



การศึกษาชี้ลักษณะของป่าพรุด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2: กรณีศึกษา จังหวัดภูเก็ต

วีรนนท์ สงสม* และ วีระพงศ์ เกิดสิน

คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

ศูนย์ฝึกอบรมและบริการด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

สุรเชษฐ์ ปิ่นแก้ว และ จุฑาพร เกษร

คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 6297 3740 อีเมล: veeranun.s@phuket.psu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.03.013

รับเมื่อ 29 มีนาคม 2565 แก้ไขเมื่อ 2 มิถุนายน 2565 ตอรับเมื่อ 9 มิถุนายน 2565 เผยแพร่ออนไลน์ 29 มีนาคม 2567

© 2024 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชี้ลักษณะของป่าพรุในจังหวัดภูเก็ตด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และประเมินความสัมพันธ์กับปัจจัยทางสภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน รวมทั้งความชื้นในใบไม้ (Leaf Water Content) ดัชนีพืชพรรณสำหรับการศึกษานี้มี 4 ชนิด คือ ดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (Enhanced Vegetation Index; EVI) ดัชนีเน้นภาพพืชพรรณแบบ 2 ช่วงคลื่น (Two-Band Enhanced Vegetation Index; EVI2) ดัชนีความต่างของพืชพรรณด้วยช่วงคลื่นแสงสีเขียว (Green Normalized Difference Vegetation Index; GNDVI) และดัชนีผลต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) ดัชนีทั้ง 4 ชนิด ถูกนำไปคำนวณค่าเฉลี่ยรายเดือนจาก พ.ศ. 2559–2564 และปรับค่าความเรียบ (Smoothed) เพื่อปรับแก้ผลกระทบจากสัญญาณรบกวนในชั้นบรรยากาศ ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะชี้ลักษณะของป่าพรุสอดคล้องกับดัชนี NDVI และ GNDVI โดยให้ค่าสูงสุด 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน และสูงสุดอีกครั้งในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับปัจจัยสภาพอากาศพบว่า ดัชนี EVI และ EVI2 มีความสัมพันธ์กันสูงกับอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และความชื้นในใบไม้ ในขณะที่ดัชนี NDVI และ GNDVI มีความสัมพันธ์ต่ำกับปัจจัยสภาพอากาศทั้งหมด เนื่องจากพืชอาจไม่ได้ตอบสนองต่อปัจจัยดังกล่าวอย่างทันทีทันใด การศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบสำหรับการบริหารจัดการทรัพยากรป่าพรุที่สัมพันธ์กับช่วงเวลาหรือฤดูกาลได้

คำสำคัญ: ชีพลักษณะ ป่าพรุ ดาวเทียมเซนติเนลสอง ดัชนีพืชพรรณ ภูเก็ต

การอ้างอิงบทความ: วีรนนท์ สงสม, สุรเชษฐ์ ปิ่นแก้ว, จุฑาพร เกษร และ วีระพงศ์ เกิดสิน, “การศึกษาชี้ลักษณะของป่าพรุด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2: กรณีศึกษา จังหวัดภูเก็ต,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 34, ฉบับที่ 2, หน้า 1–12, เลขที่บทความ 242-205898, เม.ย.-มิ.ย. 2567.



Peat Swamp Forest Phenology Based on Sentinel-2 Images: Case Study at Phuket Province

Veeranun Songsom* and Werapong Keodsinn

Faculty of Technology and Environment Prince of Songkla University Phuket campus, Phuket, Thailand

Geoinformatics Services and Training Center Faculty of Technology and Environment Prince of Songkla University Phuket campus, Phuket, Thailand

Surachet Pinkeaw and Jutaporn Keson

Faculty of Technology and Environment Prince of Songkla University Phuket campus, Phuket, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 6297 3740, E-mail: veeranun.s@phuket.psu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.03.013

Received 29 March 2022; Revised 2 June 2022; Accepted 9 June 2022; Published online: 29 March 2024

© 2024 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The objectives of this research are to study the phenology of peat swamp forest in Phuket province, Thailand using Sentinel-2 images and to evaluate it in correlation with climate factors: temperature, rainfall, and leaf water content. Four vegetation indices: Enhanced Vegetation Index (EVI), Two-Band Enhanced Vegetation Index (EVI2), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI), and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were applied. Four indices from 2016 to 2021 were averaged into the monthly data and smoothed to reduce the noise signal from the atmosphere. The results demonstrate that NDVI and GNDVI show at the two peaks of the season: August/September and January/February of the following year. The relationships between EVI and EVI2 and temperature, rainfall, and leaf water content were significant. However, both NDVI and GNDVI show low relationships because the vegetation did not respond immediately to the factors. This research can be applied to peat swamp forest management for season or time-related protection and conservation.

Keywords: Phenology, Peat Swamp Forest, Sentinel-2, Vegetation Index, Phuket

Please cite this article as: V. Songsom, S. Pinkeaw, J. Keson, and W. Keodsinn, "Peat swamp forest phenology based on Sentinel-2 images: Case study at Phuket province," *The Journal of KMUTNB*, vol. 34, no. 2, pp. 1–12, ID. 242-205898, Apr.–Jun. 2024 (in Thai).

1. บทนำ

ป่าพรุ (Peat Swamp Forest) เป็นสังคมพืชป่าไม้ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะทางโครงสร้างที่แตกต่างจากป่าไม้ประเภทอื่น ๆ พบในภูมิภาคที่มีลักษณะเป็นที่ลุ่มต่ำใกล้ชายฝั่ง โดยมีแอ่งน้ำจืดขังติดต่อกันเป็นเวลานาน [1]–[3] ป่าพรุมีระบบนิเวศที่หลากหลายครอบคลุมทั้งพืชพรรณบนบก พืชน้ำ สัตว์บก และสัตว์น้ำ ป่าพรุยังมีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจในด้านอุปโภคและบริโภคภายในชุมชนอีกด้วย เช่น ผลิตภัณฑ์จักสาน อาหาร สมุนไพร และเครื่องสำอาง [4]–[6] นอกจากนี้ป่าพรุเป็นแหล่งกักเก็บน้ำจืดขนาดใหญ่ รวมทั้งเป็นแหล่งเก็บคาร์บอน [7], [8] ที่สำคัญ

