

**การกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการบุกรุกป่าและการวิเคราะห์ความอ่อนไหว:
กรณีศึกษาป่าสงวนแห่งชาติในจังหวัดพะเยา**
**Forest Encroachment Risk Area Determination and Sensitivity Analysis:
A Case Study of National Park in Phayao Province**

วิภพ แพงวังทอง^{1*} และ จันธิมา สรณารายณ์²

Wipop Paengwangthong^{1*} and Janthima Sorannarai²

¹อาจารย์ และ ²นิสิต หลักสูตรภูมิสารสนเทศศาสตร์ และหน่วยวิจัยเพื่อการพัฒนาวัตกรรมการแข่งขันพื้นที่
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

*Corresponding author: wipop_p@hotmail.com

Received: March 18, 2021

Revised: April 2, 2021

Accepted: April 5, 2021

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือ 1) เพื่อสร้างแผนที่เกณฑ์ด้านกายภาพและกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการบุกรุกป่าโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และ 2) เพื่อวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการลำดับความเสี่ยงของพื้นที่ต่อการบุกรุกป่าภายหลังการสร้างแผนที่เกณฑ์ คำนวณน้ำหนักของเกณฑ์ที่กำหนดด้วยบุคคล 2 กลุ่ม (เจ้าหน้าที่ป่าไม้และชาวบ้านที่อยู่โดยรอบพื้นที่ป่าไม้) แผนที่เกณฑ์ทั้ง 5 ถูกซ้อนทับกันเพื่อการคำนวณคะแนนความเสี่ยง ได้แก่ ถนน หมู่บ้าน แหล่งน้ำ ความสูง และความลาดชัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามีความเสี่ยง 3 ระดับ นั่นคือ มาก ปานกลาง และน้อย ซึ่งคิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 15.82 32.78 และ 51.40 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าข้อมูลความสูงมีผลกระทบมากที่สุดต่อการจัดลำดับความเสี่ยงด้วย

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ความอ่อนไหว / การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ / พื้นที่เสี่ยงต่อการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้

Abstract

The objectives of this study were 1) to generate the physical criterion map and determinate forest encroachment risk area using geographic information system and, 2) to analyze sensitivity to ranking risk areas of forest encroachment. After criterion map generation, weights of criteria were determined by two groups (forest officer and local people living around the forest boundary). 5 criterion maps were overlaid for risk score calculation e.g., road, village, water body, elevation and slope. The result showed that there were three risk levels i.e., high, moderate and low. Their areas further summed up to 15.82, 32.78 and 51.40 percent of total, respectively. The result showed also that the elevation data value has more effect on the risk ranking.

Keywords: Sensitivity Analyses / Multicriteria Decision Making / Forest Encroachment Risk Area

บทนำ

ป่าไม้เป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญมากต่อประเทศ เนื่องจากเป็นทรัพยากรที่สร้างขึ้นได้ยากและใช้เวลานาน ป่าไม้มีคุณค่าทั้งในทางเศรษฐกิจและนิเวศวิทยา (กรมป่าไม้, 2559 และ ทิพย์กมล สนลับ และคณะ, 2561) มีคุณค่าต่อความเป็นอยู่ของผู้คนจำนวนมาก ทั้งยังทำหน้าที่ช่วยลดมลพิษทางอากาศ เป็นต้น ขณะที่การทำลายป่าเป็นไปได้ง่ายและรวดเร็ว ซึ่งการทำลายป่านั้นก่อให้เกิดความไม่สมดุลตามธรรมชาติ และก่อให้เกิดผลเสียหายติดตามมามากมาย เช่น อุทกภัย วาตภัย ฝนแล้ง ภาวะโลกร้อน ภาวะขาดแคลนเพื่อพาณิชยกรรมและอุตสาหกรรม เป็นต้น

(ธนวัฒน์ ประไพ, 2551) ปัญหาเหล่านี้จึงเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจตลอดมาจากภาครัฐ รายงานของกรมป่าไม้ (ธงชัย จารุพัฒน์, 2541) พบว่าในปี พ.ศ.2504 พื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยมีประมาณ 171 ล้านไร่ และมีปริมาณลดลงจนถึงเมื่อปี พ.ศ.2556 เหลือเพียง 102.1 ล้านไร่ (ขวัญชัย ดวงสถาพร และคณะ, 2557) สาเหตุของการบุกรุกมาจากปัจจัยหลายประการ อาทิเช่น การบุกรุกเพื่อการเกษตร การจับจองของนายทุน การขยายตัวของประชากรและเศรษฐกิจ เป็นต้น (ถิ่น พิสุทธิ, 2545) การลดลงของป่าส่งผลให้รัฐบาลเล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหานี้ และควรดำเนินการให้บรรลุผลสำเร็จต่อไป

จังหวัดพะเยาเป็นจังหวัดหนึ่งของประเทศไทยที่มีความอุดมสมบูรณ์ของป่า เนื่องจากมีลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปล้อมรอบไปด้วยเทือกเขา ทั้งด้านตะวันออก ด้านตะวันตก ด้านใต้ และตอนกลางของจังหวัด ทำให้มีพื้นที่ป่าอยู่โดยรอบ แต่ปัจจุบันกลับพบว่าพื้นที่เหล่านี้ได้ถูกรุกทำลายพื้นที่ของป่ากันอย่างกว้างขวาง จนทำให้ในปี พ.ศ.2557 จังหวัดพะเยามีสถานการณ์คดีบุกรุกอยู่ในช่วงวิกฤติ ที่มากกว่า 1,001 ไร่ ซึ่งจังหวัดพะเยามีคดีการบุกรุกมากถึง 2,044 ไร่ (กรมป่าไม้, 2559) การบุกรุกพื้นที่ป่านับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญของจังหวัดพะเยา (ธีรภาพ พัฒนใหญ่ยิ่ง และคณะ, 2557) และจากนโยบายของภาครัฐในการอนุรักษ์พิทักษ์และหวงคืนผืนป่า ความรู้และข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวางแผนป้องกันการบุกรุกจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมากขึ้นด้วย

