



การสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ในอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่

Creation of Wildfire Opportunity Predictive Model from Climate Variability with Geo-informatics in Omkoi District, Chiang Mai Province

ปรีชญ์ หมายหมั่น และ อริศรา เจริญปัญญาเนตร^{*}

Parit Maimun and Arisara Charoenpanyanet^{*}

ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Department of Geography, Faculty of Social Science, Chiang Mai University

Received : 22 September 2022

Revised : 14 November 2022

Accepted : 2 December 2022

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อศึกษาความแตกต่างรูปแบบจุดความร้อนจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ และ 2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยทางกายภาพที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดไฟป่าอันนำไปสู่การสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งได้เลือกช่วงเวลาในการศึกษาดังนี้ สภาพภูมิอากาศเอลนีโญ (พ.ศ.2558 และ 2562) สภาพภูมิอากาศปกติ (พ.ศ. 2556 และ 2560) และสภาพภูมิอากาศลานีญา (พ.ศ. 2554 และ 2564) โดยในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 และ ALOS PALSAR เพื่อนำมาวิเคราะห์ปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อการเกิดไฟป่า โดยภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ทำการวิเคราะห์ปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ ความแห้งแล้ง อุณหภูมิพื้นผิว ข้อมูลชนิดป่า และปริมาณคาร์บอนกักเก็บเหนือพื้นดิน ส่วนภาพถ่ายดาวเทียม ALOS PALSAR นำมาวิเคราะห์ปัจจัย ได้แก่ ระดับความสูง และ ความลาดชัน นอกจากนี้ได้ใช้ข้อมูลจุดความร้อนจากดาวเทียม Terra และ Aqua ระบบเซนเซอร์ MODIS เพื่อทำการวิเคราะห์รูปแบบจุดความร้อน ซึ่งดำเนินการด้วยวิธีวิเคราะห์แบบเคอร์เนล คิวแดรท และดัชนีเพื่อนบ้านใกล้เคียง เพื่อหาความหนาแน่น การกระจายตัว และการจัดกลุ่มของจุดความร้อน ส่วนการสร้างแบบจำลองเป็นการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรง ผลการศึกษา พบว่า ในสภาพภูมิอากาศเอลนีโญพบจุดความร้อนที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด รองลงมาคือ สภาพภูมิอากาศปกติ และสภาพภูมิอากาศลานีญา ตามลำดับ นอกจากนี้ปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อการเกิดไฟป่า คือ ความแห้งแล้ง และอุณหภูมิพื้นผิว ส่วนแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่า พบว่า แบบจำลองในปีเอลนีโญมีความแม่นยำมากที่สุด รองลงมาคือ ลานีญา และปกติ โดยมีความแม่นยำร้อยละ 70.2, 54.6 และ 50.7 ตามลำดับ

คำสำคัญ : แบบจำลองคาดการณ์ไฟป่า ; ปัจจัยทางกายภาพ ; ความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ ; รูปแบบจุดความร้อน



Abstract

This study aimed is 1) to study the difference of hotspot patterns from climate variability and 2) to study the relationship of physical factors involved in wildfire, leading to wildfire opportunity predictive model from climate variability in Omkoi District Study Area, Chiang Mai Province. The period of times of this study are El Niño year (2015 and 2019) normal year (2013 and 2017), and La Niña year (2011 and 2021). This study uses Landsat 8 and ALOS PALSAR satellite images to analyze physical factors affecting the wildfires. Landsat 8 were used to analyze physical factors which are drought, land surface temperature, forest type and above-ground carbon sequestration. And, ALOS PALSAR was used to analyze digital elevation model and slope. In addition, the hotspot from Terra and Aqua data, MODIS sensor, were used to analyze hotspot patterns conducted by kernel, quadrate, and nearest neighbor analysis to determine the density, dispersion and cluster of hotspots. Wildfire opportunity predictive model is create using linear regression analysis. In result of study found that El Niña year has the highest hotspot density, followed by normal and La Niña years, respectively. Moreover, physical factors influencing wildfires are drought factors and land surface temperature. And wildfire opportunity predictive model found that model in El Niño year has the highest precision followed by La Niña year, and normal year with the accuracy of 70.2, 54.6 and 50.7 percent, respectively.

Keywords : wildfire predictive model ; physical factors ; climate variability ; hotspot patterns



บทนำ

ไฟป่า (forest fire or wildfire) เป็นภัยพิบัติที่เกิดขึ้นลูกกลมซึ่งปราศจากการควบคุมการเผาและเชื้อเพลิงธรรมชาติ ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่แก่สิ่งมีชีวิตและระบบนิเวศ เช่น การสูญเสียพื้นที่ป่า การตัดทวงโซ่อาหาร รวมถึงปัญหาหมอกพิษทางอากาศในสถานการณ์ไฟป่า แต่ช่วงเวลามีความรุนแรงที่แตกต่างกันซึ่งเกิดจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะช่วงที่ได้รับผลกระทบทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญทำให้สภาพภูมิอากาศมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและมีปริมาณน้ำฝนต่อปีที่น้อยกว่าปกติจนเกิดสภาพแวดล้อมในพื้นที่ที่มีความแห้งแล้งรวมถึงวัฏทางธรรมชาติซึ่งเป็นเชื้อเพลิงต่อการเกิดไฟมีจำนวนเพิ่มขึ้น ในสถานการณ์การเกิดไฟป่าในประเทศไทยแต่ละปีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น บางปีมีพื้นที่เกิดไฟป่าจำนวนเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน เช่น พ.ศ. 2562 และพ.ศ. 2563 มีพื้นที่เกิดไฟป่าเพิ่มขึ้นจำนวน 151,681.9 ไร่ และ 174,813.4 ไร่ ตามลำดับ สืบเนื่องจากการได้รับผลกระทบสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ ในทางกลับกัน พ.ศ. 2553 และ พ.ศ. 2554 พบว่า พื้นที่เกิดไฟป่ามีจำนวนลดลงจากการได้รับผลกระทบทางสภาพภูมิอากาศลานีญา เป็นจำนวน 83,176.00 และ 25,489.10 ไร่ ตามลำดับ และเมื่อเข้าสู่ปีที่ได้รับผลกระทบทางสภาพภูมิอากาศปกติ ในพ.ศ. 2555 กลับมีจำนวนเพิ่มขึ้น เป็นจำนวน 47,899.20 ไร่ นอกจากนี้ในสถานการณ์การเกิดไฟป่าในระดับภูมิภาคของประเทศไทยโดยข้อมูลจากสำนักป้องกัน ปราบปราม และควบคุมไฟป่า (2564) พบว่า ภาคเหนือเป็นภูมิภาคที่มีการเกิดไฟป่าที่รุนแรงที่สุดและเกิดขึ้นบ่อยครั้งในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนมกราคม จนถึง เดือนเมษายน ของทุกปี โดยเฉพาะจังหวัดเชียงใหม่มีความรุนแรงไฟป่าที่สร้างความเสียหายมากที่สุด จากข้อมูลการเกิดไฟป่าในวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2562 พบว่า จำนวนพื้นที่ความเสียหายจากไฟป่าในจังหวัดเชียงใหม่ เป็นจำนวน 36,744.90 ไร่ เมื่อเทียบกับจังหวัดอื่นในภูมิภาคเดียวกัน เช่น จังหวัดตาก จังหวัดเชียงราย และจังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 9,724.25, 7,775.94 และ 7,711.80 ไร่ ตามลำดับ

จังหวัดเชียงใหม่เป็นศูนย์รวมความหลากหลายในวัฒนธรรมล้านนา มีทรัพยากรธรรมชาติที่หลากหลาย อีกทั้งเป็นแหล่งท่องเที่ยวและมีเส้นทางศึกษารวมชาติ หนึ่งในสถานที่ที่มีความน่าสนใจ คือ อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นสถานที่ที่มีแหล่งต้นน้ำที่สำคัญ คือ ลำน้ำแม่ต๋อมและลำน้ำแม่ตื่น ซึ่งคอยหล่อเลี้ยงชุมชนในการอุปโภคและบริโภค โดยเฉพาะใช้ในการเกษตรและมีพื้นที่โดยรวมเป็นป่าส่วนใหญ่ ประกอบด้วย ป่าเบญจพรรณ ป่าสน ป่าดงดิบเขา ป่าดิบแล้ง และป่าแพะ มีความหลากหลายทางระบบนิเวศและสัตว์ป่า อย่างไรก็ตามแม้พื้นที่อ้อมก้อยจะมีพื้นที่ป่าหลากหลาย ปัญหาไฟป่านั้นเกิดขึ้นทุกปี และสร้างความเสียหายเป็นอันดับต้นๆของจังหวัดเชียงใหม่ เช่น ในช่วงวันที่ 1 มกราคม จนถึงวันที่ 30 เมษายน พ.ศ.2558 อำเภอที่มีพื้นที่การเผาไหม้สะสมจัดอยู่ใน 5 อันดับแรก ได้แก่ อำเภอแม่แจ่ม อำเภออมก๋อย อำเภอเชียงดาว อำเภอแม่แตง และอำเภอฮอด เป็นจำนวน 563,799, 382,633, 367,301, 245,106 และ 234,843 ไร่ ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้เพื่อการป้องกันและรักษาพื้นที่ทางธรรมชาติป่าไม้ที่สมบูรณ์ซึ่งมีเนื้อที่ 1,688,535 ไร่ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่ามีเนื้อที่ 765,000 ไร่ รวมถึงแหล่งต้นน้ำที่สำคัญซึ่งอาจได้รับผลกระทบของสถานการณ์ไฟป่า โดยอาจสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจจากพืชของป่าที่พบในพื้นที่ ของป่าที่เป็นอาหารสัตว์ และรายได้จากของป่า เป็นมูลค่า 14,214,928, 22,128 และ 36,343,788 บาทต่อครัวเรือนทั้งหมด ตามลำดับ (Yotapakdee, 2014) ผู้ศึกษาจึงเล็งเห็นความสำคัญและจัดทำการศึกษานี้ โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาความแตกต่างรูปแบบจุดความรื้อน โดยแบ่งเนื้อหาเป็น 2 หัวข้อ ได้แก่ การศึกษาความ

แตกต่างความหนาแน่นและการกระจายตัวของจุดความร้อน และการศึกษาการจัดกลุ่มของจุดความร้อนจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ และในวัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยทางกายภาพที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดไฟป่าอันนำไปสู่การสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศซึ่งประโยชน์ของการศึกษาสามารถนำแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่ารวมถึงสมการในการสร้างแบบจำลองซึ่งสามารถประมวลผลในช่วงเวลาต่างๆที่ต้องการเพื่อใช้การป้องกัน วางแผนตั้งรับภัยจากไฟป่าจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศให้แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในอนาคต

พื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ทำการศึกษาในพื้นที่อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่ทางทิศใต้ของจังหวัดเชียงใหม่ โดยมีพิกัดทางภูมิศาสตร์ระหว่างละติจูดที่ 18 องศา 29 ลิปดา 7 พิลิปดา ถึง 17 องศา 14 ลิปดา 33 พิลิปดาเหนือ และลองจิจูดที่ 98 องศา 29 พิลิปดา ถึง 98 องศา 31 ลิปดา 21 พิลิปดาตะวันออก อยู่สูงจากระดับทะเลปานกลางประมาณ 1,000 เมตร มีพื้นที่ทั้งหมด 2,760 ตารางกิโลเมตร มีลักษณะเป็นภูเขาสลับซับซ้อนในเขตปกครองมีจำนวนหมู่บ้าน 95 หมู่บ้าน 6 ตำบล ประกอบด้วย ตำบลนาเกียน ตำบลอมก๋อย ตำบลสบโขง ตำบลยางเปียง ตำบลแม่ตื่น และ ตำบลม่อนจอง ดัง Figure 1 ดังนี้

