

การประยุกต์ Google Earth Engine เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของป่าชายเลนในจังหวัดสตูล

Application of Google Earth Engine

for Monitoring Mangrove Forest Changes in Satun Province

จิรวัดณ์ จันทองพูน^{*}, จิรายุทธ หนูมน้อย, ซารุลวาดิฟ แซดอมา, มณฑาทิพย์ แก้วหนูนวล,
พรนราชนีย์ บุญราศรี และ รจณา คุณพูล

Jirawat Jantongpoon^{*}, Jirayut Numnoi, Sarulwadif Saedoma, Montathip Keawnunual,
Pornarai Boonrasi and Rodjana Khoonpoon

หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.สงขลา ประเทศไทย
Survey Engineering Program, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya,
Songkhla Province, Thailand

Received : 10 October 2024, Received in revised form : 13 January 2025, Accepted : 13 January 2025

Available online : 20 February 2025

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : จังหวัดสตูลมีพื้นที่ป่าชายเลนที่สมบูรณ์ มีความสำคัญต่อระบบนิเวศและระบบเศรษฐกิจ แต่พื้นที่ป่าชายเลนลดลง และขาดการติดตามอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจเกิดจากข้อจำกัดด้านบุคลากรและเทคนิคสำรวจระยะไกลที่ต้องใช้ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์และการประมวลผลเฉพาะ ส่งผลให้บางหน่วยงานขาดประสิทธิภาพในการจัดการพื้นที่ การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มุ่งใช้ Google Earth Engine (GEE) วิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมออนไลน์ ติดตามการเปลี่ยนแปลงป่าชายเลน ครอบคลุมอำเภอทุ่งหว้า ละงู ท่าแพ และเมืองสตูล ตั้งแต่ พ.ศ. 2561-2566 เพื่อลดปัญหาความขัดแย้งจากการบุกรุก อดต้นทุนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ และแก้ไขปัญหาการลดลงของป่าชายเลนอันเนื่องมาจากการบุกรุกและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

วิธีดำเนินการวิจัย : งานวิจัยนี้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 MSI Level-1C และ Level-2A ที่มีเมฆปกคลุมน้อยที่สุดในแต่ละปี ดำเนินการคลาวด์มาส์ก์เพื่อลดผลกระทบจากเมฆ วิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ EVI เพื่อสร้างพื้นที่ฝีกัดสำหรับจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินด้วยวิธีแบบกำกับดูแลร่วมกับแบบจำลองป่าไม้สุ่ม (RF) กำหนดการวนซ้ำ 30 รอบ ผ่าน Earth Engine Code Editor บน GEE และประเมินความถูกต้องของการจำแนกโดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามและ Google Earth เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินครอบคลุม พ.ศ. 2561-2566 ผลการจำแนกแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1) ป่าชายเลน (F3) พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) สิ่งปลูกสร้าง (U2) พื้นที่เกษตรกรรม (A0) และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) และสรุปการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบอนุกรมเวลา

ผลการวิจัย : การใช้ GEE ร่วมกับแบบจำลอง RF ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงป่าชายเลนอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 จาก Earth Engine Data Catalog และประมวลผลผ่านระบบคลาวด์ ที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ผลการจำแนกมีความถูกต้องโดยรวมกว่าร้อยละ 80 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ระหว่าง 0.6–0.8 โดยอิงจากจุดตรวจทดสอบอิสระ 256 จุดที่กระจายอย่างเหมาะสม ตามทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบทวินาม แสดงถึงความน่าเชื่อถือในระดับยอมรับได้ และสามารถบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินพบว่า ในปี พ.ศ. 2561 พื้นที่ป่าชายเลนคิดเป็นร้อยละ 73.406 พื้นที่เกษตรกรรมร้อยละ 12.360 พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติร้อยละ 1.803 พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำร้อยละ 7.278 พื้นที่ปลูกสร้างร้อยละ 0.873 และพื้นที่เบ็ดเตล็ดร้อยละ 4.280 ต่อมาในปี พ.ศ. 2563 พื้นที่ป่าชายเลนลดลงเหลือร้อยละ 71.033 และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 72.300 ในปี พ.ศ. 2566 โดยระหว่างปี พ.ศ. 2561 ถึง 2563 พื้นที่ป่าชายเลนลดลงร้อยละ 2.373 ซึ่งส่วนใหญ่เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ในขณะที่ปี พ.ศ. 2563 ถึง 2566 พื้นที่ป่าชายเลนเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.267 โดยส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เกษตรกรรมกลับมาเป็นป่าชายเลน

สรุปผลการวิจัย : การใช้ GEE ช่วยประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมออนไลน์ได้รวดเร็ว ลดข้อจำกัดด้านฮาร์ดแวร์ แต่การประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่อาจต้องแบ่งข้อมูลย่อย สำหรับพื้นที่อื่น ควรกำหนดพารามิเตอร์และดัชนีพืชพรรณที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการจำแนก ผลการศึกษาชี้ว่า GEE มีประสิทธิภาพในการติดตามการเปลี่ยนแปลงป่าชายเลนช่วง พ.ศ. 2561-2566 โดยพื้นที่ป่าชายเลนเพิ่มขึ้นระหว่าง พ.ศ. 2563-2566 จากมาตรการควบคุมการบุกรุกที่เข้มงวดของภาครัฐ การศึกษานี้เป็นความก้าวหน้าสำคัญในการใช้เทคโนโลยีดาวเทียม และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่ออนุรักษ์ป่าชายเลน ช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับการสำรวจภาคสนามแบบดั้งเดิม พร้อมสนับสนุนการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังมีศักยภาพเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับประเมินการกักเก็บคาร์บอนของป่าชายเลนในอนาคต

คำสำคัญ : ภูเกิลเอร์ธเอนจิน ; ป่าชายเลน ; การจำแนกแบบป่าไม้สุ่ม ; การสำรวจระยะไกล ; ข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2

Abstract

Background and Objectives : Satun Province has rich and ecologically important mangrove forests that play a vital role in both the ecosystem and the economy. However, a continuous decline in these mangrove forests has been observed over recent years. Challenges within the study area include limited human resources, which impede effective monitoring and management. Furthermore, conventional remote sensing techniques necessitate specialized hardware, software, and data processing capabilities, thereby imposing limitations on accessibility and efficiency for certain

organizations. This study aims to propose a methodology for utilizing Google Earth Engine (GEE), a powerful cloud-based platform for online satellite imagery analysis, to monitor changes in mangrove forest areas in Satun Province, covering the districts of Thung Wa, La Ngu, Tha Phae, and Mueang Satun. This study, covering the six-year period from 2018 to 2023, pursues several key objectives: to mitigate conflicts arising from human encroachment on mangrove ecosystems, to minimize hardware and software costs associated with traditional monitoring methods, and to address the critical issue of mangrove forest decline attributed to persistent encroachment and land use change.

Methodology : This study employed Sentinel-2 Multi Spectral Instrument (MSI) Level-1C and Level-2A imagery acquired during periods of minimal cloud cover over the study area within the specified year. Cloud masking procedures were implemented to mitigate cloud contamination, and vegetation indices, including the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), and Enhanced Vegetation Index (EVI), were computed to generate training data for supervised land cover classification. Supervised classification was performed using the Random Forest algorithm, a robust machine learning classifier, with 30 iterations, implemented within the Earth Engine Code Editor on the Google Earth Engine (GEE) platform. Classification accuracy was assessed through field surveys and comparison with reference data derived from Google Earth. Furthermore, land use and land cover (LULC) change analysis was conducted for the period spanning 2018 to 2023 using Geographic Information Systems (GIS). Change detection analysis was performed by overlaying the annual classified datasets to identify areas of both persistence and change. The resulting land cover was categorized into six key classes relevant to the study area: natural water bodies (W1), mangrove forests (F3), aquaculture farms (A9), built-up areas (U2), agricultural areas (A0), and miscellaneous areas (M4). LULC changes were then summarized in a time series format to quantify and visualize the dynamics of land cover change.

Main Results : The integration of Google Earth Engine (GEE) with the Random Forest (RF) algorithm, a powerful machine learning classifier, significantly enhances the efficiency of mangrove forest change detection. Sentinel-2 satellite imagery, accessed through the Earth Engine Data Catalog, was

processed using cloud computing resources, facilitating rapid and efficient analysis of extensive datasets. The land use and land cover classification achieved an overall accuracy exceeding 80% and a Kappa coefficient ranging from 0.6 to 0.8, based on 256 independent validation points strategically distributed across the study area. This validation, grounded in binomial probability theory, indicates an acceptable level of reliability for the classification results. The resulting data offer significant potential for effective mangrove resource management. The land use and land cover classification results showed the proportional distribution of land cover types in the study area. In 2018, mangrove forests constituted the largest proportion, covering 73.406% of the total area. This was followed by agricultural areas, which occupied 12.360%, natural water bodies at 1.803%, aquaculture areas at 7.278%, built-up areas at 0.873%, and finally, miscellaneous areas at 4.280%. By 2020, a notable shift in land cover was observed, with mangrove forest cover experiencing a decrease to 71.033%. This decrease was subsequently followed by a recovery, as mangrove forest cover increased to 72.300% by 2023. Analyzing the changes between 2018 and 2020 reveals a net loss of 2.373% in mangrove forest area. This loss was primarily attributed to the conversion of mangrove forest land into agricultural land, indicating a shift in land use practices within the study area. Conversely, the period from 2020 to 2023 witnessed a reversal of this trend, with mangrove forest area exhibiting a net increase of 1.267%. This increase can be primarily explained by the reconversion of agricultural land back into mangrove forests, suggesting a potential recovery or restoration of mangrove ecosystems.

Conclusions : The Google Earth Engine (GEE) platform facilitates the rapid online processing of satellite imagery, mitigating hardware limitations. However, the processing of very large datasets may necessitate segmentation into smaller tiles. For applications in other geographic regions, the definition of context-specific parameters and vegetation indices is crucial for achieving acceptable accuracy in land use and land cover classification. The findings of this study demonstrate the efficacy of GEE for monitoring changes in mangrove forest area over a six-year period. The observed expansion of mangrove forests between 2020 and 2023 can be attributed to the implementation of

stricter governmental measures to prevent encroachment. This study represents a significant advancement in the application of satellite technology and geographic information systems (GIS) for mangrove forest conservation, offering a more cost-effective and time-efficient alternative to traditional field-based methods and enabling more efficient resource management. Furthermore, the developed methodology holds potential for future applications, such as estimating the carbon sequestration capacity of mangrove ecosystems.

