

พลวัตการฟื้นตัวภายหลังไฟไหม้และความแห้งแล้งของพรุน้ำจืดในภาคเหนือของไทย:

หลักฐานจากข้อมูลอนุกรมเวลาของดัชนีดาวเทียมเซนติเนล 2

ธนัตชนก ชุ่มมงคล¹, วิภพ แพงวังทอง^{2*}, จิราพร กุลสุนทรรัตน์², จิรเดช ปาระมี², อลงกรณ์ ลั่นใจ²,
อนุกุล ตันสุพล³ และ ดำรง เสียมไหม³

Post-Fire Recovery and Drought Dynamics of a Freshwater Swamp in Northern Thailand: Evidence from Sentinel-2 Index Time-Series Data

Thanatchanok Chommongkol¹, Wipop Paengwangthong^{2*}, Jiraporn Kulsontornrat², Jiradet Paramee²,
Alongkorn Sanjai², Anukul Tansupol³ and Damrong Siammai³

¹ Protected Areas Regional Office 15, Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai, 57000

² Program of Geographic Information Science, School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao, 56000

³ Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Prince of Songkla University, Pattani Campus, Pattani, 94000

* Corresponding author: wipop.pa@up.ac.th

Received: 22 May 2025; Revised: 24 June 2025; Accepted: 27 June 2025

บทคัดย่อ

การรบกวนจากไฟถือเป็นภัยคุกคามสำคัญต่อระบบนิเวศป่าพรุน้ำจืดซึ่งมีความเปราะบางสูง นำไปสู่ความจำเป็นในการติดตามและประเมินผลกระทบเพื่อการฟื้นฟูอย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ข้อมูลอนุกรมเวลารายเดือนจากดาวเทียมเซนติเนล 2 เพื่อวิเคราะห์พลวัตการฟื้นตัวหลังการเกิดไฟและความแห้งแล้งของป่าพรุน้ำจืดในเขตห้ามล่าสัตว์ป่าหนองเล็งทราย จังหวัดพะเยา โดยใช้ 3 ดัชนี ได้แก่ ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ดัชนีความแตกต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Moisture Index: NDMI) และดัชนีความแตกต่างแห้งแล้งแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Drought Index: NDDI) การวิเคราะห์ครอบคลุมช่วงเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2561 ถึงธันวาคม พ.ศ.2567 ผ่านแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน ผลการศึกษาพบว่าการฟื้นตัวซ้ำหลังเหตุการณ์ไฟไหม้ครั้งแรก (11-12 ธันวาคม พ.ศ. 2562) โดยมีความผันผวนตามฤดูกาลปรากฏในดัชนีทั้งหมดด้วย ในขณะที่เหตุการณ์ไฟไหม้ครั้งที่สอง (18-27 เมษายน พ.ศ. 2566) ได้ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงและทำให้แนวโน้มการฟื้นตัวหยุดชะงัก ซึ่งเน้นย้ำถึงความเปราะบางของป่าพรุต่อการรบกวนซ้ำ ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของข้อมูลหลายช่วงเวลาจากภาพดาวเทียมเซนติเนล 2 ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศ และให้ข้อมูลพื้นฐานเชิงพรรณนาที่สำคัญสำหรับวางแผนกลยุทธ์การฟื้นฟูและเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยเชิงปริมาณในอนาคต

คำสำคัญ: ดัชนีดาวเทียม, การฟื้นตัวหลังไฟไหม้, ป่าพรุน้ำจืด, กูเกิลเอิร์ธเอนจิน

¹ สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 15 อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย 57000

² สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

³ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี จังหวัดปัตตานี 94000

Abstract

Fire disturbances pose a significant threat to highly vulnerable freshwater swamp forest ecosystems, necessitating effective monitoring and impact assessment for efficient restoration. This study applies monthly time-series data from the Sentinel-2 satellite to analyze post-fire recovery and drought dynamics of the freshwater swamp forest in Nong Leng Sai Non-Hunting Area, Phayao Province, Thailand. The analysis, conducted on the Google Earth Engine platform from January 2018 to December 2024, utilized three indices: the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Normalized Difference Moisture Index (NDMI), and the Normalized Difference Drought Index (NDDI). The results indicated a slow recovery after the first fire event (December 11–12, 2019), with seasonal fluctuations observed across all indices. However, a second fire event (April 18–27, 2023) caused an abrupt change and disrupted the recovery trend, underscoring the swamp forest's vulnerability to repeated disturbances. This research demonstrates the effectiveness of multitemporal Sentinel-2 imagery in monitoring ecosystem changes, providing a crucial descriptive baseline to inform restoration strategies and guide future quantitative research.

Keywords: Satellite indices, Post-fire recovery, Freshwater swamp forest, Google earth engine

Introduction

เหตุการณ์ไฟไหม้ในพื้นที่ป่าพรุน้ำจืดสร้างความเสียหายรุนแรงและเป็นภัยคุกคามต่อระบบนิเวศ ลักษณะเฉพาะของป่าพรุ เช่น ชั้นดินอินทรีย์วัตถุหนา ทำให้ไฟลุกลามรุนแรง ควบคุมได้ยาก มักลุกลามใต้ดิน และดับไฟได้ยาก ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศอย่างรุนแรง พื้นฟูยาก และปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวนมาก (Page et al., 2002; Ballhorn et al., 2009) ดังนั้นความเสียหายและการฟื้นฟูหลังการเกิดไฟจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง การติดตามการเปลี่ยนแปลงจึงจำเป็นสำหรับการบริหารจัดการพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ (Hoscilo et al., 2011; Davies et al., 2013)

การติดตามการเปลี่ยนแปลงของป่าพรุภายหลังการเผาไหม้โดยใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล เช่น การใช้ข้อมูลจากดาวเทียมในการจัดการพื้นที่หลังเกิดไฟป่า (Lentile et al., 2006; van Leeuwen, 2008) ดาวเทียมเซนติเนล 2 พร้อมเซ็นเซอร์ Multispectral Instrument (MSI) มีความละเอียดเชิงพื้นที่และสเปกตรัมสูง เหมาะสำหรับการศึกษาการฟื้นตัวจากไฟและความแห้งแล้งที่เกิดขึ้น (Drusch et al., 2012; Immitzer et al., 2016; Clerici et al., 2017) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การใช้ภาพดาวเทียมกับเทคนิคอัตราส่วนช่วงคลื่น (Band Ratio) หรือการสร้างดัชนีดาวเทียม (Satellite Index) อาทิเช่น การใช้ดัชนีอัตราส่วนการเผาไหม้แบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Burn Ratio: NBR) เพื่อระบุขอบเขตและความรุนแรงการเผาไหม้ (Key & Benson, 2006; Jin & Sader, 2005; Gitas et al., 2012)

การศึกษานี้ได้เลือกใช้ 3 ดัชนีดาวเทียมที่ทำงานเสริมกัน เพื่อให้ได้มุมมองที่ครอบคลุมการประเมินการฟื้นตัวและสถานะความแห้งแล้งภายหลังการเผาไหม้ โดยเริ่มจากการใช้ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพืชพรรณโดยตรง ควบคู่ไปกับการใช้ดัชนีความแตกต่างความชื้นแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Moisture Index: NDMI) เพื่อประเมินระดับความชื้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งชี้ถึงสถานะความเครียดของพืชและเป็นตัวแปรสำคัญในกระบวนการฟื้นตัว และท้ายที่สุด การใช้ดัชนีความแตกต่างแห้งแล้งแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Drought Index: NDDI) ซึ่งเป็นการสังเคราะห์ข้อมูลจากสองดัชนีแรกที่จะช่วยให้สามารถประเมินสถานะความแห้งแล้งได้อย่างจำเพาะเจาะจงยิ่งขึ้น การวิเคราะห์ดัชนีทั้งสามร่วมกันจึงไม่เพียงแต่แสดงให้เห็น

การฟื้นตัวของมวลชีวภาพ แต่ยังให้ข้อมูลเชิงลึกถึงพลวัตของความชื้นและความแห้งแล้ง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมความเร็วและความสำเร็จของการฟื้นฟูระบบนิเวศป่าพรุ

NDVI เป็นดัชนีที่นิยมใช้วัดความหนาแน่นและสุขภาพของพืชพรรณ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง +1 (Tucker, 1979; Datt et al., 1999; Pettorelli et al., 2005; Huete et al., 2002) โดยค่าที่สูง (เข้าใกล้ +1) หมายถึงพืชพรรณที่สมบูรณ์หนาแน่น ในขณะที่ค่าต่ำ (เข้าใกล้ 0 หรือติดลบ) หมายถึงบริเวณที่ไม่มีพืชพรรณหรือพืชพรรณได้รับความเสียหาย (Lentile et al., 2006; Avetisyan et al., 2022)

NDMI เป็นดัชนีที่ใช้วัดปริมาณความชื้นในพืชพรรณ มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง +1 เช่นกัน โดยค่าที่สูงจะบ่งชี้ถึงปริมาณความชื้นในพืชที่สูง ค่า NDMI ที่ลดลงจึงสะท้อนถึงภาวะแห้งแล้งหรือการที่พืชถูกทำลายจากไฟ (Gao, 1996; Hardisky et al., 1983; Wilson & Sader, 2002)

NDDI เป็นดัชนีที่คำนวณจาก NDVI และ NDMI เพื่อประเมินสถานะความแห้งแล้งในพื้นที่ เมื่อพืชเข้าสู่ภาวะแห้งแล้ง ค่า NDMI จะลดลงก่อน NDVI และส่งผลให้ค่า NDDI เพิ่มขึ้น โดยค่า NDDI ที่เพิ่มสูงขึ้นจะบ่งชี้ถึงสถานะความแห้งแล้งที่รุนแรงขึ้น (Gu et al., 2007; Gu et al., 2008; Stankova, 2023)

