



## Phân tích xu hướng mở rộng bề mặt không thấm trong quá trình đô thị hoá tại phường Long An bằng ảnh Sentinel 2 giai đoạn 2016-2025

Nguyễn Trọng Nhân\*, Huỳnh Ngọc Dung, Văn Ngọc Trúc Phương, Lê Thiên Bảo

Khoa Trắc địa, Bản đồ và Công trình,  
trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email tác giả liên hệ: [ntnhan@hcmunre.edu.vn](mailto:ntnhan@hcmunre.edu.vn)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18788181>

### Tóm tắt:

Mục đích của nghiên cứu này là đánh giá và lựa chọn được mô hình thể trọng trường toàn cầu. Quá trình đô thị hóa đã dẫn đến sự gia tăng rõ rệt diện tích bề mặt không thấm làm suy giảm khả năng thấm nước tự nhiên, mặt khác đô thị hóa cũng góp phần tạo động lực thúc đẩy phát triển kinh tế – xã hội. Bài báo này sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 tại ba thời điểm (2016, 2020 và 2025) kết hợp với thuật toán Random Forest trên nền tảng Google Earth Engine nhằm phân loại, xây dựng bản đồ bề mặt không thấm và phân tích xu hướng mở rộng đô thị theo thời gian tại phường Long An. Kết quả cho thấy bề mặt không thấm có xu hướng tăng nhanh với diện tích từ 5,76 km<sup>2</sup> (năm 2016) tăng lên 7,01 km<sup>2</sup> (năm 2020) và đạt ngưỡng cao nhất 10,46 km<sup>2</sup> (năm 2025). Đặc biệt xu hướng mở rộng BMKT phân bố chủ yếu tại các khu vực phía Đông Nam, Đông Bắc phường Long An được xác định thông qua chỉ số cường độ mở rộng đô thị (Urban Expansion Intensity Index – UEII). Phương pháp tiếp cận này cung cấp cơ sở dữ liệu quan trọng cho công tác quy hoạch và hỗ trợ quản lý đô thị bền vững trong bối cảnh đô thị hóa ngày càng gia tăng.

**Từ khoá:** Bề mặt không thấm, biến động, Google Earth Engine, Sentinel 2.

Ngày nhận bài: 23/10/2025 Ngày sửa lại: 12/11/2025 Ngày chấp nhận đăng: 12/11/2025 Ngày xuất bản: 28/02/2026

## Analysis of impervious surface expansion trends during urbanization in Long An ward using Sentinel-2 imagery from 2016 to 2025

Nguyen Trong Nhan\*, Huynh Ngoc Dung, Van Ngoc Truc Phuong, Le Thien Bao

Department of Geodesy, Cartography and Construction,  
University of Natural Resources and Environment Ho Chi Minh City, Viet Nam

Corresponding Author Email: [ntnhan@hcmunre.edu.vn](mailto:ntnhan@hcmunre.edu.vn)

### Abstract:

The urbanization process has led to a significant increase in impervious surface area, reducing the natural water infiltration capacity. On the other hand, urbanization also serves as a driving force for socio-economic development. This study utilizes Sentinel-2 satellite imagery at three time points (2016, 2020, and 2025), combined with the Random Forest algorithm on the Google Earth Engine platform, to classify and map impervious surfaces and analyze urban expansion trends over time in Long An Ward. The results show that impervious surfaces have rapidly increased, from 5.76 km<sup>2</sup> in 2016 to 7.01 km<sup>2</sup> in 2020, reaching a peak of 10.46 km<sup>2</sup> in 2025. Notably, the trend of impervious surface expansion is mainly concentrated in the southeastern and northeastern areas of Long An Ward, as identified through the Urban Expansion Intensity Index (UEII). This approach provides an important data foundation for planning and supports sustainable urban management in the context of increasing urbanization.

**Keywords:** Impervious surface, land cover change, Google Earth Engine, Sentinel-2

Submission received: 23/10/2025

Revised: 12/11/2025

Accepted: 12/11/2025

Published: 28/02/2026



## 1. Giới thiệu

Đô thị hóa là quá trình phát triển không gian kinh tế và xã hội dẫn đến gia tăng tỷ lệ dân số đô thị, đồng thời mở rộng hệ thống hạ tầng kỹ thuật và dịch vụ đô thị [1]. Quá trình này không chỉ tác động gián tiếp đến hệ sinh thái mà còn ảnh hưởng trực tiếp đến môi trường đô thị thông qua việc chuyển đổi các bề mặt tự nhiên thành bề mặt nhân tạo [2]. Trong những thập kỷ gần đây, đô thị hóa tại Việt Nam diễn ra với tốc độ nhanh chóng, đặc biệt tại các đô thị lớn và trung tâm kinh tế trọng điểm. Sự mở rộng không gian đô thị đã làm thay đổi đáng kể cấu trúc sử dụng đất, đồng thời phát sinh nhiều vấn đề môi trường đáng lo ngại. Một trong những biểu hiện rõ nét là sự gia tăng diện tích bề mặt không thấm (bao gồm đường giao thông, vỉa hè, mái nhà, khu công nghiệp và các công trình hạ tầng khác) [2-4]. Sự gia tăng này làm suy giảm khả năng thấm nước tự nhiên dẫn đến gia tăng dòng chảy bề mặt, nguy cơ ngập úng đô thị, suy giảm chất lượng và trữ lượng nước ngầm, cũng như thay đổi vi khí hậu địa phương [5]. Ngoài ra, bề mặt không thấm không chỉ phản ánh mức độ đô thị hóa, mà còn được xem là thang đo đánh giá chất lượng môi trường đô thị [6]. Do đó, việc theo dõi và đánh giá biến động bề mặt không thấm là cần thiết và đóng vai trò quan trọng trong bối cảnh đô thị hóa ngày càng gia tăng và diễn biến phức tạp hiện nay.