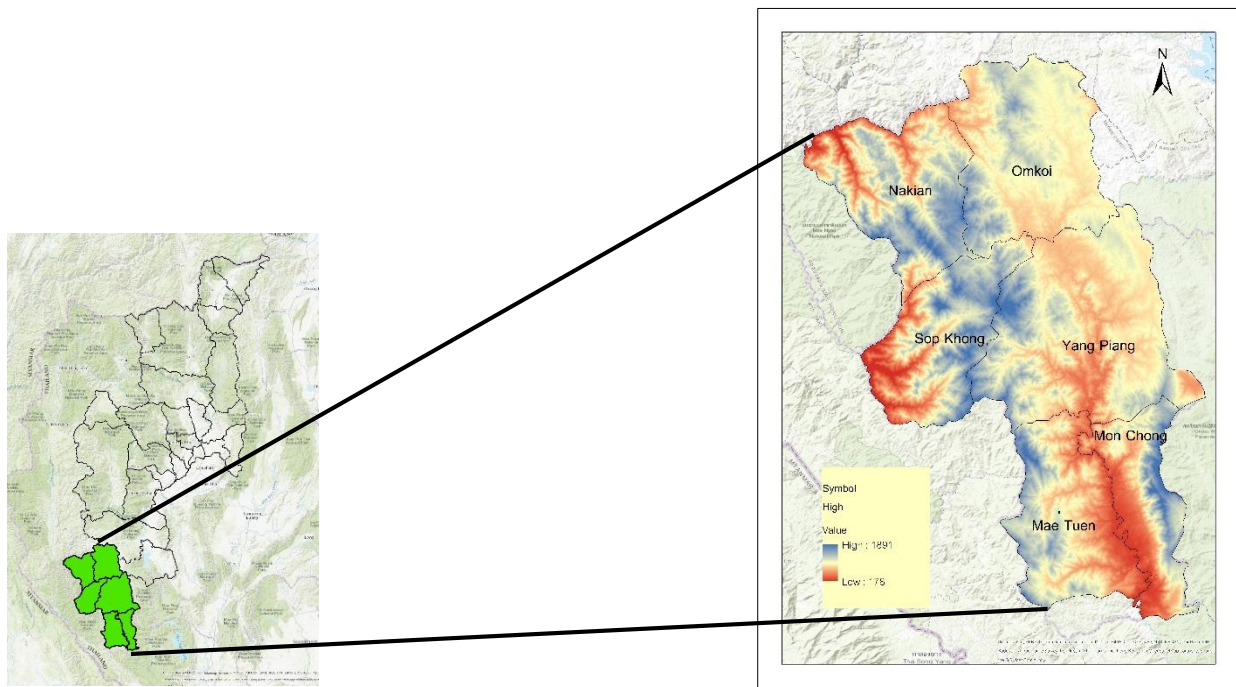


Figure 1 Study area in Omkoi district, Chiang Mai province, Thailand

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมข้อมูล

1. ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 เป็นภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร นำเข้าข้อมูลจากสำนักงานสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (USGS) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปัจจัยทางกายภาพของตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศที่ผันตามช่วงเวลา (Figure 6) ได้แก่ 1) ความแห้งแล้งจากดัชนี MSI (moisture stress index; MSI) 2) อุณหภูมิพื้นผิว (land surface temperature; LST) 3) ปริมาณคาร์บอนกักเก็บเหนือพื้นดิน (above-ground carbon sequestration; AGC sequestration) ซึ่งประมวลผลจากสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ (Rock *et al.*, 1986) และ 4) ข้อมูลชนิดป่าไม้ (forest type) ซึ่งมาจากการวิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียมด้วยผู้วิจัย โดยใช้ข้อมูลของภาพถ่ายวันที่ 15 เดือนมีนาคม พ.ศ.2558 เปรียบเทียบความถูกต้องข้อมูลชนิดป่าร่วมกับข้อมูลชนิดป่าไม้จากสำนักงานจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 1 จังหวัดเชียงใหม่ โดยข้อมูลชนิดป่านี้ประกอบด้วย ข้อมูลชนิดป่าผลัดใบ คือ พื้นที่สีแดง ข้อมูลชนิดป่าไม่ผลัดใบ คือ พื้นที่สีเขียวเข้ม และข้อมูลพื้นที่ก่อสร้างและพื้นที่ทำการเกษตร คือ พื้นที่สีดำ (Figure 7b)

2. ภาพถ่ายดาวเทียม ALOS PALSAR เป็นดาวเทียมที่สร้างแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (digital elevation model; DEM) จากสำนักงานสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นปัจจัยระดับความสูงในการศึกษา (Figure 7a) โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 12.5 เมตร ซึ่งเป็นปัจจัยทางกายภาพคงที่ในการศึกษานี้ รวมถึงใช้ในการประมวลผลข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลความลาดชัน (slope) (Figure 7c)

3. ข้อมูลจุดความร้อนมาจากดาวเทียม Terra และ Aqua ระบบเซนเซอร์ MODIS ซึ่งนำเข้าข้อมูลจากองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ โดยสามารถตรวจวัดเปลวไฟและความร้อนที่ยังคุกรุ่นของพื้นที่ ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1,000 เมตร และในการศึกษานี้ได้ทำการกำหนดค่าความเชื่อมั่น (confidence) ของจุดความร้อนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการรวบรวมจุดความร้อนในช่วงเวลาของปีที่ได้รับผลกระทบทางสภาพภูมิอากาศเพื่อศึกษาความแตกต่างรูปแบบจุดความร้อน และรวบรวมจุดความร้อนในช่วงเวลาของตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศซึ่งเป็นตัวแปรตามในการหาความสัมพันธ์ต่อปัจจัยทางกายภาพและการสร้างแบบจำลอง (Figure 5)

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ความแตกต่างรูปแบบจุดความร้อนจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศในวัตถุประสงค์แรก เริ่มต้นโดยการแบ่งช่วงเวลาตามปีที่ได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศระหว่างพ.ศ. 2554 จนถึง พ.ศ. 2564 ซึ่งอ้างอิงจากค่าดัชนีชี้วัดอุณหภูมิพื้นผิวทะเลบริเวณ NINO 3.4 (oceanic nino index; ONI) จากดาวเทียม NOAA โดยจัดแบ่งจำนวนปีในแต่ละสภาพภูมิอากาศที่เท่ากันประกอบด้วย 3 สภาพภูมิอากาศ คือ 1) ตัวแทนปีที่ได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ คือ พ.ศ.2558 และ 2562 2) ตัวแทนปีที่ได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศลานีญา คือ พ.ศ.2554 และ 2564 และ 3) ตัวแทนปีที่ได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศปกติ คือ พ.ศ.2556 และ 2560 หลังจากนั้นทำการนำเข้าข้อมูลจุดความร้อนสะสมตามช่วงเวลาของปีที่ได้จัดแบ่งไว้ข้างต้นเพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ในลำดับต่อไปซึ่งในวัตถุประสงค์ที่ 1 ได้จำแนก



เนื้อหาเป็น 2 หัวข้อ คือ 1.1) การศึกษาความแตกต่างรูปแบบความหนาแน่นและการกระจายของจุดความร้อนจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาย่อยเป็น 2 หัวข้อย่อย คือ 1.1.1) การศึกษาความแตกต่างรูปแบบความหนาแน่นของจุดความร้อนแบบรายเดือนจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ โดยนำจุดความร้อนสะสมแบบรายเดือนตั้งแต่เดือน มกราคม จนถึง เดือน เมษายน (ช่วงฤดูแล้งของภาคเหนือ) ทำการวิเคราะห์แบบเคอร์เนล (kernel density) เพื่อหาความหนาแน่นของจุดความร้อนแบบรายเดือนในการศึกษาความแตกต่างความหนาแน่นของจุดความร้อนในแต่ละเดือน รวมถึงในแต่ละสภาพภูมิอากาศ โดยกำหนดค่า cell size 30 เมตร search radius เท่ากับ 5,000 และ unit scale แบบ square_meters และเนื้อหาย่อยที่ 1.1.2) เป็นการศึกษาความแตกต่างระหว่างรูปแบบความหนาแน่นและการกระจายตัวของจุดความร้อนแบบรายปีจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ โดยนำจุดความร้อนสะสมรายปี (โดย 1 ปีของจุดความร้อนสะสมแบบรายปีจะรวบรวมตั้งแต่เดือนมกราคม จนถึง เดือนเมษายน) ทำการวิเคราะห์แบบเคอร์เนลเพื่อวิเคราะห์หาความหนาแน่นของจุดความร้อนแบบรายปี (โดยกำหนดค่า cell size search radius และ unit scale ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น) และทำการวิเคราะห์แบบควอดเรท (quadrat analysis) เพื่อวิเคราะห์หาการกระจายตัวของจุดความร้อนแบบรายปี (โดยกำหนดค่า cell size search radius และ unit scale แบบ square_meters เช่นเดียวกับวิเคราะห์แบบเคอร์เนล) ซึ่งการวิเคราะห์ทั้งสองไม่มีหน่วยของค่าการวิเคราะห์ และเนื้อหาหัวข้อที่ 1.2) การศึกษาความแตกต่างรูปแบบการจัดกลุ่มของจุดความร้อนจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศโดยนำจุดความร้อนสะสมรายเดือนทำการวิเคราะห์ดัชนีเพื่อนบ้านใกล้เคียง (*K- Nearest Neighbor*) เพื่อจำแนกการจัดกลุ่มของจุดความร้อนโดยผลการวิเคราะห์มาจากการวิเคราะห์ทางสถิติของเครื่องมือในโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์

2. การวิเคราะห์ข้อมูลในวัตถุประสงค์ที่สองเริ่มจากการคัดเลือกช่วงเวลาตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศ (ทั้งจุดความร้อนและภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8) โดยคัดเลือกจากรอบโคจรของดาวเทียม Landsat-8 ที่มีการบินที่ภาพถ่ายรวมถึงเป็นช่วงเวลาเดียวกันที่มีการเกิดจุดความร้อน (จากเครื่องตรวจวัด MODIS) ในพื้นที่ศึกษา โดยสามารถคัดเลือกช่วงเวลาของตัวแทนข้อมูลในแต่ละสภาพภูมิอากาศได้ ดังนี้ 1) ตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ คือ วันที่ 7 มีนาคม พ.ศ.2558 2) ตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศลานีญา คือ วันที่ 7 มีนาคม พ.ศ.2564 และ 3) ตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศปกติ คือ วันที่ 20 มีนาคม พ.ศ.2556 เมื่อทำการคัดเลือกเสร็จสิ้น ในลำดับต่อไป นำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 ตามช่วงเวลาที่ได้คัดเลือกทำการวิเคราะห์ปัจจัยทางกายภาพด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ในส่วนของตัวแทนข้อมูลจุดความร้อนแต่ละสภาพภูมิอากาศตามช่วงเวลาที่ได้คัดเลือกที่กล่าวไว้ข้างต้น ทำการวิเคราะห์แบบเคอร์เนลและสุ่มจุดเพิ่มเติมแบบกระจายทั่วพื้นที่ที่ไม่มีความหนาแน่นของจุดความร้อนเป็นจำนวน 1 เท่าตัวของจำนวนจุดความร้อนที่เครื่องวัด MODIS ตรวจจับได้ จากนั้นนำปัจจัยทางกายภาพทั้งหมดทำการซ้อนทับข้อมูลกับจุดความร้อน ณ ตำแหน่งเดียวกันด้วยวิธีการแยกค่าของปัจจัยไปยังจุด (extract multi values to point) แล้วทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างจุดความร้อนและปัจจัยทางกายภาพด้วยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันในโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ และในขั้นตอนสุดท้ายทำการคัดเลือกปัจจัยทางกายภาพที่มีความสัมพันธ์ต่อจุดความร้อนโดยมีค่าความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 เพื่อสร้างสมการและแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากความแปรปรวนทางภูมิอากาศด้วยวิธีการวิเคราะห์การ



ถดถอยแบบเส้นตรง ในลำดับสุดท้ายทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองของแต่ละสภาพภูมิอากาศ โดยนำจุดความร้อนหลายช่วงเวลาตามสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นจริงทำการซ้อนทับในแบบจำลอง โดยแบบจำลองที่ใช้ซ้อนทับกับจุดความร้อนนั้นประมวลผลจากสมการสร้างแบบจำลองคาดการณ์ที่สร้างขึ้นมา (โดยตัวแปรของสมการคาดการณ์เป็นช่วงเวลาเดียวกับภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ซ้อนทับกับจุดความร้อน) ว่าตรงกับพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในระดับมากและมากที่สุดเป็นจำนวนเท่าไรของจำนวนจุดความร้อนทั้งหมดและสรุปผลเป็นเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของสมการสร้างแบบจำลองคาดการณ์ในแต่ละสภาพภูมิอากาศ ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์การถดถอยนี้จะได้สมการสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าได้ซึ่งสามารถนำสมการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้สร้างแบบจำลองคาดการณ์ ณ ช่วงเวลานั้นได้โดยการแทนปัจจัยในช่วงเวลาอื่นๆที่ต้องการทราบพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในระดับมากและมากที่สุดเพื่อใช้ในการควบคุมสถานการณ์ไฟป่าในอนาคต โดยวัตถุประสงค์ที่ 2 นี้ได้จัดแบ่งเนื้อเป็น 2 หัวข้อ คือ 2.1) การหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดไฟป่า และ 2.2) การสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ โดยการศึกษาที่สามารถเขียนกรอบแนวคิดได้ดังนี้