การเลือกเขตห้ามล่าสัตว์ป่าหนองเล็งทรายเป็นพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะทางนิเวศวิทยาที่เป็นเอกลักษณ์ของป่าพรุน้ำจืดในภาคเหนือของประเทศไทย (Figure 1) และมีความอ่อนไหวต่อภัยคุกคามจากเหตุการณ์ไฟไหม้ (Nong Leng Sai Non-Hunting Area, 2023; Seub Nakhasathien Foundation, n.d.; Peat Swamp Story, n.d.) พื้นที่แห่งนี้มีประวัติการเกิดไฟป่าซ้ำซ้อนหลายครั้ง (Phayao Provincial Office, 2019; Phayao Provincial Office, 2023a; Phayao Provincial Office, 2023b) อีกทั้งยังเป็นแหล่งอาศัยที่สำคัญของพันธุ์พืชและสัตว์เฉพาะถิ่นหลายชนิด การศึกษาพลวัตการฟื้นตัวในพื้นที่นี้จึงสามารถใช้เป็นกรณีศึกษาสำหรับการจัดการและฟื้นฟูระบบนิเวศในพื้นที่เปราะบางลักษณะเดียวกันได้ (Chazdon, 2008)

อนึ่ง การศึกษานี้จัดเป็นการวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive Research) โดยมีเป้าประสงค์หลักเพื่อติดตามและนำเสนอพลวัตการฟื้นตัวภายหลังการเผาไหม้ในรูปแบบอนุกรมเวลา (Time-series) อย่างเป็นระบบและเป็นครั้งแรกในพื้นที่ศึกษานี้ ดังนั้นการวิเคราะห์จะมุ่งเน้นไปที่การระบุรูปแบบ (Pattern) และแนวโน้ม (Trend) ที่ปรากฏในข้อมูล เพื่อสร้างความเข้าใจในภาพรวมและเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการตั้งสมมติฐานในงานวิจัยเชิงปริมาณในอนาคต มากกว่าการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติซึ่งถูกเสนอแนะให้เป็นขั้นตอนการวิจัยในลำดับถัดไป

Objectives

1. เพื่อประยุกต์ใช้ดัชนีดาวเทียม (NDVI NDMI และ NDDI) ของเซนติเนล 2 ในการติดตามพื้นที่ป่าพรุน้ำจืดที่ถูกเผาไหม้
2. เพื่อวิเคราะห์และนำเสนอแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลาของค่าดัชนีดาวเทียม ด้วยกราฟอนุกรมเวลารายเดือนในพื้นที่ป่าพรุน้ำจืดที่ถูกเผาไหม้

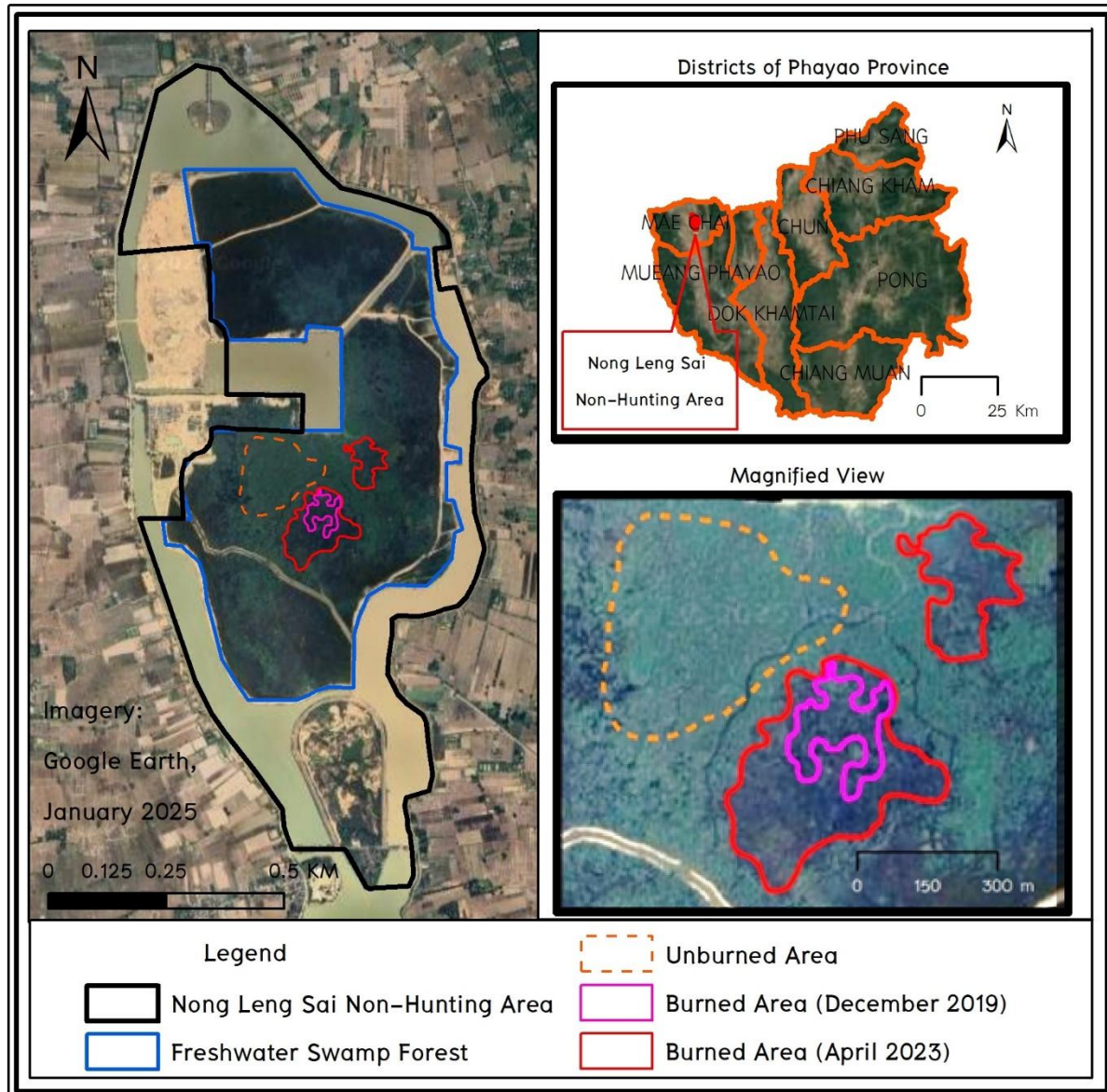


Figure 1 The study area in the Nong Leng Sai Non-Hunting Area, with an inset map showing its location in Phayao Province. The magnified view details the specific polygons for the areas burned in the two fire events and the unburned control area. Background imagery source: Google Earth, January 2025.

Methodology

กระบวนการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การสร้างดัชนีดาวเทียมตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 และการสร้างกราฟอนุกรมเวลารายเดือนของค่าดัชนีดาวเทียมตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 โดยที่ขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดถูกแสดงใน Figure 2 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การสร้างดัชนีดาวเทียม

การเตรียมข้อมูลสำหรับการสร้างดัชนีดาวเทียมประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ส่วนแรก ชั้นข้อมูลเวกเตอร์ขอบเขตพื้นที่ถูกเผาไหม้ที่ถูกสร้างขึ้นให้สอดคล้องกับหลักฐานที่มีอยู่ ได้แก่ ข้อมูลจุดความร้อน ภาพดาวเทียม ณ วันเกิดเหตุและภายหลังเหตุการณ์ รวมไปถึงตำแหน่งค่าพิกัดภาคสนามและแผนที่ขอบเขตพื้นที่ถูกเผาไหม้จากเว็บไซต์ข่าวประชาสัมพันธ์ของ Phayao Provincial Office (2023a) ส่วนที่สอง ข้อมูลภาพดาวเทียมเซนติเนล 2 โดยเรียกใช้ชุดข้อมูล COPERNICUS/S2 ซึ่งมีให้บริการผ่านแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจินในการประมวลผลข้อมูลทั้งหมด (Gorelick et al., 2017) เราได้กำหนดพื้นที่ศึกษา (Area of interest : AOI) และช่วงเวลาที่น่าสนใจโดยใช้ฟังก์ชัน filterBounds และ filterDate จากนั้นจึงนำข้อมูลมาสร้างเป็น 3 ดัชนีดาวเทียม ได้แก่ NDVI NDMI และ NDDI ดังสมการที่ 1-3 ตามลำดับ

$$NDVI = NIR - RED / NIR + RED \quad (\text{Equation 1})$$

$$NDMI = NIR - SWIR / NIR + SWIR \quad (\text{Equation 2})$$

$$NDDI = NDVI - NDMI / NDVI + NDMI \quad (\text{Equation 3})$$

โดยที่ *NIR* คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ *RED* คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นสีแดง และ *SWIR* คือ ค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น

