



ỨNG DỤNG VIỄN THÁM VÀ GOOGLE EARTH ENGINE THÀNH LẬP BẢN ĐỒ HIỆN TRẠNG SỬ DỤNG ĐẤT NÔNG NGHIỆP NĂM 2023 Ở HUYỆN HÒA VANG, THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG

Lê Ngọc Hành^{1,2*}, Nguyễn Hoàng Sơn^{1,3}, Lê Phúc Chi Lăng¹

¹ Trường Đại học Sư phạm, Đại học Huế, 34 Lê Lợi, Huế, Việt Nam

² Trường Đại học Sư phạm – Đại học Đà Nẵng, 459 Tôn Đức Thắng, Hoà Khánh Nam, Liên Chiểu,
Đà Nẵng, Việt Nam

³ Viện Đào tạo mở và Công nghệ Thông tin, Đại học Huế, 5 Hà Nội, Huế, Việt Nam

* Tác giả liên hệ: Lê Ngọc Hành <lnhanh.dhsp22@hueuni.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 3-3-2024; Ngày chấp nhận đăng: 16-4-2024)

Tóm tắt. Hòa Vang là huyện nông nghiệp của thành phố Đà Nẵng. Do đó, việc quản lý, sử dụng đất nông nghiệp là nhiệm vụ quan trọng của huyện. Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm sử dụng ảnh Sentinel 2 để thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp năm 2023 ở huyện Hòa Vang trên Google Earth Engine. Nghiên cứu sử dụng phương pháp Random Forest để giải đoán ảnh, đánh giá độ tin cậy bằng chỉ số Kappa và độ chính xác toàn cục. Kết quả tính toán được chỉ số Kappa là 0,85 và độ chính xác toàn cục là 0,87. Điều này cho thấy bản đồ hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp được thành lập bằng ảnh Sentinel 2 có độ tin cậy cao. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy, đất nông nghiệp có diện tích là 61.204 ha, chiếm 83,5% diện tích tự nhiên của huyện. Trong đó, đất lâm nghiệp có diện tích lớn nhất với 52.438 ha, chiếm tỉ lệ 71,5%. Đất trồng lúa (3.484,1 ha) và đất trồng cây lâu năm (3.348 ha) có diện tích tương đương nhau, chiếm tỉ lệ khoảng 9,5%. Đất trồng cây hàng năm khác có diện tích nhỏ nhất trong nhóm đất nông nghiệp với 1.933,9 ha, chiếm tỉ lệ 2,6%. Kết quả nghiên cứu là tài liệu tham khảo cho việc quản lý, sử dụng đất nông nghiệp ở huyện Hòa Vang, thành phố Đà Nẵng.

Từ khóa: bản đồ, Hòa Vang, nông nghiệp, sử dụng đất, viễn thám

Application of remote sensing and Google Earth Engine to create an agricultural land use status quo mapping in 2023 in Hoa Vang district, Da Nang city

Le Ngoc Hanh^{1,2*}, Nguyen Hoang Son^{1,3}, Le Phuc Chi Lang¹

¹University of Education, Hue University, 34 Le Loi St., Hue, Vietnam

²The University of Danang - University of Science and Education, 459 Ton Duc Thang St., Hoa Khanh Nam, Lien Chieu, Da Nang, Vietnam

³Institute of Open Education and Information Technology, Hue University, 5 Hanoi, Hue, Thua Thien Hue, Vietnam

* Correspondence to Le Ngoc Hanh <lnhanh.dhsp22@hueuni.edu.vn>

(Submitted: March 3, 2024; Accepted: April 26, 2024)

Abstract. Hoa Vang is an agricultural district of Da Nang City. Therefore, the management and utilization of agricultural land are among its essential tasks. This study aims to utilize Sentinel 2 imagery to create a current status of agricultural land use map in Hoa Vang District in 2023 by using Google Earth Engine. The research employs the Random Forest method for image prediction, assesses reliability using the Kappa index and the overall accuracy. The calculated Kappa index achieves a value of 0.85, and the overall accuracy is 0.87. These results demonstrate that the agricultural land use map established through Sentinel 2 imagery is highly reliable. The study reveals that agricultural land covers an area of 61,204 hectares, accounting for 83.5% of the district's natural area. Forestry land has the most significant area, with 52,438 hectares, representing 71.5% of the district's total area. Rice cultivation land (3,484.1 hectares) and perennial crop cultivation land (3,348 hectares) have equivalent areas, accounting for approximately 9.5%. Other annual crop cultivation land has the smallest area within the agricultural land category, with 1,933.9 hectares, representing 2.6% of the district's area. The research findings serve as reference material for managing and utilizing agricultural land in Hoa Vang District, Da Nang City.

Keywords: map, Hoa Vang, agriculture, landuse, remote sensing

1 Đặt vấn đề

Sự gia tăng dân số toàn cầu cùng với chất lượng cuộc sống được nâng cao, dẫn đến việc mở rộng, tăng cường sử dụng đất nông nghiệp để đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng về lương thực, nhiên liệu sinh học và các mặt hàng khác. Tuy nhiên, do việc khai thác và sử dụng quá mức, nên đất nông nghiệp này càng bị thoái hóa. Các nghiên cứu chỉ ra rằng khoảng 16% tổng diện tích đất canh tác hiện nay đã bị suy thoái do hoạt động của con người trong nửa thế kỷ qua [1]. Vì vậy, việc giám sát và lập bản đồ sử dụng đất/lớp phủ đất, đặc biệt đất nông nghiệp là rất quan trọng để quản lý và sử dụng đất hiệu quả.

Viễn thám từ lâu đã được coi là một công nghệ lý tưởng để giám sát và lập bản đồ sử dụng đất/lớp phủ đất, do nó có thể bao quát một khu vực rộng lớn và lặp đi lặp lại về lớp phủ thực vật

[2]. Thông số kỹ thuật của các nền tảng viễn thám như phương tiện mặt đất, máy bay, vệ tinh và thiết bị cầm tay được sử dụng để gắn cảm biến. Dữ liệu thu được từ các cảm biến này phụ thuộc vào bốn độ phân giải: không gian, thời gian, bức xạ và quang phổ [3]. Trong số các loại vệ tinh, chúng ta phải kể đến các thế hệ ảnh vệ tinh Landsat đã giúp cho việc thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất đạt hiệu quả cao. Trong những năm gần đây, với sự phát triển Chương trình Copernicus của Châu Âu, trực thuộc Cơ quan Vũ trụ Châu Âu (ESA) đã góp phần giám sát hiệu quả bề mặt Trái đất bằng cách sản xuất các sản phẩm đa phổ Sentinel 2. Ảnh Sentinel 2 được tạo thành từ các vệ tinh sinh đôi là Sentinel 2A và Sentinel 2B. Các vệ tinh Sentinel 2 mang theo các thiết bị chụp ảnh đa phổ (Multi Spectral Instrument) trên tàu với khả năng ghi được 13 dải băng rộng [4]. Mục tiêu của sứ mệnh Sentinel 2 là cung cấp dữ liệu vệ tinh có độ phân giải cao để giám sát việc sử dụng/che phủ đất, biến đổi khí hậu và giám sát thiên tai, v.v. [4]. Kể từ khi ra mắt thiết bị đa phổ Sentinel 2 vào năm 2015, đã có rất nhiều nghiên cứu về phân loại lớp phủ/sử dụng đất sử dụng hình ảnh Sentinel 2 [5]. Cộng đồng khoa học, các cơ quan chính phủ và khu vực tư nhân đã sử dụng dữ liệu Sentinel 2 cho các ứng dụng khác nhau, chẳng hạn như nông nghiệp, đô thị hóa và theo dõi diễn biến rừng [6]. Ví dụ, Bruzzone và cộng sự đã sử dụng dữ liệu Sentinel 2 để giám sát độ che phủ/sử dụng đất [7]. Các ví dụ khác về ứng dụng quan trọng của Sentinel 2 bao gồm việc phát triển bản đồ có độ phân giải không gian cao (20 m) cho Châu Phi vào năm 2016 [8].