Tại phường Long An (TP. Tân An, tỉnh Long An cũ) (Hình 1), quá trình đô thị hóa diễn ra với tốc độ mạnh mẽ với bước tiến quan trọng khi thành phố được công nhận là đô thị loại II vào năm 2019 theo Quyết định 1140/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ. Việc đạt được thành tựu này thể hiện sự phát triển về quy mô, hạ tầng và mức độ đô thị hóa, đồng thời mở ra nhiều cơ hội mới trong phát triển kinh tế – xã hội. Đặc biệt, năm 2025 đánh dấu một bước ngoặt trong công tác quy hoạch và quản lý đô thị khi có sự điều chỉnh lớn về đơn vị hành chính cấp phường với việc sáp nhập các phường cũ thành phường Long An, tỉnh Tây Ninh. Sự thay đổi này không chỉ tái cấu trúc lại hệ thống hành chính mà còn tạo điều kiện thuận lợi hơn cho việc quản lý phát triển đô thị một cách đồng bộ và hiệu quả hơn. Bên cạnh đó, những biến động trong quy hoạch hành chính và đô thị này đặt ra nhu cầu cấp thiết trong việc giám sát sự thay đổi bề mặt không thấm và cũng như xác định xu hướng mở rộng phát triển không gian đô thị được xem là một thước đo quan trọng phản ánh mức độ đô thị hóa và ảnh hưởng đến môi trường. Việc theo dõi bề mặt không thấm và xu hướng mở rộng đô thị sẽ giúp cung cấp thông tin chính xác để hỗ trợ công tác quy hoạch không gian, quản lý đất đai của nhà nước tại phường Long An. Đây là một trong những vấn đề cần được quan tâm và đánh giá thường xuyên hướng

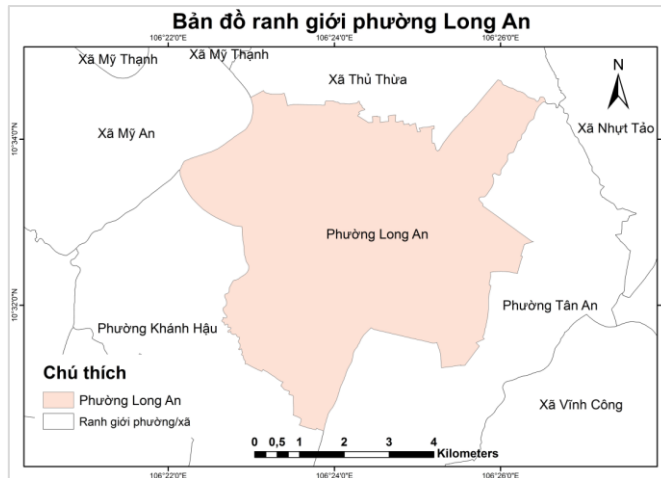


tới phát triển kinh tế – xã hội theo hướng bền vững và thích ứng với các biến đổi môi trường.

Cùng với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ viễn thám, nguồn dữ liệu ảnh vệ tinh đa phổ và đa thời gian ngày càng trở nên phong phú cho phép theo dõi liên tục sự thay đổi lớp phủ bề mặt trên diện rộng trong khoảng thời gian dài, đặc biệt là trong giám sát bề mặt không thấm tại các khu vực đô thị. Song song đó, nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine (GEE) đã trở thành công cụ phổ biến và được đánh giá cao trong xử lý và phân tích ảnh vệ tinh nhờ khả năng xử lý dữ liệu dung lượng lớn giúp giải quyết hiệu quả các thách thức về khối lượng và độ phức tạp của dữ liệu [7]. Nhờ sự tích hợp các thuật toán Machine Learning trên nền tảng GEE như Random Forest, SVM, CART, k-NN cho phép các nhà nghiên cứu phân loại và nhận dạng lớp phủ bề mặt, cũng như bề mặt không thấm được nâng cao đáng kể, đồng thời theo dõi biến động theo thời gian với độ chính xác cao, tiết kiệm chi phí và thời gian so với các phương pháp truyền thống. Điều này đặc biệt quan trọng trong bối cảnh đô thị hóa diễn ra nhanh chóng và thường xuyên cần đánh giá xu hướng biến động bề mặt không thấm (BMKT), từ đó làm cơ sở để đề xuất các giải pháp quy hoạch đô thị phù hợp, hướng đến phát triển bền vững. Điển hình là nghiên cứu theo dõi quá trình đô thị hóa tại TP Hồ Chí Minh thông qua phân loại bề mặt không thấm trên ảnh vệ tinh Landsat giai đoạn 1989–2019 [1] hay đánh giá xu hướng đô thị hóa TP Cần Thơ dựa trên phân tích biến động chuỗi ảnh Landsat trong giai đoạn 1997–2016 [2]. Bên cạnh việc sử dụng phân tích biến động không gian để xác định sự mở rộng đô thị thông qua so sánh sự thay đổi lớp phủ đất theo thời gian và không gian, còn có nhiều phương pháp khác đánh giá xu hướng mở rộng của đô thị bao gồm sử dụng chỉ số cường độ mở rộng đô thị (Urban Expansion Intensity Index – UEII) [8]; chỉ số tốc độ tăng trưởng đô thị (Urban Growth Rate) [9]; chỉ số mở rộng đô thị (Urban Expansion Index – UEI); phân tích các nhân tố thúc đẩy mở rộng đô thị (Driving Factor Analysis) [10] và các chỉ số liên quan đến mật độ dân cư và hiệu quả sử dụng đất (Population Density, Land Use Efficiency) [12]. Trong đó, chỉ số cường độ mở rộng đô thị (Urban Expansion Intensity Index – UEII) được xem là một trong những thang đo phổ biến và hiệu quả được sử dụng để phân tích xu hướng mở rộng đô thị giúp phản ánh mức độ gia tăng diện tích đất đô thị trong một khoảng thời gian nhất định so với tổng diện tích vùng nghiên cứu, cho phép đánh giá tốc độ và cường độ mở rộng không gian đô thị theo cả chiều không gian và thời gian [8].

