

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิด ไฟป่าโดยใช้วิธีอัตราส่วนความถี่ วิธีดัชนีทางสถิติ และวิธีถ่วงน้ำหนักปัจจัย

GIS-based Forest Fire Susceptibility Analysis Using Frequency Ratio, Statistical Index and Weighting Factor Techniques

วรวิทย์ ศุภวิมุติ*, บรมศักดิ์ กลั่นเรืองแสง และ รัชพล สัมพุทธานนท์

หลักสูตรสาขาวิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Worawit Suppawimut*, Baromasak Klanreungsang and Ratchaphon Samphutthanont

Geography and Geoinformatics Program, Faculty of Humanities and Social Sciences,

Chiang Mai Rajabhat University

Received: January 24, 2022 ; Accepted: January 24, 2022

บทคัดย่อ

ไฟป่าเป็นภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นเป็นประจำในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ส่งผลกระทบต่อลดลงของพื้นที่ป่าและก่อให้เกิดปัญหามลพิษอากาศ การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่า โดยใช้วิธีอัตราส่วนความถี่ วิธีดัชนีทางสถิติ และวิธีถ่วงน้ำหนักปัจจัย ศึกษาในพื้นที่อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ข้อมูลตำแหน่งการเกิดไฟป่าจำนวน 1,051 จุด จำแนกเป็นข้อมูลตัวอย่างในการเรียนรู้ 745 จุด และ 306 จุด ใช้เป็นข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษามีทั้งสิ้น 8 ปัจจัย ประกอบด้วย ความสูงภูมิประเทศ ความลาดชัน ทิศทางด้านลาด ดัชนีความชื้นภูมิประเทศ ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ ปริมาณน้ำฝน ความหนาแน่นทางน้ำ และการใช้ที่ดิน ข้อมูลตัวอย่างในการเรียนรู้นำมาทำการซ้อนทับกับปัจจัยทั้งหมดเพื่อหาค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนัก จากนั้นจึงจัดทำแผนที่พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่าแบ่งเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับมากที่สุด ระดับมาก ระดับปานกลาง ระดับต่ำ และระดับต่ำที่สุด และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ 3 วิธีการด้วยวิธีการหาพื้นที่ใต้เส้นโค้ง ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่าในระดับอ่อนไหวมากที่สุดจากวิธีการอัตราส่วนความถี่ วิธีดัชนีทางสถิติ และวิธีถ่วงน้ำหนักปัจจัย มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 12.88, 20.39 และ 21.34 ตามลำดับ พบพื้นที่อ่อนไหวสูงมากต่อการเกิดไฟป่าบริเวณตอนกลางของพื้นที่ ปัจจัยที่มีระดับอิทธิพลต่อการเกิดไฟป่ามากที่สุด 3 ลำดับแรก ได้แก่ ความสูงภูมิประเทศ ปริมาณน้ำฝน และการใช้ที่ดิน และผลการเปรียบเทียบพบว่า วิธีการที่ให้ค่าประสิทธิภาพในการวิเคราะห์สูงสุด ได้แก่ วิธีถ่วงน้ำหนักปัจจัย มีค่าอัตราความสำเร็จจากการวิเคราะห์พื้นที่ใต้กราฟ AUC คิดเป็นร้อยละ 83.73 รองลงมา ได้แก่ วิธีการดัชนีทางสถิติ คิดเป็นร้อยละ 80.90 และวิธีการอัตราส่วนความถี่ คิดเป็นร้อยละ 70.50 และค่าอัตราการคาดการณ์ของวิธี

ถ่วงน้ำหนักปัจจัยมีค่า AUC สูงสุดคิดเป็นร้อยละ 84.41 ส่วนวิธีดัชนีทางสถิติ และวิธีอัตราส่วนความถี่มีค่า อัตราการคาดการณ์เป็น 80.77 และ 70.62 ตามลำดับ

คำสำคัญ : ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์; ไฟป่า; แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่า

Abstract

Forest fire is one of the most common natural hazards occurring in northern Thailand, causing the loss of forest area and producing hazardous air pollution. The objective of this study was to apply a geographic information system for analyzing forest fire susceptibility area in Chom Thong District, Chiang Mai Province using frequency ratio (FR), statistical index (SI), and weighting factor (WF) techniques. The location data of 745 and 306 hotspots were used as training and testing data. This study used eight conditioning factors for the analysis, namely elevation, slope, aspect, topographic wetness index (TWI), normalized vegetation index (NDVI), rainfall, stream density, and land use. All conditioning factors and the training data were analyzed for the rating and weighting scores. The forest fire susceptibility area was classified into five susceptible levels namely very high, high, moderate, low, and very low susceptible levels. The result of FR, SI, and WF, revealed that 12.88, 20.39, and 21.34 percent of the total area were identified as a very high susceptible areas which were mostly found in the central of the study area. The WF result revealed that the three most influencing factors were elevation, rainfall, and land use. Lastly, the validation results using the AUC method show that the success rates were 83.73, 80.90, and 70.50 for WF, SI, and FR methods respectively while the prediction rates of WI, SI, and FR were 84.41, 80.77, and 70.62 respectively.

Keywords: geographic information system; forest fire; forest fire susceptibility map

1. บทนำ

ไฟป่าเป็นปัญหาที่สำคัญด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย ซึ่งสร้างผลกระทบต่อระบบนิเวศ ทำให้สูญเสียพื้นที่ป่าไม้ สูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ ก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษทางสิ่งแวดล้อม และเกิดปัญหาหมอกควันที่ส่งผลเสียด้านสุขภาพของประชาชน จากรายงานของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) พบว่า ในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทย ตรวจพบการเกิดจุดความร้อนทั้งสิ้น 26,308 จุด โดย

เกิดขึ้นในพื้นที่ภาคเหนือมากที่สุดจำนวน 7,779 จุด ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในพื้นที่ ป่าอนุรักษ์ 8,456 จุด พื้นที่เกษตรกรรม 6,285 จุด ป่าสงวนแห่งชาติ 6,206 จุด จังหวัดที่เกิดจุดความร้อนมากที่สุด ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ (GISTDA, 2020) และจากสถิติของกรมป่าไม้พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ป่าที่ถูกไฟไหม้ในปี พ.ศ. 2563 และ 2564 ทั้งสิ้น 174,813 ไร่ และ 100,773 ไร่ ตามลำดับ (Forest Fire Control Office, 2021)

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพที่สามารถนำมาใช้ในการติดตามและ

วิเคราะห์การเกิดไฟฟ้าได้ โดยเฉพาะข้อมูลจากภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ช่วยให้สามารถตรวจจับการเกิดจุดความร้อน ได้แก่ ข้อมูลจากระบบ MODIS ของดาวเทียม Terra และ Aqua รายละเอียดเชิงพื้นที่ 1 กิโลเมตร และข้อมูลจากระบบ VIIRS จากดาวเทียม Suomi NPP รายละเอียดเชิงพื้นที่ 375 เมตร สามารถนำมาใช้ในการติดตามสถานการณ์ การวิเคราะห์พฤติกรรมของไฟ นำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง และเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจเพื่อบริหารจัดการและควบคุมไฟป่าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (GISTDA, 2020) ในส่วนของระบบสารสนเทศภูมิสารสนเทศสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าได้ดังการศึกษาของ Khampeera et al. (2021) ที่ได้ประยุกต์ใช้วิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) วิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ในช่วงฤดูแล้งบริเวณพรุครวนเค็ง จังหวัดนครศรีธรรมราช ส่วนงานของ Sangnoppakun et al. (2021) ได้ประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าในจังหวัดพะเยาโดยใช้วิธีการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) เช่นกัน ในส่วนของวิธีการทางสถิติ (Statistical Methods) ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ด้านภัยพิบัติทางธรรมชาติเช่นกัน ซึ่งงานวิจัยที่ประยุกต์ด้านพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าปรากฏในงานของ Pradeep et al. (2022) ที่ได้เปรียบเทียบการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงไฟป่าระหว่างวิธีการ AHP กับวิธีอัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio: FR) ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติ Eravikulam ประเทศอินเดีย ส่วน Dorji and Ongsomwang (2017) ได้วิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าในประเทศภูฏานโดยเปรียบเทียบระหว่างวิธีอัตราส่วนความถี่ (FR) และวิธีถดถอยโลจิสติกส์ (Logistic Regression) ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า วิธีการทางสถิติอัตราส่วนความถี่

ส่วนใหญ่นำไปใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่น้ำท่วม (Anucharn, 2019: Suppawimut, 2021) และดินถล่ม (Yalkin et al., 2011) แต่ยังมีการนำไปทดลองใช้ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับพื้นที่เสี่ยงไฟฟ้าในบริบทพื้นที่ประเทศไทยไม่มากนัก ดังนั้น การประยุกต์ใช้วิธีการที่แตกต่างกันและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวิเคราะห์จะช่วยต่อยอดองค์ความรู้และเป็นทางเลือกในการนำไปประยุกต์ในอนาคตได้

