



การพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในเขตป่า จากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ ด้วยข้อมูลจากเทคโนโลยีอวกาศ ในอำเภอสามเงา จังหวัดตาก

Developing Models to Predict Areas at Risk of Burned Areas in Forests from an Effect of the ENSO Phenomenon Using Space Technology Data in Sam Ngao District, Tak Province

โชติ วีระกุล และ อริศรา เจริญปัญญาเนตร

Chote Weerakul and Arisara Charoenpanyanet

ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประเทศไทย

Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University, Thailand

Received : 22 March 2024, Received in revised form : 26 May 2024, Accepted : 30 May 2024

Available online : 1 July 2024

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ 1) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศป่าไม้และพื้นที่เผาไหม้ในป่าเขตร้อนจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ (ENSO) และ 2) เพื่อศึกษาปัจจัยทางกายภาพและพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในเขตป่าจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ ในอำเภอสามเงา จังหวัดตาก

วิธีดำเนินการวิจัย : ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 1) ภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 (Sentinel 2) บันทึกข้อมูลในช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม ในปีที่ได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์เอลนีโญ ได้แก่ ปีเอลนีโญ (ค.ศ. 2019) ปีปกติ (ค.ศ. 2020) และปีลานีญา (ค.ศ. 2022) เพื่อนำไปวิเคราะห์ดัชนีพื้นที่เผาไหม้ (BAIS2) ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) และดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช (MSI) 2) ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 8 ระบบ TIRS (Landsat 8 (TIRS)) สำหรับวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิว (LST) และ 3) ข้อมูลภาพถ่ายภูมิประเทศจากเรดาร์กระสวยอวกาศขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA's Shuttle Radar Topography Mission: SRTM) เพื่อวิเคราะห์แบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) ความลาดชัน (Slope) และทิศทางลาดเอียง (Aspect) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศป่าไม้และพื้นที่เผาไหม้ในป่าเขตร้อนเป็นการนำดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ และดัชนีพื้นที่เผาไหม้ รายเดือนของปีปรากฏการณ์เอลนีโญ มาหาความสัมพันธ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation) จากนั้นจึงนำเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression: MLR) โดยกำหนดตัวแปรตาม คือ พื้นที่เผาไหม้ ตัวแปรอิสระ คือ ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ อุณหภูมิพื้นผิว ดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช แบบจำลองความสูงเชิงเลข ความลาดชัน และทิศทางลาดเอียง



ผลการวิจัย : ผลการวิเคราะห์พบว่าความสัมพันธ์ของระบบนิเวศป่าไม้ในป่าเขตร้อนและขนาดพื้นที่เผาไหม้มีความสัมพันธ์กันในปีที่ได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์เอลนีโญ ส่วนแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า พบว่าแบบจำลองในปีเอลนีโญ ปีปกติ และปีลานีญาสามารถคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าได้สอดคล้องในระดับมาก ($R^2 = 0.905$) ระดับมาก ($R^2 = 0.700$) และระดับปานกลาง ($R^2 = 0.519$) ตามลำดับ โดยมีปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเกิดไฟป่า ได้แก่ ความสมบูรณ์ของระบบนิเวศป่าไม้ อุณหภูมิพื้นผิว และดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช

สรุปผลการวิจัย : ผลการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ของระบบนิเวศป่าไม้ในป่าเขตร้อนและพื้นที่เผาไหม้ มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ รวมทั้งมาตรการห้ามเผาป่าและพื้นที่เกษตรตามประกาศของจังหวัด

คำสำคัญ : ไฟป่า ; ปรากฏการณ์เอลนีโญ ; ระบบนิเวศป่าไม้ในป่าเขตร้อน ; แบบจำลองคาดการณ์ ; เทคโนโลยีอวกาศ

Abstract

Background and Objectives : This study has two objectives: 1) to analyze the relationship between the forest ecosystem and the burned areas in tropical forests from an effect of the ENSO phenomena; and 2) to study the physical factors and develop models to predict areas at risk of burned areas in forests from an effect of the ENSO Phenomenon in Sam Ngao District, Tak Province.

Methodology : Data used in this study were; 1) Sentinel-2 data between January-March in the ENSO years; El Niño (2019), Neutral (2020) and La Niña (2022) years, these data were used to analyze Burned Area Index for Sentinel 2 (BAIS2), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and Moisture Stress Index (MSI); 2) Landsat 8 (TIRS) data were used to extract Land Surface Temperature (LST); and 3) Topographic images from NASA's Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) were used to analyze Digital Elevation Model (DEM), slope and aspect. Monthly NDVI and BAIS2 were used to examine the relationship between forest ecosystem and burned areas in tropical forests using pearson correlation. The creation of the predictive model was performed from Multiple Linear Regression (MLR). The dependent variable is burned area and the independent variables are NDVI, LST, MSI, DEM, slope, and aspect.

Main Results : The results found that there is a relationship between forest ecosystem integrity and burned areas in ENSO years. For the predictive model areas at risk of burned areas in forests, El Niño, Neutral and La Niña years could predict wildfires with high ($R^2 = 0.905$), high ($R^2 = 0.700$), and moderate ($R^2 = 0.519$) precisions, respectively. The factors influencing wildfires are NDVI, LST and MSI.

Conclusions : The study found that forest ecosystem integrity in tropical forests and areas prone to wildfires is closely related to climate change from the ENSO phenomenon, including measures to prohibit forest and agricultural burning as declared by the provinces.

Keywords : wildfires ; ENSO Phenomenon ; tropical forest ecosystem ; predictive model ; space technology

*Corresponding author. E-mail : chote_weerakul@cmu.ac.th

บทนำ

ไฟป่าเป็นหนึ่งในภัยพิบัติธรรมชาติที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ในป่าเกือบทุกประเภททุกสภาพภูมิอากาศสามารถเกิดไฟป่าขึ้นได้ (Robinne & Secretariat, 2021) การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมากจากการเผาไหม้ไปสู่อากาศส่งผลกระทบต่ออากาศเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก ในขณะที่เดียวกันก็ส่งผลให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงมากขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ทำให้เกิดความแห้งแล้ง ซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาไฟป่าในหลายพื้นที่ทั่วโลกอย่างมีนัยสำคัญ (Touma *et al.*, 2021) ในปัจจุบันนอกจากไฟป่าจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ป่าไม้เสื่อมโทรมลง การเกิดไฟป่าในแต่ละครั้งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งกับดิน น้ำ และอากาศ การเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของสภาพพื้นที่ป่าไม้ที่ถูกทำลาย และยังส่งผลกระทบต่อแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า ผลกระทบต่อมนุษย์ ในเรื่องสุขภาพจากปัญหาหมอกควันที่เป็นพิษ ความเสียหายทางเศรษฐกิจ และทรัพย์สินของประชาชน (Kalogiannidis *et al.*, 2023)

สำหรับประเทศไทยสาเหตุของการเกิดไฟป่าหลัก ๆ มี 2 สาเหตุ คือ ไฟป่าที่เกิดเองตามธรรมชาติและไฟป่าที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ไฟป่าที่เกิดเองตามธรรมชาติสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น อิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญในปีเอลนีโญมีปริมาณฝนที่ต่ำกว่าปกติ ส่งผลให้เกิดความแห้งแล้ง อุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้น ส่วนในปีลานีญาจะส่งผลให้มีปริมาณฝนตกมากกว่าปกติ ส่งผลให้เกิดความชื้น อุณหภูมิอากาศลด โดยปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อโอกาสเกิดและความรุนแรงของไฟป่าที่สัมพันธ์กับวัฏจักรความแปรปรวนของสภาพอากาศ (Fasullo *et al.*, 2018) ส่วนการเกิดไฟป่าที่มาจาก การกระทำของมนุษย์ก็เป็นสาเหตุหลักที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดไฟป่าในเขตร้อนของประเทศกำลังพัฒนาที่ส่วนใหญ่มีสาเหตุหลัก ๆ มาจากการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ ในประเทศไทยปัญหาไฟป่าที่เกิดขึ้นจากมนุษย์มีหลายสาเหตุ เช่น การเผาวัสดุทางการเกษตร การเผาไร่ในที่โล่งทั้งในพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ป่า การกำจัดวัชพืช การทำปศุสัตว์ การเก็บหาของป่า การล่าสัตว์ การแก่งจูด ความคึกคะนอง และความประมาท เป็นต้น (Intamat, 2021) ซึ่งส่วนมากปัญหาไฟป่าในประเทศไทยมักเกิดในพื้นที่ภาคเหนือและเป็นสาเหตุโดยตรงของการเกิดปัญหาหมอกควัน เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคมไปจนถึงเดือนเมษายนซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง (Department of Health & Department of Disease Control, 2015) พื้นที่ศึกษาของการวิจัยในครั้งนี้ คือ พื้นที่จังหวัดตากเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคเหนือ (บางแห่งจัดอยู่ในภาคตะวันตก) ในช่วงฤดูแล้งของทุกปี มักประสบปัญหาไฟป่าและหมอกควันที่รุนแรง โดยเฉพาะที่อำเภอสามเงา จังหวัดตาก พื้นที่ดังกล่าวตามรายงานสรุปสถานการณ์ไฟป่าและหมอกควันประจำปี ค.ศ. 2019 ถึง 2021 ที่ได้จำแนกวิเคราะห์ออกเป็นรายอำเภอในพื้นที่ 9 จังหวัด

ภาคเหนือ พบว่าอำเภอสามเงา จังหวัดตาก เป็นอำเภอที่มีพื้นที่เผาไหม้สะสมมากที่สุดระหว่างเดือนมกราคม ถึงพฤษภาคม ในช่วงระยะเวลา 3 ปี (GISTDA, 2021) โดยในปี ค.ศ. 2019 ประเทศไทยประสบภัยแล้งรุนแรงจากปรากฏการณ์เอลนีโญ ทำให้มีฝนตกน้อยกว่าค่าเฉลี่ยประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และฝนทิ้งช่วงยาวนาน ส่งผลให้น้ำต้นทุนสะสมมีน้อยเป็นสัญญาณความขาดแคลนน้ำในช่วงปลายปี (Climatological Center, 2020) และส่งผลกระทบต่อเนื่องในปี ค.ศ. 2020 ส่วนในปี ค.ศ. 2022 ประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์ลานีญาส่งผลให้มีฝนตกหนักทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย (Climatological Center, 2023)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในเขตป่าสามารถทำการวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น การวิเคราะห์ด้วยวิธีป่าสุ่ม (Random Forest) การวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยส่วนใหญ่จะศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์การถดถอย เช่น

1. การสร้างสมการถดถอยที่พัฒนาจากความสัมพันธ์ระหว่างสภาพภูมิอากาศและข้อมูลไฟป่า โดยใช้วิธีการหาความสัมพันธ์และการวิเคราะห์การถดถอย (Thanadolmethaphorn, 2016) ในงานศึกษานี้พบว่ามีข้อจำกัดเกี่ยวกับความละเอียดของจุดภาพของภาพถ่ายดาวเทียมระบบ MODIS ที่ใช้ในการศึกษาที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำเป็นข้อจำกัดในการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเกิดไฟป่าซึ่งถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองอาจจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในเชิงพื้นที่ของการคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงเกิดไฟป่าได้

2. การประเมินความเสี่ยงของการเกิดไฟป่าโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยการวิเคราะห์วิธีป่าสุ่ม การวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม และการวิเคราะห์การถดถอย ในพื้นที่มาฆานดารัน ประเทศอิหร่าน (Eslami *et al.*, 2021) ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองจากการวิเคราะห์การถดถอยมีค่าความถูกต้องในการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ และในงานศึกษานี้พบว่ายังขาดการพิจารณาถึงอิทธิพลของปรากฏการณ์เอนโซที่มีต่อการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในเขตป่า การแบ่งช่วงเวลาของการศึกษาตามปีที่ได้รับอิทธิพลจากปีเอลนีโญ ปีปกติ และปีลานีญา

3. การคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าด้วยการวิเคราะห์การถดถอย และการวิเคราะห์ด้วยวิธีป่าสุ่ม (Guan, 2023) ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยมีค่าความถูกต้องในการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าต่ำกว่าแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีป่าสุ่ม และในการศึกษานี้ยังขาดการพิจารณาถึงอิทธิพลของปรากฏการณ์เอนโซที่มีต่อการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในเขตป่าเช่นเดียวกัน

การวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นทำการวิเคราะห์ผลกระทบจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอนโซ (ENSO) ที่ส่งผลต่อการเกิดไฟป่าในปีเอลนีโญ (ค.ศ. 2019) ปีปกติ (ค.ศ. 2020) และปีลานีญา (ค.ศ. 2022) โดยพิจารณาเลือกศึกษาปีปกติหลังเหตุการณ์เอลนีโญเนื่องจากเป็นปีที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากปีเอลนีโญและเป็นปีที่มีน้ำต้นทุนสะสมน้อยซึ่งเป็นสัญญาณของความแห้งแล้งที่จะส่งผลต่อโอกาสเกิดไฟป่าได้มาก การศึกษาในครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกลโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ

ป่าไม้ในป่าเขตร้อนและพื้นที่เผาไหม้และสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าจากปัจจัยทางกายภาพ โดยมีวัตถุประสงค์การศึกษา คือ 1) เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศป่าไม้และพื้นที่เผาไหม้ในป่าเขตร้อนจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ (ENSO) และ 2) เพื่อศึกษาปัจจัยทางกายภาพและพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญในพื้นที่อำเภอสามเงา จังหวัดตาก สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการไฟป่าหรือผู้ที่สนใจ สามารถนำแบบจำลองของการศึกษาในครั้งนี้ไปใช้เพื่อประกอบการศึกษาหรือคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าเพื่อออกมาตรการป้องกันและเฝ้าระวังต่อไปได้

วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาบริเวณอำเภอสามเงา จังหวัดตาก มีลักษณะภูมิประเทศทางทิศเหนือและทิศตะวันตกเป็นภูเขาทางทิศใต้และทิศตะวันออกเป็นที่ราบเชิงเขาและเป็นที่ราบสลับเนิน พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นป่าและพื้นน้ำ คือ อ่างเก็บน้ำและเขื่อนภูมิพล อำเภอสามเงาเป็นอำเภอที่มีการรายงานการเกิดไฟป่าอยู่เป็นประจำ มีพื้นที่ป่าไม้ถูกเผาไหม้เป็นจำนวนมากที่ตั้งของพื้นที่ศึกษามีอาณาเขตติดต่อ ดังนี้ (Figure 1)

| | | |
|-------------|-----------|---|
| ทิศเหนือ | ติดต่อกับ | อำเภออมก๋อย อำเภอดอยเต่า จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอลี จังหวัดลำพูน และอำเภอแม่พริก จังหวัดลำปาง |
| ทิศตะวันออก | ติดต่อกับ | อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก |
| ทิศใต้ | ติดต่อกับ | อำเภอบ้านตากและอำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก |
| ทิศตะวันตก | ติดต่อกับ | อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก และอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ |

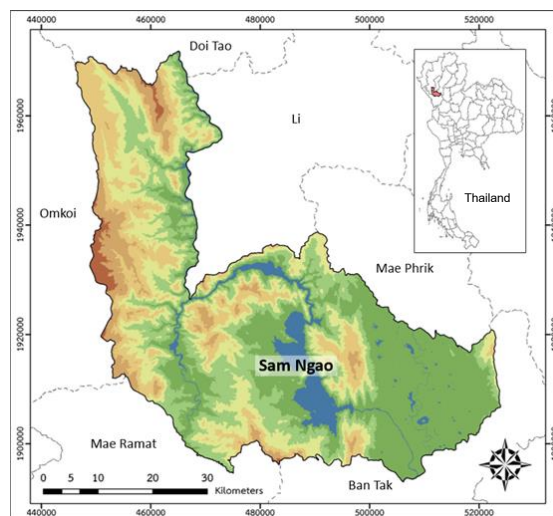


Figure 1 Study area

การเตรียมข้อมูล

1. ภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 (Sentinel 2) เป็นภาพที่ถ่ายด้วยดาวเทียมในโครงการ Copernicus ของสหภาพยุโรป ซึ่งมุ่งเน้นสังเกตการณ์พื้นผิวโลกด้วยการถ่ายภาพเชิงแสงหลายช่วงคลื่น (Multispectral Imaging) ประกอบด้วยดาวเทียม 2 ดวง คือ ดาวเทียมเซนติเนล 2A (Sentinel-2A) และดาวเทียมเซนติเนล 2B (Sentinel-2B) ที่ทำงานร่วมกันสามารถถ่ายภาพทุกพื้นที่บนโลกทุก ๆ 5 วัน ซึ่งทำให้ได้ข้อมูลที่มีความถี่สูงและเหมาะสำหรับการติดตามการเปลี่ยนแปลงในระยะสั้น มีความละเอียดของจุดภาพสูงสุดถึง 10 เมตรต่อพิกเซล (Pixel) ในบางช่วงคลื่น (Band) เช่น ช่วงคลื่นสีแดง เขียว และน้ำเงิน และ 20 เมตรต่อพิกเซลในช่วงคลื่นอื่น ๆ ที่ใช้ในงานวิเคราะห์เฉพาะทาง ดาวเทียมเซนติเนล 2 มีช่วงคลื่นทั้งหมด 13 ช่องสัญญาณ ที่ครอบคลุมตั้งแต่ช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็น (Visible) ช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด (Near-Infrared) และอินฟราเรดคลื่นสั้น (Shortwave Infrared) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 สามารถเข้าถึงได้ผ่านแพลตฟอร์มต่าง ๆ เช่น Copernicus Open Access Hub สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิจัยและการจัดการทรัพยากรได้อย่างกว้างขวาง สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ดัชนีพื้นที่เผาไหม้ (BAIS2) ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) และดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช (MSI)

2. ภาพถ่ายดาวเทียมแลนดแซท 8 ระบบ TIRS (Landsat 8 (TIRS)) เป็นภาพที่ถ่ายโดยใช้เซนเซอร์ (Sensor) อินฟราเรดความร้อน มี 2 ช่องสัญญาณช่วงคลื่น (ช่วงคลื่น 10 และ 11) มีความสามารถในการวัดอุณหภูมิพื้นผิวโลก โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่าย มีรอบโคจรถ่ายภาพทุกพื้นที่บนโลกทุก ๆ 16 วัน ภาพถ่ายมีความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 100 เมตรต่อพิกเซล แม้จะมีความละเอียดไม่เท่ากับระบบอื่น ๆ แต่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์อุณหภูมิในเชิงพื้นที่ สามารถใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น การเกิดไฟป่า หรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนดแซท 8 ระบบ TIRS มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการศึกษาวินิจฉัยและการจัดการทรัพยากร โดยข้อมูลเหล่านี้สามารถเข้าถึงได้ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ต่าง ๆ ที่ให้บริการข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เช่น EarthExplorer ของ USGS (United States Geological Survey) สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิว (LST)

3. ภาพถ่ายภูมิประเทศจากเรดาร์กระสวยอวกาศขององค์การบริหารการบิน และอวกาศแห่งชาติ (SRTM) เป็นโครงการที่เกิดขึ้นจากความร่วมมือระหว่าง NASA และ NIMA (National Imagery and Mapping Agency) มีเป้าหมายในการสร้างแผนที่ภูมิประเทศสามมิติของโลก โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เฟอเมตริกเรดาร์ (Interferometric Synthetic Aperture Radar: InSAR) เพื่อสร้างแผนที่ความสูงภูมิประเทศที่มีความละเอียดสูงที่ 90 เมตร มีความครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นผิวโลก สามารถเข้าถึงได้ผ่านหลายแพลตฟอร์มออนไลน์ต่าง ๆ เช่น EarthExplorer ของ USGS และ NASA EarthData สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์แบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) ความลาดชัน (Slope) และทิศทางลาดเอียง (Aspect)



Table 1 Product Information

| Data Source | Sensor Type | Coverage | Temporal Frequency | Resolution | Applications |
|-------------|--|----------------------------|--------------------|------------|---|
| Sentinel-2 | Multispectral Instrument (MSI) | Global | 5 days | 10 m | Burned Area Index for Sentinel-2 (BAIS2), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Moisture Stress Index (MSI) |
| Landsat 8 | Thermal Infrared Sensor (TIRS) | Global | 16 days | 100 m | Land Surface Temperature (LST) |
| SRTM | Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) | 80% of the global landmass | Single acquisition | 90 m | Digital Elevation Model (DEM), Slope and Aspect |

การจัดการข้อมูลที่ใช้สำหรับการศึกษา ข้อมูลภาพถ่ายมีความละเอียดเชิงพื้นที่แตกต่างกันในงานวิจัยครั้งนี้ ใช้การปรับแก้ข้อมูลเชิงพิกัดภูมิศาสตร์ (Georeferencing) ให้มีระบบพิกัดภูมิศาสตร์เดียวกัน เพื่อให้สามารถนำมาซ้อนทับกัน และวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง ทำการตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) โดยใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points) ในการปรับแก้เชิงเรขาคณิต จากนั้นใช้การปรับระดับความละเอียด (Resampling) เพื่อให้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่างกันมีความละเอียดเชิงพื้นที่เดียวกันโดยกำหนดความละเอียดของภาพผลลัพธ์ (Output Resolution) ของภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 8 ระบบ TIRS และข้อมูลภาพถ่ายภูมิประเทศจากเรดาร์กระสวยอวกาศเป็น 10 เมตร เพื่อให้ความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 แม้ว่าภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 จะมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงแต่มีข้อจำกัดในการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิว ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้ภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 8 ระบบ TIRS ที่มีเซนเซอร์อินฟราเรดความร้อนเข้ามาศึกษา ร่วมกับการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 นอกจากนี้ใช้การรวมข้อมูลภาพถ่าย (Image Mosaicking) เพื่อให้ข้อมูลภาพถ่ายหลายภาพเป็นภาพเดียวกันมีความต่อเนื่องและสมบูรณ์สำหรับการนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษานี้มีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกตามวัตถุประสงค์ 2 ข้อ ได้แก่ 1) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศป่าไม้และพื้นที่เผาไหม้ในป่าเขตร้อนจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ และ 2) การศึกษาปัจจัยทางกายภาพและพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในเขตป่าจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญในอำเภอสางเภา จังหวัดตาก (Figure 2)

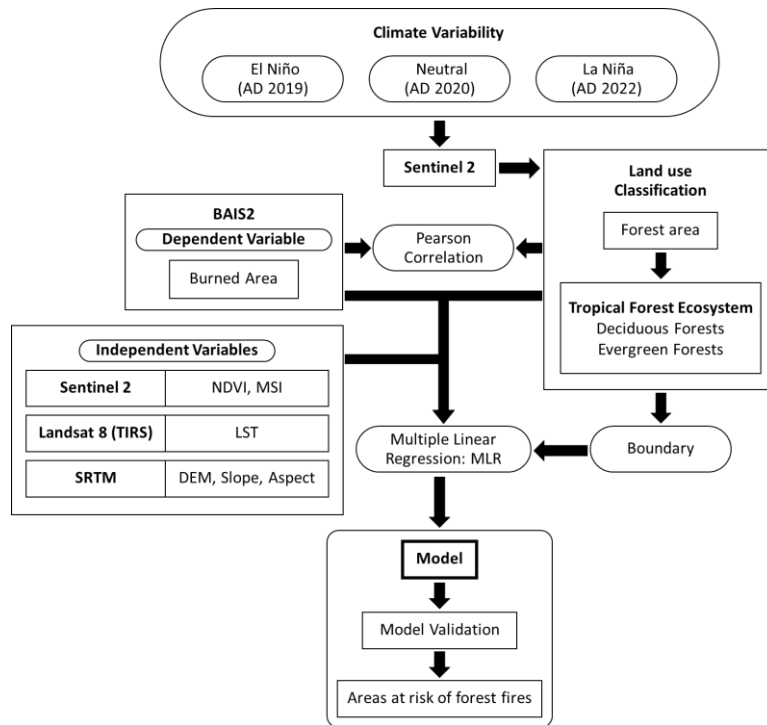


Figure 2 Conceptual framework

1) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศป่าไม้และพื้นที่เผาไหม้ในป่าเขตร้อนจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ

1.1 การแบ่งช่วงเวลาของการศึกษาได้ทำการอ้างอิงตามค่าดัชนีชี้วัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวทะเลบริเวณ Niño 3.4 (Oceanic Niño Index: ONI) จาก Table 2 แบ่งช่วงเวลาของการศึกษาออกเป็น 3 ปี ได้แก่ ปีเอลนีโญ (ค.ศ. 2019) ปีปกติ (ค.ศ. 2020) และปีลานีญา (ค.ศ. 2022) โดยความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิก (Figure 3) กับปรากฏการณ์ ENSO (El Niño-Southern Oscillation) มีผลกระทบอย่างมากต่อสภาพอากาศทั่วโลก ทั้งในระยะสั้นและระยะยาวก่อให้เกิดปรากฏการณ์สภาวะอากาศแปรปรวนอย่างฉับพลันที่เรียกว่าเอลนีโญ (El Niño) และลานีญา (La Niña)