Keywords : Google Earth Engine ; mangrove areas ; random forest ; remote sensing ; Sentinel-2

*Corresponding author. E-mail : jirawat.j@rmutsv.ac.th

Introduction

ป่าชายเลนเป็นทรัพยากรทางธรรมชาติที่มีประโยชน์ ทั้งทางด้านนิเวศวิทยา เป็นแหล่งอาหารและแหล่งอนุบาลที่อยู่อาศัยของสัตว์ต่าง ๆ รวมถึงมนุษย์ จากของต้นไม้ในป่าชายเลนทำหน้าที่คล้ายกับตะแกรงธรรมชาติคอยดักกรองสิ่งปฏิกูล สารมลพิษต่าง ๆ จากบนบกก่อนลงสู่ทะเล และต้นไม้ในป่าชายเลนยังช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ป่าชายเลนยังทำหน้าที่ช่วยบรรเทาความรุนแรงของคลื่นและลมให้น้อยลงอีกด้วย ในปัจจุบันพื้นที่ของป่าชายเลนลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากบุกรุกของประชากรในพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่มากขึ้นทำให้พื้นที่ป่าเกิดความเสื่อมโทรม พื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทยมีพื้นที่ประมาณ 1,525,060 ไร่ รวม 24 จังหวัด กระจายอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก 161,550 ไร่ ภาคกลาง 75,683 ไร่ ภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย 182,934 ไร่ และภาคใต้ฝั่งอันดามัน 1,104,892 ไร่ (Mangrove Resources Promotion and Development Subdivision, 2016) กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งได้สำรวจสถานภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินป่าชายเลนในเขตป่าสงวนแห่งชาติและนอกเขตป่าสงวนแห่งชาติ พบว่าจังหวัดสตูลมีพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด 322,705.760 ไร่ โดยมีพื้นที่ป่าชายเลนในเขตป่าสงวนแห่งชาติทั้งหมด 232,737.750 ไร่ และมีพื้นที่ป่าชายเลนในเขตอุทยานแห่งชาติทั้งหมด 3,814.860 ไร่ และการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสตูล เกิดจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ป่าชายเลนเพื่อกิจกรรมอื่น ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนเป็นบ่อกักและบ่อปลาเพื่อการค้าทำให้พื้นที่ป่าลดลง หรือการลักลอบตัดไม้เพื่อนำไม้จากป่าชายเลนไปใช้ในอุตสาหกรรมหรือใช้เป็นเชื้อเพลิง (นำไปเผาเป็นถ่าน) เป็นต้น (Department of Marine and Coastal Resources, 2018)

จังหวัดสตูลเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีป่าชายเลน มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบนิเวศและเศรษฐกิจ ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาป่าชายเลนในสตูลประสบปัญหาการลดลงอย่างต่อเนื่อง จากปัญหาการลดลงของป่าชายเลนดังกล่าวจำเป็นต้องมีมาตรการเพื่อติดตามและแก้ไข ที่ผ่านมามีการอนุรักษ์และติดตามป่าชายเลนสามารถทำได้ด้วยวิธีการสำรวจภาคสนามที่ใช้ทรัพยากรที่ค่อนข้างสูงทั้งด้านกำลังคนหรืองบประมาณ หรือใช้การสำรวจระยะไกลสำหรับการติดตามป่าชายเลนใน

พื้นที่ต่าง ๆ เช่น การติดตามพื้นที่เขตสงวนธรรมชาติปากแม่น้ำ Quanzhou ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Landsat (Lu *et al.*, 2018) สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของป่าชายเลนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งตรงกับปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษาที่มีข้อจำกัดในด้านทรัพยากรบุคลากรที่จำกัดไม่สามารถดูแลพื้นที่ได้อย่างทั่วถึง แต่ข้อจำกัดของการสำรวจระยะไกลแบบดั้งเดิมจำเป็นต้องมีฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และข้อมูลสำหรับการประมวลผล ทำให้บางหน่วยงานไม่สามารถเข้าถึงหรือทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ในปัจจุบันได้มีโปรแกรม Google Earth Engine (GEE) เป็นซอฟต์แวร์ที่เปิดให้บริการจากบริษัทกูเกิล (Google Inc.) ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สามารถเข้าถึงได้จาก <https://earthengine.google.com> อย่างไรก็ตามข้อจำกัดเรื่องความสามารถของอุปกรณ์ และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากปริมาณของข้อมูลทางภูมิสารสนเทศที่มีขนาดใหญ่ลดปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ และลดข้อจำกัดในการเข้าถึงซอฟต์แวร์ (Shelestov *et al.*, 2017) โดยทางบริษัท Google ได้ทำการรวบรวมชุดภาพข้อมูลดาวเทียมและเก็บข้อมูลบันทึกย้อนหลังมากกว่า 40 ปี ไว้ในคลังข้อมูลสาธารณะ (data mining) ซึ่งสามารถเรียกใช้ภาพข้อมูลดาวเทียมนำมาวิเคราะห์และประมวลผลด้วยชุดคำสั่ง (code editor) ในภาษา JavaScript เพื่อตอบวัตถุประสงค์ของการศึกษา และจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มีการนำ GEE มาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ เช่น การจัดทำแผนที่ป่าชายเลนในประเทศจีนด้วยการใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat และ Sentinel-1 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศป่าชายเลนและวางแผนการบริหารจัดการอย่างยั่งยืน (Chen *et al.*, 2017) หรือการนำ GEE มาทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (Land Use/Land Cover, LULC) ด้วยข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 และ Landsat-8 ร่วมกับการจำแนกวิธี RF แสดงให้เห็นว่าศักยภาพของการใช้ GEE สามารถเรียกใช้ข้อมูลดาวเทียมออนไลน์เพื่อทำแผนที่ LULC อย่างแม่นยำและรวดเร็ว (Nasiri *et al.*, 2022), (Pimple *et al.*, 2017) จากงานวิจัยที่ผ่านมาเห็นได้ชัดว่าศักยภาพของการใช้ GEE สามารถเรียกใช้ข้อมูลดาวเทียมออนไลน์ร่วมกับการจำแนกด้วยวิธีการต่าง ๆ นำมาติดตามป่าชายเลนเพื่อการอนุรักษ์ได้

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการประยุกต์โปรแกรม GEE ในการติดตามและอนุรักษ์พื้นที่ป่าชายเลนในระยะยาวมีขอบเขตพื้นที่ศึกษาจากในจังหวัดสตูล ประกอบด้วยพื้นที่อำเภอทุ่งหว้า อำเภอละงู อำเภอท่าแพ และอำเภอเมืองสตูลในช่วงเวลา 6 ปี ด้วยการใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ภาพข้อมูลดาวเทียม พ.ศ. 2561 พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 เนื่องจากพบปัญหาการลดลงของป่าชายเลนอย่างต่อเนื่องจากการบุกรุกของประชากรในพื้นที่ด้วยการวิเคราะห์ภาพข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 มุ่งเน้นการตรวจสอบการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ EVI เป็นตัวช่วยในการประเมินสภาพพื้นที่ป่าชายเลนด้วยวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแลร่วมกับแบบจำลองป่าไม้สุ่ม (Random Forest, RF) สำหรับใช้ในการศึกษาการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงจากการสำรวจระยะไกลเพื่อหลีกเลี่ยงการปะทะกับบุคคลที่บุกรุกในพื้นที่ ลดต้นทุนด้านทรัพยากรฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เพื่อการวิเคราะห์เชิงพื้นที่การเปลี่ยนแปลงของป่าชายเลน ทำให้สามารถเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงจากอดีตถึงปัจจุบัน และสามารถนำ GEE ไปปรับใช้กับป่าชายเลนในพื้นที่อื่น ๆ ได้ อีกทั้งยังสามารถหาแนวทางในการป้องกันและอนุรักษ์พื้นที่ป่าชายเลนให้มีความอุดมสมบูรณ์ต่อไป

Methodology

การศึกษากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนด้วยการประยุกต์ใช้ GEE กรณีศึกษาในพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดสตูล โดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณ และวิธีการจำแนกแบบ RF สามารถอธิบายขั้นตอนการดำเนินงานดัง Figure 1

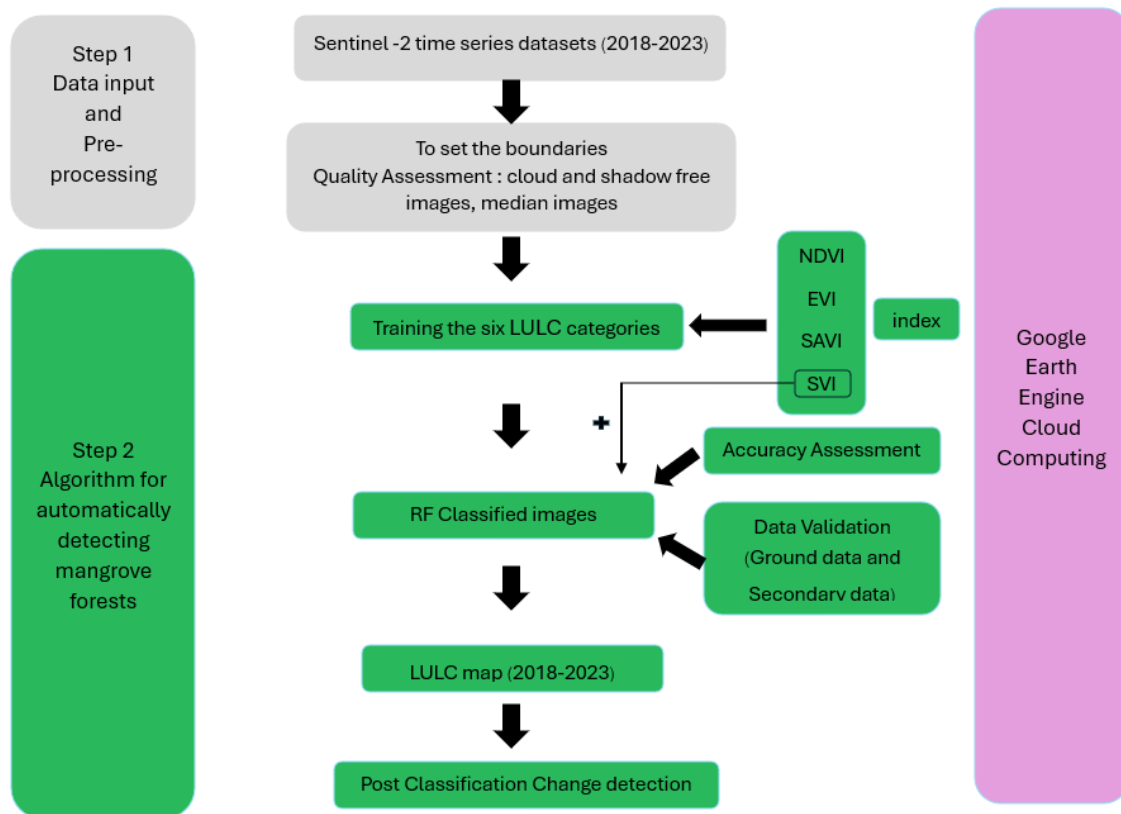


Figure 1 Methodological framework of the study

1. รวบรวมชุดภาพข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 MSI Level-1C และ Sentinel-2 MSI Level-2A (ช่วงเวลา 1 มีนาคม ถึง 30 เมษายน ของช่วงปีที่ศึกษา เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีเมฆบดบังพื้นที่ศึกษาน้อยที่สุดในรอบปี เพราะเป็นช่วงฤดูร้อน) เพื่อวิเคราะห์และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดสตูล

2. การจัดเตรียมข้อมูลดาวเทียมก่อนการประมวลผล สามารถแบ่งย่อยเป็น 3 ขั้นตอน คือ

2.1 กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา จังหวัดสตูลถือเป็นจังหวัดที่มีป่าชายเลนจำนวนมากในภาคใต้ฝั่งอันดามัน และมีอัตราเพิ่มลดที่ไม่สม่ำเสมอ (Department of Marine and Coastal Resources, 2018) ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ได้กำหนดขอบเขตตาม สำนักงานทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่ 7 ได้จัดทำขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2561 พื้นที่ป่าชายเลนที่ศึกษาได้ครอบคลุม

ทั้งหมด 21 ตำบล จำนวน 4 อำเภอ มีพื้นที่รวม 297,313.750 ไร่ และมีความซับซ้อนของการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน จึงต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพข้อมูลดาวเทียมอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อลดความผิดพลาดในการจำแนก สำหรับการศึกษาค้นคว้านี้ได้ใช้ภาพข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร มากกว่าชุดข้อมูลดาวเทียม Landsat (ความละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร) ที่ไม่สามารถจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนที่มีขนาดเล็ก หรือมีการผสมผสานกับพื้นที่อื่นได้อย่างแม่นยำ รวมถึงการใช้ข้อมูลการสำรวจภาคสนามเป็นข้อมูลทดสอบเพื่อเพิ่มความถูกต้องของการจำแนก (Figure 2)