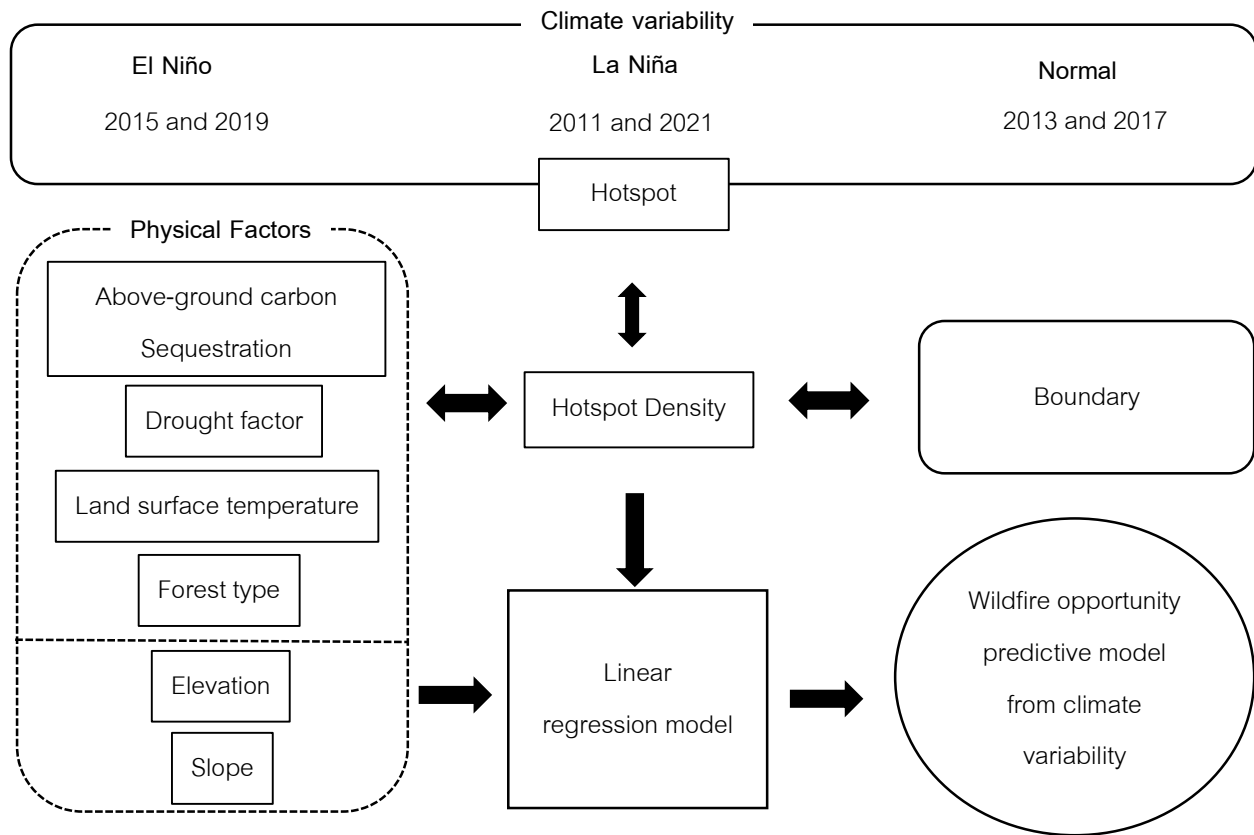


Figure 2 Conceptual framework

ผลการวิจัย

1 ความแตกต่างรูปแบบจุดความร้อนจากความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศ

การศึกษานี้ประกอบด้วย 2 หัวข้อ คือ 1.1) ความแตกต่างรูปแบบความหนาแน่นและการกระจายตัวของจุดความร้อนจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศซึ่งแบ่งเนื้อหาเป็น 2 หัวข้อย่อย คือ ความแตกต่างรูปแบบความหนาแน่นของจุดความร้อนแบบรายเดือนจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ และความแตกต่างระหว่างรูปแบบความหนาแน่นและการกระจายตัวของจุดความร้อนแบบรายปีจากความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศ และ 1.2) การศึกษาความแตกต่างรูปแบบการจัดกลุ่มของจุดความร้อนจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศโดยมีรายละเอียดดังนี้



1.1 ความแตกต่างความหนาแน่นและการกระจายของจุดความร้อนจากความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศ

1.1.1 ความแตกต่างรูปแบบความหนาแน่นของจุดความร้อนแบบรายเดือนจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ

โดยเนื้อหาในหัวข้อนี้กล่าวถึงผลการศึกษจากการนำจุดความร้อนสะสมแบบรายเดือน จำนวน 4 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม จนถึง เดือนเมษายน ตามช่วงเวลาตัวแทนปีที่ได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ตัวแทนปีที่ได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ คือ พ.ศ. 2558 และ 2562 ตัวแทนปีที่ได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศลานีญา คือ พ.ศ. 2554 และ 2564 และตัวแทนปีที่ได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศปกติ คือ พ.ศ. 2556 และ 2560 รวมเป็นจำนวน 6 ปี ในพื้นที่ศึกษาซึ่งรวมข้อมูลของจุดความร้อนสะสมแบบรายเดือนทั้งหมด เป็นจำนวน 24 ข้อมูล มาการวิเคราะห์แบบเคอร์เนลซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์เพื่อหาความหนาแน่นของจุดความร้อน เพื่อศึกษาความแตกต่างรูปแบบความหนาแน่นของจุดความร้อนในแต่ละเดือนและในแต่ละสภาพภูมิอากาศ โดยผลการศึกษานี้สามารถเป็นประโยชน์ในการระบุช่วงเดือนที่มีความรุนแรงของความหนาแน่นของจุดความร้อนในระดับมากที่สุด และเป็นประโยชน์ต่อการเฝ้าระวัง ติดตามภัยที่เกิดจากไฟป่าในครั้งถัดไป ผลจากการวิเคราะห์แสดงความหนาแน่นของจุดความร้อนแบบรายเดือนได้ดังนี้ (Figure 3) ความหนาแน่นจุดความร้อนแบบรายเดือนที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงความหนาแน่นของจุดความร้อนในแต่ละเดือนของ 6 ปีในตัวแทนปีที่ได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศซึ่งได้แบ่งช่วงความหนาแน่น (โดยแบ่งจากค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของจุดความร้อนทั้งหมด) เป็น 5 ช่วง (ไม่มีหน่วยของค่าการวิเคราะห์แบบเคอร์เนล) ได้แก่ น้อยที่สุด มีค่า $< 6.60E-7$ น้อย มีค่า $6.61E-7 - 3.00E-6$ ปานกลาง มีค่า $3.01E-6 - 5.30E-6$ มาก มีค่า $5.31E-6$ และ มากที่สุด มีค่า $> 7.60 E-6$ จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นของจุดความร้อนแบบรายเดือนในพื้นที่อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ มีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดในแต่ละเดือน โดยความหนาแน่นจุดความร้อนในระดับมากที่สุดมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น (หมายถึง มีความหนาแน่นในระดับมากที่สุดที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา) เป็นลำดับตั้งแต่ในเดือน มกราคม จนมีความรุนแรงมากที่สุดในเดือน มีนาคม และจะรุนแรงลดลงในเดือน เมษายน หากเทียบจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศในปีเอลนีโญ นั้นความรุนแรงความหนาแน่นของจุดความร้อนจะมากกว่าทางสภาพภูมิอากาศลานีญา ส่วนทางสภาพภูมิอากาศปกตินั้น ความรุนแรงของจุดความร้อนคล้ายคลึงทั้งสภาพภูมิอากาศเอลนีโญและลานีญา เช่นในพ.ศ. 2556 ที่มีความรุนแรงของความหนาแน่นจุดความร้อนคล้ายคลึงกับสภาพภูมิอากาศเอลนีโญนั้นสืบเนื่องจากอยู่ในช่วงสภาพภูมิอากาศปกติที่กำลังเปลี่ยนแปลงเป็นสภาพภูมิอากาศเอลนีโญอีก 2 ปีข้างหน้าซึ่งอ้างอิงจากดัชนี ONI และในพ.ศ. 2560 ที่มีความรุนแรงความหนาแน่นของจุดน้อยนั้นสืบเนื่องจากเป็นสภาพภูมิอากาศที่กำลังเปลี่ยนเป็นสภาพภูมิอากาศลานีญา เมื่อนำค่าของความหนาแน่นสะสมรายเดือนมาคำนวณหาผลรวมของค่าความหนาแน่นจุดความร้อน (จากค่าความหนาแน่นในแต่ละตารางกริด) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่มีชื่อว่า “zonal statistics” เพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างรูปแบบความหนาแน่นของจุดความร้อนในการอธิบายเชิงปริมาณสามารถแสดงผลรวมค่าความหนาแน่นสะสมแบบรายเดือนได้ดัง Figure 3 ดังนี้

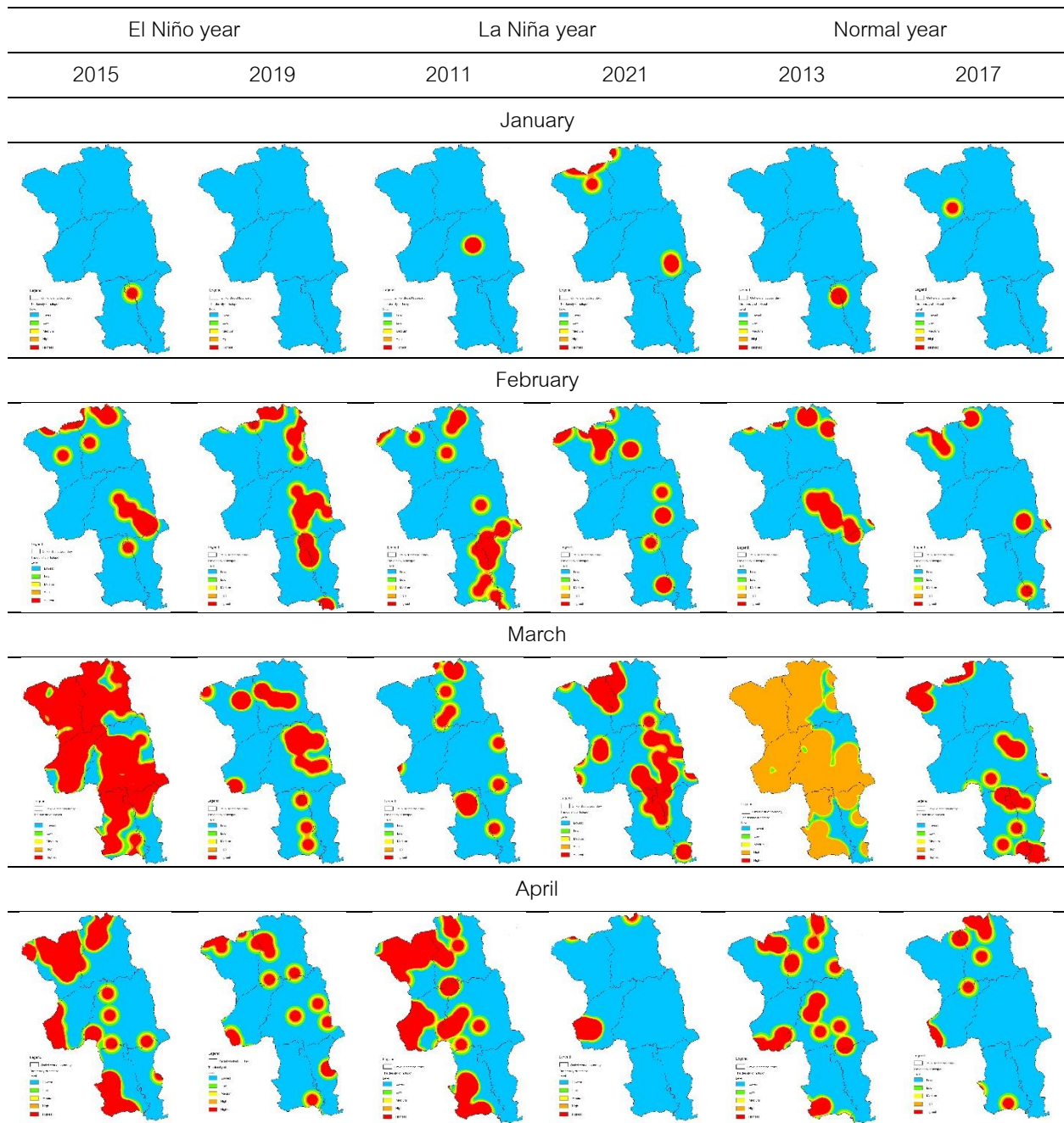


Figure 3 The monthly hotspot density in El Niño year, La Niña year, and normal year from January to April.