Table 2 Monthly Oceanic Niño Index (ONI)

| Year | DJF | JFM | FMA | MAM | AMJ | MJJ | JJA | JAS | ASO | SON | OND | NDJ |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2018 | -0.9 | -0.9 | -0.7 | -0.5 | -0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 0.8 | 0.9 | 0.8 |
| 2019 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.5 |
| 2020 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.2 | -0.1 | -0.3 | -0.4 | -0.6 | -0.9 | -1.2 | -1.3 | -1.2 |
| 2021 | -1.0 | -0.9 | -0.8 | -0.7 | -0.5 | -0.4 | -0.4 | -0.5 | -0.7 | -0.8 | -1.0 | -1.0 |
| 2022 | -1.0 | -0.9 | -1.0 | -1.1 | -1.0 | -0.9 | -0.8 | -0.9 | -1.0 | -1.0 | -0.9 | -0.8 |

Source: Climate Prediction Center (2023)

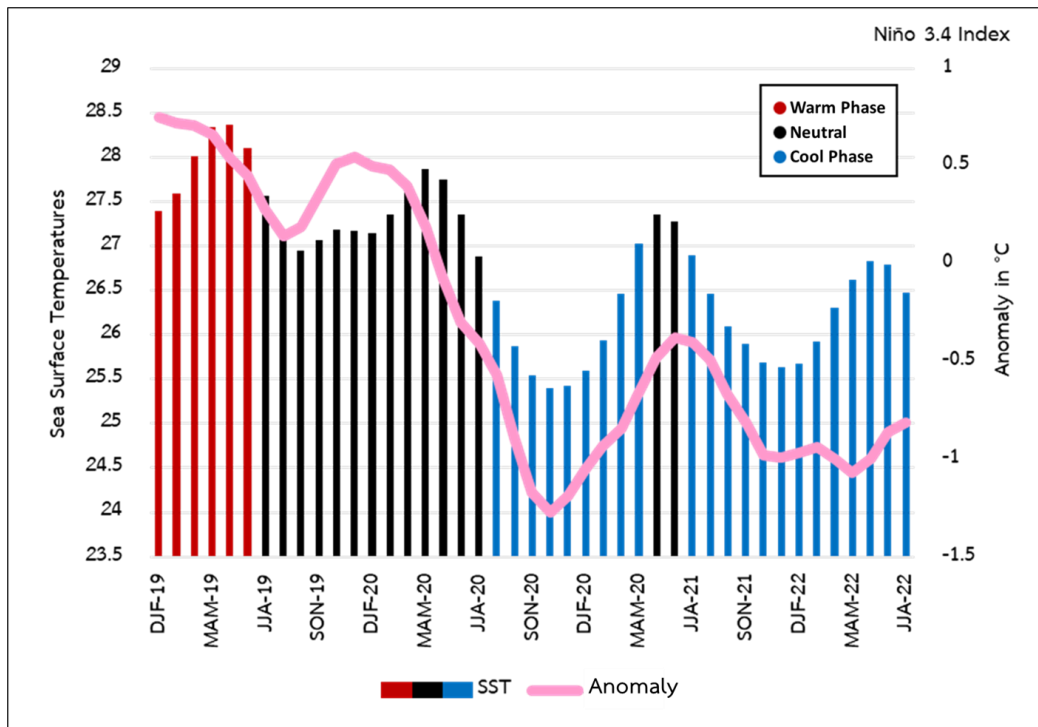


Figure 3 Equatorial Pacific Sea Surface Temperatures (SST)

1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 (Sentinel 2) ทำการเลือกภาพถ่ายที่มีความชัดเจนและปราศจากเมฆมากที่สุด เพื่อใช้การจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยกำหนดพื้นที่ตัวอย่าง (Training Areas) ที่ทราบว่ามีการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใด เช่น พื้นที่ป่าผลัดใบ ป่าไม่ผลัดใบ และพื้นที่การใช้ประโยชน์อื่น ๆ เพื่อกำหนดขอบเขตของพื้นที่ป่าผลัดใบและป่าไม่ผลัดใบในแต่ละปี แล้วทำการศึกษาเฉพาะภายในขอบเขตของพื้นที่ป่าโดยใช้โปรแกรม



วิเคราะห์ด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์วิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) และดัชนีพื้นที่เผาไหม้สำหรับภาพเซนติเนล 2 (BAIS2)

ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) เป็นค่าสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิว ได้จากการคำนวณช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณนำมาทำสัดส่วนกันใช้ค่าความแตกต่างจากการสะท้อนพื้นผิวของช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด และช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดงนำมาทำสัดส่วนกับผลบวกของค่าทั้งสองช่วงคลื่น เพื่อปรับเปลี่ยนให้เป็นลักษณะของการกระจายแบบปกติ ค่าที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 การแปลความหมายค่าที่เป็นบวก เช่น 0.1 ถึง 0.9 คือ บริเวณที่มีพืชพรรณปกคลุม ค่าเป็น 0 คือ บริเวณนั้นไม่มีพืชพรรณปกคลุม และค่าติดลบจะเป็นพื้นที่บริเวณแหล่งน้ำ สามารถคำนวณค่าได้โดยมีสมการ ดังนี้ (Tucker, 1979)

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

| | | |
|--------|------|--------------------------------------|
| โดยที่ | NDVI | คือ ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ |
| | NIR | คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ |
| | RED | คือ ช่วงคลื่นสีแดง |

ดัชนีพื้นที่เผาไหม้สำหรับภาพเซนติเนล 2 (Burned Area Index for Sentinel-2: BAIS2) ดัชนีนี้เป็นการเน้นพื้นที่เผาไหม้ด้วยคลื่นความถี่สีแดงถึงอินฟราเรดใกล้ (NIR) ซึ่งเน้นเข้าด้านหลังการเผาไหม้ คำนวณจากระยะสเปกตรัมของแต่ละพิกเซล (Pixel) ไปยังจุดสเปกตรัมอ้างอิง พิกเซลที่มีความสว่างแสดงถึงบริเวณที่มีการเผาไหม้ สามารถคำนวณค่าได้โดยมีสมการ ดังนี้ (Filipponi, 2018)

$$BAIS2 = \left(1 - \sqrt{\frac{RED\ EDGE_{(0.740\ \mu m)} \times RED\ EDGE_{(0.783\ \mu m)} \times NIR}{RED}} \right) \times \left(\frac{SWIR - NIR}{\sqrt{SWIR + NIR}} + 1 \right) \quad (2)$$

| | | |
|--------|--------------------------------|--|
| โดยที่ | BAIS2 | คือ ดัชนีพื้นที่เผาไหม้สำหรับภาพเซนติเนล 2 |
| | RED | คือ ช่วงคลื่นสีแดง |
| | RED EDGE _(0.740 μm) | คือ ช่วงคลื่นขอบสีแดง (ความยาวช่วงคลื่น 0.740 ไมโครเมตร) |
| | RED EDGE _(0.783 μm) | คือ ช่วงคลื่นขอบสีแดง (ความยาวช่วงคลื่น 0.783 ไมโครเมตร) |
| | NIR | คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ |
| | SWIR | คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น |



1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ และดัชนีพื้นที่เผาไหม้สำหรับภาพเซนติเนล 2 นำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณจากระบบนิเวศป่าไม้ในป่าผลัดใบและป่าไม่ผลัดใบ กับพื้นที่เผาไหม้ ระหว่างเดือนมกราคมถึงมีนาคม ในปีเอลนีโญ (ค.ศ. 2019) ปีปกติ (ค.ศ. 2020) และปีลานีญา (ค.ศ. 2022)

1.4 การหาความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศป่าไม้และพื้นที่เผาไหม้ในป่าเขตร้อนที่ได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์ เอนไซโนแต่ละปี ใช้วิธีการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation) โดยมีสมการ ดังนี้

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

โดยที่ r คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน
 X_i คือ ค่าของตัวแปร X
 Y_i คือ ค่าของตัวแปร Y
 \bar{X} และ \bar{Y} คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปร X และตัวแปร Y

2) การศึกษาปัจจัยทางกายภาพและพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในเขตป่าจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอนไซโนในอำเภอสามเงา จังหวัดตาก

2.1 ใช้ข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูลดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ และดัชนีพื้นที่เผาไหม้สำหรับภาพเซนติเนล 2 จากวัตถุประสงคที่ 1 และนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 มาวิเคราะห์ดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช (MSI) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแลนด์แซท 8 ระบบ TIRS ในการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิว (LST) และใช้ข้อมูลภาพถ่ายภูมิประเทศจากเรดาร์กระสวยอวกาศ (SRTM) เพื่อวิเคราะห์แบบจำลองความสูงเชิงเลข ความลาดชัน และทิศทางลาดเอียง

ดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช (Moisture Stress Index: MSI) เป็นการวัดค่าการสะท้อนความไวต่อการเพิ่มปริมาณน้ำในใบพืช ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความเค้นจากเรือนยอดพืช ค่าดัชนีที่สูงขึ้นจะบ่งบอกถึงความเครียดของน้ำในพืชที่มากขึ้น และสามารถประเมินได้ว่าความชื้นในดินมีน้อย ค่าจากการคำนวณมีตั้งแต่ 0 ถึงมากกว่า 3 มีค่าทั่วไปสำหรับพืชพรรณสีเขียว คือ ค่าระหว่าง 0.2 ถึง 2 สามารถคำนวณค่าได้จากสูตรดังสมการ(Ceccato *et al.*, 2001)

$$MSI = \frac{SWIR}{NIR} \quad (4)$$

โดยที่ MSI คือ ดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช
SWIR คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดคลื่นสั้น
NIR คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

อุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature: LST) เป็นการศึกษาความร้อนของพื้นผิวโลก โดยใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน อาศัยการแผ่รังสีความร้อนของสิ่งปกคลุมดินหรือพื้นผิวโลก สามารถประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมแลนดแซท 8 ระบบ TIRS ในการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวดินได้ มีขั้นตอนในการได้มาของข้อมูลจากสูตรต่างๆ ดังนี้ (Julien *et al.*, 2011)

การนำช่วงคลื่นความร้อนของภาพถ่ายดาวเทียมแลนดแซท 8 ระบบ TIRS มาแปลงจากค่าความเข้มสีเทา หรือเรียกว่า Digital Number (DN) เป็นค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น

$$L_{\lambda} = M_L Q_{caL} + A_L \quad (5)$$

| | | |
|--------|---------------|--|
| โดยที่ | L_{λ} | คือ ค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น (TOA Spectral Radiance) |
| | M_L | คือ ค่าการคูณสำหรับการแปลงค่าเฉพาะช่วงคลื่นนั้นจากข้อมูลที่ให้มา |
| | A_L | คือ ค่าการเพิ่มสำหรับการแปลงค่าเฉพาะช่วงคลื่นจากข้อมูลที่ให้มา |
| | Q_{caL} | คือ ค่าการวัดและการนับจำนวนขนาดภาพ (DN) |

การแปลงค่ารังสีสัมบูรณ์เป็นค่าอุณหภูมิความสว่าง (Brightness Temperature: BT)

$$BT = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} - 273.15 \quad (6)$$

| | | |
|--------|---------------|--|
| โดยที่ | BT | คือ ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์จากการแผ่รังสีเชิงคลื่น จากสมการได้มีการแปลงหน่วยจากเคลวิน ให้มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส |
| | L_{λ} | คือ ค่าการแผ่รังสีเชิงคลื่น (TOA Spectral Radiance) |
| | K_1 | คือ ค่าคงที่ในการแปลงของช่วงคลื่นความร้อนจากข้อมูลที่ให้มา ($K1_CONSTANT_BAND\ 10$) |
| | K_2 | คือ ค่าคงที่ในการแปลงของช่วงคลื่นความร้อนจากข้อมูลที่ให้มา ($K2_CONSTANT_BAND\ 10$) |