ในปัจจุบัน เครื่องมือและสารสนเทศที่นิยมใช้เพื่อสนับสนุนการวางแผนในมิติเชิงพื้นที่หรือด้านแผนที่ คือเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ที่ประกอบด้วย 3 เทคโนโลยี ได้แก่ ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกด้วยดาวเทียม การรับรู้จากระยะไกล และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งสามารถทำงานร่วมกันได้ สำหรับ 2 เทคโนโลยีแรกนั้นนับว่าเป็นแหล่งที่มาของข้อมูลเชิงพื้นที่เกี่ยวกับสถานภาพ/คุณลักษณะต่างๆของพื้นที่ ตัวอย่างเช่น ตำแหน่งที่ป่าถูกบุกรุก สภาพการใช้ที่ดิน ความหนาแน่นของพืชพรรณ รวมไปถึงจุดความร้อนที่สามารถคาดการณ์ไปเป็นจุดเกิดไฟป่าได้ อย่างไรก็ตาม สำหรับตัวกลางหรือแกนกลางในการจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้นนับว่าเป็นเทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการประสานหรือผสมผสาน (เขาวเรศ จันทะคัต และคณะ, 2663) รวบรวมจัดเก็บข้อมูลจากทั้ง 2 เทคโนโลยีแรกเข้ามาจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบฐานข้อมูล นอกจากนี้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ยังสามารถวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อีกด้วย (วิษณุ เรืองทอง และคณะ, 2563 และ พงศ์พล ปลอดภัย และคณะ, 2563) การทบทวนวรรณกรรมกรณพบอีกว่า ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้นเป็นที่นิยมและเป็นเทคโนโลยีหลักในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ รวมถึงการบุกรุกป่าด้วย นับว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์และสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่ รวมถึงพื้นที่ป่าและการบุกรุกป่าด้วย

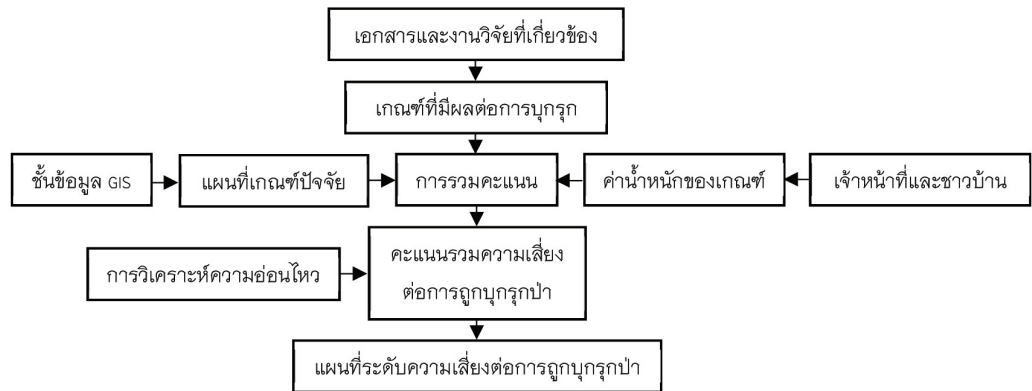
การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการบุกรุกพื้นที่ป่า ซึ่งสามารถใช้เป็นแผนที่แสดงถึงแนวทางการบริหารจัดการรวมถึงการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่พิทักษ์ป่าได้ดียิ่งขึ้น (นรินทร์ จักคุ้ม, 2547 และ อาภาภรณ์ ทองเสงี่ยม และคณะ, 2561) อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า การกำหนดพื้นที่เสี่ยงส่วนใหญ่กำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้นเพื่อให้ผลการศึกษานี้สามารถเข้ากับสภาพปัญหาของพื้นที่ศึกษามากยิ่งขึ้น การศึกษานี้จึงนำเสนอวิธีการกำหนดค่าน้ำหนักของเกณฑ์ที่ได้รับมาจากเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานและชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีการบุกรุกและอยู่โดยรอบป่าด้วย

ภายหลังการกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการถูกบุกรุกป่าโดยใช้แบบจำลองเพื่อการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ที่สร้างขึ้น ภายใต้สถานการณ์การตัดสินใจบนพื้นฐานของข้อมูลจากแผนที่เกณฑ์ สิ่งหนึ่งที่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม คือความแปรปรวนของการตัดสินใจที่อาจจะเกิดขึ้นด้วย ดังนั้นเพื่อความเข้าใจในอิทธิพลของแผนที่เกณฑ์ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจกำหนดความเสี่ยงดังกล่าว และเพื่อในอนาคต กระบวนการสร้างแผนที่เกณฑ์เหล่านั้นจะได้มีความระมัดระวังในเรื่องความถูกต้องของการได้มาของเกณฑ์ (พารามิเตอร์) นั้นมากยิ่งขึ้นด้วย (Majandang, 2011 and Paengwangthong, 2012) ดังนั้นการศึกษานี้จึงผนวกการวิเคราะห์ความอ่อนไหวในการศึกษานี้ด้วย ซึ่งจะมี

ประโยชน์และเป็นแบบอย่างสำหรับการศึกษาครั้งถัดไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ประเด็นค่าข้อมูลจากแผนที่เกณฑ์ต่างๆที่จะมีผลกับการกำหนดระดับความเสี่ยงของพื้นที่

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้มีกรอบแนวคิดที่มุ่งเน้นประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการสร้างแผนที่เกณฑ์เป็นตัวแทนของปัจจัยเชิงพื้นที่ที่มีผลต่อการบุกรุกป่า หลังจากนั้นเพื่อให้ได้ค่าคะแนนรวมความเสี่ยงที่แตกต่างกันในแต่ละหน่วยพื้นที่จตุรัส (พิกเซล) ขนาด 30x30 เมตร ค่าคะแนนความเสี่ยงในแต่ละพิกเซลซึ่งได้รับจากแผนที่เกณฑ์จะถูกนำมาซ้อนทับกันเพื่อคำนวณค่าคะแนนรวมความเสี่ยงประจำพิกเซลอย่างมีการถ่วงน้ำหนัก อย่างไรก็ตาม ก่อนที่จะแบ่งช่วงคะแนนรวมความเสี่ยงในแต่ละพิกเซลออกเป็น 3 ระดับ (มาก ปานกลาง และน้อย) การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของค่าคะแนนรวมดังกล่าวด้วยโดยใช้วิธีการดึงพารามิเตอร์ (Parameter removal) หรือแผนที่เกณฑ์ออกครั้งละหนึ่งเกณฑ์ต่อการรวมค่าคะแนนหนึ่งครั้ง ซึ่งพิจารณาอยู่บนหลักการที่ว่า “แผนที่เกณฑ์ใดมีอิทธิพลต่อคะแนนความเสี่ยงมาก แผนที่เกณฑ์นั้นจะทำให้เกิดความอ่อนไหวหรือความแปรปรวนของค่าคะแนนรวมความเสี่ยงได้มากเช่นกัน” รายละเอียดของกรอบแนวคิดดังรูปที่ 1 ส่วนขั้นตอนวิธีการศึกษามีดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. การคัดเลือกและกำหนดค่าน้ำหนักของเกณฑ์ที่มีผลต่อการบุกรุกป่า

การวิจัยครั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูลจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อคัดเลือกและจัดเตรียมชั้นข้อมูลแผนที่เกณฑ์ที่ผู้ศึกษาเห็นว่ามีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงต่อการบุกรุกป่า โดยรวบรวมเกณฑ์ที่เคยถูกใช้ในการศึกษาก่อนหน้าซึ่งเกณฑ์ที่ถูกคัดเลือกมานั้นพิจารณาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ป่าไม้ในพื้นที่ศึกษาด้วย