Xuất phát từ những phân tích nêu trên, bài báo này được thực hiện với mục

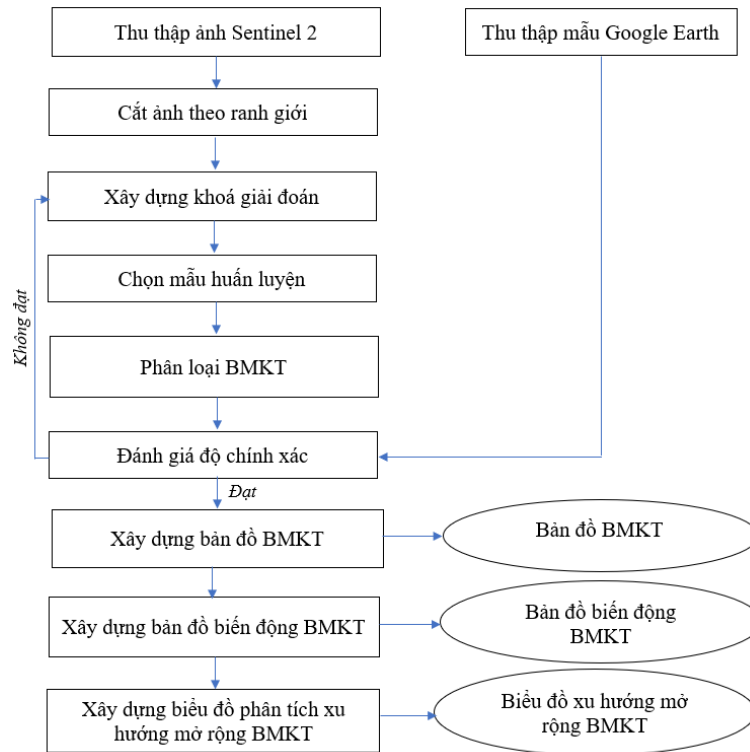
tiêu phân tích và đánh giá xu hướng mở rộng của bề mặt không thấm thông qua việc tính toán chỉ số cường độ mở rộng đô thị (UEII) theo các hướng phát triển không gian đô thị. Trong đó, thuật toán Random Forest được ứng dụng trên nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine (GEE) để phân loại bề mặt không thấm tại phường Long An qua các thời điểm 2016, 2020 và 2025. Trên cơ sở đó, phân tích biến động không gian tiến hành qua giai đoạn 2016–2020 và 2020–2025 nhằm xác định sự thay đổi không gian của bề mặt không thấm trong khu vực nghiên cứu. Ngoài ra, kết hợp với nền tảng Google Colab để xây dựng các biểu đồ trực quan, hỗ trợ phân tích xu hướng mở rộng không gian của bề mặt không thấm. Sự tích hợp giữa công nghệ xử lý dữ liệu hiện đại và công cụ trực quan hoá không chỉ góp phần nâng cao hiệu quả giám sát đô thị mà còn hỗ trợ quá trình ra quyết định dựa trên dữ liệu thực tiễn, từ đó định hướng phát triển đô thị theo hướng bền vững và cải thiện chất lượng môi trường sống tại địa phương.



Hình 1. Bản đồ ranh giới phường Long An

## 2. Phương pháp nghiên cứu

Tận dụng khả năng đa phổ và đa thời gian của ảnh vệ tinh, bài báo sử dụng các kênh phổ trong vùng ánh sáng khả kiến và vùng hồng ngoại từ ảnh Sentinel-2 (level 1C) với độ phân giải không gian 10m cho phép giám sát nhanh chóng các lớp phủ trên bề mặt Trái Đất. Ảnh Sentinel-2 được thu thập tại ba mốc thời gian 2016, 2020 và 2025 (từ đầu tháng 1 đến cuối tháng 6) với độ phủ mây dưới 10% đã tạo thành chuỗi dữ liệu liên tục nhờ vào khả năng lọc trung vị chuỗi ảnh với hàm median() giúp tăng cường chất lượng ảnh mới. Để phân tích xu hướng mở rộng bề mặt không thấm trong quá trình đô thị hoá tại phường Long An, bài báo thực hiện theo quy trình hình 2 qua các phương pháp nghiên cứu sau.



Hình 2. Quy trình thực hiện

Phương pháp phân loại có giám sát. Đối tượng bề mặt không thấm (bao gồm đường giao thông, vỉa hè, mái nhà, khu công nghiệp và các công trình hạ tầng khác) trên ảnh Sentinel 2 được phân loại bằng thuật toán Random Forest (RF) là một kỹ thuật trong lĩnh vực Machine Learning (ML) cho phép máy tính học từ dữ liệu và tự động đưa ra quyết định [12,13]. Trên nền tảng Google Earth Engine (GEE) có nhiều thuật toán học máy đã được tích hợp nhằm hỗ trợ quá trình phân tích và phân loại ảnh vệ tinh, bao gồm các phương pháp như Support Vector Machine (SVM), Classification and Regression Trees (CART) và Random Forest (RF). Trong đó, RF được lựa chọn nhờ những ưu điểm nổi bật về độ chính xác, khả năng tổng quát hóa cao và hiệu quả xử lý trên dữ liệu lớn nhờ vào tính hoạt động ổn định ngay cả khi dữ liệu huấn luyện có nhiều hoặc không phân bố đều, đồng thời giảm thiểu hiện tượng quá khớp (overfitting) nhờ cơ chế lấy mẫu và lựa chọn thuộc tính ngẫu nhiên [13-15]. Việc tích hợp trực tiếp RF trong GEE thông qua hàm *ee.Classifier.smileRandomForest()* cho phép huấn luyện và áp dụng mô hình phân loại nhanh chóng trên nền tảng điện toán đám mây. Ngoài các kênh phổ cơ bản, việc tính toán và tích hợp các chỉ số viễn thám như NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index), IBI (Index-based Built-up Index) và NDBI (Normalized Difference Built-up Index) góp



phần nâng cao hiệu quả phân loại của mô hình Random Forest. Các chỉ số này được xây dựng nhằm làm nổi bật những đặc trưng cụ thể của bề mặt như thảm thực vật (NDVI), nước mặt (NDWI) hay khu vực xây dựng (IBI, NDBI), từ đó cung cấp thêm thông tin chuyên biệt giúp mô hình phân biệt rõ ràng hơn giữa các lớp phủ. Khi được đưa vào làm biến đầu vào, các chỉ số viễn thám này giúp tăng khả năng học và giảm nhiễu cho mô hình. Nhờ vậy, độ chính xác phân loại và khả năng tổng quát hóa của Random Forest được cải thiện rõ rệt so với khi chỉ sử dụng các kênh phổ [16,17]. Chính vì thế, để phân loại BMKT với thuật toán RF đạt hiệu quả, bài báo đã sử dụng dữ liệu đầu vào bao gồm các kênh phổ trong vùng ánh sáng khả kiến, vùng hồng ngoại và đồng thời kết hợp các chỉ số viễn thám như NDVI, MNDWI, IBI, NDBI. Bên cạnh đó, độ chính xác của kết quả phân loại ảnh vệ tinh được đánh giá thông qua việc xây dựng ma trận sai số (Confusion Matrix) và tính toán độ chính xác toàn cục và hệ số Kappa nhằm đo lường mức độ nhất quán giữa kết quả phân loại và dữ liệu thu thập trên Google Earth Pro [18].