Trước đây, việc giải đoán ảnh vệ tinh chủ yếu được thực hiện trên các phần mềm Geographic Information Systems (GIS) và viễn thám được cài đặt sẵn trên nền tảng desktop. Nó có ưu điểm là dễ sử dụng và quản lý. Tuy nhiên, bên cạnh đó cũng có nhiều nhược điểm như cần không gian lưu trữ lớn, khả năng xử lý chậm. Nền tảng điện toán đám mây là cách hiệu quả để lưu trữ, truy cập và phân tích bộ dữ liệu trên các máy chủ rất mạnh. Các hệ thống này cung cấp cơ sở hạ tầng, nền tảng, dịch vụ lưu trữ và gói phần mềm theo nhiều cách khác nhau [9]. Google đã phát triển một nền tảng điện toán đám mây, được gọi là Google Earth Engine (GEE), để giải quyết hiệu quả những thách thức trong việc phân tích dữ liệu lớn. Đặc biệt, nền tảng này tạo điều kiện xử lý dữ liệu địa lý lớn trên diện rộng và giám sát môi trường trong thời gian dài. Mặc dù nền tảng này được ra mắt vào năm 2010 và đã chứng tỏ được tiềm năng cao cho các ứng dụng khác nhau nhưng nó vẫn chưa được nghiên cứu, sử dụng hiệu quả liên quan đến các ứng dụng về viễn thám cho đến những năm gần đây [10]. GEE sử dụng cơ sở hạ tầng tính toán của Google và các bộ dữ liệu viễn thám truy cập mở có sẵn. Người dùng có thể truy cập GEE thông qua giao diện lập trình ứng dụng (API) dựa trên internet và môi trường phát triển tương tác dựa trên web [11].

Hòa Vang là huyện nông nghiệp của thành phố Đà Nẵng. Theo số liệu thống kê năm 2023, diện tích đất nông nghiệp của huyện là 62.769,9 ha, chiếm 85,6% diện tích tự nhiên của Huyện và 75% diện tích tự nhiên phần đất liền của toàn Thành phố. Vì vậy, việc quản lý sử dụng đất, đặc biệt là đất nông nghiệp đóng một vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế – xã hội của huyện. Xuất phát từ những ưu điểm của ảnh Sentinel 2 và nền tảng GEE trong nghiên cứu tài nguyên và môi trường. Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng ảnh Sentinel 2 trên nền tảng GEE để thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp của huyện Hòa Vang năm 2023. Qua đó, chúng

ta có thể khảo sát nhanh hiện trạng sử dụng đất, đặc biệt là đất nông nghiệp ở huyện để có những giải pháp sử dụng và quản lý hiệu quả.

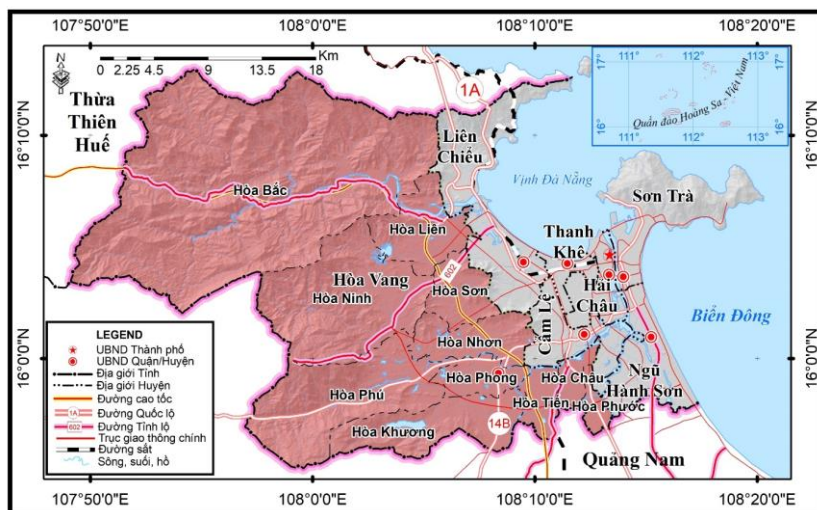
2 Dữ liệu và phương pháp

2.1 Mô tả vùng nghiên cứu

Huyện Hòa Vang có địa hình đa dạng, phức tạp, trải rộng trên cả ba vùng: miền núi, trung du và đồng bằng, bị chia cắt theo hướng dốc chính từ Tây Bắc xuống Đông Nam (Hình 1). Hòa Vang nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa điển hình, nhiệt độ cao và ít biến động. Mỗi năm ở huyện có hai mùa rõ rệt: mùa mưa kéo dài từ tháng 8 đến tháng 12 và mùa khô từ tháng 1 đến tháng 7, thỉnh thoảng có những đợt rét mùa đông nhưng không đậm và không kéo dài. Hệ thống sông ngòi của Hòa Vang bao gồm các sông chính là sông Cu Đê, sông Yên, sông Túy Loan, sông Vĩnh Điện; một số sông nhỏ là sông Tây Tịnh, Quá Giáng, v.v., và hệ thống ao hồ tự nhiên. Tổng diện tích đất huyện Hòa Vang là 73.317 ha (năm 2023). Hai nhóm đất có ý nghĩa quan trọng đối với sản xuất nông nghiệp là nhóm đất phù sa ở khu vực đồng bằng thích hợp với thâm canh lúa, trồng rau, hoa quả và nhóm đất đỏ vàng ở vùng đồi núi thích hợp với cây công nghiệp dài ngày, cây đặc sản, dược liệu, chăn nuôi đại gia súc. Diện tích đất đã được sử dụng của huyện chiếm 98,77% cho các mục đích nông nghiệp, lâm nghiệp, nuôi trồng thủy sản và cho các mục đích phi nông nghiệp khác [12].

2.2 Dữ liệu và quy trình nghiên cứu

Để thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp ở huyện Hòa Vang bằng ảnh Sentinel 2 trên nền tảng GEE, chúng tôi đã sử dụng những dữ liệu chính được thể hiện trong Bảng 1.