ภูเก็ตถือเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีทรัพยากรป่าไม้หลากหลายชนิด ได้แก่ ป่าดิบชื้น ป่าชายหาด ป่าชายเลน รวมทั้งป่าพรุ อย่างไรก็ตาม [9] วิจัยพบว่า ป่าไม้ (ยกเว้นป่าชายเลน) ในจังหวัดภูเก็ตมีเนื้อที่ลดลงประมาณร้อยละ 40 จาก พ.ศ. 2532–2554 นอกจากนี้จากการพิจารณาข้อมูลเชิงพื้นที่ของกรมป่าไม้ซึ่งเผยแพร่อยู่ในเว็บไซต์ <http://www.forest.go.th> พบว่า พื้นที่ป่าพรุในจังหวัดภูเก็ตไม่ถูกรายงานอยู่ในฐานข้อมูลดังกล่าวมาจนถึง พ.ศ. 2563 โดยถูกรายงานเป็นพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่า ทั้งนี้ [10] รายงานว่าใน พ.ศ. 2545 ป่าพรุในจังหวัดภูเก็ตมีทั้งหมด 10 แห่ง ประกอบด้วย ป่าพรุเจ๊ะสัน ป่าพรุจิก ป่าพรุแหลมหยุด ป่าพรุยาว ป่าพรุจุด ป่าพรุหลังวัดไม้ขาว ป่าพรุทุ่งเตียน ป่าพรุยายรัตน พรุเปิดน้ำ และพรุทับเคย แต่ในปัจจุบันพบว่า พื้นที่ป่าพรุเหลือเพียง 8 แห่ง เท่านั้นที่ได้จดทะเบียนเป็นหนังสือสำคัญสำหรับที่หลวง เนื่องจากพื้นที่ป่าพรุเปิดน้ำ และป่าพรุทับเคย ไม่มีสภาพของป่าพรุหลงเหลืออยู่ และป่าพรุที่มีความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณมากมีเพียง 2 แห่ง คือ ป่าพรุจิกและป่าพรุจุด [10]–[12] ดังนั้นการศึกษาป่าพรุในจังหวัดภูเก็ตจึงเป็นสิ่งสำคัญและเร่งด่วนมากเพื่อที่จะหาแนวทางในการอนุรักษ์ป่าพรุต่อไป

การศึกษาป่าพรุส่วนใหญ่เน้นไปทางด้านความหลากหลายทางชีวภาพและการใช้ประโยชน์ ซึ่งการศึกษาดังกล่าวอาจยังไม่รอบด้าน คุณลักษณะหนึ่งของพืชพรรณที่มีผู้ศึกษาน้อยคือ ชีพลักษณะ โดยชีพลักษณะคือ การศึกษาฤดูกาลการเจริญเติบโตของพืชในรอบปี เช่น ช่วงเวลาการผลิใบ ใบแก่

ใบร่วง รวมทั้งการออกดอกและออกผล ซึ่งฤดูกาลของพืชสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศ [13]–[15] ทั้งปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ วิธีการดั้งเดิมที่ใช้ศึกษาชีพลักษณะคือ การลงพื้นที่เก็บข้อมูลในภาคสนามเพื่อบันทึกช่วงเวลาตามสถานะการเจริญเติบโตของพืช โดยผู้วิจัยอาจต้องลงพื้นที่เป็นประจำทุกเดือน ซึ่งวิธีการดังกล่าวไม่เหมาะสมกับพื้นที่บริเวณกว้างและระยะเวลาที่ยาวนาน อีกทั้งการวิจัยอาจต้องสูญเสียเวลา งบประมาณและบุคลากรเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อลดการสูญเสียดังกล่าวและให้การศึกษาศีพลักษณะครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างและยาวนานขึ้น เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลหรือภาพถ่ายดาวเทียมเป็นเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้งาน ทั้งนี้การวิเคราะห์ชีพลักษณะของพืชด้วยภาพถ่ายดาวเทียมสามารถบ่งชี้ความเปลี่ยนแปลงของพืชทั้งในรูปแบบเชิงเวลาและพื้นที่ [16] การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเป็นการศึกษาระดับความเขียวของใบไม้ด้วยดัชนีพืชพรรณ โดยค่าดัชนีน้อยบ่งชี้ว่าพืชมีความเขียวน้อย ในทางตรงข้ามค่าดัชนีมากแสดงให้เห็นถึงพืชมีความเขียวมาก ทั้งนี้ดัชนีพืชพรรณที่ใช้ศึกษาชีพลักษณะของพืชมีหลายชนิด เช่น ดัชนีความต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) ใช้ศึกษาชีพลักษณะของป่าชายเลน [17] พืชไร่ [18], [19] ดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (Enhanced Vegetation Index; EVI) ใช้ในการศึกษาชีพลักษณะของป่าชายเลน [15], [20] พืชไร่ [18], [21] และพื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) [22] จากการสืบค้นงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ยังไม่มีการศึกษาชีพลักษณะของป่าพรุด้วยภาพถ่ายดาวเทียมในประเทศไทย โดยมีเพียงการศึกษาเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณป่าพรุค่าชะโนด จังหวัดอุดรธานี ด้วยดัชนี NDVI [23] เท่านั้น อย่างไรก็ตามป่าค่าชะโนดเป็นป่าบึงน้ำจืด (Fresh Water Swamp Forest) [2] ซึ่งมีสังคมป่าแตกต่างจากป่าพรุ (Peat Swamp Forest) ในจังหวัดภูเก็ตที่อยู่ใกล้ชายฝั่ง [2]

ดังนั้นเพื่อให้การศึกษาศีพลักษณะของป่าพรุด้วยภาพถ่ายดาวเทียมสามารถสร้างความเข้าใจต่อลักษณะผืนป่าซึ่งมีผลต่อการพัฒนาในพื้นที่ ดังที่ [2] ได้กล่าวไว้ว่า “การพัฒนาพื้นที่ป่าพรุแบบกักความเท่ากับเป็นการทำลายป่าพรุ”

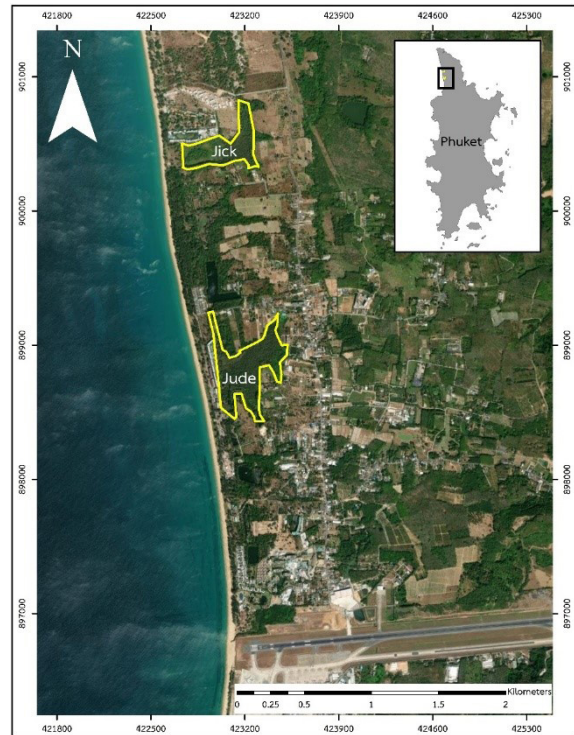
งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์คือ 1) ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลเพื่อศึกษาซีฟลักซ์ของป่าพรุในจังหวัดภูเก็ตด้วยดัชนีพืชพรรณที่หลากหลาย และ 2) ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างซีฟลักซ์ของป่าพรุกับปัจจัยทางสภาพอากาศ ทั้งนี้การหาความสัมพันธ์ระหว่างซีฟลักซ์ของป่าพรุกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องสามารถเพิ่มความเข้าใจรูปแบบการเจริญเติบโตของพืชพรรณในป่าพรุได้มากขึ้น การศึกษานี้จึงเป็นการเพิ่มคุณค่าทางวิชาการโดยสามารถนำไปสู่การจัดการพื้นที่ป่าพรุอย่างมีแบบแผน เพราะป่าพรุส่วนใหญ่กำลังถูกคุกคามและเสื่อมโทรมลงอย่างรวดเร็ว ประโยชน์ของงานวิจัยนี้ทำให้ทราบดัชนีพืชพรรณ เวลาและพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการจัดการพื้นที่ป่าพรุในจังหวัดภูเก็ต

