



Ứng dụng Google Earth Engine thành lập bản đồ biến động lớp phủ bề mặt đất xã Bến Lức, tỉnh Tây Ninh giai đoạn 2020 - 2025

Võ Trung Thuật¹, Văn Ngọc Trúc Phương¹, Nguyễn Kim Hoa¹✉*

¹Khoa Trắc địa, Bản đồ và Công trình, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh

Email tác giả liên hệ: nkhoa@hcmure.edu.vn

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18186755>

Tóm tắt:

Nghiên cứu này ứng dụng nền tảng Google Earth Engine (GEE) kết hợp ảnh vệ tinh Sentinel-2 để thành lập bản đồ lớp phủ bề mặt đất và bản đồ biến động lớp phủ bề mặt đất xã Bến Lức, tỉnh Tây Ninh giai đoạn 2020-2025. Hai ảnh tổng hợp mùa khô năm 2020 và 2025 từ dữ liệu Sentinel-2 Level-2A được tiền xử lý (lọc mây, ghép và cắt theo ranh giới hành chính) trên GEE, sau đó phân loại bằng thuật toán Random Forest (RF) với bốn lớp chính: đất trống (DT), đất xây dựng (DXD), thủy hệ (TH) và thực vật (TV). Mẫu huấn luyện và mẫu kiểm tra được xây dựng từ ảnh độ phân giải cao và đối chiếu với thực địa. Độ chính xác phân loại được đánh giá thông qua ma trận sai số, độ chính xác tổng thể và hệ số Kappa. Kết quả cho thấy độ chính xác tổng thể đạt 91,05% với hệ số Kappa 0,88 cho năm 2020 và 87,58% với hệ số Kappa 0,83 cho năm 2025, thể hiện mức độ tin cậy cao của mô hình phân loại. Năm 2020, lớp đất trống và thực vật chiếm gần 70% diện tích tự nhiên, trong khi đất xây dựng và thủy hệ chiếm tỷ lệ thấp hơn. Đến năm 2025, diện tích đất trống giảm khoảng 657,77 ha, trong khi diện tích thực vật tăng thêm khoảng 402,50 ha, đất xây dựng tăng hơn 124,33 ha và thủy hệ tăng khoảng 130,95 ha. Sự chuyển dịch này phản ánh xu thế giảm diện tích đất chưa sử dụng, gia tăng độ che phủ cây xanh đồng thời mở rộng không gian xây dựng và hệ thống ao hồ, kênh rạch. Từ hai bản đồ lớp phủ, bản đồ biến động lớp phủ bề mặt đất giai đoạn 2020-2025 được thành lập bằng kỹ thuật chồng xếp lớp trong môi trường ArcGIS. Các lớp kết quả tiếp tục được đưa vào hệ quản trị cơ sở dữ liệu PostgreSQL/PostGIS và công bố qua máy chủ bản đồ GeoServer để xây dựng WebGIS chuyên đề. Hệ thống WebGIS cho phép người dùng tra cứu nhanh loại hình biến động, diện tích và vị trí không gian ngay trên nền bản đồ trực tuyến. Kết quả nghiên cứu khẳng định tính hiệu quả của GEE và ảnh Sentinel-2 trong giám sát biến động lớp phủ bề mặt ở quy mô địa phương, đồng thời cho thấy tiềm năng của việc tích hợp WebGIS trong hỗ trợ quản lý tài nguyên đất và quy hoạch không gian.

Từ khóa: Google Earth Engine, Sentinel-2, Random Forest, lớp phủ bề mặt, WebGIS, Bến Lức, Tây Ninh.

Ngày nhận bài: 25/11/2025 Ngày sửa lại: 10/12/2025 Ngày chấp nhận đăng: 12/12/2025 Ngày xuất bản: 31/12/2025

Application of Google Earth Engine to detect land - cover changes in Ben Luc commune, Tay Ninh province, period 2020 - 2025

Vo Trung Thuat¹, Van Ngoc Truc Phuong¹, Nguyen Kim Hoa¹✉*

¹Faculty of Geodesy, Cartography and Engineering, University of Natural Resources and Environment, Ho Chi Minh City

Corresponding Author Email: nkhoa@hcmure.edu.vn

Abstract:

This study applies the Google Earth Engine (GEE) platform combined with Sentinel-2 imagery to derive land-cover maps and land-cover change maps for Ben Luc commune, Tay Ninh province, in the period 2020-2025. Two dry-season composites for 2020 and 2025 were generated from Sentinel-2 Level-2A data, pre-processed on GEE by cloud masking, mosaicking and clipping to the administrative boundary. The images were then classified using the Random Forest (RF) algorithm into four major land-cover classes: bare land, built-up land, water bodies and vegetation. Training and validation samples were derived from high-resolution imagery and field verification. Classification accuracy was assessed using confusion matrices, overall accuracy and the Kappa coefficient. The results show an overall accuracy of 91.05% with a Kappa coefficient of 0.88 for 2020, and 87.58% with a Kappa coefficient of 0.83 for 2025, indicating a high reliability of the classification model. In 2020, bare land and vegetation together accounted for nearly 70% of the commune's area, while built-up land and water covered smaller proportions. In 2025, bare land decreased by about 657.77 ha, whereas vegetation increased by around 402.50 ha, built-up land expanded by over 124.33 ha and water bodies increased by roughly 130.95 ha. These changes reflect a reduction in unused land, enhanced green coverage and the expansion of built-up space and surface water systems. Based on the two land-cover maps, a land-cover change map for 2020-2025 was generated using overlay analysis in ArcGIS. The resulting layers were stored in a PostgreSQL/PostGIS database and published via GeoServer to build a thematic WebGIS application. The WebGIS enables users to query change types, areas and locations directly on an interactive online map. The findings demonstrate the effectiveness of GEE and Sentinel-2 data for local-scale



land cover monitoring, as well as the potential of integrating WebGIS to support land resource management and spatial planning.