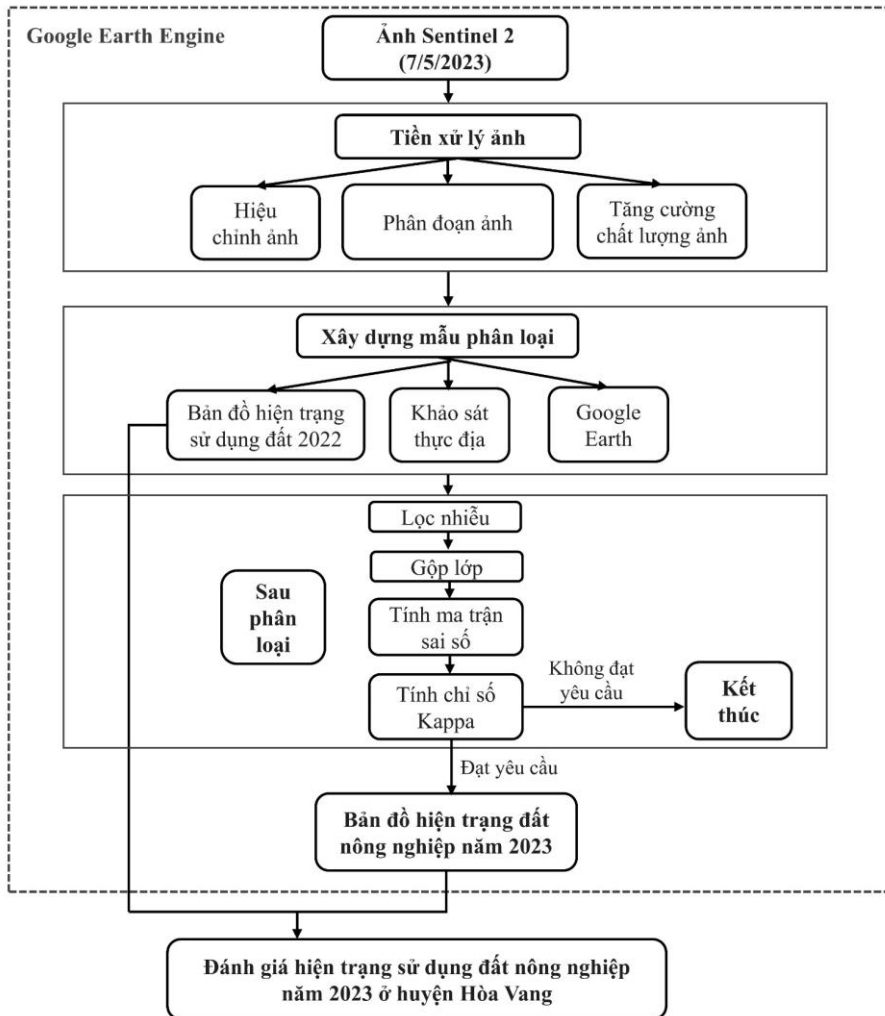


Hình 1. Bản đồ hành chính huyện Hòa Vang, thành phố Đà Nẵng

Bảng 1. Hệ thống nguồn dữ liệu chính dùng trong nghiên cứu

STT	Loại dữ liệu	Mô tả	Nguồn
1	Ảnh Sentinel 2	Ảnh Sentinel 2 chụp vào ngày 7/5/2023	code.earthengine.google.com
2	Bản đồ hiện trạng sử dụng đất	Dữ liệu bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2022 huyện Hòa Vang	Phòng Tài nguyên và Môi trường huyện Hòa Vang
3	Biểu thống kê đất đai	Số liệu thống kê đất đai năm 2023 của huyện Hòa Vang	Phòng Tài nguyên và Môi trường huyện Hòa Vang
4	Số liệu lấy mẫu giải đoán thực tế kết hợp với bản đồ	Điểm lấy mẫu thực tế về các loại hình sử dụng đất ở huyện Hòa Vang	Nhóm nghiên cứu

Quy trình nghiên cứu hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp huyện Hoà Vang được trình bày tại Hình 2.



Hình 2. Quy trình nghiên cứu hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp ở huyện Hòa Vang năm 2023

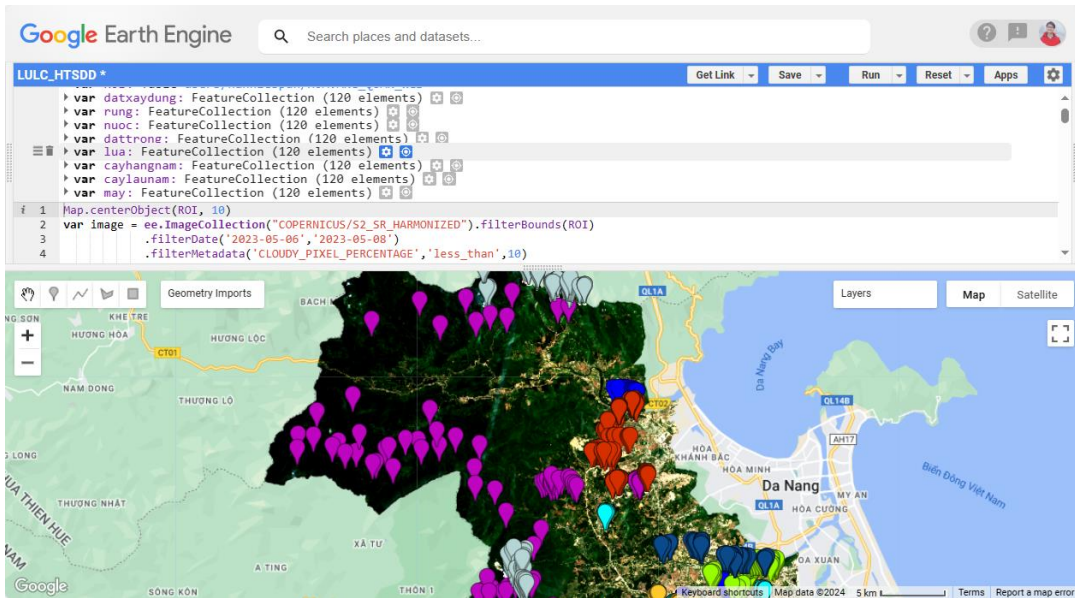
Nghiên cứu sử dụng ảnh Sentinel 2 được thu thập miễn phí trên nền tảng GEE. Các vệ tinh quan sát Trái đất Sentinel 2 mang hệ thống hình ảnh đa phổ và thu được hình ảnh quang học [13]. Dữ liệu Sentinel 2 có phạm vi bao phủ toàn cầu về bề mặt đất liền của Trái đất từ 56°N đến 84°B, vùng nước ven biển và toàn bộ biển Địa Trung Hải [13]. Sentinel 2 cung cấp dữ liệu được cải thiện so với các ảnh vệ tinh có độ phân giải không gian từ thấp đến trung bình khác (ví dụ như ảnh Landsat), đặc biệt là ở độ phân giải không gian và thời gian [14]. Bên cạnh đó, 13 dải quang phổ của Sentinel 2 có độ phân giải không gian từ 10 đến 60 m [13]. Vùng nhìn thấy và vùng cận hồng ngoại (NIR) dải tần có độ phân giải không gian 10 m, dải phổ nằm giữa vùng ánh sáng đỏ nhìn thấy với vùng cận hồng ngoại và phần phổ hồng ngoại sóng ngắn có độ phân giải không gian là 20 m, các dải khác có độ phân giải không gian là 60 m, nên dữ liệu Sentinel 2 có tiềm năng để nghiên cứu chi tiết bề mặt Trái đất (ví dụ: mở rộng đô thị và nông nghiệp). Một ưu điểm nữa của ảnh Sentinel 2 là độ phân giải thời gian cao trong năm ngày [15]. Vì vậy, những thay đổi về lớp phủ/sử dụng đất diễn ra trong một thời gian ngắn (ví dụ như hỏa hoạn, lũ lụt) có thể được giám sát một cách hiệu quả. Nghiên cứu sử dụng ảnh Sentinel 2 chụp vào ngày 7/5/2023 để thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp năm 2023. Đây là thời điểm ảnh có chất lượng tốt, với độ che phủ mây của ảnh là 1,32% (dưới 10%) [16].