ค่าน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ถูกรวบรวมและคำนวณจากข้อมูลที่ได้รับการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ป่าไม้ 8 คน และชาวบ้านที่อยู่โดยรอบป่า 51 คน ในเรื่อง “ค่าน้ำหนักของเกณฑ์ประเมิน” โดยอาศัยการสุ่มแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) ให้ได้กลุ่มตัวอย่างมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาภาคสนามระยะเวลา 9 วัน (สำรวจภาคสนามวันละ 1 อำเภอของจังหวัดพะเยา) และการสอบถามเชิงเปรียบเทียบทีละคู่ (Pairwise comparison) ตัวอย่างของแบบสอบถามที่ใช้เป็นเครื่องมือสำรวจความคิดเห็นมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 โดยผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ ค่าตัวเลขที่แสดงถึงน้ำหนักของเกณฑ์ที่มีผลต่อความเสี่ยง อย่างไรก็ตามแล้วค่าน้ำหนักเหล่านั้นจะถูกปรับค่าให้อยู่ในช่วงเดียวกัน (Normalization) มีพิสัยอยู่ระหว่าง 0.00 – 1.00 ขั้นตอนนี้มีดังนี้

1.1 คำนวณค่าอันดับ (Rank) ของเกณฑ์ประเมินจากคนทั้ง 2 กลุ่ม (เจ้าหน้าที่ป่าไม้และชาวบ้าน) โดยมีกระบวนการขั้นตอนแรก แจกแจงข้อมูลที่ได้รับจากการสำรวจความคิดเห็นลงในตารางที่ 2 จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าค่าตัวเลขที่มีเครื่องหมายดอกจันนั้น หมายถึง ชาวบ้าน 16 คน คิดเห็นว่า ถนน (RD) มีความสำคัญมากกว่า ชุมชน (VL)

1.2 คำนวณค่าน้ำหนัก (Weight) ของเกณฑ์ประเมินจากจำนวนคน โดยมีขั้นตอน คือ นำค่าอันดับที่ได้จากหัวข้อ 1.1 มาหารด้วยค่าพิสัย (Range) ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$\text{Range} = nk - k \quad \text{สมการ (1)}$$

โดยที่ n คือ จำนวนเกณฑ์ และ k คือ จำนวนคน (Malczewski, 1999) จากนั้นนำผลลัพธ์ดังกล่าวมาแปลงเป็นค่าน้ำหนัก (Normalization) ดังตัวอย่าง (ตารางที่ 3) จากขั้นตอนดังกล่าว ค่าน้ำหนักของเกณฑ์ประเมินมี 2 ชุด จาก 2 กลุ่มคน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นค่าน้ำหนักของแผนที่เกณฑ์

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการตอบแบบสอบถามในเรื่องค่าน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์กำหนดความเสี่ยง

คู่ที่	ปัจจัยแรก	ปัจจัยหลัง	ปัจจัยแรกสำคัญกว่า	เท่ากัน	ปัจจัยหลังสำคัญกว่า
			ปัจจัยหลัง		ปัจจัยแรก
1	ถนน	ชุมชน	(๒)	ใช่	ใช่

หมายเหตุ ข้อมูลของตัวอย่างนี้ แสดงว่าผู้เชี่ยวชาญคนนั้นคิดว่า “ปัจจัยด้าน ถนน มีความสำคัญต่อการกำหนดพื้นที่เสี่ยง มากกว่าปัจจัยด้าน ชุมชน”

ตารางที่ 2 การแจกแจงข้อมูลที่ได้จากการสำรวจความคิดเห็นของชาวบ้าน 51 คน

เกณฑ์	RD	VL	WT	EV	SL
RD	-	16*	17	15	15
VL	17	-	15	19	18
WT	15	18	-	7	12
EV	20	23	32	-	15
SL	22	16	23	16	-
RANK	74	73	87	57	60

หมายเหตุ: RD คือ ถนน, VL คือ ชุมชน, WT คือ แหล่งน้ำ, EV คือ ความสูง, และ SL คือ ความชัน

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณค่าน้ำหนักของเกณฑ์ประเมิน กรณีความคิดเห็นจากชาวบ้าน 51 คน

เกณฑ์	RANK	RANK/RANGE	ค่าน้ำหนัก (W)
RD	74	0.36	0.21
VL	73	0.36	0.21
WT	87	0.43	0.25
EV	57	0.28	0.16
SL	60	0.29	0.17
		1.72	1.00

หมายเหตุ range = nk-k [n = จำนวนเกณฑ์, k = จำนวนคน]

2. การสร้างแผนที่เกณฑ์และรวมคะแนนความเสี่ยงต่อการถูกบุกรุกป่า

การรวบรวมและสร้างแผนที่เกณฑ์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อเป็นตัวแทนของทั้ง 5 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสี่ยงต่อการถูกบุกรุกป่า มีขั้นตอนดังภาพที่ 2 โดยที่แผนที่เกณฑ์จะอยู่ในรูปแบบชั้นข้อมูลกริดของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ การสร้างแผนที่เกณฑ์มีรายละเอียดดังนี้

2.1 แผนที่เกณฑ์ที่ 1 ถึง 3 ถูกสร้างขึ้นด้วยการนำข้อมูลเส้นถนน ตำแหน่งหมู่บ้าน และแหล่งน้ำมาเป็นข้อมูลตั้งต้นในการคำนวณระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่สนใจดังกล่าวเหล่านั้นกับทุกพิกเซลที่อยู่ในพื้นที่ศึกษา โดยใช้คำสั่ง Euclidean Distance ในโปรแกรม ArcGIS หลังจากนั้นทำการจัดชั้นข้อมูลใหม่ (Reclassify) ตามเงื่อนไขตารางที่ 4

2.2 แผนที่เกณฑ์ที่ 4 ถูกสร้างขึ้นด้วยการนำข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) ที่มีพิกเซลขนาด 30x30 เมตร จากนั้นทำการจัดชั้นข้อมูลใหม่ ตามเงื่อนไขในตารางที่ 4 เช่นเดียวกับข้อ 2.1

2.3 แผนที่เกณฑ์ที่ 5 ถูกสร้างขึ้นด้วยการนำข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขมาคำนวณความลาดชันของแต่ละพิกเซล โดยใช้คำสั่ง Slope ในชุดคำสั่ง Spatial Analyst Tools ของโปรแกรม ArcGIS จากนั้นทำการจัดชั้นข้อมูลใหม่ ตามเงื่อนไขในตารางที่ 4 เช่นเดียวกับข้อ 2.1

การรวมค่าคะแนนความเสี่ยงต่อการถูกบุกรุกป่า อาศัยวิธีการซ้อนทับกันของแผนที่เกณฑ์ทั้งหมดซึ่งอยู่ในรูปแบบราสเตอร์ และสมการสำหรับการรวมคะแนนความเสี่ยงในแต่ละพิกเซลมีสูตรดังนี้ (Malczewski, 1999)

$$\text{Sum} = W_1X_1 + W_2X_2 + W_3X_3 + \dots + W_nX_n \quad \text{สมการ (2)}$$