**Table 1** The total of monthly accumulation density from statistical analysis in Omkoi district, Chiang Mai province between January – April.

Months	Representative years of climate variability						Mean (\bar{x})	Climate variability		
	2015	2019	2011	2021	2013	2017		El Niño year	La Niña year	Normal year
January	0.35	0.00	0.69	1.68	0.70	0.35	0.63	0.35	2.37	1.05
February	6.74	11.01	7.79	6.48	7.91	2.78	7.12	17.75	14.27	10.69
March	85.89	12.13	5.57	28.58	118.01	11.10	43.55	98.02	34.15	129.11
April	34.55	5.91	32.64	4.83	8.92	5.76	15.44	40.46	37.47	14.68
Mean (\bar{x})	31.88	7.26	11.67	10.39	33.89	5.00	16.68	39.15	22.07	38.88

การวิเคราะห์ผลรวมของค่าความหนาแน่นสะสมรายเดือนในขอบเขตพื้นที่ศึกษาด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นถึงเดือนที่มีความรุนแรงของจุดความร้อนมากที่สุดจากผลรวมของค่าความหนาแน่นสะสมแบบรายเดือนเฉลี่ย คือ เดือน มีนาคม (Table 1) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 43.55 และเดือนที่มีความรุนแรงของจุดความร้อนน้อยที่สุด คือ มกราคม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.63 ในแนวโน้มความรุนแรงของไฟฟ้าเมื่อเทียบจากผลรวมของค่าความหนาแน่นสะสมรายเดือนเฉลี่ยมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องใน 3 เดือนแรก คือ เดือนมกราคม เดือนกุมภาพันธ์ และ เดือนเมษายน โดยมีค่าเท่ากับ 0.63, 7.12 และ 43.55 ตามลำดับ แล้วจะลดความรุนแรงในเดือนถัดมา คือ เดือนเมษายน โดยมีค่าเท่ากับ 15.44 หากเปรียบเทียบจากการรวมค่าความหนาแน่นสะสมรายเดือนตามความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ ผลรวมค่าของความหนาแน่นสะสมแบบรายเดือนทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญของในแต่ละเดือน (ผลรวมจากพ.ศ. 2558 และ 2562) มีค่ามากกว่าผลรวมค่าของความหนาแน่นสะสมแบบรายเดือนทางสภาพภูมิอากาศลานีญา (ผลรวมจาก พ.ศ. 2554 และ 2560) โดยทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญมีผลรวมค่าของความหนาแน่นสะสมแบบรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม จนถึงเดือนเมษายน มีค่าเท่ากับ 0.35, 17.75, 98.02 และ 40.46 ตามลำดับ ส่วนทางสภาพภูมิอากาศลานีญา มีค่าเท่ากับ 2.37, 14.27, 34.15 และ 37.47 ตามลำดับ ส่วนทางสภาพภูมิอากาศปกติไม่สามารถอธิบายจากผลรวมค่าของความหนาแน่นสะสมแบบรายเดือนตามสภาพภูมิอากาศได้ หากเปรียบเทียบตามปีในพ.ศ. 2556 ที่มีผลรวมของค่าความหนาแน่นสะสมแบบรายเดือนที่มีค่ามากในแต่ละเดือนนั้นเกิดจากเป็นช่วงเวลาที่กำลังเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศเป็นเอลนีโญ และในพ.ศ. 2560 ที่มีผลรวมของค่าความหนาแน่นสะสมแบบรายเดือนที่น้อยกว่าพ.ศ. 2556 อย่างชัดเจนนั้นเกิดจากเป็นช่วงเวลาที่กำลังเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศเป็นลานีญา ในความรุนแรงไฟฟ้าทางสภาพภูมิอากาศปกติ (จากการเปรียบเทียบผลรวมของค่าความหนาแน่นสะสมแบบรายเดือน) มีความเป็นไปได้ที่มีความรุนแรงคล้ายคลึงทั้งสภาพภูมิอากาศเอลนีโญและลานีญา โดยดูความรุนแรงได้จาก ณ ปีนั้นเป็นช่วงที่กำลังการเปลี่ยนเป็นสภาพภูมิอากาศใดสามารถตรวจสอบได้จากดัชนี ONI และเมื่อเรียงลำดับความ



รุนแรงของความหนาแน่นของจุดความร้อนตามค่าเฉลี่ยรวมทางสภาพภูมิอากาศ พบว่า ปีเอลนีโญ มีความรุนแรงสูงที่สุด รองลงมาคือ ปีปกติ และลานีญา โดยมีค่าเท่ากับ 39.15, 38.88 และ 22.07 ตามลำดับ

1.1.2 ความแตกต่างระหว่างรูปแบบความหนาแน่นและการกระจายตัวของจุดความร้อนแบบรายปี จากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ

การศึกษานี้เป็นการนำจุดความร้อนสะสมแบบรายปีโดยรวบรวมช่วงเวลาของข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม จนถึงเดือนเมษายน ตามปีที่เป็นตัวแทนทางสภาพภูมิอากาศ คือ สภาพภูมิอากาศเอลนีโญ (พ.ศ.2558 และ 2562) ลานีญา (พ.ศ. 2554 และ 2564) และปกติ (พ.ศ.2556 และ 2560) รวมเป็นจำนวน 6 ปีทำการวิเคราะห์เครือข่ายเพื่อหาความหนาแน่นของจุดความร้อนสะสมรายปี และทำการวิเคราะห์แบบควอดแดรทเพื่อหาการกระจายตัวของจุดความร้อนแบบรายปีเพื่อดูความแตกต่างกันระหว่าง 2 รูปแบบจุดความร้อนนี้ในแต่ละสภาพภูมิอากาศซึ่งได้แบ่งช่วงค่าของรูปแบบความหนาแน่นและการกระจายตัวของจุดความร้อนเป็น 5 ช่วง (แบ่งตามค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลใน 6 ปีที่ทำการศึกษา) โดยแสดงรูปความหนาแน่นและการกระจายตัวของจุดความร้อนแบบรายปี และระดับช่วงข้อมูลดัง Figure 4 ดังนี้

การวิเคราะห์ความหนาแน่นและการกระจายจุดความร้อนแบบรายปีในช่วงเวลาของตัวแทนปีที่ได้รับผลกระทบทางสภาพภูมิอากาศ เมื่อสังเกตในช่วงความหนาแน่นและการกระจายในระดับมากที่สุดมักอยู่บริเวณทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก ตะวันตก และตะวันตกเฉียงใต้ของแผนที่ (Figure 4) ซึ่งเป็นบริเวณตำบลยางเปียง อมก๋อย สบโขง และแม่ตื่น ในทุกสภาพภูมิอากาศ เมื่อสังเกตในความแตกต่างรูปแบบความหนาแน่นและการกระจายตัวจากความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศในสภาพภูมิอากาศเอลนีโญมีความหนาแน่นของจุดความร้อนในระดับมากที่สุดจะมีความรุนแรง (หมายถึงมีความหนาแน่นในระดับมากที่สุดครอบคลุมพื้นที่ศึกษามากกว่าทางสภาพภูมิอากาศลานีญา นอกจากนี้ทิศทางระดับของความหนาแน่นและการกระจายตัวทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญมีทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ บริเวณที่มีความหนาแน่นของจุดความร้อนอยู่ในระดับมากที่สุด การกระจายของจุดความร้อนมักอยู่ในระดับมากที่สุดด้วยเช่นกัน เช่น ทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก ตะวันตก และตะวันตกเฉียงใต้ของแผนที่ในพ.ศ. 2558 และทางทิศเหนือและทิศตะวันออกของแผนที่ในปี 2562 (Figure 4) ส่วนทิศทางระหว่างระดับของความหนาแน่นและการกระจายตัวทางสภาพภูมิอากาศลานีญามีทิศทางตรงกันข้ามกันสังเกตจากความหนาแน่นของจุดความร้อนในระดับมากที่สุดที่อยู่บริเวณทางทิศเหนือ ตะวันตก และตะวันตกเฉียงใต้ของแผนที่กลับมีการกระจายตัวของจุดความร้อนในช่วงที่ต่ำกว่าระดับของความหนาแน่นของจุดความร้อน คือ อยู่ในระดับการกระจายตัวที่มาก ปานกลาง และน้อย ส่วนทางสภาพภูมิอากาศปกตินั้นความรุนแรงความหนาแน่นและการกระจายตัว รวมถึงทิศทางระหว่างระดับของความหนาแน่นและการกระจายตัวของจุดความร้อนมีความคล้ายคลึงทั้งสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ และลานีญาขึ้นกับสภาพภูมิอากาศในแต่ละปีของสภาพภูมิอากาศปกตินั้นอยู่ระหว่างการเปลี่ยนเป็นสภาพภูมิอากาศใด

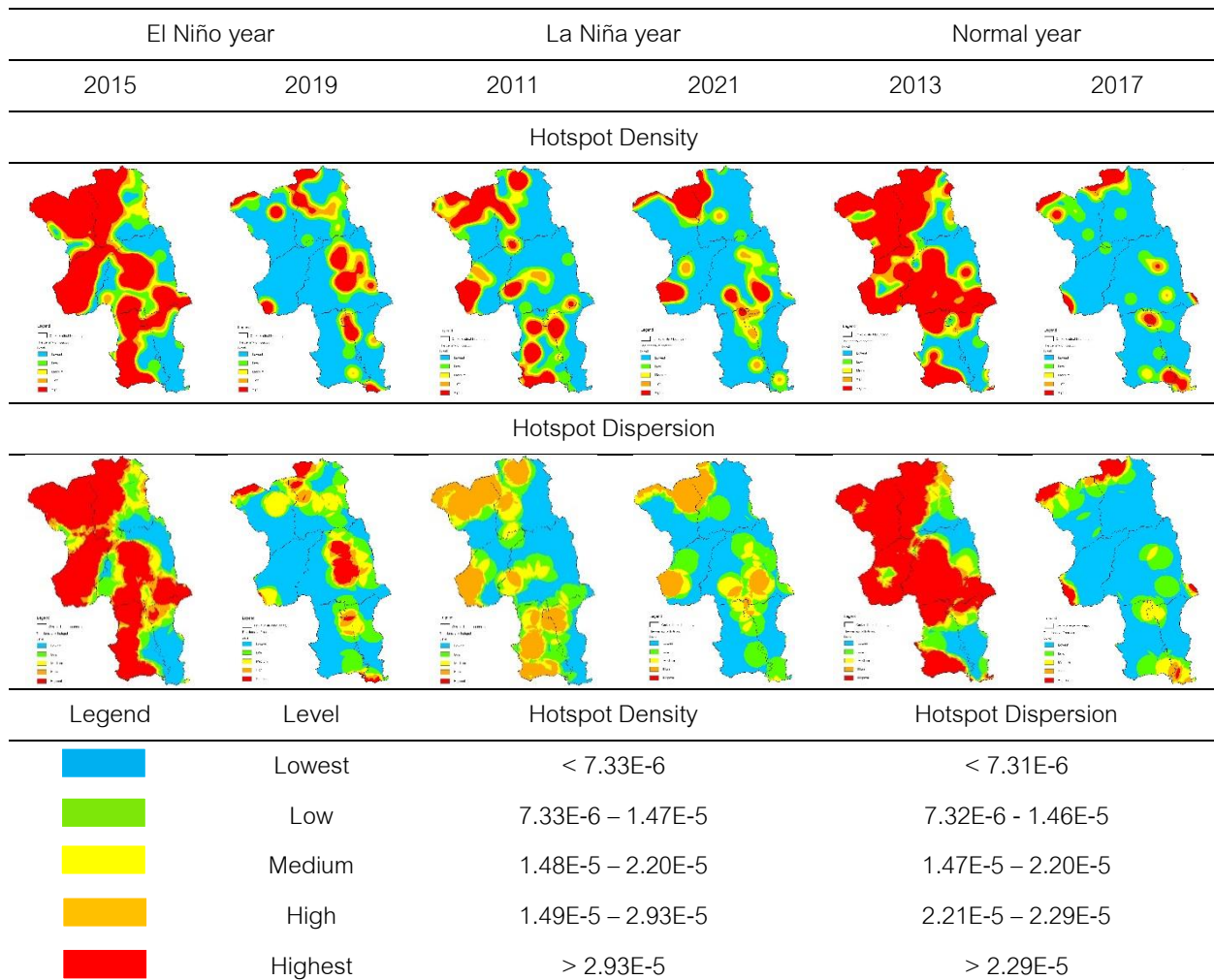


Figure 4 The yearly density and dispersion of hotspots in representative years of climate variability

