông nghiệp khác. Đất ở và xây dựng công trình đô thị gồm đất ở, đất xây dựng trụ sở cơ quan, đất xây dựng công trình sự nghiệp, đất sử dụng vào mục đích công cộng, đất tôn giáo, tín ngưỡng, đất quốc phòng, an ninh và đất phi nông nghiệp khác. Đất sản xuất kinh doanh phi nông nghiệp gồm đất khu công nghiệp, cụm công nghiệp, khu thương mại, dịch vụ, đất cơ sở sản xuất phi nông nghiệp [23]. Tuy nhiên, do hệ thống phân loại đất có sự điều chỉnh giữa các Thông tư [23–25], các bản đồ HTSDĐ được tái phân loại theo hệ thống phân loại đất tương ứng của từng thời điểm và thống nhất thành sáu nhóm sử dụng đất để bảo đảm khả năng so sánh giữa các năm nghiên cứu. Bảng 2 trình bày việc tái phân loại các loại đất thực tế xuất hiện trong khu vực nghiên cứu thành 6 nhóm đất chính phục vụ phân tích.

Bảng 2. Tái phân loại các loại đất thực tế xuất hiện trong khu vực nghiên cứu

STT	Nhóm đất chính	Loại đất	Mã loại đất
1	Đất nông nghiệp (NNP)	Đất trồng cây hàng năm	BHK, HNK
		Đất trồng lúa	LUA, LUC, LUK
		Đất trồng cây lâu năm	CLN
		Đất nuôi trồng thủy sản	NTS
		Đất nông nghiệp khác	NHK
2	Đất ở và xây dựng công trình đô thị (DXD)	Đất ở đô thị	ODT
		Đất xây dựng trụ sở cơ quan	TSC
		Đất quốc phòng	CQP
		Đất an ninh	CAN
		Đất xây dựng công trình sự nghiệp	DSH, DSN, DSK
		Đất sử dụng vào mục đích công cộng	DCH, DCK, DDT, DGD, DKH, DKV, DNL, DRA, DTL, DTS, DTT, DVH, DXH, DYT
		Đất nghĩa trang, nghĩa địa	NTD
		Đất phi nông nghiệp khác	PNK, PNC
3	Đất giao thông (DGT)	Đất giao thông	DGT
4	Đất sản xuất kinh doanh phi nông nghiệp (SKD)	Đất khu công nghiệp	SKC, SKK
		Đất cụm công nghiệp	SKT
		Đất cơ sở sản xuất phi nông nghiệp	SKN, SKX
		Đất thương mại, dịch vụ	TMD

STT	Nhóm đất chính	Loại đất	Mã loại đất
5	Đất mặt nước (MNC)	Đất mặt nước chuyên dùng	MNC
		Đất sông, ngòi, kênh, rạch, suối	SON
		Mặt nước ven biển	MVB
6	Đất chưa sử dụng (CSD)	Đất bằng chưa sử dụng	BCS

Tiếp theo, nhằm thống nhất phạm vi không gian phân tích giữa các thời điểm nghiên cứu, các bản đồ HTSDĐ năm 2015 và 2020 của Quận 2, Quận 9 và quận Thủ Đức được ghép thành một lớp dữ liệu thống nhất. Dữ liệu của ba thời điểm 2015, 2020 và 2025 sau đó được chồng xếp để xác định phạm vi nghiên cứu chung trước khi thực hiện phân tích biến động sử dụng đất.

Bước 2. Phân tích biến động sử dụng đất

Các bản đồ HTSDĐ sau khi chuẩn hóa được chồng lớp theo từng giai đoạn 2015-2020 và 2020-2025 bằng kỹ thuật chồng lớp Intersect trong môi trường GIS nhằm xác định biến động sử dụng đất. Tiếp theo, kết quả chồng lớp được sử dụng để lập ma trận chuyển đổi sử dụng đất.

Bước 3. Đánh giá biến động đất nông nghiệp dưới tác động của quá trình đô thị hóa

Từ ma trận chuyển đổi sử dụng đất, nghiên cứu đã trích xuất diện tích đất nông nghiệp chuyển đổi sang các nhóm đất khác. Để xem xét tác động của quá trình đô thị hóa, nghiên cứu tập trung phân tích các loại đất chuyển đổi gồm đất xây dựng (DXD), đất giao thông (DGT) và đất sản xuất kinh doanh phi nông nghiệp (SKD).

Biến động đất nông nghiệp được đánh giá theo hai hướng phân tích. Thứ nhất, phân tích không gian thông qua xây dựng bản đồ biến động đất nông nghiệp giai đoạn 2015-2025. Thứ hai, phân tích định lượng thông qua ba chỉ số gồm tỷ lệ mất đất nông nghiệp (Agricultural Land Loss Rate – ALLR), tốc độ chuyển đổi đất nông nghiệp hàng năm (Annual Agricultural Conversion Rate – AACR) và chỉ số đóng góp của đô thị hóa vào mất đất nông nghiệp (Contribution Index – C_{index}). Các

chỉ số này được sử dụng để lượng hóa mức độ và xu hướng biến động đất nông nghiệp dưới tác động của quá trình đô thị hóa.