2.2 การสร้างแบบจำลองได้กำหนดตัวแปรตาม คือ พื้นที่เผาไหม้ ตัวแปรอิสระ คือ ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ อุณหภูมิพื้นผิว ดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช แบบจำลองความสูงเชิงเลข ความลาดชัน และทิศทางลาดเอียง ใช้ปัจจัยตัวแปรทั้งหมดนำเข้าสู่โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่า ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ดังสมการต่อไปนี้

$$Y_i = a + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} + b_3X_{3i} + e_i \quad (7)$$

| | | |
|--------|-----------------|--|
| โดยที่ | Y_i | คือ ค่าพยากรณ์ |
| | a | คือ ค่าคงที่ |
| | X_{1i} | คือ ค่าตัวแปรอิสระ เมื่อ i เป็นหมายเลขลำดับของตัวแปร |
| | b_1 ถึง b_3 | คือ ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดน้ำหนักของตัวแปรอิสระ |
| | e_i | คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการพยากรณ์ |

2.3 การนำแบบจำลองที่ได้มาทดสอบกับพื้นที่จริง ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 วันเดียวกับที่ทำการวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้ เป็นการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงเกิดไฟป่าโดยใช้ข้อมูลพื้นที่เผาไหม้ที่ได้จากการวิเคราะห์ในวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 นำมาซ้อนทับกับพื้นที่เสี่ยงที่ได้จากการคำนวณสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ซึ่งพิจารณาตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ อุณหภูมิพื้นผิว ดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช แบบจำลองความสูงเชิงเลข ความลาดชัน และทิศทางลาดเอียง ผลการวิเคราะห์ได้ทำการแบ่งพื้นที่เสี่ยงเกิดไฟป่าด้วยการแบ่งช่วงธรรมชาติเจงค์ (Jenks Natural Breaks Classification) ออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ เสี่ยงมากที่สุด เสี่ยงมาก เสี่ยงปานกลาง เสี่ยงน้อย เสี่ยงน้อยที่สุด โดยแบ่งกลุ่มของข้อมูลตามผลรวมค่าความเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มกำลังสองของแต่ละกลุ่ม แล้วนำข้อมูลการจำแนกพื้นที่เสี่ยงที่ได้มาประเมินความสอดคล้องระหว่างพื้นที่เผาไหม้จริงกับพื้นที่เสี่ยงที่คาดการณ์ไว้ จากนั้นทำการวิเคราะห์ขนาดพื้นที่และอัตราส่วนของพื้นที่เผาไหม้ เพื่อประเมินความถูกต้องและประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยพิจารณาจากความสอดคล้องของพื้นที่เสี่ยงกับพื้นที่เผาไหม้จริง

ผลการวิจัย

1) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศป่าไม้และพื้นที่เผาไหม้ในป่าเขตร้อนจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ ดัชนีชี้วัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลตอนกลางของมหาสมุทรแปซิฟิก สามารถอธิบายได้ว่าในช่วงปี ค.ศ. 2019 เกิดเหตุการณ์อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกอุ่นขึ้นอย่างผิดปกติเกินค่ามาตรฐาน 0.5 องศาเซลเซียสขึ้นไป ค่าดัชนีนี้มีค่าเป็นบวกจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่มีความร้อนสูงกว่าค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในภาวะปกติ จนเป็นสาเหตุให้ภูมิภาคแถบประเทศด้านตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกเกิดความแห้งแล้งมากกว่าปกติ และประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์เอลนีโญในครั้งนี้ ต่อเนื่องจากช่วงปลายปี ค.ศ. 2018 เรื่อยมาถึงช่วงกลางปี ค.ศ. 2019 ส่วนในช่วงปลายปี ค.ศ. 2020 เรื่อยมาจนถึงปี ค.ศ. 2022 เกิดเหตุการณ์ที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลลดต่ำลงอย่างผิดปกติ โดยค่าดัชนีนี้มีค่าเป็นลบอย่างต่อเนื่อง จากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่มีความเย็นมากกว่าค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในภาวะปกติ ในช่วงนี้จึงตรงกับช่วงของปรากฏการณ์ลานีญา อ้างอิงตามค่าดัชนี Oceanic Niño Index (ONI) (Table 2) ค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เกิดขึ้นในช่วงปีเอลนีโญ ปีปกติ และปีลานีญา กับข้อมูลดัชนีนิญโญ 3.4 พบว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ (Figure 3)

การวิเคราะห์เกี่ยวกับระบบนิเวศป่าไม้ในป่าเขตร้อนจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ พบว่าค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ที่คำนวณได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 โดยสามารถแบ่งเป็นบริเวณที่พืชพรรณมีความอุดมสมบูรณ์สูง ค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์จะมีค่าเข้าใกล้ 1 และบริเวณที่พืชพรรณไม่สมบูรณ์หรือเกิดความแห้งแล้งพืชมีการผลัดใบและทิ้งใบ พบว่าค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์จะมีค่าเข้าใกล้ -1 ในการศึกษาครั้งนี้จะเห็นว่าพืชพรรณมีการเปลี่ยนแปลงความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศป่าไม้ที่สัมพันธ์กับอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ พืชพรรณที่อุดมสมบูรณ์ได้รับน้ำและสารอาหารเพียงพอ จะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็น คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดสูงกว่าช่วงคลื่นสีแดง และพืชพรรณที่ไม่สมบูรณ์จะมีค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นอินฟราเรดต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับช่วงคลื่นสีแดง จากกระบวนการทางชีววิทยาของพืชพรรณที่มีต่อคลื่นแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์ทำให้ภาพถ่ายดาวเทียมสามารถจำแนกสภาพความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณได้ เมื่อคลื่นเหล่านี้ไปตกกระทบบนพื้นผิวดวงโคจรโฟลลิโนพืชจะดูดซับคลื่นแสงที่ตามองเห็นช่วงคลื่นสีน้ำเงินและสีแดง โดยพืชพรรณส่วนใหญ่จะสะท้อนคลื่นแสงสีเขียวออกมา พืชพรรณต่างชนิดกันจะมีการสะท้อนของคลื่นที่แตกต่างกันและในพืชชนิดเดียวกันหากมีความสมบูรณ์หรืออายุพืชที่ต่างกันก็จะส่งผลต่อสัดส่วนการสะท้อนของคลื่นที่ต่างกันด้วย (Figure 4)

การวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้ด้วยดัชนีพื้นที่เผาไหม้สำหรับภาพดาวเทียมเซนติเนล 2 (Figure 5) เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาพื้นที่เผาไหม้พบว่า การเกิดไฟป่ามีความสัมพันธ์กับฤดูกาลและอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ และยังสอดคล้องกับความสมบูรณ์ของระบบนิเวศป่าไม้ที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน พื้นที่เผาไหม้โดยส่วนมากมักเกิดขึ้นในพื้นที่ป่าผลัดใบจากสภาพเชื้อเพลิงที่เอื้ออำนวยต่อการติดไฟและลุกลามได้ง่ายในช่วงฤดูแล้ง นอกจากนี้ช่วงปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญายังส่งผลให้ความสมบูรณ์ของระบบนิเวศป่า พื้นที่เผาไหม้และระดับความรุนแรงแตกต่างกันไปในแต่ละปี โดยปี ค.ศ. 2019 เป็นปีเอลนีโญเป็นช่วงที่เริ่มแห้งแล้งมีพื้นที่เผาไหม้เกิดขึ้นในหลายพื้นที่ และภัยแล้งยังส่งผลกระทบต่อเมืองมาจนถึงปี ค.ศ. 2020 อย่างไรก็ตามพื้นที่เผาไหม้มีจำนวนลดลงในเดือนมีนาคมเนื่องจากอิทธิพลของพายุฤดูร้อนบริเวณประเทศไทยตอนบน ที่ได้รับผลกระทบตั้งแต่วันที่ 20 ถึง 23 มีนาคม ค.ศ. 2020 ซึ่งใกล้เคียงกับเวลาที่ผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้ในวันที่ 25 มีนาคม ประกอบกับมาตรการของจังหวัดตากในการลดปัญหาการเกิดไฟป่า ปัญหาหมอกควันและฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยกำหนดช่วงเวลาห้ามเผาเด็ดขาดในทุกพื้นที่ของจังหวัดตากเป็นระยะเวลา 61 วันระหว่างวันที่ 1 มีนาคม ค.ศ. 2020 ถึงวันที่ 30 เมษายน ค.ศ. 2020 ส่วนผลกระทบจากปรากฏการณ์ลานีญาได้ส่งผลให้เกิดพื้นที่เผาไหม้น้อยที่สุดในปี ค.ศ. 2022 (Figure 6)

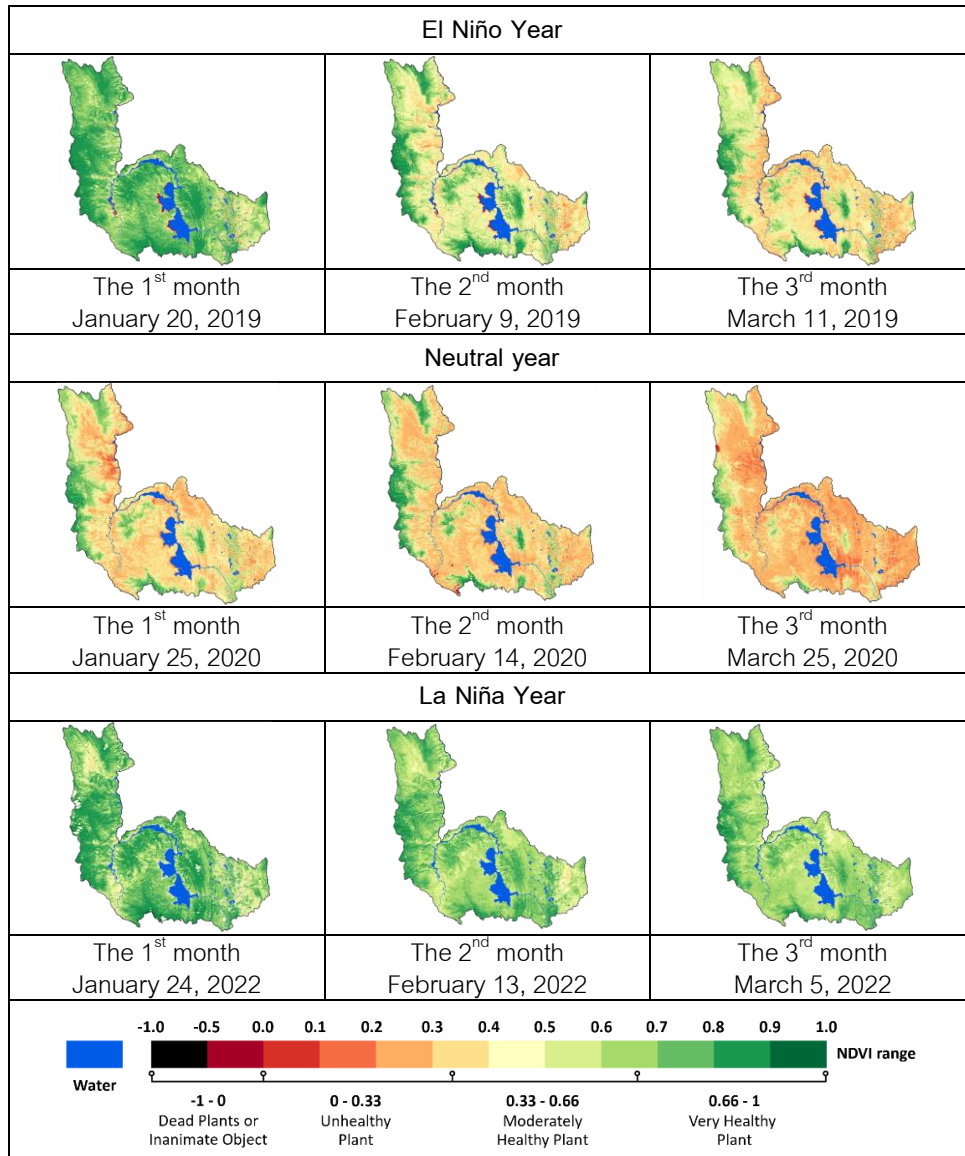


Figure 4 forest ecosystem integrity in tropical forests as an effect of ENSO phenomena