Keyword: Google Earth Engine, Sentinel-2, Random Forest, LULC, WebGIS, Ben Luc, Tay Ninh

Submission received: 25/11/2025

Revised: 10/12/2025

Accepted: 12/12/2025

Published: 31/12/2025

1. Mở đầu

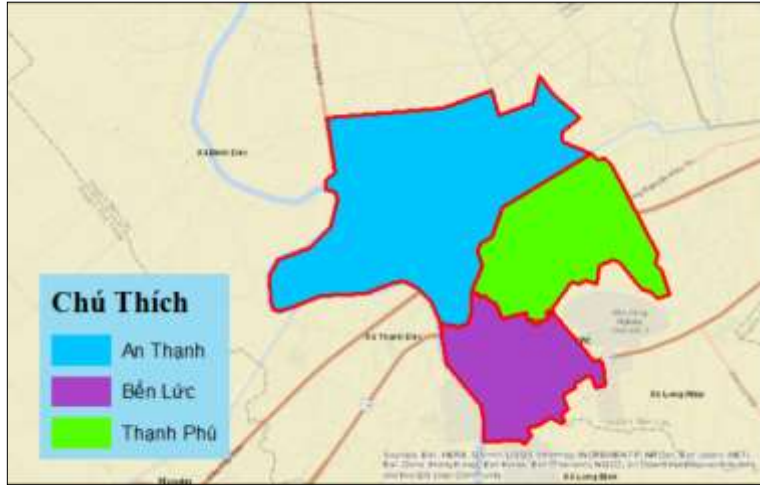
Trong bối cảnh đô thị hóa và chuyển đổi cơ cấu kinh tế diễn ra ngày càng mạnh mẽ ở các địa phương vùng Đông Nam Bộ, nhu cầu theo dõi và đánh giá biến động lớp phủ bề mặt đất trở nên cấp thiết để phục vụ quản lý tài nguyên, quy hoạch sử dụng đất và bảo vệ môi trường. Các phương pháp điều tra truyền thống (điều tra hiện trạng sử dụng đất, đo đạc ngoài thực địa...) thường tốn nhiều thời gian, chi phí và khó bảo đảm tính cập nhật, đặc biệt đối với các khu vực có tốc độ thay đổi nhanh. Sự phát triển của dữ liệu viễn thám quang học độ phân giải trung bình như Sentinel-2, kết hợp với các nền tảng xử lý trên đám mây như Google Earth Engine (GEE) [1], mở ra hướng tiếp cận mới cho bài toán giám sát lớp phủ bề mặt ở quy mô từ địa phương đến quốc gia. Trong gần một thập kỷ qua, GEE đã trở thành một trong những nền tảng cốt lõi cho nghiên cứu lớp phủ/lớp sử dụng đất (LULC). Tổng quan của Alshehri và cộng sự (2025) cho thấy phần lớn các nghiên cứu LULC sử dụng GEE tập trung vào giám sát biến động đô thị, rừng và nông nghiệp, với xu hướng áp dụng các thuật toán học máy như Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM) và Gradient Boosting nhờ độ chính xác cao và khả năng mở rộng tốt [2]. Các nghiên cứu tổng quan về Sentinel-2 cũng khẳng định ưu thế của bộ cảm biến này trong lập bản đồ lớp phủ/lớp sử dụng đất với độ phân giải 10-20 m, dải phổ rộng, tần suất lặp cao và khả năng kết hợp đa thời gian [3]. Nhiều nghiên cứu đã triển khai trực tiếp RF trên GEE để phân loại lớp phủ. Phan và cộng sự (2020) phân loại lớp phủ cho vùng thảo nguyên Mông Cổ từ ảnh Landsat 8 trên GEE, so sánh các chiến lược tổng hợp ảnh khác nhau và cho thấy RF đạt độ chính xác tổng thể trên 88% khi kết hợp các chỉ số phổ [4]. Ở quy mô quốc gia và địa phương, một số nghiên cứu trong nước và khu vực cũng ghi nhận RF cho kết quả ổn định khi lập bản đồ lớp phủ hoặc hiện trạng sử dụng đất, tiêu biểu như Lê (2021) phân loại lớp phủ tỉnh Thanh Hóa trên nền GEE, hay Nguyễn và cộng sự (2018) lập bản đồ LULC tỉnh Đắk Lắk từ ảnh Landsat 8 với RF, trong đó độ chính xác tổng thể đạt trên 85-90% [5], [6]. Hiệu quả của việc tích hợp dữ liệu viễn thám và GIS trong đánh giá lớp phủ bề mặt và quy hoạch sử dụng đất đã được đề cập trong nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước [7-10]. Xã Bến Lức, tỉnh Tây Ninh là khu vực có sự đan xen giữa đất nông nghiệp, khu dân cư, công trình hạ tầng và hệ thống kênh rạch, đang chịu nhiều áp lực về sử dụng đất do phát triển kinh tế - xã hội. Việc lượng hóa biến động lớp phủ bề mặt giai đoạn 2020-2025 sẽ giúp nhận diện xu thế chuyển đổi đất trồng, đất xây dựng, thực vật và thủy hệ, từ đó cung cấp thông tin hỗ trợ ra quyết định cho chính quyền địa phương. Trên cơ sở đó, mục tiêu của bài báo là: (i) ứng dụng GEE để xây dựng bản đồ lớp phủ bề mặt đất xã Bến Lức cho hai thời điểm 2020 và 2025; (ii) thành lập bản đồ biến động lớp phủ bề mặt đất giai đoạn 2020-2025 và phân tích xu thế biến động; (iii) xây dựng WebGIS chuyên đề nhằm công bố và chia sẻ kết quả nghiên cứu phục vụ công tác quản lý đất đai và quy hoạch không gian.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu và dữ liệu