การศึกษานี้มีจึงวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับวิธีการทางสถิติเพื่อวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดไฟฟ้า โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบ 3 วิธีการ ได้แก่ วิธีอัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio: FR) วิธีดัชนีทางสถิติ (Statistical Index: SI) และวิธีถ่วงน้ำหนักปัจจัย (Weighting Factor: WF) โดยทำการทดสอบในพื้นที่อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ จัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดไฟฟ้าและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้ง 3 วิธีการ โดยมุ่งหวังว่าจะสามารถเป็นแนวทางในการประยุกต์สารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองทางสถิติในการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหว และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในการประกอบการวางแผนการป้องกันและการรับมือกับสถานการณ์การเกิดไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอนาคตได้

2. วิธีการ

2.1 พื้นที่ศึกษา

อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ตั้งอยู่ทางด้านทิศใต้ของจังหวัดเชียงใหม่ มีพิกัดทางภูมิศาสตร์ตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 18 องศา 8 ลิปดา 52 ฟิลิปดา ถึง 18 องศา 36 ลิปดา 02 ฟิลิปดา เหนือ และลองจิจูด 98 องศา 25 ลิปดา 11 ฟิลิปดา ถึง 98 องศา 47 ลิปดา 10 ฟิลิปดา ตะวันออก (Figure 1) มีพื้นที่ 1,113 ตารางกิโลเมตร

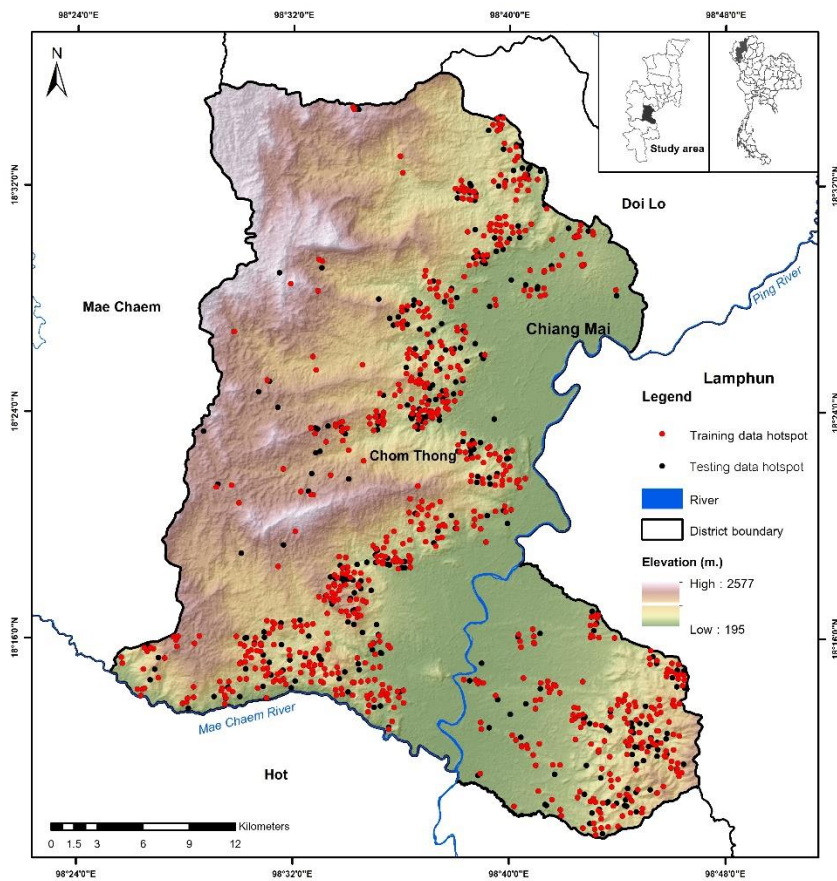


Figure 1 Map of the study area with the hotspot locations

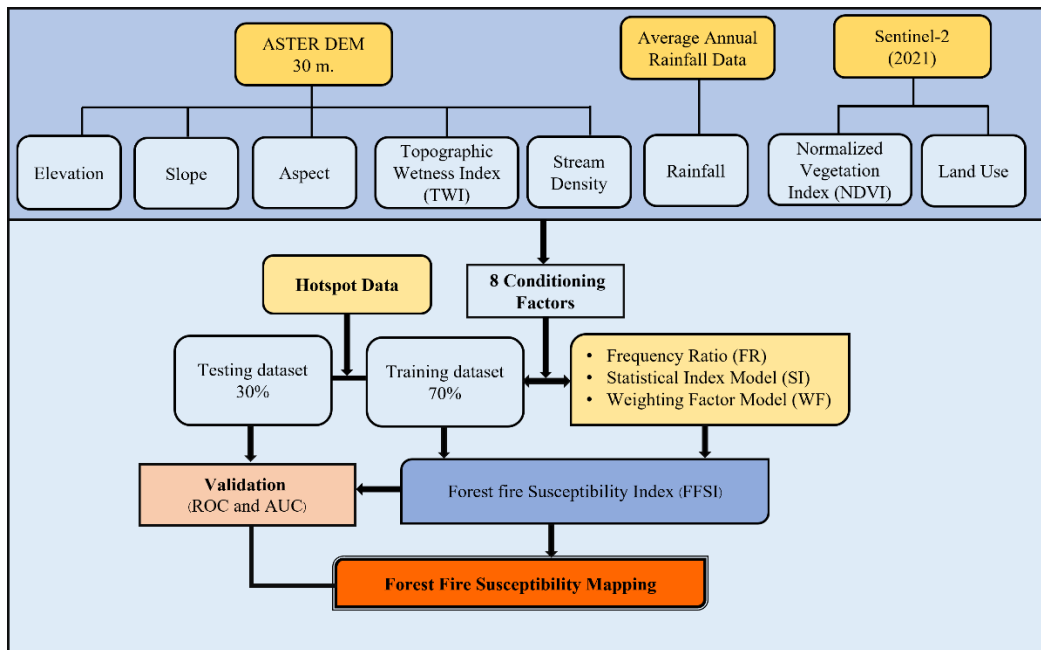


Figure 2 Flow chart of research methodology

มีพื้นที่ติดกับอำเภอดอยหล่อ อำเภอแม่แจ่ม อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ และติดกับจังหวัดลำพูนทางด้านทิศตะวันออกโดยมีแม่น้ำปิงเป็นแนวเขตแบ่งกัน สภาพภูมิประเทศมีลักษณะเป็นพื้นที่ภูเขาสูงอยู่ทางด้านทิศตะวันตกของพื้นที่ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเขตอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ ส่วนพื้นที่ราบอยู่บริเวณตอนกลางและด้านตะวันออกที่แม่น้ำปิงไหลผ่าน ในพื้นที่ศึกษานี้เป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า ซึ่งจากข้อมูลตำแหน่งการเกิดจุดความร้อนเมื่อปี พ.ศ. 2564 พบจุดความร้อนเกิดขึ้น 1,051 จุด ส่วนใหญ่กระจายอยู่บริเวณเชิงเขตอนกลางของพื้นที่ และพบบางส่วนบริเวณทิศตะวันออกของพื้นที่

2.2 ข้อมูลและแหล่งข้อมูล

2.2.1 ข้อมูลที่ตำแหน่งการเกิดจุดความร้อน ใช้ข้อมูลจุดความร้อนที่รวบรวมจาก กรมป่าไม้ (<https://wildfire.forest.go.th/firemap/index.html>) โดยใช้ข้อมูลตำแหน่งจุดความร้อนที่เกิดขึ้นใน ปี พ.ศ.2564 นำมาจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลเรียนรู้ (Training Data) ร้อยละ 70 และข้อมูลทดสอบ (Testing Data) ร้อยละ 30 ข้อมูลเรียนรู้จะใช้ในการวิเคราะห์ซ้อนทับกับข้อมูลปัจจัยเพื่อคำนวณค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนัก ส่วนข้อมูลทดสอบใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของการวิเคราะห์

2.2.2 ข้อมูลปัจจัยเงื่อนไขที่มีอิทธิพลต่อการเกิดไฟป่า (Conditioning Factors) ประกอบด้วย ความสูงภูมิประเทศ (Elevation) ความลาดชัน (Slope) ทิศทางด้านลาด (Aspect) ดัชนีความชื้นภูมิประเทศ (Topographic Wetness Index: TWI) ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) ความหนาแน่นทางน้ำ (Stream