การสร้างกราฟอนุกรมเวลารายเดือน

นำข้อมูลดัชนีดาวเทียมเซนติเนล 2 (NDVI NDMI และ NDDI) ที่คำนวณไว้มาวิเคราะห์ในรูปแบบอนุกรมเวลารายเดือน เริ่มต้นด้วยการกรองภาพดาวเทียมรายเดือนในช่วงปี พ.ศ.2561-2567 ที่มีค่าการปกคลุมของเมฆน้อยกว่า 20% ซึ่งเป็นเกณฑ์มาตรฐานเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนที่สุด การเลือกใช้ข้อมูลด้วยเกณฑ์นี้ทำให้จำนวนภาพในแต่ละปีไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากข้อจำกัดของเมฆที่ปกคลุมในบางช่วงเวลา จากนั้นจึงคำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละดัชนีภายในพื้นที่ศึกษารายเดือน โดยใช้ฟังก์ชันบนแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน เช่น normalizedDifference() และ filter()

ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาแสดงผลในรูปแบบกราฟเส้น (Time series plot) เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของทั้ง 3 ดัชนีอย่างต่อเนื่อง และใช้เปรียบเทียบกับช่วงเวลาที่เกิดไฟไหม้ทั้ง 2 ครั้ง เพื่อประเมินสถานการณ์ของป่าพรุก่อนและหลังเกิดเหตุการณ์ นอกจากนี้การวิเคราะห์ยังครอบคลุมการตรวจสอบรูปแบบตามฤดูกาล (Seasonal pattern) และการคำนวณระยะเวลาการฟื้นตัวของระบบนิเวศด้วยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนีก่อนและหลังเกิดไฟไหม้

การลดสัญญาณรบกวนและความผันผวนระยะสั้นในอนุกรมเวลา อันอาจเกิดจากช่องว่างของข้อมูลหรือความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยของเซ็นเซอร์ ได้นำวิธีการปรับเรียบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving average) โดยใช้ช่วงเวลาเฉลี่ย 3 เดือน (3-Month moving window) ซึ่งในที่นี้เป็นการคำนวณแบบกึ่งกลาง (Centered Moving Average) ตามสมการที่ 4 (Hyndman et al., 2021) ต่อไปนี้

$$MA_t = (A_{t-1} + A_t + A_{t+1})/3 \quad (\text{Equation 4})$$

โดยที่ MA_t คือ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบกึ่งกลาง ณ เดือน t นอกจากนี้ A_t คือ ค่าดัชนี ณ เดือนปัจจุบัน A_{t-1} คือ ค่าดัชนีในเดือนก่อนหน้า และ A_{t+1} คือ ค่าดัชนีในเดือนถัดไป วิธีนี้ช่วยให้สามารถสังเกตแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงหลัก (Underlying trend) ของแต่ละดัชนีได้ชัดเจนยิ่งขึ้น และยังช่วยลดผลกระทบจากปัจจัยรบกวนชั่วคราว เช่น เมฆปกคลุมหรือความคลาดเคลื่อนในการวัดของเซ็นเซอร์ทำให้สามารถประเมินพลวัตการฟื้นตัวของระบบนิเวศและสภาพความแห้งแล้งได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

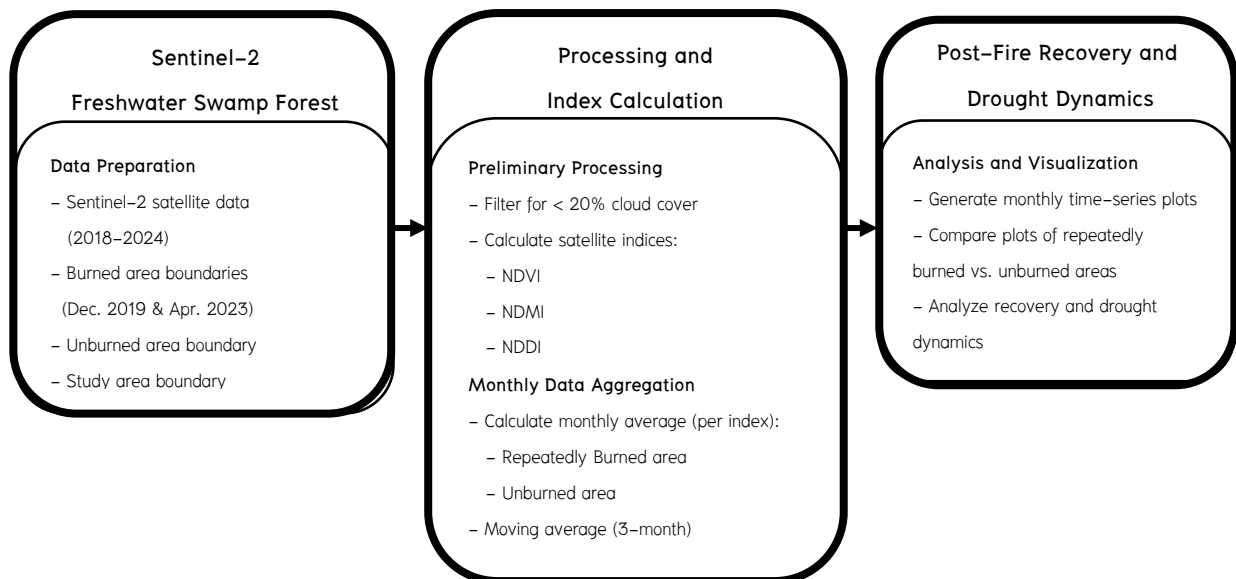


Figure 2 The conceptual framework and methodology workflow.

Results

การศึกษานี้ได้วิเคราะห์พลวัตการเปลี่ยนแปลงของป่าพรุน้ำจืดในเขตห้ามล่าสัตว์ป่าหนองเล็งทราย โดยใช้ 3 ดัชนีดาวเทียม ได้แก่ NDVI NDMI และ NDDI ในรูปแบบอนุกรมเวลารายเดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561–2567 เพื่อติดตามผลกระทบและการฟื้นตัวหลังเหตุการณ์ 2 ครั้งที่เกิดขึ้นในเดือนธันวาคม 2562 และเมษายน 2566 รวมถึงเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบ การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 ได้ดำเนินการผ่านกูเกิลเอิร์ธเอนจิน (<https://code.earthengine.google.com/0943eda9f71da0b6f6f131bb9fc5daf5>) ซึ่งทำให้ได้ชั้นข้อมูลดัชนีดาวเทียมที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์

หลักฐานเชิงประจักษ์จากภาพถ่ายดาวเทียมและภาคสนาม

หลักฐานเชิงประจักษ์ของสภาพพื้นที่ภายหลังได้รับผลกระทบจากการเผาไหม้ การศึกษานี้ได้นำเสนอภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 ซึ่งถูกสร้างเป็นภาพสีผสมจริง (True-Color Composite: TCC) และภาพสีผสมเท็จ (False-Color Composite: FCC) ประกอบกับภาพถ่ายภาคสนาม (ดังแสดงใน Figure 3) มาใช้ประกอบและช่วยยืนยันความถูกต้องรวมถึงความเสียหายจากเหตุการณ์ดังกล่าว

ภาพสีผสมจริง (TCC) ซึ่งสร้างขึ้นจากการผสมช่วงคลื่นสีแดง (Band 4) สีเขียว (Band 3) และสีน้ำเงิน (Band 2) เพื่อจำลองสีที่ใกล้เคียงกับที่ตามนุษย์มองเห็นนั้น ได้แสดงให้เห็นขอบเขตของร่องรอยเผาไหม้ (Burn Scar) ทั้งในภาพช่วงหลังเกิดเหตุการณ์ครั้งแรก (ปลายเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562) และครั้งที่สอง (ต้นเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2566) ในขณะเดียวกัน ภาพสีผสมเท็จ (FCC) ซึ่งสร้างจากการผสมช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near-Infrared: Band 8) สีแดง (Band 4) และสีเขียว (Band 3) ได้ช่วยยืนยันการสูญเสียพืชพรรณ โดยพื้นที่เผาไหม้มีร่องรอยซึ่งต่างกับพื้นที่ป่าโดยรอบที่ยังคงสมบูรณ์ และปรากฏเป็นสีแดงสดอย่างเด่นชัด โดยลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏในภาพถ่ายดาวเทียมทั้งสองแบบนี้สอดคล้องกับภาพถ่ายภาคสนามที่ยืนยันสภาพพื้นที่เดิมไปด้วยเถาเถาและซากต้นไม้ที่ไหม้เกรียม อย่างไรก็ตามภาพถ่ายภาคสนามของไฟไหม้ครั้งที่ 1 ไม่พบการเผยแพร่ในเว็บไซต์ข่าวซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่ได้รับความสนใจหรือนับได้ว่าเป็นเหตุการณ์ที่ไม่ต่างจากปกติที่เคยเกิดขึ้น