1.2 การศึกษารูปแบบการจัดกลุ่มของจุดความร้อนจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ

การนำข้อมูลจุดความร้อนสะสมแบบรายเดือน ตั้งแต่เดือน มกราคม จนถึง เดือน เมษายน ตามปีที่ได้รับผลกระทบทางสภาพภูมิอากาศ เป็นจำนวน 6 ปี ซึ่งรวมเป็นจำนวนทั้งหมด 24 ข้อมูล มาทำการวิเคราะห์หัดชันนี้เพื่อนบ้านใกล้เคียง (*K- Nearest Neighbor*) เพื่อจำแนกรูปแบบการจัดกลุ่มของจุดความร้อนสะสมแบบรายเดือน โดยผลจากการวิเคราะห์เป็นการระบุรูปแบบการจัดกลุ่มของจุดความร้อนสะสมด้วยผลการวิเคราะห์ทางสถิติของโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ โดยสรุปรูปแบบการจัดกลุ่มของจุดความร้อนสะสมแบบรายเดือนในแต่ละข้อมูลได้ Table 2 ดังนี้

**Table 2** The cluster of hotspots by nearest neighbor analysis in representative years of climate variability.

Years	The cluster of hotspot				Climate variability	Amount of hotspot cluster		
	Months					Cluster	Random	Dispersed
	January	February	March	April				
2015	-	cluster	cluster	cluster	El Niño	7	-	-
2019	cluster	cluster	cluster	cluster	La Niña	7	1	-
2011	cluster	cluster	cluster	cluster	Normal	6	1	-
2021	random	cluster	cluster	cluster	Percentage	90.9	9.1	-
2013	cluster	cluster	cluster	cluster				
2017	-	cluster	cluster	random				

การวิเคราะห์หัดชันเพื่อนบ้านใกล้เคียงนี้ผลจากการวิเคราะห์จะระบุรูปแบบการจัดกลุ่มของข้อมูลโดยสรุปเป็น 3 รูปแบบ คือ 1) แบบกลุ่ม (cluster) 2) แบบสุ่ม (random) 3) แบบการกระจาย (dispersed) โดยผลการวิเคราะห์การจัดกลุ่มของ จุดความร้อนสะสมแบบรายเดือนทั้ง 3 สภาพภูมิอากาศ ส่วนใหญ่มีการจัดกลุ่มในรูปแบบกลุ่ม โดยสภาพภูมิอากาศ เอลนีโญ ลานีญา และปกติ มีการจัดกลุ่มในรูปแบบกลุ่ม เป็นจำนวน 7, 7 และ 6 ข้อมูล ตามลำดับ (Table 2) โดยคิดเป็นร้อยละโดยรวมของรูปแบบการจัดกลุ่มของจุดความร้อนแบบกลุ่ม 90.9 นอกจากนี้ยังมีการจัดกลุ่มของจุดความร้อน ในรูปแบบสุ่ม ประกอบด้วยตัวแทนข้อมูลของจุดความร้อนสะสมแบบรายเดือนทางสภาพอากาศเอลนีโญ ลานีญา และปกติ เป็นจำนวนสภาพภูมิอากาศละ 1 ข้อมูล โดยคิดเป็นร้อยละ 9.1 ส่วนการจัดกลุ่มของจุดความร้อนรูปแบบกระจาย ไม่พบในผล การวิเคราะห์ นอกจากนี้ในช่วงเวลาอื่นที่ไม่สามารถระบุรูปแบบการจัดกลุ่มได้นั้น สืบเนื่องจากข้อมูลของจุดความร้อนใน ขอบเขตพื้นที่ศึกษามีจำนวนน้อยกว่า 2 จุด ทำให้ไม่สามารถระบุการจัดกลุ่มในข้อมูลนั้นได้ โดยผลการศึกษาทำให้ทราบว่า เมื่อมีการเกิดจุดความร้อนขึ้น ณ บริเวณใด จะมีจุดความร้อนเป็นกระจุกเกาะกลุ่มกันในบริเวณนั้น

2. การศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยทางกายภาพที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดไฟป่าอันนำไปสู่การสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ

ผลการศึกษาในวัตถุประสงค์ที่ 2 นี้ ทำการแบ่งเนื้อหาเป็น 2 หัวข้อย่อย คือ 2.1) ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดไฟป่า และ 2.2) การสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่การเกิดไฟป่า โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดไฟป่า

การศึกษานี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพและจุดความร้อนด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ (การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน) โดยปัจจัยทางกายภาพได้มาจากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายดาวเทียมและจุดความร้อนที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ต่อปัจจัยทางกายภาพนั้นเป็นจุดความร้อนในช่วงเวลาของตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศ โดยแสดงจำนวนจุดความร้อน ร่วมกับความหนาแน่นของจุดความร้อนในพื้นที่ศึกษาดัง Figure 5 ดังนี้

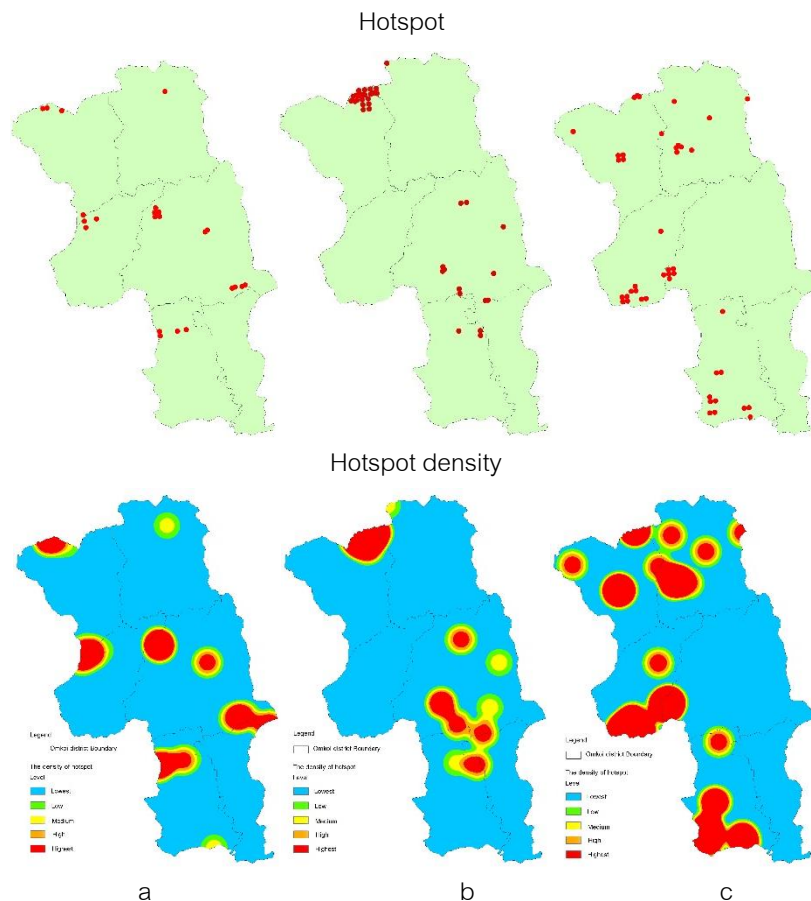


Figure 5 Hotspot and hotspot density of El Niño (a), La Niña (b), and normal (c) years.



จุดความร้อนใน Figure 5 เป็นจุดความร้อนในช่วงเวลาของตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศ โดยจุดความร้อนของตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ มีจำนวนจุดความร้อน 36 จุด ส่วนจุดความร้อนของตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศลานีญามีจำนวน 56 จุด และจุดความร้อนของตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศปกติ มีจำนวนจุดความร้อน 60 จุด นอกจากนี้ผู้ศึกษาได้นำจุดความร้อนของตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศทำการวิเคราะห์หาความหนาแน่นเพื่อทำการสุ่มจุดเพิ่มเติมแบบกระจายทั่วพื้นที่ในพื้นที่ที่ไม่มีความหนาแน่นของจุดความร้อนในพื้นที่ศึกษาเพื่อนำจุดความร้อนที่ได้มาจากเครื่องตรวจวัด MODIS และจุดที่ไม่มีการเกิดจุดความร้อนมาทำการซ้อนทับข้อมูลต่อบัจจัยทางกายภาพในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ โดยผลรวมของจำนวนจุดทั้งหมดทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ ลานีญา และปกติ รวมเป็นจำนวน 60, 100 และ 100 จุด ตามลำดับ นอกจากนี้จากการนำภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 และ ALOS PALSAR ทำการวิเคราะห์บัจจัยทางกายภาพที่ผันตามเวลา และบัจจัยทางกายภาพคงที่ ตามลำดับ ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ และได้ทำการแบ่งช่วงข้อมูล 5 ช่วง โดยแสดงบัจจัยทางกายภาพในพื้นที่ศึกษาได้ ดังต่อไปนี้ (Figure 6 และ 7)

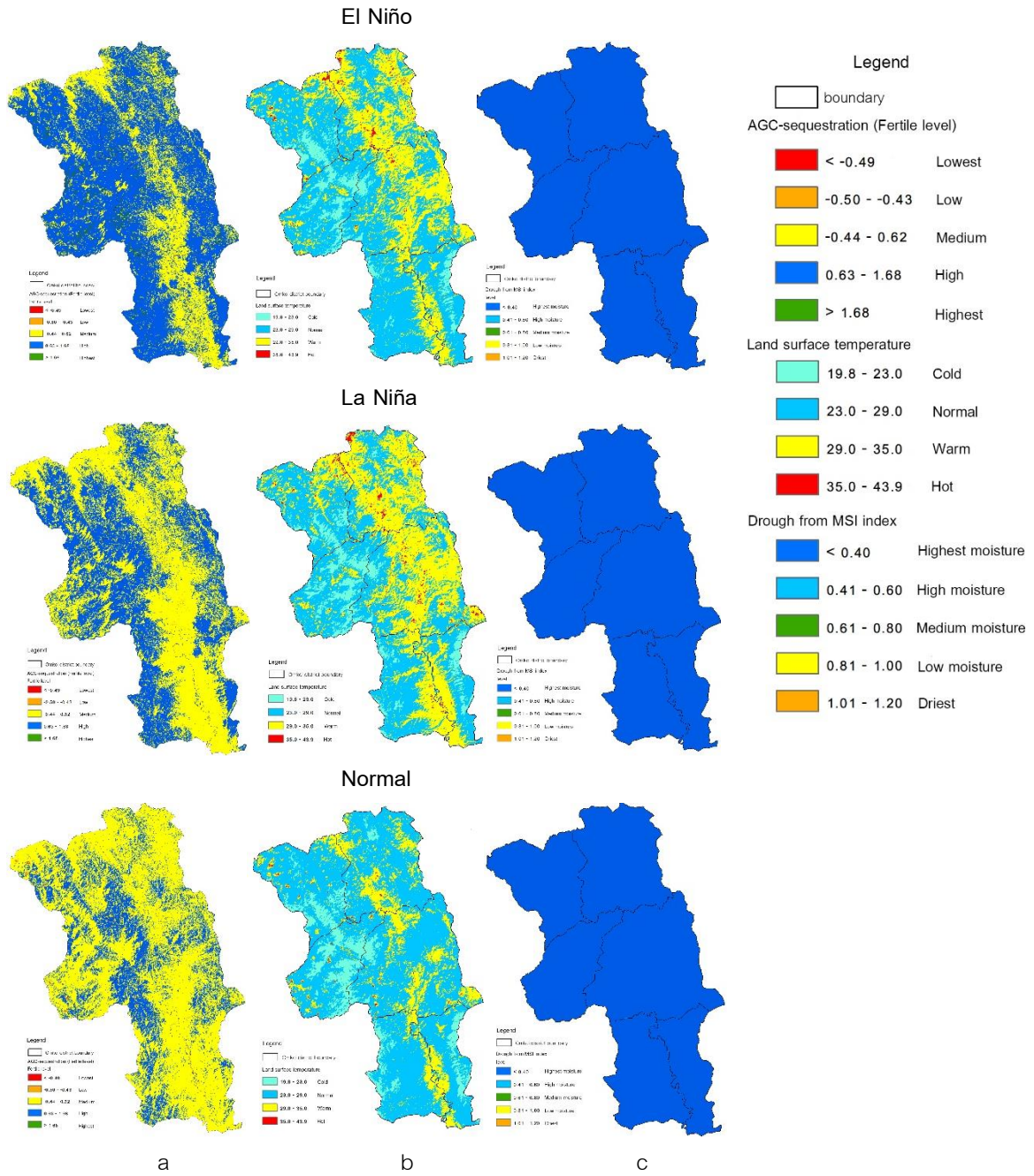


Figure 6 Physical factors of climate variability years including above-ground carbon sequestration (a), land surface temperature (b) and drought (c).