Tỷ lệ mất đất nông nghiệp (ALLR) xác định tỷ lệ diện tích đất nông nghiệp giảm đi trong mỗi giai đoạn nghiên cứu so với thời điểm đầu kỳ, đơn vị %. Công thức tính như sau [26, 27]:

$$ALLR = \frac{A_{start} - A_{end}}{A_{start}} \times 100\% \tag{1}$$

Tốc độ chuyển đổi đất nông nghiệp hàng năm (AACR) xác định mức giảm diện tích trung bình hàng năm của đất nông nghiệp, đơn vị ha/năm. Công thức tính như sau [28, 29]:

$$AACR = \frac{A_{start} - A_{end}}{t} \tag{2}$$

Chỉ số đóng góp của đô thị hóa vào mất đất nông nghiệp (C_{index}) xác định tỷ trọng diện tích đất nông nghiệp bị mất đi do chuyển đổi sang các loại hình sử dụng đất phi nông nghiệp, gồm đất xây dựng (DXD), đất giao thông (DGT) và đất sản xuất kinh doanh phi nông nghiệp (SKD). C_{index}, đơn vị %, được tính theo công thức sau [13, 30]:

$$C_{index} = \frac{A_{NNP \rightarrow DXD} + A_{NNP \rightarrow DGT} + A_{NNP \rightarrow SKD}}{A_{loss}} \times 100\% \tag{3}$$

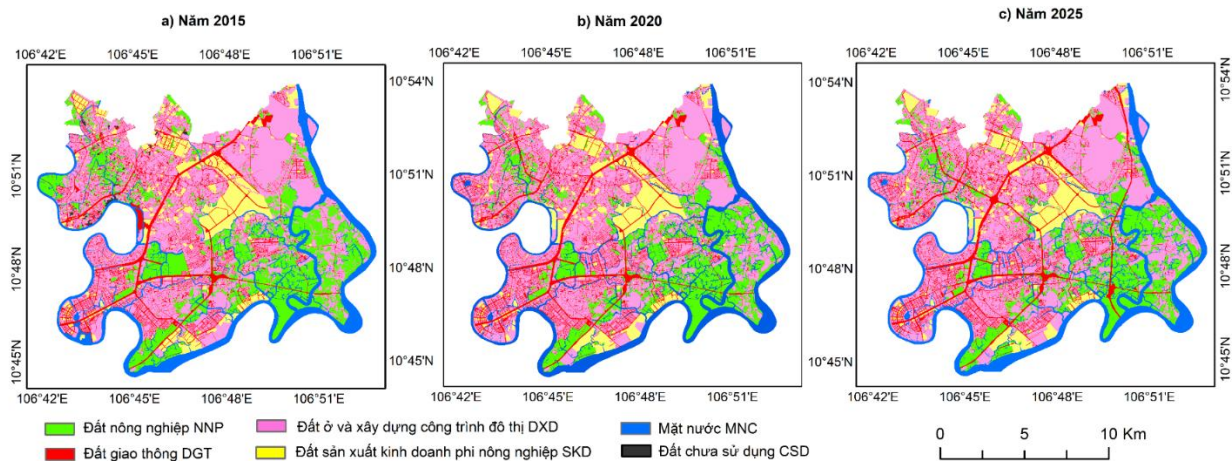
Trong đó, A_{start} và A_{end} lần lượt là diện tích đất nông nghiệp năm đầu và năm cuối của mỗi giai đoạn; t là số năm trong mỗi giai đoạn; A_{NNP→i} là diện tích đất nông nghiệp (NNP) chuyển sang loại hình sử dụng đất đô thị i, với i lần lượt là đất xây dựng (DXD), đất giao thông (DGT) và đất sản xuất kinh doanh (SKD); A_{loss} là tổng diện tích đất nông nghiệp chuyển sang loại đất khác trong giai đoạn nghiên cứu.

3 **Kết quả và thảo luận**

3.1 **Hiện trạng và cơ cấu sử dụng đất giai đoạn 2015–2025**

Bản đồ HTSDĐ các năm 2015, 2020 và 2025 được chuẩn hóa và tái phân loại sử dụng đất với 6

nhóm đất chính gồm đất nông nghiệp (NNP), đất xây dựng (DXD), đất giao thông (DGT), đất sản xuất kinh doanh phi nông nghiệp (SKD), đất mặt nước MNC và đất chưa sử dụng (CSD) (Hình 3).



Hình 3. Bản đồ hiện trạng sử dụng đất đã được chuẩn hóa: (a) năm 2015; (b) năm 2020; (c) năm 2025.

Diện tích và tỷ lệ của các loại sử dụng đất trong các năm 2015, 2020 và 2025 được tổng hợp trong Bảng 3; xu hướng biến động được thể hiện trong Hình 4.