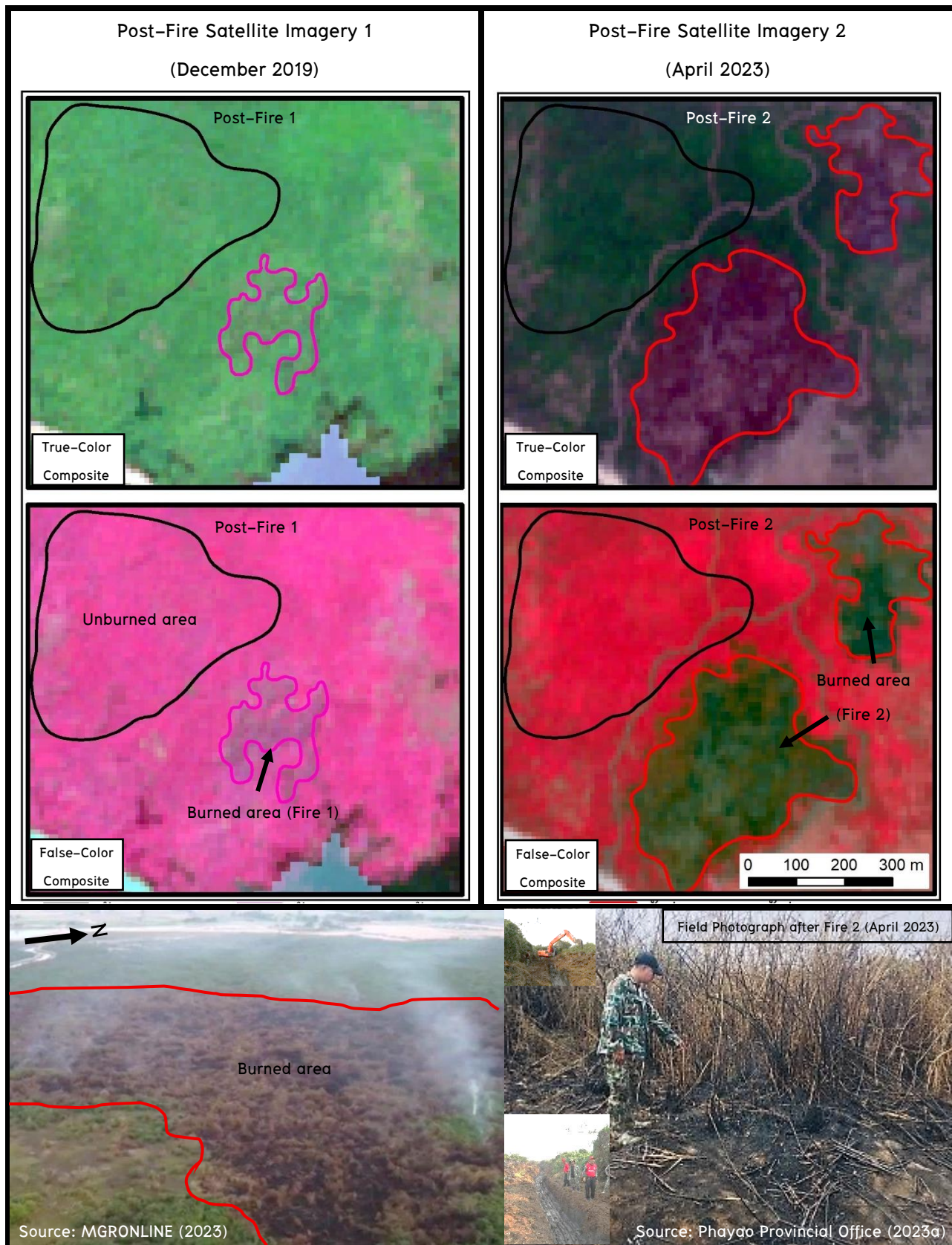


Figure 3 Post-fire satellite imagery and field photographs from the first and second fire events.

ผลการสร้างและวิเคราะห์ดัชนีดาวเทียม

การวิเคราะห์ค่าดัชนีดาวเทียมก่อนและหลังเหตุการณ์ไฟไหม้ทั้งสองครั้ง แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน โดยเฉพาะหลังเหตุการณ์ในเดือนธันวาคม 2562 และเมษายน 2566 ดังตัวอย่างใน Figure 4 and 5

NDVI ก่อนไฟไหม้ พื้นที่แสดงค่า NDVI สูง ซึ่งบ่งชี้ถึงความหนาแน่นของพืชพรรณที่สมบูรณ์ แต่ภายหลังไฟไหม้ ค่า NDVI ลดลงอย่างมาก โดยเฉพาะในขอบเขตพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ สะท้อนถึงความเสียหายของพืชพรรณอย่างรุนแรง

NDMI ก่อนไฟไหม้ พื้นที่แสดงค่าความชื้นในพืชพรรณที่ค่อนข้างสูง แต่ภายหลังไฟไหม้ ค่า NDMI ลดลงอย่างเห็นได้ชัด บ่งชี้ถึงการสูญเสียความชื้นในมวลชีวภาพภายในพื้นที่ที่ได้รับการเสียหาย

NDDI ในทางตรงกันข้าม ค่า NDDI เพิ่มขึ้นอย่างมาก ภายหลังไฟไหม้ ซึ่งบ่งชี้ถึงสภาวะความแห้งแล้งที่รุนแรงขึ้น เมื่อเทียบกับช่วงก่อนไฟไหม้ ซึ่งบ่งชี้ถึงสภาวะการขาดแคลนความชื้นและผลกระทบจากการสูญเสียพืชพรรณ

ข้อสังเกตสำคัญคือ เหตุการณ์ไฟไหม้ในเดือนเมษายน 2566 (Figure 5) ส่งผลกระทบท่อพื้นที่ในวงกว้างและมีความรุนแรงมากกว่าเหตุการณ์ในเดือนธันวาคม 2562 โดยจากการคำนวณขอบเขตพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้อ้างอิงชั้นข้อมูลเวกเตอร์ขอบเขตพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้และการสำรวจภาคสนามตามข่าวของ Phayao Provincial Office (2023a) พบว่าไฟป่าครั้งที่สองมีพื้นที่เสียหายประมาณ 120 ไร่ ในขณะที่ครั้งแรกมีพื้นที่เสียหายประมาณ 20 ไร่ สะท้อนให้เห็นถึงขนาดและความรุนแรงที่แตกต่างกัน

สำหรับดัชนี NDDI นั้น พบว่ามีค่าที่สูงและต่ำอย่างมากในบางช่วงเวลา โดยเฉพาะภาพภายหลังเหตุการณ์ไฟไหม้ (Figure 4 and 5) ซึ่งอาจเกิดจากหลายปัจจัยประกอบกัน ปัจจัยแรกคือคุณสมบัติทางสเปกตรัมของเก้าถ่านที่แตกต่างจากดินหรือพืชอย่างสิ้นเชิง หรืออาจเป็นสัญญาณรบกวน (Noise) จากเซ็นเซอร์เมื่อเจอกับสภาพพื้นผิวที่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน นอกจากนี้ ในทางคณิตศาสตร์ ค่า NDDI อาจไม่เสถียรในบริเวณที่ไม่มีพืชพรรณซึ่งค่า NDVI และ NDMI เข้าใกล้ศูนย์มาก นอกจากนี้ สำหรับภาพหลังเหตุการณ์ไฟไหม้ครั้งที่สองซึ่งเป็นที่รับทราบกันว่ามีความรุนแรงมากและต้องมีการระดมกำลังเพื่อดับไฟในวงกว้างนั้น (Phayao Provincial Office, 2023a; Phayao Provincial Office, 2023b) ค่า NDDI ที่ปรากฏว่าต่ำจนผิดปกติ อาจมีสาเหตุมาจากการใช้น้ำในปริมาณมหาศาลเพื่อดับไฟ การที่พื้นดินซึ่งถูกเผาไหม้ (มีค่า NDVI ต่ำมาก) กลับมีสภาพชุ่มน้ำหรือเปียกชื้นอย่างฉับพลัน (มีค่า NDMI สูงมาก) ส่งผลให้ค่า NDDI ที่คำนวณได้มีค่าติดลบอย่างมาก ซึ่งสะท้อนถึงสภาวะที่ผิดปกติของพื้นที่ ณ ช่วงเวลานั้นได้เป็นอย่างดี