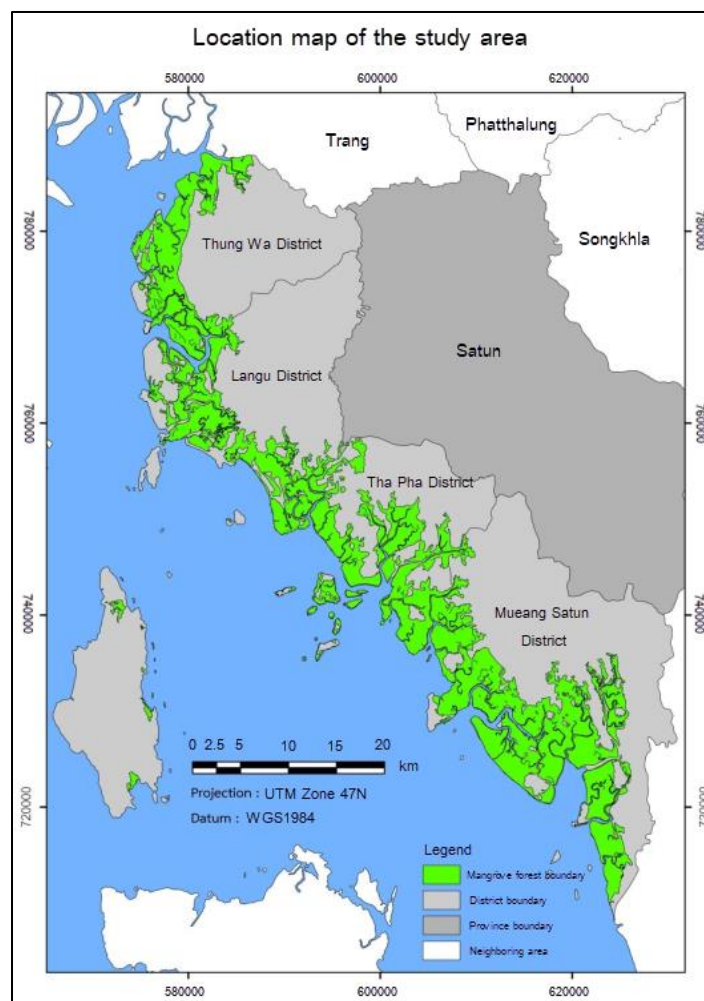


Figure 2 Map of the study area

2.2 นำภาพข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 มาประมวลผล cloud masking เพื่อขจัดเมฆให้เรียบร้อยก่อนประมวลผลในขั้นตอนถัดไป

2.3 เขียนสคริปต์บน GEE ผ่าน Earth Engine Code Editor เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วย Earth Engine API โดยสคริปต์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่ป่าชายเลนมีดังนี้

1) ee.FeatureCollection ใช้สร้าง FeatureCollection ใน GEE เป็นชุดข้อมูลที่ประกอบด้วย features (geometric entities) หรือ spatial features (geometric entities) เพื่อดำเนินการข้อมูลเชิงพื้นที่จากคลังข้อมูลที่จัดเก็บไว้เข้ามาใช้งานใน GEE ได้

2) ee.ImageCollection ใช้สร้าง ImageCollection ใน GEE เป็นชุดข้อมูลที่ประกอบด้วยภาพข้อมูลดาวเทียมหลาย ๆ ภาพที่ถูกเก็บรวมกันใน catalog ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ เช่น การตรวจจับการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่ตามเวลา

3) ee.Reducer.median สร้างภาพข้อมูลดาวเทียมที่มีค่าเฉลี่ยของค่าจุดภาพ (pixel values) จาก Image Collection ที่มาจากภาพดาวข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 แต่ละจุดภาพจะเป็นค่าที่คำนวณจากภาพที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันของทุกภาพในชุดข้อมูล ทำให้ได้ภาพที่แสดงค่าเฉลี่ยของสีของทุก ๆ จุดภาพในช่วงเวลาที่กำหนดให้สมดุลกัน

4) Map.addLayer ใช้เพิ่มชั้นข้อมูลลงในแผนที่ใน GEE แสดงภาพหรือข้อมูลทางภูมิศาสตร์ต่าง ๆ สามารถปรับแต่งลักษณะของชั้นข้อมูลได้ เช่น สี ค่าโปร่งแสงของภาพ เป็นต้น

5) Map.centerObject ใช้เลื่อนมุมมองของแผนที่ใน GEE เพื่อให้ Features หรือพื้นที่ที่กำหนดเป็นจุดศูนย์กลางของแผนที่

6) ee.Classifier.smileRandomForest เป็นการสร้างแบบจำลองจากวิธีการต้นไม้ตัดสินใจหลาย ๆ แบบจำลองย่อย ๆ (ตั้งแต่ 10 แบบจำลองถึงมากกว่า 1000 แบบจำลอง) แต่ละแบบจำลองจะได้รับชุดข้อมูลไม่เหมือนกันซึ่งเป็น Subset ของชุด ข้อมูลทั้งหมดตอนทำ Prediction จากแต่ละแบบจำลองวิธีการ decision tree (DT) ทำคาดการณ์ของผลของแบบจำลอง และคำนวณผลคาดการณ์ด้วยการ Vote output ที่ถูกเลือกด้วยแบบจำลองวิธีการต้นไม้มากที่สุด (กรณี classification) หรือหาค่ากลางจาก output ของแต่ละ DT (กรณี Regression) เพื่อเตรียมสคริปต์ไว้เพื่อประมวลผลในขั้นตอนที่ 5

7) confusionMatrix ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบการจำแนกประเภท (classification system) เปรียบเทียบค่าที่ระบบทำนายได้ (predicted value) กับค่าที่เป็นจริง (true value) ในข้อมูลการทดสอบ สำหรับเตรียมสคริปต์ไว้เพื่อประมวลผลในขั้นตอนที่ 6

8) Export.image.toDrive() คำสั่งนี้ใช้สำหรับส่งออก (export) ภาพหรือชุดข้อมูลดาวเทียมจาก GEE ไปยังพื้นที่จัดเก็บข้อมูลใน Google Drive นำมาใช้งานหรือวิเคราะห์ในแหล่งข้อมูลอื่น ๆ นอกจาก GEE

3. การปรับภาพเชิงคลื่นด้วยการใช้ดัชนี สามารถแบ่งย่อยเป็น 2 ขั้นตอนย่อย คือ

3.1 การใช้ค่าดัชนี NDVI, SAVI และ EVI สามารถเขียนในรูปแบบสมการดังสมการที่ 1-3 เพื่อสร้างพื้นที่ฝึกหัด (training area) สำหรับการจำแนกแบบกำกับดูแลร่วมแบบจำลอง RF โดยค่าดัชนี NDVI มีค่าระหว่าง -1 ถึง +1 (Rouse

et al., 1973) กรณีที่ผิวมีพืชพรรณปกคลุมมีค่าเป็นบวก ในขณะที่พื้นผิวเป็นดินมีค่าดัชนีเข้าใกล้กับศูนย์ และกลุ่มของอาคารหรือพื้นที่ที่มนุษย์สร้างขึ้นมีค่าดัชนีติดลบ

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR-Red}}{\text{NIR+Red}} \quad (1)$$

เมื่อ

NIR คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (near infrared band)

Red คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง (red band)

ส่วนค่าดัชนี SAVI เป็นดัชนีที่ช่วยในการคำนวณพืชพรรณในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของพืชต่ำหรือพื้นที่ที่มีการสะท้อนแสงจากดินมาก เนื่องจากเป็นดัชนีที่ถูกพัฒนาเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากค่าสะท้อนของพื้นดินที่พบในดัชนี NDVI

$$\text{SAVI} = \frac{\text{NIR-Red}}{\text{NIR+Red+L}} (1+L) \quad (2)$$

เมื่อ

L คือ ค่าการปกคลุมของพืช มีช่วงของค่าเป็น 0 สำหรับพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมหนาแน่น และมีค่าเป็น 1 สำหรับพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมเบาบาง (Huete, 1988)

ส่วนค่าดัชนี EVI เป็นดัชนีที่แก้ไขเรื่องค่าผิดพลาดจาก atmospheric effects กับค่าการสะท้อนเรือนยอด โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีพืชพันธุ์ปกคลุมหนาแน่น

$$\text{EVI} = G \frac{\text{NIR-Red}}{\text{NIR} + (c_1 * \text{Red} - c_2 * \text{Blue}) + L} \quad (3)$$

G คือ ค่าระดับของพลังงาน (gain factor)

Blue คือ ค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (blue band)

C₁, C₂ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับค่าฝุ่นละอองในบรรยากาศ

L คือ ค่าปรับแก้สำหรับดิน

การกำหนดค่าสำหรับพื้นที่ทั่วไปมีค่า L = 1, C₁ = 6, C₂ = 7.5 และ G = 2.5 ช่วงของค่า EVI อยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 พืชสีเขียวจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.8 (Huete et al., 2002)

จากภาพข้อมูลดาวเทียมทั้งหมด 3 ปี ได้แก่ พ.ศ. 2561 พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 ทำการปรับภาพเชิงคลื่น สังเกตจากค่าความแตกต่างซีพลักซ์ของพืชค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ EVI นำข้อมูลไปใช้ในการสร้างพื้นที่ฝึกหัดสำหรับการจำแนกแบบกำกับดูแลด้วยแบบจำลองการจำแนกแบบ RF แสดงผลการปรับภาพเชิงคลื่น (Figure 3 a, b, c) ตัวอย่างของ พ.ศ. 2566

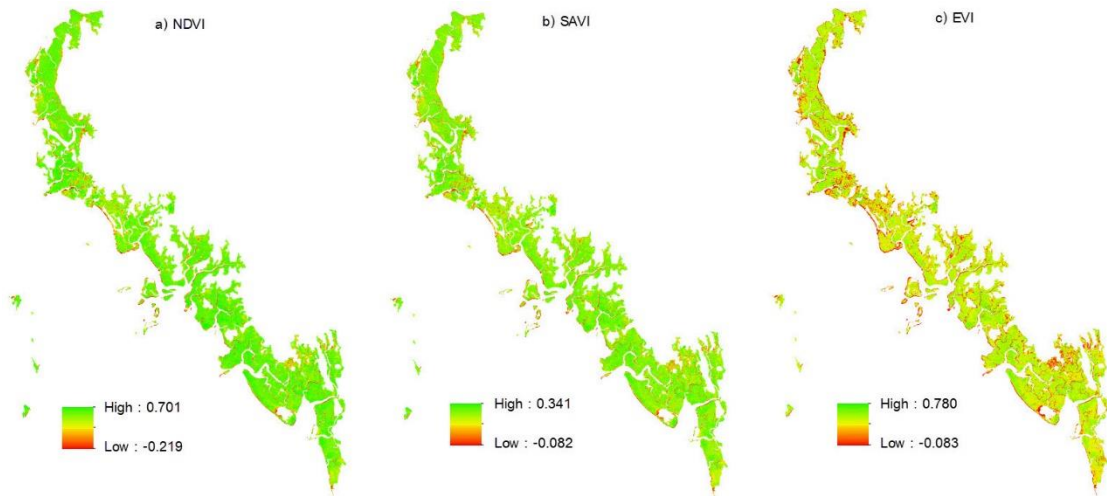


Figure 3 NDVI, SAVI and EVI in Study areas (2023)