Tiếp theo, chúng tôi tiến hành các bước tiền xử lý ảnh Sentinel 2 trên nền tảng GEE. Đầu tiên, chúng tôi thực hiện hiệu chỉnh ảnh với việc hiệu chỉnh khí quyển để loại bỏ ảnh hưởng của khí quyển đối với phản xạ bề mặt, tổ hợp màu, cắt ảnh theo ranh giới để giảm dung lượng dữ liệu và tập trung vào vùng nghiên cứu. Sau đó, chúng tôi tiến hành phân đoạn ảnh để hỗ trợ việc chọn mẫu ảnh. Bước cuối cùng trong giai đoạn tiền xử lý ảnh là tăng cường chất lượng ảnh như như làm mịn, tăng cường độ tương phản. Mục đích là giúp nhận biết các đối tượng trên ảnh một cách tốt hơn, để nâng cao độ chính xác của quá trình giải đoán ảnh.

Độ chính xác của của việc giải đoán thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất phụ thuộc rất nhiều vào việc chọn mẫu giải đoán. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng dữ liệu lấy mẫu viễn thám về các loại hình sử dụng đất ở thực tế kết hợp với thu thập các dữ liệu này trên bản đồ như Google Maps và bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2022. Theo đó, đối với mỗi loại hình sử dụng đất, nghiên cứu tiến hành thu thập 120 mẫu để phục vụ giải đoán và đánh giá độ chính xác của bản đồ hiện trạng sử dụng đất được thành lập từ ảnh vệ tinh Sentinel 2 (chi tiết tại Hình 3), dựa vào tổ hợp màu thật của ảnh Sentinel 2 (chi tiết tại Bảng 2). Nghiên cứu sử dụng 80% số mẫu phục vụ cho việc giải đoán và 20% số mẫu phục vụ cho việc kiểm tra độ chính xác của bản đồ (chi tiết tại Hình 4). Việc lấy các mẫu giải đoán và kiểm tra được thực hiện một cách ngẫu nhiên theo mô hình Random Forest. Mô hình này được chúng tôi trình bày trong nội dung phương pháp giải đoán ảnh viễn thám.

Bảng 2. Định nghĩa và phân loại các lớp phủ trên ảnh Sentinel bằng tổ hợp màu thật

Loại lớp phủ	Ảnh vệ tinh bằng tổ hợp màu thật	Ảnh thực địa	Đặc điểm
Đất trồng lúa			Cấu trúc mịn, có hình dáng ô thửa, phân bố chủ yếu ở vùng đồng bằng.
Đất trồng cây hàng năm khác			Cấu trúc tương đối mịn, thường phân bố ven sông và bên cạnh đất trồng lúa.
Đất trồng cây lâu năm			Phân bố thành từng cụm, có cấu trúc tương đối mịn, phân bố trên các sườn đồi thấp.
Đất lâm nghiệp			Cấu trúc mịn, phân bố ở những khu vực miền núi, có độ nhàu rất rõ do cấu trúc nhiều tầng.
Đất ở và đất chuyên dùng			Cấu trúc thô, thường xen lẫn với cây hàng năm.
Đất sông suối, mặt nước			Cấu trúc mịn, thường có dạng tuyến.
Đất trống			Cấu trúc lốm đốm, thường xen lẫn những cây bụi (phần màu trắng đục).
Mây			Thường phân bố thành dạng cụm, ở những khu vực núi cao (phần màu trắng).



Hình 3. Ảnh Sentinel 2 chụp vào ngày 7/5/2023 và các điểm lấy mẫu giải đoán ảnh trên GEE

```

42 // split: 80% train , 20% test, randomly
43 var dataset = training.randomColumn()
44 // 80%
45 var train_Set = dataset.filter(ee.Filter.gt('random',0.8))
46 print(train_Set)
47 var test_set = dataset.filter(ee.Filter.lte('random',0.8))
48 print(test_set)
49 // Thuật toán phân loại: Random Forest
50 var model = ee.Classifier.smileRandomForest(130).train({
51   features:train_Set ,
52   classProperty: 'Class',
53   inputProperties:bands})
54 print(model.explain())
55 var classified = image.select(bands).classify(model)
56 Map.addLayer(classified, {min:0, max:8, palette:['blue','green']
57 // Tối ưu hóa các siêu tham số
58 var numberTreelist = ee.List.sequence(10, 300, 10)
59 var accuracies = numberTreelist.map(function(numberTrees){
60   var classifier = ee.Classifier.smileRandomForest(numberTrees)
61   .train({
62     features: train_Set ,
63     classProperty:'Class',
64     inputProperties:bands})
65   return test_set
66     .classify(classifier)
67     .errorMatrix('Class','classification')
68     .accuracy()
69   })
70 print('Accuracy: ',accuracies)

```

Hình 4. Đoạn code xây dựng mẫu giải đoán và thiết lập mô hình phân loại Random Forest trên GEE

Nghiên cứu chọn mẫu giải đoán đặc trưng cho mỗi loại hình sử dụng đất ở huyện Hòa Vang. Những loại đất rừng, đất trồng lúa, đất mặt nước và mây có thể dễ dàng nhận biết trên ảnh Sentinel 2. Do đó, chúng tôi sử dụng cách lấy mẫu trực tiếp trên ảnh. Trong khi đó, những loại đất trồng cây hàng năm khác, đất trồng cây lâu năm, đất ở và đất chuyên dùng khó nhận biết hơn ở trên ảnh viễn thám Sentinel 2. Vì vậy, chúng tôi sử dụng kết hợp với số liệu khảo sát thực địa, bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2022 và Google Earth để lựa chọn mẫu chính xác những loại đất này.

2.3 Phương pháp

Phương pháp giải đoán ảnh viễn thám

Chúng tôi sử dụng nền tảng GEE để giải đoán, thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất. Đầu tiên, bài báo sử dụng hàm sau để thu thập ảnh Sentinel 2 chụp ngày 7/5/2023 ở huyện Hòa Vang, thành phố Đà Nẵng.

```
var image = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED").filterBounds(ROI)
  .filterDate('2023-05-06', '2023-05-08')
  .filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'less_than', 10)
  .median()
  .multiply(0.0001)
```

Tiếp tục, chúng tôi tiến hành hiệu chỉnh khí quyển, cắt cảnh theo ranh giới, tổ hợp màu, phân đoạn ảnh, tăng cường chất lượng ảnh, xây dựng mẫu phân loại dựa vào số liệu đo đạc GPS ở thực địa và nhận biết các đối tượng trên ảnh, phân loại ảnh, đánh giá kết quả phân loại và cuối cùng thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp tại thời điểm 7/5/2023.