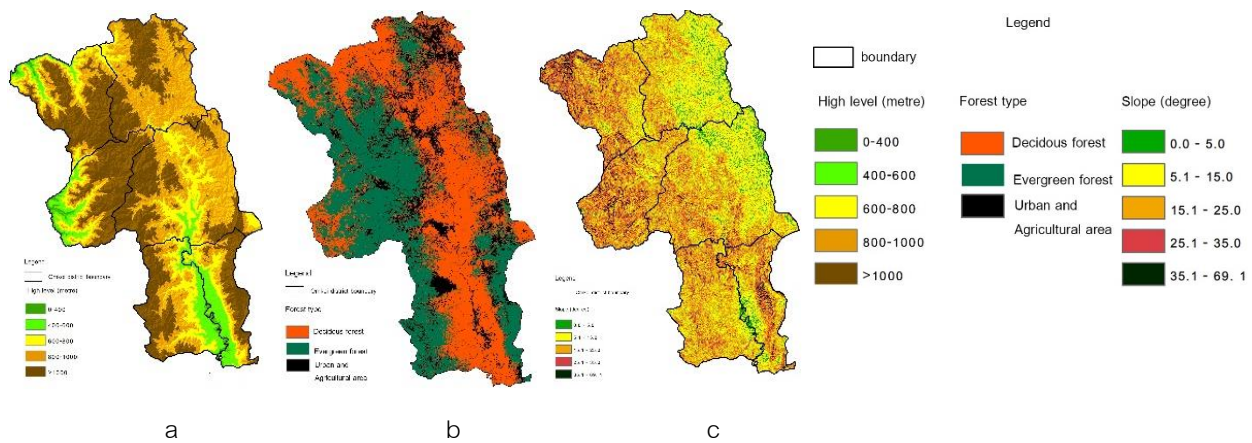


Figure 7 Fixed physical factors including elevation (a), forest type (b), and slope (c)

การสังเกตจุดความร้อนและความหนาแน่นของจุดความร้อนของตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นทั้ง 3 สภาพภูมิอากาศ คือ สภาพภูมิอากาศนี้ญู ลานีญา และปกติ (Figure 5) ในบริเวณทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตกเฉียงใต้ของแผนที่ โดยเปรียบเทียบกับปัจจัยทางกายภาพมักเกิดในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในระดับปานกลาง (Figure 6a) เป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิพื้นผิว (Figure 6b) อยู่ระดับอากาศอบอุ่นถึงร้อนมากซึ่งตรงกันข้ามทางความชื้นทุกสภาพภูมิอากาศที่อยู่ระดับชุ่มชื้นมาก หากเปรียบเทียบจากปัจจัยทางกายภาพคงที่ (Figure 7) ส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นในบริเวณที่อยู่ในความสูงตั้งแต่ 600 เมตรขึ้นไป และจุดความร้อนนั้นเกิดขึ้นในทุกสภาพพื้นที่โดยส่วนใหญ่จะเกิดในบริเวณชนิดป่าผลัดใบ รวมถึงพื้นที่สิ่งก่อสร้างและพื้นที่เกษตร นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบจุดความร้อนและความลาดชันจะเกิดในพื้นที่ที่มีความลาดชันตั้งแต่ 5.1 องศา และหากทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างปัจจัยทางกายภาพและจุดความร้อนด้วยวิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน โดยแสดงผลได้ดัง Table 3 ดังนี้

**Table 3** Pearson correlation analysis between hotspots and physical factors.

Factors	Climate variability					
	El Niño		La Niña		Normal	
	Correlations	Sig. (2-tailed)	Correlations	Sig. (2-tailed)	Correlations	Sig. (2-tailed)
Elevation	.794**	.000	-.263*	.008	.622**	.000
Slope	.717	.000	.078	.441	.192*	.042
LST	.936**	.000	.628**	.000	-.622**	.000
MSI	.641**	.000	.710**	.000	-.474**	.000
AGC sequestration	-.825**	.000	-.541**	.000	.085	.373
Forest type	-.005	.972	-.410**	.007	-.325**	.000

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

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ความสัมพันธ์ระหว่างจุดความร้อนและปัจจัยทางกายภาพเพื่อใช้ในการคัดเลือกปัจจัยเพื่อสร้างสมการรวมถึงแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรง โดยปัจจัยทางกายภาพของตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญที่มีความสัมพันธ์ต่อจุดความร้อนโดยคัดเลือกจากปัจจัยที่มีค่าความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (Table 3) ได้แก่ ปัจจัยระดับความสูง อุณหภูมิพื้นผิว ความแห้งแล้ง และปริมาณคาร์บอนกักเก็บเหนือพื้นดิน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.794, 0.936, 0.641 และ -0.825 ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยิ่งเข้าใกล้ 1 หรือ -1 มาก ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพและจุดความร้อนยิ่งมาก กล่าวคือ หากค่าของปัจจัยทางกายภาพมีการเปลี่ยนแปลงย่อมยิ่งจะส่งผลต่อการเกิดจุดความร้อนมาก โดยทิศทางการเปลี่ยนแปลงระหว่างค่าของจุดความร้อนและปัจจัยทางกายภาพ หากค่าของปัจจัยทางกายภาพเข้าใกล้ 1 ทิศทางการเปลี่ยนแปลงจะไปทางเดียวกัน เมื่อค่าของปัจจัยทางกายภาพเพิ่มขึ้นการเกิดจุดความร้อนจะเพิ่มขึ้น และหากค่าปัจจัยเข้าใกล้ -1 ทิศทางการเปลี่ยนแปลงจะตรงกันข้าม เมื่อค่าของปัจจัยทางกายภาพเพิ่มขึ้นการเกิดจุดความร้อนจะลดลง ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลตัวแทนทางสภาพภูมิอากาศสถานีญา พบว่า อุณหภูมิพื้นผิว ความแห้งแล้ง ปริมาณคาร์บอนกักเก็บเหนือพื้นดิน และข้อมูลชนิดของป่า มีความสัมพันธ์ต่อจุดความร้อน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.628, 0.710, -0.541 และ -0.410 ตามลำดับ และในข้อมูลตัวแทนทางสภาพภูมิอากาศปกติประกอบด้วยปัจจัยทางกายภาพที่มีความสัมพันธ์ต่อจุดความร้อน คือ อุณหภูมิพื้นผิว ความแห้งแล้ง ข้อมูลชนิดป่า และระดับความสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.622, -0.474, -0.325 และ 0.622 ตามลำดับ โดยปัจจัยทางกายภาพที่มีความสัมพันธ์ต่อจุดความร้อนในแต่ละสภาพภูมิอากาศนี้สามารถนำมาสร้างสมการคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสการเกิดไฟป่า ณ ช่วงเวลานั้น ได้ เพื่อแสดงผล



ออกมาในรูปแบบของแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในแต่ละสภาพอากาศ โดยรายละเอียดเนื้อหาของสมการและแบบจำลองคาดการณ์อยู่ในหัวข้อ 2.2 ในลำดับถัดไป

2.2 การสร้างแบบจำลองพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน

ในหัวข้อนี้สืบเนื่องจากหัวข้อที่ 2.1 ซึ่งจะกล่าวถึงผลของการนำปัจจัยทางกายภาพที่มีความสัมพันธ์ต่อจุดความร้อนในการทำวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงเพื่อสร้างสมการและแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ โดยแสดงผลลัพธ์เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสมการในการสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในแต่ละสภาพภูมิ (Table 4) และค่าความแม่นยำของแบบจำลองที่ได้จากสมการคาดการณ์ใน Table 5 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

Table 4 The correlation value of physical factors for model creation.

Climate variability	Constant	High level (B1)	LST (B2)	MSI (B3)	AGC sequestration (B4)	Forest type (B5)
El Niño	6.239E-06	-1.297E-08	2.261E-06	-6.862E-06	-4.234E-07	-
La Niña	-1.27E-04	-	3.813E-6	0.001	-1.841E-5	-1.048E-6
Normal	1.21E-04	6.40E-8	-6.58E-06	8.33E-05	-	-3.58E-7

Table 5 The precision value of wildfire opportunity predictive model from climate variability by linear regression analysis.

Climate variability	Result of model		
	R	R square	Std. error of the estimate
El Niño	.838 ^a	0.702	0.000018
La Niña	.739 ^a	0.546	0.000483
Normal	.712 ^a	0.507	0.000022

โดยผลการวิเคราะห์การถดถอย (Table 4 และ 5) ทำให้ทราบถึงค่าสัมประสิทธิ์ในแต่ละปัจจัยทางกายภาพของสมการในการสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ (Table 4) รวมถึงค่า R R-square และค่าความผิดพลาดในการคาดการณ์ (std. Error of the estimate) โดยการแปลผลของค่า R หมายถึง ค่าความสัมพันธ์ที่มีต่อตัวแปรต้น (ปัจจัยทางกายภาพ) ยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 ยิ่งมีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรที่มาก และ R-square หมายถึง ค่าความแม่นยำต่อการคาดการณ์ของแบบจำลองนั้นๆ หากมีค่าเข้าใกล้ 1 ยิ่งมีความแม่นยำมาก



ในการศึกษานี้ได้กำหนดระดับความแม่นยำของค่า R square 3 ระดับ ได้แก่ 1) ค่า R-square ที่มากกว่า 0.8 หมายความว่า มีความแม่นยำต่อการคาดการณ์ระดับที่ดีมาก 2) ค่า R-square ที่มากกว่า 0.7 และน้อยกว่า 0.8 หมายความว่า มีความแม่นยำต่อการคาดการณ์ระดับที่ดี และ 3) ค่า R square > 0.6 หมายความว่า มีความแม่นยำต่อการคาดการณ์ระดับน้อยกว่า การนำค่าสัมประสิทธิ์ใน Table 4 รวมเป็นสมการเพื่อสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในแต่ละสภาพภูมิอากาศ สามารถสร้างสมการได้ดังต่อไปนี้ (สมการที่ 1-3)

$$Y1 = -1.297E-08*B1 + 2.261E-06*B2 - 6.862E-06*B3 - 4.234E-07*B4 + 6.239E-06 \quad R \text{ square} = 0.702 \quad (1)$$

$$Y2 = 3.813E-6*B2 + 0.001*B3 - 1.841E-5*B4 - 1.048E-6*B5 - 1.27E-04 \quad R \text{ square} = 0.546 \quad (2)$$

$$Y3 = 6.40E-8*B1 - 6.58E-06*B2 + 8.33E-05*B3 - 3.58E-7*B5 + 1.21E-04 \quad R \text{ square} = 0.507 \quad (3)$$

โดย Y1 คือ พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ Y2 คือ พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าทางสภาพภูมิอากาศลานีญา Y3 คือ พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าทางสภาพภูมิอากาศปกติ B1 คือ ระดับความสูง B2 คือ อุณหภูมิพื้นผิว (LST) B3 คือ ความแห้งแล้ง (MSI) B4 คือ ปริมาณคาร์บอนกักเก็บเหนือพื้นดิน และ B5 คือ ข้อมูลชนิดป่า