Bảng 3. Diện tích và cơ cấu sử dụng đất các năm 2015, 2020 và 2025

Loại đất	Năm 2015		Năm 2020		Năm 2025	
	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)
NNP	4407,9	20,8	3733,7	17,6	3457,9	16,3
DXD	8932,7	42,2	9415,0	44,5	9503,3	44,9
DGT	3083,5	14,6	3184,1	15,0	3392,4	16,0
SKD	1917,8	9,1	1966,9	9,3	1983,9	9,4
MNC	2759,6	13,0	2862,0	13,5	2824,2	13,3
CSD	60,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Tổng	21161,7	100,0	21161,7	100,0	21161,7	100,0

Kết quả cho thấy cơ cấu sử dụng đất có sự phân hóa khá rõ. Đất xây dựng (DXD) luôn chiếm tỷ trọng lớn nhất (44,2-44,9%) và phân bố liên tục tại phần trung tâm, phía bắc, tây bắc và phía tây, đồng thời lan rộng dần sang phía đông của khu vực nghiên cứu.

Đất nông nghiệp (NNP) có tỷ trọng lớn thứ hai nhưng có xu hướng giảm, từ 20,8% xuống 16,3% và phân bố tập trung thành các vùng tương đối liên tục ở khu vực phía đông và đông nam.

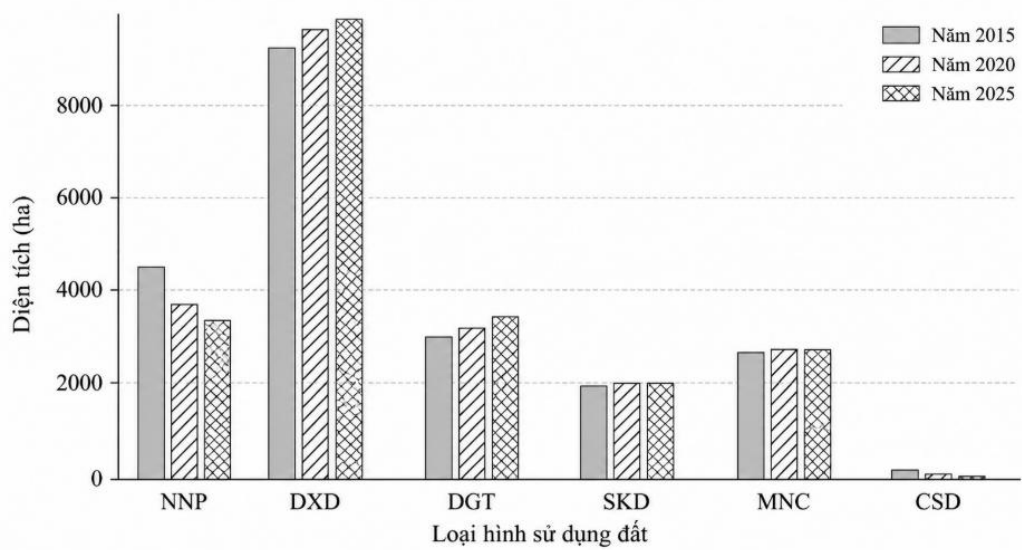
Đất giao thông (DGT) chiếm 14,6 - 16%, đứng thứ ba về tỷ trọng. Đất giao thông phân bố chủ yếu theo dạng tuyến với mật độ khá dày, phản ánh hệ thống hạ tầng giao thông tương đối phát triển.

Đất mặt nước (MNC) có tỷ trọng tương đối ổn định (khoảng 13%). Diện tích mặt nước tập trung chủ yếu dọc theo hệ thống sông rạch tự nhiên, ví dụ như sông Sài Gòn, sông Đồng Nai,

sông Soài Rạp, sông Tắc,...tạo nên mạng lưới mặt nước đặc trưng của khu vực phía đông TP.HCM.

Đất sản xuất kinh doanh (SKD) chiếm tỷ trọng khoảng 9%. Nhóm đất này phân bố tập trung thành các cụm tương đối rõ, chủ yếu tại khu vực trung tâm, phía tây bắc và tây nam của khu vực nghiên cứu.

Cuối cùng, đất chưa sử dụng (CSD) chỉ xuất hiện ở thời điểm 2015 với diện tích rất nhỏ 60,3 ha (0,3%) và phân bố rải rác tại phía tây bắc của khu vực nghiên cứu. Từ năm 2020 trở về sau, đất chưa sử dụng không còn xuất hiện, cho thấy toàn bộ quỹ đất trong khu vực đã được đưa vào sử dụng.



Hình 4. Biểu đồ diện tích các nhóm đất chính qua các năm

3.2 Phân tích biến động sử dụng đất

Kết quả phân tích ma trận chuyển đổi sử dụng đất giai đoạn 2015-2020 (Bảng 4) và 2020-2025

(Bảng 5) cho thấy cơ cấu sử dụng đất tại khu vực nghiên cứu có sự dịch chuyển mạnh mẽ theo xu hướng đô thị hóa và phát triển hạ tầng, với cường độ khác nhau giữa các giai đoạn.