Density) และ การใช้ที่ดิน (Land Use) (Figure 2-4) แหล่งข้อมูลเกี่ยวกับภูมิประเทศได้จากแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) จาก Global Digital Elevation Model Version 3 (GDEM 003) จากโครงการ The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร x 30 เมตร นำมาใช้ในการจัดทำข้อมูลปัจจัยความสูงภูมิประเทศ ความลาดชัน ทิศทางด้านลาด ดัชนีความชื้นภูมิประเทศ และความหนาแน่นทางน้ำ โดยความหนาแน่นทางน้ำใช้การวิเคราะห์ความหนาแน่นของข้อมูลเส้น (Line Density) ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรวบรวมข้อมูลสถิติค่าเฉลี่ยประมาณน้ำฝน 15 ปีของศูนย์อุทกวิทยาชลประทาน ภาคเหนือตอนบน นำมาทำการประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการ Inverse Distance Weighting (IDW) ส่วนข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 บันทึกเมื่อ 24 มกราคม 2564 นำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI) และใช้ในการจำแนกประเภทการใช้ที่ดินด้วยการจำแนกแบบควบคุม (Supervised Classification) จำแนกเป็น พื้นที่ป่าไม้ผลัดใบ ป่าผลัดใบ พื้นที่เปิดโล่ง แหล่งน้ำ พื้นที่เกษตรกรรม และชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ทำให้ได้ข้อมูลปัจจัยทั้งสิ้น 8 ปัจจัยเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางสถิติทั้ง 3 วิธีการ (Figure 2)

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีการซ้อนทับ (Overlay Analysis) ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยทำการซ้อนทับข้อมูลตำแหน่งการเกิดจุดความร้อนที่เป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ (Training Data) และข้อมูลปัจจัยเงื่อนไข (Conditioning Factors) ทั้ง 8 ปัจจัย (fig.3-4) ทั้งนี้ปัจจัยทั้งหมดจะนำมาจัดกลุ่มตามช่วงชั้นสำหรับข้อมูลประเภท

ต่อเนื่อง และแบ่งตามประเภทสำหรับข้อมูลประเภทไม่ต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักและค่าคะแนน ซึ่งในการศึกษานี้ทำการเปรียบเทียบระหว่าง 3 วิธีการ ได้แก่ วิธีอัตราส่วนความถี่ วิธีดัชนีทางสถิติ และวิธีถ่วงน้ำหนักปัจจัย

2.3.1 วิธีอัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio: FR) เป็นวิธีการวิเคราะห์สถิติแบบสองทาง (Anucharn, 2019: Suppawimut, 2021) โดยใช้หลักการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นกับปัจจัยเงื่อนไขที่มีอิทธิพลต่อปรากฏการณ์ดังกล่าว มีการประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนพื้นที่ของชั้นข้อมูลของปัจจัยย่อย กับสัดส่วนของการเกิดปรากฏการณ์ในชั้นข้อมูลนั้น ๆ และใช้เป็นค่าคะแนนของช่วงชั้นข้อมูลหรือช่วงประเภทของข้อมูลดังกล่าว หากชั้นข้อมูลดังกล่าวมีค่า FR สูงแสดงถึงพื้นที่ดังกล่าวมีความอ่อนไหวหรือมีโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์สูง มีวิธีการคำนวณดังสมการที่ 1

$$FR_{ij} = \frac{FC_{ij}}{FA_{ij}} \quad (1)$$

โดยที่ FR_{ij} คือ อัตราส่วนความถี่ของชั้นปัจจัยย่อยที่ i ของปัจจัยหลัก j , FC_{ij} คือ ค่าร้อยละของจำนวนจุดความร้อนที่เกิดขึ้นในชั้นปัจจัยย่อยที่ i ของปัจจัยหลัก j และ FA_{ij} คือ ค่าร้อยละของพื้นที่ศึกษาของชั้นปัจจัยย่อยที่ i ของปัจจัยหลัก j

ค่าคะแนน FR ของแต่ละชั้นปัจจัยย่อยจะถูกนำไปใช้เป็นค่าคะแนนของแต่ละชั้นของปัจจัย โดยทำการจัดชั้นข้อมูลใหม่ (Reclassify) และนำค่า FR มากำหนดแทนค่าคะแนนเดิม จากนั้นจึงนำคะแนนจากทุกปัจจัยมารวมกันด้วยกระบวนการซ้อนทับข้อมูล (Overlay Analysis) เพื่อหาค่าดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่า (Forest Fire Susceptibility Index: FFSI) ดังสมการที่ 2 เพื่อนำไปใช้ในการแบ่งกลุ่มระดับความอ่อนไหวเป็น 5

ระดับ ได้แก่ ระดับอ่อนไหวมากที่สุด ระดับอ่อนไหวมาก ระดับอ่อนไหวปานกลาง ระดับอ่อนไหวต่ำ และระดับอ่อนไหวต่ำที่สุด ด้วยวิธีการแบ่งชั้นแบบ Natural Breaks

$$FFSI_{FR} = \sum_{j=1}^n FR_{ij} \quad (2)$$

โดยที่ $FFSI_{FR}$ คือ ค่าดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่าด้วยวิธีการอัตราส่วนความถี่ (FR) และ FR_{ij} คือ ค่าคะแนน FR ของชั้นปัจจัยย่อยที่ i ของปัจจัยหลัก j

2.3.2 วิธีดัชนีทางสถิติ (Statistical Index: SI) เป็นวิธีการที่เสนอโดย van Westen (1997) โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เปรียบเทียบตามสัดส่วนของพื้นที่ของปัจจัยแต่ละชั้น โดยการคำนวณจากค่าลอการิทึมธรรมชาติของความหนาแน่นของปรากฏการณ์ในแต่ละชั้นปัจจัยย่อยกับความหนาแน่นของปรากฏการณ์ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด พื้นที่ที่มีค่า SI สูงและมีค่าเป็นบวกแสดงถึงโอกาสที่จะเกิดปรากฏการณ์สูงกว่า ในขณะที่พื้นที่ที่มีค่า SI เป็นค่าลบจะแสดงถึงการมีโอกาสในการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวต่ำกว่า วิธีการคำนวณแสดงในสมการที่ 3 จากนั้นจึงนำค่าคะแนน SI ไปใช้ในการซ้อนทับข้อมูลจากทุกปัจจัยโดยใช้สมการที่ 4

$$SI_{ij} = \ln \left(\frac{D_{ij}}{D} \right) = \ln \left[\left(\frac{N_{ij}}{S_{ij}} / \frac{N}{S} \right) \right] \quad (3)$$

โดยที่ SI_{ij} คือ ค่าดัชนีทางสถิติของชั้นปัจจัยย่อยที่ i ของปัจจัยหลัก j , $\ln$ คือ ลอการิทึมธรรมชาติ หรือ $\log_e(x)$, D_{ij} คือ ค่าความหนาแน่นของการเกิดจุดความร้อนในชั้นปัจจัยย่อยที่ i ของปัจจัยหลัก j , D คือ ค่าความหนาแน่นของการเกิดจุดความร้อนในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด, N_{ij} คือ จำนวนจุดความร้อนที่เกิดขึ้นในชั้นปัจจัยย่อยที่ i ของปัจจัยหลัก j , S_{ij} คือ จำนวนพิกเซลของพื้นที่ศึกษาในชั้นปัจจัยย่อยที่ i ของปัจจัยหลัก j , N คือ จำนวนจุดความร้อนที่

เกิดขึ้นทั้งหมด และ S คือ จำนวนพิกเซลของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

$$FFSI_{SI} = \sum_{j=1}^n SI_{ij} \quad (4)$$

โดยที่ $FFSI_{SI}$ คือ ค่าดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่าด้วยวิธีการดัชนีทางสถิติ (SI) และ SI_{ij} คือ ค่าคะแนน SI ของชั้นปัจจัยย่อยที่ i ของปัจจัยหลัก j

2.3.3 วิธีถ่วงน้ำหนักปัจจัย (Weighting Factor: WF) เป็นวิธีการทางสถิติที่พัฒนาเพิ่มเติมจากวิธีการดัชนีทางสถิติ (SI) มีความแตกต่างจากวิธีการ SI ที่มีวิเคราะห์ระดับค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยหลักด้วย โดยการนำค่า SI มาใช้ในกระบวนการคำนวณเปรียบเทียบ วิธีนี้ประยุกต์ใช้ในการศึกษาด้านการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดภัยธรรมชาติทั้งดินถล่มและน้ำท่วม (Khosravi et al., 2016; Suppawimut, 2021) ดังสมการที่ 5 และ 6

$$TSI_{value} = \sum_{i=1}^n SI \times H \quad (5)$$

$$WF = \frac{(TSI_{value}) - (MinTSI_{value})}{(MaxTSI_{value}) - (MinTSI_{value})} \times 100$$