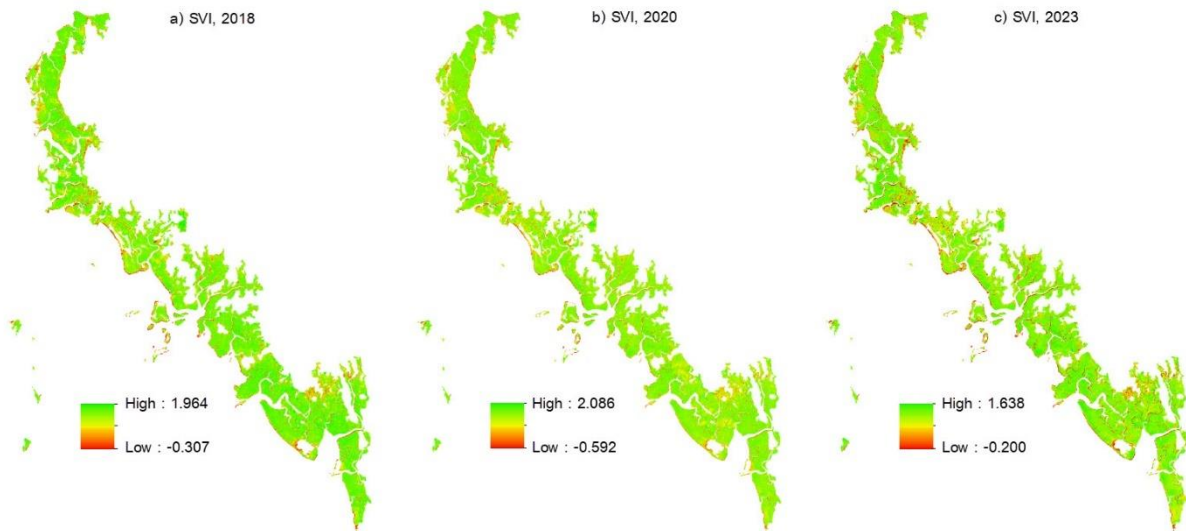


Figure 4 Summation Vegetation Index in Study areas from 2018 to 2023

3.2 ผลรวมดัชนีพืชพรรณ (Summation Vegetation Index, SVI) ทำการรวมผลลัพธ์ของภาพดัชนีทั้งสามเข้าด้วยกัน เป็นผลรวมดัชนีพืชพรรณ SVI (Figure 4) ร่วมกับการจำแนกด้วยสายตา เพื่อการสร้างพื้นที่ผิวกัด ช่วงของค่าดัชนี SVI มีค่า ตั้งแต่ 2.0 ถึง -1.0 จากการประมวลผลสามารถแบ่งชั้นของดัชนี SVI ได้ดังนี้

- ช่วงค่าดัชนี -1 ถึง 0.267 เป็นพื้นที่แหล่งน้ำปกคลุม เช่น พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ
- ช่วงค่าดัชนี 0.267 ถึง 0.8 เป็นพื้นที่ไม่มีพืชพรรณ เช่น พื้นที่เบ็ดเตล็ด และที่อยู่อาศัย
- ช่วงค่าดัชนี 0.8 ถึง 1.05 เป็นพื้นที่มีพืชพรรณน้อย เช่น พื้นที่เกษตรกรรม หรือพื้นที่ป่าชายเลนเสื่อมโทรม
- ช่วงค่าดัชนี 1.05 ถึง 2 เป็นพื้นที่มีพืชพรรณหนาแน่น เช่น พื้นที่ป่าชายเลน หรือสวนยางพารา

ภาพดัชนีพืชพรรณ SVI สามารถเพิ่มความชัดเจนในการแยกแยะระหว่างการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ค่า SVI สูงแสดงถึงพืชที่มีสุขภาพดี และค่าดัชนีที่ต่ำแสดงถึงสิ่งอื่นที่ไม่ใช่พืชพรรณ นำมาใช้เพื่อสร้างพื้นที่ผิวกัดและประมวลผลรวมในขั้นตอนการจำแนกแบบควบคุมด้วยเทคนิค RF ช่วยในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดสตูล

4. การสร้างพื้นที่ผิวกัด ก่อนนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในขั้นตอนประมวลผล ต้องกำหนดประเภทข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษาให้สอดคล้องกับความละเอียดของจุดภาพ (spatial resolution) ที่มีความละเอียด 10 เมตร จึงกำหนดประเภทข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษาให้เหมาะสมตามศักยภาพของภาพถ่ายดาวเทียม อ้างอิงข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากกรมพัฒนาที่ดิน ดังแสดงใน Table 1 และนำข้อมูลภาพทั้ง 3 ปี ที่ผ่านขั้นตอนก่อนการประมวลผลมาทำการจำแนกด้วยสายตา การสร้างพื้นที่ผิวกัด เพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลประมวลผลสำหรับการจำแนกแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยแบบจำลองการจำแนกแบบ RF ประกอบด้วย

Table 1 Land use and land cover classes and their definition

LULC Class	Code
natural water bodies	W1
mangrove forests	F3
agricultural areas	A0
aquaculture farms	A9
built-up areas	U2
miscellaneous areas	M4

4.1 การใช้ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI, SAVI และ EVI สำหรับการสร้างพื้นที่ตัวอย่างโดยการจำแนกด้วยสายตา จะช่วยให้การจำแนกการปกคลุมของพืชพรรณได้ดียิ่งขึ้น

4.2 การใช้ค่าผลรวมดัชนีพืชพรรณ SVI ในการสร้างพื้นที่ตัวอย่างที่ใช้ในการจำแนกผลรวมดัชนีพืชพรรณ SVI จะแยกพื้นที่แหล่งน้ำกับพืชได้ดี มีค่าช่วงระหว่าง -1 ถึง 2

4.3 ผสมสีเทจเพื่อหาพื้นที่ที่มีพืชพรรณสมบูรณ์และพื้นที่เบ็ดเตล็ด พื้นที่ที่มีพืชพรรณสมบูรณ์จะแสดงด้วยสีแดง และพื้นที่เบ็ดเตล็ดแสดงด้วยสีขาว จากนั้นสร้างพื้นที่ป่าชายเลน พื้นที่สวนยาง และพื้นที่เบ็ดเตล็ด

4.4 การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงจากซอฟต์แวร์ GEE เพื่อสืบค้นพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในช่วงเวลาต่าง ๆ

4.5 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดสตูล พ.ศ. 2561 พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2564 จากกรมพัฒนาที่ดินนำมาเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่ได้จากการจำแนก

5. การจำแนกแบบกำกับดูแลด้วยแบบจำลองการจำแนกแบบ RF ภาพข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 มีชั้นข้อมูลแบนด์ 2-4 และแบนด์ 8 และภาพผลรวมดัชนีพืชพรรณ SVI มาทำการประมวลผลการจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแลด้วยแบบจำลองการจำแนกแบบ RF ที่ 30 รอบ ร่วมกับพื้นที่ฝึกหัดที่สร้างไว้จากขั้นตอนก่อนหน้า

6. การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนก โดยพื้นที่ตรวจสอบกำหนดจากจำนวนพื้นที่ตรวจสอบภาคสนามแบบสุ่มบริเวณพื้นที่ศึกษาตามหลักการของทฤษฎีความน่าจะเป็นทวินาม (binomial probability theory) และกำหนดจุดตรวจสอบในแต่ละชั้นข้อมูลตามสัดส่วนพื้นที่ของลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตัวอย่างหรือจุดตรวจสอบที่ใช้ด้วยวิธีการสุ่ม มีจำนวนจุดตรวจสอบทั้งหมด 256 จุด ประกอบด้วยจุดทดสอบประเภทป่าชายเลน 107 จุด ประเภทพื้นที่เกษตรกรรม 74 จุด ประเภทพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 34 จุด ประเภทสิ่งปลูกสร้าง 26 จุด และประเภทพื้นที่เบ็ดเตล็ด 15 จุด ดังแสดงใน Figure 5

6.1 การสำรวจภาคสนาม สำหรับนำมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องโดยรวมของการจำแนก สำหรับปี พ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2563 ตรวจสอบความถูกต้องด้วยภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูง Google Earth Pro และสำหรับ พ.ศ. 2566 ทำการตรวจสอบความถูกต้องด้วยการสำรวจภาคสนาม

6.2 การตรวจสอบความถูกต้อง ในการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำแนกจากข้อมูลพื้นที่ตรวจสอบด้วยตารางประเมินผลการจำแนก (confusion matrix) ผลการตรวจสอบความถูกต้องต้องมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 จึงจะสามารถไปตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในลำดับต่อไปได้

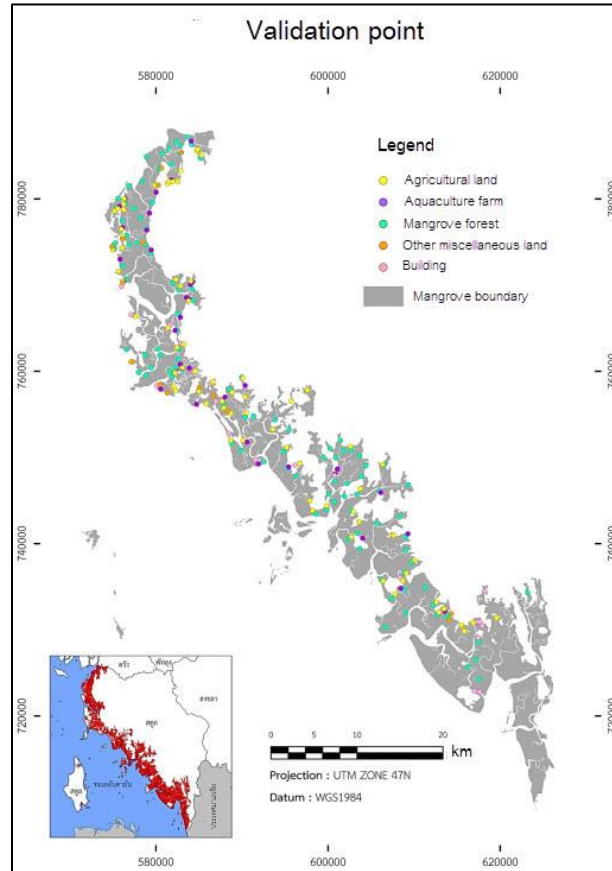


Figure 5 The distribution map of validation samples in the study area

7. สร้างแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดสตูลจากการจำแนกแบบ RF เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา ได้แก่ พ.ศ. 2561–2563 พ.ศ. 2563–2566 และ พ.ศ. 2561–2566 ผลการจำแนกต้องมีเงื่อนไข คือ เป็นข้อมูลที่มีระบบพิกัดเดียวกัน ตำแหน่งเดียวกัน และต้องมีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากันทั้งหมด ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อหาพื้นที่ที่คงสภาพและพื้นที่ที่เกิดการเปลี่ยนแปลง (change detection) ด้วยวิธีการซ้อนทับ (overlay) ของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่จำแนกได้ในแต่ละปี ประกอบด้วยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ซึ่งผลลัพธ์ที่ประมวลผลได้ประกอบด้วย พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1) พื้นที่ป่าชายเลน (F3) พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) สิ่งปลูกสร้าง (U2) พื้นที่ทำการเกษตร (A0) พื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) และความผิดพลาดที่เกิดจากก่อนเมฆ (C) ทำการสรุปผลการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ของแต่ละประเภทของการจำแนก และพื้นที่สำคัญในประเภทการจำแนกพื้นที่ที่เป็นป่าชายเลนในรูปแบบอนุกรมเวลาอย่างละเอียด

Discussion

การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินเพื่อประเมินสภาพพื้นที่ป่าชายเลน ผลศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน และผลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดสตูล

1. ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

1.1 การประมวลผลการจำแนกแบบกำกับดูแลด้วยแบบจำลองการจำแนกแบบ RF นำการปรับภาพผลรวมดัชนีพืชพรรณ SVI ร่วมกับพื้นที่ตัวอย่างที่ได้จากการจำแนกด้วยสายตามาใช้ในการจำแนกประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกและกำหนดจำนวนรอบที่เหมาะสม ส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำและความน่าเชื่อถือสูงสุด จึงทำการเขียนสคริปต์คำสั่งแสดงความต้องการของการวนซ้ำในทุก ๆ 10 รอบ (Figure 6)

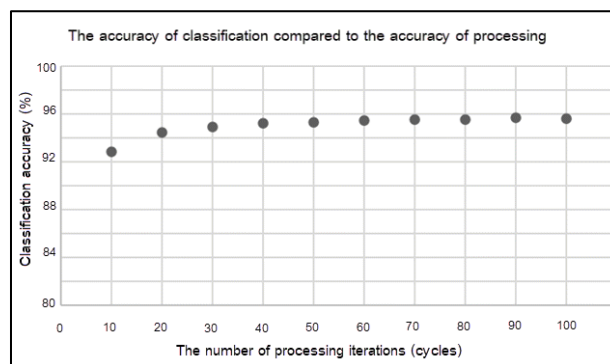


Figure 6 The number of classification processing iterations

จาก Figure 6 เมื่อทำการวนซ้ำจำนวนรอบมากขึ้นส่งผลให้ความถูกต้องเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย แต่การวนซ้ำเพิ่มขึ้นอาจใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นเช่นกัน จากข้อสังเกตจากภาพเมื่อทำการวนซ้ำจำนวนรอบ 30 รอบขึ้นไป ความถูกต้องจะเพิ่มเพียงเล็กน้อย หากพื้นที่ศึกษามีขนาดใหญ่จะทำให้การประมวลผลด้วยจำนวนรอบมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้การประมวลผลเกิดความผิดพลาดหรือใช้เวลานานมากเกินไป

1.2 การตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ด้วยใช้วิธีการตรวจสอบกับข้อมูลจุดพื้นที่ตรวจสอบ 256 จุดที่ได้จากการสุ่มบนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงจาก Google Earth Pro และการสำรวจภาคสนาม ซึ่งผลการจำแนก พ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2563 ใช้วิธีการตรวจสอบกับข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูง และผลการจำแนก พ.ศ. 2566 ใช้ภาพจากภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงร่วมกับการสำรวจภาคสนาม การประเมินความถูกต้องประกอบด้วย ความถูกต้องสำหรับผู้จำแนก (PA) ความถูกต้องสำหรับผู้ใช้ (UA) ความถูกต้องโดยรวม (OA) และการคำนวณค่าความสอดคล้องของสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa) (Table 2-4)

Table 2 Error matrix for 2018 between the RF classification from GEE and the reference data

2018	RF classification from GEE (point)								Point
LULC	W1	F3	A9	U2	A0	C	M4	A3	Total
W1	0	0	5	0	0	0	1	0	6
F3	0	114	1	0	10	0	1	1	127
A9	0	1	16	0	0	0	1	0	18
U2	0	0	3	15	0	0	0	0	18
A0	0	7	1	0	39	0	2	0	49
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M4	0	0	12	7	9	0	10	0	38
A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	122	38	22	58	0	15	1	256
PA (%)	0	89.764	88.889	83.333	79.592	0	26.316	0	
UA (%)	0	93.443	42.105	68.182	67.241	0	66.667	0	
OA (%)					75.781				
Kappa					65.155				

Table 3 Error matrix for 2020 between the RF classification from GEE and the reference data

2020	RF classification from GEE (point)								Point
LULC	W1	F3	A9	U2	A0	C	M4	A3	Total
W1	0	0	3	0	0	0	0	0	3
F3	0	115	1	0	4	0	3	1	124
A9	0	2	23	0	0	0	0	0	25
U2	0	0	2	20	2	0	0	0	24
A0	0	4	1	0	44	0	0	0	49
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M4	0	0	7	2	9	0	13	0	31
A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	121	37	22	59	0	16	1	256
PA (%)	0	92.742	92.000	83.333	89.796	0	41.935	0	
UA (%)	0	95.041	62.162	90.909	74.576	0	81.250	0	
OA (%)					83.984				
Kappa					77.029				

Table 4 Error matrix for 2023 between the RF classification from GEE and the reference data

2023	RF classification from GEE (point)								Point
LULC	W1	F3	A9	U2	A0	C	M4	A3	Total
W1	0	0	7	0	0	0	0	0	7
F3	0	102	0	0	4	0	0	0	106
A9	0	0	21	0	1	0	2	0	24
U2	0	1	0	22	2	0	2	0	27
A0	0	4	1	0	59	0	2	0	66
C	0	0	0	1	0	0	0	0	1
M4	0	0	5	3	8	0	9	0	25
A3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	107	34	26	74	0	15	0	256
PA (%)	0	96.226	87.500	81.481	89.394	0	36	0	
UA (%)	0	95.327	61.765	84.615	79.730	9	60	0	
OA (%)					83.203				
Kappa					76.785				

จาก Table 2-4 เป็นผลการตรวจสอบความถูกต้อง การจำแนกพบว่า พ.ศ. 2561 มีความถูกต้องโดยรวม เท่ากับร้อยละ 75.781 น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ร้อยละ 80 เป็นผลมาจากการจำแนกผิดของการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการประกอบกิจกรรมในระยะเวลาที่ไม่แน่นอน เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ๆ ซึ่งภาพรวมผลการจำแนกประเภทอื่น ๆ มีความถูกต้องในเกณฑ์ที่กำหนด จึงสามารถนำไปใช้งานเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงได้ และผลการจำแนก พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 มีความถูกต้องโดยรวมเท่ากับร้อยละ 83.984 และ 83.203 ตามลำดับ มากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ร้อยละ 80 จึงสามารถนำผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 ไปศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดสตูลตามช่วงเวลาที่กำหนด

จากข้อสังเกตใน Table 2-4 ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลการจำแนกได้ดัง Figure 7 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินของป่าชายเลนได้จาก Figure 7 (a) พ.ศ. 2561 แสดงเป็นสีม่วง (A9) ต่อมาใน พ.ศ. 2563 จะเห็นได้ว่าพื้นที่สีม่วงลดลงจาก พ.ศ. 2561 และใน พ.ศ. 2566 พื้นที่ส่วนใหญ่เปลี่ยนเป็นพื้นที่สีเขียว (F3) สังเกตได้จากภาพข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 มีการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) เป็นพื้นที่ป่าชายเลน (F3) ตามลำดับ และจากผลการลงสำรวจภาคสนามพบว่าการทำงานของเจ้าหน้าที่ในการทวงคืนป่าชายเลนจากการบุกรุกเข้าไปใช้ประโยชน์ที่ดินในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และมีการปลูกป่าชายเลนเพิ่มเติมเพื่อทดแทนส่วนที่ถูกบุกรุกไป ส่งผลให้พื้นที่ป่าชายเลน (F3) เพิ่มขึ้นในบริเวณนี้

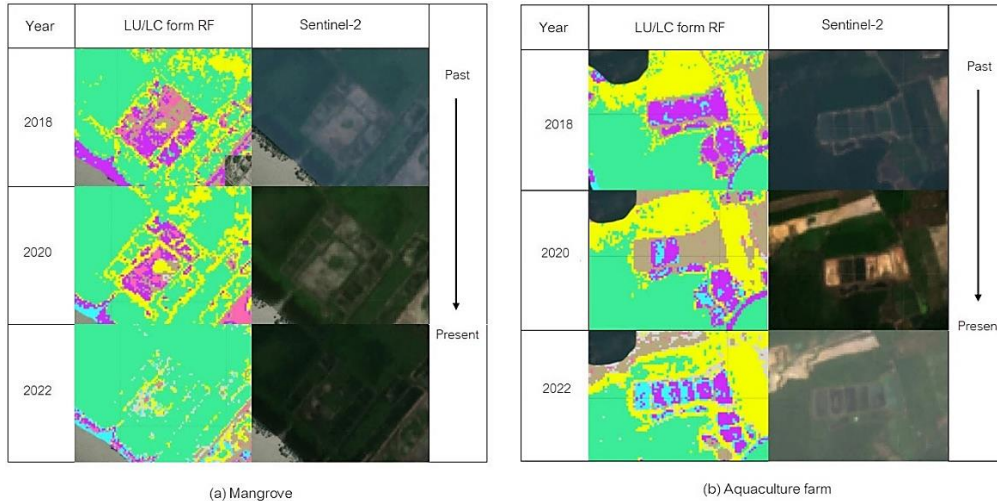


Figure 7 Examples of time series classification results of LULC change from 2018 to 2023

จาก Figure 7 (b) พบมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน พ.ศ. 2561 เป็นพื้นที่สีม่วง (A9) ต่อมา พ.ศ. 2563 เปลี่ยนเป็นพื้นที่สีน้ำตาล (M4) และใน พ.ศ. 2566 เปลี่ยนเป็นพื้นที่สีม่วง (A9) พิจารณาได้จากภาพข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 มีการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) มาเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) และกลับไปเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) เป็นผลมาจากการเพาะเลี้ยงกุ้งมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ที่ไม่แน่นอน เนื่องจากช่วงเวลาในการเลี้ยงกุ้งใช้เวลาประมาณ 3-4 เดือนจากนั้นทำการสูบน้ำออกเพื่อเก็บผลผลิตจากการเลี้ยงส่งผลทำให้พื้นที่นั้นไม่มีน้ำ จึงทำให้ผลการจำแนกเป็นพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่ว่างเปล่า ส่งผลทำให้ความถูกต้องของการจำแนกมีความผิดพลาดไป

1.3 ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินทั้ง 7 ประเภท (Table 1) สามารถจัดทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน พ.ศ.2561, 2563 และ 2566 ตามลำดับ

จาก Figure 8 และ Table 5 แสดงผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 297,313.125 ไร่ ใน พ.ศ. พ.ศ.2561, 2563 และ 2566 การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่พบมากที่สุด คือ พื้นที่ป่าชายเลน (F3) คิดเป็นร้อยละ 73.406, 71.033 และ 72.300 ตามลำดับ พบว่า ระหว่าง พ.ศ. 2561-2563 มีการลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนร้อยละ 2.373 แต่ระหว่างปี พ.ศ. 2563-2566 พบการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ป่าชายเลนร้อยละ 1.267 ดังแสดงใน Table 6-8 และ Figure 8 รองลงมา คือ พื้นที่เกษตรกรรม (A0) คิดเป็นร้อยละ 12.360, 12.786, 13.127 ส่วนพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) คิดเป็นร้อยละ 7.278, 4.734 และ 2.566 ของพื้นที่ทั้งหมดตามลำดับ ผลของการจำแนกภาพข้อมูลดาวเทียม พ.ศ. 2561 ไม่มีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากก่อนเมฆ เนื่องจากภาพข้อมูลดาวเทียมที่ใช้ในการจำแนกบริเวณพื้นที่ที่ศึกษาไม่มีก่อนเมฆ แต่ พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 มีเมฆปกคลุมส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลคิดเป็นร้อยละ 0.454 และ 1.627 ตามลำดับ