Bảng 4. Ma trận chuyển đổi sử dụng đất giai đoạn 2015-2020

Đơn vị: ha									
Từ \ Đến	NNP	DXD	DGT	SKD	MNC	Tổng năm 2015	Tăng	Giảm	Biến động
NNP	3574,5	690,2	83,3	19,5	40,5	4407,9	159,2	833,4	- 674,2
DXD	132,0	8490,8	134,4	103,7	71,9	8932,7	924,2	442	482,3
DGT	11,6	68,3	2916,7	85,1	1,8	3083,5	267,4	166,8	100,6
SKD	0,0	94,3	29,6	1755,7	38,2	1917,8	211,2	162,0	49,1
MNC	6,6	23,6	17,6	2,1	2709,6	2759,6	152,4	49,9	102,5
CSD	9,1	47,9	2,6	0,8	0,0	60,3	0,0	60,3	- 60,3
Tổng năm 2020	3733,7	9415	3184,1	1966,9	2862	21161,7	1714,4	1714,4	0,0

Bảng 5. Ma trận chuyển đổi sử dụng đất giai đoạn 2020-2025

Từ \ Đến	Đơn vị: ha								
	NNP	DXD	DGT	SKD	MNC	Tổng năm 2020	Tăng	Giảm	Biến động
NNP	3413,2	184,1	115,6	12,9	8,0	3733,8	44,7	320,6	- 275,9
DXD	35,4	9032,4	337,9	3,1	6,1	9415,0	470,9	382,6	88,3
DGT	4,6	255,9	2916,7	4,0	2,9	3184,1	475,7	267,4	208,3
SKD	0,0	1,6	2,6	1962,7	0,0	1966,9	21,2	4,2	17,0
MNC	4,7	29,3	19,6	1,2	2807,2	2862,0	17,0	54,8	- 37,8
Tổng năm 2025	3457,9	9503,3	3392,4	1983,9	2824,2	21161,7	1029,5	1029,5	0,0

Tổng diện tích biến động trong giai đoạn 2015-2020 đạt 1714,4 ha, cao hơn mức 1029,5 ha của giai đoạn 2020-2025. Điều này cho thấy tốc độ chuyển đổi sử dụng đất diễn ra mạnh hơn trong giai đoạn đầu và có xu hướng chậm lại ở giai đoạn sau.

Đất nông nghiệp (NNP) là loại đất biến động mạnh nhất ở cả hai giai đoạn với xu hướng giảm liên tiếp, cụ thể mức giảm 674,2 ha (giai đoạn đầu) và 275,9 ha (giai đoạn sau). Đất nông nghiệp đóng vai trò là nguồn cung quỹ đất chính, phần lớn bị thu hồi để chuyển sang xây dựng (DXD) và đất giao thông (DGT). Ngược lại, đất xây dựng (DXD) tăng mạnh ở giai đoạn 2015-2020 với mức tăng 482,3 ha. Nguồn chuyển đổi sang DXD trong giai đoạn này chủ yếu từ đất nông nghiệp (NNP) và toàn bộ diện tích đất chưa sử dụng (CSD). Sang giai đoạn 2020-2025, DXD tiếp tục tăng nhưng chậm lại, với 88,3 ha do DXD chuyển một lượng lớn diện tích sang đất giao thông (DGT), tương ứng 337,9 ha.

Đất giao thông (DGT) cũng có xu hướng tăng liên tục và giai đoạn sau (208,3 ha) tăng mạnh hơn giai đoạn trước (100,6 ha). Sự gia tăng này phản ánh việc đầu tư mở rộng mạng lưới giao thông nhằm đáp ứng nhu cầu phát triển đô thị.

Đất sản xuất kinh doanh (SKD) duy trì tính ổn định với mức tăng nhẹ ở cả hai giai đoạn (49,1 ha và 17,0 ha). Tuy mức tăng không lớn nhưng nó phản ánh sự phát triển liên tục của các lĩnh vực công nghiệp, thương mại - dịch vụ và kinh tế phi nông nghiệp.

Đất mặt nước (MNC) tăng ở giai đoạn đầu (102,5 ha), và giảm nhẹ ở giai đoạn sau (37,8 ha). Nhóm đất này tương đối ổn định và ít chịu tác động trực tiếp từ quá trình chuyển đổi sử dụng đất.

Đất chưa sử dụng (CSD) có diện tích rất nhỏ, khoảng 60,3 ha và chỉ xuất hiện ở đầu giai đoạn nghiên cứu (năm 2015), sau đó chuyển đổi toàn bộ sang đất xây dựng (DXD) và đất nông nghiệp (NNP). Điều này cho thấy quỹ đất của khu vực nghiên cứu đã được khai thác hoàn toàn dưới tác động của quá trình phát triển đô thị.

Nhìn chung, biến động sử dụng đất tại khu vực nghiên cứu có xu hướng gia tăng các loại đất phi nông nghiệp, đặc biệt là đất xây dựng và đất giao thông. Song song đó, quỹ đất nông nghiệp đang bị thu hẹp dần. Điều này phản ánh tác động của quá trình đô thị hóa đến sự chuyển dịch cơ cấu sử dụng đất tại khu vực phía đông TP.HCM.

3.3 Đánh giá biến động đất nông nghiệp dưới tác động của quá trình đô thị hóa

Dựa trên ma trận chuyển đổi sử dụng đất (Bảng 4 và Bảng 5), nghiên cứu tiếp tục phân tích biến động đất nông nghiệp nhằm đánh giá biến động đất nông nghiệp dưới tác động của quá trình đô thị hóa.