โดยที่ TSI_{value} คือ ค่าคะแนนของการเกิดจุดความร้อนในชั้นปัจจัยย่อยได้จากการผลรวมของการคูณค่า SI และ H , SI คือ ค่าดัชนีทางสถิติของชั้นปัจจัยย่อย และ H คือ จำนวนจุดความร้อนที่เกิดขึ้นในชั้นปัจจัยย่อย ส่วนสมการที่ 6 WF คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัย, $MinTSI_{value}$ คือ ค่า TSI_{value} ต่ำสุดที่ได้จากการเปรียบเทียบจากทุกปัจจัย, $MaxTSI_{value}$ คือ ค่า TSI_{value} สูงสุดที่ได้จากการเปรียบเทียบจากทุกปัจจัย

เมื่อทำการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก (WF) ของแต่ละปัจจัยแล้ว ค่าถ่วงน้ำหนักจะถูกนำมาใช้ในการคูณกับค่าคะแนน SI ของแต่ละชั้นปัจจัยย่อยของทุกปัจจัยโดยใช้วิธีการซ้อนทับข้อมูล ดังสมการที่ 7

$$FFSI_{WF} = \sum_{i=1}^n SI_i \times WF_i \quad (6)$$

โดยที่ $FFSI_{WF}$ คือ ค่าดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่าด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักปัจจัย (WF), SI_i คือ ค่าคะแนน SI ของแต่ละชั้นปัจจัยย่อย และ WF_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยหลักแต่ละปัจจัย

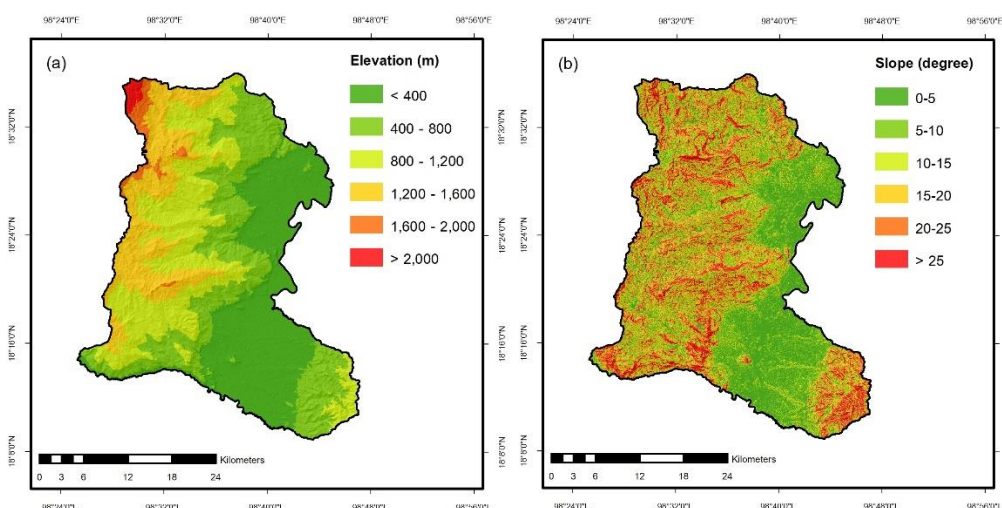


Figure 3 Conditioning Factors: (a) elevation (b) slope (c) aspect (d) TWI (e) NDVI (f) rainfall

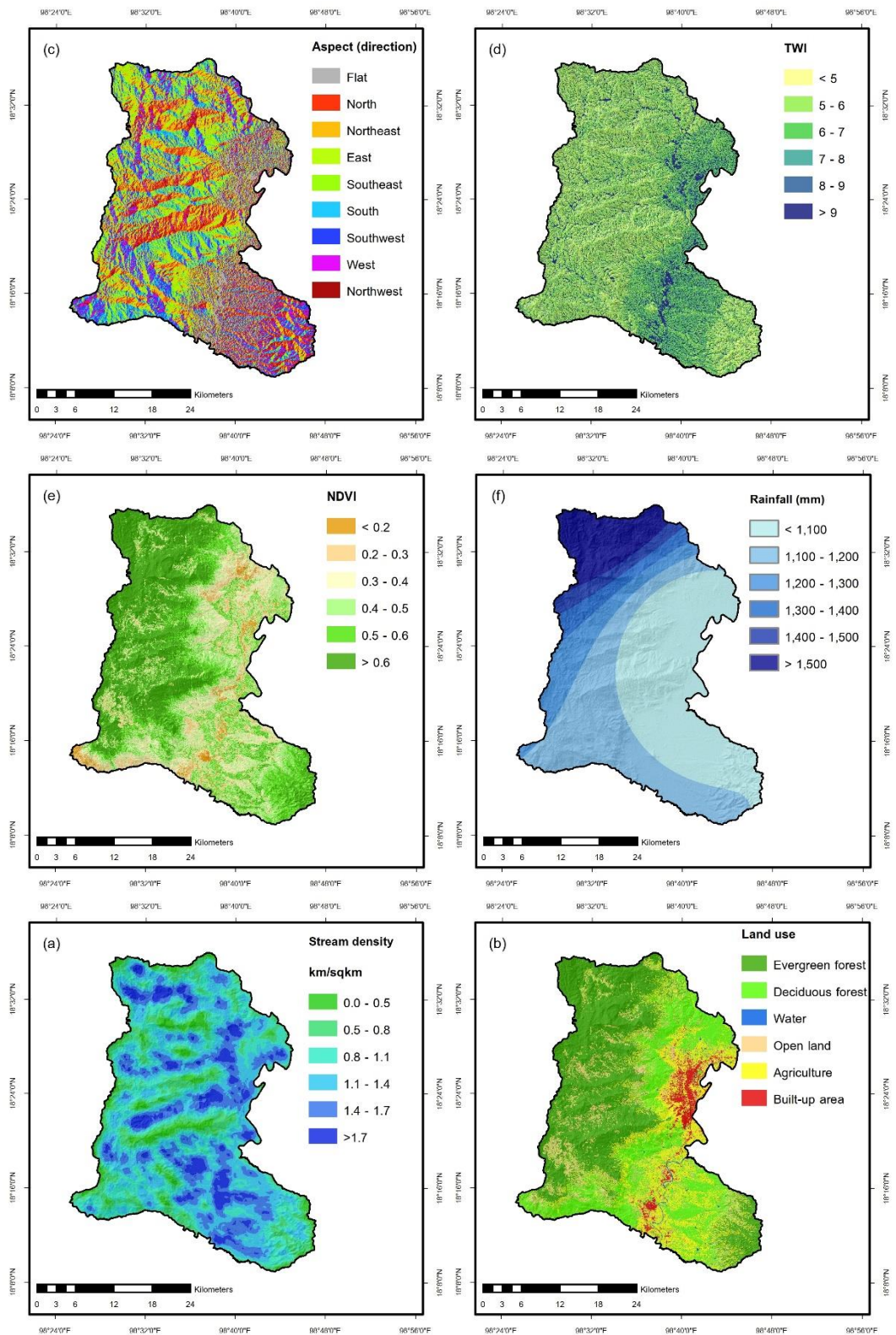


Figure 4 Conditioning Factors: (a) stream density (b) land use

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีอัตราส่วนความถี่ (FR)

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีอัตราส่วนความถี่ (FR) ค่า FR ของแต่ละชั้นปัจจัยย่อยจะแสดงค่าระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดไฟฟ้า โดยค่า FR ที่มีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงพื้นที่ลักษณะดังกล่าว มีโอกาสเกิดไฟฟ้าในระดับสูง ดังกรณีของปัจจัยความสูงภูมิประเทศที่พบว่า ช่วงชั้นที่มีค่า FR สูงสุด คือ ช่วง 400-800 เมตร มีค่า FR ที่ 2.381 พื้นที่นี้มีค่า FR สูงเนื่องจากเป็นที่ที่มีสัดส่วนการกระจายของการเกิดจุดความร้อนมากถึงร้อยละ 59.60 ของจุดความร้อนทั้งหมด ในทางกลับกันพื้นที่สูง 1,600 เมตรขึ้นไป มีค่า FR ต่ำ เนื่องจากช่วงชั้นดังกล่าวปรากฏจุดความร้อนเพียง 1 จุดเท่านั้น ด้านปัจจัยความลาดชัน พบว่าพื้นที่ที่มีค่า FR สูงสุด ได้แก่ ความลาดชัน 20-25 องศา มีค่า FR ที่ 1.386 ในขณะที่ ระดับ 10-15 องศา และ 15-20 องศา มีค่า FR ที่ 1.212 และ 1.274 ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำมีค่า FR ที่ 0.516 ทั้งนี้พื้นที่ลาดชันสูงมีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่ามากกว่าเนื่องจากการพาความร้อนขึ้นไปยังบริเวณที่สูงขึ้นไป อีกทั้งแนวเปลวไฟยังสามารถถูกลมพัดขึ้นไปสู่ด้านบนทำให้เกิดการติดไฟง่ายขึ้นอีกด้วย (Figure 5)