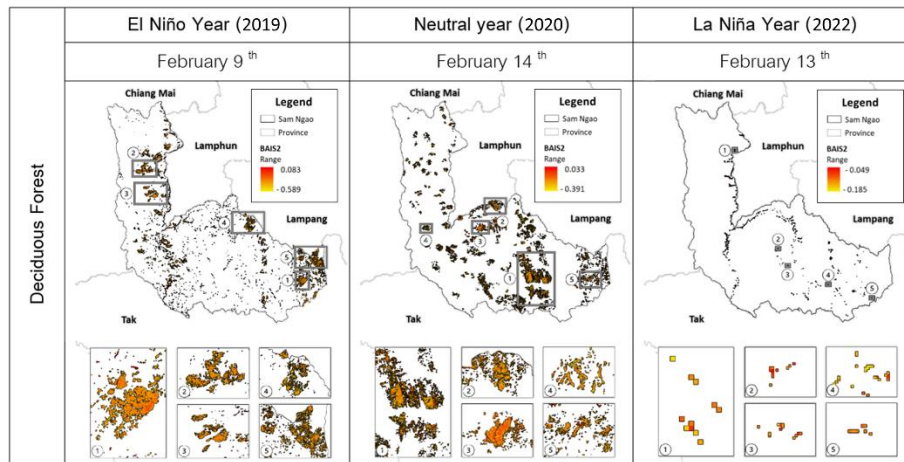


Figure 5 Example: Burned areas in deciduous forests as an effect of ENSO phenomena

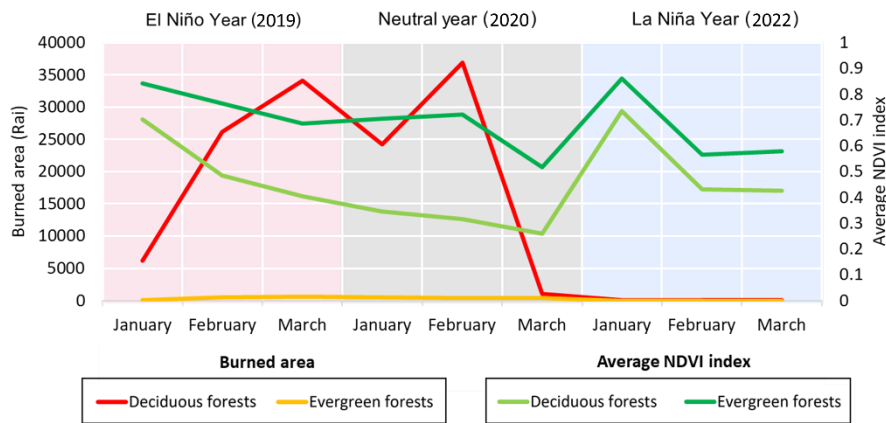


Figure 6 Comparison of Forest Ecosystem Integrity in Deciduous Forests, Evergreen Forests and Burned Areas

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศป่าไม้และพื้นที่เผาไหม้ในป่าเขตร้อน ด้วยการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation) พบว่าความสัมพันธ์ของระบบนิเวศป่าไม้และพื้นที่เผาไหม้ในป่าเขตร้อนทั้ง 3 ปี มีค่านัยสำคัญทางสถิติ (Significant) น้อยกว่า 0.05 คือ ปฏิเสธสมมติฐานว่าง ทั้ง 2 ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 การแปลผลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในปีเอลนีโญมีค่า -0.928 มีความสัมพันธ์ในระดับสูงและเป็นความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) ปีปกติมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ -0.300 มีความสัมพันธ์ในระดับต่ำและเป็นความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) ส่วนปีลานีญามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ -0.603 มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางและเป็นความสัมพันธ์ในเชิงลบ (แปรผกผัน) ซึ่งจะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความสมบูรณ์ของระบบนิเวศป่าไม้และพื้นที่เผาไหม้ในทุกปี จะแปรผกผันกัน ถ้าระบบนิเวศป่าไม้มีความอุดมสมบูรณ์สูงการเกิดพื้นที่เผาไหม้จากไฟป่าจะมีน้อย ในทางกลับกันหาก

ระบบนิเวศป่าไม้มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำที่อาจจะมีสาเหตุมาจากการผลัดใบหรือการขาดน้ำของพืช ก็จะส่งผลให้พื้นที่เผาไหม้จากไฟป่ามีมากจากสภาพเชื้อเพลิงที่เชื้ออำนวยการเกิดไฟป่า (Table 3)

Table 3 Pearson correlation coefficient

| | | El Niño | | Neutral | | La Niña | |
|-------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | BAIS2 | NDVI | BAIS2 | NDVI | BAIS2 | NDVI |
| BAIS2 | Pearson Correlation | 1 | -0.928** | 1 | -0.300** | 1 | -0.603** |
| | Sig. (2-tailed) | | 0.000 | | 0.000 | | 0.000 |
| | N | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| NDVI | Pearson Correlation | -0.928** | 1 | -0.300** | 1 | -0.603** | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | 0.000 | | 0.000 | | 0.000 | |
| | N | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

2) การศึกษาปัจจัยทางกายภาพและพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในเขตป่าจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญในอำเภอสางเภา จังหวัดตาก

ปัจจัยด้านคุณภาพและปริมาณเชื้อเพลิงได้จากการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ เป็นข้อมูลที่ได้จัดเตรียมในวัตถุประสงค์ที่ 1 โดยปกติพืชพรรณที่มีความอุดมสมบูรณ์จะมีการสังเคราะห์แสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นและสะท้อนแสงจากช่วงคลื่นอินฟราเรดออกไป ถ้าพืชพรรณมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ จะทำให้มีการสังเคราะห์แสงได้ไม่เต็มที่และการสะท้อนแสงอินฟราเรดออกไปได้น้อยกว่าปกติ การคำนวณค่า NDVI จะมีค่าอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 ถ้าค่ายิ่งมากจะหมายถึงพืชพรรณที่สมบูรณ์ ไม่ขาดน้ำ และมีสุขภาพดี จากการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ในวัตถุประสงค์ที่ 1 จะเห็นว่าความสมบูรณ์ของระบบนิเวศป่าไม้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญและช่วงฤดูกาล

ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ ปัจจัยประเภทนี้มีความสัมพันธ์กับคุณภาพของเชื้อเพลิง และความยากง่ายต่อการเกิดไฟ ในการศึกษานี้ประกอบด้วย 2 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิพื้นผิว และดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช อุณหภูมิพื้นผิวเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปวิเคราะห์และติดตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวดิน ซึ่งอุณหภูมิพื้นผิวจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดินด้วย ดินมีคุณสมบัติเป็นฉนวนอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิของดินจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าอุณหภูมิของอากาศ (Figure 7)

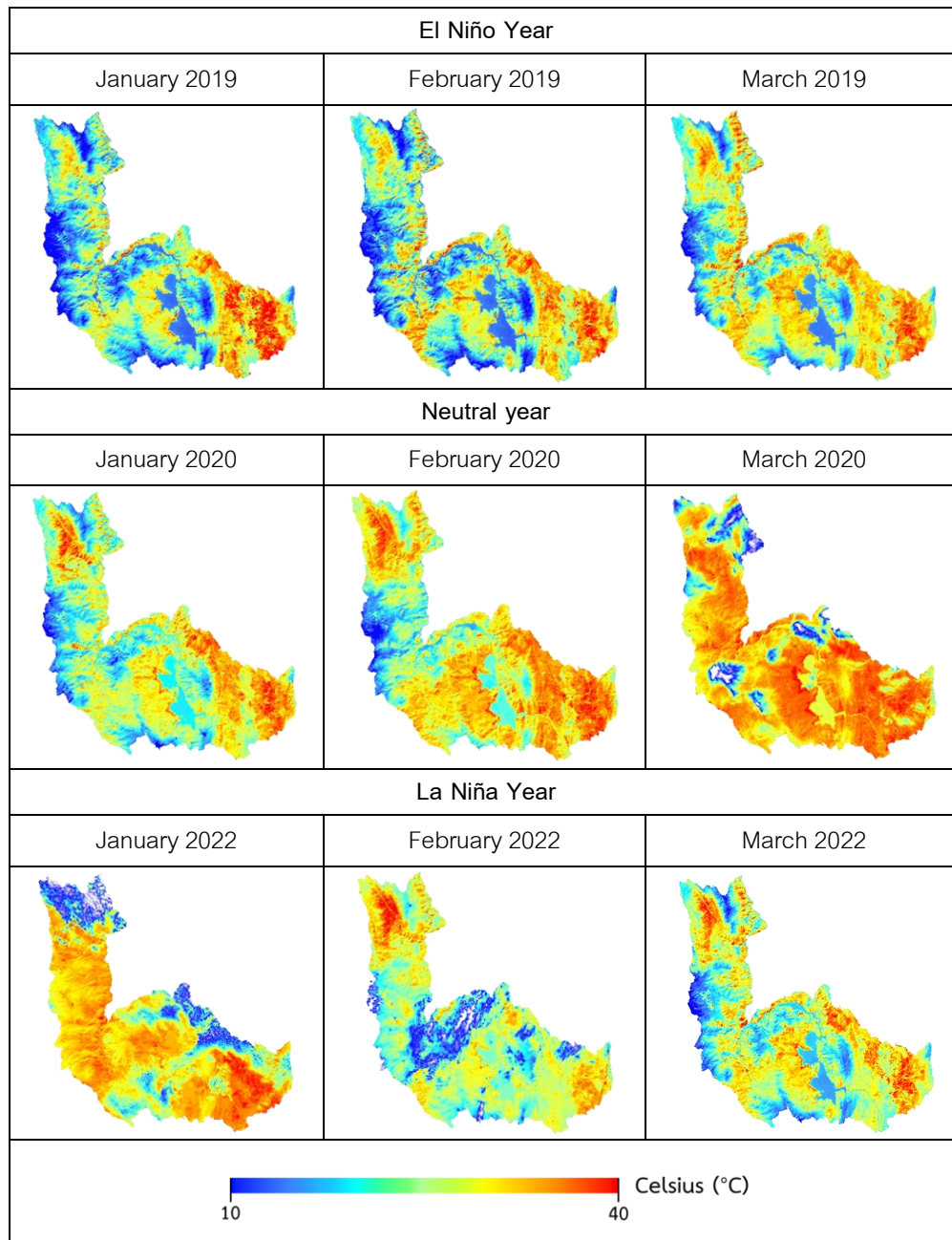


Figure 7 Land Surface Temperature

ดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืชเป็นดัชนีที่มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดินและสามารถนำมาใช้ตรวจสอบภาวะความแห้งแล้งในพื้นที่ศึกษาได้ ค่าที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึงมากกว่า 3 ค่าที่มากขึ้นหมายถึงความแห้งแล้งและการขาดน้ำที่รุนแรง โดยปริมาณน้ำในพืชจะมีความสัมพันธ์กับการได้รับน้ำและการขาดน้ำของพืช (Figure 8)