Phương pháp phân tích biến động được thực hiện bằng cách chồng lớp các bề mặt không thám nhằm xác định phạm vi biến động không gian theo công thức sau (1). Trong đó, ID nhất quán giữa hai thời điểm là bắt buộc để đảm bảo chính xác phân tích biến động với ID = 1 là BMKT (bề mặt không thám), ID = 2 là BMT (bề mặt thám). Kết quả biến động trả về ma trận  $2 \times 2$  gồm 4 trường hợp: 101 – BMKT không đổi, 102 – BMKT thu hẹp, 201 – BMKT mở rộng, 202 – BMT không đổi.

$$ID(\text{thời điểm } 1) * 100 + ID(\text{thời điểm } 2) \quad (1)$$

Phương pháp phân tích xu hướng mở rộng đô thị. Bài báo xây dựng biểu đồ đa cực thể hiện diện tích bề mặt không thám (BMKT) theo các hướng khác nhau nhằm cung cấp cái nhìn tổng quan và trực quan về sự phân bố cũng như xu hướng mở rộng của BMKT qua ba thời điểm. Phương pháp này giúp dễ dàng nhận diện các khu vực có tốc độ phát triển nhanh hoặc chậm theo từng hướng, từ đó hỗ trợ phân tích chi tiết hơn về mô hình biến động không gian của bề mặt không thám trong thời gian khảo sát. Đồng thời, sử dụng chỉ số cường độ mở rộng đô thị (Urban Expansion Intensity Index- UEII) phản ánh mức độ gia tăng diện tích đất đô thị trong một khoảng thời gian nhất định so với tổng diện tích vùng nghiên cứu, cho phép đánh giá tốc độ và cường độ mở rộng không gian đô thị theo cả chiều không gian và thời gian [8]. Nhờ khả năng so sánh giữa các khu vực khác nhau hoặc giữa các giai đoạn phát triển, UEII thường được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu quy hoạch không gian, phát triển bền vững và quản lý sử dụng đất đô thị [19]. Chỉ số này được tính theo công thức (2), trong đó  $A_{t1}, A_{t2}$  là diện tích đất đô thị (hay

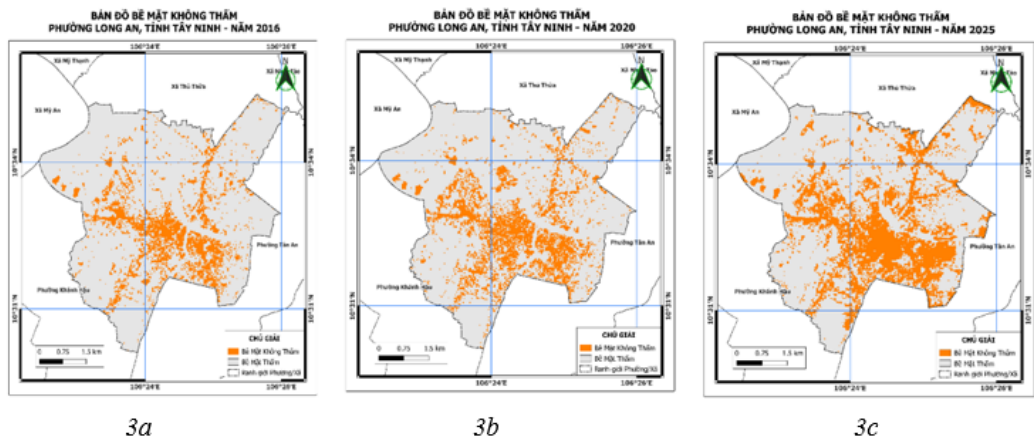
BMKT) tại thời điểm  $t_1, t_2$ ;  $\sum A$  là tổng diện tích trong phạm vi ranh giới hành chính;  $\Delta t$  là khoảng thời gian giữa hai thời điểm [19,20]. Giá trị của chỉ số UEII càng cao cho thấy tốc độ mở rộng đô thị tại khu vực nghiên cứu càng lớn. Theo quy chuẩn phân loại giá trị UEII được đề xuất bởi Ren [21], mức độ mở rộng được chia thành năm nhóm cụ thể: giá trị lớn hơn 1,92 thể hiện tốc độ mở rộng rất nhanh; từ 1,05 đến 1,92 là tốc độ nhanh; từ 0,59 đến 1,05 là tốc độ trung bình; từ 0,28 đến 0,59 là tốc độ chậm; và từ 0 đến 0,28 được xem là tốc độ mở rộng rất chậm.

$$UEII = \frac{A_{t_2} - A_{t_1}}{\sum A * \Delta t} * 100 \quad (2)$$

### 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

#### 3.1. Kết quả nghiên cứu

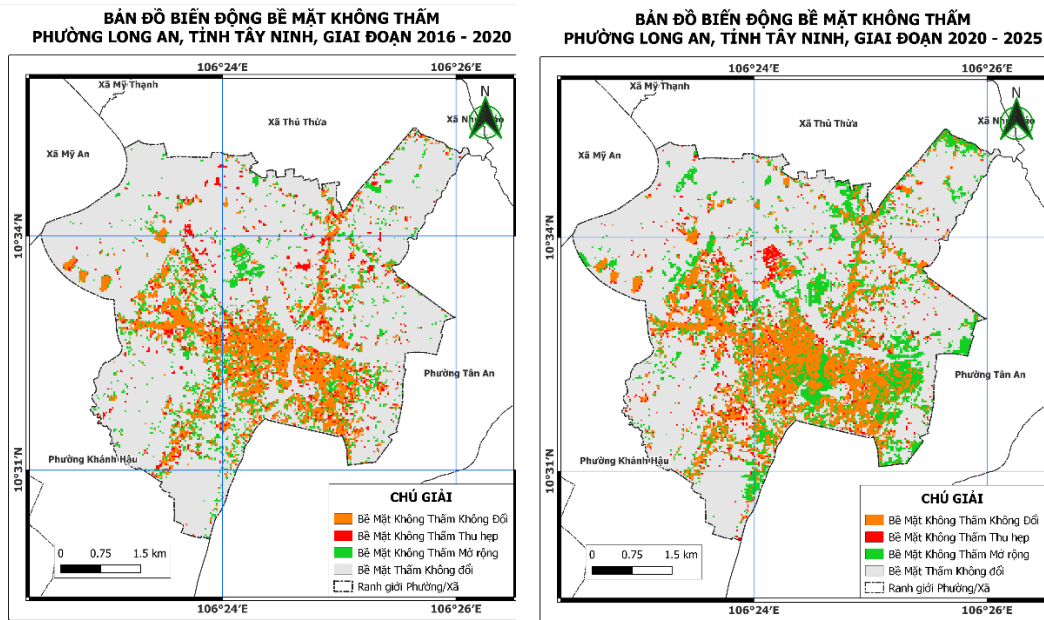
##### 3.1.1. Kết quả xây dựng bản đồ bề mặt không thấm và bản đồ biến động



Hình 3. Bản đồ bề mặt không thấm phường Long An qua các thời điểm 2016 (3a), 2020 (3b) và 2025 (3c)

Trên nền tảng Google Earth Engine (GEE), thuật toán Random Forest đã được sử dụng để phân loại các đối tượng bề mặt không thấm từ ảnh vệ tinh Sentinel-2 tại ba thời điểm khác nhau. Kết quả phân loại sau khi được biên tập và trực quan hóa (Hình 3a, 3b và 3c) cho thấy xu hướng mở rộng đáng kể của bề mặt không thấm theo thời gian. Cụ thể, diện tích bề mặt không thấm lần lượt tăng từ 5,76 km<sup>2</sup> vào năm 2016, lên 7,01 km<sup>2</sup> vào năm 2020 và đạt 10,46 km<sup>2</sup> vào năm 2025. Xu hướng gia tăng này phản ánh rõ nét quá trình đô thị hóa diễn ra ngày càng mạnh mẽ tại phường Long An (TP Tân An cũ) [22,23]. Bên cạnh đó, độ chính xác của mô hình phân loại cũng cho thấy mức độ tin cậy khá cao với độ chính xác tổng thể đạt 86,5%; 92,8% và 94,3% tương ứng cho các năm 2016, 2020 và 2025. Đồng thời, hệ số Kappa đạt giá trị lần lượt là 0,73; 0,86 và 0,89 cho thấy sự nhất quán khá cao giữa

kết quả phân loại và thực tế, đồng thời khẳng định hiệu quả ứng dụng của mô hình Random Forest trong việc giám sát biến động không gian của các bề mặt không thấm theo thời gian.