Việc lựa chọn phương pháp phân loại sẽ ảnh hưởng nhiều đến kết quả giải đoán ảnh. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng mô hình phân loại Random Forest. Mô hình Random Forest là một phương pháp học máy dùng để phân loại và dự đoán dựa trên học tập tập hợp (ensemble learning). Random Forest tạo ra nhiều cây quyết định (decision tree) trên tập dữ liệu ban đầu. Mỗi cây quyết định được huấn luyện trên một tập con ngẫu nhiên của dữ liệu gốc. Khi dự đoán, mỗi cây quyết định sẽ đưa ra một dự đoán. Kết quả cuối cùng là đa số (mode) của các dự đoán của tất cả các cây. Random Forest giảm trang bị quá mức so với một cây quyết định đơn lẻ nhờ việc kết hợp nhiều cây khác nhau.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi lựa chọn chỉ số ntree dựa vào các lần thử nghiệm các bước nhảy và tham khảo một số nghiên cứu có liên quan khác. Nghiên cứu của Oshiro và cs. (2012) đã đề xuất sử dụng ntree trong khoảng từ 64 đến 128 cây cho hầu hết các trường hợp. Tuy nhiên, với dữ liệu lớn và phức tạp, có thể cần sử dụng nhiều cây hơn [17]. Trong nghiên cứu của Belgiu và Drăguț (2016) về phân loại ảnh viễn thám, tác giả khuyến nghị sử dụng ntree từ 500 đến 1000 cây để đạt được hiệu suất tốt nhất [18]. Trên cơ sở đó, chúng tôi chọn ntree từ 10 đến 300 với bước nhảy (interval) là 10. Kết quả cho thấy với ntree này sẽ có giá trị tối ưu là 0,86. Đây là kết quả rất cao, điều đó chứng tỏ bước nhảy được sử dụng là phù hợp với dữ liệu nghiên cứu.

Phương pháp đánh giá độ chính xác ảnh giải đoán

Đánh giá độ chính xác là một trong những công cụ quan trọng nhất để định lượng mức độ chính xác của sản phẩm giải đoán ảnh. Nó so sánh hình ảnh đã phân loại với một nguồn dữ liệu khác được coi là chính xác hoặc dữ liệu thực địa. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng ma

trận sai số và chỉ số Kappa để đánh giá độ chính xác của bản đồ hiện trạng sử dụng đất được thành lập từ ảnh Sentinel 2 trên nền tảng GEE.

Ma trận sai số (confusion matrix) là một công cụ toán học dùng để so sánh kết quả thực tế với kết quả được giải đoán. Dọc theo các hàng là các lớp thực tế (ground truth classes) được xác định thông qua công tác khảo sát thực địa hoặc từ những nguồn dữ liệu đáng tin cậy khác. Dọc theo các cột là các lớp được dự đoán bởi quá trình phân loại ảnh. Các phần tử trên đường chéo thể hiện số pixel được phân loại đúng cho mỗi lớp. Các phần tử ngoài đường chéo thể hiện số pixel bị phân loại nhầm giữa các lớp. Ma trận sai số bao gồm những chỉ số chính sau [19].

$$\text{Độ chính xác người dùng} = \frac{\text{Tổng số pixel được phân loại đúng của lớp thứ } i}{\text{Tổng số pixel được phân loại trên ảnh của lớp thứ } i \text{ (theo hàng)}}$$

$$\text{Độ chính xác nhà sản xuất} = \frac{\text{Tổng số pixel được phân loại đúng của lớp thứ } i}{\text{Tổng số pixel được tham chiếu của lớp thứ } i \text{ (theo cột)}}$$

$$\text{Độ chính xác tổng quát} = \frac{\text{Tổng số pixel được phân loại đúng}}{\text{Tổng số pixel được tham chiếu}}$$

Trong khi đó, chỉ số Kappa cho phép đánh giá độ chính xác của bản đồ hiện trạng sử dụng đất một cách khách quan, khoa học thông qua việc so sánh với dữ liệu kiểm chứng độc lập. Phương pháp này được thực hiện qua các bước như: (1) Chuẩn bị tập dữ liệu kiểm chứng gồm các điểm mẫu trên thực địa, có kết quả phân loại sử dụng đất chính xác; (2) So sánh kết quả phân loại sử dụng đất của từng điểm mẫu trong tập dữ liệu kiểm chứng với kết quả trên bản đồ; (3) Tính ma trận nhầm lẫn (confusion matrix) giữa kết quả thực địa và kết quả trên bản đồ; (4) Tính chỉ số Kappa dựa trên ma trận nhầm lẫn. Chỉ số Kappa càng gần 1 thì bản đồ càng chính xác. Đối với dữ liệu ảnh viễn thám có độ phân giải trung bình như ảnh Sentinel 2, nếu hệ số Kappa đạt trên 0,7 thì kết quả giải đoán có thể sử dụng được [20]. Tiêu chí đánh giá chỉ số Kappa được thể hiện ở Bảng 3. Chỉ số Kappa được tính theo công thức (1).

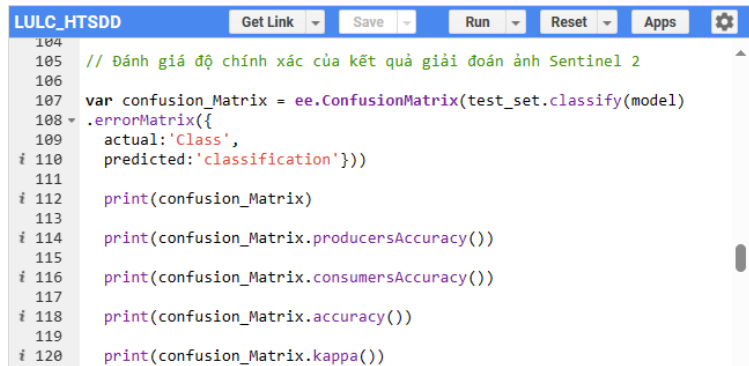
$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r m_i - \sum_{i=1}^n (G_i C_i)}{N^2 - \sum_{i=1}^n (G_i C_i)} \tag{1}$$

trong đó K: Chỉ số Kappa; N: tổng số pixel; i là lớp thứ i; n là tổng số lớp; m là số pixel phân loại đúng; G là số pixel theo vùng mẫu; C là số pixel trên ảnh phân loại.

Tương tự, chúng tôi cũng thiết lập hàm để xây dựng ma trận nhầm lẫn của các pixel, độ chính xác nhà sản xuất, độ chính xác người dùng, độ chính xác toàn cục và chỉ số Kappa của ảnh giải đoán trên GEE. Kết quả được thể hiện trong Hình 5.