จากการนำค่าสัมประสิทธิ์ประมาณค่าในแต่ละปัจจัยทางกายภาพทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ (Table 4) ซึ่งประกอบด้วย ระดับความสูง อุณหภูมิพื้นผิว ความแห้งแล้ง และ ปริมาณคาร์บอนกักเก็บเหนือพื้นดิน ทำการรวมเป็นสมการเพื่อสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ (สมการที่ 1) ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย พบว่า เมื่อนำปัจจัยทางกายภาพ ณ ช่วงเวลาที่ต้องการคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ สามารถคาดการณ์โดยมีค่า R และ R-square ของแบบจำลอง เท่ากับ 0.838 และ 0.702 (Table 5) ซึ่งค่า R ที่ได้ หมายถึง แบบจำลองนี้มีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรในสมการ (ปัจจัยทางกายภาพ) ที่ 0.838 คิดเป็นร้อยละ 83.8 ในส่วนค่า R-square ที่ได้ หมายถึง สมการในแบบจำลองนี้สามารถคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญได้ 0.702 คือ มีความแม่นยำต่อการคาดการณ์ร้อยละ 70.2 ซึ่งจัดอยู่ในความแม่นยำระดับดี โดยมีค่าความผิดพลาดในการคาดการณ์ ร้อยละ 0.000018 ซึ่งหมายความว่า หากใช้สมการนี้ในการคาดการณ์จะเกิดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองร้อยละ 0.000018 ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงน้อยมากในการคาดการณ์ ส่วนสมการสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศลานีญา เมื่อนำปัจจัยทางกายภาพ ประกอบด้วย อุณหภูมิพื้นผิว ความแห้งแล้ง ปริมาณคาร์บอนกักเก็บเหนือพื้นดิน และข้อมูลชนิดป่า ทำการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงสามารถสร้างจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าได้ทางสภาพภูมิอากาศลานีญา (สมการที่ 2) โดยมีค่าความสัมพันธ์ต่อปัจจัยทางกายภาพร้อยละ 73.9 (R = 0.739) และมีความแม่นยำต่อการคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าร้อยละ 54.6 (R square = 0.546) (Table 5) ซึ่งจัดอยู่ในความแม่นยำระดับต่ำ และมีค่าความผิดพลาดในการคาดการณ์ ร้อยละ 0.000483 ซึ่งจัดเป็นความคลาดเคลื่อนต่อการสร้างแบบจำลองที่น้อยมาก

และสมการสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศปกติ เมื่อนำปัจจัยระดับความสูง อุณหภูมิพื้นผิว ความแห้งแล้ง และข้อมูลชนิดป่า ทำการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงสามารถสร้างสมการของแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าได้จากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศปกติ (สมการที่ 3) โดยผลการวิเคราะห์ มีค่าความสัมพันธ์ต่อปัจจัยทางกายภาพร้อยละ 71.2 ($R = 0.712$) และมีความแม่นยำต่อการคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าร้อยละ 50.7 ($R \text{ square} = 0.507$) (Table 5) ซึ่งจัดอยู่ในความแม่นยำระดับต่ำและมีความผิดพลาดในการคาดการณ์ร้อยละ 0.000022 ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนที่น้อยมาก โดยผลลัพธ์เมื่อนำสมการของแบบจำลองในแต่ละสภาพภูมิอากาศทำการประมวลผลปัจจัยทางกายภาพในช่วงเวลาที่เป็นตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศเพื่อแสดงตัวอย่างของแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศได้ดังนี้ (Figure 8)

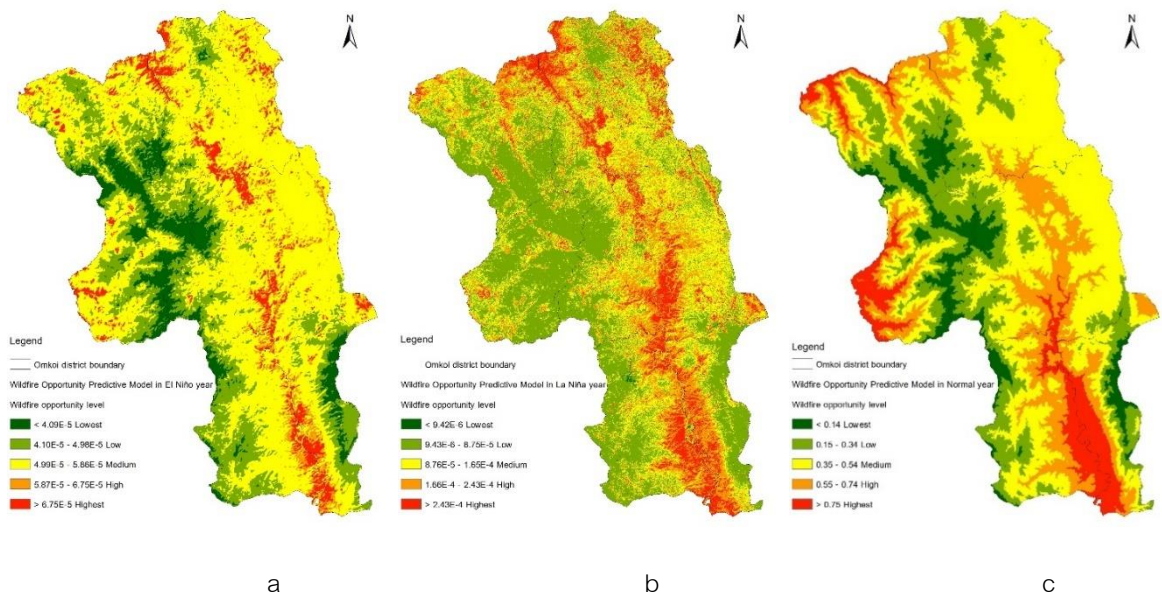


Figure 8 The example of Wildfire Opportunity Predictive Model in El Niño year (a), La Niña year (b) and normal year (c)



แบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ ลานีญาและปกตินั้น จากการสังเกตบริเวณตรงกลางของแผนที่ ตั้งแต่ทางทิศเหนือ จนถึงทางทิศใต้ รวมถึงบริเวณทางทิศตะวันตก ส่วนใหญ่ เป็นพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในระดับมากและมากที่สุด หากเปรียบเทียบกับปัจจัยทางกายภาพ (Figure 6-7) ทำให้ทราบ อย่างชัดเจนพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณที่มีระดับความสูงอยู่ในช่วง 400-800 เมตร (Figure 7a) อยู่ในพื้นที่ป่าผลัดใบรวมถึงพื้นที่ก่อสร้างและพื้นที่การเกษตร (Figure 7b) รวมถึงเป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ ระดับปานกลาง (Figure 6a) และเป็นบริเวณในพื้นที่ที่มีอากาศอบอุ่น (Figure 6b) นอกจากนี้ได้นำสมการสร้างแบบจำลอง คาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ ลานีญา และปกติ (สมการที่ 1-3) ทำการทดสอบ ความถูกต้องต่อการคาดการณ์ด้วยการนำจุดความร้อนในช่วงเวลาอื่นๆ การซ้อนทับกับแบบจำลองคาดการณ์ (ที่ได้จาก การประมวลผลของสมการและภาพถ่ายดาวเทียมในเวลาเดียวกันกับจุดความร้อนที่ทำกรทดสอบ) โดยตรวจสอบจาก จำนวนจุดความร้อนที่เกิดขึ้นจริงตรงกับบริเวณที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในช่วงมีโอกาสมากและมากที่สุดของแบบจำลอง และจำนวนจุดความร้อนที่เกิดขึ้นจริงที่ไม่ได้อยู่บริเวณที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในช่วงมีโอกาสมากและมากที่สุดของแบบจำลอง แล้วคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยรวมของแบบจำลองสามารถสรุปความถูกต้องของแบบจำลองได้ดัง Table 6 ดังนี้

Table 6 The verification of wildfire opportunity predictive model from climate variability

Climate variability	Date	Perform point-by-fire forest area model		Percent of accuracy to	
		checks to validate the model.		prediction	
		Yes	No		
El Niño	7/3/2558	6	0	100	
	25/3/2559	10	4	71.43	74.59
	16/4/2562	20	6	76.92	
	10/4/2559	1	1	50.00	
La Niña	7/4/2021	22	16	57.89	57.89
Normal	20/3/2556	26	22	54.17	54.17

จาก Table 6 แสดงถึงความถูกต้องในการคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในช่วงที่มีโอกาสมากและมากที่สุดของ สมการสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในช่วงที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในแต่ละสภาพภูมิอากาศ โดยจาก การนำสมการสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในช่วงที่มีโอกาสเกิดไฟป่าทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ ลานีญา และปกติ เมื่อทำการทดสอบความถูกต้องโดยนำจุดความร้อนที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลาอื่นๆนอกจากช่วงเวลาของ ตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศทำการซ้อนทับกับแบบจำลอง (ประมวลผลจากสมการสร้างแบบจำลองที่วิเคราะห์กับ



ปัจจัยทางกายภาพในช่วงเวลาเดียวกับจุดความร้อนที่ต้องการทดสอบ) พบว่า แบบจำลองทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ ลานีญา และปกติ มีความถูกต้องต่อการคาดการณ์ร้อยละ 74.59, 57.89 และ 54.17 ตามลำดับ โดยช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ ความถูกต้องของแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ ลานีญา และปกติ ใช้ข้อมูลจุดความ 4, 1 และ 1 เวลา ตามลำดับ

วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาความแตกต่างรูปแบบจุดความร้อนจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศแสดงให้เห็นว่า ในสภาพภูมิอากาศเอลนีโญมีความหนาแน่นและการกระจายตัวของจุดความร้อนในช่วงมากที่สุดซึ่งครอบคลุมพื้นที่มากกว่าสภาพภูมิอากาศลานีญาจากการเปรียบเทียบผลรวมของค่าความหนาแน่นสะสมแบบรายเดือนทางสภาพภูมิอากาศ ตั้งแต่เดือนมกราคม จนถึง เดือนเมษายน (Table 1) และแนวโน้มของความหนาแน่นและการกระจายตัวของจุดความร้อนทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญมีทิศทางเดียวกัน หมายความว่า ในบริเวณที่มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงมากที่สุด การกระจายตัวอยู่ในช่วงย่อยอยู่ในช่วงมากที่สุดเช่นกันซึ่งต่างจากสภาพภูมิอากาศลานีญาที่มีทิศทางตรงกันข้าม (Figure 4) หมายความว่า ในบริเวณที่มีความหนาแน่นอยู่ในช่วงมากที่สุดแต่การกระจายตัวจะอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าความหนาแน่นของจุดความร้อน ได้แก่ ช่วงที่มาก ปานกลาง และน้อย ส่วนทางสภาพภูมิอากาศปกตินั้นมีความหนาแน่นและการกระจายตัวมีความคลั่งทั้งทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญและทางสภาพภูมิอากาศลานีญา โดยขึ้นอยู่กับในช่วงที่เกิดสภาพภูมิอากาศปกตินั้นอยู่ในช่วงที่กำลังเปลี่ยนแปลงเป็นสภาพภูมิอากาศโดยทราบได้จากการเปลี่ยนแปลงของดัชนี ONI อย่างไรก็ตามนั้นทุกสภาพภูมิอากาศ ความหนาแน่นที่เกิดขึ้นมากที่สุดจะอยู่ในเดือน เมษายน จากการศึกษาที่ 1.1.1) นอกจากนี้ในสภาพภูมิอากาศเอลนีโญที่มีความหนาแน่นและการกระจายตัวของจุดความร้อนที่สูงนั้น เนื่องจากสภาพภูมิอากาศเอลนีโญทำให้สภาพภูมิอากาศในพื้นที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในพื้นที่สูงขึ้นมากกว่าทั้ง 2 สภาพภูมิอากาศซึ่งส่งผลให้สภาพพื้นที่ที่มีความแห้งแล้งทำให้ผลผลิตของพืชหยุดชะงักการเจริญเติบโตและเหี่ยวแห้ง (Franziska *et al.*, 2014) ก่อให้เกิดวัฏทางธรรมชาติซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ดีต่อการติดไฟมีจำนวนที่เพิ่มขึ้นและสะสมจำนวนมาก (Guilherme *et al.*, 2018 ; Thanadolmethaphorn *et al.*, 2018) อีกทั้ง จากการศึกษาความแตกต่างความหนาแน่นและการกระจายตัวของจุดความร้อนจากความแปรปรวนทาง สภาพอากาศ พบว่า ในสภาพภูมิอากาศเอลนีโญการกระจายตัวของจุดความร้อนมีทิศทางเดียวกันกับความหนาแน่นของจุดความร้อน เนื่องจากเป็นสภาพภูมิอากาศที่ทำให้อากาศร้อนขึ้นและมีความแห้งแล้งมากกว่าสภาพภูมิอากาศ อีกทั้งทำให้มีปริมาณฝนต่อปีน้อยกว่าปกติ ซึ่งต่างจากสภาพภูมิอากาศลานีญาที่ทำให้สภาพภูมิอากาศโดยรวมมีความหนาวเย็นและมีฝนเกิดมากกว่า สภาพภูมิอากาศปกติเมื่อเกิดจุดความร้อนทำให้การกระจายของจุดความร้อนจะตรงกันข้ามกับความหนาแน่นของจุดความร้อน โดยมีการกระจายตัวและมีสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการกระจายตัวน้อยกว่าสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ ในการจัดกลุ่มของจุดความร้อนจากการศึกษาโดยนำจุดความร้อนสะสมรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม จนถึง เดือนเมษายน ตามช่วงปีที่ได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศที่ได้ทำการคัดเลือกในช่วงพ.ศ.2554 จนถึง พ.ศ.2564