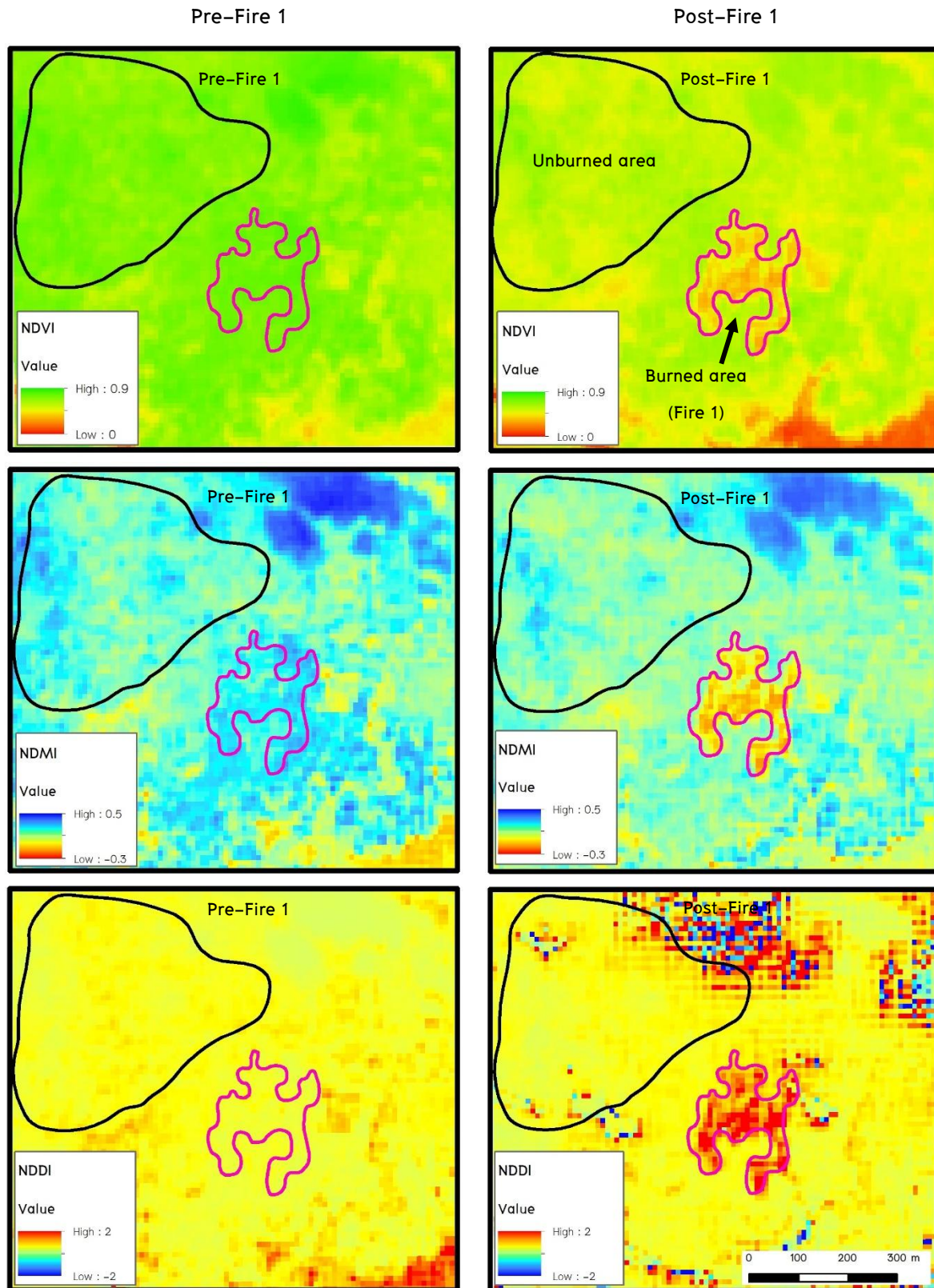


Figure 4 Satellite-derived indices before and after the fire event on December 11–12, 2019.

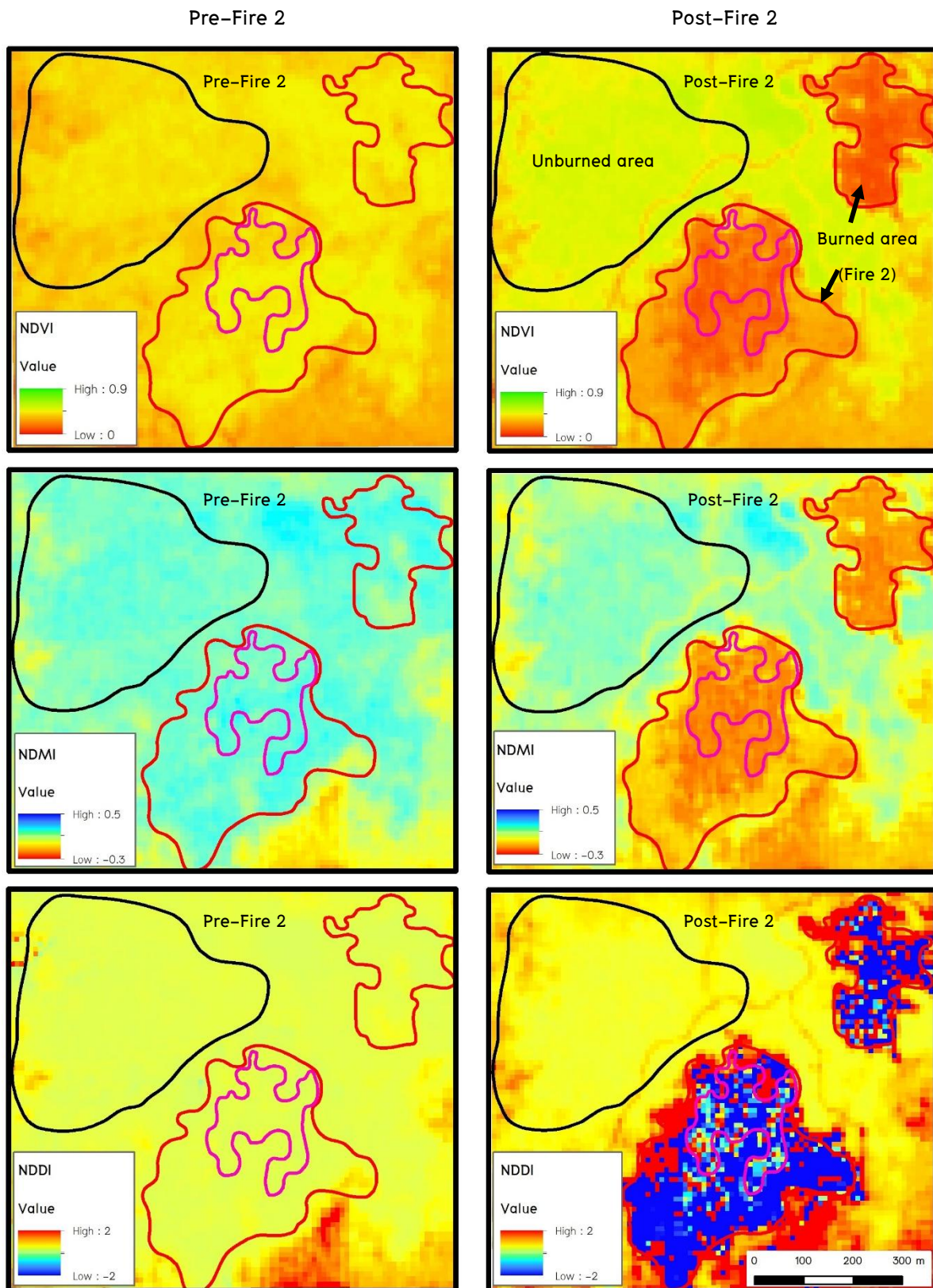


Figure 5 Satellite-derived indices before and after the fire event on April 18–27, 2023.

Table 1 Processed monthly values of the satellite-derived indices.

Date	Repeatedly Burned Area			Unburned Area		
	NDVI	NDMI	NDDI	NDVI	NDMI	NDDI
Feb-2018	0.520	0.196	0.456	0.513	0.194	0.453
Mar-2018	0.518	0.215	0.415	0.508	0.214	0.410
Dec-2018	0.799	0.243	0.537	0.766	0.171	0.641
Jan-2019	0.701	0.220	0.525	0.638	0.167	0.597
Feb-2019	0.774	0.270	0.485	0.769	0.243	0.522
Mar-2019	0.691	0.267	0.440	0.697	0.259	0.455
Apr-2019	0.738	0.262	0.478	0.726	0.235	0.512
May-2019	0.696	0.217	0.533	0.613	0.158	0.627
Jul-2019	0.796	0.280	0.481	0.795	0.245	0.531
Sep-2019	0.793	0.245	0.532	0.781	0.198	0.599
Oct-2019	0.789	0.227	0.557	0.764	0.170	0.643
Nov-2019	0.765	0.235	0.533	0.718	0.180	0.606
Dec-2019	0.551	0.100	1.059	0.609	0.163	0.616
Jan-2020	0.495	0.000	1.499	0.665	0.202	0.539
Feb-2020	0.612	0.172	0.573	0.687	0.285	0.412
Mar-2020	0.512	0.216	0.386	0.562	0.273	0.332
Apr-2020	0.646	0.262	0.424	0.691	0.309	0.389
May-2020	0.803	0.249	0.528	0.811	0.265	0.513
Oct-2020	0.814	0.238	0.552	0.771	0.158	0.671
Nov-2020	0.798	0.223	0.568	0.765	0.164	0.659
Dec-2020	0.740	0.205	0.571	0.725	0.165	0.641
Jan-2021	0.782	0.240	0.533	0.753	0.197	0.590
Feb-2021	0.735	0.280	0.447	0.718	0.259	0.470
Mar-2021	0.690	0.281	0.411	0.667	0.262	0.425
Apr-2021	0.777	0.296	0.447	0.659	0.218	0.506
May-2021	0.860	0.291	0.494	0.828	0.230	0.571
Aug-2021	0.829	0.215	0.592	0.743	0.124	0.720
Nov-2021	0.780	0.169	0.659	0.741	0.128	0.722
Dec-2021	0.750	0.172	0.644	0.701	0.118	0.732
Jan-2022	0.699	0.220	0.522	0.652	0.148	0.640
Feb-2022	0.535	0.206	0.448	0.486	0.156	0.524
Mar-2022	0.525	0.210	0.430	0.482	0.173	0.476
Apr-2022	0.502	0.206	0.417	0.458	0.167	0.463
Oct-2022	0.498	0.164	0.514	0.395	0.105	0.625
Nov-2022	0.496	0.162	0.517	0.398	0.099	0.643
Dec-2022	0.517	0.184	0.480	0.434	0.111	0.611
Jan-2023	0.484	0.183	0.467	0.400	0.119	0.557
Feb-2023	0.497	0.198	0.437	0.460	0.170	0.466
Mar-2023	0.455	0.188	0.410	0.419	0.167	0.428
Apr-2023	0.297	0.022	0.330	0.432	0.141	0.514
May-2023	0.175	-0.126	0.323	0.463	0.095	0.686
Nov-2023	0.148	0.019	6.632	0.331	0.067	0.732
Dec-2023	0.151	0.022	0.953	0.331	0.067	0.718
Jan-2024	0.145	0.008	1.269	0.360	0.085	0.650
Feb-2024	0.135	0.015	4.723	0.412	0.132	0.524
Mar-2024	0.149	0.013	1.387	0.451	0.146	0.518
Apr-2024	0.144	0.022	-1.580	0.407	0.116	0.561
May-2024	0.180	0.010	1.230	0.425	0.113	0.593
Oct-2024	0.303	0.101	0.636	0.311	0.057	0.781
Nov-2024	0.286	0.066	0.695	0.297	0.027	0.931
Dec-2024	0.247	0.068	0.635	0.377	0.089	0.656
Max	0.860	0.296	0.309	0.828	6.632	0.931
Min	0.135	-0.126	0.027	0.297	-1.580	0.332
Average	0.555	0.170	0.167	0.580	0.750	0.576