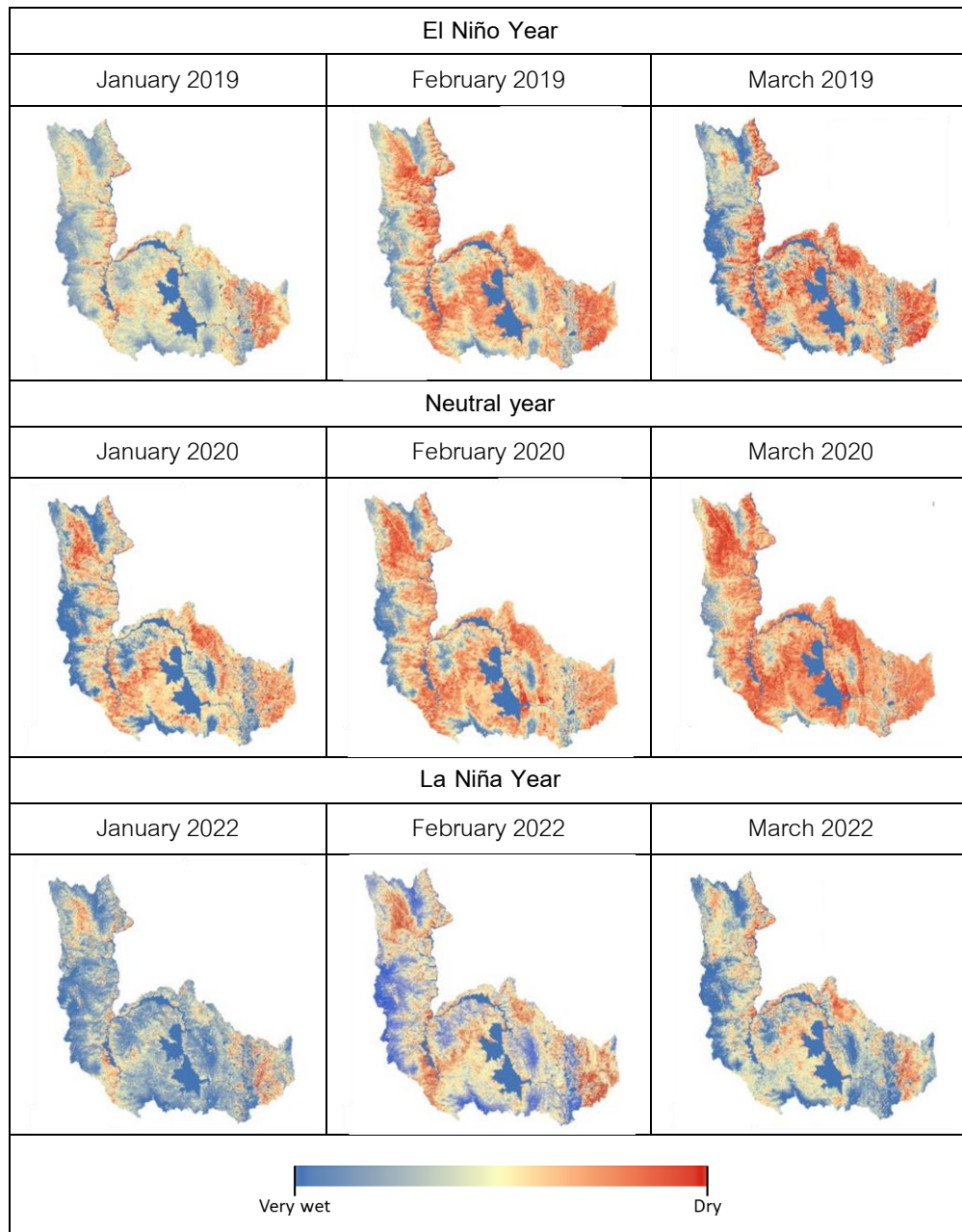


Figure 8 Moisture Stress Index

ปัจจัยด้านลักษณะภูมิประเทศ กลุ่มปัจจัยประเภทนี้มีความสัมพันธ์กับทิศทางการลุกลามและการสะสมของปริมาณเชื้อเพลิง ในการศึกษานี้ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ แบบจำลองความสูงเชิงเลข ความลาดชัน และทิศทางลาดเอียง ปัจจัยด้านลักษณะภูมิประเทศเป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระยะเวลาสั้น ๆ การศึกษาในครั้งนี้จึงใช้ปัจจัยเดียวกันทั้ง 3 ปี (Figure 9)

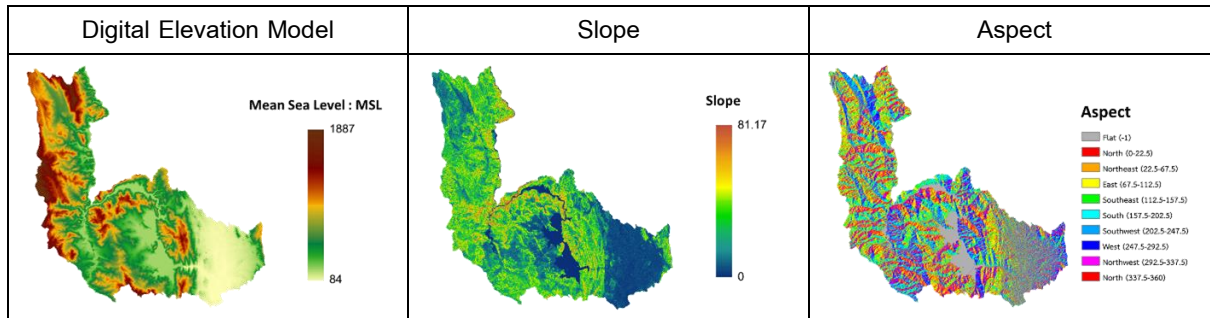


Figure 9 Topographic factors including Digital Elevation Model (DEM), slope and aspect

แบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในเขตป่าจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ กำหนดตัวแปรตาม คือ พื้นที่เผาไหม้ และตัวแปรอิสระ คือ ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ อุณหภูมิพื้นผิว ดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช แบบจำลองความสูงเชิงเลข ความลาดชัน และทิศทางลาดเอียง ทั้งตัวแปรอิสระและตัวแปรตามเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่กำหนด ใช้การวิเคราะห์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear Regression: MLR) ได้ผลการวิเคราะห์แบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในเขตป่า ดังนี้ (Table 4)

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองใช้ค่า F-statistics สำหรับทดสอบว่าค่าของตัวแปรอิสระในแบบจำลองมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามหรือไม่ โดยสมมติฐานเริ่มต้น (Null Hypothesis) คือ ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามเมื่อทดสอบสมมติฐานและได้ผลวิเคราะห์ที่มีค่า p-value น้อยกว่า 0.01 สมมติฐานเริ่มต้นจะถูกปฏิเสธ ซึ่งหมายความว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษาในปีเอลนีโญพบว่ามีตัวแปรอิสระ 5 ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ในแบบจำลอง ได้แก่ ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ อุณหภูมิพื้นผิว ดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช แบบจำลองความสูงเชิงเลข และทิศทางลาดเอียง มีค่า F-statistics เท่ากับ 38.142 และมีค่า p-value น้อยกว่า 0.01 ถือว่าเป็นค่าที่สูงและแสดงว่าแบบจำลองมีความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามได้ดี ในปีปกติพบว่ามีตัวแปรอิสระ 5 ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ในแบบจำลอง ได้แก่ ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ อุณหภูมิพื้นผิว ดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช ความลาดชัน และทิศทางลาดเอียง มีค่า F-statistics เท่ากับ 9.311 และมีค่า p-value น้อยกว่า 0.01 อยู่ในระดับที่แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามได้บ้าง แต่ไม่ถึงว่าสูงมาก ในปีลานีญามีตัวแปรอิสระ 4 ตัวแปร ที่มีความสัมพันธ์ในแบบจำลอง ได้แก่ ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ อุณหภูมิพื้นผิว ดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช และความลาดชัน มีค่า F-statistics เท่ากับ 4.037 และมีค่า p-value น้อยกว่า 0.01 ถือว่าสูงในตัวอย่างขนาดเล็ก แต่ในตัวอย่างขนาดใหญ่อาจถือว่าต่ำ โดยอยู่ในระดับที่สามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามได้บ้างแต่ไม่สูงมาก ผลการวิเคราะห์พบว่า มีค่า p-value น้อยกว่า 0.01 ในทุกแบบจำลอง ดังนั้นตัวแปรอิสระในแบบจำลองจึงมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในปีเอลนีโญ ปีปกติ และปีลานีญา สามารถประเมินพื้นที่เผาไหม้ได้ 90.5 เปอร์เซ็นต์ 70.0 เปอร์เซ็นต์

และ 51.9 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ พิจารณาจากค่าความแปรปรวนของตัวแปร (Adjusted R Square) สำหรับปัจจัยที่มีอิทธิพลในทุกแบบจำลอง คือ ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ อุณหภูมิพื้นผิว และดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช

ผลการประมาณหาพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากแบบจำลองจาก Figure 10 ได้ใช้การแบ่งช่วงธรรมชาติเจนส์ (Jenks Natural Breaks Classification) โดยมีหลักการสำคัญในการแบ่งกลุ่มเพื่อหาจุดแบ่งของข้อมูลที่ทำให้เกิดความแปรปรวนภายในกลุ่มต่ำที่สุด และความแปรปรวนระหว่างกลุ่มสูงที่สุด ซึ่งช่วยให้ข้อมูลภายในกลุ่มมีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด และกลุ่มต่าง ๆ มีความแตกต่างกันมากที่สุด ทำให้ข้อมูลถูกจัดกลุ่มในลักษณะที่สะท้อนถึงลักษณะธรรมชาติของข้อมูลที่แท้จริง ช่วยแยกพื้นที่เสี่ยงออกเป็นกลุ่มที่มีความหมายทางสถิติและสะท้อนถึงลักษณะของข้อมูล สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้แบ่งกลุ่มพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ เสี่ยงมากที่สุด เสี่ยงมาก เสี่ยงปานกลาง เสี่ยงน้อย และเสี่ยงน้อยที่สุด

Table 4 Models to Predict Areas at Risk of Burned Areas in Forests from an Effect of the ENSO Phenomenon

| Year | Model | R Square |
|--------------|--|----------|
| El Niño Year | $y_i = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + e$ | 0.905 |
| | Areas susceptible to forest fires = (- 0.505(NDVI)) + (0.003(LST)) + (- 0.062(MSI)) + (3.843E-5(DEM)) + (- 9.472E-6(Aspect)) - 0.053 | |
| Neutral year | $y_i = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + e$ | 0.700 |
| | Areas susceptible to forest fires = (- 0.117(NDVI)) + (0.009(LST)) + (0.056(MSI)) + (0.001(Slope)) + (-1.76E-5(Aspect)) - 0.548 | |
| La Niña Year | $y_i = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + e$ | 0.519 |
| | Areas susceptible to forest fires = (- 0.037(NDVI)) + (- 0.0004(LST)) + (- 0.004(MSI)) + (0.001(Slope)) + 0.011 | |

where, for $i = n$ observations:

y_i = dependent variable

x_i = explanatory variables

$b_1 - b_5$ = slope coefficients for each explanatory variable

e = the model's error term

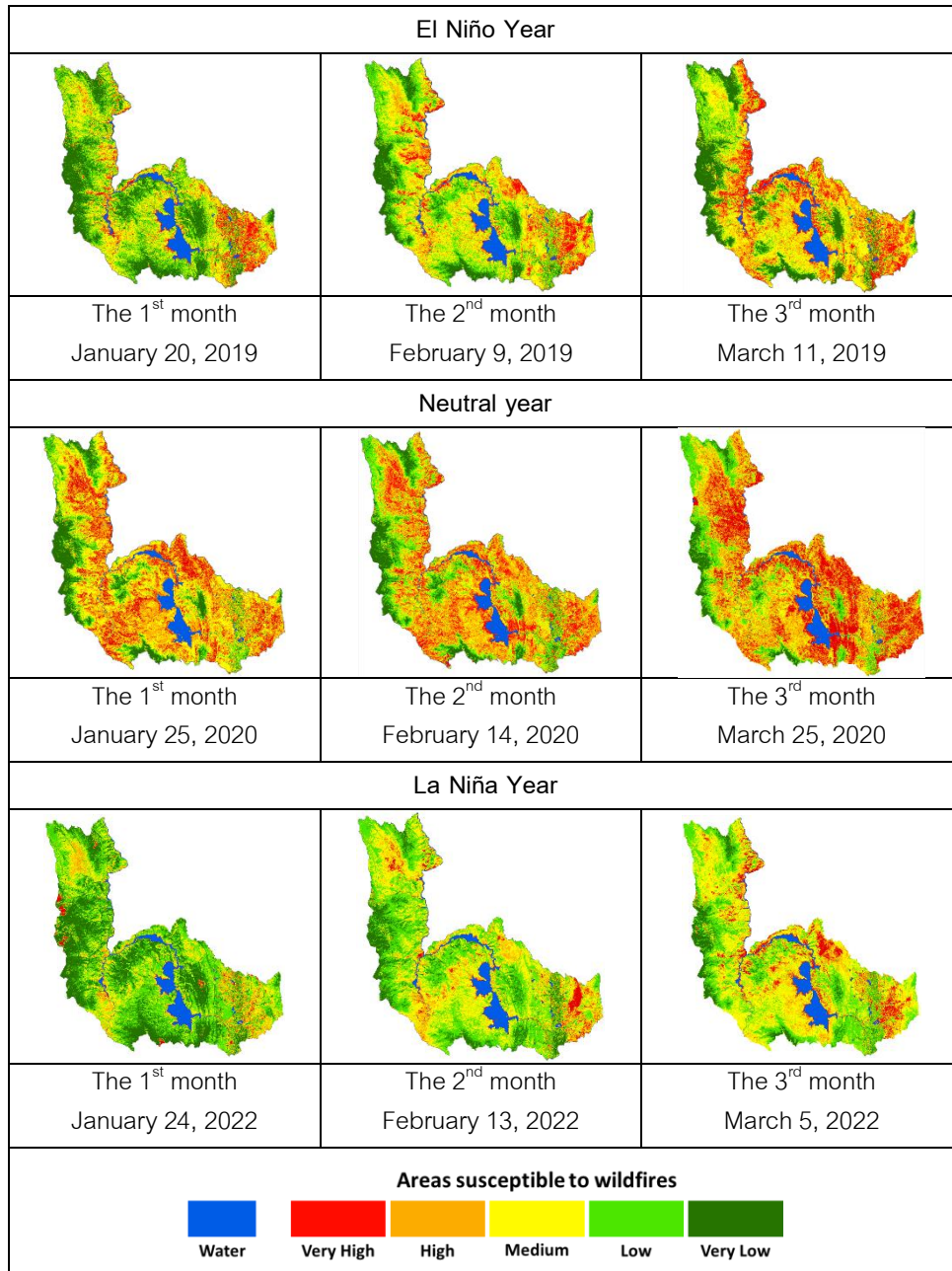


Figure 10 The results of estimating areas with wildfire potential from the model.