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

จังหวัดภูเก็ตมีทรัพยากรป่าพรุหลงเหลืออยู่เพียงผืนเดียว คือ ป่าพรุบ้านไม้ขาว ตำบลไม้ขาว อำเภอลาดสูง ซึ่งอยู่ในบริเวณชายฝั่งทะเลทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของจังหวัดภูเก็ต ป่าพรุบ้านไม้ขาวถูกตัดขาดออกจากกันโดยป่าพรุที่ได้รับการจดทะเบียนเป็นหนังสือสำคัญสำหรับที่หลวงมี 8 แห่ง โดยป่าพรุที่มีความอุดมสมบูรณ์ด้านทรัพยากรป่าไม้และสัตว์ป่ามากที่สุด คือ ป่าพรุจิกและป่าพรุจูด ส่วนป่าพรุอื่นได้ถูกปรับเปลี่ยนเป็นแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภค รวมทั้งสันหนนาการ [10]–[12] ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกป่าพรุจิก และป่าพรุจูด (รูปที่ 1) เป็นพื้นที่ศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการพื้นที่ป่าพรุในจังหวัดภูเก็ต โดยป่าพรุจิกมีเนื้อที่ประมาณ 77 ไร่ (0.12 ตารางกิโลเมตร) อยู่ห่างจากสนามบินนานาชาติภูเก็ตไปทางทิศเหนือประมาณ 3.5 กิโลเมตร ป่าพรุจิกได้รับการจดทะเบียนเป็นหนังสือสำคัญสำหรับที่หลวง เมื่อวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2529 ในส่วนของป่าพรุจูดมีเนื้อที่ประมาณ 127 ไร่ (0.20 ตารางกิโลเมตร) อยู่ห่างจากสนามบินนานาชาติภูเก็ตไปทางทิศเหนือประมาณ 2 กิโลเมตร และได้รับการจดทะเบียนเป็นหนังสือสำคัญสำหรับที่หลวง เมื่อวันที่ 17 ตุลาคม พ.ศ. 2548

จากการลงพื้นที่สำรวจภาคสนามเพื่อพิจารณาสภาพ



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาบริเวณป่าพรุจิก (Jick) และป่าพรุจูด (Jude) ตำบลไม้ขาว อำเภอลาดสูง จังหวัดภูเก็ต

พื้นที่ศึกษาทั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนพบว่า ลักษณะพื้นที่ของป่าพรุจูดในทิศตะวันตกจรดทิศเหนือเป็นพื้นที่แห้งในช่วงฤดูแล้งและมีน้ำทางด้านทิศตะวันออก ส่วนพื้นที่ป่าพรุจิกมีน้ำขังในบริเวณด้านทิศตะวันตกของพื้นที่เกือบตลอดทั้งปี แต่ด้านทิศตะวันออกมีน้ำน้อยในช่วงฤดูแล้ง พืชพรรณที่กระจายตัวมากที่สุดของทั้งป่าพรุจูดและป่าพรุจิกคือเสม็ดขาว (*Melaleuca cajuputi* Powell) โดยเสม็ดขาวกระจายอยู่ทั่วทุกบริเวณของป่าพรุจูด แต่ในป่าพรุจิกพบกระจายตัวอยู่มากทางฝั่งทิศตะวันออกและมีผักตบชวาปกคลุมพื้นน้ำอยู่ทั่วบริเวณทางฝั่งทิศตะวันตกของพื้นที่

สำหรับสภาพอากาศของจังหวัดภูเก็ตมี 2 ฤดู คือ ฤดูร้อน (เดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคมของปีถัดไป) และฤดูฝน (เดือนเมษายนถึงเดือนพฤศจิกายน) โดยฝนตกมากที่สุดในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน อุณหภูมิสูงสุดในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน

2.2 ดัชนีพืชพรรณ

งานวิจัยนี้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร ความละเอียดเชิงเวลา 5 วัน พ.ศ. 2559–2564 ซึ่งดาวนี้โหลดผ่าน Google Earth Engine โดยนำมาคำนวณดัชนีพืชพรรณ 4 ชนิด คือ EVI (สมการที่ (1)) ดัชนีเน้นภาพพืชพรรณแบบ 2 ช่วงคลื่น (Two-Band Enhanced Vegetation Index; EVI2) (สมการที่ (2)) ดัชนีความต่างของพืชพรรณด้วยช่วงคลื่นแสงสีเขียว (Green Normalized Difference Vegetation Index; GNDVI) (สมการที่ (3)) และ NDVI (สมการที่ (4)) โดยทั่วไปแล้วดัชนีพืชพรรณที่นิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์พืชพรรณคือ NDVI [17], [19] และ EVI [15], [22] โดย NDVI สัมพันธ์กับความอุดมสมบูรณ์ของพืช ส่วน EVI สอดคล้องกับชีวมวลและสามารถปรับแก้สัญญาณรบกวนจากชั้นบรรยากาศได้ [24] สำหรับ EVI2 ถูกพัฒนาจาก EVI โดยไม่ใช้ช่วงคลื่นสีน้ำเงินแต่ยังคงรักษาประสิทธิภาพให้สามารถปรับแก้ความผิดพลาดจากชั้นบรรยากาศได้เหมือนเดิม [24] ในขณะที่ GNDVI มีความสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบไม้ [17], [25]

$$EVI = 2.5 \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + 6\rho_{Red} - 7.5\rho_{Blue} + 1} \quad (1)$$

$$EVI2 = 2.5 \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + 2.4\rho_{Red} + 1} \quad (2)$$

$$GNDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Green}}{\rho_{NIR} + \rho_{Green}} \quad (3)$$