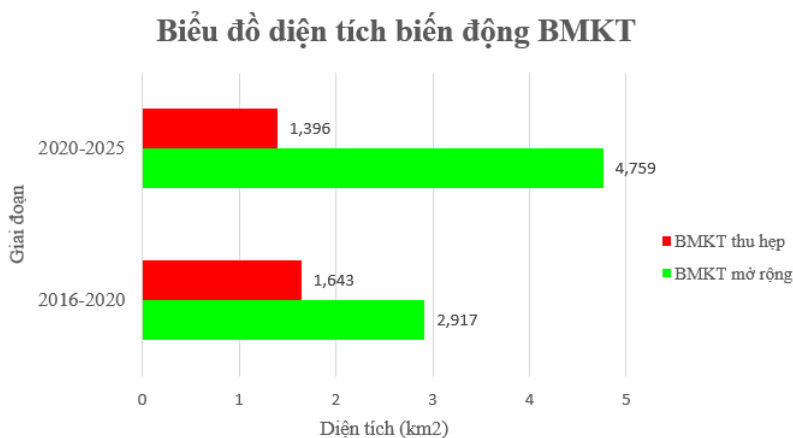
4a

4b

Hình 4. Bản đồ biến động bề mặt không thấm giai đoạn 2016-2020 (4a) và 2020-2025 (4b)

Sự thay đổi không gian bề mặt không thấm trong giai đoạn nghiên cứu còn được thể hiện một cách trực quan thông qua bản đồ biến động (Hình 4a, 4b) và biểu đồ biến động (Hình 5) góp phần làm rõ hơn xu hướng đô thị hóa ngày càng gia tăng theo thời gian. Cụ thể, trong giai đoạn 2016–2020 (Hình 4a), diện tích BMKT mở rộng đạt 2,917 km<sup>2</sup>, trong khi diện tích thu hẹp là 1,643 km<sup>2</sup>. Sự chênh lệch giữa hai giá trị này cho thấy quá trình đô thị hóa đã diễn ra nhưng ở mức độ vừa phải với sự tồn tại song song của cả xu hướng mở rộng và thu hẹp các khu vực đô thị hóa, có thể do điều chỉnh quy hoạch hoặc các yếu tố tự nhiên – xã hội tác động. Ở giai đoạn kế tiếp 2020–2025 (Hình 4b), diện tích BMKT mở rộng tăng mạnh lên 4,759 km<sup>2</sup>, trong khi diện tích thu hẹp giảm xuống còn 1,396 km<sup>2</sup>. Điều này phản ánh xu hướng mở rộng không gian đô thị một cách rõ rệt và ít bị gián đoạn bởi các quá trình thu hẹp. Mức gia tăng mạnh mẽ của diện tích BMKT mở rộng so với giai đoạn trước (tăng thêm khoảng 63%) cho thấy quá trình đô thị hóa đã diễn ra với cường độ cao hơn, nhiều khả năng liên quan đến sự phát triển nhanh chóng của cơ sở hạ tầng, khu dân cư, khu công nghiệp và các công trình xây dựng khác. Sự thay đổi trong diện tích BMKT, đặc biệt là xu hướng mở rộng ngày càng tăng và xu hướng

thu hẹp giảm dần là một dấu hiệu quan trọng về cường độ đô thị hóa cũng như áp lực lên tài nguyên đất và môi trường tự nhiên. Kết quả này đặt ra yêu cầu cấp thiết đối với công tác quy hoạch và quản lý đô thị theo hướng bền vững, nhằm cân bằng giữa phát triển kinh tế và bảo vệ môi trường.



Hình 5. Biểu đồ diện tích biến động BMKT qua các giai đoạn

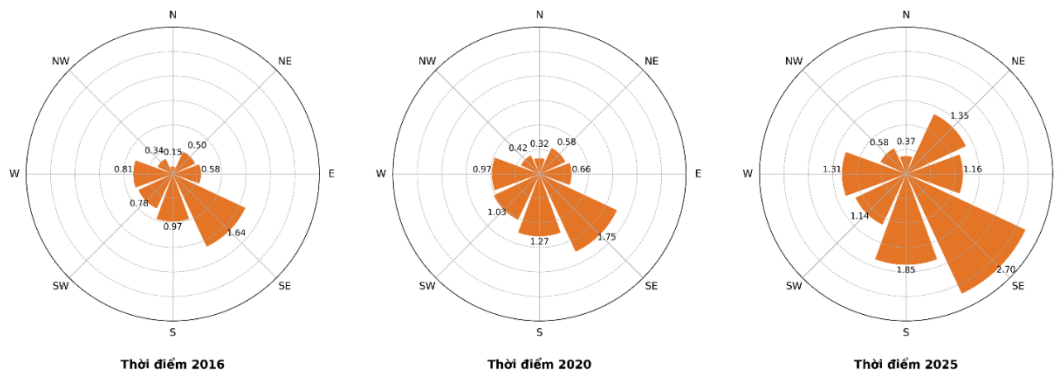
### 3.1.2. Kết quả phân tích xu hướng mở rộng bề mặt không thấm

Dựa trên kết quả tính toán diện tích bề mặt không thấm nước (BMKT), có thể nhận thấy xu hướng đô thị hóa đang diễn ra với tốc độ gia tăng theo thời gian. Trong giai đoạn 2016–2020, diện tích BMKT tăng từ 5,76 km<sup>2</sup> lên 7,01 km<sup>2</sup> tương ứng với mức tăng khoảng 21,7%. Đây là giai đoạn đô thị hóa diễn ra tương đối chậm, phản ánh tốc độ phát triển hạ tầng và mở rộng không gian đô thị còn ở mức vừa phải. Tuy nhiên, bước sang giai đoạn 2020–2025, tốc độ đô thị hóa tăng nhanh rõ rệt khi diện tích BMKT tăng mạnh lên 10,46 km<sup>2</sup> tương ứng với mức tăng 49,2% so với năm 2020. Mức tăng gần gấp đôi so với giai đoạn trước cho thấy sự bùng nổ của các hoạt động xây dựng, mở rộng khu dân cư, công trình hạ tầng và không gian đô thị. Điều này phản ánh rõ sự thúc đẩy mạnh mẽ của quá trình đô thị hóa trong những năm gần đây, nhiều khả năng xuất phát từ nhu cầu dân số gia tăng, các chính sách phát triển kinh tế – xã hội mới, cũng như quá trình chuyển dịch cơ cấu sử dụng đất diễn ra mạnh mẽ hơn.