Bảng 3. Tiêu chí đánh giá chỉ số Kappa [21]

STT	Chỉ số Kappa	Mức độ
1	<= 0,2	Yếu
2	0,21 – 0,4	Trung bình yếu
3	0,41 – 0,6	Trung bình
4	0,61 – 0,8	Cao
5	0,81 – 1	Rất cao



```

104
105 // Đánh giá độ chính xác của kết quả giải đoán ảnh Sentinel 2
106
107 var confusion_Matrix = ee.ConfusionMatrix(test_set.classify(model)
108   .errorMatrix({
109     actual: 'Class',
110     predicted: 'classification'}))
111
112 print(confusion_Matrix)
113
114 print(confusion_Matrix.producersAccuracy())
115
116 print(confusion_Matrix.consumersAccuracy())
117
118 print(confusion_Matrix.accuracy())
119
120 print(confusion_Matrix.kappa())

```

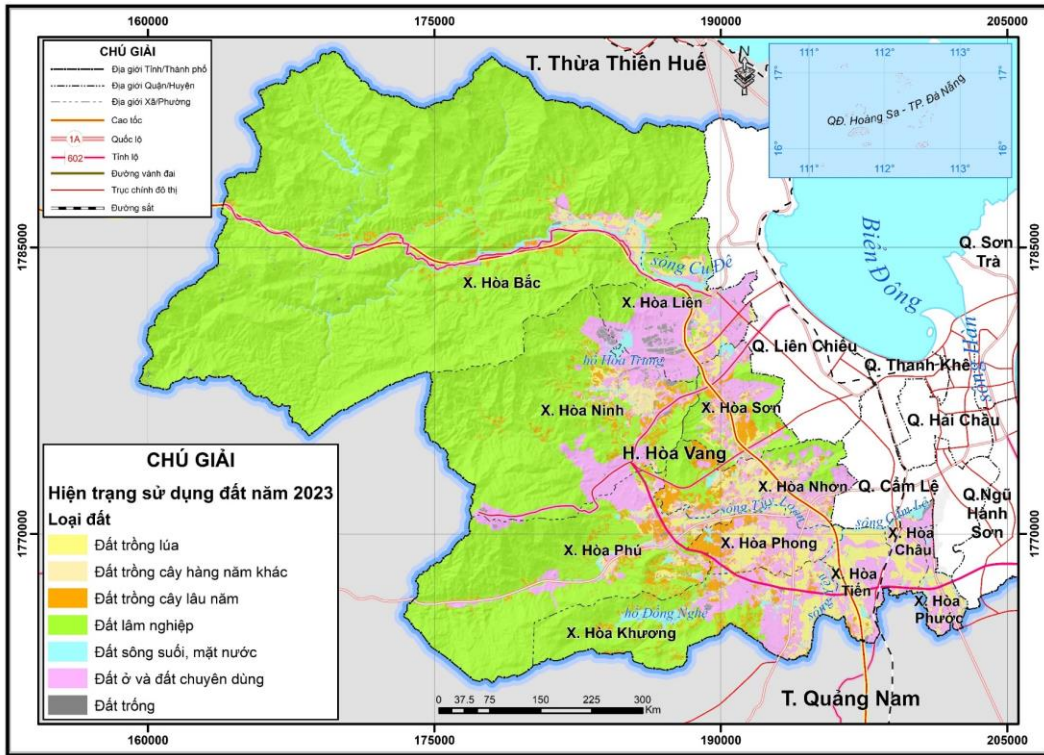
Hình 5. Đoạn code đánh giá ma trận nhầm lẫn, các độ chính xác và chỉ số Kappa trên GEE

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Kết quả giải đoán ảnh thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất

Giải đoán ảnh là một trong những cách phổ biến nhất thực hiện phân tích dữ liệu viễn thám. Từ kết quả giải đoán ảnh trên GEE, chúng tôi sử dụng một số kỹ thuật trong GIS như lọc nhiễu, gộp lớp, v.v., để thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất hoàn chỉnh. Theo đó, chúng tôi đã gộp những loại đất có khoanh vi nhỏ vào những loại đất bên cạnh bằng công cụ *Majority Filter* trong phần mềm ArcGIS để có được những khoanh đất đồng nhất hơn. Bên cạnh đó, qua khảo sát trên ảnh, chúng tôi nhận thấy lớp phân loại là mây chủ yếu tập trung ở những khu vực phía Bắc và phía Tây Nam của huyện Hòa Vang. Đây là khu vực đất lâm nghiệp. Vì vậy, trong nghiên cứu này, chúng tôi gộp lớp mây vào loại đất lâm nghiệp. Ngoài ra, chúng tôi đã điều chỉnh một số khu vực phân loại bị nhầm lẫn giữa các loại hình sử dụng đất do tương đồng nhau về phổ phản xạ. Kết quả, chúng tôi đã phân loại hiện trạng sử dụng đất ở huyện Hòa Vang thành bảy lớp, cụ thể như sau: (1) đất trồng lúa (LUA), (2) đất trồng cây hàng năm khác (HNK), (3) đất trồng cây lâu năm (CLN), (4) đất lâm nghiệp (LNP), (5) đất ở và đất chuyên dùng (PNN), (6) đất sông suối, mặt nước (SON) và (7) đất trống (CSD). Kết quả được thể hiện ở Hình 6.

Kết quả Hình 6 cho thấy, phần lớn diện tích của huyện Hòa Vang là đất lâm nghiệp. Loại đất này tập trung ở phía Bắc, phía Tây và Tây Nam của huyện, chủ yếu thuộc các xã Hòa Bắc, Hòa Ninh, Hòa Phú, Hòa Khương và Hòa Sơn. Trong khi đó, đất sản xuất nông nghiệp tập trung chủ yếu ở phía Đông Nam ở các xã như Hòa Phong, Hòa Nhơn, Hòa Tiến và khu vực hạ lưu ven sông Cu Đê ở phía Bắc ở xã Hòa Liên. Xã Hòa Châu và Hòa Phước có diện tích đất nông nghiệp ít, chủ yếu là đất trồng lúa và đất trồng cây hàng năm khác.



Hình 6. Kết quả giải đoán ảnh thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2023 trên GEE

3.2. Đánh giá độ chính xác của bản đồ hiện trạng sử dụng đất

Dựa vào việc thiết lập các hàm đánh giá ma trận nhầm lẫn, độ chính xác người dùng, nhà sản xuất, độ chính xác toàn cục và chỉ số Kappa. Trong nghiên cứu này, chúng tôi cũng sử dụng mô hình phân loại Random Forest để lấy lấy ngẫu nhiên 20% số mẫu phục vụ cho việc kiểm tra độ chính xác của bản đồ. Kết quả, chúng tôi đã đánh giá được độ chính xác của kết quả giải đoán ảnh Sentinel 2 chụp ngày 7/5/2023 ở khu vực nghiên cứu. Các kết quả đánh giá trên nền tảng GEE được thể hiện ở Bảng 4.

Một chỉ số Kappa > 0,8 được coi là tương đồng gần như hoàn hảo giữa dữ liệu điều tra thực tế và dữ liệu trên bản đồ do giải đoán từ ảnh vệ tinh. Kết quả Bảng 4 cho thấy, chỉ số Kappa đạt giá trị là 0,85 đối với so sánh các mẫu trên GEE. Đây là giá trị rất cao, điều đó chứng tỏ việc giải đoán ảnh Sentinel 2 chụp ngày 7/5/2023 ở khu vực nghiên cứu có độ tin cậy cao để sử dụng.