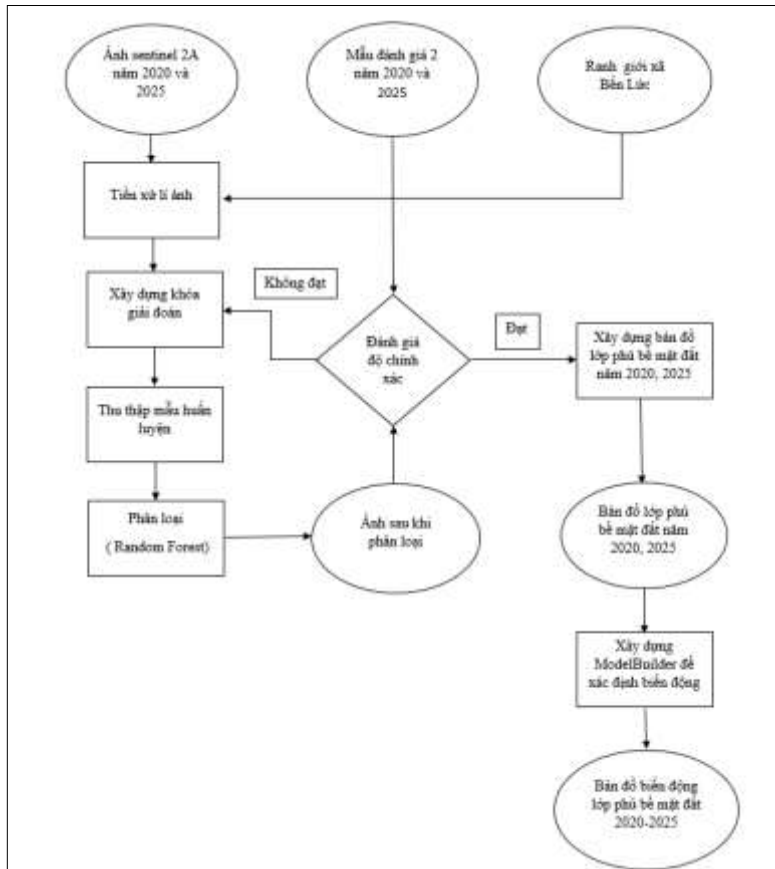
Xã Bến Lức, tỉnh Tây Ninh có diện tích tự nhiên khoảng 4.606 ha, địa hình tương đối bằng phẳng, được bao phủ bởi mạng lưới kênh rạch và đất canh tác nông nghiệp, xen kẽ với khu dân cư, cơ sở hạ tầng và một số khu vực cây xanh. Khu vực có khí hậu nhiệt đới gió mùa, mùa mưa tập trung từ tháng 5 đến tháng 10 và mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau. Đặc điểm này thuận lợi cho việc lựa chọn ảnh mùa khô nhằm hạn chế ảnh hưởng của mây và ngập nước tạm thời.

Dữ liệu chính sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: (i) Ảnh Sentinel-2 Level-2A giai đoạn mùa khô năm 2020 và 2025, với độ phân giải không gian 10-20 m; (ii) Ranh giới hành chính xã Bến Lức dạng vector; (iii) Tập mẫu huấn luyện và mẫu kiểm tra được xây dựng từ ảnh độ phân giải cao trên Google Earth và thông tin thực địa; (iv) Các phần mềm hỗ trợ xử lý và công bố dữ liệu như ArcGIS, QGIS, PostgreSQL/PostGIS, GeoServer. Vị trí địa lý và phạm vi ranh giới khu vực nghiên cứu được thể hiện trên Hình 1.



Hình 1. Bản đồ vị trí khu vực nghiên cứu xã Bến Lức, tỉnh Tây Ninh

2.2. Quy trình xử lý ảnh trên Google Earth Engine



Hình 2. Quy trình thực hiện

Quy trình xử lý ảnh trên GEE gồm các bước chính: (1) Lọc và chọn ảnh Sentinel-2 Level-2A theo phạm vi không gian xã Bến Lức và khoảng thời gian mùa khô của từng năm; (2) Áp dụng mặt nạ mây dựa trên kênh chất lượng (QA60) và chỉ giữ lại các pixel có chất lượng tốt; (3) Tạo ảnh tổng hợp theo giá trị trung vị (median composite) để giảm nhiễu mây mỏng và sai số ngẫu nhiên; (4) Cắt ảnh theo ranh giới hành chính khu vực nghiên cứu. Từ ảnh tổng hợp, các băng quang học có độ phân giải 10 m và 20 m được lựa chọn làm biến đầu vào cho mô hình phân loại RF, bao gồm các băng xanh dương, xanh lá, đỏ, cận hồng ngoại và hồng ngoại sóng ngắn. Hệ thống phân loại gồm 4 lớp: đất trồng (DT), đất xây dựng (DXD), thủy hệ (TH) và thực vật (TV). Mẫu huấn luyện được số hóa trên GEE dựa vào tổ hợp màu giả, ảnh độ phân giải cao và kiến thức thực địa.