Kết quả tổng hợp trong Bảng 6 cho thấy biến động đất nông nghiệp tại khu vực phía đông TP.HCM diễn ra mạnh, thể hiện qua xu hướng chuyển đổi đất nông nghiệp sang các mục đích sử dụng khác với quy mô tương đối lớn.

Bảng 6. Quy mô biến động đất nông nghiệp dưới tác động của quá trình đô thị hóa

Đơn vị: ha			
Chuyển đổi /Chỉ số	2015-2020	2020-2025	Lũy kế
Đất nông nghiệp giữ nguyên	3574,5	3413,2	-
Đất nông nghiệp chuyển đổi sang đất khác	833,4	320,6	1154,0
Từ NNP → DXD	690,2	184,1	874,3
Từ NNP → DGT	83,3	115,6	198,9
Từ NNP → SKD	19,5	12,9	32,4
Từ NNP → MNC	40,5	8,0	48,5
Đất khác chuyển sang đất nông nghiệp	159,2	44,7	203,9
Biến động ròng	- 674,2	- 275,9	- 950,1

Trong giai đoạn 2015-2020, diện tích đất nông nghiệp chuyển đổi đạt 833,4 ha, cao hơn đáng kể so với mức 320,6 ha ở giai đoạn 2020-2025. Quy mô lũy kế cho cả giai đoạn 2015-2025, tổng diện tích đất nông nghiệp chuyển đổi sang các loại đất khác đạt 1.154,0 ha, cho thấy áp lực chuyển đổi đất nông nghiệp diễn ra mạnh hơn ở giai đoạn đầu của quá trình đô thị hóa.

Xét về cơ cấu chuyển đổi, phần lớn diện tích đất nông nghiệp bị chuyển đổi tập trung vào nhóm đất phục vụ phát triển đô thị. Trong đó, chuyển đổi sang đất xây dựng (DXD) chiếm tỷ trọng lớn nhất với diện tích lũy kế đạt 874,3 ha, tương đương khoảng 75,8%. Chuyển đổi sang đất giao thông (DGT) đứng thứ hai với 198,9 ha và có xu hướng gia tăng trong giai đoạn sau, phản ánh nhu cầu tiếp tục mở rộng hạ tầng kỹ thuật và tăng cường kết nối không gian đô thị. Trong khi đó, diện tích chuyển sang đất sản xuất kinh doanh (SKD) và mặt nước chuyên dùng (MNC) chiếm tỷ trọng thấp hơn, lần lượt đạt 32,4 ha và 48,5 ha.

Ở chiều ngược lại, diện tích các loại đất khác chuyển sang đất nông nghiệp chỉ đạt 203,9 ha trong toàn giai đoạn nghiên cứu, thấp hơn nhiều so với diện tích đất nông nghiệp bị chuyển đổi sang mục đích khác. Điều này dẫn đến biến động ròng âm liên tục của đất nông nghiệp, với mức giảm lần lượt

674,2 ha trong giai đoạn 2015-2020 và 275,9 ha trong giai đoạn 2020-2025. Tính chung giai đoạn 2015-2025, đất nông nghiệp giảm ròng 950,1 ha, cho thấy quỹ đất nông nghiệp bị thu hẹp đáng kể.

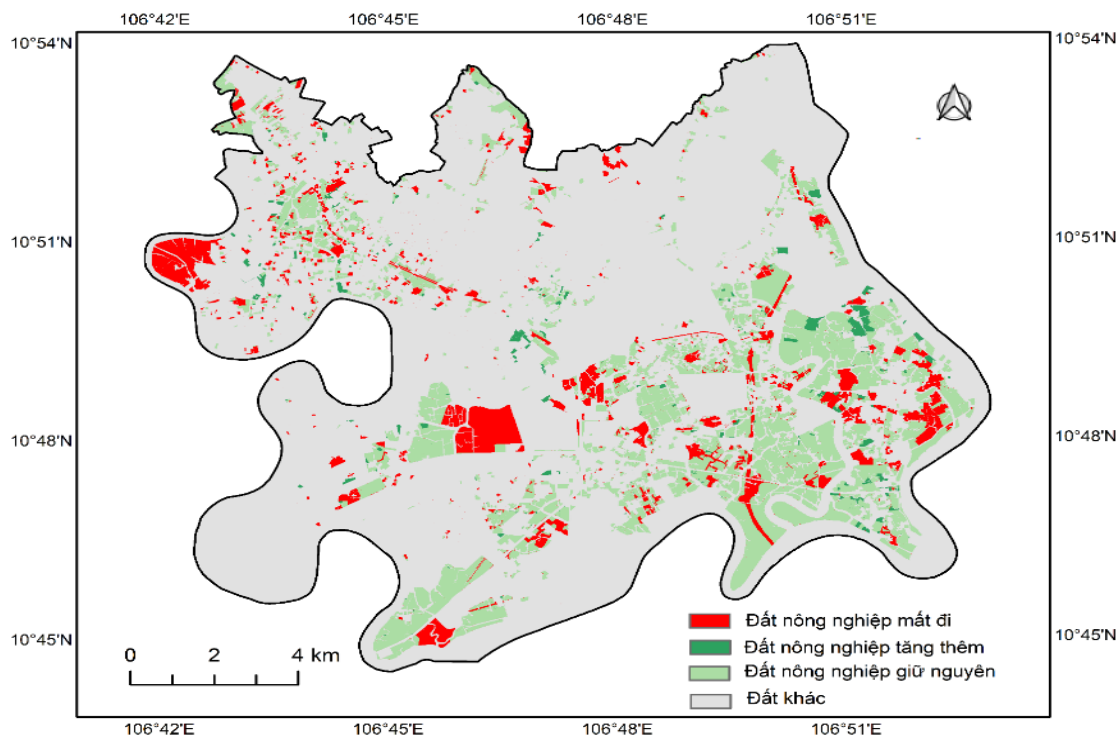
Bản đồ biến động đất nông nghiệp giai đoạn 2015-2025 tại hình 5 cho thấy biến động đất nông nghiệp diễn ra không đồng đều trong khu vực nghiên cứu. Các khu vực mất đất nông nghiệp phân bố tập trung thành cụm hoặc theo tuyến, phản ánh quá trình đô thị hóa liên quan đến sự thu hẹp quỹ đất canh tác.