กราฟ/พลวัตการเปลี่ยนแปลงของดัชนีดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา

การวิเคราะห์อนุกรมเวลารายเดือนของดัชนีดาวเทียม NDVI NDMI และ NDDI ในช่วงปี พ.ศ. 2561–2567 (Table 1 and Figure 6) แสดงให้เห็นพลวัตการเปลี่ยนแปลงที่ซับซ้อนของป่าพรุ โดยทั่วไป ดัชนีทั้งสามมีความผันผวนตามฤดูกาลที่ชัดเจน โดยที่ทั้ง 2 ดัชนีแรกนั้นมีแนวโน้มค่าสูงขึ้นในช่วงฤดูฝนและลดลงในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งสะท้อนอิทธิพลของปัจจัยทางภูมิอากาศ เช่น ปริมาณฝนและอุณหภูมิ

อย่างไรก็ตาม เหตุการณ์ไฟไหม้ทั้งสองครั้งได้ส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงและชัดเจนต่อค่าดัชนี โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ พบว่าค่า NDVI และ NDMI ลดลงอย่างรวดเร็วทันทีและชัดเจน สะท้อนถึงความเสียหายอย่างมากต่อมวลชีวภาพและความชื้นในพื้นที่ เช่น ค่า NDVI ในเดือนธันวาคม 2562 ลดลงจาก 0.765 เหลือ 0.551 และในเดือนเมษายน 2566 ลดลงจาก 0.455 เหลือ 0.297

ภายหลังเหตุการณ์ไฟไหม้ทั้งสองครั้ง สังเกตได้ว่าค่าดัชนี NDVI และ NDMI ในพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้มีแนวโน้มการฟื้นตัวอย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยค่าดัชนีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งบ่งชี้ถึงกระบวนการงอกใหม่และการเติบโตของพืชพรรณ อย่างไรก็ตาม อัตราการฟื้นตัวค่อนข้างช้าและค่าเฉลี่ยของดัชนีไม่ได้กลับไปสู่ระดับเดิมภายในระยะเวลาการศึกษา (เช่น NDVI เฉลี่ยพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้อยู่ที่ 0.555 เทียบกับ 0.580 ในพื้นที่ที่ไม่ถูกเผาไหม้) ซึ่งสะท้อนว่าการฟื้นตัวพืชพรรณในป่าพรุน้ำจืดอาจต้องใช้เวลาานกว่าปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อไฟเกิดในช่วงฤดูแล้ง (เมษายน 2566) ที่ความเสียหายรุนแรงกว่า

ในส่วนของ NDDI ในพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ ค่าดัชนีสูงขึ้นอย่างชัดเจนหลังเกิดเหตุการณ์ (เช่น เดือนธันวาคม 2562 ค่า NDDI เพิ่มขึ้นจาก 0.533 เป็น 1.059 และเดือนเมษายน 2566 เพิ่มขึ้นจาก 0.330 เป็น 6.632) บ่งชี้ถึงสถานะความแห้งแล้งที่รุนแรงภายหลังไฟไหม้ ซึ่งอาจเกิดจากการสูญเสียพืชพรรณและความชื้นในดิน ค่า NDDI ที่สูงขึ้นนี้ยังคงอยู่ต่อเนื่องหลายเดือนก่อนจะลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อเข้าสู่ฤดูฝน แสดงให้เห็นว่าความแห้งแล้งภายหลังไฟไหม้เป็นปรากฏการณ์ชั่วคราวแต่ส่งผลต่อระบบนิเวศด้วยเช่นกัน

การนำวิธีการปรับเรียบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 3 เดือนมาใช้ช่วยลดสัญญาณรบกวนและความผันผวนระยะสั้นในกราฟอนุกรมเวลา ทำให้สามารถสังเกตแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงหลักของแต่ละดัชนีได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วยให้เห็นภาพการลดลงของค่าดัชนีในช่วงเวลาที่เกิดไฟและการฟื้นตัวในระยะยาวได้เด่นชัดขึ้น

ข้อสังเกตจากกราฟหลังเกิดไฟไหม้ครั้งที่ 2 (ปี พ.ศ. 2566) พบว่าเส้นกราฟของพื้นที่ที่ถูกและไม่ถูกเผาไหม้มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนมากกว่าในอดีต อาจเนื่องมาจากความรุนแรงของไฟไหม้ครั้งที่สองซึ่งทำลายมวลชีวภาพและความชื้นในดินอย่างมากและเป็นวงกว้างกว่าครั้งแรก ทำให้ความสามารถในการฟื้นตัวของระบบนิเวศลดลงอย่างมากและตอบสนองต่อฤดูกาลแตกต่างจากพื้นที่โดยรอบอย่างสิ้นเชิง

ผลกระทบของการเกิดไฟไหม้ซ้ำและความแห้งแล้ง

การศึกษาพบว่า การเกิดไฟไหม้ซ้ำอีกครั้งในเดือนเมษายน 2566 ส่งผลให้การฟื้นตัวของป่าพรุล่าช้าอย่างชัดเจน และค่า NDDI สูงอย่างมาก (สูงสุดถึง 6.632) เมื่อเทียบกับครั้งแรก สิ่งนี้ชี้ให้เห็นว่าป่าพรุน้ำจืดอาจมีความยืดหยุ่นลดลงเมื่อเผชิญกับไฟซ้ำอีกครั้งและความแห้งแล้งสะสม ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มค่า NDVI และ NDMI ที่ฟื้นตัวช้ากว่า นอกจากนี้ ในเหตุการณ์ไฟไหม้ครั้งที่ 2 หากพิจารณาค่า NDDI ควบคู่ไปกับดัชนีอื่นๆ ยังสามารถช่วยบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะความแห้งแล้งในพื้นที่กับความยืดหยุ่นของป่าพรุต่อการถูกเผาไหม้และการฟื้นตัว โดยพื้นที่ที่เผชิญกับความแห้งแล้งเป็นเวลานาน อาจมีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟสูงขึ้น และมีอัตราการฟื้นตัวที่ช้ากว่าเมื่อเทียบกับพื้นที่ที่มีความชุ่มชื้นเพียงพอ

โดยสรุป การวิเคราะห์ค่าดัชนีดาวเทียมรายเดือนระหว่างปี พ.ศ.2561–2567 แสดงให้เห็นชัดว่าพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ซ้ำมีพลวัตการฟื้นตัวและความแห้งแล้งที่แตกต่างจากพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบ โดยเฉพาะหลังเหตุการณ์ทั้งสองครั้ง ซึ่งเน้นย้ำถึงความสำคัญของการติดตามระยะยาวเพื่อทำความเข้าใจการฟื้นตัวของระบบนิเวศป่าพรุภายใต้แรงกดดันจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามฤดูกาลและภัยธรรมชาติ

Discussion and Conclusion

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของดัชนีดาวเทียม NDVI NDMI และ NDDI ในพื้นที่ป่าพรุที่ประสบเหตุไฟไหม้ซ้ำสองครั้งในปี พ.ศ. 2562 และ 2566 โดยเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่ไม่ได้รับผลกระทบ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเหตุการณ์ไฟไหม้ส่งผลกระทบต่อค่า NDVI และ NDMI โดยทำให้ค่าดัชนีลดลงอย่างรวดเร็วในพื้นที่ที่ถูกเผาไหม้ ในขณะที่การฟื้นตัวของค่าดัชนีเป็นไปอย่างค่อยเป็นค่อยไป นอกจากนี้ รูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลยังคงปรากฏในดัชนีทั้งสาม ยิ่งไปกว่านั้นการวิเคราะห์ยังชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างในความรุนแรงและขอบเขตความเสียหายจากไฟทั้งสองเหตุการณ์

ผลการศึกษาที่ชี้ให้เห็นการฟื้นตัวที่ช้าและผลกระทบที่รุนแรงจากการเกิดไฟซ้ำซ้อนนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hosillo et al. (2011) ที่พบว่าไฟป่าที่เกิดซ้ำในพื้นที่พรุของอินโดนีเซียส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของที่ดินเลวร้ายลงและฟื้นตัวได้ยาก เช่นเดียวกับที่ Anzooman et al. (2024) พบว่าการฟื้นตัวของพื้นที่พรุหลังไฟป่าเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมอย่างมาก

สิ่งที่น่าสนใจคือการปรากฏของค่า NDVI ที่สูงแต่ค่า NDMI กลับต่ำในบางช่วงเวลาของทั้งสองพื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ที่ถูกและไม่ถูกเผาไหม้ ซึ่งอาจอธิบายได้ด้วยปรากฏการณ์ทางชีววิทยาของพืช (Phenology) ในช่วงเปลี่ยนผ่านจากฤดูแล้งสู่ฤดูฝนที่พืชอาจเริ่มแตกใบใหม่ (ทำให้ค่า NDVI สูงขึ้น) แต่ปริมาณความชื้นในดินและในลำต้นยังคงอยู่ในระดับต่ำ (ทำให้ค่า NDMI ยังไม่สูงตาม)