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \quad (4)$$

โดยที่

ρ_{NIR} คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

ρ_{Red} คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นสีแดง

ρ_{Green} คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นสีเขียว

ρ_{Blue} คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน

2.3 ปัจจัยสภาพอากาศ

สืบเนื่องจากดาวเทียม Sentinel-2 ไม่มีช่วงคลื่นความร้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้ใช้ดัชนีผลต่างสิ่งปลูกสร้าง (Normalized Difference Built-up Index; NDBI) (สมการที่ (5)) เป็นปัจจัยด้านอุณหภูมิ เนื่องจากดัชนี NDBI มีความสัมพันธ์สูงกับอุณหภูมิ [26], [27] และใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากผลิตภัณฑ์หยาดน้ำฟ้า Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station Data (CHIRPS) [28] ความละเอียดเชิงพื้นที่ 5 กิโลเมตร (ดาวนี้โหลดข้อมูลด้วย Google Earth Engine) ทั้งนี้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนใน 1 จุดภาพครอบคลุมทั้งพื้นที่ป่าพรุจิกและป่าพรุจูด ดังนั้นข้อมูลปริมาณน้ำฝนของทั้งสองพื้นที่เป็นค่าเดียวกัน นอกจากนี้งานวิจัยนี้ใช้ดัชนีผลต่างความชื้น (Normalized Difference Water Index; NDWI) (สมการที่ (6)) สำหรับใช้ประเมินความชื้นหรือปริมาณน้ำในใบไม้ (leaf Water Content) [29] โดยที่ความชื้นในใบไม้มากแสดงถึงพืชมีความเขียวมาก ในทางกลับกันหากความชื้นในใบไม้มีน้อยแสดงว่าพืชมีความเขียวน้อย ซึ่งเป็นไปได้ว่าพืชอาจมีฤดูกาลหรือชีพลักษณะ สอดคล้องกับดัชนีตัวนี้

$$NDBI = \frac{\rho_{SWIR1} - \rho_{NIR}}{\rho_{SWIR1} + \rho_{NIR}} \quad (5)$$

$$NDWI = \frac{\rho_{Green} - \rho_{NIR}}{\rho_{Green} + \rho_{NIR}} \quad (6)$$

โดยที่

ρ_{SWIR1} คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น

2.4 การประมวลผล

จากภาพถ่ายดาวเทียมราย 5 วันของดัชนีทั้ง 6 ชนิด (EVI, EVI2, GNDVI, NDVI, NDBI และ NDWI) ถูกแปลงเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน ซึ่งจุดภาพที่ปกคลุมด้วยเมฆถูกนำออกก่อนการคำนวณ หลังจากนั้นนำค่าเฉลี่ยรายเดือนไปปรับค่าที่เกิดจากผลกระทบของชั้นบรรยากาศด้วยโปรแกรม TIMESAT [30] และใช้ตัวกรอง Savitsky-Golay [27] เพื่อ

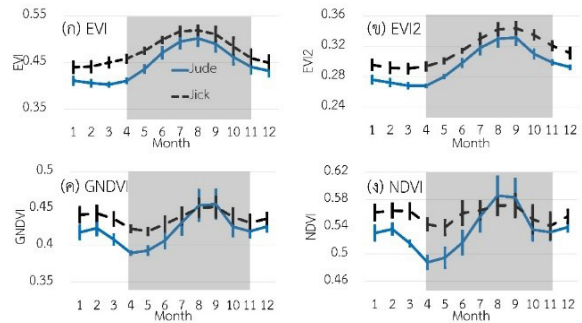
ปรับแก้สัญญาณรบกวนในชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะพื้นที่ป่าฝนเขตร้อน (ประเทศไทย) [15] จากข้อมูลรายเดือนที่ปรับค่าแล้วของทั้ง 6 ปี นำไปคำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนเพื่อใช้เป็นข้อมูลฤดูกาลของป่าพรุ (เช่น ค่าเฉลี่ยเดือนมกราคม คือ ค่าเฉลี่ยของภาพถ่ายเดือนมกราคมของทุกปี) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlate Coefficient; CC) ถูกนำมาใช้สำหรับการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับปัจจัยทางสภาพอากาศ

3. ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ราย 5 วัน แล้วแปลงเป็นรายเดือนจาก พ.ศ. 2559–2564 เพื่อศึกษาซีพลักษณ์ของป่าพรุในจังหวัดภูเก็ต โดยใช้ดัชนีพืชพรรณ 4 ชนิด คือ EVI, EVI2, GNDVI และ NDVI รวมทั้งประเมินความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีทั้ง 4 ชนิด กับปัจจัยด้านสภาพอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิ (NDBI) ปริมาณน้ำฝน และความชื้นในใบไม้ (NDWI)

3.1 ซีพลักษณ์ของป่าพรุ

รูปที่ 2 แสดงลักษณะซีพลักษณ์ของป่าพรุสองพื้นที่คือ ป่าพรุจูด (Jude) กับ ป่าพรุจิก (Jick) ของดัชนีพืชพรรณ 4 ชนิด คือ EVI, EVI2, GNDVI และ NDVI จากรูปแสดงให้เห็นว่าลักษณะซีพลักษณ์ของป่าพรุทั้งสองพื้นที่มีความคล้ายกัน โดยค่าดัชนีของป่าพรุจิกสูงกว่าดัชนีของป่าพรุจูดเล็กน้อย แต่ลักษณะฤดูกาลของดัชนีทั้ง 4 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด คือ มีช่วงเวลาที่ค่าดัชนีพืชพรรณสูงสุด 1 ช่วงและ 2 ช่วง โดยดัชนีที่ให้ค่าสูงสุด 1 ช่วงคือ EVI (รูปที่ 2 (ก)) และ EVI2 (รูปที่ 2 (ข)) ซึ่งลักษณะซีพลักษณ์ของค่าดัชนีทั้งสองนี้ให้ค่าต่ำหรือช่วงเวลาที่พืชมีความเขียวน้อยในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน หลังจากนั้นพืชมีระดับความเขียวสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงช่วงเวลาสูงสุดในเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายนหรือเป็นช่วงเวลาที่พืชมีความเขียวมากที่สุด จากนั้นความเขียวของพืชค่อย ๆ ลดลงจนถึงความเขียวน้อยสุดอีกครั้งหนึ่ง ในขณะที่ GNDVI (รูปที่ 2 (ค)) กับ NDVI (รูปที่ 2 (ง)) แสดงช่วงเวลาที่ดัชนีสูงสุดสองครั้ง โดยพบว่าค่าดัชนีต่ำสุด

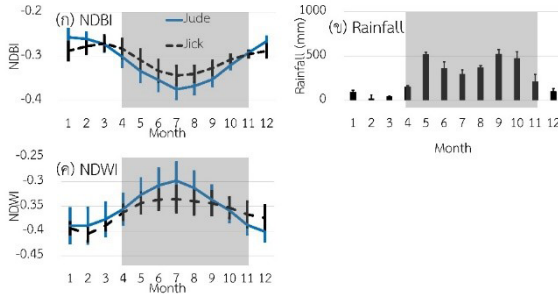


รูปที่ 2 ลักษณะซีพลักษณ์ของป่าพรุจูด (Jude: เส้นทึบสีฟ้า) และป่าพรุจิก (Jick: เส้นประสีดำ) ของทั้ง 4 ดัชนีพืชพรรณประกอบด้วย (ก) EVI (ข) EVI2 (ค) GNDVI และ (ง) NDVI โดยที่เขตสีเทาแสดงช่วงฤดูฝน