Bảng 4. Kết quả ma trận nhầm lẫn, độ chính xác nhà sản xuất, người dùng, độ chính xác toàn cục và chỉ số Kappa trên nền tảng GEE

Lớp phân loại	Lớp tham chiếu								
	LUA	HNK	CLN	LNP	PNN	SON	CSD	Mây	Độ chính xác người dùng
LUA	87	5	2	0	3	0	0	0	0,9
HNK	5	80	5	1	1	0	3	0	0,8
CLN	10	6	82	6	0	0	0	0	0,8
LNP	0	4	2	88	0	0	0	1	0,9
PNN	11	6	2	0	79	0	0	0	0,8
SON	0	1	13	0	0	78	0	0	0,8
CSD	0	2	0	0	7	0	92	3	0,9
Mây	0	0	0	0	0	0	5	95	1,0
Độ chính xác nhà sản xuất	0,77	0,77	0,77	0,93	0,88	1,00	0,92	0,96	Độ chính xác toàn cục: 0,87
Chỉ số Kappa: 0,85									

3.3 Đánh giá hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp năm 2023 ở huyện Hòa Vang

Chúng tôi sử dụng những phương pháp thống kê trong GIS để đánh giá hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp năm 2023 ở huyện Hòa Vang, bao gồm đất trồng lúa (LUA), đất trồng cây hàng năm khác (HNK), đất trồng cây lâu năm (CLN) và đất lâm nghiệp (LNP). Kết quả cụ thể được thể hiện ở Bảng 5.

Bảng 5. Diện tích (ha) các loại hình sử dụng đất theo xã ở huyện Hòa Vang năm 2023

Xã	Loại hình sử dụng đất							Tổng
	LUA	HNK	CLN	LNP	PNN	SON	CSD	
Hòa Bắc	92,8	311,7	465,9	32.563,0	379,3	496,0	118,3	34.427,0
Hòa Châu	291,2	55,7	3,0		440,2	82,8	40,0	912,9
Hòa Khương	476,0	187,1	463,9	2.542,5	1.103,7	284,0	59,2	5.116,4
Hòa Liên	290,7	75,6	45,6	1.125,1	1.909,5	294,3	183,1	3.923,9
Hòa Nhơn	386,0	378,2	487,5	879,1	950,3	114,0	77,4	3.272,5
Hòa Ninh	130,2	289,4	585,9	7.689,7	1.465,3	60,5	145,5	10.366,5
Hòa Phong	591,5	122,8	356,9	0,2	666,0	90,3	10,9	1.838,6
Hòa Phú	194,3	293,0	600,2	6.755,0	858,4	177,0	40,7	8.918,6
Hòa Phước	151,9	111,2	3,0		332,3	52,3	27,9	678,6
Hòa Sơn	188,9	108,9	308,6	883,4	794,4	66,3	48,1	2.398,6
Hòa Tiến	690,6	0,3	27,5		613,7	104,9	33,8	1.470,8
Tổng	3.484,1	1.933,9	3.348,0	52.438,0	9.513,1	1.822,4	784,9	73.324,4

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tập trung phân tích hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp ở huyện Hòa Vang. Kết quả Bảng 5 cho thấy, loại hình sử dụng đất chiếm tỷ lệ lớn nhất là đất lâm nghiệp, với 52.438,0 ha, chiếm 71,5% tổng diện tích đất tự nhiên. Trong đó, đất lâm nghiệp tập trung nhiều nhất ở xã Hòa Bắc với 32.563,0 ha, chiếm 44,4%, xã Hòa Ninh với 7.689,7 ha chiếm 10,5% và xã Hòa Phú với 6.755,0 ha chiếm 9,2% tổng diện tích tự nhiên của huyện.

Đất trồng lúa có diện tích 3.484,1 ha, chiếm 4,8%. Phần lớn loại đất này tập trung ở các xã đồng bằng phía Nam như xã Hòa Tiến (690,6 ha), Hòa Phong (591,5 ha), phía Đông xã Hòa Khương (476,0 ha) và Hòa Nhơn (386,0 ha). Đây là những khu vực hạ lưu của những con sông chảy qua Huyện như sông Túy Loan, sông Yên, v.v.

Đất trồng cây hàng năm có diện tích 1.933,9 ha, chiếm 2,6% tổng diện tích. Những xã có diện tích đất này lớn như xã Hòa Nhơn (378,2 ha), Hòa Bắc (311,7 ha), Hòa Ninh (289,4 ha) và Hòa Phú (293,0 ha). Đất trồng cây lâu năm có diện tích gấp khoảng 1,7 lần so với đất trồng cây hàng năm khác với diện tích là 3.348,0 ha, chiếm 4,6% tổng diện tích của huyện. Loại đất này tập trung chủ yếu ở xã Hòa Phú (600,2 ha), Hòa Ninh (585,9 ha), Hòa Nhơn (487,5 ha), Hòa Bắc (465,9 ha) và Hòa Khương (463,9 ha). Đây là những khu vực đồi chuyển tiếp nên thuận lợi cho việc trồng những loại cây ăn quả lâu năm.

Bên cạnh đó, chúng tôi còn sử dụng bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2022 thu thập ở địa phương để xác định ma trận nhầm lẫn của các loại hình sử dụng đất giữa dữ liệu thu thập và kết quả giải đoán ảnh Sentinel 2 bằng các công cụ trong GIS. Kết quả cụ thể được thể hiện ở Bảng 6.

Kết quả Bảng 6 cho thấy, diện tích các loại đất nông nghiệp được giải đoán ảnh Sentinel 2 trên nền tảng GEE có sự tương đồng với diện tích trên bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2022 ở huyện Hòa Vang. Trong đó, đất trồng lúa tăng 393,9 ha, diện tích này do nhầm lẫn chủ yếu với đất trồng cây hàng năm khác là 446,6 ha. Bên cạnh đó, đất trồng lúa cũng bị giải đoán nhầm phần lớn sang đất phi nông nghiệp với 140,2 ha. Đất trồng cây hàng năm khác giảm 505,1 ha. Loại đất này nhầm lẫn chủ yếu với đất lâm nghiệp là 302,4 ha và đất trồng cây lâu năm là 178,6 ha. Bên cạnh đó, loại đất trồng cây hàng năm khác này cũng bị giải đoán nhầm chủ yếu sang đất trồng lúa là 446,6 ha và đất phi nông nghiệp là 435,1 ha. Đất trồng cây lâu năm tăng 1.843,2 ha, loại đất này do nhầm lẫn với đất lâm nghiệp là 2.089,1 ha do phổ phản xạ của 2 loại này gần giống nhau. Ngoài ra, đất trồng cây lâu năm cũng bị giải đoán nhầm qua các loại hình sử dụng đất khác là 333,2 ha với đất bằng trồng cây hàng năm khác là 178,6 ha và đất rừng là 124,8 ha. Qua đó, chúng ta có thể sử dụng ảnh viễn thám để đánh giá nhanh về hiện trạng sử dụng đất nói chung và đất nông nghiệp nói riêng ở một khu vực nhằm tiết kiệm thời gian và chi phí.