การลดลงอย่างมากของค่า NDVI ภายหลังไฟไหม้ทั้งสองครั้งเป็นผลโดยตรงจากการสูญเสียมวลชีวภาพและความเสียหายของพืชพรรณ เช่นเดียวกับการลดลงของค่า NDMI ที่บ่งชี้ถึงการสูญเสียความชื้นในพื้นที่ การฟื้นตัวอย่างค่อยเป็นค่อยไปของดัชนีเหล่านี้สะท้อนถึงกระบวนการฟื้นตัวตามธรรมชาติของระบบนิเวศป่าพรุ อย่างไรก็ตาม อัตราการฟื้นตัวที่แตกต่างกันบ่งชี้ถึงความแตกต่างในความรุนแรงของไฟ หรือความสามารถในการฟื้นตัวของพืชพรรณแต่ละชนิดในพื้นที่

สิ่งที่น่าสนใจอีกประการคือการปรากฏของค่าสูงสุดโด่งในดัชนี NDDI โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงหลังเหตุการณ์ไฟไหม้ ค่า NDDI ซึ่งคำนวณจากความแตกต่างระหว่าง NDVI และ NDMI อาจมีค่าสูงขึ้นอย่างมากเมื่อความเขียวขจีของพืชพรรณลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ความชื้นยังคงอยู่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงในสัดส่วนขององค์ประกอบในพื้นที่ เช่น การปรากฏของพื้นที่เถาถ่านหรือซากพืชที่แห้งแล้ง ซึ่งอาจมีค่าการสะท้อนที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ค่าสูงสุดโด่งที่เกิดขึ้นในช่วงอื่น ๆ อาจเกี่ยวข้องกับช่วงเปลี่ยนฤดูกาลที่มีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นในพืชพรรณอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพ

ดัชนี NDDI แสดงให้เห็นการแปรผันตามฤดูกาลที่เด่นชัด ซึ่งเป็นข้อจำกัดของ NDDI ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านความเขียวขจีและความชื้นของพืชพรรณ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิตามฤดูกาลมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืช (NDVI) และปริมาณน้ำในพืชและดิน (NDMI) การเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันของตัวแปรทั้งสองนี้ในแต่ละช่วงฤดูกาลจึงส่งผลให้ค่า NDDI มีการแกว่งตัวที่ชัดเจน โดยอาจมีค่าสูงในช่วงที่พืชมีความเขียวน้อยแต่ยังมีความชื้นอยู่ หรือมีค่าต่ำในช่วงที่พืชมีความเขียวขจีสูงและความชื้นเพียงพอ การทำความเข้าใจรูปแบบการแปรผันตามฤดูกาลของ NDDI จึงมีความสำคัญในการแยกแยะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปัจจัยทางธรรมชาติออกจากผลกระทบจากเหตุการณ์รบกวน เช่น ไฟป่า

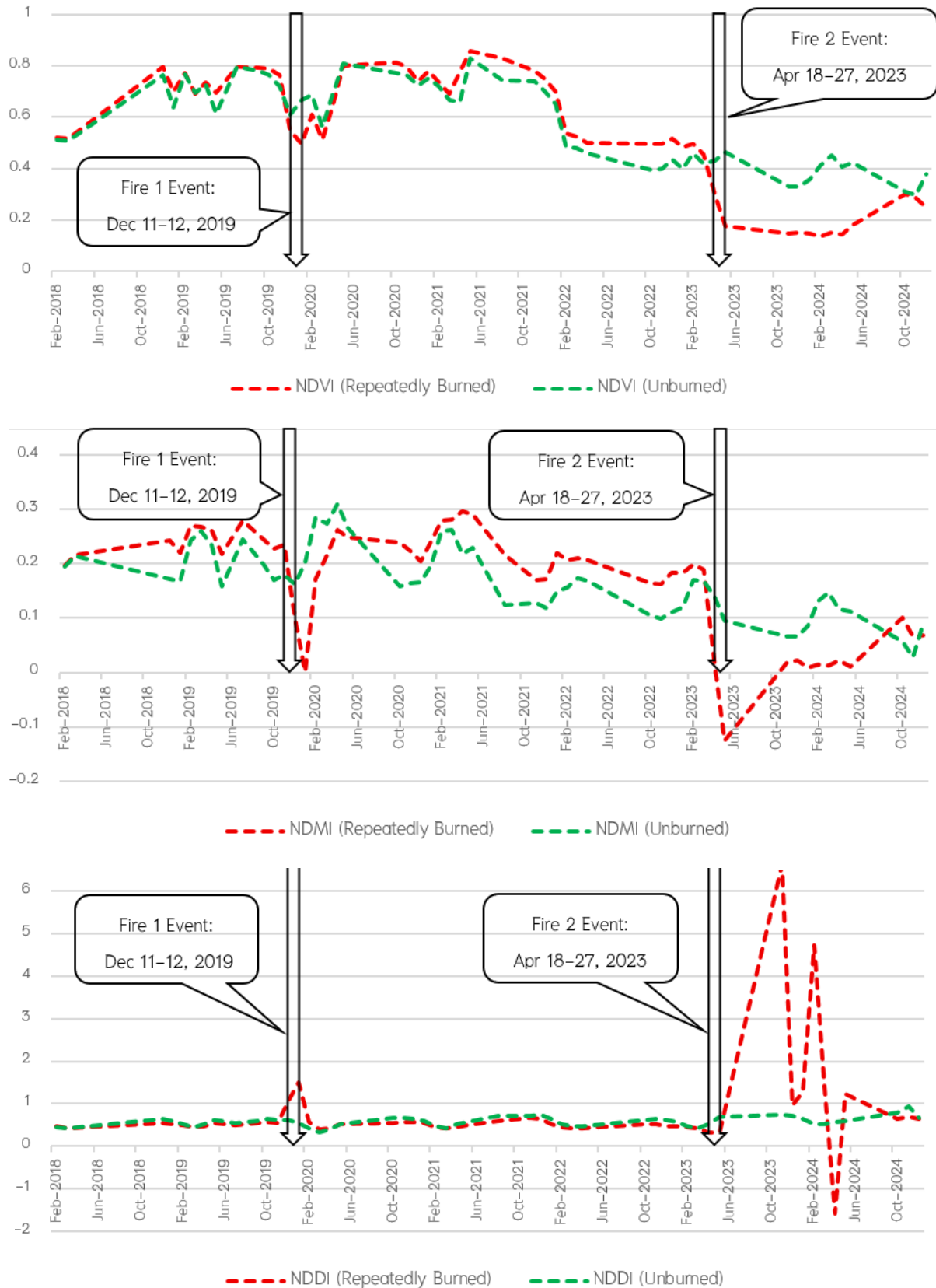


Figure 6 Time-series dynamics of the monthly satellite-derived indices.

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างชัดเจนในการฟื้นตัวภายหลังไฟไหม้แต่ละครั้ง และเหตุการณ์ครั้งที่สองได้สร้างผลกระทบซ้ำซ้อนต่อระบบนิเวศ ทำให้ความสามารถในการฟื้นตัวลดลง นอกจากนี้ การวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศหรือดัชนีความแห้งแล้งอื่น ๆ อาจช่วยให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะความแห้งแล้งในพื้นที่กับความเสียหายและความรุนแรงของไฟ รวมถึงผลกระทบต่อกระบวนการฟื้นตัวของป่าพรุ

การศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของข้อมูลดาวเทียมในหลายมิติ ตั้งแต่การจำแนกประเภทป่าไม้โดยใช้ดัชนีพืชพรรณ (Paengwangthong, 2021) การสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายด้วยวิธี Fuzzy Multicriteria (Paengwangthong, 2022) การพัฒนาแบบจำลองทำนาย PM2.5 ได้ด้วยข้อมูล AOD จากดาวเทียม (Phuphanit et al., 2024) ไปจนถึงการประเมินผลกระทบทางสังคมผ่านข้อมูลแสงยามคืนในช่วงวิกฤตโควิด-19 (Paengwangthong et al., 2025) ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการใช้ดัชนีดาวเทียมในงานศึกษานี้ อย่างไรก็ตาม การรับรู้ระยะไกลยังมีข้อจำกัดในการตอบคำถามเชิงลึก จำเป็นต้องผนวกข้อมูลภาคพื้นดินและปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ เพื่อความสมบูรณ์ของผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ใช้เกณฑ์การกรองข้อมูลเมฆปกคลุมที่น้อยกว่า 20% ซึ่งทำให้ข้อมูลบางเดือนขาดหายไป แม้ว่าวิธีนี้จะเหมาะสมสำหรับการศึกษาคครั้งนี้และยังคงให้ข้อมูลเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์พลวัตการเปลี่ยนแปลง แต่การศึกษาครั้งต่อไปอาจพิจารณาปรับเกณฑ์นี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

การศึกษาครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของไฟต่อระบบนิเวศป่าพรุผ่านการวิเคราะห์ดัชนีดาวเทียม และติดตามกระบวนการฟื้นตัว อย่างไรก็ตาม การศึกษาในระยะยาวและการวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง จะช่วยให้เข้าใจถึงพลวัตการเปลี่ยนแปลงของป่าพรุหลังเกิดไฟได้อย่างครอบคลุมยิ่งขึ้น ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต ได้แก่ การประเมินความหลากหลายทางชีวภาพ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างป่า และการวิเคราะห์ความเชื่อมโยงกับปัจจัยทางภูมิอากาศเพื่อสนับสนุนการจัดการและอนุรักษ์ระบบนิเวศป่าพรุอย่างยั่งยืน