ปัจจัยด้านทิศทางด้านลาดพบว่า ทิศทางด้านลาดที่อยู่ทางทิศใต้และทิศตะวันตกเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าสูงกว่า โดยทิศใต้มีค่า FR ที่ 1.299 ทิศตะวันตกเฉียงใต้ อยู่ที่ 1.105 ทิศตะวันออกเฉียงใต้ อยู่ที่ 1.038 และทิศตะวันตกมีค่า FR ที่ 1.249 ส่วนทิศเหนือมีค่า FR เพียง 0.815 ทั้งนี้สาเหตุสำคัญเนื่องจากที่ตั้งของพื้นที่ศึกษาอยู่ในแนวละติจูดที่ช่วงเวลาส่วนใหญ่ได้รับแสงอาทิตย์ในลักษณะอ้อมได้ นอกจากนี้ด้านตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้ยังเป็นบริเวณที่ได้รับแสงอาทิตย์

เข้มข้นในช่วงบ่ายทำให้พื้นที่แห้งและติดไฟได้ง่ายกว่าบริเวณอื่น ปัจจัยด้านดัชนีความชื้นภูมิประเทศ (TWI) ให้ผลลัพธ์ในลักษณะผกผันกัน โดยพื้นที่ที่ค่าดัชนี TWI ต่ำจะมีผลลัพท์ค่า FR ที่สูง และหากมีค่าดัชนี TWI ที่สูงจะมีค่า FR ต่ำ โดยพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟป่าสูงได้แก่ พื้นที่ที่มีค่า TWI ต่ำกว่า 5 ซึ่งมีค่า FR ที่ 1.163 ในทางกลับกันพื้นที่ที่มีค่า TWI สูงกว่า 9 ขึ้นไป มีค่า FR เพียง 0.548

ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI) ช่วงชั้นที่มีค่า FR สูงสุด ได้แก่ ระดับ 0.3-0.4 มีค่า FR ที่ 1.539 รองลงมาได้แก่ช่วง 0.4-0.5 มีค่า FR ที่ 1.328 ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวแสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณปรากฏอยู่โดยเฉพาะป่าไม้ ซึ่งหากเป็นป่าที่เป็นป่าผลัดใบจะเป็นพื้นที่ที่มีเชื้อเพลิงมาก อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าพื้นที่ที่มีค่า NDVI สูงสุดแสดงถึงการมีพืชพรรณปกคลุมหนาแน่นหรือเป็นป่าดิบเขาที่มีความชื้นสูงกว่า พื้นที่ดังกล่าวมีค่า FR เพียง 0.418 ซึ่งแสดงถึงมีความเสี่ยงที่ต่ำกว่าบริเวณอื่น ด้านปริมาณน้ำฝนพบว่าพื้นที่ที่มีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าจะมีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าที่สูงกว่า เช่น ปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 1,100 มิลลิเมตรต่อปี มีค่า FR ที่ 1.267 และปริมาณน้ำฝน 1,100-1,200 มิลลิเมตรต่อปี มีค่า FR ที่ 1.329 ในทางกลับกันพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนสูงกว่า 1,500 มิลลิเมตรต่อปี มีค่า FR ต่ำสุดที่ 0.049 แสดงถึงการเป็นพื้นที่ที่เสี่ยงต่ำต่อการเกิดไฟป่า

ปัจจัยความหนาแน่นทางน้ำที่พบว่า พื้นที่ที่มีความหนาแน่นทางน้ำมาก มีความเสี่ยงที่ต่ำกว่าพื้นที่ที่มีความหนาแน่นทางน้ำน้อย โดยระดับความหนาแน่นทางน้ำที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าสูงสุด ได้แก่ ระดับ 0.5-0.8 กม.ต่อ ตร.กม. ที่มีค่า FR ที่ 1.308 ส่วนพื้นที่ที่มีความหนาแน่นทางน้ำมากกว่า 1.7 กม.ต่อ ตร.กม. มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าต่ำกว่า โดยมีค่า FR ที่ 0.387 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ป่าต้นน้ำที่มีลำธารสาขามากจะเป็นบริเวณที่มีความชุ่มชื้น

มากกว่าและการติดไฟของเชื้อเพลิงจะเป็นไปได้ยากกว่าบริเวณที่มีลำธารสาขาน้อย ส่วนปัจจัยสุดท้ายได้แก่ ปัจจัยด้านการใช้ที่ดิน พบว่า การใช้ที่ดินประเภทป่าผลัดใบมีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าสูงสุด โดยมีค่า FR ที่ 1.888 เนื่องจากไฟป่าที่เกิดขึ้นกระจายอยู่ในพื้นที่นี้มากถึงร้อยละ 51.54 ส่วนพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ำได้แก่ พื้นที่สิ่งปลูกสร้างป่าไม่ผลัดใบ และแหล่งน้ำ ซึ่งมีค่า FR อยู่ที่ 0.506, 0.536 และ 0.588 (Table 1) ดังนั้น พื้นที่ที่มีควรมีการเฝ้าระวังไฟป่ามากที่สุดในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่จึงอยู่บริเวณป่าผลัดใบที่อยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ศึกษา

3.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีดัชนีทางสถิติ (SI)

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีดัชนีทางสถิติ (SI) ให้ผลลัพธ์ระดับค่าคะแนนความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าที่แตกต่างจากวิธีการ FR โดยวิธี SI ผลลัพธ์ที่มีค่าบวกและมีค่ามากจะแสดงถึงพื้นที่ดังกล่าวมีโอกาสเกิดไฟป่าสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ในขณะที่ค่า SI มีค่าติดลบแสดงถึงมีระดับความเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าที่ต่ำ ดังปัจจัยความสูงในระดับ 1,600-2,000 เมตร ที่มีค่า SI ที่ -2.801 ในขณะที่ระดับความสูง 400-800 เมตรมีค่า SI ที่ 0.868 ส่วนปัจจัยด้านความลาดชันพบว่าพื้นที่ที่มีค่า SI สูงสุดได้แก่ ระดับความลาดชัน 20-25 องศา ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Dorji and Ongsomwang (2017) ที่พบว่าระดับความลาดชันมากกว่า 20 องศามีความเสี่ยงสูงกว่าบริเวณอื่น ส่วนพื้นที่ลาดชัน 0-5 องศา และ 5-10 องศา มีค่าคะแนน SI ที่ -0.662 และ -0.194 ปัจจัยด้านทิศทางด้านลาดให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับวิธี FR ที่พบว่า ทิศทางด้านลาดด้านทิศใต้และทิศตะวันตกมีความเสี่ยงมากกว่าทิศด้านเหนือและด้านตะวันออก โดยทิศใต้มีค่า SI สูงสุดที่ 0.262 และทิศตะวันตกเฉียงใต้อยู่ที่ 0.100 ในขณะที่ทิศเหนือมีค่าที่ -0.205 ส่วนปัจจัยดัชนีความชื้นภูมิประเทศที่เสี่ยงที่สุด ได้แก่ ดัชนีระดับต่ำกว่า 5 มีค่า SI อยู่ที่

0.151 ในทางกลับกันพื้นที่ที่ดัชนีความชื้นสูงสุดมากกว่า 9 มีความเสี่ยงต่ำสุดโดยมีค่า SI เป็น -0.601 (Table 1)

ปัจจัยดัชนีความแตกต่างพรรณ (NDVI) ช่วงชั้นที่มีค่า SI สูงสุดได้แก่ 0.3-0.4 ซึ่งมีค่า SI ที่ 0.431 ซึ่งสอดคล้องกับวิธี FR ที่ให้ผลลัพธ์ความเสี่ยงสูงในช่วงชั้นนี้เช่นกัน ส่วนพื้นที่ที่มีดัชนี NDVI มากที่สุด มีระดับความเสี่ยงต่ำ โดยมี SI ที่ -0.873 ด้านปัจจัยปริมาณน้ำฝน พบว่าพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 1,200 มิลลิเมตรต่อปีขึ้นไป มีคะแนนความเสี่ยงค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนสูงสุด มากกว่า 1,500 มิลลิเมตรต่อปี มีค่า SI ที่ -3.013 ส่วนพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยจะมีค่า SI ที่สูงกว่า ส่วนปัจจัยความหนาแน่นทางน้ำ พบว่า ความหนาแน่นทางน้ำที่ระดับ 0.5-0.8 กิโลเมตรต่อตารางกิโลเมตร มีความเสี่ยงสูงสุด โดยมีค่า SI ที่ 0.269 ในขณะที่พื้นที่ที่มีความหนาแน่นทางน้ำมากกว่าจะมีระดับความเสี่ยงที่ต่ำกว่า โดยเฉพาะพื้นที่ที่ความหนาแน่นทางน้ำมากกว่า 1.7 มีค่า SI เป็น -0.950 และปัจจัยการใช้ที่ดิน พบว่าพื้นที่เสี่ยงที่สุด ได้แก่ ป่าผลัดใบ มีค่า SI ที่ 0.635 ในขณะที่พื้นที่สิ่งปลูกสร้างเป็นพื้นที่ที่มีระดับคะแนนความเสี่ยงต่ำสุด รองลงมา ได้แก่ ป่าไม่ผลัดใบ และแหล่งน้ำ โดยมีค่า SI ที่ -0.681, -0.924 และ -0.532 ตามลำดับ (Table 1)