2.3. Phân loại ảnh và đánh giá độ chính xác

Thuật toán Random Forest (RF) được sử dụng để phân loại ảnh cho từng năm nghiên cứu. Về bản chất, RF là một mô hình tập hợp cây quyết định (ensemble) do Breiman (2001) đề xuất, trong đó nhiều cây phân loại được xây dựng song song trên các tập dữ liệu bootstrap và tại mỗi nút chia chỉ xem xét một tập con ngẫu nhiên các biến đầu vào; các cây con đưa ra dự đoán độc lập và nhãn lớp cuối cùng được quyết định theo nguyên tắc bỏ phiếu đa số [11]. Cách tiếp cận này giúp giảm hiện tượng quá khớp và tăng độ ổn định của mô hình, đặc biệt phù hợp với dữ liệu viễn thám đa phổ có quan hệ phi tuyến phức tạp [12]. Trong nghiên cứu này, ảnh Sentinel-2 sau tiền xử lý được sử dụng để trích xuất các băng phổ ở độ phân giải 10-20 m cùng các chỉ số NDVI, NDWI, NDBI làm biến đầu vào cho mô hình RF. Tập mẫu huấn luyện được xây dựng bằng cách số hóa đa giác đại diện cho bốn lớp DT, DXD, TH và TV; các điểm mẫu được tách thành hai tập: huấn luyện và kiểm tra độc lập. Tham số số cây (ntree) được lựa chọn trong khoảng đủ lớn (ví dụ từ 200-500) để ổn định sai số, trong khi số biến được chọn tại mỗi nút (mtry) được chọn xấp xỉ căn bậc hai số biến đầu vào, theo gợi ý của một số nghiên cứu tối ưu RF cho bài toán phân loại lớp phủ [13]. Ảnh phân loại đầu ra thể hiện phân bố không gian của bốn lớp DT, DXD, TH và TV cho từng năm. Để đánh giá độ chính xác, từ mỗi lớp trích xuất ngẫu nhiên các điểm kiểm tra độc lập; tổng cộng có 458 điểm kiểm tra cho năm 2020 và 491 điểm kiểm tra cho năm 2025. Ma trận sai số được thành lập trên cơ sở so sánh nhãn lớp trên bản đồ phân loại với nhãn lớp thực địa, từ đó tính toán độ chính xác tổng thể, độ chính xác theo từng lớp và hệ số Kappa, qua đó phản ánh mức độ phù hợp giữa kết quả phân loại và thực tế.

2.4. Thành lập bản đồ biến động và xây dựng WebGIS

Kết quả phân loại cho hai năm 2020 và 2025 được chuyển đổi sang dạng vector và xuất sang định dạng của phần mềm ArcGIS. Trong ArcGIS, các lớp phủ được chồng xếp bằng công cụ Intersect để xác định các tổ hợp chuyển đổi như DT→DXD, DT→TV, TV→DXD,... Đồng thời, diện tích biến động của từng lớp và từng dạng chuyển đổi được tính toán và tổng hợp theo bảng biểu. Các lớp dữ liệu lớp phủ và biến động sau đó được đưa vào cơ sở dữ liệu PostgreSQL/PostGIS và hiển thị qua máy chủ GeoServer. WebGIS được xây dựng với các chức năng chính như: hiển thị bản đồ lớp phủ từng năm, bản đồ biến động; tra cứu thông tin thuộc tính; truy vấn theo loại hình biến động, khu vực hành chính hoặc ngưỡng diện tích; xuất kết quả tra cứu dưới dạng bảng để phục vụ phân tích tiếp theo.

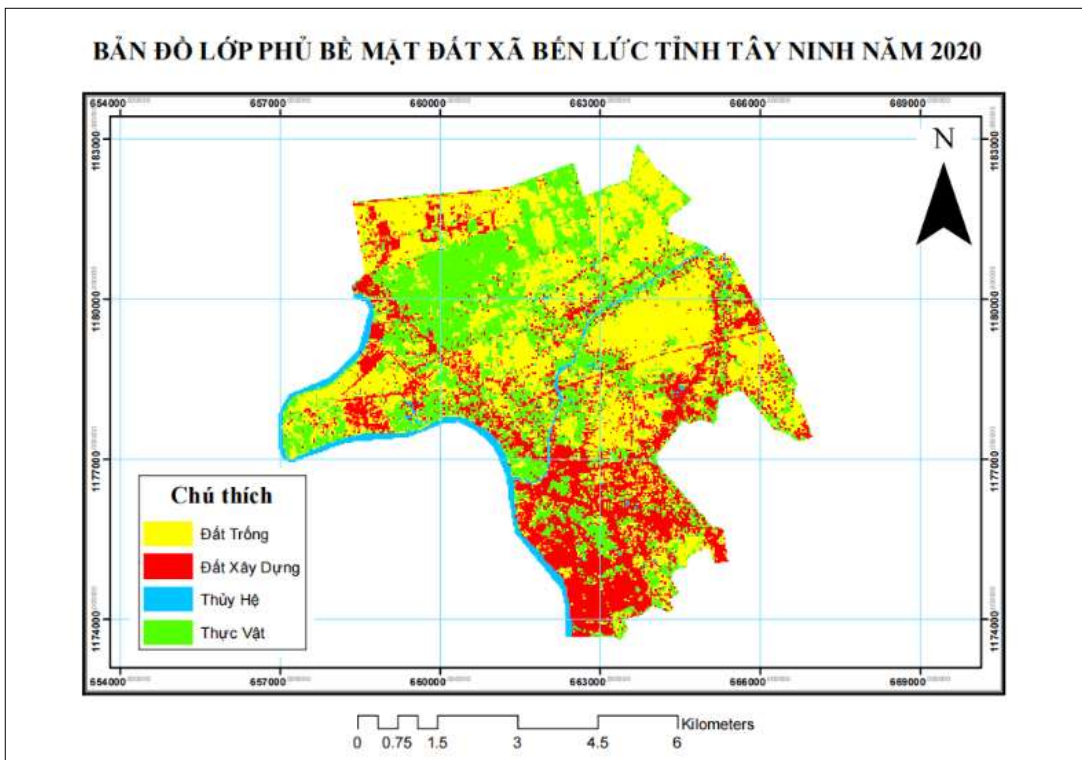
3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Độ chính xác phân loại