อยู่ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม หลังจากนั้นดัชนีมีค่าสูงขึ้นจนถึงช่วงเวลาสูงสุดในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน ต่อมาค่าดัชนีลดลงต่ำอีกครั้งในเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน และค่าดัชนีมีอัตราเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดอีกครั้งในเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างซีพลักษณ์ของป่าพรุกับปัจจัยสภาพอากาศ

ปัจจัยสภาพอากาศสำหรับงานวิจัยนี้มี 3 ชนิด คือ อุณหภูมิโดยอาศัยค่าจากดัชนี NDBI ปริมาณน้ำฝน รวมทั้งความชื้นในใบไม้จากดัชนี NDWI ฤดูกาลของทั้งสามปัจจัยแสดงดังรูปที่ 3 ลักษณะฤดูกาลของสภาพอากาศในพื้นที่ป่าพรุจิกกับป่าพรุจูดเป็นไปในทำนองเดียวกัน โดยที่อุณหภูมิหรือ NDBI (รูปที่ 3 (ก)) มีค่าสูงสุดในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม และต่ำสุดในช่วงเดือนกรกฎาคม ในขณะที่ปริมาณน้ำฝน (รูปที่ 3 (ข)) มีค่าต่ำในช่วงเดือนธันวาคมถึงเมษายนและสูงสุดในเดือนพฤษภาคมกับเดือนกันยายน สำหรับความชื้นในใบไม้ (NDWI) (รูปที่ 3 (ค)) นั้นให้ค่าต่ำสุดในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ และสูงสุดในช่วงเดือนกรกฎาคม เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณของป่าพรุกับปัจจัยสภาพอากาศ (ตารางที่ 1) แล้วพบว่า ดัชนี EVI กับ EVI2 มีความสัมพันธ์สูง ($|CC| > 0.6$) กับปัจจัย



รูปที่ 3 ลักษณะฤดูกาลของปัจจัยทางด้านสภาพอากาศ (ก) NDBI ที่แสดงถึงระดับอุณหภูมิในพื้นที่ (ข) Rainfall และ (ค) NDWI ที่แสดงถึงระดับความชื้นหรือปริมาณน้ำในใบไม้ โดยเส้นทึบสีฟ้าและเส้นประสีดำแสดงถึงค่าดัชนีของป่าพรุจืดและป่าพรุจิก ตามลำดับ ส่วนเขตสีเทาแสดงช่วงฤดูฝน

สภาพอากาศทุกปัจจัย โดยความสัมพันธ์ของปัจจัยความชื้นในใบไม้ และปริมาณน้ำฝนอยู่ในด้านบวก ส่วนอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กันในด้านลบ สำหรับดัชนี GNDVI กับ NDVI มีความสัมพันธ์อยู่ในเกณฑ์ต่ำทั้งหมด ($|CC| < 0.6$) เมื่อพิจารณาขนาดค่าของความสัมพันธ์แล้วพบว่า อุณหภูมิหรือดัชนี NDBI มีความสัมพันธ์กับสัญญาณชีพลักษณะของป่าพรุมากที่สุด รองลงมาคือ ความชื้นในใบไม้ (ดัชนี NDWI) และปริมาณน้ำฝน ตามลำดับ โดยความสัมพันธ์ทั้งหมดมีความสอดคล้องทั้งป่าพรุจืดและป่าพรุจิก (ตารางที่ 1)

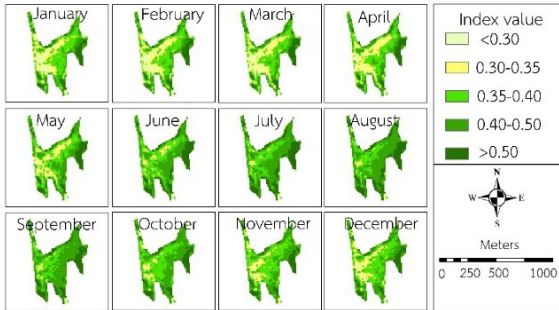
ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับปัจจัยสภาพอากาศของสองพื้นที่

ชื่อป่าพรุ	ดัชนี	อุณหภูมิ	ความชื้นในใบไม้	ปริมาณน้ำฝน
ป่าพรุจืด	EVI	-0.956	0.892	0.759
	EVI2	-0.793	0.707	0.698
	GNDVI	-0.281	-0.087	0.021
	NDVI	-0.354	-0.017	-0.053
ป่าพรุจิก	EVI	-0.953	0.877	0.707
	EVI2	-0.795	0.619	0.643
	GNDVI	0.094	-0.361	-0.218
	NDVI	0.113	-0.366	-0.322

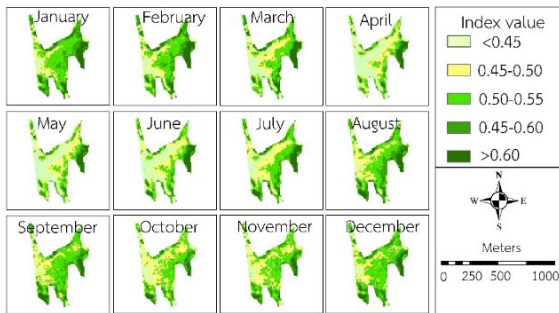
3.3 การเปลี่ยนแปลงความเขียวในเชิงพื้นที่-เวลา

รูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงแผนผังที่การเปลี่ยนแปลงความเขียวในเชิงพื้นที่และเวลาในรอบ 12 เดือนของพื้นที่ป่าพรุจืด และป่าพรุจิก ตามลำดับ โดยแสดงการเปรียบเทียบระหว่างดัชนีพืชพรรณ 2 ชนิด คือ EVI และ NDVI ระดับค่าดัชนีต่ำแสดงถึงพืชพรรณมีความเขียวน้อย (สีครีม) ในทางตรงข้ามระดับค่าดัชนีสูงแสดงถึงความเขียวของพืชพรรณสูง (สีเขียวเข้ม) ลักษณะของระดับค่าดัชนีในแผนที่มีความสอดคล้องกับกราฟของชีพลักษณะตามรูปที่ 2 โดยรวมแล้วตำแหน่งการกระจายของระดับความเขียวของทั้งดัชนี EVI (รูปที่ 4 (ก)) กับ NDVI (รูปที่ 4 (ข)) ของป่าพรุจืดมีความคล้ายคลึงกัน ซึ่งพื้นที่ระดับความเขียวมากกระจายอยู่บริเวณด้านทิศตะวันออกและตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ โดยบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีน้ำท่วมขังอยู่เกือบตลอดทั้งปี ส่วนพื้นที่ที่มีความเขียวน้อยกระจายอยู่ทางด้านตะวันตกของพื้นที่ซึ่งเป็นพื้นที่ที่น้ำแห้งในฤดูแล้ง สำหรับการกระจายของระดับความเขียวของดัชนี EVI กับ NDVI ของป่าพรุจิก (รูปที่ 5) มีลักษณะคล้ายคลึงกันเช่นเดียวกับป่าพรุจืดโดยพื้นที่ที่มีระดับความเขียวมากกระจายอยู่ทางฝั่งทิศตะวันตกและทิศเหนือของพื้นที่ ส่วนพื้นที่ที่มีระดับความเขียวน้อยกระจายอยู่บริเวณทิศตะวันออกของพื้นที่ สอดคล้องกับลักษณะพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังเช่นเดียวกันป่าพรุจืด