Các chỉ số định lượng trong Bảng 7 tiếp tục làm rõ mức độ biến động đất nông nghiệp theo thời gian. Tỷ lệ mất đất nông nghiệp (ALLR) đạt 15,3% trong giai đoạn 2015-2020 và giảm xuống còn 7,4% ở giai đoạn 2020-2025. Kết quả này cho thấy cường độ mất đất nông nghiệp tập trung chủ yếu trong giai đoạn đầu nghiên cứu. Tương tự, tốc độ chuyển đổi đất nông nghiệp hàng năm (AACR) giảm mạnh từ 134,8 ha/năm xuống còn 55,2 ha/năm, phản ánh tốc độ chuyển đổi đất nông nghiệp có xu hướng chậm lại trong giai đoạn sau.

Đáng chú ý, chỉ số đóng góp của đô thị hóa vào mất đất nông nghiệp (C_{index}) đạt mức rất cao ở cả hai giai đoạn, lần lượt là 95,2% và 97,5%. Điều này cho thấy phần lớn diện tích đất nông nghiệp bị mất có liên quan trực tiếp đến quá trình chuyển đổi

sang các loại hình sử dụng đất phục vụ phát triển
đô thị, đặc biệt là đất xây dựng và đất giao thông.
Kết quả này cho thấy phần lớn diện tích chuyển đổi

liên quan đến các loại hình sử dụng đất phục vụ
phát triển đô thị.



Hình 5. Bản đồ biến động đất nông nghiệp giai đoạn 2015-2025

Bảng 7. Chỉ số định lượng mức độ mất đất nông nghiệp dưới tác động của quá trình đô thị hóa

Chỉ tiêu	2015-2020	2020-2025
ALLR (%)	15,3	7,4
AACR (ha/năm)	134,8	55,2
C _{index} (%)	95,2	97,5

3.4 Thảo luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy giai đoạn 2015-2025, quá trình đô thị hóa đã tác động đáng kể đến sự suy giảm đất nông nghiệp tại khu vực phía đông TP.HCM. Đất nông nghiệp giảm liên tục và chủ yếu chuyển đổi sang các nhóm đất phục vụ phát triển đô thị, đặc biệt là đất xây dựng và đất giao thông. Điều này phản ánh xu hướng mở rộng

không gian đô thị và gia tăng nhu cầu sử dụng đất phi nông nghiệp tại khu vực nghiên cứu.

Kết quả này tương đồng với nhiều nghiên cứu trước đây. Deng và cộng sự [5] cho rằng đất nông nghiệp là nguồn quỹ đất chính phục vụ mở rộng đô thị tại Trung Quốc, trong khi Kontgis và cộng sự [14] ghi nhận quá trình đô thị hóa đã làm diện tích đất nông nghiệp tại TP.HCM suy giảm đáng kể trong nhiều thập kỷ qua. Trong nghiên cứu này, chỉ số C_{index} đạt trên 95% ở cả hai giai

đoạn cho thấy phần lớn diện tích đất nông nghiệp được chuyển đổi sang các nhóm đất phục vụ phát triển đô thị, đặc biệt là đất xây dựng và đất giao thông.

So sánh giữa hai giai đoạn nghiên cứu cho thấy cường độ suy giảm đất nông nghiệp diễn ra mạnh hơn trong giai đoạn 2015-2020 so với giai đoạn 2020-2025. Điều này phản ánh quá trình chuyển đổi đất nông nghiệp tập trung chủ yếu ở giai đoạn đầu nghiên cứu và có xu hướng chậm lại ở giai đoạn sau. Mặc dù tốc độ suy giảm đất nông nghiệp giai đoạn 2020-2025 thấp hơn giai đoạn trước, quỹ đất nông nghiệp vẫn tiếp tục thu hẹp dưới áp lực phát triển đô thị ngày càng gia tăng. Kết quả nghiên cứu cho thấy cần tăng cường kiểm soát chuyển đổi mục đích sử dụng đất và có giải pháp bảo vệ quỹ đất nông nghiệp còn lại nhằm hướng tới phát triển đô thị bền vững trong tương lai.