Xu hướng mở rộng bề mặt không thấm trong khu vực nghiên cứu được minh họa rõ nét qua biểu đồ đa cực (Polar bar) tại Hình 6, thể hiện sự phát triển không gian và biến động theo thời gian một cách có hệ thống. Trong ba thời điểm theo hướng Đông Nam (SE) có diện tích không thấm lớn nhất và tốc độ tăng trưởng mạnh nhất, tăng từ 1,64 km<sup>2</sup> năm 2016 lên đến 2,70 km<sup>2</sup> vào năm 2025, tương đương mức tăng khoảng 1,06 km<sup>2</sup> và tỷ lệ tăng khoảng 64,6%. Điều này cho thấy

khu vực này đang là tâm điểm của các hoạt động xây dựng với khu đô thị, khu công nghiệp hoặc hạ tầng giao thông. Các hướng khác như Nam (S) và Đông Bắc (NE) cũng có sự gia tăng mạnh, lần lượt đạt 1,85 km<sup>2</sup> và 1,35 km<sup>2</sup> vào năm 2025, chứng tỏ sự mở rộng đáng kể của các bề mặt không thấm tại những khu vực này. Ngược lại, các hướng như Bắc (N) và Tây Bắc (NW) có diện tích không thấm tương đối nhỏ và tăng trưởng chậm hơn. Cụ thể, diện tích tại hướng Bắc chỉ tăng từ 0,15 km<sup>2</sup> lên 0,37 km<sup>2</sup> trong suốt giai đoạn 2016–2025, cho thấy tốc độ phát triển xây dựng hạn chế hoặc khu vực này vẫn giữ được phần lớn bề mặt tự nhiên. Hướng Tây (W), Tây Nam (SW) và Đông (E) có tốc độ tăng trung bình, phản ánh sự phát triển đô thị vừa phải, không quá ồ ạt nhưng vẫn liên tục. Đáng chú ý, ở hầu hết các hướng, tốc độ gia tăng diện tích không thấm trong giai đoạn 2020–2025 nhanh hơn so với giai đoạn 2016–2020. Tại hướng Đông (E), diện tích không thấm chỉ tăng từ 0,58 km<sup>2</sup> (2016) lên 0,66 km<sup>2</sup> (2020), nhưng sau đó tăng vọt lên 1,16 km<sup>2</sup> vào năm 2025. Tương tự, hướng NE tăng nhẹ từ 0,50 km<sup>2</sup> (2016) lên 0,58 km<sup>2</sup> (2020) nhưng đến 2025 thì đạt 1,35 km<sup>2</sup>. Điều này phản ánh tốc độ đô thị hóa đang được đẩy mạnh rõ rệt trong giai đoạn sau, đặc biệt trong giai đoạn 2020–2025. Một phần nguyên nhân có thể liên quan đến các chính sách phát triển hạ tầng, tái quy hoạch hoặc đầu tư xây dựng tập trung trong thời kỳ này.

**Xu hướng phân bố bề mặt không thấm (2016–2025)**

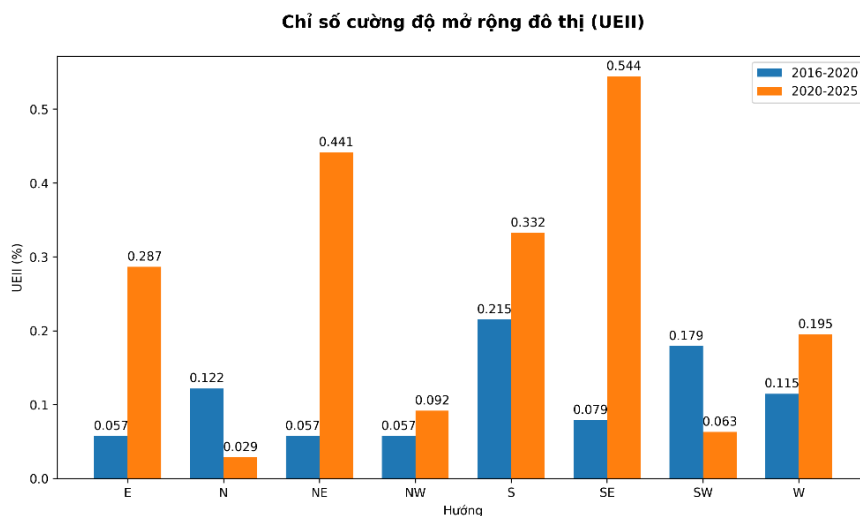


*Hình 6. Bản đồ đa cực thể hiện xu hướng phân bố BMKT*

Kết quả phân tích cho thấy sự mở rộng không gian bề mặt không thấm tập trung chủ yếu ở các hướng Đông Nam, Đông Bắc và Nam, điều này có thể liên quan đến sự tập trung phát triển hạ tầng và đô thị hóa tại các khu vực này. Sự gia tăng diện tích không thấm ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình thấm thấu nước và dòng chảy bề mặt, từ đó tác động đến môi trường và cảnh quan tự nhiên. Các phát hiện này có ý nghĩa quan trọng trong việc định hướng quy hoạch sử dụng đất và quản lý

tài nguyên nước nhằm kiểm soát sự gia tăng bề mặt không thấm, giảm thiểu các tác động tiêu cực liên quan đến ngập úng và suy giảm chất lượng môi trường.