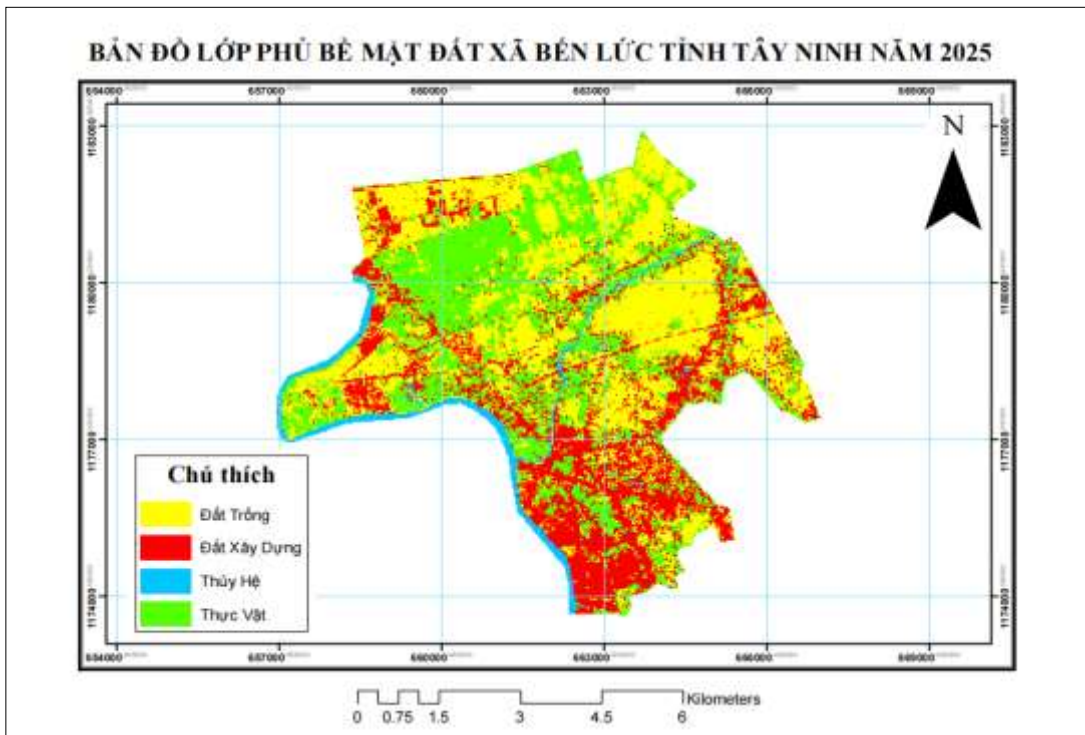
Kết quả đánh giá độ chính xác cho thấy ảnh phân loại năm 2020 đạt độ chính xác tổng thể 91,05% với hệ số Kappa 0,88. Năm 2025 có độ chính xác tổng thể 87,58% và hệ số Kappa 0,83. Đây là các giá trị phản ánh mức độ phù hợp cao giữa bản đồ phân loại và thông tin kiểm tra thực địa, đồng thời cho thấy mô hình RF hoạt động ổn định trên 2 thời điểm khác nhau. Độ

chính xác theo từng lớp đều nằm trên mức chấp nhận được, trong đó các lớp thực vật và đất xây dựng thường đạt độ chính xác cao hơn nhờ có đặc trưng phổ rõ rệt. Khi so sánh với các nghiên cứu trước đây, độ chính xác tổng thể trên 87-91% của mô hình RF trong nghiên cứu này là hoàn toàn phù hợp. Rodríguez-Galiano và cộng sự (2012) [2] báo cáo OA khoảng 85-92% khi sử dụng RF để phân loại lớp phủ từ ảnh Landsat ở các vùng khí hậu khác nhau, trong khi Phan và cộng sự (2020) đạt OA trên 88% khi phân loại lớp phủ thảo nguyên trên nền tảng GEE với thuật toán RF [8,12]. Các tổng quan về phân loại lớp phủ từ Sentinel-2 và GEE cũng cho thấy RF thường cho kết quả tốt, ít nhạy với nhiễu và phù hợp trong bối cảnh số lượng biến đầu vào lớn [2,3]. Về mặt cấu trúc lỗi, sai số chủ yếu tập trung ở ranh giới tiếp xúc giữa các lớp có đặc trưng phổ tương đối tương đồng như đất trồng - đất xây dựng hoặc thực vật - thủy hệ tại các khu vực thực vật ngập nước; điều này cũng được ghi nhận trong nhiều nghiên cứu Sentinel-2 ở vùng nhiệt đới ẩm. Độ chính xác cao của lớp thực vật và đất xây dựng cho thấy việc bổ sung các chỉ số NDVI, NDWI, NDBI và lựa chọn thời điểm ảnh mùa khô đã giúp tăng tương phản phổ giữa các lớp, giảm chồng lấn phổ và góp phần nâng cao độ tin cậy của kết quả phân loại.