โดยที่ Sum คือ ค่าคะแนนรวมความเสี่ยงต่อการถูกบุกรุกป่าของแต่ละพิกเซล W_n คือ ค่าน้ำหนักของแต่ละแผนที่เกณฑ์ (ได้จากการสัมภาษณ์ในข้อ 1) และ X_n คือ ค่าคะแนนของแต่ละแผนที่เกณฑ์ (ได้จากการรวบรวมในข้อ 2)

แผนที่ระดับความเสี่ยงต่อการถูกบุกรุกป่าถูกสร้างโดยนำค่าคะแนนรวม (Sum) ในแต่ละพิกเซล มาแบ่งช่วงข้อมูลแบบคะแนนเท่ากันทุกช่วงชั้น (Equal Interval) ออกเป็น 3 ระดับ คือ ความเสี่ยงมาก ปานกลาง และน้อย ตามลำดับคะแนนมากไปหาน้อย

ตารางที่ 4 ค่าคะแนนของแผนที่เกณฑ์ประเมินความเสี่ยงต่อการถูกบุกรุกป่า

แผนที่เกณฑ์	คุณลักษณะข้อมูล	ค่าคะแนน	แผนที่เกณฑ์	คุณลักษณะข้อมูล	ค่าคะแนน
1. ระยะห่างจากถนน (RD)	< 500 เมตร	8	4. ความสูง (EV)	< 800 เมตร	8
	501-1000 เมตร	6		801-1100 เมตร	6
	1001-1500 เมตร	4		1101-1400 เมตร	4
	> 1500 เมตร	2		> 1400 เมตร	2
2. ระยะห่างจากชุมชน (VL)	< 800 เมตร	8	5. ความชัน (SL)	< 10%	8
	801-1300 เมตร	6		11-20%	6
	1301-1800 เมตร	4		21-35%	4
	> 1800 เมตร	2		>35%	2
3. ระยะห่างจากแหล่งน้ำ (WT)	< 100 เมตร	8	ที่มา: การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องก่อนหน้า		
	101-350 เมตร	6			
	351-700 เมตร	4			
	> 700 เมตร	2			

3. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการกำหนดความเสี่ยงต่อการบุกรุกป่า

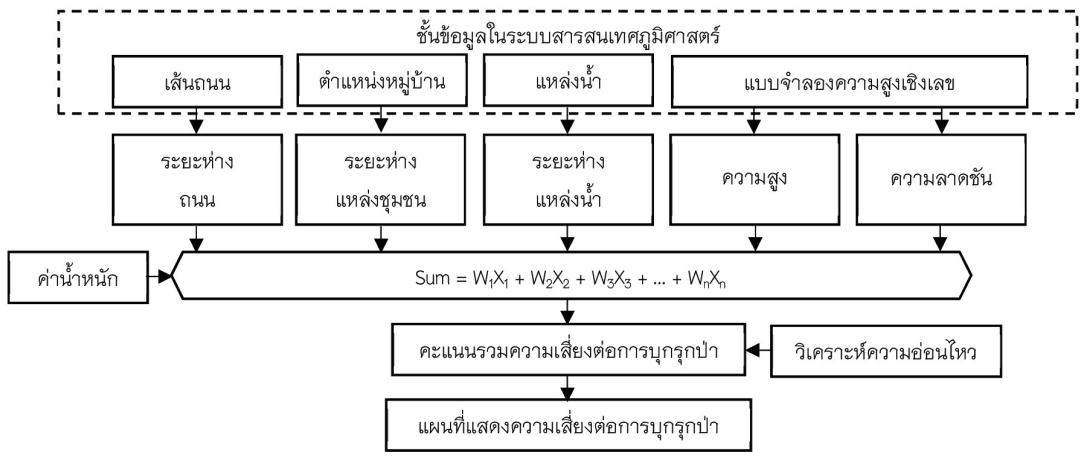
การดึงพารามิเตอร์หรือถอนแผนที่เกณฑ์ออก (Parameter/Map Removal) คือ การถอนหรือดึงแผนที่เกณฑ์ออกไปหนึ่งเกณฑ์ จากการซ้อนทับแล้วรวมค่าคะแนนความเสี่ยงประจำแต่ละพิภพเซลล์ โดยจะทำการสลับกันจนครบทุกเกณฑ์

การเปลี่ยนแปลงของค่าคะแนนรวมความเสี่ยงประจำพิภพเซลล์ในพื้นที่ศึกษาทั้งหมดเมื่อมีการถอนแผนที่เกณฑ์ใดๆออกไปนั้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าคะแนนรวมความเสี่ยงเดิม(ที่ไม่มีการดึงออก) ซึ่งสมการสำหรับคำนวณดัชนีความแปรปรวนมีสูตรดังนี้ (Mojandang, 2011 and Poengwangthong, 2012)

$$S = \left[\frac{V - \frac{V^2}{N}}{V} \right] \times 100 \tag{3}$$

โดยที่ S คือ ค่าดัชนีความแปรปรวน, V คือ ค่าคะแนนรวมที่ไม่ถูกรบกวนหรือไม่มีการดึงแผนที่เกณฑ์ออก, V' คือ ค่าคะแนนรวมที่ถูกรบกวนหรือมีการดึงแผนที่เกณฑ์อันหนึ่งอันใดออก, N คือ จำนวนของแผนที่เกณฑ์ที่ใช้คำนวณค่า V , และ n คือ จำนวนของแผนที่เกณฑ์ที่ใช้คำนวณค่า V' (วิภพ แพงวังทอง, 2559)

ค่าดัชนีความแปรปรวนโดยรวมจากทุกพิภพเซลล์จะถูกแสดงออกมาในรูปของค่าเฉลี่ย ค่ามากที่สุด ค่าน้อยสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งจะให้เห็นว่า ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากแผนที่เกณฑ์ใดมากกว่ากัน



รูปที่ 2 ขั้นตอนการศึกษา

ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา

1. ผลการคัดเลือกและกำหนดค่าน้ำหนักของเกณฑ์ที่มีผลต่อการบุกรุกป่า

ผลการคัดเลือกเกณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงต่อการบุกรุกป่าซึ่งพิจารณาจากเกณฑ์ที่เคยถูกใช้ในการศึกษาก่อนหน้าและพิจารณาจากความถี่ที่เกณฑ์เหล่านั้นถูกใช้รายละเอียดดังตารางที่ 5 นั้นประกอบกับการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ป่าไม้ในพื้นที่ศึกษา ผู้ศึกษาพบว่า เกณฑ์ที่นิยมใช้และควรนำมาใช้กับพื้นที่ศึกษาแห่งนี้มีทั้งหมด 5 เกณฑ์ ได้แก่ ระยะห่างจากถนน ชุมชน และแหล่งน้ำ ความสูง และความลาดชันของพื้นที่ อย่างไรก็ตาม หากมีการเพิ่มจำนวนเกณฑ์ให้มากขึ้นย่อมส่งผลดีต่อการศึกษา แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดเรื่องชั้นข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และงบประมาณ ผู้ศึกษาจึงเลือกใช้เฉพาะเกณฑ์เท่าที่จำเป็นเหล่านั้นดังกล่าวแล้วข้างต้น