Nghiên cứu cũng cho thấy việc kết hợp phân tích không gian bằng GIS với các chỉ số ALLR, AACR và C_{index} cho phép đánh giá đồng thời quy mô, tốc độ và xu hướng chuyển đổi đất nông nghiệp. Nhờ đó, biến động đất nông nghiệp được đánh giá toàn diện hơn so với việc chỉ sử dụng các chỉ tiêu diện tích.

Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng cho thấy công nghệ GIS hỗ trợ hiệu quả cho phân tích biến động sử dụng đất và giám sát quá trình chuyển đổi đất đai theo thời gian. Tuy nhiên, nghiên cứu mới chỉ tập trung đánh giá biến động sử dụng đất dựa trên dữ liệu hiện trạng và chưa xem xét sâu các yếu tố kinh tế - xã hội hay chính sách quy hoạch ảnh hưởng đến quá trình mất đất nông nghiệp. Các nghiên cứu tiếp theo cần làm rõ hơn cơ chế tác động của đô thị hóa đến biến động sử dụng đất trong khu vực nghiên cứu.

4 Kết luận

Nghiên cứu đã ứng dụng công nghệ GIS và dữ liệu bản đồ HTSDĐ để phân tích biến động sử dụng đất và đánh giá biến động đất nông nghiệp

dưới tác động của quá trình đô thị hóa tại khu vực phía đông TP.HCM giai đoạn 2015-2025. Kết quả cho thấy cơ cấu sử dụng đất chuyển dịch rõ rệt theo xu hướng gia tăng đất phi nông nghiệp và thu hẹp quỹ đất nông nghiệp.

Trong giai đoạn 2015-2025, diện tích đất nông nghiệp giảm từ 4407,9 ha xuống còn 3457,9 ha, tương ứng giảm ròng 950,1 ha. Kết quả phân tích cho thấy đất nông nghiệp chủ yếu chuyển đổi sang các loại đất phục vụ phát triển đô thị, trong đó chuyển sang đất xây dựng nhiều nhất với 874,3 ha, tiếp theo là đất giao thông với 198,9 ha. Các chỉ số ALLR và AACR đều cho thấy biến động đất nông nghiệp có xu hướng chậm lại, với tỷ lệ mất đất giảm từ 15,3% xuống 7,4% và tốc độ chuyển đổi giảm từ 134,8 xuống 55,2 ha/năm giữa hai giai đoạn nghiên cứu. Đặc biệt, chỉ số đóng góp của đô thị hóa vào mất đất nông nghiệp (C_{index}) luôn ở mức rất cao (95,2% và 97,5%), khẳng định đô thị hóa là động lực chính thúc đẩy quá trình chuyển đổi đất nông nghiệp tại khu vực nghiên cứu.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của nhóm nghiên cứu tiêu biểu cấp Đại học Huế, mã số NCTB.ĐHH.2026.05.

Tài liệu tham khảo

1. Sadian A, Shafizadeh-Moghadam H. The future of agricultural lands under the combined influence of shared socioeconomic pathways and urban expansion by 2050. *Agric Syst.* 2025;224:104234. doi:10.1016/j.agsy.2024.104234.
2. Perrin C, Clément C, Melot R, Nougaredes B. Preserving farmland on the urban fringe: a literature review on land policies in developed countries. *Land.* 2020;9(7):223. doi:10.3390/land9070223.