ข้อจำกัดที่สำคัญของการศึกษาคครั้งนี้คือลักษณะการวิเคราะห์ที่เป็นเชิงพรรณนา ซึ่งมุ่งเน้นการแสดงผลแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของดัชนีดาวเทียมโดยไม่ได้ทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติเพื่อยืนยันนัยสำคัญของการเปลี่ยนแปลงที่ตรวจพบ อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยเลือกใช้แนวทางนี้โดยเจตนาเพื่อนำเสนอภาพรวมของพลวัตการฟื้นตัวที่ซับซ้อนในระยะยาว ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่อาจไม่สามารถถ่ายทอดได้ครบถ้วนด้วยการทดสอบทางสถิติเพียงอย่างเดียว ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะให้งานวิจัยในอนาคตต่อยอดจากผลการศึกษาครั้งนี้ โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อประเมินนัยสำคัญของค่าดัชนีที่เปลี่ยนแปลงไป

Acknowledgements

ผู้ศึกษาขอขอบคุณข้อมูลตำแหน่งที่เกิดไฟจากเจ้าหน้าที่ของสำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 15 จังหวัดเชียงราย และขอขอบคุณความอนุเคราะห์จากแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจินที่ให้บริการเครื่องมืออันทรงพลังสำหรับการประมวลผลข้อมูลภูมิสารสนเทศ และขอขอบคุณโครงการ Copernicus ของสหภาพยุโรป ที่ให้บริการข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 เป็นข้อมูลสำคัญของการศึกษา นอกจากนี้ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิของวารสารวิชาการเพื่อการพัฒนาวัตกรรมการเชิงพื้นที่สำหรับข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงการเผยแพร่ผลงานนี้ให้เป็นประโยชน์ในวงวิชาการและการพัฒนาเชิงพื้นที่

References

- Anzooman, M., McKenna, P. B., Ufer, N., Baumgartl, T., McIntyre, N., & Shaygan, M. (2024). Assessing the post-fire recovery of mined-under temperate highland peat swamps on sandstone. *Land*, 13(12), 2253. Form <https://doi.org/10.3390/land13122253>.
- Avetisyan, D., Velizarova, E., & Filchev, L. (2022). Post-fire forest vegetation state monitoring through satellite remote sensing and in situ data. *Remote Sensing*, 14(24), 6266. Form <https://doi.org/10.3390/rs14246266>.
- Ballhorn, U., Siegert, F., Mason, M., & Limin, S. (2009). Derivation of burn scar depths and estimation of carbon emissions with LIDAR in Indonesian peatlands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(50), 21213–21218. Form <https://doi.org/10.1073/pnas.0906457106>.
- Chazdon, R. L. (2008). Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*, 320(5882), 1458–1460. Form <https://doi.org/10.1126/science.1155365>.
- Clerici, N., Weissteiner, C. J., & Paracchini, M. L. (2017). Data fusion of different spatial resolution remote sensing images for land cover mapping: A review of the literature and a case study. *International Journal of Remote Sensing*, 38(10), 2345–2375. Form <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1266111>.
- Datt, B. (1999). A new reflectance index for remote sensing of chlorophyll content in higher plants: Tests using eucalyptus leaves. *Journal of Plant Physiology*, 154(1), 30–36. Form [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(99\)80314-9](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(99)80314-9).
- Davies, G. M., Gray, A., Rein, G., & Legg, C. J. (2013). Peat consumption and carbon loss due to smouldering wildfire in a temperate peatland. *Forest Ecology and Management*, 308, 169–177. Form <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.051>.
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36. Form <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>.
- Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266. Form [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3).

- Gitas, I. Z., Mitri, G. H., & Ventura, G. (2004). Object-based image classification for burned area mapping of Creus Cape, Spain, using NOAA-AVHRR imagery. *Remote Sensing of Environment*, 92(3), 409–413. Form <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.06.006>.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. Form <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- Gu, Y., Brown, J. F., Verdin, J. P., & Wardlow, B. (2007). A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters*, 34(6), L06407. Form <https://doi.org/10.1029/2006GL029127>.
- Gu, Y., Hunt, E., Wardlow, B., Basara, J. B., Brown, J. F., & Verdin, J. P. (2008). Evaluation of MODIS NDVI and NDWI for vegetation drought monitoring using Oklahoma Mesonet soil moisture data. *Geophysical Research Letters*, 35(22), L22401. Form <https://doi.org/10.1029/2008GL035772>.
- Hardisky, M. A., Klemas, V., & Smart, R. M. (1983). The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of *Spartina alterniflora* canopies. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(1), 77–83.
- Hoscilo, A., Page, S. E., Tansey, K. J., & Rieley, J. O. (2011). Effect of repeated fires on land-cover change on peatland in southern Central Kalimantan, Indonesia, from 1973 to 2005. *International Journal of Wildland Fire*, 20(4), 578–588. Form <https://doi.org/10.1071/WF10029>.
- 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. Form [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and practice* (3rd ed.). OTexts. Form <https://otexts.com/fpp3/>.
- 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(3), 166. Form <https://doi.org/10.3390/rs8030166>.
- Jin, S., & Sader, S. A. (2005). MODIS time-series imagery for forest disturbance detection and quantification of patch size effects. *Remote Sensing of Environment*, 99(4), 462–470. Form <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.09.017>.
- Key, C. H., & Benson, N. (2006). Landscape assessment: Ground measure of severity, the composite burn index; and remote sensing of severity, the normalized burn ratio. In *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System* (pp. LA-1–LA-51). USDA Forest Service, RMRS-GTR-164-CD.
- Lentile, L. B., Holden, Z. A., Smith, A. M. S., Falkowski, M. J., Hudak, A. T., Morgan, P., ... & Benson, N. C. (2006). Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire*, 15(3), 319–345. Form <https://doi.org/10.1071/WF05097>.

- MGRONLINE. (2023, April 26). *Extreme Heat and Drought! Underground Smouldering Fire Spreads to ‘Khai’ Forest in the Middle of Phayao’s Large Swamp, Not Extinguished for Over 10 Days, Over 100 Rai of Conservation Forest Destroyed*. Form <https://mgronline.com/local/detail/9660000038638>. (in Thai)
- Nong Leng Sai Non-Hunting Area. (2023). *Report on a Solution to the ‘Khai’ Forest Fire Problem in Nong Leng Sai Non-Hunting Area*. Phayao. (in Thai)
- Paengwangthong, W. (2021). Multitemporal Landsat imagery with optimum band ratio techniques for deciduous forest classification. *International Journal of Geoinformatics*, 17(2), 21–27. Form <https://doi.org/10.52939/ijg.v17i2.1753>.
- Paengwangthong, W. (2022). Application of fuzzy multicriteria group decision-making to prioritize infectious waste incineration development in Phayao Province hospitals lacking supportive information. *Science & Technology Asia*, 27(4), 195–206. Form <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/SciTechAsia/article/view/247907>.
- Paengwangthong, W., Arnan, S., & Kulsoontornrat, J. (2025). Divergent nighttime light dynamics in Bangkok and surrounding provinces during the COVID-19 pandemic: Insights from Google Earth Engine. *Geographia Technica*, 20(1), 97–111. Form https://doi.org/10.21163/GT_2025.201.08.
- Page, S. E., Siegert, F., Rieley, J. O., Boehm, H. D., Jaya, A., & Limin, S. (2002). The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature*, 420, 61–65. Form <https://doi.org/10.1038/nature01131>.
- Peat Swamp Story. (n.d.). *The Last Peat Swamp Forest of Thailand*. PeatSwamps.com. Form <https://www.peatswamps.com/story>. (in Thai).
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(9), 503–510. Form <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>.
- Phayao Provincial Office. (2019, April 20). *Field Visit to Nong Leng Sai to Find Solutions for the Fire Problem in the Nong Leng Sai Area*. Form <https://www.phayao.go.th/allnew/2023/04/20/ลงพื้นที่หนองเล็งทราย-เ/>. (in Thai)
- Phayao Provincial Office. (2023a, April 24). *The ‘Khai’ Forest Fire Situation in Nong Leng Sai Covers an Area of Approximately 120 Rai*. Form <https://www.phayao.go.th/allnew/2023/04/24/สถานการณ์ไฟไหม้ป่าไคร์/>. (in Thai)
- Phayao Provincial Office. (2023b, April 30). *Firefighting Operations for the ‘Khai’ Forest Fire in Nong Leng Sai*. Form <https://www.phayao.go.th/allnew/2023/04/30/ปฏิบัติงานดับไฟไหม้ป่า/>. (in Thai)
- Phuphaniat, M., Jeefoo, P., & Paengwangthong, W. (2024, December). *Estimating Monthly PM2.5 Levels using Integrated Satellite and Meteorological Data: A Case Study of Suphan Buri Province, Thailand* [Paper presentation]. 2024 Geoinformatics for Spatial-Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences (GIS-IDEAS), Chiang Rai, Thailand. Form <https://doi.org/10.1109/GIS-IDEAS63212.2024.10991217>.
- Seub Nakhasathien Foundation. (n.d.). *The Last Peat Swamp Forest of Thailand*. Form <https://www.seub.or.th/seub/บทความ/ป่าพรุผืนสุดท้ายของประ/>. (in Thai)
- Stankova, N. (2023). Post-Fire Recovery Monitoring Using Remote Sensing: A Review. *Aerospace Research in Bulgaria*, 35, 192–200. Form <https://www.researchgate.net/publication/369940555>.

- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. Form [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0).
- van Leeuwen, W. J. D. (2008). Monitoring the effects of forest restoration treatments on post-fire vegetation recovery with MODIS multitemporal data. *Sensors*, 8(3), 2017–2042. Form <https://doi.org/10.3390/s8032017>.
- Wilson, E. H., & Sader, S. A. (2002). Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*, 80(3), 385–396. Form [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00318-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00318-2).