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองใช้การซ้อนทับของพื้นที่จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมที่ประมวลผลด้วยการนำมาซ้อนทับกับพื้นที่เสี่ยงที่ได้จากการคำนวณสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุจาก Table 4 ใช้สมการในการวิเคราะห์ที่ต่างกันไปตามปีที่ได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์เอลนีโญ ได้แก่ ปีเอลนีโญ (ค.ศ. 2019) ปีปกติ (ค.ศ. 2020) และปีลานีญา



(ค.ศ. 2022) โดยพิจารณาเลือกศึกษาปีปกติหลังเหตุการณ์เอลนีโญเนื่องจากเป็นปีที่ได้รับผลกระทบต่อเนื่องจากปีเอลนีโญ และเป็นปีที่มีน้ำต้นทุนสะสมน้อยซึ่งเป็นสัญญาณของความแห้งแล้งที่จะส่งผลต่อโอกาสเกิดไฟป่าได้มาก จากนั้นทำการพิจารณาความสอดคล้องของพื้นที่เสี่ยงกับพื้นที่เผาไหม้จริงด้วยการคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของแบบจำลอง ซึ่งสามารถประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ดัง Table 5

Table 5 Model validation to predict areas at risk of burning in forests from the effects of the ENSO phenomenon

| ENSO phenomenon | Date | Burned areas (Rai) | Testing model predictions | | Prediction accuracy percentage |
|-----------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------------|--------------------------------|
| | | | Burning | Not Burning | |
| El Niño Year | January 20, 2019 | 6,261.64 | 55,334.91 | 12,378.53 | 81.71 |
| | February 9, 2019 | 26,706.56 | | | |
| | March 11, 2019 | 34,745.25 | | | |
| Neutral year | January 25, 2020 | 24,757.00 | 47,797.23 | 15,664.84 | 75.27 |
| | February 14, 2020 | 37,284.07 | | | |
| | March 25, 2020 | 1,420.99 | | | |
| La Niña Year | January 24, 2022 | 15.61 | 60.95 | 36.10 | 62.90 |
| | February 13, 2022 | 63.18 | | | |
| | March 5, 2022 | 18.26 | | | |

จาก Table 5 ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่เสี่ยงไฟป่าในเขตพื้นที่ป่าจะมีมากขึ้นนับตั้งแต่เดือนมกราคมไปจนถึงเดือนมีนาคม การเปรียบเทียบแบบจำลองกับพื้นที่เผาไหม้เฉลี่ย 3 เดือน พบว่าในปีเอลนีโญ (ค.ศ. 2019) มีพื้นที่เสี่ยงเกิดไฟป่ามากที่สุดรวม 55,334.91 ไร่ เมื่อนำมาวิเคราะห์ซ้อนทับกับพื้นที่เผาไหม้ มีค่าความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 81.71 ปีปกติ (ค.ศ. 2020) มีพื้นที่เสี่ยงเกิดไฟป่ามากที่สุดรวม 47,797.23 ไร่ เมื่อนำมาวิเคราะห์ซ้อนทับกับพื้นที่เผาไหม้ มีค่าความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 75.27 และปีลานีญา (ค.ศ. 2022) มีพื้นที่เสี่ยงเกิดไฟป่ามากที่สุดรวม 60.95 ไร่ เมื่อนำมาวิเคราะห์ซ้อนทับกับพื้นที่เผาไหม้ มีค่าความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 62.90

วิจารณ์ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศป่าไม้และพื้นที่เผาไหม้ในป่าเขตร้อนจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญด้วยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน พบว่าความสัมพันธ์ของระบบนิเวศป่าไม้และพื้นที่เผาไหม้ในป่าเขตร้อนทั้ง 3 ปีมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยทั้ง 2 ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 การแปลผลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในทุกปีมีลักษณะเป็นความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) ที่สามารถอธิบายได้ว่าในระบบ

นิเวศป่าไม้ที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง การเกิดพื้นที่เผาไหม้จากไฟป่าจะมีน้อย เนื่องจากพืชพรรณที่อุดมสมบูรณ์จะมีการกักเก็บน้ำและสารอาหารได้ดี ซึ่งส่งผลให้มีความชุ่มชื้นและลดโอกาสเกิดไฟป่า สำหรับระบบนิเวศป่าไม้ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำซึ่งอาจเกิดจากการผลัดใบ การขาดน้ำ หรือความแห้งแล้งของพืชพรรณ พื้นที่เหล่านี้จะมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดไฟป่า เนื่องจากสภาพเชื้อเพลิงที่เอื้ออำนวยต่อการเกิดไฟป่าและการแพร่กระจายของไฟ ซึ่งมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Fonseca *et al.* (2017) ที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับไฟป่าทางตอนเหนือของแอมะซอนในช่วงเหตุการณ์เอลนีโญปี ค.ศ. 2015 - 2016 พบว่าความแห้งแล้งมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อความเสี่ยงของการเกิดไฟป่า โดยเฉพาะในปีเอลนีโญที่มีปริมาณฝนต่ำกว่าค่าปกติ ทำให้ปริมาณน้ำในดินลดลงและความชื้นในระบบนิเวศป่าไม้ต่ำลง ซึ่งส่งผลต่อความเสี่ยงเกิดไฟป่าที่มากขึ้น การเกิดพื้นที่เผาไหม้กับความสัมพันธ์ด้านสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปมีความสัมพันธ์กับผลการศึกษาของ Fasullo *et al.* (2018) การเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์เอลนีโญส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และการเกิดไฟป่า โดยในการศึกษาครั้งนี้พบว่าปรากฏการณ์เอลนีโญมีอิทธิพลต่อความสมบูรณ์ของระบบนิเวศป่าไม้ในป่าเขตร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี ผลกระทบในปีเอลนีโญส่งผลให้บางพื้นที่เกิดไฟป่าที่มีความรุนแรงมากกว่าปกติ โดยมีสาเหตุมาจากสภาพอากาศที่ร้อนมากขึ้นและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนที่ลดลง โดยในปี ค.ศ. 2020 เป็นปีปกติหลังเหตุการณ์เอลนีโญมีความรุนแรงของการเกิดไฟป่ามากกว่าปีอื่น ๆ เนื่องจากใน ปี ค.ศ. 2019 เป็นปีที่ได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์เอลนีโญ (Climatological Center, 2020) ทำให้มีน้ำต้นทุนสะสมน้อยและส่งผลกระทบต่อเนื้อถึง ปี ค.ศ. 2020 จนเกิดปัญหาภัยแล้งรุนแรง และเป็นสาเหตุให้เชื้อเพลิงในป่าเอื้อต่อการเกิดไฟป่าได้มาก ปัญหาภัยแล้งทำให้ปริมาณน้ำในดินลดลง ส่งผลให้พืชพรรณต่าง ๆ สูญเสียความชื้นพืชพรรณมีความแห้งเป็นเชื้อเพลิงที่ติดไฟได้ง่ายมากยิ่งขึ้นและเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ไฟป่าลุกลามอย่างรวดเร็วซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Thanadolmethaphorn (2016) การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและพื้นที่เผาไหม้ในการศึกษานี้พบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงต่อการเกิดไฟป่า คือ อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นความถี่ในการเกิดไฟป่าจะมีมากขึ้น เนื่องจากมีผลกระทบต่อหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดไฟป่า เช่น ความชื้นในอากาศ ความชื้นในพืช และความแห้งแล้ง นอกจากนี้ความชื้นยังเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดไฟป่าเช่นเดียวกับผลการศึกษาในครั้งนี้ โดยปีที่มีความชื้นน้อยจะมีพื้นที่การเผาไหม้จากไฟป่ามากเป็นผลมาจากการที่เชื้อเพลิงที่สามารถติดไฟได้ง่าย จากสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงส่งผลกระทบต่อความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณ ในปีที่ได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์เอลนีโญจะมีความแห้งแล้ง และความสมบูรณ์ของพืชพรรณต่ำทำให้เกิดไฟป่าได้ง่าย ส่วนปีลานีญามีพื้นที่เผาไหม้น้อยเนื่องจากมีความชื้นมากซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องกับความชื้นที่ส่งผลต่อศักยภาพของการเกิดไฟ

ผลการศึกษาในครั้งนี้มีความสอดคล้องกับแนวคิดพฤติกรรมไฟป่า (Forest Fire Behavior) การลุกลามและขยายตัวของไฟป่าไปตามสภาวะแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องกับ 3 ปัจจัยหลัก คือ ลักษณะเชื้อเพลิง ลักษณะอากาศ และลักษณะภูมิประเทศ (Agee, 1996) ปัจจัยด้านลักษณะเชื้อเพลิงโดยเฉพาะขนาดของเชื้อเพลิงในพื้นที่ป่าผลัดใบจะมีเชื้อเพลิงที่มีขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก เช่น ใบไม้แห้ง กิ่งไม้แห้ง หญ้าชนิดต่าง ๆ ที่จะติดไฟและลุกลามได้อย่างรวดเร็ว จากการศึกษาของ Brodie *et al.* (2024) พบว่าปริมาณเชื้อเพลิงจะส่งผลกระทบต่อความรุนแรงของไฟป่าหากควบคุมให้ปริมาณเชื้อเพลิงในป่าให้ลดลง

จากการทำให้ป่าบางลงรวมทั้งการเผาเพื่อควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงในป่าจะสามารถลดการเกิดไฟป่าที่รุนแรงได้ ส่วนในพื้นที่ป่าไม่ผลัดใบสภาพพื้นที่ป่าจะมีไม้ยืนต้นขนาดใหญ่อยู่เป็นจำนวนมากซึ่งสามารถติดไฟได้ยาก ซึ่งปริมาณเชื้อเพลิงต่อหน่วยพื้นที่มีผลโดยตรงต่อความรุนแรงของไฟโดยหากมีเชื้อเพลิงต่อหน่วยพื้นที่มากไฟก็จะมี ความรุนแรงมาก และปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาได้มากด้วยเช่นกัน โดยปริมาณของเชื้อเพลิงจะมีการผันแปรตามความแตกต่างของชนิดป่าและความแตกต่างของพื้นที่ (Cochrane *et al.*, 2009) ความชื้นของเชื้อเพลิงมีอิทธิพลต่อการติดไฟและการลุกลามของไฟ ถ้าเชื้อเพลิงมีความชื้นสูงไฟจะติดได้ยากและลุกลามอย่างช้า ๆ ในทางตรงกันข้ามถ้าเชื้อเพลิงมีความชื้นต่ำก็จะติดไฟง่ายและลุกลามอย่างรวดเร็ว (Littell *et al.*, 2016) สำหรับปัจจัยด้านลักษณะอากาศเป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและส่งผลให้พฤติกรรมไฟป่ามีการผันแปรตามไปด้วย อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีอิทธิพลโดยตรงต่อความชื้นของเชื้อเพลิง อุณหภูมิสูงเชื้อเพลิงจะยิ่งแห้งและติดไฟได้ง่ายขึ้น โดยอุณหภูมิมิมีความสัมพันธ์ผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Chaparro *et al.*, 2015) ส่วนปัจจัยด้านลักษณะภูมิประเทศเป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เป็นปัจจัยที่ค่อนข้างคงที่โดยจะส่งผลทางอ้อมต่อพฤติกรรมไฟป่า ปัจจัยความสูงภูมิประเทศเป็นปัจจัยกำหนดลักษณะของเชื้อเพลิง และลักษณะอากาศ ปัจจัยความลาดชันมีอิทธิพลโดยตรงต่อทิศทางและอัตราการลุกลามของไฟ (Hong *et al.*, 2018) ส่วนปัจจัยทิศทางลาดเอียงพื้นที่ที่หันไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้จะได้รับแสงอาทิตย์มากในเวลากลางวันทำให้เกิดความร้อนและส่งผลต่อความแห้งแล้ง เชื้อเพลิงมีลักษณะแห้งติดไฟง่ายและลุกลามได้อย่างรวดเร็ว