เมื่อพิจารณาทิศทางของการเปลี่ยนแปลงระดับความเขียวพบว่า ระดับความเขียวของป่าพรุจืด (รูปที่ 4) ทั้ง EVI และ NDVI มีการกระจายโดยภาพรวมอยู่ในแนวทิศตะวันตก-ทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ เช่น ระดับความเขียวตามดัชนี EVI ซึ่งมากที่สุดในเดือนกรกฎาคม หลังจากนั้นระดับความเขียวน้อย ๆ กระจายลดลงในทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับป่าพรุจิก (รูปที่ 5) ระดับความเขียวกระจายอยู่ในแนวรัศมีวงกลมโดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ กล่าวคือ ระดับความเขียวที่เพิ่มขึ้นเคลื่อนที่เข้าหาจุดศูนย์กลางจนถึงเดือนที่มีความเขียวสูงสุด หลังจากนั้นระดับความเขียวลดลงจากศูนย์กลางไปยังรอบนอกจนถึงเดือนที่มีความเขียวน้อยสุด (มกราคมถึงเดือนมีนาคม) ซึ่งอาจสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในพื้นที่

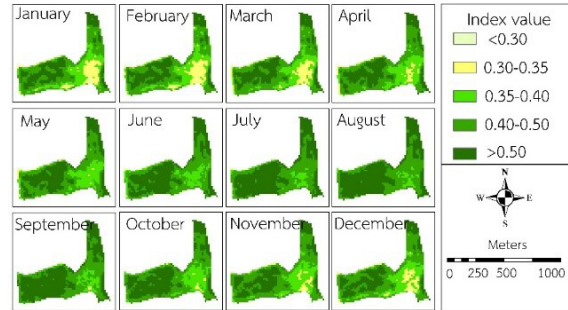


(ก) EVI

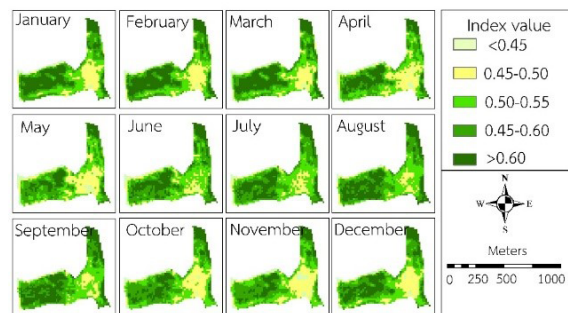


(ข) NDVI

รูปที่ 4 แผนที่ดัชนีพืชพรรณรายเดือนบริเวณป่าพรวุฒ (ก) EVI และ (ข) NDVI



(ก) EVI



(ข) NDVI

รูปที่ 5 แผนที่ดัชนีพืชพรรณรายเดือนบริเวณป่าพรวุฒิก (ก) EVI และ (ข) NDVI

4. อภิปรายผลและสรุป

4.1 ความสอดคล้องระหว่างซีพลักษณ์ของป่าพรวุฒกับดัชนีพืชพรรณ

ผลการศึกษางานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 สามารถตรวจวัดซีพลักษณ์ของป่าพรวุฒได้ทั้งป่าพรวุฒและป่าพรวุฒิก (รูปที่ 2 รูปที่ 4 และรูปที่ 5) ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้ แม้สังคมพืชในป่าพรวุฒเป็นพรรณไม้ไม่ผลัดใบ (Evergreen Forest) เช่นเดียวกับป่าชายเลน [15] อย่างไรก็ตาม ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงลักษณะซีพลักษณ์ของป่าพรวุฒต่างกัน 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 (EVI กับ EVI2) มีค่าสูงสุดและต่ำสุด 1 ช่วง ซึ่งสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน และต่ำสุดเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน และกลุ่มที่ 2 (NDVI กับ GNDVI) มีค่าสูงสุดและต่ำสุด 2 ช่วง โดยมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน และสูงสุดอีกครั้งในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปี

ถัดไป ในขณะที่ค่าต่ำสุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน ทั้งนี้เมื่อตรวจสอบกับเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า เสม็ดขาว (พืชเด่นในพื้นที่ศึกษา) ออกดอกสองช่วงฤดูกาลคือช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม และเดือนสิงหาคมถึงเดือนพฤศจิกายน [31] งานวิจัยของ [32] แสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาของการออกดอกสอดคล้องกับค่าสูงสุดของดัชนี NDVI อีกทั้งซีพลักษณ์ของพืชที่ตรวจวัดจากดัชนี NDVI ยังสอดคล้องกับผลผลิต (Yield) ของพืชด้วย [33] ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าดัชนี NDVI กับ GNDVI (ดัชนีในกลุ่มที่ 2) มีความสอดคล้องกับซีพลักษณ์ของป่าพรวุฒในพื้นที่นี้

4.2 ความแตกต่างของค่าดัชนีในเชิงขนาดและเวลา

เมื่อพิจารณาขนาดของค่าดัชนีทั้ง 4 ชนิดแล้วพบว่าขนาดของดัชนีของป่าพรวุฒิกมีค่าสูงกว่าป่าพรวุฒ (รูปที่ 2) ใน

ทุกดัชนี ทั้งนี้ค่าดัชนีพืชพรรณสามารถบ่งบอกถึงความหนาแน่นหรือความอุดมสมบูรณ์ของพืชได้ [34], [35] ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่าป่าพรุจึกมีความอุดมสมบูรณ์ของพืชสูงกว่าป่าพรุจูด ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในรายงานแผนยุทธศาสตร์การท่องเที่ยวของจังหวัดภูเก็ตที่ระบุว่าป่าพรุจึกมีความอุดมสมบูรณ์มากกว่าป่าพรุจูด [11]