ผลการกำหนดค่าน้ำหนักของแผนที่เกณฑ์ซึ่งถูกคำนวณและรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ป่าไม้ 8 คน และชาวบ้านที่อยู่โดยรอบพื้นที่ป่า 51 คน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นค่าน้ำหนักสำหรับขั้นตอนถัดไป จากผลการแจกแจงข้อมูลรายละเอียดดังตารางที่ 2, 3 และ 6 พบว่า การให้ค่าน้ำหนักของบุคคลทั้ง 2 กลุ่ม มีความ

คิดเห็นสอดคล้องกัน คือ เกณฑ์ระยะห่างจากแหล่งน้ำ มีค่าน้ำหนักมากที่สุด แสดงให้เห็นว่า การบุกรุกพื้นที่ป่าในพื้นที่ศึกษาแห่งนี้ ระยะห่างจากแหล่งน้ำ เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการบุกรุก และการบุกรุกส่วนใหญ่เป็นไปเพื่อการเกษตรกรรมที่อาศัยแหล่งน้ำเป็นปัจจัยสำคัญ นอกจากนี้ เกณฑ์ที่มีค่าน้ำหนัก รองลงมาคือ ระยะห่างจากถนน และชุมชน ความสูง และความชัน ตามลำดับ รายละเอียดดังตารางที่ 6

2. ผลการสร้างแผนที่เกณฑ์และรวมคะแนนความเสี่ยงต่อการถูกบุกรุกพื้นที่ป่า

ผลการสร้างแผนที่เกณฑ์ประเมินด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อเป็นตัวแทนของทั้ง 5 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสี่ยงการบุกรุกป่าดังภาพที่ 3 ซึ่งสร้างตามเงื่อนไขการกำหนดคะแนนในตารางที่ 4 แล้ว ภายหลังจากการรวมคะแนนความเสี่ยงประจำพิกเซลโดยอาศัยการซ้อนทับกันของแผนที่เกณฑ์ทั้งหมด พร้อมทั้งรวมคะแนนตามสูตรในสมการที่ 2 ผลการศึกษาชั้นตอนนี้ พบว่า ในจังหวัดพะเยามีพื้นที่เสี่ยงต่อการถูกบุกรุกในระดับมาก เป็นเนื้อที่ 602,859.90 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 15.81 ของทั้งจังหวัด รายละเอียดอื่นๆดังตารางที่ 7

นอกจากนี้ หากนำเอาชั้นข้อมูลขอบเขตป่าสงวนแห่งชาติมาวิเคราะห์ซ้อนทับร่วมกับแผนที่ระดับความเสี่ยงต่อการถูกบุกรุกป่าแล้ว พบว่าป่าสงวนแห่งชาติที่มีพื้นที่เสี่ยงถูกบุกรุกมากที่สุด คือ ป่าน้ำแวนและป่าห้วยไคร้ รองลงมาคือ ป่าดอยบ่อส้มและป่าดอยโป่งนก ป่าแม่จูน และป่าแม่ต้า ตามลำดับ รายละเอียดอื่นๆ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 5 การรวบรวมเกณฑ์ประเมินจากเอกสารงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

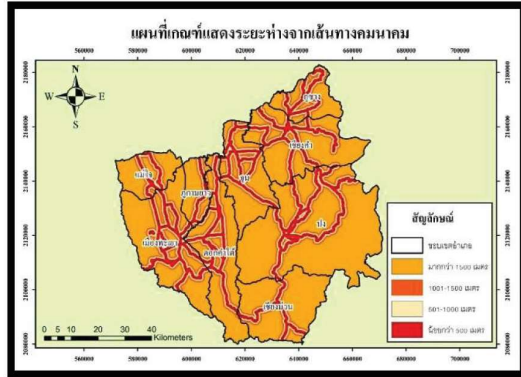
ลำดับ	เกณฑ์ประเมิน	ที่มาของเกณฑ์การประเมิน
1.	ระยะห่างจากถนน	นรินทร์ (2547), อนุรุทธ์ (2548), ธนวัฒน์ (2551), ภัทรพร (2554), พงศธร (2558)
2.	ระยะห่างจากชุมชน	นรินทร์ (2547), อนุรุทธ์ (2548), ธนวัฒน์ (2551), ภัทรพร (2554), พงศธร (2558), นิรันดร (2551)
3.	ระยะห่างจากแหล่งน้ำ	ธนวัฒน์ (2551), ภัทรพร (2554), พงศธร (2558), นิรันดร (2551)
4.	ความสูง	นรินทร์ (2547), อนุรุทธ์ (2548), ภัทรพร (2554), พงศธร (2558)
5.	ความลาดชัน	นรินทร์ (2547), อนุรุทธ์ (2548), ธนวัฒน์ (2551), ภัทรพร (2554), พงศธร (2558)
6.	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พงศธร (2558)
7.	ชนิดดิน	ธนวัฒน์ (2551)
8.	ชนิดดิน	ธนวัฒน์ (2551)
9.	สภาพป่าไม้	ธนวัฒน์ (2551)
10.	ระยะห่างจากพื้นที่เกษตร	นิรันดร (2551)
11.	สัดส่วนของพื้นที่ทำไร่ต่อพื้นที่	นิรันดร (2551)
12.	ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	นิรันดร (2551)
13.	ความเหมาะสมสำหรับการปลูกพืช	นิรันดร (2551)

ตารางที่ 6 การแจกแจงข้อมูลที่ได้จากการสำรวจความคิดเห็นของเจ้าหน้าที่ป่าไม้ 8 คน และค่าน้ำหนักของเกณฑ์

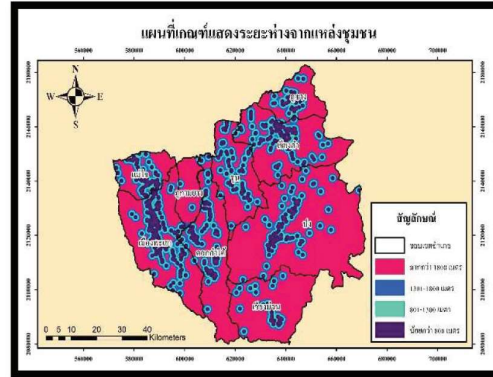
เกณฑ์	RD	VL	WT	EV	SL	เกณฑ์	เจ้าหน้าที่	ชาวบ้าน	ค่าเฉลี่ย
RD	-	0	3	1	2	RD	0.27	0.21	0.24
VL	4	-	2	2	1	VL	0.18	0.21	0.20
WT	3	1	-	2	1	WT	0.29	0.25	0.27
EV	5	5	7	-	3	EV	0.14	0.16	0.15
SL	4	5	5	3	-	SL	0.12	0.17	0.14
RANK	16	11	17	8	7	รวม	1.00	1.00	1.00

3. ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการกำหนดความเสี่ยงต่อการบุกกรุกป่า

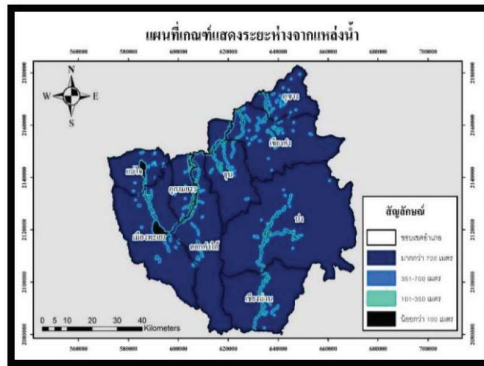
ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการกำหนดความเสี่ยงต่อการบุกกรุกป่าโดยพิจารณาจากดัชนีความแปรปรวนของค่าคะแนนรวมความเสี่ยงประจำพิกเซล พบว่าแผนที่เกณฑ์ที่ทำให้การกำหนดความเสี่ยงดังกล่าวนี้มีค่าความอ่อนไหวมากที่สุด คือ ความสูงของพื้นที่ ซึ่งมีค่าดัชนีความอ่อนไหวหรือแปรปรวน (Variation Index) มากที่สุดเท่ากับ 2.07 รองลงมา คือ ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ถนน และชุมชน และความลาดชัน ตามลำดับ โดยที่ค่าเฉลี่ยของดัชนีความแปรปรวน มีค่าเท่ากับ 1.74 1.61 1.59 และ 1.19 ตามลำดับ (ตารางที่ 9)



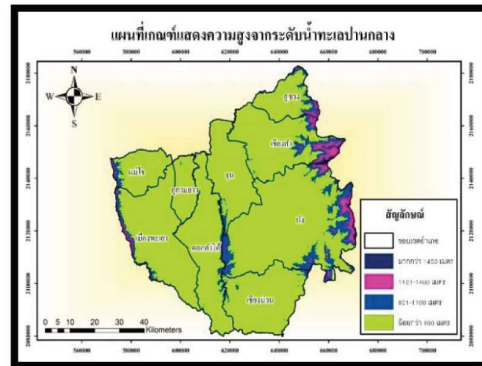
แผนที่เกณฑ์: ระยะห่างจากถนน



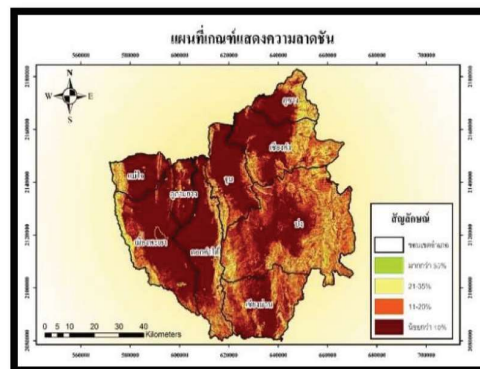
แผนที่เกณฑ์: ระยะห่างจากชุมชน



แผนที่เกณฑ์: ระยะห่างจากแหล่งน้ำ

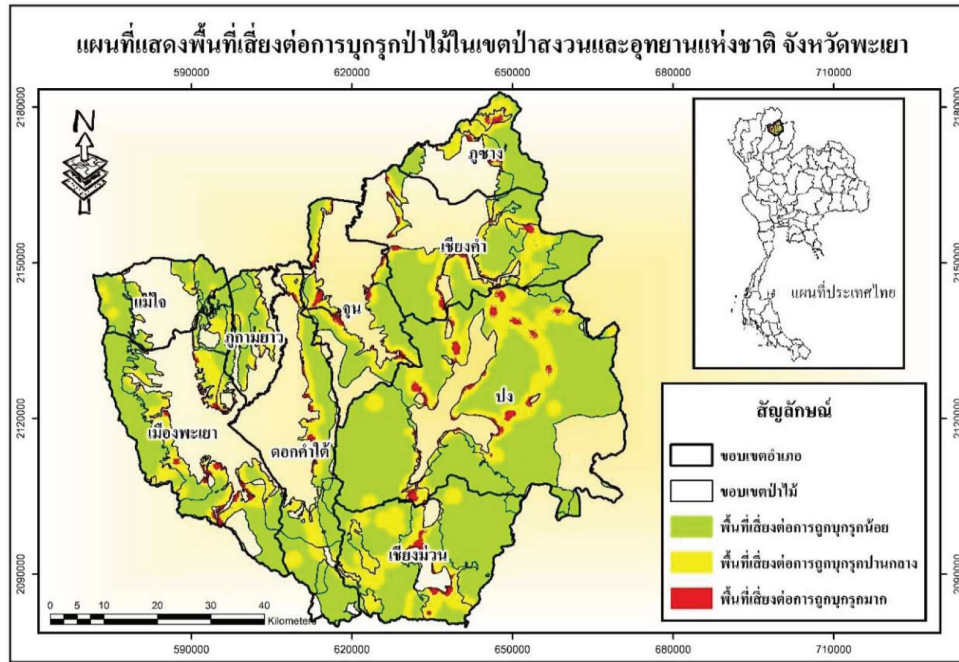


แผนที่เกณฑ์: ความสูง



แผนที่เกณฑ์: ความลาดชัน

รูปที่ 3 แผนที่เกณฑ์สำหรับการประเมินความเสี่ยงพื้นที่ที่ถูกบุกกรุกป่า



รูปที่ 4 แผนที่แสดงระดับความเสี่ยงต่อการถูกบุกรุกในเขตป่าสงวนและอุทยานแห่งชาติ จังหวัดพะเยา

ตารางที่ 7 ตารางแสดงพื้นที่เสี่ยงต่อการบุกรุก 3 ระดับแต่ละอำเภอในจังหวัดพะเยา

อำเภอ	ความเสี่ยงต่อการบุกรุกป่า						รวมทั้งหมด	
	เสี่ยงน้อย		เสี่ยงปานกลาง		เสี่ยงมาก		เนื้อที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
	เนื้อที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	เนื้อที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	เนื้อที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ		
ภูกามยาว	88.41	2.82	99.81	4.99	19.87	2.06	208.09	9.87
แม่ใจ	121.73	3.88	103.02	5.15	71.78	7.44	296.53	16.48
ภูซาง	117.24	3.74	123.70	6.19	65.69	6.81	306.63	16.74
จุน	197.92	6.31	205.08	10.26	123.96	12.85	526.95	29.42
เชียงม่วน	412.30	13.15	215.67	10.79	45.90	4.76	673.87	28.69
ดอกคำใต้	304.22	9.70	277.31	13.87	133.89	13.88	715.42	37.45
เชียงคำ	341.55	10.89	283.65	14.18	147.78	15.32	772.97	40.40
เมืองพะเยา	374.40	11.94	311.63	15.58	204.03	21.15	890.07	48.68
ปง	1177.84	37.57	379.83	18.99	151.68	15.73	1709.35	72.27