3.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักปัจจัย (WF)

ผลการวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักปัจจัย (WF) พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อการเกิดไฟป่าในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ความสูงภูมิประเทศ มีค่า WF อยู่ที่ 100 รองลงมา ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน การใช้ที่ดิน และดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ มีค่า WF ที่ 44.36, 43.19 และ 29.40 ตามลำดับ ส่วนปัจจัยที่มีค่าถ่วงน้ำหนักปัจจัยต่ำ

ที่สุด 3 ลำดับ ได้แก่ ดัชนีความชันภูมิประเทศ ทิศทางด้านลาด และความหนาแน่นทางน้ำ ที่มีค่า ถ่วงน้ำหนักที่ 1, 1.56 และ 5.82 ตามลำดับ ค่าถ่วง น้ำหนัก WF ที่กล่าวมาจะถูกนำไปใช้เป็นตัวคูณกับ คะแนน SI เพื่อให้ได้เป็นดัชนีความอ่อนไหวต่อการ

เกิดไฟป่า ดังนั้น วิธี WF จึงแตกต่างจากวิธี FR และ SI ซึ่งพิจารณาเปรียบเทียบระดับค่าคะแนน ความเสี่ยงภายในปัจจัยใดปัจจัยหนึ่ง ส่วน WF เป็น วิธีการที่พิจารณาเปรียบเทียบระดับความสำคัญจาก ทุกปัจจัย

Table 1 Calculation of FR, SI and WF values

Factors	Conditioning Classes	Area (sq.km)	Area (%)	Number of Hotspot	Hotspot (%)	FR	SI	Wf
Elevation (m.)	195 - 400	345.61	31.02	144	19.33	0.623	-0.473	100
	400 - 800	278.83	25.03	444	59.60	2.381	0.868	
	800 - 1,200	282.99	25.40	137	18.39	0.724	-0.323	
	1,200 - 1,600	173.47	15.57	19	2.55	0.164	-1.809	
	1,600 - 2,000	24.60	2.21	1	0.13	0.061	-2.801	
	>2,000	8.48	0.76	0	0	0	0	
Slope (degree)	0-5	252.14	22.63	87	11.68	0.516	-0.662	11.17
	5-10	221.42	19.87	122	16.38	0.824	-0.194	
	10-15	198.70	17.84	161	21.62	1.212	0.192	
	15-20	176.08	15.81	150	20.14	1.274	0.242	
	20-25	129.50	11.62	120	16.11	1.386	0.327	
	>25	136.14	12.22	105	14.10	1.153	0.143	
Aspect	Flat	31.41	2.82	5	0.67	0.238	-1.435	1.56
	North	121.09	10.87	66	8.86	0.815	-0.205	
	Northeast	145.48	13.06	90	12.08	0.925	-0.078	
	East	155.38	13.95	91	12.21	0.876	-0.133	
	Southeast	175.70	15.77	122	16.38	1.038	0.038	
	South	155.39	13.95	135	18.12	1.299	0.262	
	Southwest	131.21	11.78	97	13.02	1.105	0.100	
	West	99.40	8.92	83	11.14	1.249	0.222	
	Northwest	98.93	8.88	56	7.52	0.846	-0.167	

Table 1 (Continued) Calculation of FR, SI and WF values

Factors	Conditioning Classes	Area (sq.km)	Area (%)	Number of Hotspot	Hotspot (%)	FR	SI	Wf
TWI	< 5	236.67	21.25	184	24.70	1.163	0.151	1
	5 - 6	342.80	30.77	252	33.83	1.099	0.095	
	6 - 7	218.83	19.64	147	19.73	1.005	0.005	
	7 - 8	106.04	9.52	66	8.86	0.931	-0.072	
	8 - 9	59.68	5.36	41	5.50	1.027	0.027	
	>9	149.98	13.46	55	7.38	0.548	-0.601	
NDVI	< 0.2	26.68	2.40	21	2.82	1.177	0.163	29.40
	0.2 - 0.3	86.03	7.72	66	8.86	1.147	0.137	
	0.3 - 0.4	202.12	18.14	208	27.92	1.539	0.431	
	0.4 - 0.5	216.13	19.40	192	25.77	1.328	0.284	
	0.5 - 0.6	207.04	18.58	153	20.54	1.105	0.100	
	>0.6	376.00	33.75	105	14.09	0.418	-0.873	
Rainfall (mm.)	<1,100	442.74	39.74	375	50.34	1.267	0.236	44.36
	1,100 - 1,200	342.00	30.70	304	40.81	1.329	0.285	
	1,200 – 1,300	111.13	9.98	34	4.56	0.458	-0.782	
	1,300 – 1,400	52.07	4.67	16	2.15	0.460	-0.778	
	1,400 – 1,500	44.31	3.98	12	1.61	0.405	-0.904	
	>1,500	121.71	10.93	4	0.54	0.049	-3.013	
Stream density (km./sq.km)	0.0 - 0.5	67.03	6.02	37	4.97	0.825	-0.192	5.82
	0.5 - 0.8	178.28	16.00	156	20.94	1.308	0.269	
	0.8 - 1.1	281.93	25.31	229	30.74	1.215	0.194	
	1.1 - 1.4	301.71	27.08	201	26.98	1.000	-0.004	
	1.4 - 1.7	203.87	18.30	101	13.56	0.741	-0.300	
	>1.7	81.18	7.29	21	2.82	0.387	-0.950	
Land use	evergreen forest	443.80	39.84	159	21.34	0.536	-0.624	43.19
	deciduous forest	304.17	27.30	384	51.54	1.888	0.635	
	water	5.09	0.46	2	0.27	0.588	-0.532	
	open land	129.91	11.66	90	12.08	1.036	0.035	
	agriculture	189.64	17.02	96	12.89	0.757	-0.279	
	built-up area	41.37	3.71	14	1.88	0.506	-0.681	