การศึกษาปัจจัยทางกายภาพและพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในเขตป่าจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญในอำเภอสางเภา จังหวัดตาก การศึกษาในครั้งนี้สามารถช่วยลดข้อจำกัดของงานศึกษาในอดีตในประเด็นต่าง ๆ เช่น การศึกษาของ Thanadolmethaphorn (2016) ในงานศึกษานี้พบว่ามีข้อจำกัดเกี่ยวกับความละเอียดของจุดภาพของภาพถ่ายดาวเทียมระบบโมดิส (MODIS) ที่ใช้ในการศึกษาที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำเป็นข้อจำกัดในการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเกิดไฟป่าซึ่งถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองอาจจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในเชิงพื้นที่ของการคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงเกิดไฟป่าได้ สำหรับแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในงานศึกษานี้ได้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเซนติเนล 2 ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงช่วยให้การวิเคราะห์เชิงพื้นที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น สามารถระบุพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าได้อย่างชัดเจน ทั้งในด้านการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณ การเกิดไฟป่า และปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ข้อจำกัดเกี่ยวกับค่าความถูกต้องในการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าจากสมการถดถอยเชิงเส้นในการศึกษาของ Eslami *et al.* (2021) และ Guan (2023) พบว่ามีค่าความถูกต้องต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีป่าสุ่ม และการวิเคราะห์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม โดยในการศึกษาเหล่านี้ยังขาดการพิจารณาถึงอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญที่มีต่อการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในเขตป่า สำหรับการพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในเขตป่าจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญด้วยข้อมูลจากเทคโนโลยีอวกาศในการศึกษานี้สามารถปรับปรุงความสอดคล้องในการคาดการณ์จากสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุให้มีประสิทธิภาพในการประมาณค่าพื้นที่เสี่ยงได้ดียิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการที่ใช้ในอดีตโดยสามารถประเมินพื้นที่เผาไหม้ในปีเอลนีโญ (ค.ศ. 2019) ปีปกติ (ค.ศ. 2020) และปีลานีญา (ค.ศ. 2022) ได้ 90.5 เปอร์เซนต์ 70.0 เปอร์เซนต์ และ 51.9 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากค่าความแปรปรวนของตัวแปร (Adjusted R Square) สำหรับ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลในทุกแบบจำลองจากปีที่ได้รับอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ คือ ดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์มัลไลซ์ อุณหภูมิพื้นผิว และดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเฉพาะปัจจัยด้านกายภาพเท่านั้น ในสภาพความเป็นจริงยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดไฟป่า เช่น ระยะห่างจากหมู่บ้าน ความหนาแน่นของประชากรในพื้นที่ ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน และเส้นทางถนน เป็นต้น ในอนาคตหากมีการนำปัจจัยเหล่านี้มาพิจารณาพร้อมกับปัจจัยด้านกายภาพจะช่วยให้สามารถคาดการณ์การเกิดไฟป่าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อันจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนป้องกันและควบคุมไฟป่า เพื่อลดผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศป่าไม้และพื้นที่เผาไหม้ในป่าเขตร้อนจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญ ในช่วงปีเอลนีโญ (ค.ศ. 2019) เกิดเหตุการณ์ที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออกและกลางเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้อากาศแห้งและอบอุ่นขึ้น เกิดภัยแล้งในหลายพื้นที่ทำให้พืชพรรณในป่าเขตร้อนแห้งเหี่ยวจากการขาดน้ำ ระบบนิเวศป่าไม้ไม่อุดมสมบูรณ์และเกิดความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าเพิ่มมากขึ้น ภัยแล้งจากปีเอลนีโญได้ส่งผลกระทบต่อเนื้อมาถึงปีปกติหลังเหตุการณ์เอลนีโญ (ค.ศ. 2020) โดยพบปัญหาหลัก คือ ความแห้งแล้งที่รุนแรงในหลายพื้นที่จากการขาดแคลนน้ำ ส่งผลให้พืชขาดน้ำที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและความสมบูรณ์ของระบบนิเวศป่าไม้ลดลง ความแห้งแล้งทำให้พืชพรรณแห้งเหี่ยวและกลายเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถติดไฟได้ง่าย อันเป็นสาเหตุของการเกิดไฟป่า เกิดการเผาไหม้ได้อย่างรวดเร็วและขยายพื้นที่ผลกระทบจากไฟป่าได้มากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง เช่น พายุฤดูร้อนบริเวณประเทศไทยตอนบนที่ได้รับผลกระทบตั้งแต่วันที่ 20 ถึง 23 มีนาคม ค.ศ. 2020 และมาตรการกำหนดช่วงเวลาวิกฤตหมอกควัน ห้ามเผาในทุกพื้นที่ของจังหวัดตาก เป็นระยะเวลา 61 วัน ระหว่างวันที่ 1 มีนาคม ค.ศ. 2020 ถึงวันที่ 30 เมษายน ค.ศ. 2020 เป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลให้พื้นที่เผาไหม้มีจำนวนลดน้อยลงแม้จะเป็นช่วงที่มีโอกาสเกิดไฟป่าได้มาก ส่วนในช่วงปีลานีญา (ค.ศ. 2022) เกิดเหตุการณ์ที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออกและกลางลดต่ำลง ส่งผลให้อากาศเย็นและชื้นมากขึ้น ทำให้หลายพื้นที่มีปริมาณฝนเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดไฟป่า โดยในช่วงปีลานีญาจากปริมาณฝนและความชื้นที่เพิ่มขึ้นสามารถช่วยในการฟื้นฟูป่าไม้หลังจากการเกิดไฟป่า แต่อาจจะส่งผลให้เกิดการสะสมของเชื้อเพลิงที่เป็นชีวมวลที่อาจจะเป็นปัจจัยในการเกิดไฟป่าได้ในอนาคต สำหรับการศึกษาปัจจัยทางกายภาพและพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดพื้นที่เผาไหม้ในเขตป่าจากอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญในอำเภอสามเงา จังหวัดตาก พบว่าแบบจำลองในปีเอลนีโญ ปีปกติ และปีลานีญา ในทุกแบบจำลองสามารถคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าได้สอดคล้องกับปัจจัยหลักของการเกิดไฟป่า ได้แก่ ความสมบูรณ์ของระบบนิเวศป่าไม้ อุณหภูมิพื้นผิว และดัชนีความไวต่อปริมาณน้ำในพืช โดยแบบจำลองที่ได้มีความสอดคล้องสูงในการคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า เนื่องจากใช้ข้อมูลจากดาวเทียมเซนติเนล 2 ที่มีความละเอียดสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ทำให้สามารถระบุพื้นที่เสี่ยงได้อย่างแม่นยำและทันเวลา การพิจารณาอิทธิพลของปรากฏการณ์เอลนีโญจากการแยกการศึกษาผลกระทบในแต่ละปี ทำให้แบบจำลองมีความสามารถ



ในการระบุและประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าได้อย่างละเอียดและแม่นยำมากยิ่งขึ้น การพิจารณาแยกตามปีผลกระทบ ทำให้สามารถระบุปัจจัยเสี่ยงที่แตกต่างกันในแต่ละสภาพภูมิอากาศและปรับปรุงแบบจำลองให้เหมาะสมกับสภาพการณ์ เฉพาะปีนั้น ๆ ซึ่งช่วยให้การคาดการณ์และการเตรียมการป้องกันไฟป่ามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ในเรื่องการให้คำปรึกษา การให้คำแนะนำในเรื่องต่าง ๆ ตลอดจนตรวจทานแก้ไข ข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง จนสำเร็จสมบูรณ์ลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบคุณ Copernicus Open Access Hub และ U.S. Geological Survey สำหรับแหล่งดาวน์โหลดภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อการวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Agee, J. K. (1996, January). The influence of forest structure on fire behavior. In *Proceedings of the 17th annual forest vegetation management conference* (pp. 52-68).

Brodie, E. G., Knapp, E. E., Brooks, W. R., Drury, S. A., & Ritchie, M. W. (2024). Forest thinning and prescribed burning treatments reduce wildfire severity and buffer the impacts of severe fire weather. *Fire Ecology*, 20(1), 1-20.

Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., & Grégoire, J. M. (2001). Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote sensing of environment*, 77(1), 22-33.

Chaparro, D., Vall-Llossera, M., Piles, M., Camps, A., & Rüdiger, C. (2015, July). Low soil moisture and high temperatures as indicators for forest fire occurrence and extent across the Iberian Peninsula. In *2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)* (pp. 3325-3328). IEEE.

Climate Prediction Center. (2023). Cold & Warm Episodes by Season. From https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Climatological Center. (2020). Variability and changes in meteorological conditions in the year 2019. Bangkok: Thai Meteorological Department. (in Thai)

Climatological Center. (2023). Weather conditions in the year 2022. Bangkok: Thai Meteorological Department. (in Thai)



- Cochrane, M. A., Johnson, L. A., & Dearden, P. (2009). Fire ecology and management of seasonal evergreen forests in mainland Southeast Asia. *Tropical Fire Ecology: Climate Change, Land Use, and Ecosystem Dynamics*, 289-310.
- Department of Health & Department of Disease Control. (2015). Guidelines for monitoring areas at risk from air pollution. Nonthaburi: Ministry of Public Health. (in Thai)
- Eslami, R., Azarnoush, M., Kialashki, A., & Kazemzadeh, F. (2021). GIS-based forest fire susceptibility assessment by random forest, artificial neural network and logistic regression methods. *Journal of Tropical Forest Science*, 33(2), 173-184.
- Fasullo, J. T., Otto-Bliesner, B. L., & Stevenson, S. (2018). ENSO's changing influence on temperature, precipitation, and wildfire in a warming climate. *Geophysical Research Letters*, 45(17), 9216-9225.
- Filipponi, F. (2018, March). BAIS2: Burned area index for Sentinel-2. In *Proceedings* (Vol. 2, No. 7, p. 364). MDPI.
- Fonseca, M. G., Anderson, L. O., Arai, E., Shimabukuro, Y. E., Xaud, H. A., Xaud, M. R., Wagner, F. H., & Aragão, L. E. (2017). Climatic and anthropogenic drivers of northern Amazon fires during the 2015–2016 El Niño event. *Ecological applications*, 27(8), 2514-2527.
- GISTDA. (2021). Summary report on forest fires and smoke haze situation in the year 2021 using geospatial information technology. Bangkok: Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization). (in Thai)
- Guan, R. (2023). Predicting forest fire with linear regression and random forest. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 44, 1-7.
- Hong, H., Tsangaratos, P., Ilia, I., Liu, J., Zhu, A. X., & Xu, C. (2018). Applying genetic algorithms to set the optimal combination of forest fire related variables and model forest fire susceptibility based on data mining models. The case of Dayu County, China. *Science of the total environment*, 630, 1044-1056.



- Intamat, P. (2021). People's participation and knowledge in forest fire control at pang tong royal project 3 (mok cham pae - mae sa nga), mok cham pae sub-district, mae hong son province. Master of Science Thesis (Forest Management), Maejo University. (in Thai)
- Julien, Y., Sobrino, J. A., Mattar, C., Ruescas, A. B., Jimenez-Munoz, J. C., Soria, G., Hidalgo, V., Atitar, M., Franch, B., & Cuenca, J. (2011). Temporal analysis of normalized difference vegetation index (NDVI) and land surface temperature (LST) parameters to detect changes in the Iberian land cover between 1981 and 2001. *International Journal of Remote Sensing*, 32(7), 2057-2068.
- Kalogiannidis, S., Chatzitheodoridis, F., Kalfas, D., Patitsa, C., & Papagrigoriou, A. (2023). Socio-psychological, economic and environmental effects of forest fires. *Fire*, 6(7), 280.
- Littell, J. S., Peterson, D. L., Riley, K. L., Liu, Y., & Luce, C. H. (2016). A review of the relationships between drought and forest fire in the United States. *Global change biology*, 22(7), 2353-2369.
- Robinne, F. N., & Secretariat, F. (2021). Impacts of disasters on forests, in particular forest fires. *UNFFS Background paper*.
- Thanadolmethaphorn, P. (2016). Impacts of climate change on the potential of forest fire in Chiang Mai Province. Master of Science Thesis (Geography and Geoinformatics). Chiang Mai University. (in Thai)
- Touma, D., Stevenson, S., Lehner, F., & Coats, S. (2021). Human-driven greenhouse gas and aerosol emissions cause distinct regional impacts on extreme fire weather. *Nature Communications*, 12(1), 212.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2), 127-150.