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์เพื่อกำหนดพื้นที่ป่าที่เสี่ยงต่อการถูกบุกรุกภายในเขตป่าสงวนแห่งชาติของจังหวัดพะเยา การศึกษาเริ่มต้นจากการค้นคว้าหาปัจจัย/เกณฑ์ที่มีผลต่อการบุกรุกโดยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องและการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ป่าไม้ ผลการศึกษาพบว่าทั้งหมด 5 เกณฑ์ที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาจังหวัดพะเยา ได้แก่ ระยะห่างจากถนน ชุมชน และแหล่งน้ำ ความสูงและความชันของพื้นที่ หลังจากนั้นทำการกำหนดค่าน้ำหนักของเกณฑ์ พบว่า เกณฑ์ที่มีค่าน้ำหนักมากที่สุด คือ ระยะห่างจากแหล่งน้ำ รองลงมาคือ ระยะจากถนนและชุมชน ความสูง และความลาดชัน ตามลำดับ ขั้นตอนต่อมาใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สร้างแผนที่เกณฑ์เหล่านั้นขึ้น และทำการรวมคะแนนโดยซ้อนทับกันเพื่อรวมคะแนน

ประจำแต่ละฟิสิกเซลแล้วทำการแบ่งค่าคะแนนรวมความเสี่ยงจากน้อยไปหามาก ออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ความเสี่ยงน้อย ปานกลาง และมาก อย่างไรก็ตาม ผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของการกำหนดพื้นที่เสี่ยงโดยการประยุกต์ใช้ดัชนีความแปรปรวน ผลการวิเคราะห์พบว่า ความสูงของพื้นที่ เป็นเกณฑ์ที่มีความอ่อนไหวมากที่สุด หรืออีกนัยหนึ่ง กล่าวได้ว่าค่าคะแนนจากเกณฑ์ความสูงมีอิทธิพลต่อการกำหนดพื้นที่เสี่ยงดังกล่าวมากที่สุด และควรระมัดระวังเรื่องความถูกต้องของค่าความสูงที่จะนำมาใช้เพื่อการตัดสินใจกำหนดพื้นที่เสี่ยงมากที่สุดด้วย

การศึกษาครั้งนี้แตกต่างจากเทคนิควิธีของการศึกษาอื่นซึ่งอาศัยการกำหนดค่าน้ำหนักของเกณฑ์จากผู้เชี่ยวชาญ แต่การศึกษาครั้งนี้สามารถเข้ากับสภาพปัญหาของพื้นที่ศึกษามากกว่า เนื่องจากค่าน้ำหนักของเกณฑ์ได้รับมาจากเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานและชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีการบุกรุกและอยู่โดยรอบป่าด้วย อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่เสี่ยงต่อการถูกบุกรุกป่านั้นควรทำด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเจ้าหน้าที่ป่าไม้ได้นำแผนที่ดังกล่าวนี้ไปใช้งานควรมีการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ไปพร้อมกันด้วย หรือสำหรับการศึกษาดังต่อไป เพื่อจะได้นำไปปรับปรุงให้ดีขึ้น

ตารางที่ 8 การแจกแจงระดับความเสี่ยงในเขตป่าสงวนแห่งชาติในจังหวัดพะเยา

สถานที่	เสี่ยงน้อย เนื้อที่ (ไร่)	เสี่ยงปานกลาง เนื้อที่ (ไร่)	เสี่ยงมาก เนื้อที่ (ไร่)
ป่าน้ำยาวและป่าน้ำสวด	18,096.72	2,616.96	-
ป่าแม่ยาวฝั่งซ้าย	853.04	412.12	-
ป่าแม่โป่ง	30.08	-	-
ป่าขุนวัง แปลงที่หนึ่ง	33.75	6.56	-
ป่าขุนวัง แปลงที่สอง	519.02	3.98	-
ป่าแม่ต้า	79,949.68	36,632.81	7,227.15
ป่าห้วยดอกเข็มและป่าแม่อิงฝั่งขวา	53,754.36	39,790.8	5,347.45
ป่าแม่ร่องซุย	44,876.92	28,392.53	277.00
ป่าแม่จุน	66,148.94	38,885.3	7,600.28
ป่าห้วยบงและป่าห้วยเคียน	5,867.21	19,128.26	2,200.76
ป่าแม่ต้าและป่าแม่नावเรือ	110,463.52	45,539.3	3,014.57
ป่าแม่ลาวฝั่งขวา ป่าแม่ล้าน และป่าแม่ใจ	37,002.89	12,771.87	236.01
ป่าแม่ปืมและป่าแม่พุง	39,256.99	8,197.61	1.54
ป่าแม่ปืมและป่าคองประดู่	13,401.42	10,697.79	43.51
ป่าแม่ลอยไร่ ป่าสักล่อ และป่าน้ำพุง	8,069.52	8,168.61	2,622.12
ป่าแม่ยม	863,224.92	321,561.86	-
ป่าน้ำแวนและป่าห้วยไคร้	59,351.93	23,795.03	33,605.59
ป่าน้ำหวางฝั่งซ้าย	48.34	17.87	4,491.95
ป่าคอยหาและป่าคอยบ่อส้ม	648.18	60.75	-
ป่าน้ำเปือย ป่าน้ำหยวน และป่าน้ำลาว	177,694.77	105,923.29	-
ป่าคอยบ่อส้มและป่าคอยโป่งนก	14,959.72	10,593.33	9,498.33
ป่าแม่ฮ้องบ่อ ป่าห้วยแก้ว และป่าแม่อิงฝั่ง	46,522.45	29,455.58	2,238.82

ตารางที่ 9 ความอ่อนไหวของค่าคะแนนรวมความเสี่ยงประจำฟิสิกเซล

Variation Index	Parameter removed				
	RD	VL	WT	EV	SL
Mean	1.61	1.59	1.74	2.07	1.19
Minimum	0.02	0.02	0.00	0.00	0.04
Maximum	5.14	5.14	5.48	3.78	5.44
S.D.	0.77	0.78	0.99	1.01	0.82