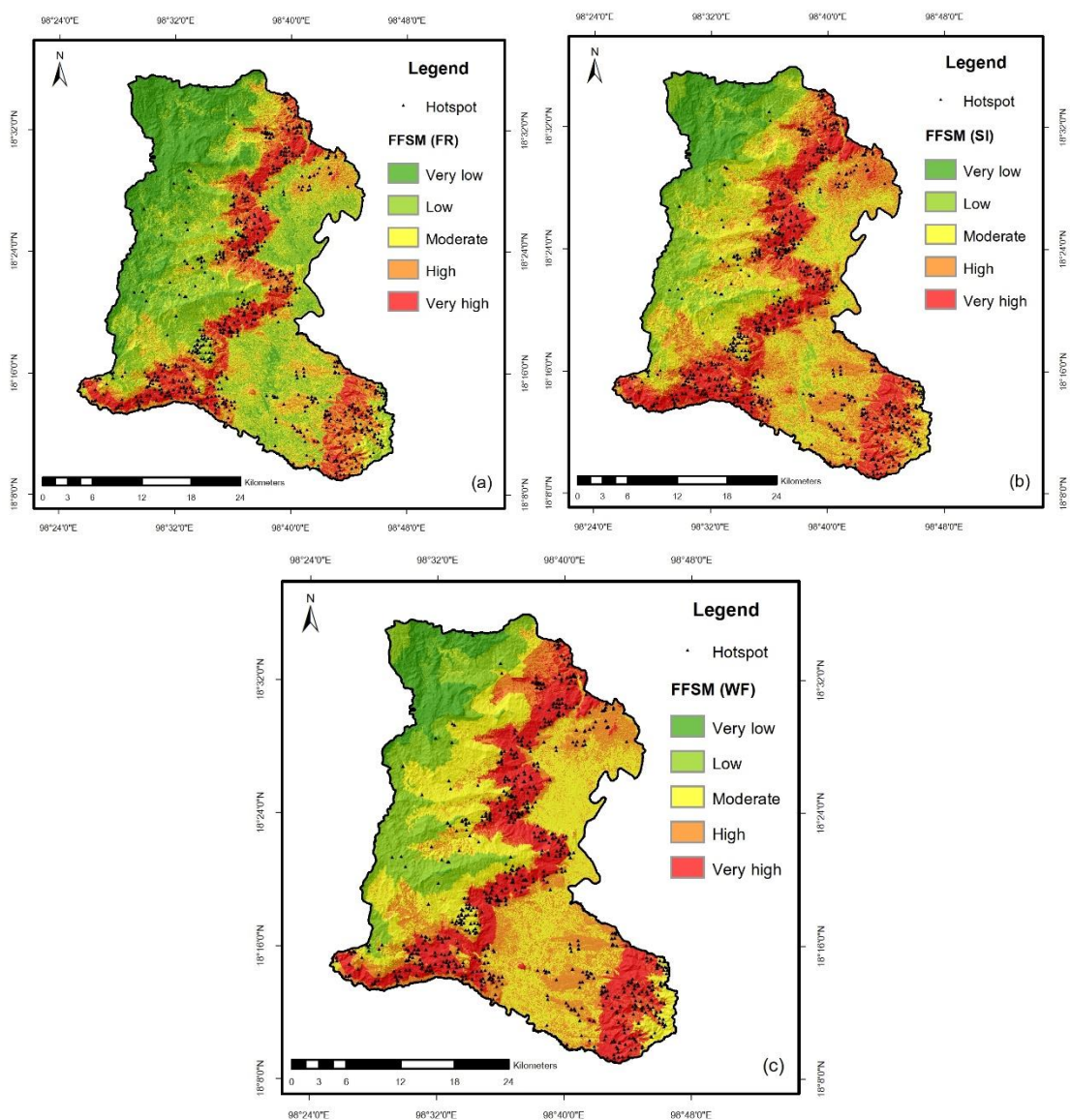


Figure 5 Forest fire susceptibility map (FFSM): (a) frequency ratio (b) statistical index and (c) weighting factor

3.4 พื้นที่ที่อ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่าในอำเภอจอมทอง

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าระดับคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักจากทั้ง 3 วิธีการและทำการซ้อนทับข้อมูลทั้ง 8 ปัจจัยและทำการจำแนกพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่า 5 ระดับ ด้วยวิธีการ

Natural Breaks (Figure 5) พบว่า วิธีการอัตราส่วนความถี่ (FR) ให้ผลลัพธ์พื้นที่อ่อนไหวสูงมากคิดเป็นพื้นที่ 143.23 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 12.88 ของพื้นที่ทั้งหมด (Table 2) ส่วนวิธีการดัชนีทางสถิติ (SI) มีผลลัพธ์พื้นที่อ่อนไหวสูงมากเป็นพื้นที่ 226.80 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 20.39 และผลจากวิธีถ่วงน้ำหนักปัจจัย (WF) มีพื้นที่

อ่อนไหวสูงมากเป็นพื้นที่ 237.36 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 21.34 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งจากผลการคำนวณจะเห็นว่า วิธี SI และ WF ให้ผลลัพธ์ค่อนข้างใกล้เคียงกัน และพบว่าผลจากวิธี WF พื้นที่ศึกษาประมาณร้อยละ 44 จัดอยู่ในพื้นที่อ่อนไหวสูงและอ่อนไหวสูงมากต่อการเกิดไฟป่า โดยพื้นที่ที่อ่อนไหวสูงมากอยู่บริเวณขอบรอยต่อ

ของพื้นที่ป่าไม้ที่กับพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชน ซึ่งมีความเสี่ยงจากการขยายพื้นที่เพาะปลูกรวมทั้งการล่าสัตว์และการหาของป่า จึงควรมีการติดตามสถานการณ์ไฟป่าอย่างต่อเนื่อง และควรมีมาตรการในการเฝ้าระวังและป้องกันโดยอาศัยข้อมูลเชิงพื้นที่ประกอบการตัดสินใจในการจัดการโดยมีชุมชนมีส่วนร่วมในการเฝ้าระวังและติดตามอย่างต่อเนื่อง

Table 2 Forest fire susceptibility classes from FR, SI and WF methods

Susceptibility Classes	FR		SI		WF	
	area (sq.km.)	area (percent)	area (sq.km.)	area (percent)	area (sq.km.)	area (percent)
very low	230.20	20.70	84.71	7.62	73.29	6.59
low	312.32	28.08	176.44	15.86	168.34	15.14
moderate	235.36	21.16	320.45	28.81	378.28	34.01
high	191.07	17.18	303.79	27.31	254.91	22.92
very high	143.23	12.88	226.80	20.39	237.36	21.34
total	1,112.18	100.00	1,112.18	100.00	1,112.18	100.00

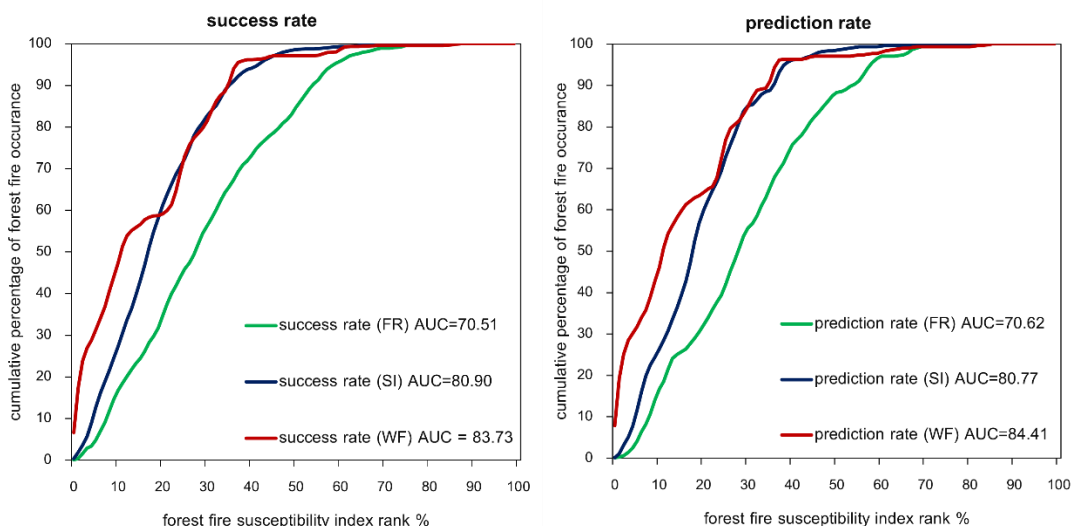


Figure 6: Success rates (left) and prediction rates (right) of FR, SI and WF methods

3.5 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการวิเคราะห์

การศึกษครั้งนี้ ใช้วิธีการหาพื้นที่ใต้เส้นโค้ง (Area Under the Curve: AUC) ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ ได้จากกระบวนการซ้อนทับข้อมูลผลลัพธ์พื้นที่อ่อนไหว ทั้ง 3 วิธีการเทียบกับเกิดจุดความร้อนซึ่งจำแนกเป็นข้อมูลเรียนรู้ (Training Data) ร้อยละ 70 เพื่อคำนวณหาอัตราความสำเร็จ (Success Rate) ส่วนข้อมูลทดสอบ (Testing Data) อีกร้อยละ 30 ใช้เพื่อคำนวณอัตราการคาดการณ์ (Prediction Rate) ทั้งนี้ ค่า AUC สูงสุดอยู่ที่ 1 หรือคิดเป็นร้อยละ 100 ดังนั้น หากผลการคำนวณค่า AUC มีค่าสูงกว่าจะแสดงถึงวิธีการนั้นมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์สูงกว่า หรือกล่าวได้ว่า ผลการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กับข้อมูลเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีตมากกว่า (Khosravi et al., 2016)

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการวิเคราะห์จาก 3 วิธีการ ได้แก่ วิธีอัตราส่วนความถี่ (FR) วิธีดัชนีทางสถิติ (SI) และวิธีถ่วงน้ำหนักปัจจัย (WF) พบว่า วิธี WF ให้ผลลัพธ์ค่าอัตราความสำเร็จและอัตราการคาดการณ์สูงสุดที่ ร้อยละ 83.73 และร้อยละ 84.41 ตามลำดับ (Figure 6) ในขณะที่วิธีการ SI มีค่าอัตราความสำเร็จ และอัตราการคาดการณ์เป็นร้อยละ 80.90 และ 80.77 และวิธี FR มีค่าอัตราความสำเร็จและอัตราการคาดการณ์เป็นร้อยละ 70.51 และ 70.62 สอดคล้องกับการศึกษาของ Dorji and Ongsomwang (2017) ที่พบว่าวิธีการ FR มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าวิธีถดถอยโลจิสติกส์ รวมทั้งผลของ Pradeep et al. (2022) ที่พบว่าวิธี FR มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าวิธี AHP ดังนั้นแม้ว่าวิธีการอัตราส่วนความถี่จะมีขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ไม่ซับซ้อน แต่หากจะนำไปใช้ในการ

วิเคราะห์ในบริบทพื้นที่อื่นควรมีการเปรียบเทียบกับวิธีการที่แตกต่างกัน และเลือกใช้วิธีที่มีผลลัพธ์ประสิทธิภาพที่สูงกว่า จากที่กล่าวมาสามารถกล่าวได้ว่า วิธีการถ่วงน้ำหนักปัจจัย (WF) เป็นวิธีที่เหมาะสมและประสิทธิภาพสูงที่สุดในการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่าในอำเภอมองทอง จังหวัดเชียงใหม่ และเมื่อจำแนกระดับประสิทธิภาพตามพบว่า ผลลัพธ์จากวิธีการ FR มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ส่วนวิธีการ SI และ WF อยู่ในระดับดีมาก (Pourghasemi et al., 2013)