3.2. Cấu trúc lớp phủ bề mặt năm 2020 và 2025

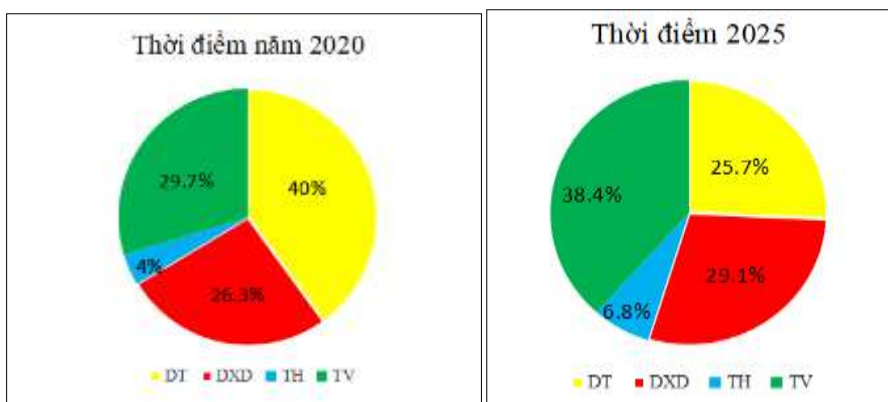


Hình 3. Bản đồ lớp phủ bề mặt đất xã Bến Lức, tỉnh Tây Ninh năm 2020



Hình 4. Bản đồ lớp phủ bề mặt đất xã Bến Lức, tỉnh Tây Ninh năm 2025.

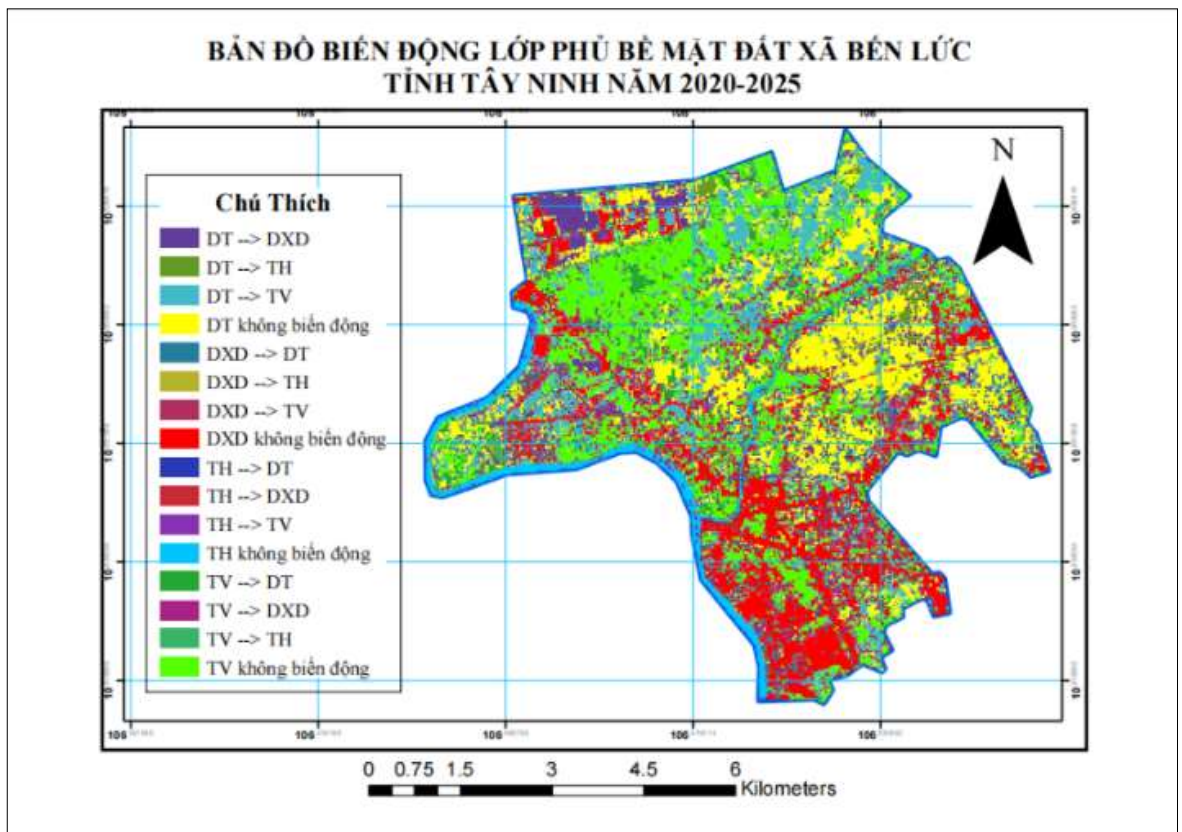
Thống kê diện tích lớp phủ năm 2020 cho thấy: đất trống khoảng 1.842,94 ha (chiếm 40,0%), đất xây dựng 1.214,05 ha (26,4%), thủy hệ 182,97 ha (4,0%) và thực vật 1.365,75 ha (29,7%). Cơ cấu này phản ánh đặc trưng của một địa bàn nông nghiệp xen kẽ khu dân cư, trong đó đất trống và thực vật chiếm ưu thế, còn diện tích đô thị và mặt nước ở mức trung bình. Đến năm 2025, diện tích các lớp thay đổi đáng kể: đất trống còn 1.185,17 ha (25,7%), đất xây dựng tăng lên 1.338,38 ha (29,1%), thủy hệ 313,92 ha (6,8%) và thực vật 1.768,25 ha (38,4%). Như vậy, đất trống giảm mạnh trong khi thực vật, đất xây dựng và thủy hệ đều tăng diện tích. Sự gia tăng của lớp thực vật cho thấy quá trình phủ xanh đất trống hoặc chuyển đổi cơ cấu canh tác, trong khi sự mở rộng của đất xây dựng phản ánh quá trình đô thị hóa và phát triển hạ tầng. Diện tích thủy hệ tăng có thể liên quan đến việc mở rộng ao hồ, kênh mương phục vụ sản xuất nông nghiệp và nuôi trồng thủy sản. Cấu trúc không gian của các lớp phủ bề mặt năm 2020 và 2025 lần lượt được minh họa trên Hình 3 và Hình 4, trong khi Hình 5 mô tả sự thay đổi diện tích tương đối giữa các lớp phủ ở hai thời điểm.