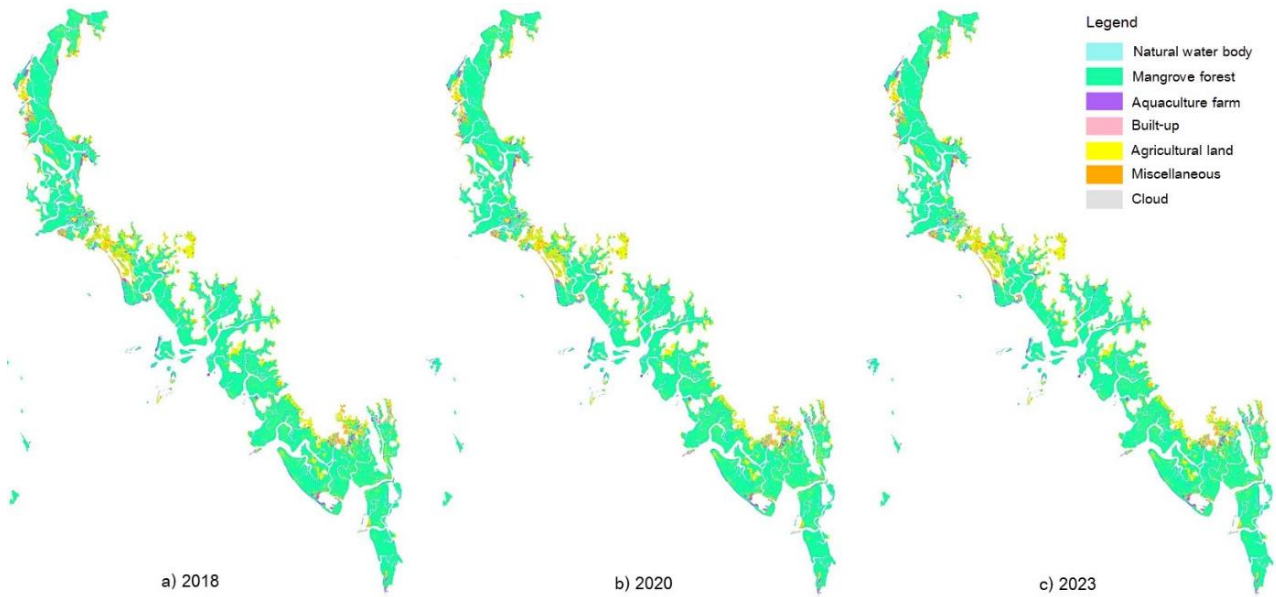


Figure 8 LULC Map

Table 5 Results of Land use and land cover classification

LULC Class	2018		2020		2023	
	Area (rai)	%	Area (rai)	%	Area (rai)	%
W1	5,361.875	1.803	10,757.500	3.618	11,639.475	3.915
F3	218,246.250	73.406	211,191.875	71.033	214,958.831	72.300
A9	21,638.750	7.278	14,075.000	4.734	7,630.238	2.566
U2	2,594.375	0.873	2,931.250	0.986	10,631.838	3.576
A0	36,748.125	12.360	38,015.625	12.786	39,028.725	13.127
M4	12,724.375	4.280	18,993.125	6.388	8,586.050	2.888
C	0	0	1,348.750	0.454	4,838.519	1.627
SUM	297,313.750	100	297,313.750	100	297,313.750	100

2. ผลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดสตูล

2.1 ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดสตูล แบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา คือ ช่วง พ.ศ. 2561–2563 พ.ศ. 2563–2566 และ พ.ศ. 2561–2566 ด้วยวิธีการซ้อนทับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ผลการศึกษาดัง Table 6-8 และ Figure 9

Table 6 The land-use and land-cover change (LUCC) net change during the period of 2018–2020

LULC	2018		2020		Change detection		
	Area (rai)	%	Area (rai)	%	Area (rai)	%	Change
W1	5,361.875	1.803	10,757.500	3.618	5,395.625	1.815	+
F3	218,246.250	73.406	211,191.875	71.033	7,054.375	2.373	-
A9	21,638.750	7.278	14,075.000	4.734	7,563.750	2.544	-
U2	2,594.375	0.873	2,931.250	0.986	336.875	0.113	+
A0	36,748.125	12.360	38,015.625	12.786	1,267.500	0.426	+
M4	12,724.375	4.280	18,993.125	6.388	6,268.750	2.108	+
C	0	0	1,348.750	0.454	1,348.750	0.454	+
SUM	297,313.750	100	297,313.750	100			

Table 7 The land-use and land-cover change (LUCC) net change during the period of 2020–2023

LULC	2020		2023		Change detection		
	Area (rai)	%	Area (rai)	%	Area (rai)	%	Change
W1	10,757.500	3.618	11,639.475	3.915	881.975	0.297	+
F3	211,191.875	71.033	214,958.831	72.300	3,766.956	1.267	+
A9	14,075.000	4.734	7,630.238	2.566	6,444.762	2.168	-
U2	2,931.250	0.986	10,631.838	3.576	7,700.588	2.590	+
A0	38,015.625	12.786	39,028.725	13.127	1,013.100	0.341	+
M4	18,993.125	6.388	8,586.050	2.888	10,407.075	3.500	-
C	1,348.750	0.454	4,838.519	1.627	3,489.769	1.173	+
SUM	297,313.750	100	297,313.750	100			

Table 8 The land-use and land-cover change (LUCC) net change during the period of 2018–2023

LULC	2018		2023		Change detection		
	Area (rai)	%	Area (rai)	%	Area (rai)	%	Change
W1	5,361.875	1.803	11,639.475	3.915	6,277.600	2.112	+
F3	218,246.250	73.406	214,958.831	72.300	3,287.419	1.106	-
A9	21,638.750	7.278	7,630.238	2.566	14,008.512	4,712	-
U2	2,594.375	0.873	10,631.838	3.576	8,037.463	2.703	+
A0	36,748.125	12.360	39,028.725	13.127	2,280.600	0.767	+
M4	12,724,375	4.280	8,586.050	2.888	4,138.325	1.392	-
C	0	0	4,838.519	1.627	4,838.519	1,627	+
SUM	297,313.750	100	297,313.750	100			

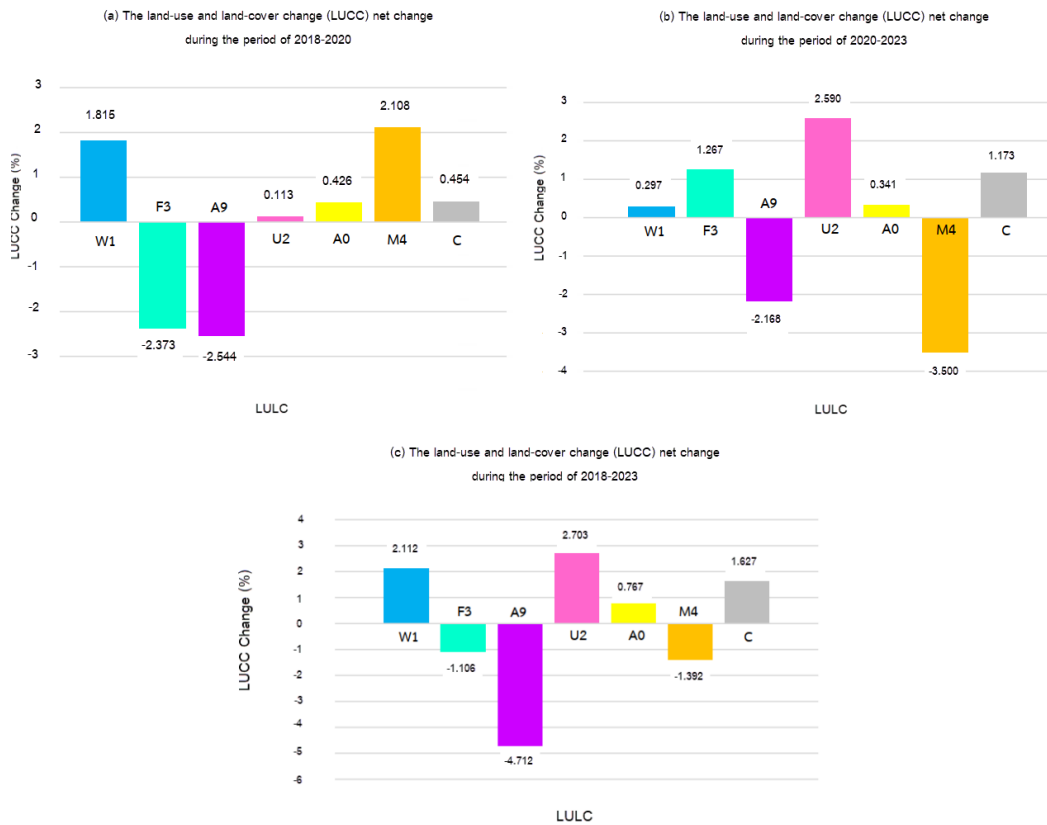


Figure 9 The land-use and land-cover change (LUCC): (a) 2018-2020, (b) 2020-2023, and (c) 2018-2023

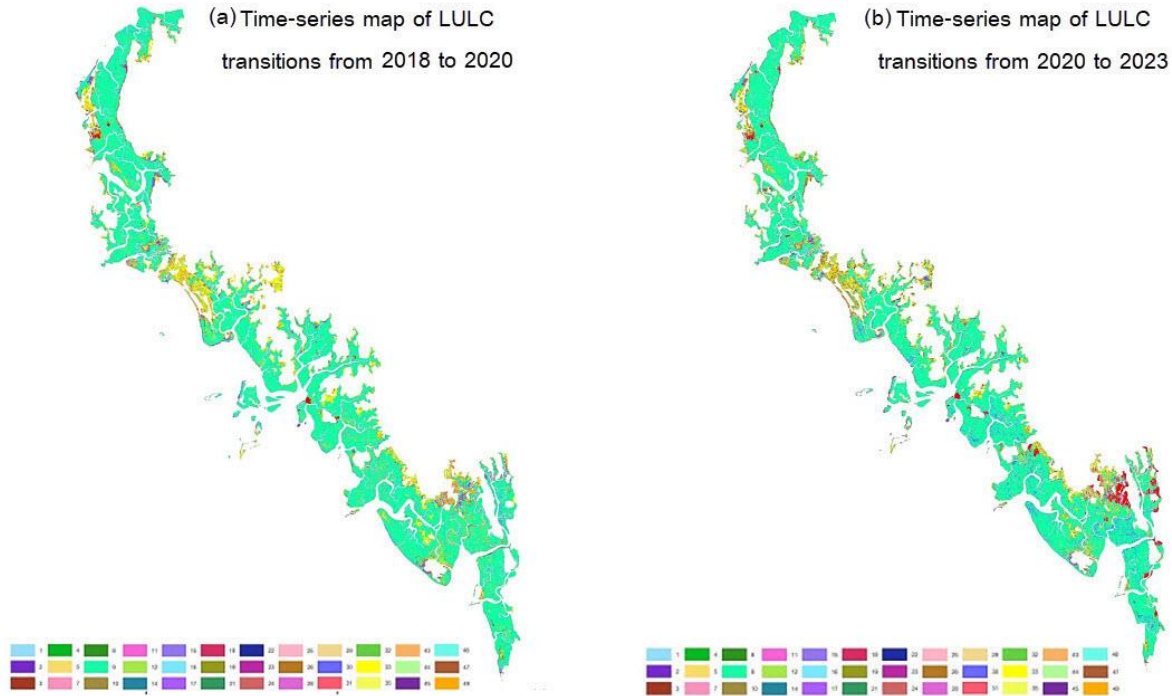


Figure 10 Time series map of LULC transitions from 2018-2023: (a) 2018-2020, (b) 2020-2023

จาก Figure 10 (a) การจำแนกการเปลี่ยนแปลงจากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทหนึ่งไปสู่ประเภทอื่นจากปี พ.ศ. 2561–2563 ด้วยวิธีการซ้อนทับของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่จำแนกได้แต่ละปี ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ศึกษาได้ดังนี้

- พื้นที่ป่าชายเลน (F3) คงสภาพ 196,317.5 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 66.030 เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1) 1,160 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.389 พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) 1,786.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.601 สิ่งปลูกสร้าง (U2) 205 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.069 พื้นที่เกษตรกรรม (A0) 16,209.375 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 5.452 และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) 1,873.750 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.630 ของพื้นที่ทั้งหมด