4. สรุป

การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่าโดยใช้วิธีอัตราส่วนความถี่ วิธีดัชนีทางสถิติ และวิธีถ่วงน้ำหนักปัจจัย ทำการศึกษาในพื้นที่อำเภอมองทอง จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่าและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้ง 3 วิธีการ ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลจุดความร้อนจำนวน 1,051 จุด จำแนกเป็นข้อมูลตัวอย่างในการเรียนรู้ 745 จุด (Training Data) คิดเป็นร้อยละ 70 และจุดความร้อน 306 จุดใช้เป็นข้อมูลทดสอบ (Testing Data) คิดเป็นร้อยละ 30 ของข้อมูลทั้งหมด ปัจจัยในการวิเคราะห์ประกอบด้วย ความสูงภูมิประเทศ ความลาดชัน ทิศทางด้านลาด ดัชนีความชื้นภูมิประเทศ ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ ปริมาณน้ำฝน ความหนาแน่นทางน้ำ และการใช้ที่ดิน ผลการศึกษาพบว่า สภาพพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่าสูงในอำเภอมองทอง ได้แก่ พื้นที่ระดับความสูง 400-800 เมตร พื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 15 องศา พื้นที่ที่มีทิศทางด้านลาดหันไปทางทิศใต้ ทิศตะวันตก และตะวันตกเฉียงใต้ พื้นที่ที่มีดัชนีความชื้นภูมิประเทศต่ำกว่า 5 พื้นที่ที่มีดัชนี NDVI อยู่ในช่วง 0.3-0.5

พื้นที่ที่ปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 1,200 มิลลิเมตร พื้นที่ความหนาแน่นทางน้ำอยู่ในช่วง 0.5-0.8 กิโลเมตรต่อตารางกิโลเมตร และพื้นที่การใช้ที่ดินประเภทป่าผลัดใบ

ผลการศึกษาจากวิธีการถ่วงน้ำหนักปัจจัย (WF) ยังพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดไฟป่าในอำเภอจอมทอง เรียงลำดับจากมากที่สุดไปหาน้อยที่สุด ได้แก่ ความสูงภูมิประเทศ ปริมาณน้ำฝน การใช้ที่ดิน ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ ความลาดชัน ความหนาแน่นทางน้ำ ทิศทางด้านลาด และดัชนีความชื้นภูมิประเทศ เมื่อทำการซ้อนทับในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ พบว่า วิธีการอัตราส่วนความถี่ให้ผลลัพธ์พื้นที่อ่อนไหวระดับมากที่สุดเป็นพื้นที่ 143.23 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 12.88 ส่วนวิธีดัชนีทางสถิติมีพื้นที่อ่อนไหวสูงมาก 226.80 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 20.39 ในขณะที่วิธีถ่วงน้ำหนักปัจจัยให้ผลลัพธ์พื้นที่อ่อนไหวสูงมาก 237.36 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 21.34 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยการหาพื้นที่ใต้เส้นโค้ง (AUC) พบว่า วิธีถ่วงน้ำหนักปัจจัย (WF) มีค่าอัตราความสำเร็จ และค่าอัตราการคาดการณ์ที่สูงที่สุด ที่ร้อยละ 83.73 และ 84.41 ตามลำดับ ส่วนวิธีการดัชนีทางสถิติ (SI) มีค่าอัตราความสำเร็จและอัตราการคาดการณ์ ที่ร้อยละ 80.90 และ 80.77 และวิธีการอัตราส่วนความถี่ (FR) อยู่ที่ร้อยละ 70.51 และ 70.62 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า วิธีการถ่วงน้ำหนักปัจจัย (WF) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเกิดไฟป่าในอำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ และมีผลลัพธ์จัดอยู่ในระดับดีมาก ทั้งนี้ การศึกษาในอนาคตสามารถประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยใช้ทั้ง 3 วิธีการนี้ได้ นอกจากนี้ ยังสามารถสามารถประยุกต์และเปรียบเทียบวิธีการอื่น ๆ เช่น วิธีลำดับชั้นเชิง

วิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) วิธีถดถอยโลจิสติกส์ (Logistic Regression: LR) และเทคนิคการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning: ML) เป็นต้น นอกจากนี้ ยังสามารถทดลองโดยการแบ่งข้อมูลเรียนรู้และข้อมูลทดสอบในสัดส่วนอื่น ๆ เช่น 50-50, 60-40, 80-20 เป็นต้น การพัฒนาวิธีการศึกษา รวมทั้งการทดสอบประสิทธิภาพของผลลัพธ์จะช่วยให้ได้ข้อมูลสารสนเทศเชิงพื้นที่ที่มีความถูกต้องน่าเชื่อถือ นำไปใช้ในการประกอบการวางแผนการป้องกัน และการจัดการกับสถานการณ์ไฟป่าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนการทำวิจัย ขอขอบคุณหลักสูตรสาขาวิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศสำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความทุกท่าน ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะที่มีคุณค่ายิ่งในการพัฒนาบทความวิจัยนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

6. References

- Dorji, S. and Ongsomwang, S., 2017, Wildfire Susceptibility Mapping in Bhutan Using Geoinformatics Technology, Suranaree J. Sci. Technol. 24(2): 213-237.
- Forest Fire Control Office, 2021, Forest Fire Statistics, Available Source: <http://portal.dnp.go.th/Content/firednp?contentId=15705>, Dec 20, 2021. (in Thai)
- GISTDA, 2020, Forest Fires and Smog Situation Summary Report from Satellite Data 2020. Report, Geo- Informatics and Space

- Technology Development Agency (Public Organization), Bangkok, 6 p. (in Thai)
- Khampeera, A. , Yongsatisak, T. , Yongchalermchai, P. P. and Koedkurung, K. , 2021, Analysis of Fire Risk Areas During Drought in Kuan Kreng Peat Swamp, Nakhon Si Thammarat Province using a GIS-AHP Method, TJST. 10(2): 234-250. doi: 10.14456/tjst.2021.19 (in Thai)
- Khosravi, K., Pourghasemi, H.R., Chapi, K. and Bahri, M. , 2016, Flash Flood Susceptibility Analysis and Its Mapping Using Different Bivariate Models in Iran: A Comparison Between Shannon's Entropy, Statistical Index, and Weighting Factor Models, Environ. Monit. Assess. 188: 656. doi: 10.1007/s10661-016-5665-9
- Pourghasemi, H. R. , Moradi H. R. and Fatemi Aghda, S. M., 2013, Landslide Susceptibility Mapping by Binary Logistic Regression, Analytical Hierarchy Process, and Statistical Index Models and Assessment of Their Performances, Nat Hazards: 69:749-779. doi: 10.1007/s11069-013-0728-5
- Pradeep, G. S. , Danumah, J. H. , Nikhil, S. , Prasad Megha, K. , Patel, N. , Mammen Pratheesh, C. , ... Kuriakose Sekhar, L. , 2022, Forest Fire Risk Zone Mapping of Eravikulam National Park in India: A Comparison Between Frequency Ratio and Analytic Hierarchy Process Methods, Croat. J. For. Eng. 43(1): 199-217. doi: 10.5552/crojfe.2022.1137
- Sangnoppakun, N., Thongouam, R. and Jeefoo, P. , 2021, Assessment of Wildfire Risk Zonation using Analytical Hierarchical Process in Phayao Province, JSID. 2(2): 52-64. (in Thai)
- Suppawimut, W. , 2021, Flood Susceptibility Analysis Using Geographic Information System, Frequency Ratio and Relative Frequency Ratio Methods in San Pa Tong District, Chiang Mai, Thailand, The Journal of Applied Science. 20(2) : 134- 156. doi: 10.14416/j. appsci. 2021. 02. 011 (in Thai)
- Suppawimut, W. , 2021, GIS-based Flood Susceptibility Mapping Using Statistical Index and Weighting Factor Models, Environ. Nat. Resour. J. 19(6): 481-493. doi: 10.32526/ennrj/19/2021003
- van Westen, C. , 1997, Statistical Landslide Hazard Analysis, ILWIS 2.1 for Windows Application Guide, ITC Publication, Enschede.
- Yalcin, A. , Reis, S. , Aydinoglu, A. C. and Yomralioglu, T. , 2011, A GIS- Based Comparative Study of Frequency Ratio, Analytical Hierarchy Process, Bivariate Statistics and Logistics Regression Methods for Landslide Susceptibility Mapping in Trabzon, NE Turkey, CATENA 85(3) : 274– 287. doi: 10.1016/j.catena.2011.01.014