ลักษณะความแตกต่างของชีพลักษณ์ของป่าพรุทั้งกลุ่มที่ 1 (EVI กับ EVI2) และกลุ่มที่ 2 (NDVI กับ GNDVI) ยังคงคลุมเครือ หลายงานวิจัยได้แสดงช่วงเวลาสูงสุดของดัชนี EVI หรือ NDVI เพียงช่วงเวลาเดียว เช่น พื้นที่ป่าชุ่มน้ำ [22] ป่าชายเลน [15], [17] ทั้งนี้ [16] ได้ศึกษาความแตกต่างระหว่างดัชนี NDVI กับ EVI ของป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณหรือป่าผสมผลัดใบด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Terra-MODIS พบว่า ค่าดัชนี NDVI ของพืชพรรณในเดือนที่น้ำน้อยมีความแตกต่างกันมาก ในขณะที่ค่าดัชนี EVI ไม่มีความแตกต่าง จึงอาจกล่าวได้ว่าดัชนี EVI ไม่สามารถใช้ตรวจวัดชีพลักษณ์ของป่าพรุฤดูร้อนได้ อย่างไรก็ตามความแตกต่างของชีพลักษณ์จากดัชนีพืชพรรณอาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ชนิดพืชพรรณที่กระจายอยู่ในพื้นที่ การปกคลุมของพื้นน้ำ ระดับน้ำในพื้นที่ ความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพถ่ายดาวเทียม ดังนั้นความแตกต่างของสัญญาณชีพลักษณ์ของป่าพรุด้วยดัชนีพืชพรรณทั้งสองกลุ่มจึงต้องศึกษาเพิ่มเติมในงานวิจัยอื่น ๆ ต่อไป

4.4 อิทธิพลของสภาพอากาศต่อชีพลักษณ์ของป่าพรุ

ลักษณะชีพลักษณ์ของป่าพรุในพื้นที่นี้สอดคล้องกับปัจจัยสภาพอากาศโดยช่วงเดือนที่ดัชนีมีค่าสูงหรือมีความเขียวมากเป็นช่วงเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนมาก อุณหภูมิ (NDBI) ต่ำ และมีความชื้นในใบไม้ (NDWI) มาก ในทางกลับกันช่วงเดือนที่ดัชนีมีค่าน้อยหรือมีความเขียวน้อยเป็นช่วงเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนน้อย อุณหภูมิสูง และมีความชื้นในใบไม้ น้อย อย่างไรก็ตามดัชนี NDVI กับ GNDVI มีความสัมพันธ์ต่อกับปัจจัยทางสภาพอากาศซึ่งอาจเกิดจากพืชไม่ได้ตอบสนองอย่างทันทีทันใดสอดคล้องกับงานวิจัยของ [15] และ [17] ที่ระบุว่า ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของป่าชายเลนกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีการเลื่อนกัน (Lag) ตั้งแต่ 1-3 เดือน

นอกจากนี้ทั้ง NDVI และ GNDVI มีช่วงสูงสุด 2 ช่วง แต่ปัจจัยทางสภาพอากาศมีแค่ช่วงเดียวทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีกับสภาพอากาศมีค่าน้อย ถึงแม้งานวิจัยนี้ใช้ดัชนี NDVI ที่สอดคล้องกับปริมาณน้ำในใบไม้แล้วก็ตาม

4.5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาของงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าชีพลักษณ์ของป่าพรุมีระดับความเขียวสูงสุด 2 ครั้งต่อปี โดยในช่วงแรกอยู่ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน และสูงสุดอีกครั้งในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปีถัดไป ซึ่งสอดคล้องกับดัชนี NDVI กับ GNDVI การศึกษานี้มีประโยชน์สำหรับการพิจารณาช่วงเดือนและพื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดการป่าพรุซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของการจัดการ เช่น หากเกิดไฟป่าจากเกษตรกรรม ช่วงเดือนธันวาคมถึงมกราคมเป็นช่วงเดือนที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแนวกันไฟ เนื่องจากช่วงเดือนดังกล่าวเป็นช่วงเดือนที่ป่าพรุมีความเขียวน้อยและอยู่ในช่วงฤดูแล้ง ภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละเดือนยังสามารถใช้เป็นตัวช่วยในการเลือกตำแหน่งการสร้างแนวกันไฟได้ โดยตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการสร้างแนวกันไฟในบริเวณป่าพรุจูดอาจอยู่ทางด้านทิศเหนือของพื้นที่เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีความเขียวน้อย (รูปที่ 4 (ข)) ส่วนพื้นที่ของป่าพรุจึกอาจอยู่ในบริเวณทางด้านทิศตะวันออกของพื้นที่ (รูปที่ 5 (ข)) นอกจากนี้ภาพถ่ายดาวเทียมยังสามารถใช้เป็นตัวช่วยในการเลือกพื้นที่สำหรับการพัฒนาเส้นทางศึกษาธรรมชาติในพื้นที่ป่าพรุโดยจุดที่เลือกต้องเป็นจุดที่มีความเขียวน้อยซึ่งเป็นจุดที่ไม่กระทบกับพื้นที่น้ำท่วมขังหรือกระทบกับพืชพันธุ์ที่หายากในตลอดปี

5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้อยู่ภายใต้โครงการความหลากหลายทางชีวภาพของทรัพยากรชายฝั่งภูเก็ตเพื่อการฟื้นฟูและอนุรักษ์สู่การท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนของคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต โดยได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ



เอกสารอ้างอิง

- [1] M. R. C. Posa, L. S. Wijedasa, and R. T. Corlett, "Biodiversity and conservation of tropical peat swamp forests," *Bioscience*, vol. 61, no. 1, pp. 49–57, 2011.
- [2] C. Niyomtham and T. Santiuk, "Swamp forest in Thailand and effect from land development," in *The 23th Kasetsart University Annual Conference*, 1985 (in Thai).
- [3] J. Chukwamdee, A. Anansiriwat, W. Meepon, J. Jintanukun, and S. Hawanon, "The study of distribution in swamp forest Thailand," *Journal of Forest Management*, vol. 1, no. 1, pp. 58–66, 1999 (in Thai).
- [4] C. Rupsung, P. Sunthomhao, and W. Hoamuangkawe, "Utilization and evaluate potential of *Lepironia articulata* (Retz.) in Khuan Khaeng swamp forest of Kumpae village, Cha-uat district, Nakhon Si Thammarat province," in *The 49th Kasetsart University Annual Conference*, 2011, pp. 62–69 (in Thai).
- [5] J. Khoployklang, K. Khoployklang, V. Khoployklang, P. Rongsawat, and T. Prombanchong, "Biodiversity, Botanical characteristics and Anti-oxidative Activity of Plants in Khuan Khreng Peat swamp forest," Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla, Thailand 2019 (in Thai).
- [6] S. Rukkur and P. Visuthismajarn, "Community Potential Development in Value Added Community Production towards the Conversation of Kuan Kreng Peat Swamp Forest," Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla, Thailand, 2017 (in Thai).
- [7] R. M. Sukarna, C. Birawa, and A. Junaedi, "Mapping above-ground carbon stock of secondary peat swamp forest using forest canopy density model landsat 8 oli-tirs: A case study in central kalimantan indonesia," *Environment and Natural Resources Journal*, vol. 19, no. 2, pp. 165–175, 2021.
- [8] N. Si and T. Province, "Value of carbon stock in aboveground biomass of peat swamp forest, Nakhon Si Thammarat province," *RMUTP Research Journal*, vol. 8, no. 2, pp. 2014, 2014 (in Thai).
- [9] N. Payakka and S. Wongsai, "Historical land use and land cover changes, 1989–2011, in Phuket, Thailand," the 1st Annual PSU Phuket International Conference 2012, Phuket, Thailand, 2013.
- [10] Natural Resources and Environmental Policy and Planning, "Biodiversity of Maikaow swamp forest," Bangkok, Thailand, 2002 (in Thai).
- [11] Office of Tourism and Sports Phuket, "Phuket Tourism Strategic Plan in 2018-2021," Phuket, Thailand (in Thai).
- [12] A. Kongpramern, "The development of electronic books for primary students to learn about the swamp forests at Mai Khaw village, in Phuket province," Phuket Rajabhat University, Phuket, Thailand, 2013 (in Thai).
- [13] C. Li, Y. Zou, J. He, W. Zhang, L. Gao, and D. Zhuang, "Response of vegetation phenology to the interaction of temperature and precipitation changes in qilian mountains," *Remote Sensing*, vol. 14, no. 5, pp. 1–24, 2022.
- [14] V. K. Prasad, K. V. S. Badarinath, and A. Eaturu, "Spatial patterns of vegetation phenology metrics and related climatic controls of eight contrasting forest types in India – analysis from