- พื้นที่เกษตรกรรม (A0) คงสภาพ 19,100.625 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 6.424 เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1) 140.625 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.047 พื้นที่ป่าชายเลน (F3) 12,299.375 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 4.137 พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) 190 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.064 สิ่งปลูกสร้าง (U2) 486.250 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.164 และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) 4,373.125 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.471 ของพื้นที่ทั้งหมด

- พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1) คงสภาพ 3,186.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.072 เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ป่าชายเลน (F3) 209.375 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.070 พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) 1,770.625 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.596 สิ่งปลูกสร้าง

(U2) 53.750 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.018 พื้นที่เกษตรกรรม (A0) 32.5 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.011 และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) 101.250 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.034 ของพื้นที่ทั้งหมด

- พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) คงสภาพ 9,301.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.129 เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1) 5,785 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.946 พื้นที่ป่าชายเลน (F3) 1,982.5 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.667 สิ่งปลูกสร้าง (U2) 631.250 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.212 พื้นที่เกษตรกรรม (A0) 1,175 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.395 และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) 2,671.250 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.898 ของพื้นที่ทั้งหมด

- สิ่งปลูกสร้าง (U2) คงสภาพ 738.750 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.248 เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1) 285.625 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.096 พื้นที่ป่าชายเลน (F3) 21.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.007 พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) 304.375 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.102 พื้นที่เกษตรกรรม (A0) 81.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.028 และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) 997.5 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.336 ของพื้นที่ทั้งหมด

- พื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) คงสภาพ 8,976.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.019 เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1) 200 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.067 พื้นที่ป่าชายเลน (F3) 361.250 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.122 พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) 721.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.243 สิ่งปลูกสร้าง (U2) 816.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.275 และพื้นที่เกษตรกรรม (A0) 1,416.250 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.476 ของพื้นที่ทั้งหมด

พื้นที่ที่ไม่สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากมีเมฆ (C) บดบังทำให้ไม่สามารถจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่ 1346.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.453 ของพื้นที่ทั้งหมด

จาก Figure 10 (b) ผลการจำแนกการเปลี่ยนแปลงจากการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทหนึ่งไปสู่ประเภทอื่น จาก พ.ศ. 2563 ถึง พ.ศ. 2566 ด้วยวิธีการซ้อนทับของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่จำแนกได้แต่ละปี ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ศึกษาได้ดังนี้

- พื้นที่ป่าชายเลน (F3) คงสภาพ 194,358.125 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 65.371 เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1) 359.375 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.121 พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) 250.625 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.084 สิ่งปลูกสร้าง (U2) 2,404.375 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.809 พื้นที่เกษตรกรรม (A0) 10,309.375 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.468 และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) 517.5 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.174 ของพื้นที่ทั้งหมด

- พื้นที่เกษตรกรรม (A0) คงสภาพ 17,342.5 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 5.833 เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1) 155 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.052 พื้นที่ป่าชายเลน (F3) 15,961.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 5.369 พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) 161.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.054 สิ่งปลูกสร้าง (U2) 1,931.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.65 และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) 1,491.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.502 ของพื้นที่ทั้งหมด

- พื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1) คงสภาพ 6,173.125 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.076 เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ป่าชายเลน (F3) 750 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.252 พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) 2,367.5 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.796 สิ่งปลูกสร้าง (U2)

347.5 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.117 พื้นที่เกษตรกรรม (A0) 792.5 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.267 และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) 250 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.084 ของพื้นที่ทั้งหมด

- พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) คงสภาพ 4,240 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.426 เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1) 4,150.625 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.396 พื้นที่ป่าชายเลน (F3) 2,252.5 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.758 สิ่งปลูกสร้าง (U2) 1,011.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.340 พื้นที่เกษตรกรรม (A0) 1,221.250 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.411 และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) 1,093.125 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.368 ของพื้นที่ทั้งหมด

- สิ่งปลูกสร้าง (U2) คงสภาพ 1,049.375 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.353 เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1) 289.375 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.097 พื้นที่ป่าชายเลน (F3) 118.75 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.040 พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) 128.750 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.043 พื้นที่เกษตรกรรม (A0) 679.375 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.229 และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) 573.125 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.193 ของพื้นที่ทั้งหมด

- พื้นที่เบ็ดเตล็ด (M4) คงสภาพ 4,548.75 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.53 เปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ (W1) 480 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.161 พื้นที่ป่าชายเลน (F3) 862.5 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.290 พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (A9) 466.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.157 สิ่งปลูกสร้าง (U2) 3,640.625 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.225 และพื้นที่เกษตรกรรม (A0) 8,481.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.853 ของพื้นที่ทั้งหมด

พื้นที่ที่ไม่สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากมีก้อนเมฆ (C) บดบังทำให้ไม่สามารถจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินรวม 6,100 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.052 ของพื้นที่ทั้งหมด

2.2 ผลการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดสตูล จากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยใช้ GEE ในช่วง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2566 ด้วยแบบจำลองการจำแนกแบบ RF ผลการวิเคราะห์การจำแนกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อสังเกตทิศทางการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดสตูล จากการซ้อนทับข้อมูลที่ได้ในแต่ละปีพบว่าพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดสตูล พ.ศ. 2561 มีเนื้อที่ 218,246.250 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 73.406 พ.ศ. 2563 มีเนื้อที่ 211,191.875 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 71.033 และ พ.ศ. 2566 มีเนื้อที่ 214,958.831 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 72.3 ของพื้นที่ทั้งหมด (Table 6-7) จะเห็นได้ว่าพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดสตูลช่วง พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563 มีจำนวนลดลง เป็นผลมาจากมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากพื้นที่ป่าชายเลนไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรมมากที่สุด มีการขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรมรุกเข้าไปใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ป่าชายเลน รวมถึงการลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนเนื่องจากการเข้าไปตัดไม้โกงกางเพื่อใช้สร้างที่อยู่อาศัย และเผาถ่าน ส่วนใน พ.ศ. 2563 ถึง พ.ศ. 2566 พบว่าป่าชายเลนมีพื้นที่เพิ่มขึ้น หลังจาก พ.ศ. 2563 เป็นต้นมาเจ้าหน้าที่ดำเนินการทวงคืนพื้นที่การบุกรุกป่าชายเลนอย่างเคร่งครัด ส่งผลให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนเพิ่มมากขึ้นตามขอบเขตพื้นที่ป่าชายเลนคงสภาพ ดังแสดงใน Figure 11

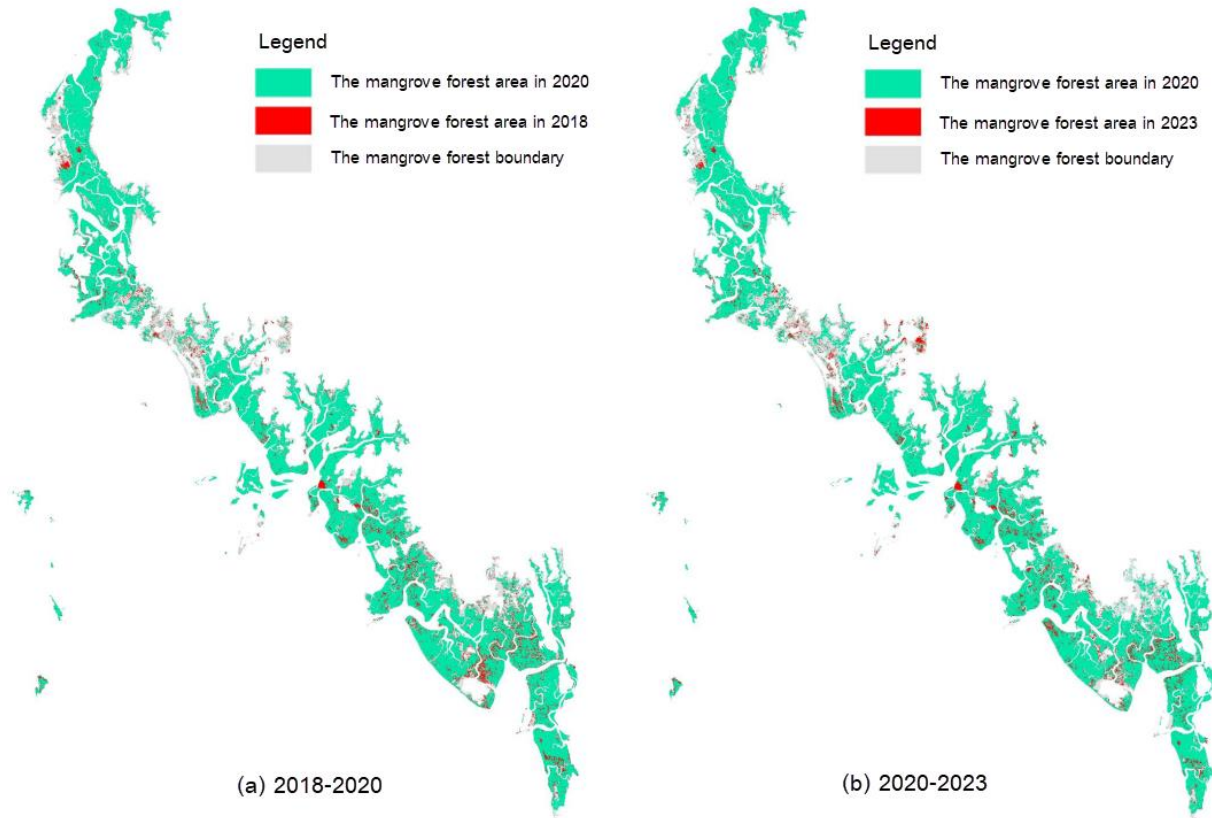


Figure 11 Overlay of Mangrove Areas in Satun Province (a) 2018-2020 (b) 2020-2023

จาก Figure 11 (a) เมื่อนำพื้นที่ป่าชายเลน พ.ศ. 2561 มาซ้อนทับกับพื้นที่ป่าชายเลน พ.ศ. 2563 (พื้นที่สีเขียว) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลง พื้นที่สีแดงหมายถึงพื้นที่ที่เป็นป่าชายเลนใน พ.ศ. 2563 ที่ลดลงจาก พ.ศ. 2561 และ Figure 11 (b) เป็นการนำพื้นที่ป่าชายเลน พ.ศ. 2563 (พื้นที่สีเขียว) มาซ้อนทับกับพื้นที่ป่าชายเลน พ.ศ. 2566 โดยพื้นที่สีแดงหมายถึงพื้นที่ที่เป็นป่าชายเลนใน พ.ศ. 2566 ที่เพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2563

Discussion

ผลการประยุกต์ Google Earth Engine ร่วมกับแบบจำลองแบบ RF เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของป่าชายเลนในจังหวัดสตูล พบว่า Google Earth Engine สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงของป่าชายเลน ในด้านเรียกใช้ข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 ผ่านฐานข้อมูล Earth Engine Data Catalog และประมวลผลการเตรียมข้อมูลก่อนการจำแนก (คัดเลือกข้อมูลดาวเทียมในช่วงเวลาที่กำหนด การเฉลี่ยจุดภาพให้สมดุลกัน หรือการขจัดเมฆในพื้นที่ศึกษา) หรือการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินร่วมกับแบบจำลองแบบ RF ที่สามารถกระทำผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งมีค่าความ