Hình 5. Biểu đồ diện tích các lớp phủ bề mặt năm 2020 và 2025.

3.3. Biến động lớp phủ bề mặt giai đoạn 2020-2025

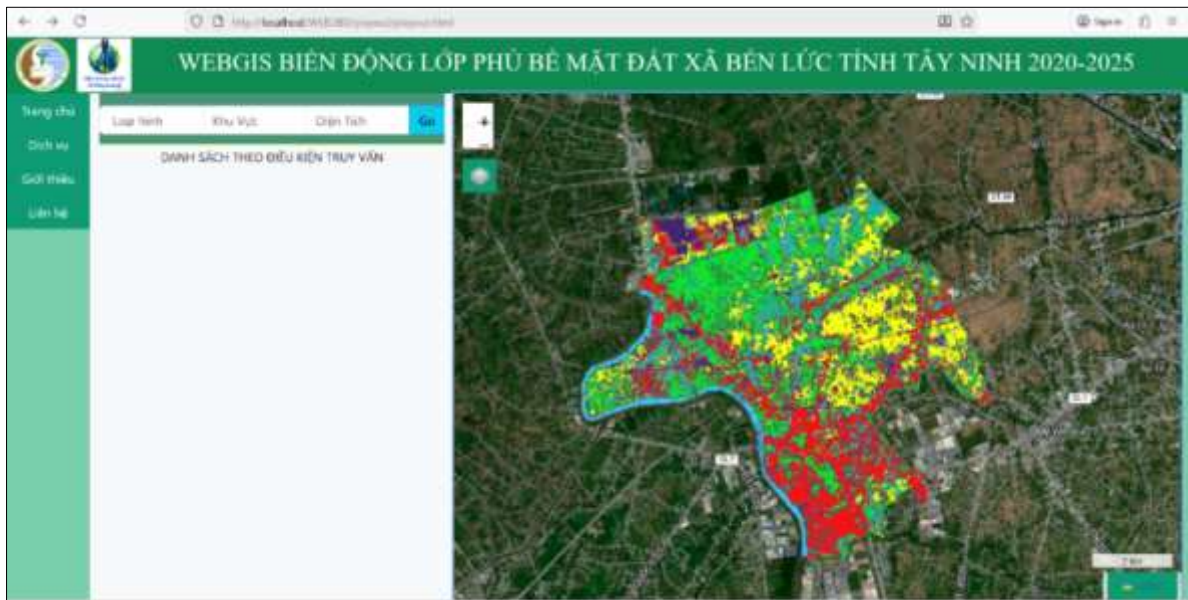
So sánh diện tích các lớp giữa hai thời điểm cho thấy: đất trồng giảm khoảng 657,77 ha, tương ứng với phần lớn diện tích được chuyển sang lớp thực vật và đất xây dựng; thực vật tăng 402,50 ha, đất xây dựng tăng 124,33 ha và thủy hệ tăng 130,95 ha. Như vậy, biến động chính trong giai đoạn 2020-2025 là quá trình lấp đầy đất trồng, tăng cường che phủ cây xanh và mở rộng không gian xây dựng cùng hệ thống mặt nước. Về không gian, các khu vực gần trục giao thông chính và trung tâm dân cư ghi nhận sự tăng lên rõ rệt của lớp đất xây dựng, trong khi vùng ven kênh rạch và khu vực có điều kiện thủy lợi thuận lợi xuất hiện thêm các mảng thủy hệ mới. Các dải thực vật mới tập trung ở rìa khu dân cư và một số vùng đất trước đây ít được sử dụng, cho thấy xu hướng cải tạo và sử dụng đất hiệu quả hơn. Những thông tin này là cơ sở quan trọng để cơ quan quản lý đánh giá mức độ phù hợp giữa biến động lớp phủ thực tế với các định hướng quy hoạch sử dụng đất đã được phê duyệt. Bản đồ biến động lớp phủ bề mặt đất giai đoạn 2020-2025 được trình bày trên Hình 6.



Hình 6. Bản đồ biến động lớp phủ bề mặt đất xã Bến Lức, tỉnh Tây Ninh giai đoạn 2020-2025.