- remote sensing datasets,” *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 107, pp. 95–107, 2007.
- [15] V. Songsom, W. Koedsin, R. J. Ritchie, and A. Huete, “Mangrove phenology and environmental drivers derived from remote sensing in Southern Thailand,” *Remote Sensing*, vol. 11, no. 8, pp. 1–25, 2019.
- [16] K. Mongkolsawat and C. Mongkolsawat, “An approach to using vegetation and water indices of multi-temporal satellite data for drought monitoring through the phenological state of tropical monsoon forest,” *Journal of Remote Sensing and GIS Association of Thailand*, vol. 10, no. 2, 2009 (in Thai).
- [17] J. Pastor-Guzman, J. Dash, and P. M. Atkinson, “Remote sensing of mangrove forest phenology and its environmental drivers,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 205, pp. 71–84, 2018.
- [18] M. Ding, Q. Guan, L. Li, H. Zhang, C. Liu, and L. Zhang, “Phenology-based rice paddy mapping using multi-source satellite imagery and a fusion algorithm applied to the Poyang Lake plain, Southern China,” *Remote Sensing*, vol. 12, no. 6, 2020.
- [19] M. Salinero-Delgado, J. Estévez, L. Pipia, V. P. Gómez, and J. Verrelst, “Monitoring cropland phenology on google earth engine using gaussian process regression,” *Remote Sensing*, vol. 14, no. 1, pp. 1–25, 2022.
- [20] N. Younes, T. D. Northfield, K. E. Joyce, S. W. Maier, N. C. Duke, and L. Lymburner, “A novel approach to modelling mangrove phenology from satellite images: A case study from Northern Australia,” *Remote Sensing*, vol. 12, no. 24, pp. 1–24, 2020.
- [21] T. Sakamoto, M. Yokozawa, H. Toritani, M. Shibayama, N. Ishitsuka, and H. Ohno, “A crop phenology detection method using time-series MODIS data,” *Remote Sensing Environ.*, vol. 96, no. 3–4, pp. 366–374, 2005.
- [22] I. Dronova, S. Taddeo, K. S. Hemes, S. H. Knox, A. Valach, P. Y. Oikawa, K. Kasak, D. D. Baldocchi, “Remotely sensed phenological heterogeneity of restored wetlands: linking vegetation structure and function,” *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 296, 2021.
- [23] P. Ung-aree, S. Prayochmee, and A. Thangthong, “Vegetation monitoring of Kham Chanot swamp forest in dry season using normalized differential vegetation index,” *Udon Thani Rajabhat University Journal of Sciences And Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 17–28, 2018 (in Thai).
- [24] Z. Jiang, A. R. Huete, K. Didan, and T. Miura, “Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 112, no. 10, pp. 3833–3845, 2008.
- [25] A. A. Gitelson, Y. J. Kaufman, and M. N. Merzlyak, “Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS- MODIS,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 58, no. 3, pp. 289–298, 1996.
- [26] H. Yang, C. Xi, X. Zhao, P. Mao, Y. Shi, T. He, and Z. Li, “Measuring the urban land surface temperature variations under Zhengzhou city expansion using landsat-like data,” *Remote Sensing*, vol. 12, no. 5, 2020.



- [27] Y. Feng, C. Gao, X. Tong, S. Chen, Z. Lei, and J. Wang, "Spatial patterns of land surface temperature and their influencing factors: A case study in Suzhou, China," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 2, 2019.
- [28] C. Funk, P. Peterson, M. Landsfeld, D. Pedreros, J. Verdin, S. Shukla, G. Husak, J. Rowland, L. Harrison, A. Hoell, and J. Michaelsen, "The climate hazards infrared precipitation with stations - A new environmental record for monitoring extremes," *Scientific Data*, vol. 2, pp. 1–21, 2015.
- [29] S. McFeeters, "The use of Normalised Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17, no. 7, pp. 1425–1432, 1996.
- [30] P. Jönsson and L. Eklundh, "TIMESAT - A program for analyzing time-series of satellite sensor data," *Computers and Geosciences*, vol. 30, pp. 833–845, 2004.
- [31] K. Jaroenjit, K. Rhimpeng, and K. Lieadpratom, "Spatial distribution of *Melaleuca cajuputi* powell forest and potential of natural resource for local community utilization in the East of Thailand," Faculty of Geo-Informatics Burapha University, Chonburi, Thailand, 2017 (in Thai).
- [32] Y. Zang, X. Chen, J. Chen, Y. Tian, Y. Shi, X. Cao, and X. Cui, "Remote sensing index for mapping canola flowers using modis data," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 23, pp. 1–19, 2020.
- [33] D. M. Johnson, A. Rosales, R. Mueller, C. Reynolds, R. Frantz, A. Anyamba, E. Pak, and C. Tucker, "Usa crop yield estimation with modis ndvi: Are remotely sensed models better than simple trend analyses?," *Remote Sensing*, vol. 13, no. 21, pp. 1–16, 2021.
- [34] B. Bera, S. Saha, and S. Bhattacharjee, "Estimation of Forest Canopy Cover and Forest Fragmentation Mapping Using Landsat Satellite Data of Silabati River Basin (India)," *KN - Journal of Cartography and Geographic Information*, vol. 70, no. 4, pp. 181–197, 2020.
- [35] H. P. La, Y. D. Eo, J. H. Kim, C. Kim, M. W. Pyeon, and H. S. Song, "Analysis of correlation between canopy cover and vegetation indices," *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, vol. 7, no. 11, pp. 10–17, 2013.