Ngoài ra, xu hướng phát triển đô thị còn được phản ánh thông qua chỉ số cường độ mở rộng (UEII) cho phép đánh giá chi tiết mức độ và tốc độ gia tăng diện tích xây dựng theo từng hướng, từ đó cung cấp cái nhìn toàn diện về biến đổi không gian đô thị trong khu vực phường Long An (Hình 7). Trong giai đoạn 2016–2020, tốc độ mở rộng đô thị còn ở mức rất chậm với giá trị UEII dao động từ 0,057 đến 0,214. Hướng có UEII cao nhất là hướng Nam (S) với 0,214 cho thấy đây là khu vực phát triển mạnh nhất trong giai đoạn đầu. Các hướng Tây Nam (SW) và Bắc (N) cũng có chỉ số UEII tương đối cao lần lượt là 0,179 và 0,121. Trong khi đó, các hướng như Đông (E), Đông Bắc (NE), Tây Bắc (NW) đều có UEII thấp hơn (0,057) phản ánh tốc độ mở rộng chậm hoặc ổn định. Sang giai đoạn 2020–2025, quá trình đô thị hóa diễn ra mạnh mẽ hơn thể hiện rõ qua việc chỉ số UEII tăng đáng kể ở nhiều hướng. Đáng chú ý nhất là hướng Đông Nam (SE) với giá trị UEII đạt 0,544 cao nhất trong toàn bộ các hướng và gấp gần 7 lần so với giai đoạn trước. Hướng Đông Bắc (NE) đạt mức tăng mạnh từ 0,057 lên 0,441 cho thấy khu vực này đang trở thành điểm nóng mở rộng đô thị mới. Ngoài ra, hướng Đông (E) và Nam (S) tiếp tục duy trì mức tăng trưởng rõ rệt với chỉ số lần lượt là 0,286 và 0,332. Ngược lại, một số hướng lại ghi nhận sự giảm tốc trong mở rộng đô thị. Đáng chú ý là hướng Bắc (N) giảm từ 0,121 còn 0,028 và hướng Tây Nam (SW) giảm từ 0,179 xuống 0,063. Sự sụt giảm này có thể phản ánh sự bảo hòa không gian hoặc giới hạn về điều kiện phát triển ở các khu vực này.



Hình 7. Biểu đồ thể hiện chỉ số cường độ mở rộng đô thị theo hướng



Qua đó, so sánh giữa hai giai đoạn cho thấy một sự chuyển dịch rõ rệt trong định hướng không gian đô thị. Trong khi giai đoạn đầu (2016–2020) tập trung phát triển về phía Nam và Tây Nam thì giai đoạn sau (2020–2025) lại chuyển dịch sự tăng tốc mạnh mẽ về phía Đông và Đông Nam. Điều này có thể liên quan đến các yếu tố như điều kiện địa hình, chính sách quy hoạch, kết nối hạ tầng và nhu cầu phát triển các khu đô thị mới.

### **3.2. Thảo luận**

Qua thực nghiệm phân loại bề mặt không thấm (BMKT) bằng thuật toán Random Forest trên nền tảng Google Earth Engine, kết quả cho thấy độ tin cậy cao với độ chính xác tổng thể trên 86% và hệ số Kappa vượt 0,73 tại các mốc thời gian 2016, 2020 và 2025. Diện tích BMKT liên tục gia tăng, đặc biệt trong giai đoạn 2020–2025 với tốc độ mở rộng nhanh hơn giai đoạn trước, phản ánh rõ quá trình đô thị hóa ngày càng gia tăng. Sự mở rộng này có tính phân bố không đồng đều theo hướng, nổi bật ở các hướng Đông Nam (SE) và Đông Bắc (NE), trong khi các hướng Bắc (N) và Tây Bắc (NW) có xu hướng ổn định hoặc mở rộng chậm. Chỉ số cường độ mở rộng đô thị (UEII) cho thấy tốc độ phát triển xây dựng tăng rõ rệt tại các hướng trọng điểm trong giai đoạn 2020–2025, đồng thời phản ánh sự chuyển dịch định hướng không gian đô thị theo thời gian.

Việc xây dựng các biểu đồ trực quan hỗ trợ phân tích xu hướng mở rộng đô thị trên nền tảng Google Colab được thực hiện nhanh chóng và tiện lợi nhờ vào việc tận dụng các thư viện Python mã nguồn mở. Cách tiếp cận này không chỉ giúp giảm thiểu thời gian xử lý và lập trình mà còn tăng tính linh hoạt trong trực quan hóa dữ liệu không gian. Nhờ đó, có thể dễ dàng theo dõi, so sánh và đánh giá xu hướng phát triển đô thị qua các giai đoạn, từ đó đưa ra quyết định quy hoạch hợp lý và kịp thời. Mặc dù phương pháp Random Forest cho kết quả phân loại tốt, nhưng vẫn tồn tại hạn chế trong việc nhận diện các đặc trưng phức tạp hoặc chi tiết nhỏ của bề mặt không thấm. Để khắc phục, có thể ứng dụng các mô hình học sâu như mạng nơ-ron tích chập (CNN) nhằm nâng cao khả năng trích xuất đặc trưng và độ chính xác phân loại. Bên cạnh đó, việc kết hợp chỉ số UEII với các chỉ số bổ sung như tốc độ mở rộng đô thị (UER), hệ số hình thái không gian (UFI) và mật độ xây dựng (BD) sẽ giúp đánh giá toàn diện hơn xu hướng phát triển đô thị, từ đó hỗ trợ hiệu quả cho công tác quy hoạch, quản lý và định hướng phát triển bền vững tại khu vực nghiên cứu.

### **4. Kết luận**

Nghiên cứu đã ứng dụng hiệu quả thuật toán Random Forest trên nền tảng

Google Earth Engine để phân loại và phân tích biến động bề mặt không thấm (BMKT) tại phường Long An trong ba thời điểm 2016, 2020 và 2025. Kết quả cho thấy độ chính xác phân loại khá cao, đồng thời phản ánh rõ nét xu hướng đô thị hóa đang diễn ra mạnh mẽ, đặc biệt trong giai đoạn 2020–2025. Sự gia tăng diện tích BMKT phân bố không đồng đều theo các hướng không gian, trong đó các hướng Đông Nam và Đông Bắc đạt tốc độ mở rộng nhanh. Xu hướng này được lượng hóa rõ ràng thông qua chỉ số cường độ mở rộng đô thị (Urban Expansion Intensity Index – UEII), cho phép đánh giá định lượng mức độ và hướng mở rộng của đô thị qua từng giai đoạn. Việc tích hợp mô hình học máy với nền tảng viễn thám đám mây và hệ thống các chỉ số đánh giá không gian không chỉ nâng cao hiệu quả giám sát quá trình đô thị hóa, mà còn cung cấp dữ liệu đầu vào có độ tin cậy cao cho công tác quản lý đất đai và quy hoạch không gian đô thị. Cách tiếp cận này góp phần hỗ trợ các nhà quản lý và nhà quy hoạch trong việc xác định các khu vực phát triển ưu tiên, kiểm soát mở rộng đô thị một cách hợp lý và hướng tới mục tiêu phát triển bền vững trong bối cảnh đô thị hóa ngày càng gia tăng và phức tạp.