Bảng 6. Ma trận nhầm lẫn của các loại hình sử dụng đất giữa dữ liệu thu thập và kết quả giải đoán ảnh Sentinel 2

Đơn vị tính: ha

Hiện trạng sử dụng đất năm 2022	Kết quả giải đoán ảnh							Diện tích hiện trạng sử dụng đất năm 2022
	LUA	HNK	CLN	LNP	PNN	SON	CSD	
LUA	2.810,6	42,2	13,1	5,1	140,2	45,6	33,4	3.090,2
HNK	446,6	1.354,1	48,6	10,9	435,1	50,6	92,9	2.438,8
CLN	1,3	178,6	1.171,6	124,8	14,0	5,2	9,4	1.504,8
LNP	85,8	302,4	2.089,1	52.266,5	488,9	78,1	425,2	55.736,0
PNN	3,6		2,6	11,0	8.250,1	17,0	20,6	8.304,8
SON	99,1	46,0	17,8	18,5	55,7	1.614,7	22,6	1.874,4
CSD	37,2	10,6	5,2	1,1	129,1	11,3	180,9	375,4
Diện tích từ giải đoán ảnh	3.484,1	1.933,8	3.348,0	52.438,0	9.513,0	1.822,5	785,1	73.324,5
So với hiện trạng sử dụng đất năm 2022	3.090,2	2.438,9	1.504,8	55.736	8.304,4	1.874,3	368,4	73.317
Chênh lệch	+393,9	-505,1	+1.843,2	-3298,0	+1208,6	-51,8	+416,7	+7,5

4 Kết luận

Việc xây dựng bản đồ hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp bằng viễn thám Sentinel 2 trên nền tảng điện toán đám mây GEE đem lại hiệu quả cao. Chúng ta có thể dễ dàng thành lập bản đồ tại những thời điểm khác nhau mà không cần phải tải dữ liệu ảnh viễn thám về máy tính. Qua đó, phương pháp này có thể tiết kiệm thời gian xử lý và không gian lưu trữ dữ liệu.

Nghiên cứu sử dụng 80% số mẫu phục vụ cho việc giải đoán và 20% số mẫu phục vụ cho việc kiểm tra độ chính xác của bản đồ. Việc lấy các mẫu giải đoán và kiểm tra được thực hiện một cách ngẫu nhiên theo mô hình phân loại Random Forest. Kết quả đánh giá độ chính xác thông qua chỉ số Kappa, có giá trị là 0,85. Chỉ số này chứng tỏ kết quả giải đoán thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp ở huyện Hòa Vang năm 2023 có độ tin cậy cao.

Nghiên cứu đã thành lập được bản đồ hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp ở huyện Hòa Vang năm 2023 với các loại đất chủ yếu là đất trồng lúa, đất trồng cây hàng năm khác, đất trồng cây lâu năm và đất lâm nghiệp. Kết quả cho thấy, đất nông nghiệp có diện tích là 61.204 ha chiếm 83,5% tổng diện tích huyện. Trong đó, đất lâm nghiệp chiếm 71,5% và đất sản xuất nông nghiệp chiếm 12% trong tổng diện tích đất tự nhiên của huyện. Nghiên cứu cũng đã tiến hành so sánh với kết quả thống kê đất đai năm 2023 của huyện Hòa Vang. Nhìn chung, kết quả cho thấy diện tích các loại đất nông nghiệp được giải đoán trên ảnh Sentinel 2 và dữ liệu thống kê có sự tương đồng với nhau. Giữa những loại đất có phổ phản xạ gần giống nhau như đất trồng lúa và đất

trồng cây hàng năm hay giữa đất trồng cây lâu năm và đất lâm nghiệp có một phần diện tích bị nhầm lẫn. Kết quả thành lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất nông nghiệp năm 2023 có thể là tài liệu tham khảo cho công tác quản lý và sử dụng đất hiệu quả ở huyện Hòa Vang trong thời gian đến.

Thông tin tài trợ

Lê Ngọc Hành được tài trợ bởi Chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ Đối mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số: VINIF.2023.TS.033. Các tác giả xin chân thành cảm ơn vì sự hỗ trợ quý giá này.

Tài liệu tham khảo

1. FAO (1997), *Integrated approach to the planning and management of land resources, Progress Report*.
2. Franklin, S. E. & Wulder, M. A. (2002), Remote sensing methods in medium spatial resolution satellite data land cover classification of large areas, *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 26, 173–205.
3. Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Shahfahad, Pal, S., Liou, Y.-A. & Rahman, A. (2020), Land-Use Land-Cover Classification by Machine Learning Classifiers for Satellite Observations—A Review, *Remote Sensing*, 12, 1135.
4. Sentinel, E. (2004), *Missions-Sentinel Online. ESA: Paris, France*.
5. 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, 2291.
6. Pesaresi, M., Corbane, C., Julea, A., Florczyk, A. J., Syrris, V. & Soille, P. (2016), Assessment of the added-value of Sentinel-2 for detecting built-up areas, *Remote Sensing*, 8, 299.
7. Bruzzone, L., Bovolo, F., Paris, C., Solano-Correa, Y. T., Zanetti, M. & Fernández-Prieto, D. (2017), Analysis of multitemporal Sentinel-2 images in the framework of the ESA Scientific Exploitation of Operational Missions, *9th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (MultiTemp)*, IEEE.
8. Xu, Y., Yu, L., Feng, D., Peng, D., Li, C., Huang, X., Lu, H. & Gong, P. (2019), Comparisons of three recent moderate resolution African land cover datasets: CGLS-LC100, ESA-S2-LC20, and FROM-GLC-Africa30, *International Journal of Remote Sensing*, 40, 6185–6202.
9. Chi, M., Plaza, A., Benediktsson, J. A., Sun, Z., Shen, J. & Zhu, Y. (2016), Big data for remote sensing: Challenges and opportunities, *Proceedings of the IEEE*, 104, 2207–2219.
10. Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q. & Brisco, B. (2020), Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data

- Applications: A Comprehensive Review, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326–5350.
11. Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S. & Brisco, B. (2020), Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 152–170.
 12. Ủy ban nhân dân huyện Hòa Vang (2023), *Báo cáo thuyết minh tổng hợp kế hoạch sử dụng đất năm 2023 huyện Hòa Vang, thành phố Đà Nẵng*.
 13. Immitzer, M., Vuolo, F. & Atzberger, C. (2016), First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in central Europe, *Remote sensing*, 8, 166.
 14. Novelli, A., Aguilar, M. A., Nemmaoui, A., Aguilar, F. J. & Tarantino, E. (2016), Performance evaluation of object based greenhouse detection from Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI data: A case study from Almería (Spain), *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 52, 403–411.
 15. Vuolo, F., Neuwirth, M., Immitzer, M., Atzberger, C. & Ng, W.-T. (2018), How much does multi-temporal Sentinel-2 data improve crop type classification?, *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 72, 122–130.
 16. Copernicus (2023), S2A_MSIL1C_20230507T030521_N0509_R075_T48PZC_20230507T052914.SAFE, Available from: <https://browser.dataspace.copernicus.eu>.
 17. Oshiro, T. M., Perez, P. S. & Baranauskas, J. A. (2012), How Many Trees in a Random Forest? (2012), *Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 7376.
 18. Belgiu, M. & Drăguț, L. (2016), Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24–31.
 19. Tsutsumida, N. & Comber, A. J. (2015), Measures of spatio-temporal accuracy for time series land cover data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 41, 46–55.
 20. Maryantika, N. & Lin, C. (2017), Exploring changes of land use and mangrove distribution in the economic area of Sidoarjo District, East Java using multi-temporal Landsat images, *Information Processing in Agriculture*, 4(4), 321–332.
 21. Islami, F. A., Tarigan, S. D., Wahjunie, E. D. & Dasanto, B. D. (2022), Accuracy Assessment of Land Use Change Analysis Using Google Earth in Sadar Watershed Mojokerto Regency, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 950, 012091.