จำนวน 24 ช่วงเวลา พบว่าร้อยละ 90.9 มีการจัดกลุ่มในรูปแบบเกาะกลุ่ม ทั้งทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ ลานีญา และปกติ ซึ่งหมายความว่า เมื่อมีการเกิดจุดความร้อนขึ้นจะเกิดการจุดตัวเป็นกลุ่มของจุดความร้อน ในส่วนการสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญสามารถคาดการณ์ได้สูงที่สุด ร้อยละ 70.2 รองลงมา คือ สภาพภูมิอากาศลานีญา และสภาพภูมิอากาศปกติ โดยมีความแม่นยำต่อการคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าร้อยละ 54.6 และ 50.7 ตามลำดับ อีกทั้งเมื่อทำการทดสอบความถูกต้องของสมการสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในแต่ละสภาพภูมิอากาศโดยนำจุดความในชวงเวลาอื่นๆ ซ้อนทับกับแบบจำลองที่เป็นเวลาเดียวกับจุดความร้อนที่ทำการทดสอบซึ่งสมการคาดการณ์ทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ ลานีญา และปกติ มีความถูกต้องต่อการสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในช่วงที่มีโอกาสมากและมากที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละ 74.59, 57.89 และ 53.68 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในการนำไปใช้ได้จริงของสมการสร้างแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่านั้นสามารถนำไปใช้ได้เฉพาะสมการสร้างแบบจำลองทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ สืบเนื่องจากมีความแม่นยำในระดับดี คือมีความแม่นยำต่อการคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในช่วงที่มีโอกาสสูงที่สุด มีความแม่นยำร้อยละ 70.2 และเมื่อทำการทดสอบการระบุพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าในช่วงมากที่สุดและมาก มีความถูกต้องร้อยละ 74.59 นอกจากนี้ปัจจัยที่มีเกี่ยวข้องต่อการเกิดไฟป่าทั้ง 3 สภาพภูมิอากาศ (Table 4) ด้วยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเพียร์สัน ประกอบด้วย อุณหภูมิพื้นผิวและความแห้งแล้ง ซึ่งเป็นปัจจัยร่วมของแบบจำลองและมีความสัมพันธ์ต่อจุดความร้อนซึ่งมีความสัมพันธ์ระดับนัยสำคัญที่ 0.01 อีกทั้งข้อมูลชนิดป่าเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อจุดความร้อนในแบบจำลองทางสภาพภูมิอากาศลานีญาและสภาพภูมิอากาศปกติ โดยปัจจัยชนิดป่านั้นมีความเกี่ยวข้องต่อการเกิดไฟป่าโดยเฉพาะพื้นที่ป่าผลัดใบ เช่น ป่าเบญจพรรณ เป็นชนิดป่าที่มีการเกิดจุดความร้อนมากที่สุด โดยป่าชนิดนี้เมื่อประสบสภาพภูมิอากาศที่แห้งแล้งและความชื้นต่ำจะมีการผลัดใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำทำให้เชื้อต่อการติดไฟ ในทางการวิเคราะห์ส่วนหนึ่งที่ทำให้แบบจำลองคาดการณ์ทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญมีความแม่นยำกว่าสภาพภูมิอากาศลานีญาและสภาพภูมิอากาศปกติ สืบเนื่องปัจจัยทางกายภาพทั้งความแห้งแล้ง และอุณหภูมิในพื้นที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวต่อค่าของจุดความร้อนโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.641 และ 0.936 ซึ่งเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์ที่มาก อย่างไรก็ตามความสามารถต่อการคาดการณ์และความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากปัจจัยภายนอกเหนือการควบคุม เช่น การทำกิจกรรมของมนุษย์ซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นด้วยตัวของสภาพแวดล้อมเอง รวมถึงขีดจำกัดของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร ซึ่งมีความละเอียดไม่มากต่อการวิเคราะห์ รวมถึงขีดจำกัดการบันทึกภาพถ่ายของดาวเทียมที่ไม่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ในทุกช่วงเวลาของการศึกษา เช่น การมีรอบโคจรของดาวเทียมของ Landsat 8 ซ้ำทุก 16 วัน รวมถึงรอบโคจรที่ดาวเทียมบันทึกภาพได้ ไม่ตรงกับช่วงที่มีการเกิดจุดความร้อนจึงทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลจุดความร้อนและปัจจัยกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายดาวเทียมมาทำการวิเคราะห์ให้มีความหลากหลายทางช่วงเวลาเพื่อเป็นตัวแทนข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศในการสร้างสมการของแบบจำลองคาดการณ์ได้ทำให้ลดความแม่นยำของแบบจำลอง อีกทั้งพบปัญหาภาพถ่ายดาวเทียมบางช่วงเวลาเกิดปัญหามีสิ่งบดบัง เช่น การมีเมฆปกคลุมพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลาของการศึกษาทำให้ค่าของปัจจัยในการวิเคราะห์เกิดความคลาดเคลื่อนแตกต่างจากภาพถ่ายในช่วงที่ไม่มีสิ่งบดบัง ซึ่งประเด็นการมีสิ่งบดบังในภาพถ่ายดาวเทียม



และช่วงที่เกิดจุดความร้อนไม่ตรงกับช่วงที่ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 สามารถบันทึกได้เป็นปัญหาสำคัญของการศึกษาในครั้งที่ทำให้จำนวนการเลือกช่วงเวลานำข้อมูลทั้งจุดความร้อนและการนำภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ที่นำมาวิเคราะห์ปัจจัยทางกายภาพเพื่อความสัมพันธ์รวมถึงการสร้างสมการของแบบจำลองคาดการณ์ทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ ลานีญา และปกติ เลือกช่วงเวลาได้เพียง 3, 1 และ 2 ช่วงเวลา ตามลำดับ ทำให้สมการสร้างแบบจำลองของสภาพภูมิอากาศเอลนีโญมีความแม่นยำมากกว่าจากการได้ข้อมูลที่หลากหลายหลายช่วงเวลาในการหาความสัมพันธ์และสร้างสมการของแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญแม้จำนวนจุดความร้อนจะน้อยกว่าในสภาพภูมิอากาศอื่นๆ หากในอนาคตมีการพัฒนาการสร้างสมการและแบบจำลองที่มีความแม่นยำมากขึ้น ขอบเขตด้านเวลาซึ่ง มีการเพิ่มขึ้นรวมถึงการมีดาวเทียมดวงใหม่ที่สามารถถ่ายภาพที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่สูงและมีรอบโคจรของการบันทึกภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลาในทุกๆวัน เช่น ดาวเทียม Sentinels-2 เป็นต้น สามารถช่วยให้มีทางเลือกการนำข้อมูลที่หลากหลายช่วงเวลาเพื่อตัวแทนทางสภาพภูมิอากาศมาซ้อนทับข้อมูลกับจุดความร้อนเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ในการสร้างสมการและแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าที่มีความแม่นยำได้มากขึ้น ได้ นอกจากนี้การนำปัจจัยทางกายภาพนอกเหนือจากการศึกษาในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ต่อจุดความร้อน เช่น ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดทางสภาพภูมิอากาศของหน่วยงาน ได้แก่ ความกดอากาศ ทิศทางลม ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน เป็นต้น อาจช่วยให้มีความครอบคลุมต่อการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพและจุดความร้อนซึ่งทำให้แบบจำลองคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่ามีความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นและทราบถึงปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องต่อการเกิดไฟป่านอกเหนือจากการศึกษา

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ทำให้ทราบถึงความรุนแรงจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศ โดยสภาพภูมิอากาศเอลนีโญนั้นมีความรุนแรงสูงสุด รองลงมา คือ สภาพภูมิอากาศปกติ และสภาพภูมิอากาศลานีญา ตามลำดับ นอกจากนี้ในการจัดกลุ่มของจุดความร้อนในสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ ลานีญา และปกติ ล้วนมีการจัดกลุ่มเป็น รูปแบบเกาะกลุ่ม ส่วนปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อจุดความร้อนในแต่ละสภาพภูมิอากาศ ล้วนประกอบด้วย ปัจจัยอุณหภูมิพื้นผิวและความแห้งแล้ง เมื่อนำปัจจัยทางกายภาพที่มีความสัมพันธ์ต่อจุดความร้อนของแต่ละสภาพภูมิอากาศทำวิเคราะห์การถดถอยเพื่อสร้างแบบจำลองสามารถสร้างสมการและแบบจำลองในการคาดการณ์พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าทางสภาพภูมิอากาศเอลนีโญ ลานีญา และปกติ ได้ซึ่งเป็นประโยชน์แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมไฟป่าหรือผู้ต้องการศึกษาโดยนำสมการคาดการณ์ในการสร้างแบบจำลองนำไปประมวลผลกับปัจจัยทางกายภาพของสมการ ณ เวลาที่ต้องการศึกษาในพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าทางสภาพภูมิอากาศ



กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีจากการสนับสนุนบริการข้อมูล จากสำนักงานจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 1 จังหวัดเชียงใหม่ สำนักงานสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติรวมถึงการได้รับการสนับสนุนความรู้จากอาจารย์ทุกท่านที่เกี่ยวข้องในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Franziska, P., Christoph M., Thomas, A., Pugh, M., Douglas, B.C., Delphine, D., Joshua, E., Martina, F., Christian, F., Wietse, F., Katja, F., Andrew, D.F., Simon, N.G., Deborah, H., Nikolay, K., Hyungjun, K., Mark R.L., Yoshimitsu, M., Matthias, M., Andrew, M., Kathleen, N., Kazuya, N., Sebastian, O., Ryan, P., Alex C.R., Jacob, S., Erwin, S., Tobias, S., Qihong, T., Zachary, D.T., Adrian, M.T., Warszawski L., Wisser, D., & Hans, J.S. (2014). Multisectoral climate impact hotspots in a warming world, Edited by Robert, W.K. proceedings of the national academy of sciences, 111(9), 3233-3238 .
- Guilherme, A. V. M. , Maria, E. , Siqueira, S. , Gabriel, P. , Francielle, D. S. C. , Fernando, S. K. , Gabriel, B. , Julio, C. C. , Raquel, C. R. , & Viviane, V. (2018). Satellite observations for describing fire patterns and climate-related fire drivers in the Brazilian savannas. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18(1), 125–144.
- Rayanakorn, M. (2010). Smog and air pollution. IN Chiang Mai. Haze and Air Pollution in Chiang Mai 2553, (pp.2-10). Chiang Mai: Chiang Mai University School of Public Policy. (in Thai)
- Rock, B.N.V., WILLIAMS, J.E, VOGELMANN, D.L., & HOSHISAKI, A.F.. (1986). BioScience. Remote detection of forest damage, 36(7), 439-445.
- Thanadolmethaphorn, P., Chotiamonsak, C., & Dontre, S., (2018). Analysis of Impact of Climate Change on Forest Fire Potential in Chiang Mai by Using of Regression Model. Retrieved October 4, 2021, from <http://dx.doi.org/10.14416/j.kmutnb.2018.09.004>. (in Thai)
- Yotapakdee, T. (2014). Seconomic Evaluation Non-timber Forest Products Benefits Omkoi National Forest Reserve. *Area Based Development Research Journal*, 6(4), 23-41. (in Thai)