3. Salem M, Tsurusaki N, Divigalpitiya P. Land use/land cover change detection and urban sprawl in the peri-urban area of greater Cairo since the Egyptian revolution of 2011. *J Land Use Sci.* 2020;15(5):592-606. doi:10.1080/1747423X.2020.1765425.
4. Martellozzo F, Ramankutty N, Hall RJ, Price DT, Purdy B, Friedl MA. Urbanization and the loss of prime farmland: a case study in the Calgary-Edmonton corridor of Alberta. *Reg Environ Change.* 2015;15(5):881-93. doi:10.1007/s10113-014-0658-0.
5. Deng X, Huang J, Rozelle S, Zhang J, Li Z. Impact of urbanization on cultivated land changes in China. *Land Use Policy.* 2015;45:1-7. doi:10.1016/j.landusepol.2015.01.007.
6. Fenta AA, Yasuda H, Haregeweyn N, Belay AS, Hadush Z, Gebremedhin MA, et al. The dynamics of urban expansion and land use/land cover changes using remote sensing and spatial metrics: the case of Mekelle City of northern Ethiopia. *Int J Remote Sens.* 2017;38(14):4107-29. doi:10.1080/01431161.2017.1317936.
7. Seto KC, Guneralp B, Hutyrá LR. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2012;109(40):16083-8. doi:10.1073/pnas.1211658109.
8. Sheng S, Zhang Z, Huang J, Lu G. Urban expansion-induced cropland grain production potential loss in China: Spatial heterogeneity and driving mechanisms. *J Clean Prod.* 2026;557:148162. doi:10.1016/j.jclepro.2026.148162.
9. Bren d'Amour C, Reitsma F, Baiocchi G, Barthel S, Guneralp B, Erb KH, et al. Future urban land expansion and implications for global croplands. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2017;114(34):8939-44. doi:10.1073/pnas.1606036114.
10. Shi K, Chen Y, Yu B, Xu T, Li L, Huang C, et al. Urban expansion and agricultural land loss in China: a multiscale perspective. *Sustainability.* 2016;8(8):790. doi:10.3390/su8080790.
11. Molla MB, Gelebo G, Girma G. Urban expansion and agricultural land loss: a GIS-based analysis and policy implications in Hawassa city, Ethiopia. *Front Environ Sci.* 2024;12:1499804. doi:10.3389/fenvs.2024.1499804.
12. Liu F, Zhang Z, Zhao X, Wang X, Zuo L, Wen Q, et al. Chinese cropland losses due to urban expansion in the past four decades. *Sci Total Environ.* 2019;650:847-57. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.09.091.
13. Wen X, Yang F, Chen J, Tu Y, Wang H, Chen Z, et al. Spatial patterns of urban expansion and cropland loss during 2017-2022 in Guangdong, China. *Heliyon.* 2024;10(9):e30548. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e30548.
14. Kontgis C, Schneider A, Fox J, Saksena S, Spencer JH, Castrence M. Monitoring peri-urbanization in the greater Ho Chi Minh City metropolitan area. *Appl Geogr.* 2014;53:377-88. doi:10.1016/j.apgeog.2014.06.029.
15. Liang Y, Zhang J, Sun W, Guo Z, Li S. Tracking the construction land expansion and its dynamics of Ho Chi Minh City metropolitan area in Vietnam. *Land.* 2025;14(6):1253. doi:10.3390/land14061253.
16. Tuan NT, Hegedus G, Phuong NTT. Urbanization and forecast possibilities of land use changes by 2050: New evidence in Ho Chi Minh city, Vietnam. *Open Agric.* 2025;10(1):20250421. doi:10.1515/opag-2025-0421.
17. Hòa TC, Thảo LTP. Tiếp tục hoàn thiện mô hình chính quyền thành phố Thủ Đức. *Tạp chí Quản lý nhà nước.* 2023;(335):97-101. doi:10.59394/qlnn.335.2023.727.
18. Quân NH, Phương NKL. Phát triển đô thị bền vững gắn với nền kinh tế tuần hoàn-trường hợp Thành phố Thủ Đức-Thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khoa học Đại học Đại Nam.* 2022;(5+6+7):66-73.
19. Cục Thống kê Thành phố Hồ Chí Minh. Niên giám thống kê Thành phố Hồ Chí Minh 2020. Thành phố Hồ Chí Minh; 2021.
20. Ủy ban nhân dân thành phố Thủ Đức. Tờ trình số 112/TTr-UBND về phương án sắp xếp đơn vị hành chính các cấp và xây dựng mô hình tổ chức chính quyền địa phương 2 cấp. Thành phố Hồ Chí Minh; 2025.
21. Thành ủy Thành phố Hồ Chí Minh. Nghị quyết số 08-NQ/TU về phương hướng, nhiệm vụ và một số cơ chế phát triển thành phố Thủ Đức giai đoạn 2021-2025, định hướng đến năm 2030. Thành phố Hồ Chí Minh; 2021.
22. Tế NX, Tùng H. Xây dựng thành phố Thủ Đức theo hướng thành phố thông minh. *Tạp chí Khoa học Đại học Văn Lang.* 2022;(36):1-8.
23. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Thông tư số 28/2014/TT-BTNMT quy định về thống kê, kiểm kê đất đai và lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất. Hà Nội; 2014.
24. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Thông tư số 27/2018/TT-BTNMT quy định về thống kê, kiểm kê đất đai và lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất. Hà Nội; 2018.
25. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Thông tư số 08/2024/TT-BTNMT quy định về thống kê, kiểm kê đất đai và lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất. Hà Nội; 2024.
26. Zhang X, Han H. Spatiotemporal dynamics and driving forces of cultivated land in China. *Sci Rep.* 2025;15(1):31149. doi:10.1038/s41598-025-11755-8.
27. Gebrehiwot GH, Bekitie KT, Yohannes H, Anose FA, Gebremichael HB. Time series land use/land cover mapping and change detection to support policies on

sustainable environmental and economic management. *Environ Syst Res (Heidelb)*. 2024;13(1):33. doi:10.1186/s40068-024-00365-4.

28. Pham VC, Pham TTH, Tong THA, Nguyen TTH, Pham NH. The conversion of agricultural land in the peri-urban areas of Hanoi (Vietnam): patterns in space and time. *J Land Use Sci*. 2015;10(2):224-42. doi:10.1080/1747423X.2014.884643.

29. Chen Y, He Y. Urban land expansion dynamics and drivers in peri-urban areas of China: a case of Xiaoshan District, Hangzhou Metropolis (1985–2020). *Land*. 2022;11(9):1495. doi:10.3390/land11091495.

30. Tuan NT. Quantifying urban expansion and agricultural land conversion using spatial indices: evidence from the Red River Delta, Vietnam. *Open Agric*. 2025;10(1):20250480. doi:10.1515/opag-2025-0480.