3.4. WebGIS phục vụ chia sẻ và khai thác kết quả

WebGIS biến động lớp phủ bề mặt đất xã Bến Lức được xây dựng trên nền tảng PostgreSQL/PostGIS và GeoServer, cho phép hiển thị đồng thời bản đồ lớp phủ từng năm, bản đồ biến động và các lớp nền khác nhau. Người dùng có thể phóng to, thu nhỏ, bật/tắt từng lớp bản đồ, xem thông tin thuộc tính cho từng đối tượng, cũng như truy vấn theo loại hình biến động hoặc ngưỡng diện tích quan tâm. So với bản đồ giấy truyền thống, WebGIS giúp kết quả nghiên cứu dễ dàng tiếp cận hơn đối với cán bộ quản lý và cộng đồng, tăng tính minh bạch trong chia sẻ thông tin không gian. Đồng thời, hệ thống cũng tạo nền tảng để tích hợp thêm các lớp dữ liệu chuyên đề khác trong tương lai như hiện trạng sử dụng đất, quy hoạch, hiện trạng hạ tầng, từ đó hỗ trợ các bài toán phân tích và ra quyết định sâu hơn. Giao diện WebGIS và các chức năng truy vấn chính được minh họa trên Hình 7.



Hình 7. Giao diện WebGIS bản đồ lớp phủ và biến động lớp phủ bề mặt đất xã Bến Lức, tỉnh Tây Ninh.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày quy trình ứng dụng GGE để thành lập bản đồ lớp phủ bề mặt và bản đồ biến động lớp phủ bề mặt đất xã Bến Lức, tỉnh Tây Ninh giai đoạn 2020-2025. Kết quả phân loại cho hai thời điểm 2020 và 2025 đạt độ chính xác tổng thể lần lượt là 91,05% và 87,58%, với hệ số Kappa trên 0,8, cho thấy mô hình RF trên GEE đáp ứng tốt yêu cầu về độ tin cậy. Phân tích diện tích và biến động lớp phủ cho thấy xu thế giảm mạnh của đất trồng, cùng với sự gia tăng diện tích thực vật, đất xây dựng và thủy hệ. Điều này phản ánh quá trình sử dụng đất hiệu quả hơn, đồng thời thể hiện áp lực đô thị hóa và phát triển hạ tầng lên không gian nông thôn. Bản đồ biến động và hệ thống WebGIS được xây dựng đã cung cấp công cụ trực quan, linh hoạt để theo dõi và khai thác thông tin biến động lớp phủ bề mặt phục vụ quản lý đất đai và quy hoạch lãnh thổ. Trong tương lai, nghiên cứu có thể mở rộng theo hướng tăng số mốc thời gian, tích hợp thêm các chỉ số quang phổ và dữ liệu phụ trợ như mô hình số độ cao, dữ liệu dân cư hoặc quy hoạch, cũng như thử nghiệm các mô hình học sâu nhằm nâng cao hơn nữa độ chính xác phân loại và khả năng mô tả chi tiết biến động không gian - thời gian.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh, Khoa Trắc địa, Bản đồ và Công trình đã tạo điều kiện về cơ sở vật chất và dữ liệu để thực hiện nghiên cứu này.

Cam kết của các tác giả

Tất cả các tác giả đồng thuận với nội dung bài báo và cam kết đây là công trình nghiên cứu do nhóm tác giả thực hiện, không trùng lặp với bất kỳ công bố nào trước đây, không vi phạm bản quyền và không có xung đột lợi ích trong công bố khoa học.

Tài liệu tham khảo

- [1] Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., “Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone”, *Remote Sensing of Environment*, 2017.
- [2] Alshehri, B., Zhang, Z., Liu, X., 2025, “A Review of Google Earth Engine for Land Use and Land Cover Change Analysis: Trends, Applications, and Challenges”, *ISPRS International Journal of Geo-*



- Information*, 14(11), 416.
- [3] Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V.R., Murayama, Y., Ranagalage, M., 2020, “Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review”, *Remote Sensing*, 12(14), 2291.
- [4] Phan, T.N., Kuch, B., et al., 2020, “Land Cover Classification using Google Earth Engine and Random Forest Classifier - The Role of Image Composition”, *Remote Sensing*, 12(15), 2411.
- [5] Lê, H.T.D., 2021, “Land-cover classification using Random Forest and incorporating NDVI time-series and topography: a case study of Thanh Hoa province, Vietnam”, *Science and Technology Development Journal - Earth and Environmental Science*, 5(1), 34–44, 2021.
- [6] Nguyễn Thị Thanh Hương, Đoàn Minh Trung, 2018, “Áp dụng thuật toán phân loại Random Forest để xây dựng bản đồ sử dụng đất/thảm phủ tỉnh Đắk Lắk dựa vào ảnh vệ tinh Landsat 8 OLI”, *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*, số 13, tr. 122-129.
- [7] Lê Văn Trung, 2015, Giáo trình Viễn thám và Hệ thống tin địa lý, *Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật*, Hà Nội.
- [8] Nguyễn Ngọc Thạch, 2005, Cơ sở Viễn thám, *Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật*, Hà Nội.
- [9] Nguyễn Kim Lợi, Lê Tiến Dũng, “Ứng dụng GIS phục vụ quy hoạch sử dụng đất tại huyện Xuân Lộc, tỉnh Đồng Nai”, *Kỹ yếu Hội thảo Ứng dụng GIS toàn quốc*, 2009.
- [10] Đặng Thanh Tùng và cộng sự, 2012, “Phương pháp phân loại lớp phủ bề mặt sử dụng dữ liệu LiDAR kết hợp ảnh viễn thám”, *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, số 12, tr. 29 - 36.
- [11] Breiman, L., 2001, “Random Forests”, *Machine Learning*, 45(1), page 5-32.
- [12] Rodríguez-Galiano, V.F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., Rigol-Sanchez, J.P., 2012, “An Assessment of the Effectiveness of a Random Forest Classifier for Land-Cover Classification”, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 93-104.
- [13] Sun, J., Ongsomwang, S., 2023, “Optimal parameters of random forest for land cover classification with suitable data type and dataset on Google Earth Engine”, *Frontiers in Earth Science*, 11, 1188093.