ถูกต้องโดยรวมมากกว่าร้อยละ 80 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ระหว่าง 0.6 – 0.8 แสดงถึงความน่าเชื่อถือในระดับยอมรับได้ โดยไร้ข้อจำกัดเรื่องความสามารถของอุปกรณ์ และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากปริมาณของข้อมูลทางภูมิสารสนเทศที่มีขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยการสำรวจระยะไกลแบบดั้งเดิม ทั้งยังลดปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ และลดข้อจำกัดในการเข้าถึงซอฟต์แวร์ที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shelestov *et al.* (2017) แต่สำหรับการประมวลผลในพื้นที่อื่น ๆ ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์และการใช้ดัชนีพืชพรรณตามบริบทของพื้นที่ เพื่อผลต่อความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในระดับที่ยอมรับได้

ผลการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในปี พ.ศ. 2561 พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2566 สามารถจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนได้เท่ากับ 218,246.250, 211,191.875, และ 214,958.831 ไร่ ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับรายงานของรัฐที่ได้จัดทำไว้เมื่อ พ.ศ. 2557 พบพื้นที่ป่าชายเลนคงสภาพมีจำนวน 220,273.990 ไร่ (Department of Marine and Coastal Resources, 2018) ถือว่าเป็นจำนวนพื้นที่ที่ใกล้เคียงกัน แสดงถึงความสอดคล้องและความน่าเชื่อถือระหว่างผลการวิเคราะห์กับรายงานของรัฐ เมื่อนำพื้นที่ป่าชายเลนที่ได้จากการจำแนกใน พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2563 มาซ้อนทับกันพบว่ามีพื้นที่ป่าชายเลนลดลงร้อยละ 2.373 มีการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าชายเลนไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรมมากที่สุด เนื่องจากการขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรมรุกล้ำเข้าไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ป่าชายเลน รวมถึงการลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนมีสาเหตุจากการเข้าไปตัดไม้โกงกางสำหรับสร้างที่อยู่อาศัยและเผาถ่านเพื่อเป็นรายได้ของชาวบ้าน ซึ่งเป็นข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามและการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ (Kittipat Lapchurat, personal communication, July 20, 2024) อีกส่วนหนึ่งในพื้นที่ที่มีการจับสัตว์น้ำและกิจกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (นากุ้ง) ในพื้นที่ส่งผลกระทบต่อการจำแนกภาพข้อมูลดาวเทียมเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ทำให้ภาพข้อมูลดาวเทียมและการจำแนกมีความต่างไปจากสภาพปกติ

ผลการจำแนกใน พ.ศ. 2563 ถึง พ.ศ. 2566 พบว่า มีป่าชายเลนในจังหวัดสตูลเพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 1.267 เป็นผลมาจากเจ้าหน้าที่เคร่งครัดในการทวงคืนพื้นที่ป่าชายเลนจากการบุกรุกเข้าไปใช้ประโยชน์ ตามแผนปฏิบัติการ “เพิ่มและฟื้นฟูพื้นที่ป่าชายเลน” (ทวงคืนพื้นที่ป่าชายเลน) ในเขตป่าสงวนแห่งชาติ ป่าชายเลนตอนที่ 5 จังหวัดสตูล และป่าชายเลนตามมติ ครม. (Department of Marine and Coastal Resources, 2021) สืบเนื่องจากมติคณะรัฐมนตรี พ.ศ. 2563 เห็นชอบตามกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม หากหน่วยงานใดเข้าไปทำประโยชน์ก่อนได้รับอนุญาตให้พิจารณาดำเนินการตามกฎหมายอย่างเคร่งครัด เพื่อมุ่งหวังในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อให้เป็นพื้นที่ป่าชายเลนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับนโยบายของประเทศไทยที่มีความต้องการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยป่าชายเลนถือเป็นความหวังสำคัญในการนำมาใช้แลกเปลี่ยนคาร์บอนเครดิต หรือใช้ในการชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของตนเองจากการปลูกป่าในพื้นที่ที่รัฐดูแล และหน่วยงานที่ได้รับอนุญาตเข้าทำประโยชน์ในพื้นที่ป่าชายเลนต้องจัดสรรงบประมาณให้กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง เพื่อเป็นค่าใช้จ่ายในการปลูกและบำรุงป่าชายเลนทดแทนเพื่อการอนุรักษ์หรือรักษาสภาพแวดล้อมส่งผลให้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของพื้นที่ป่าชายเลนในปัจจุบัน

การประยุกต์ใช้ GEE สามารถนำมาติดตามการเปลี่ยนแปลงของป่าชายเลนได้เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Kingsley & Bhuiyan (2024) ที่ได้นำ GEE มาช่วยติดตามการเปลี่ยนแปลงป่าชายเลนในประเทศบังคลาเทศและอินเดีย จากการประมวลผลด้วยข้อมูลจากชุดข้อมูลดาวเทียม MODIS เพื่อสร้างดัชนี NDVI และข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว แต่ข้อจำกัดของ GEE ในส่วนความละเอียดเชิงพื้นที่ เช่น ความคลุมเครือระหว่างป่าชายเลนกับพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำขนาดเล็ก เมื่อใช้ภาพถ่ายดาวเทียมอาจมีข้อจำกัดในการจำแนก ซึ่งอาจใช้เทคโนโลยีสำรวจความละเอียดสูงเข้าร่วมในการเก็บข้อมูลหรือวิเคราะห์ข้อมูล เช่น Li *et al.* (2024) ได้นำอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ติดตั้งเซ็นเซอร์ LiDAR เพื่อใช้ติดตามป่าชายเลน รวมถึงการประมาณการกักเก็บคาร์บอนของป่าชายเลน (Megha *et al.*, 2024) ในแต่ละชนิดของพืชพรรณ เพื่อยกระดับในการสำรวจป่าชายเลนและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนต่อไป

Conclusions

ผลการประยุกต์ใช้ GEE ช่วยให้การประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมออนไลน์เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ลดข้อจำกัดด้านฮาร์ดแวร์และลิขสิทธิ์ของซอฟต์แวร์ โดยสามารถเรียกใช้และประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยไม่จำเป็นต้องดาวน์โหลดข้อมูล อย่างไรก็ตาม มีข้อจำกัดในการประมวลผลข้อมูลปริมาณมาก จึงต้องแบ่งการประมวลผลเป็นส่วน ๆ และข้อจำกัดในด้านความละเอียดเชิงพื้นที่ โดยเฉพาะในการจำแนกระหว่างป่าชายเลนกับพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำขนาดเล็ก ผลการศึกษาพบว่า การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินด้วย GEE สามารถให้ผลลัพธ์จากผลการจำแนกมีความถูกต้องโดยรวมมากกว่าร้อยละ 80 ค่าสัมประสิทธิ์แคปปามีค่าระหว่าง 0.6 ถึง 0.8 บ่งชี้ถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูลอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าชายเลนในช่วง 6 ปี ซึ่งการศึกษานี้ถือเป็นก้าวสำคัญในการนำเทคโนโลยีดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการอนุรักษ์ป่าชายเลน เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนได้อย่างมีประสิทธิภาพในเวลาปัจจุบัน สามารถนำไปใช้ในการติดตามและประเมินผลการดำเนินงานของโครงการอนุรักษ์ป่าชายเลนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนในระยะยาว

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยนี้ คือ เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกเพิ่มมากขึ้น อาจใช้ดัชนีที่จำแนกป่าชายเลนได้โดยตรงคือ ดัชนีป่าชายเลน (Mangrove Index, MI) ที่เคยนำมาติดตามป่าชายเลนในประเทศอินโดนีเซีย (Winarso *et al.*, 2023) แต่การนำดัชนี MI ไปใช้จำเป็นต้องทดลองศึกษาในพื้นที่ป่าชายเลนในแต่ละภูมิภาค เพื่อทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพ สำหรับนำไปใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชายเลนทั่วโลก เพื่อใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรป่าชายเลนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถหาแนวทางในการป้องกันและอนุรักษ์พื้นที่ป่าชายเลนให้มีความอุดมสมบูรณ์ต่อไป

References

- Chen, B., Xiao, X., Li, X., Pan, L., Doughty, R., Ma, J., Dong, J., Qin, Y., Zhao, B., Wu, Z., Sun, R., Lan, G., Xie, G., Clinton, N., & Giri. (2017). C. A mangrove forest map of China in 2015: Analysis of time series Landsat 7/8 and Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine cloud computing platform, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 131, 104-120. doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.011.
- Department of Marine and Coastal Resources. (2018). *Marine and Coastal Resources Data of Satun Province*. Retrieved from <https://www.dmcr.go.th/detailLib/3747>.
- Department of Marine and Coastal Resources. (2021). *Assessment of Mangrove Forest Areas in Encroached Sites*. Retrieved from <https://www.dmcr.go.th/detailAll/52950/nws/22>.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83, (1-2), 195-213. doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25 (3), 295-309 . doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X.
- Kingsley, K, & Bhuiyan A. (2024). Assessing changes in land cover, NDVI, and LST in the Sundarbans mangrove forest in Bangladesh and India: A GIS and remote sensing approach, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 36, 101289. doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101289.
- Li, S., Zhu, Z., Deng, W., Zhu, Q., Xu, Z., Peng, B., Guo, F., Zhang, Y., & Yang, Z. (2024). Estimation of aboveground biomass of different vegetation types in mangrove forests based on UAV remote sensing. *Sustainable Horizons*, 3(11), 100100 .doi.org/10.1016/j.horiz.2024.100100.
- Lu, C., Liu, J., Jia, M., Liu, M., Man, W., Fu, W., Zhong, L., Lin, X., Su, Y., & Gao, Y. (2018). Dynamic Analysis of Mangrove Forests Based on an Optimal Segmentation Scale Model and Multi-Seasonal Images in Quanzhou Bay, China. *Remote Sensing*, 10(12), 2020. doi.org/10.3390/rs10122020.

Mangrove Resources Promotion and Development Subdivision. (2016). *Thai Mangrove Forest*.

Retrieved from <https://dmcrth.dmcr.go.th/manpro>.

Megha, B., Nophea, S., Takuji W., Manjunatha ,V., Issei .A,& Rajendra, P.(2024), Assessing changes in mangrove forest cover and carbon stocks in the Lower Mekong Region using Google Earth Engine, *Innovation and Green Development*, 3 (3), 100140. doi.org/10.1016/j.igd.2024.100140.

Nasiri, V., Deljouei, A., Moradi, F., Sadeghi, S.M.M., & Borz, S.A. (2022), Land Use and Land Cover Mapping Using Sentinel-2, Landsat-8 Satellite Images, and Google Earth Engine: A Comparison of Two Composition Methods. *Remote Sens*, 14 (9), 1977. doi.org/10.3390/rs14091977.

Pimple, U., Simonetti, D., Sitthi, A., Pungkul, S., Leadprathom, K., Skupek, H., Som-ard, J., Gond, V., & Towprayoon, S. (2017). Google Earth Engine Based Three Decadal Landsat Imagery Analysis for Mapping of Mangrove Forests and Its Surroundings in the Trat Province of Thailand. *Journal of Computer and Communications*, 6, 247-264. doi.org/10.4236/jcc.2018.61025.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A.,& Deering, D.W., (1973). Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt, NASA SP-351, pp. 3010–3017.

Shelestov, A., Lavreniuk, M., Kussul, N., Novikov, A.,& Skakun, S. (2017). Exploring Google Earth Engine Platform for Big Data Processing: Classification of Multi-Temporal Satellite Imagery for Crop Mapping. *Sec. Environmental Informatics and Remote Sensing*, 5 – 2017. doi.org/10.3389/feart.2017.00017.

Winarso, G., Rosid, M., Kamal, M., Asriningrum, W., Margules, C.,& Supriatna, J. (2023). Comparison of Mangrove Index (MI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the detection of degraded mangroves in Alas Purwo Banyuwangi and Segara Anakan Cilacap, Indonesia. *Ecological Engineering*, 197, 107119. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107119.