### Cam kết của các tác giả

Tất cả các tác giả có tên trong bài báo cam kết sự đồng thuận và không có xung đột lợi ích trong công bố khoa học tại bài báo này.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Lâm Văn Hạo, Lê Thị Pha Mi. “Ứng dụng viễn thám và GIS theo dõi quá trình đô thị hóa tại thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 1989 – 2019”. *Tạp chí khí tượng thủy văn*. Tập 720, trang 49-60, 2020.
- [2] Lê Văn Trung, Nguyễn Nguyên Vũ. “Ứng dụng viễn thám và GIS đánh giá xu thế đô thị hóa tại thành phố Cần Thơ”. *Tạp chí phát triển khoa học & công nghệ: chuyên san khoa học trái đất & môi trường*. Tập 2, trang 57-62, 2018.
- [3] Trần Thị Vân. “Ứng dụng viễn thám và GIS giám sát đô thị hóa thành phố Hồ Chí Minh thể hiện qua các mặt không thấm”. *Tạp chí phát triển khoa học & công nghệ*. Tập 14, trang 65-77, 2011.
- [4] Phạm Văn Tùng, Nguyễn Văn Trung, Nguyễn Hữu Long, Nguyễn Đức Hùng. “Quan trắc sự mở rộng bề mặt không thấm bằng dữ liệu ảnh Spot-5 và Sentinel-2 ở khu vực Thành phố Hồ Chí Minh”. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*. Tập 59, trang 69-76, 2018.
- [5] Nguyễn Tấn Lợi, Võ Quốc Tuấn. “Phân loại đất đô thị sử dụng các ảnh chỉ số từ ảnh vệ tinh sentinel-2 - trường hợp nghiên cứu tại thành phố Long Xuyên, thành phố Cà Mau và quận Ninh Kiều”. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. Tập 57, trang 190-201, 2021.
- [6] Trinh Le Hung, Pham Van Tung, Tran Xuan Bien, Nguyen Van Trung, Vu Xuan Cuong, Tong Thi Hanh and Le Van Phu. “Mapping impervious surface change from remote sensing and GIS data: A case study in Hochiminh city, Vietnam”. *Ecological Questions*. Vol. 35, page 1-14, 2024.
- [7] Nguyễn Trọng Nhân, Vũ Xuân Cường. “Sử dụng Google Earth Engine trong giám sát biến động diện tích rừng TP Lâm đồng giai đoạn 2010-2016”. *Kỷ yếu khoa học công nghệ lần 4 - Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Thành phố Hồ Chí Minh*, trang 254-265, 2018.



- [8] Liu, J., Zhan, J., & Deng, X. “Spatio-temporal patterns and driving forces of urban land expansion in China during the economic reform era”. *Ambio*. Vol. 34(6), page 450-455, 2005.
- [9] Angel, S., Parent, J., Civco, D. L., Blei, A. M., & Potere, D. “The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000–2050”. *Progress in Planning*. Vol 75(2), page 53–107, 2011.
- [10] Verburg, P. H., Schot, P. P., Dijst, M. J., & Veldkamp, A. “Land use change modelling: Current practice and research priorities”. *GeoJournal*. Vol. 61(4), page 309–324, 2004.
- [11] R. A. Acheampong, F. S. K. Agyemang, và M. Abdul-Fatawu, “Quantifying the spatio-temporal patterns of settlement growth in a metropolitan region of Ghana”. *GeoJournal*. Vol 82, page 823–840, 2017.
- [12] Breiman, L. “Random Forests. Machine Learning”. *Springer Nature*. Vol 45(1), page 5–32, 2001.
- [13] Sultana S, Inayathulla M. “Precision Land Use and LandCover Classification Using GoogleEarth Engine: Integrating RandomForest and Support Vector MachineAlgorithms”. *Geo-Eye*. Vol.11(2), page 9-14, 2022.
- [14] Phạm Văn Duân, Hoàng Văn Khiên, Nguyễn Văn Tùng. “Xây dựng bản đồ không gian xanh bằng thuật toán Random Forest (RF) trên nền tảng điện toán đám mây của Google Earth Engine”. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*. Tập 6, trang 58-67, 2022.
- [15] Giang Thị Phương Thảo, Phạm Thị Thu Hương, Phạm Việt Hòa, và Nguyễn An Bình, “Đánh giá độ chính xác trong phân loại lớp phủ dựa trên thuật toán học máy và dữ liệu viễn thám thông qua Google Earth Engine: Áp dụng tại tỉnh Đắk Lắk”. *Journal of Science on Natural Resources Environment*. Vol. 46, page 55-65, 2021.
- [16] W. Prasomsup, T. Thirakultomorn, A. Phinyoyang, N. Nakutnok, và S. Pidnguheluxm, “Evaluation of Built-Up Areas Using Modified Built-Up Index with Landsat 8 and Sentinel-2A Data”. *Burapha Science Journal*. Vol. 29, page 510–526, 2024.
- [17] Arfa-Fathollahkhani, A., & Minaei, M. “Utilizing multitemporal indices and spectral bands of Sentinel-2 to enhance land use and land cover classification with Random Forest and Support Vector Machine”. *Advances in Space Research*. Vol.74(11), page 5580–5590, 2024.
- [18] Phạm Công Hà, Nguyễn Trọng Nhân. “Ứng dụng Google Earth Engine giám sát biến động không gian xanh tại thành phố Thủ Đức bằng ảnh Sentinel 2 giai đoạn 2019-2024”. *Tạp chí trắc địa bản đồ*. Tập 11(3), trang 25-39, 2025.
- [19] Hu, Z.-L., Du, P.-J., & Guo, D.-Z. “Analysis of urban expansion and driving forces in Xuzhou city based on remote sensing”. *Journal of China University of Mining and Technology*. Vol.17(2), page 267–271, 2007.
- [20] R. A. Acheampong, F. S. K. Agyemang, và M. Abdul-Fatawu. “Quantifying the spatio-temporal patterns of settlement growth in a metropolitan region of Ghana”. *GeoJournal*. Vol. 82, page 823–840, 2017.
- [21] Ren, P., Gan, S., Yuan, X., Zong, H., & Xie, X. “Spatial Expansion and sprawl quantitative analysis of mountain city built-up area. In F. Bian, Y. Xie, X. Cui & Y. Zeng”. *Geo-informatics in resource management and sustainable ecosystem*. Berlin: Springer, page 166–176, 2013.
- [22] Nguyễn Kim Hoa, Nguyễn Thị Hải, Nguyễn Hữu Ngữ. “Ứng dụng GIS phân tích biến động sử dụng đất tại thành phố Tân An, tỉnh Long An”. *Tạp chí khoa học đất*. Tập 79, trang 95-99, 2025.
- [23] Nguyễn Hữu Cường và Nguyễn Văn Cường. “Dự báo mở rộng đô thị sử dụng mô hình camarkov: trường hợp thành phố Tân An, tỉnh Long An”. *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*. Tập 60 (3), trang 1-11, 2024.