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาถัดไป ควรมีการศึกษาถึงสาเหตุการบุกรุกป่าเพื่อให้มีการพัฒนาต่อไป เนื่องจากในปัจจุบันปัญหาการบุกรุกป่านั้นยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการป้องกันและเผาระวังที่ดียิ่งขึ้น การศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะปัจจัยด้านกายภาพเท่านั้น ถ้าต้องการผลลัพธ์ให้ครบถ้วนทุกด้าน ควรประเมินปัจจัยด้านเศรษฐกิจและสังคมร่วมด้วย อย่างไรก็ตาม สามารถนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่น ๆ ที่มีปัญหาการบุกรุกป่า หรือมีแนวโน้มว่าจะเกิดปัญหารุนแรงในอนาคตได้ นอกจากนี้ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวโดยวิธีการตั้งพารามิเตอร์หรือถอนแผนที่เกณฑ์ออก ยังไม่มีการนำมาใช้สำหรับการพิจารณาความแปรปรวนของการตัดสินใจความเสี่ยงป่าถูกบุกรุกมากนัก อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ความอ่อนไหวยังคงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการคัดเลือกเกณฑ์ต่างๆให้เหมาะสมกับงานที่จะทำ รวมถึงทำให้เกิดความระมัดระวังในการคัดเลือกเกณฑ์ไปใช้ในงานต่อไปได้อย่างเหมาะสมด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบคุณ คุณอนุสรณ์ จิตจำเพียร คุณภัทรพล ปงคำเขย และคุณกมล รุ่งมณี เจ้าหน้าที่/ผู้บริหารของสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดพะเยา และเจ้าหน้าที่ของอุทยานแห่งชาติดอยภูาง ตลอดจนชาวบ้านที่อยู่อาศัยในบริเวณพื้นที่ที่มีการบุกรุกป่าและโดยรอบเขตพื้นที่ป่าสงวนและอุทยานแห่งชาติในจังหวัดพะเยา ที่ให้ข้อมูลความคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมป่าไม้. (2559). รายงานสถานการณ์การบุกรุกทำลายป่า. สืบค้นเมื่อ 15 กุมภาพันธ์ 2559, จาก <http://forestinfo.forest.go.th/55/Content.aspx?id=10012>
- [2] ขวัญชัย ดวงสถาพร, ทรงศักดิ์ นิ่มนวล, ปิยะพงศ์ พันธุ์โกศล, ภัรดี เทียนทองดี, สิทธิพงศ์ พชรภนกกกุล, และอำนาจทองเบ็ญญ์. (2557). แผนแม่บทแก้ไขปัญหการทำลายทรัพยากรป่าไม้การบุกรุกที่ดินของรัฐและการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน.
- [3] ถิน พิสุทธิ. (2545). ปัจจัยที่มีผลต่อแนวความคิดเกี่ยวกับสาเหตุการบุกรุกป่าของราษฎรท้องถิ่นบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระ จังหวัดกาญจนบุรี. วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [4] ทิพย์กมล สนลับ, วันชัย อรุณประภารัตน์, และนันทชัย พงศ์พัฒนานุรักษ์. (2561). การกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการบุกรุกของป่าต้นน้ำที่อุทยานแห่งชาติดอยภูคา จังหวัดน่าน. วารสารวนศาสตร์. 37(2): 60–70.
- [5] ธงชัย จารุพัฒน์. (2541). สถานการณ์ป่าไม้ของประเทศไทยในช่วงเวลา 37 ปี (พ.ศ.2504–2541). กรมป่าไม้. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- [6] ธนวัฒน์ ประไพ. (2551). การประยุกต์ใช้ระบบภูมิสารสนเทศในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการบุกรุกพื้นที่ป่าอนุรักษ์และพื้นที่โดยรอบของอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน. วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [7] ชีรภาพ พัฒนใหญ่ยิ่ง, อนุสรณ์ ธิติวัชรเดช, อนุสรณ์ กันทะกะ, อรรถชัย สมบูรณ์. (2557). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการบุกรุกป่าอนุรักษ์บริเวณอุทยานภูลังกา จังหวัดพะเยา. วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.

- [8] นรินทร์ จักคุ่ม. (2547). การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการบุกรุกบริเวณอุทยานแห่งชาติภูพาน จังหวัดสกลนคร. วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์, สกลนคร.
- [9] นิรันดร มรกตเขียว. (2551). การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการบุกรุกบริเวณอุทยานแห่งชาติภูผาม่าน จังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [10] พงศธร ธารบุญ และพงศ์พล พลอดภัย. (2558) การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการบุกรุกป่าไม้ในพื้นที่อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์. การประชุมวิชาการนิสิตนักศึกษาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศศาสตร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8 วันที่ 25-26 ธันวาคม 2558.
- [11] พงศ์พล พลอดภัย, พรทิพย์ วิมลทรง, ธนา จารุพันธุ์เศรษฐ์, กานต์ธิดา บุญมา, และบุษยมาต เหมณี. (2563). เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อการจัดการพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมในจังหวัดสุราษฎร์ธานี. วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนาวัตกรรมการแข่งขันพื้นที่, 1(2): 59-69.
- [12] ภัทรพร พิมดี. (2554). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการบุกรุกป่าไม้เพื่อใช้เป็นพื้นที่เกษตรกรรมบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าภูหลวง จังหวัดเลย. วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- [13] ยาวเรศ จันทะคัต, พงศ์พันธ์ จันทะคัต, พลวัฒน์ กิลันเทียะ, กิตติวิมล อุดม, ปฐมาวดี คูนกระโทก, และทิฆัมพร หัตขุนทด. (2563). การประยุกต์ใช้งานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเว็บสำหรับการสอนในรายวิชาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมท้องถิ่น. วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนาวัตกรรมการแข่งขันพื้นที่, 1(2): 70-82.
- [14] วิภพ แวงวังทอง. (2559). ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการตัดสินใจแบบมีส่วนร่วมเพื่อกำหนดพื้นที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลังในอำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดพะเยา. การประชุมวิชาการระดับชาติ "วลัยลักษณ์วิจัย ครั้งที่ 8 วันที่ 7-8 กรกฎาคม 2559. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. หน้า 380-387.
- [15] วิษณุ เรืองทอง, พงศ์พล พลอดภัย, และพรทิพย์ วิมลทรง, 2563. การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งในจังหวัดศรีสะเกษ. วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนาวัตกรรมการแข่งขันพื้นที่, 1(2): 24-34.
- [16] อนรรุทธิ์ สุทธิวารินทร์กุล. (2548). การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการถูกบุกรุกของอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี. วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [17] อภาภรณ์ ทองเสงี่ยม, กาญจน์เชจร ชูชีพ, และรัชณี โพธิ์แทน. (2561). การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการบุกรุกป่าในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนล่าง จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวนศาสตร์. 37(2): 108-117.
- [18] Majandang, J. (2011). Spatial Assessment of Groundwater Contamination Risk and Protection Zoning in Amphoe Nong Rua, Changwat Khon Kaen. Ph.D. Dissertation, Institute of Science, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- [19] Malczewski, J. (1999). GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [20] Paengwangthong, W. (2012). Geospatial Model for Locating Potential Micro Hydropower Sites in Ungauged Catchments. Ph.D. Dissertation, Institute of Science, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand.