

การประเมินความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และ แบบจำลองดัชนีทางสถิติในกลุ่มน้ำแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

วรวิทย์ สุภวิมุติ และ บรมศักดิ์ กลั่นเรืองแสง*

^{1,2} อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ
คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Received 9/5/2022 Revised 26/6/2022 Accepted 27/6/2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมในกลุ่มน้ำแม่วาง และเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธีการวิเคราะห์พื้นที่ได้เส้นโค้ง ศึกษาโดยใช้ ข้อมูลพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วมในอดีตมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดน้ำท่วมจำนวน 10 ปัจจัย ประกอบด้วย ความสูงภูมิประเทศ ความลาดชัน ทิศทางด้านลาด ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลนด์ดัชนีความชื้นภูมิประเทศ ปริมาณน้ำฝน การระบายน้ำของดิน ความหนาแน่นทางน้ำ ความหนาแน่นถนน และการใช้ที่ดิน ข้อมูลพื้นที่เกิดน้ำท่วมในอดีตนำมาสุ่ม จำแนกเป็น ข้อมูลเรียนรู้ ร้อยละ 70 และ ข้อมูลทดสอบ ร้อยละ 30 ข้อมูลเรียนรู้นำมาซ้อนทับกับทั้ง 10 ปัจจัยเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีทางสถิติ และนำไปใช้ในการกำหนดค่าคะแนนความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมของแต่ละปัจจัย ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีค่าดัชนีความอ่อนไหวสูงสุด คือ พื้นที่ที่การระบายน้ำเร็ว รองลงมา คือ ปัจจัยย่อยความหนาแน่นถนนช่วง 5.31 - 7.34 กิโลเมตรต่อตารางกิโลเมตร ผลการวิเคราะห์ด้วยการซ้อนทับข้อมูลพบว่าพื้นที่กลุ่มน้ำแม่วาง มีพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมในระดับสูงมาก 65.11 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 11.42 ของพื้นที่ศึกษา ส่วนใหญ่อยู่บริเวณที่ราบทางตะวันออกของพื้นที่ โดยเฉพาะในตำบลยางคราม ตำบลสันติสุข และตำบลบ้านกรด ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธีหาพื้นที่ได้เส้นโค้งพบว่า มีค่าอัตราความสำเร็จคิดเป็นร้อยละ 94.84 และอัตราการทำนาย คิดเป็นร้อยละ 94.85

คำสำคัญ: น้ำท่วม, ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, กลุ่มน้ำ, พื้นที่อ่อนไหว

Flood Susceptibility Assessment Using Geographic Information System and Statistical Index in the Mae Wang Watershed, Chiang Mai Province

Worawit Suppawimut¹ and Baromasak Klanreungsang^{2*}

^{1,2}Lecturer of Geography and Geoinformatics Program, Faculty of Humanities and Social Sciences, Chiang Mai Rajabhat University

Received 9/5/2022 Revised 26/6/2022 Accepted 27/6/2022

Abstract

The objectives of this study are: 1) to assess flood susceptible areas in Mae Wang Watershed, and 2) to evaluate the performance of the model using the area under the curve method. The flood data were used to analyze the relationship between flooding and ten conditioning factors, namely: elevation, slope, aspect, normalized difference vegetation index (NDVI), topographic wetness index (TWI), rainfall, soil drainage, stream density, road density, and land use. The flood data were randomly categorized as training data (70%) and testing data (30%). The training data were analyzed using the ten conditioning factors mentioned above to calculate statistical index values. A flood susceptibility score was then assigned to each factor. The results revealed that the conditioning factors that had the highest susceptibility index pertained to poor soil drainage followed by the road density of 5.31 to 7.34 kilometers per square kilometer. According to the results from the flood susceptibility map, 65.11 square kilometers of Mae Wang Watershed can be classified as highly susceptible, accounting for 11.42% of the study area. This susceptible area is primarily located in lowlands to the East of the watershed, especially in Yang Khram Subdistrict, Santi Suk Subdistrict, and Ban Kat Subdistrict. The validation results using the area under the curve showed that the success and prediction rates were 94.84% and 94.85%, respectively.

Keywords: Flood, Geographic Information System, Watershed, Susceptible Area

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

น้ำท่วมเป็นภัยธรรมชาติที่สร้างความเสียหายให้กับประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก จากรายงานในสถิติฐานข้อมูลภัยธรรมชาติ The Emergency Event Database (EM-DAT) ในปี พ.ศ. 2564 ภัยธรรมชาติประเภทน้ำท่วม เป็นภัยที่มีจำนวนเหตุการณ์เกิดขึ้นมากกว่าภัยธรรมชาติประเภทอื่น ๆ โดยมีเหตุการณ์น้ำท่วมเกิดขึ้นทั่วโลกจำนวน 223 ครั้ง สูงกว่าเฉลี่ยในช่วง พ.ศ. 2544-2563 ที่เกิดขึ้นเฉลี่ยปีละ 163 ครั้ง และมีค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้เสียชีวิตทั่วโลกสูงถึงปีละ 5,185 คน (CRED, 2020) สาเหตุของน้ำท่วมมีหลายประการ เช่น การเกิดฝนตกหนักจากหย่อมความกดอากาศต่ำ การเกิดพายุหมุนเขตร้อน เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ เช่น การสร้างสิ่งกีดขวางทางน้ำ การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน การตัดไม้ทำลายป่า เขื่อนหรือคันกั้นน้ำชำรุด เป็นต้น (ธีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ และธนัทเดช โรจนกุลศล, 2556; มนัส สุวรรณ, 2555)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประสบกับปัญหาน้ำท่วมบ่อยครั้ง ทั้งน้ำท่วมขัง น้ำป่าไหลหลาก น้ำล้นตลิ่ง ซึ่งมีสาเหตุและรูปแบบเหตุการณ์ที่แตกต่างกันตามสภาพภูมิประเทศและสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ หากพิจารณาถึงภัยพิบัติที่ส่งผลให้เกิดผู้เสียชีวิตจะพบว่า ภัยพิบัติจากน้ำท่วมหรืออุทกภัยที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ส่วนใหญ่เกิดจากเหตุการณ์อุทกภัยแทบทั้งสิ้น ดังเช่น เหตุการณ์มหาอุทกภัยปี พ.ศ.2554 มีผู้เสียชีวิตถึง 1,026 คน และมีแนวโน้มว่าผลกระทบที่เกิดจากอุทกภัยมีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้นอีกด้วย (คณะกรรมการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติ, 2558)

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการศึกษาวิเคราะห์ประเด็นปัญหาด้านภัยพิบัติ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สามารถแสดงข้อมูลและสารสนเทศเชิงพื้นที่ที่ทันต่อเหตุการณ์ สามารถระบุพิกัดตำแหน่ง และความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเหตุภัยพิบัติแต่ละประเภทได้ เช่น น้ำท่วม ดินถล่ม ไฟป่า ภัยแล้ง หลุมยุบ แผ่นดินไหว พายุหมุนเขตร้อน เป็นต้น บทบาทของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศต่อการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับน้ำท่วม ได้แก่ การประเมินพื้นที่

เสี่ยงภัยน้ำท่วม การจัดทำแผนที่พื้นที่ประสบภัยน้ำท่วม การประเมินผลกระทบหลังจากประสบภัยน้ำท่วม เป็นต้น (พรชัย เอกศิริพงษ์ และสุเพชร จิระขจรกุล, 2557)

การประเมินความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วม เป็นประเด็นการศึกษาช่วยให้ทราบถึงระดับความอ่อนไหวของสภาพพื้นที่ว่ามีโอกาสที่จะเกิดน้ำท่วมอยู่ในระดับใด มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศร่วมกับแบบจำลองและเทคนิควิธีการต่าง ๆ เช่น วิธีการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (Analytic hierarchy process: AHP) (กาญจนา มีจรัส และคนอื่น ๆ, 2562) วิธีอัตราส่วนความถี่ (Frequency ratio: FR) (สิริกร ด้วงพิบูลย์ และคณะ, 2561; วรวิทย์ ศุกวิมุตติ, 2564) วิธีดัชนีทางสถิติ (Statistical index: SI) (ชิดาภัทร อนุชาญ และณัฐริกา ทองจิต, 2563; Cao et al., 2016; Suppawimut, 2021) และวิธีการถดถอยโลจิสติกส์ (Waiyasusri et al., 2021) เป็นต้น

การวิจัยครั้งนี้นำเสนอประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมโดยใช้แบบจำลองดัชนีทางสถิติ (SI) ทำการวิเคราะห์คะแนนของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วม จัดทำแผนที่พื้นที่อ่อนไหวและทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยทำการศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วางซึ่งเป็นพื้นที่ที่ประสบกับปัญหาน้ำท่วม โดยเฉพาะที่ราบทางด้านตะวันตก ซึ่งแม่น้ำวาง แม่น้ำขาน ไหลมารวมกันก่อนลงสู่แม่น้ำปิง (ภาพที่ 1) ผลการศึกษาสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการวางแผนเตรียมการรับมือกับน้ำท่วม และเป็นแนวทางในการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมดัชนีทางสถิติในพื้นที่อื่น ๆ ได้

2. วัตถุประสงค์

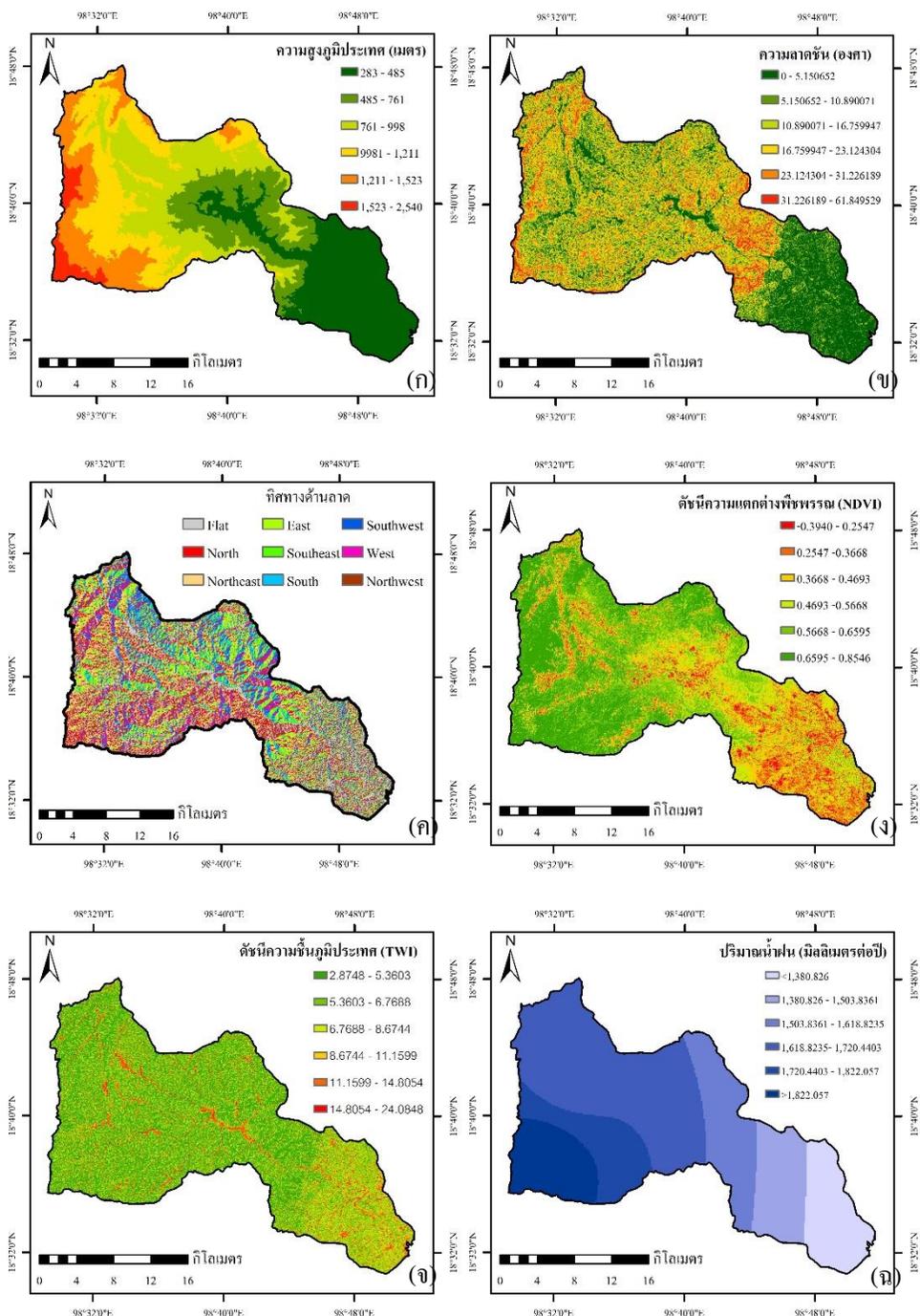
- 1) เพื่อประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแบบจำลองดัชนีทางสถิติ
- 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธีการวิเคราะห์พื้นที่ใต้เส้นโค้ง Area Under the Curve (AUC)

4.2 ข้อมูลและแหล่งข้อมูล

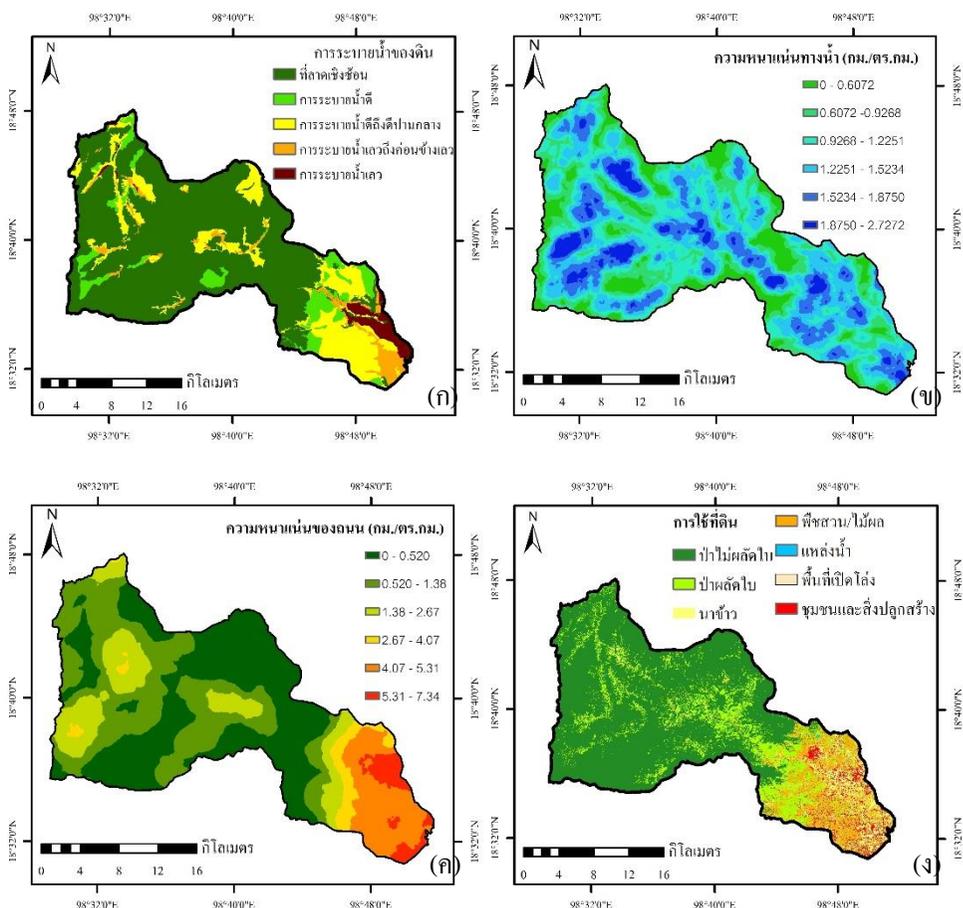
ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาส่วนแรก ได้แก่ ข้อมูลพื้นที่น้ำท่วมในอดีต ได้จาก ข้อมูลน้ำท่วมจากการวิเคราะห์จากภาพถ่ายจากดาวเทียม RADARSAT, COSMO-SkyMed และดาวเทียม THAICHOTE ระหว่างปี พ.ศ. 2548-2563 โดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ข้อมูลส่วนที่สอง ได้แก่ ข้อมูลปัจจัยในการวิเคราะห์ (ภาพที่ 2 และ 3) ได้แก่ 1) แบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model) จากข้อมูลดาวเทียม ASTER ขนาดพิกเซล 30 เมตร นำมาจัดทำข้อมูลความสูงภูมิประเทศ ความลาดชัน ทิศทางด้านลาด คำนวณความชันภูมิประเทศ และความหนาแน่นทางน้ำ 2) ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 นำมาจัดทำ คำนวณความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ (NDVI) และจำแนกประเภทการใช้ที่ดิน 3) ข้อมูลเส้นทางถนน จากฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Nostra Map) 4) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน จาก ศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนบนนำมาประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Inverse distance weighting (IDW) และ 5) ข้อมูลการระบายน้ำของดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน (ตารางที่ 1) โดยข้อมูลทั้งหมดจัดเตรียมในรูปแบบราสเตอร์ ขนาดพิกเซล 30 เมตร

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูล	รูปแบบ	ที่มาของแหล่งข้อมูล
ข้อมูลน้ำท่วมในอดีต พ.ศ. 2549-2563	polygon	GISTDA https://flood.gistda.or.th/
แบบจำลองความสูงเชิงเลข พ.ศ. 2556	raster grid	ASTER https://earthdata.nasa.gov/
ภาพถ่ายจากดาวเทียม บันทึกเมื่อ 24 มกราคม พ.ศ. 2564	raster grid	Sentinel-2 https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home
ปริมาณน้ำฝน พ.ศ. 2548-2563	point	ศูนย์อุทกวิทยาชลประทาน ภาคเหนือตอนบน
การระบายน้ำของดิน พ.ศ.2561	polygon	กรมพัฒนาที่ดิน http://dinonline.idd.go.th/
เส้นทางถนน พ.ศ.2561	line	Nostra Map



ภาพที่ 2 ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์: (ก) ความสูงภูมิประเทศ (ข) ความลาดชัน (ค) ทิศทางด้านลาด (ง) ดัชนี NDVI (จ) ดัชนี TWI และ (ฉ) ปริมาณน้ำฝน



ภาพที่ 3 ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์: (ก) การระบายน้ำของดิน (ข) ความหนาแน่นทางน้ำ (ค) ความหนาแน่นถนน และ (ง) การใช้ที่ดิน

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลพื้นที่น้ำท่วมในอดีตนำมาแบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ข้อมูลเรียนรู้ (Training data) ร้อยละ 70 และ ข้อมูลทดสอบ (Testing data) ร้อยละ 30 (ภาพที่ 4) ส่วนข้อมูลเชิงพื้นที่ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วมจำนวน 10 ปัจจัย ประกอบไปด้วย ความสูงภูมิประเทศ ความลาดชัน ทิศทางด้านลาด ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ ดัชนีความชันภูมิประเทศ ปริมาณน้ำฝน การระบายน้ำของดิน ความหนาแน่นทางน้ำ ความหนาแน่นถนน และการใช้ที่ดิน จะนำมาซ้อนทับกับข้อมูลพื้นที่

น้ำท่วมเรื้อรัง ด้วยวิธีการ Tabulate area เพื่อใช้ในการคำนวณค่าดัชนีทางสถิติ ดังสมการที่ 1 มีรายละเอียดต่อไปนี้

$$SI_{ij} = \ln \left(\frac{D_{ij}}{D} \right) = \ln \left[\left(\frac{N_{ij}}{S_{ij}} \right) / \left(\frac{N}{S} \right) \right] \quad (1)$$

โดยที่

SI_{ij} คือ ค่าดัชนีทางสถิติของชั้นปัจจัยย่อยที่ I ของปัจจัยหลัก j

\ln คือ ลอการิทึมธรรมชาติ หรือ $\log_e (x)$

D_{ij} คือ ค่าความหนาแน่นของการเกิดน้ำท่วมในชั้นปัจจัยย่อยที่ i ของปัจจัยหลัก j

D คือ ค่าความหนาแน่นของการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

N_{ij} คือ จำนวนพิกเซลน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในชั้นปัจจัยย่อยที่ i ของปัจจัยหลัก j

S_{ij} คือ จำนวนพิกเซลของพื้นที่ศึกษาในชั้นปัจจัยย่อยที่ i ของปัจจัยหลัก j

N คือ จำนวนพิกเซลพื้นที่น้ำท่วมที่เกิดขึ้นทั้งหมด

S คือ จำนวนพิกเซลของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด

ค่าดัชนีทางสถิติ SI_{ij} ของแต่ละปัจจัยนำไปใช้กำหนดเป็นค่าคะแนนของแต่ละช่วงชั้นปัจจัยย่อย และนำมาซ้อนทับในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยวิธีการรวมค่า SI จากทุกปัจจัย (สมการที่ 2) ทำให้ได้ค่าดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วม Flood susceptibility index (FSI) จากนั้นจึงแบ่งระดับความอ่อนไหวด้วยวิธีการ Natural break ซึ่งเป็นวิธีจัดกลุ่มข้อมูลที่พิจารณาค่าสถิติ โดยให้กลุ่มใหม่ที่มีค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละช่วงชั้นมีค่าต่ำ โดยการศึกษาแบ่งเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำมาก ระดับต่ำ ระดับปานกลาง ระดับสูง และระดับสูงมาก

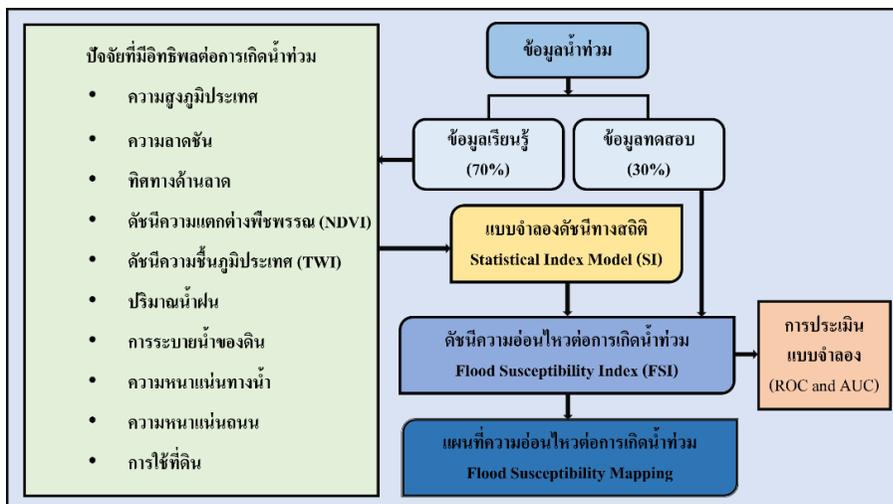
$$FSI = \sum_{j=1}^n SI_{ij} \quad (2)$$

โดยที่

FSI คือ ดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วม

SI_{ij} คือ ค่าดัชนีทางสถิติของชั้นปัจจัยย่อยที่ i ของปัจจัยหลัก j

n คือ จำนวนปัจจัยทั้งหมด



ภาพที่ 4 แผนผังกระบวนการวิเคราะห์

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง วิธีการแรก ทำการเปรียบเทียบพื้นที่น้ำท่วมในอดีตกับผลลัพธ์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วม (สมการที่ 3) หากพื้นที่น้ำท่วมมีสัดส่วนตรงกับระดับความอ่อนไหวสูงมาก และระดับความอ่อนไหวสูงจะแสดงถึงผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองมีสอดคล้องกับการเกิดน้ำท่วมในอดีตมาก ส่วนวิธีที่ 2 ทำการนำข้อมูลเรียนรู้ (70%) และข้อมูลทดสอบ (30%) มาซ้อนทับกับผลลัพธ์พื้นที่อ่อนไหว เพื่อหาค่าอัตราความสำเร็จ และค่าอัตราการทำนาย ด้วยการสร้างเส้นกราฟ Receiver operating characteristic (ROC) และการหาพื้นที่ใต้เส้นโค้ง Area under the curve (AUC) ทั้งนี้ค่า AUC มีค่าตั้งแต่ 0-1 หากมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงผลลัพธ์มีความถูกต้องสูง และสามารถแบ่งระดับได้เป็น ความถูกต้องปานกลาง (0.6-0.7) ระดับดี (0.7-0.8) ระดับดีมาก (0.8-0.9) และระดับเยี่ยม (0.9-1.0) (Pourghasemi et al., 2018)

$$RFD = \frac{\text{ร้อยละของพื้นที่น้ำท่วมในระดับความอ่อนไหว}_i / \text{ร้อยละของพื้นที่ระดับความอ่อนไหว}_i}{\sum (\text{ร้อยละของพื้นที่น้ำท่วมในระดับความอ่อนไหว}_i / \text{ร้อยละของพื้นที่ระดับความอ่อนไหว}_i)} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ RFD คือ ค่าดัชนีทางความสัมพันธ์ของพื้นที่น้ำท่วมกับสัดส่วนของพื้นที่ที่อ่อนไหว

เมื่อทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองแล้วจึงดำเนินการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วม และคำนวณพื้นที่อ่อนไหวทั้ง 5 ระดับและสรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์และทดสอบสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้

5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วม

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วมกับข้อมูลเหตุการณ์น้ำท่วมในอดีตโดยใช้แบบจำลองดัชนีทางสถิติ (SI) ทำให้ได้ผลลัพธ์สภาพแวดล้อมที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วม ค่าดัชนีทางสถิติมีค่ามาก หมายถึงพื้นที่ช่วงชั้นมีความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมสูง ในทางกลับกัน ค่าดัชนีทางสถิติที่มีค่าติดลบหรือมีค่าน้อย แสดงถึงมีความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมต่ำ (ชิดาภัทร อนุชาญ และณัฐริกา ทองจิต, 2563; Suppawimut, 2021) ผลการศึกษา พบว่า ปัจจัยย่อย ที่มีค่าดัชนีทางสถิติสูงสุด ได้แก่ พื้นที่ที่มีการระบายน้ำเร็ว (ปัจจัยการระบายน้ำของดิน) ซึ่งมีค่าดัชนีทางสถิติที่ 2.55 รองลงมา ได้แก่ ปัจจัยย่อยความหนาแน่นถนนช่วง 5.31 - 7.34 กม./ตร.กม. มีค่าดัชนีทางสถิติที่ 2.44 ในทางกลับกัน ปัจจัยย่อยที่มีค่าดัชนีทางสถิติต่ำที่สุด ได้แก่ การใช้ที่ดินประเภท ป่าไม่ผลัดใบ มีค่าดัชนีทางสถิติเป็น -6.12 รองลงมา ได้แก่ ความลาดชัน ระดับ 23.12 - 31.23 องศา มีค่าดัชนีทางสถิติ เป็น -5.69

กลุ่มหรือช่วงชั้นปัจจัยย่อยที่มีผลต่อความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมมาก ได้แก่ ปัจจัยปัจจัยความสูงภูมิประเทศระดับ 283-485 เมตร มีค่าดัชนีสูงสุดที่ 1.33 ปัจจัยความลาดชันระดับ 0-5.15 องศา มีค่าดัชนีสูงสุดที่ 1.28 ทิศทางด้านลาดกลุ่มประเภทพื้นราบ (flat) มีค่าดัชนีทางสถิติที่ 0.09 ปัจจัยดัชนีความชื้นภูมิประเทศ ช่วงชั้น 11.16 - 14.81 ค่าดัชนีทางสถิติที่ 0.97 ปัจจัยปริมาณน้ำฝน ช่วงชั้นที่ 1,236.42 – 1,380.83 มิลลิเมตรต่อปี มีค่าดัชนีทางสถิติที่ 2.07 ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ 0.25 - 0.37 มีค่าดัชนีทางสถิติที่ 1.18 ปัจจัยการระบายของดินกลุ่มการระบายน้ำเร็ว มีค่าดัชนีทางสถิติที่ 2.55 ปัจจัยความหนาแน่นทางน้ำ 1.52 - 1.88 กิโลเมตรต่อตารางกิโลเมตร มีค่าดัชนีทางสถิติที่ 0.57 ปัจจัยความหนาแน่นถนน 5.31 - 7.34

กิโลเมตรต่อตารางกิโลเมตร มีค่าดัชนีทางสถิติที่ 2.44 และปัจจัยการใช้ที่ดินประเภทชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีค่าดัชนีทางสถิติที่ 2.02 (ตารางที่ 2)

เมื่อนำได้ค่าดัชนีทางสถิติไปกำหนดเป็นค่าคะแนนความอ่อนไหวของแต่ละช่วงชั้นของ 10 ปัจจัย และซ้อนทับข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อให้ได้ดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วม และแบ่งออกเป็น 5 ระดับความอ่อนไหว ได้แก่ ระดับต่ำมาก ระดับต่ำ ระดับปานกลาง ระดับสูง และระดับสูงมาก ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มน้ำแม่วางมีพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมในระดับสูงมาก 65.11 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 11.42 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนใหญ่อยู่ทางด้านตะวันออกของพื้นที่กลุ่มน้ำ (ภาพที่ 5) ซึ่งเป็นบริเวณที่ราบ มีความลาดชันต่ำ เป็นบริเวณที่แม่น้ำวาง มารวมกับแม่น้ำขานก่อนไหลลงสู่แม่น้ำปิง ส่วนความอ่อนไหวในระดับสูง มีพื้นที่ 59.81 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 10.49 ของพื้นที่ทั้งหมด ระดับปานกลางมีพื้นที่ 94.91 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 16.64 ของพื้นที่ทั้งหมด ระดับต่ำมีพื้นที่ 174.87 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 30.66 ของพื้นที่ทั้งหมด และระดับต่ำมากมีพื้นที่ 175.57 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 30.79 ของพื้นที่ทั้งหมด (ตารางที่ 3) ซึ่งจะเห็นได้ว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำมีระดับความอ่อนไหวอยู่ในระดับต่ำและต่ำมาก โดยเฉพาะทางด้านตะวันตกของพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ภูเขา มีความลาดชันสูง และเป็นพื้นที่ปกคลุมด้วยพื้นที่ป่าไม้ ส่วนพื้นที่อ่อนไหวระดับสูงถึงสูงมากอยู่ที่ร้อยละ 22 ของพื้นที่ทั้งหมด (ภาพที่ 5)

หากพิจารณารายตำบล พบว่าพื้นที่อ่อนไหวระดับสูงมาก พบใน ตำบลบ้านกาด ตำบลคอนเปา ตำบลทุ่งรวงทอง (อำเภอแม่วาง) ตำบลสันติสุข ตำบลยางคราม (อำเภอดอยหล่อ) ตำบลทุ่งสะโตก และตำบลท่าวังพร้าว (อำเภอสันป่าดอง) จากการวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ พบว่า ตำบลยางคราม อำเภอดอยหล่อ มีพื้นที่อ่อนไหวระดับสูงมากคิดเป็นพื้นที่มากที่สุดถึง 18.84 ตารางกิโลเมตร รองลงมา ได้แก่ ตำบลบ้านกาด อำเภอแม่วาง 11.88 ตารางกิโลเมตร (ตารางที่ และภาพที่ 6) ในขณะที่ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วางที่มีพื้นที่อยู่ในลุ่มน้ำแม่วางมากที่สุด มีพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมในระดับสูงมาก 18.48 ตารางกิโลเมตร และระดับสูง 2.58 ตารางกิโลเมตร

ตารางที่ 2 การคำนวณค่าดัชนีทางสถิติ

ปัจจัย	กลุ่ม/ช่วงชั้น	พื้นที่ทั้งหมด		พื้นที่น้ำท่วม		ค่าดัชนีทางสถิติ
		พิกเซล	ร้อยละ	พิกเซล	ร้อยละ	
ความสูง ภูมิประเทศ (เมตร)	283 - 485	168,310	26.56	7,676	100.00	1.33
	485 - 761	98,593	15.56	0	0.00	0.00
	761 - 998	137,670	21.73	0	0.00	0.00
	998 - 1,211	126,907	20.03	0	0.00	0.00
	1,211 - 1,523	80,436	12.69	0	0.00	0.00
	1,523 - 2,540	21,711	3.43	0	0.00	0.00
ความลาดชัน (องศา)	0 - 5.15	151,521	23.91	6,598	85.96	1.28
	5.15 - 10.89	136,640	21.56	1,014	13.21	-0.49
	10.89 - 16.76	133,345	21.04	46	0.60	-3.56
	16.76 - 23.12	112,702	17.79	15	0.20	-4.51
	23.12 - 31.23	73,184	11.55	3	0.04	-5.69
	31.23 - 61.85	26,235	4.14	0	0.00	0.00
ทิศทาง ด้านลาด (ทิศทาง)	Flat	77,634	12.25	1,032	13.44	0.09
	North	81,105	12.80	973	12.68	-0.01
	Northeast	76,824	12.12	944	12.30	0.01
	East	78,283	12.35	826	10.76	-0.14
	Southeast	72,603	11.46	889	11.58	0.01
	South	64,809	10.23	818	10.66	0.04
	Southwest	57,546	9.08	684	8.91	-0.02
	West	59,314	9.36	705	9.18	-0.02
ดัชนีความชื้น ภูมิประเทศ	2.87 - 5.36	217,408	34.31	121	1.58	-3.08
	5.36 - 6.77	216,487	34.17	2,612	34.03	0.00
	6.77 - 8.68	99,839	15.76	2,272	29.60	0.63
	8.68 - 11.16	50,996	8.05	1,169	15.23	0.64
	11.16 - 14.81	39,526	6.24	1,265	16.48	0.97
	14.81 - 24.08	9,371	1.48	237	3.09	0.74
ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)	1,236.42 - 1,380.83	79,744	12.59	7,676	100.00	2.07
	1,380.83 - 1,503.84	72,412	11.43	0	0.00	0.00
	1,503.84 - 1,618.82	93,273	14.72	0	0.00	0.00
	1,618.82 - 1,720.44	241,768	38.16	0	0.00	0.00
	1,720.44 - 1,822.06	74,774	11.80	0	0.00	0.00
	1,822.06 - 1,921.00	71,656	11.31	0	0.00	0.00

ตารางที่ 2 การคำนวณค่าดัชนีทางสถิติ (ต่อ)

ปัจจัย	กลุ่ม/ช่วงชั้น	พื้นที่ทั้งหมด		พื้นที่น้ำท่วม		ค่าดัชนีทางสถิติ
		พิกเซล	ร้อยละ	พิกเซล	ร้อยละ	
ดัชนีความแตกต่าง	-0.39 - 0.25	24,230	3.82	823	10.72	1.03
พืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์	0.25 - 0.37	70,569	11.14	2,779	36.20	1.18
	0.37 - 0.47	98,937	15.61	2,157	28.10	0.59
	0.47 - 0.57	115,741	18.27	1,416	18.45	0.01
	0.57 - 0.66	162,096	25.58	467	6.08	-1.44
	0.66 - 0.85	162,054	25.58	34	0.44	-4.06
การระบายน้ำของดิน	ดี	428,132	67.57	401	5.22	-2.70
	ดีปานกลาง ถึง ดี	51,251	8.09	97	1.26	-1.49
	ค่อนข้างเลว	107,150	16.91	1,705	22.21	0.20
	เลว	27,787	4.39	4,127	53.76	2.55
	ที่ลาดเชิงชัน/ชุมชน	19,307	3.05	1,346	17.54	1.72
ความหนาแน่นทางน้ำ (กม./ตร.กม.)	0.00 - 0.61	79,190	12.50	458	5.97	-0.74
	0.61 - 0.93	116,160	18.33	785	10.23	-0.58
	0.93 - 1.23	156,651	24.72	1,952	25.43	0.03
	1.23 - 1.52	147,993	23.36	1,700	22.15	-0.05
	1.52 - 1.88	100,938	15.93	2,168	28.24	0.57
	1.88 - 2.73	32,695	5.16	613	7.99	0.44
ความหนาแน่นถนน (กม./ตร.กม.)	0 - 0.52	243,234	38.39	0	0.00	0.00
	0.52 - 1.38	193,862	30.60	0	0.00	0.00
	1.38 - 2.67	86,301	13.62	0	0.00	0.00
	2.67 - 4.07	23,769	3.750	2	0.03	-4.97
	4.07 - 5.31	65,436	10.33	4,741	61.76	1.79
	5.31 - 7.34	21,025	3.32	2,933	38.21	2.44
การใช้ที่ดิน	ป่าไม่ผลัดใบ	412,612	65.12	11	0.14	-6.12
	ป่าผลัดใบ	95,663	15.10	218	2.84	-1.67
	นาข้าว	39,166	6.18	3,356	43.72	1.96
	พืชสวน/ไม้ผล	56,340	8.89	1,451	18.90	0.75
	แหล่งน้ำ	697	0.11	44	0.57	1.65
	พื้นที่เปิดโล่ง	7,109	1.12	588	7.66	1.92
	ชุมชน/สิ่งปลูกสร้าง	22,040	3.48	2,008	26.16	2.02

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วม

ระดับความอ่อนไหว	พื้นที่ทั้งหมด (ตร.กม.)	ร้อยละ ของพื้นที่ ทั้งหมด	พื้นที่ น้ำท่วม (ตร.กม.)	ร้อยละ ของพื้นที่ น้ำท่วม	RFD index
ระดับต่ำมาก (Very low)	175.57	30.79	0.00	0.00	0.00
ระดับต่ำ (Low)	174.87	30.66	0.00	0.01	0.00
ระดับปานกลาง (Moderate)	94.917	16.64	0.09	0.81	0.55
ระดับสูง (High)	59.81	10.49	0.72	6.48	7.03
ระดับสูงมาก (Very high)	65.11	11.42	10.24	92.71	92.41
รวม	570.27	100.00	11.04	100.00	100.00

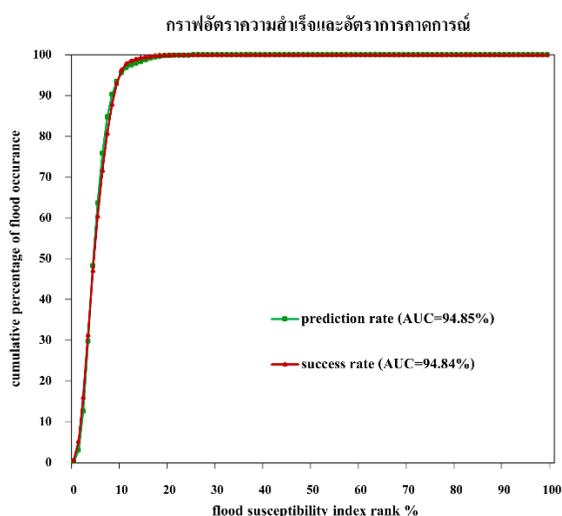
ตารางที่ 4 ผลการคำนวณพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วม รายตำบล

อำเภอ	ตำบล	พื้นที่จำแนกตามระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วม (ตร.กม.)				
		ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
แม่วาง	บ้านกาด	3.27	7.34	8.89	9.44	11.88
	ทุ่งปี	2.40	5.60	19.43	15.13	8.31
	ทุ่งรวงทอง	0.00	0.00	0.01	0.32	5.16
	ดอนเปา	0.60	1.98	5.55	5.61	4.27
	แม่วิน	168.11	158.90	57.77	18.48	2.58
คอยหล่อ	ยางคราม	0.10	0.55	2.98	7.25	18.84
	สันติสุข	0.16	0.09	0.13	3.22	11.71
สันป่าตอง	ท่าวังพร้าว	0.00	0.00	0.01	0.10	0.32
	ทุ่งสะโตก	0.00	0.00	0.00	0.07	1.83

5.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง พบว่า พื้นที่น้ำท่วมซ้อนทับกับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมระดับสูงมากร้อยละ 92.71 ของข้อมูลทั้งหมด และซ้อนทับกับระดับความอ่อนไหวระดับสูงร้อยละ 6.48 (ตารางที่ 3) และมีค่า

ความสัมพันธ์ (RFD) ของระดับสูงมากที่สุดที่ 92.41 และ ระดับสูงที่ 7.03 และเมื่อประเมินด้วยการหาพื้นที่ใต้เส้นโค้ง (AUC) มีค่าอัตราความสำเร็จ (Success rate) และ ค่าอัตราการคาดการณ์ (Prediction rate) ที่ร้อยละ 94.85 และ ร้อยละ 94.84 ตามลำดับ (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 ผลการประเมินอัตราความสำเร็จและอัตราการคาดการณ์

6. สรุปและอภิปรายผล

การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วม โดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับแบบจำลองดัชนีทางสถิติในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่วาง โดยศึกษาจากปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วมจำนวน 10 ปัจจัย ได้แก่ ความสูงภูมิประเทศ ความลาดชัน ทิศทางด้านลาด ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณแบบนอร์มอลไลซ์ ดัชนีความชื้นภูมิประเทศ ปริมาณน้ำฝน การระบายน้ำของดิน ความหนาแน่นทางน้ำ ความหนาแน่นถนน และการใช้ที่ดิน พบว่าพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมมากที่สุด ได้แก่ พื้นที่ที่มีการระบายน้ำเร็ว ซึ่งมีค่าดัชนีทางสถิติที่ 2.55 รองลงมา ได้แก่ พื้นที่ที่มีความหนาแน่นถนนช่วง 5.31 - 7.34 กม./ตร.กม. มีค่าดัชนีทางสถิติที่ 2.44 ผลการศึกษาสอดคล้องกับ ชิดาภักทร อนุชาญ และณัฐริกา ทองจิต (2563) และ Suppawimut (2021) การใช้ที่ดินประเภทชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเป็นประเภทที่มีระดับความ

อ่อนไหวสูง สอดคล้องกับ Waiyasusri et al. (2021) ที่พบว่าการใช้ที่ดินมีผลต่อความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมและพื้นที่ใกล้กับหมู่บ้านมีความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมสูงกว่า

ผลการศึกษาจากแบบจำลองในครั้งนี้ ได้แสดงถึงข้อดีจากการแสดงผลค่าดัชนีทางสถิติของกลุ่มปัจจัยส่งผลต่อการเกิดน้ำท่วมต่ำ โดยแสดงผลค่าดัชนีเป็นค่าติดลบ ดังกรณีของพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงจะมีความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมต่ำ เช่น ระดับความลาดชัน 16.76 -23.12 องศา มีค่าดัชนีทางสถิติ -4.51 และ 23.12-31.23 องศา มีค่าดัชนีทางสถิติที่ -5.59 ดังนั้นกลุ่มปัจจัยย่อยที่มีค่าคะแนนติดลบจะสะท้อนถึงความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมที่ต่ำกว่าช่วงชั้นหรือกลุ่มอื่นๆ ในปัจจัยเดียวกัน แต่ค่าเหล่านี้ไม่สามารถเปรียบเทียบกับปัจจัยหลักอื่น ๆ ได้โดยตรง (ธิดาภัทร อนุชาญ และณัฐริกา ทองจิต, 2563)

พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมในลุ่มน้ำแม่วางจัดอยู่ในระดับความอ่อนไหวสูงมาก ร้อยละ 11.42 ของพื้นที่ทั้งหมด และอยู่ในระดับความอ่อนไหวสูง ร้อยละ 10.49 ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีพื้นที่ลุ่มต่ำเป็นสัดส่วนน้อยกว่าพื้นที่ภูเขาสูง จึงไม่สอดคล้องกับสมมติฐานที่กล่าวว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมในระดับสูงและสูงมาก อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาสอดคล้องกับสมมติฐานที่กล่าวว่าพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมสูงและสูงมากอยู่บริเวณด้านตะวันออกของลุ่มน้ำ โดยพื้นที่ดังกล่าวมีสภาพพื้นที่เป็นที่ราบและลาดเอียงจากตะวันตกไปทางตะวันออก ซึ่งแม่น้ำวางไหลจากทางตะวันออกมารวมกับแม่น้ำขานก่อนไหลลงสู่แม่น้ำปิง บริเวณนี้เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยและพื้นที่เกษตรกรรม ที่อาจจะได้รับผลกระทบในอนาคต หากเกิดฝนตกหนักติดต่อกันและน้ำไหลลงสู่ที่ลุ่มต่ำด้านตะวันออก

ด้านการประเมินผลประสิทธิภาพของแบบจำลอง การศึกษาครั้งนี้มีผลการประเมินค่าอัตราความสำเร็จ (Success rate) ที่ ร้อยละ 94.85 และ อัตราการคาดการณ์ (Prediction rate) ที่ร้อยละ 94.84 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ว่า แบบจำลองมีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 80 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองดัชนีทางสถิติเป็นอีก

แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพและมีกระบวนการวิเคราะห์ที่ไม่สลับซับซ้อน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่น ๆ หรือการศึกษาประเมินภัยธรรมชาติประเภทอื่นได้ เช่น ไฟป่า และดินถล่ม ได้ นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับการศึกษาที่ ริคาทอร์ อนุชาญ และ ณัฐริกา ทองจิต (2563) ที่พบว่าวิธีการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง SI มีความถูกต้องในระดับสูง และสูงกว่า วิธีอัตราส่วนความถี่ (FR) และสอดคล้องกับ Cao et al. (2016) Suppawimut (2021) และ Tehrany et al. (2019) ที่ได้ผลประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองดัชนีทางสถิติระดับสูงเช่นกัน

จากที่กล่าวมาข้างต้นเห็นว่าแบบจำลองดัชนีทางสถิติ (SI) ให้ผลลัพธ์การประเมินความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น แบบจำลองนี้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีตมาใช้ในการเรียนรู้ ดังนั้น คุณภาพของข้อมูลและความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลจึงมีผลต่อการดำเนินการวิจัย อีกทั้งแบบจำลองนี้ ไม่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยว่า ปัจจัยหลักใดมีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วมมากที่สุด โดยเปรียบเทียบระดับคะแนนปัจจัยภายในกลุ่มเดียวกัน (Khosravi et al., 2016) หากการวิจัยต้องการเปรียบเทียบเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักอาจพิจารณาใช้แบบจำลองอื่น เช่น การวิเคราะห์แบบลำดับชั้น และการถดถอยโลจิสติก เป็นต้น (Waiyasusri et al., 2021)

แผนที่ผลลัพธ์ความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมในกลุ่มน้ำแม่วางนี้ สามารถนำไปใช้ประกอบการพิจารณาการวางแผนป้องกันการเกิดน้ำท่วม โดยพื้นที่ที่ควรเฝ้าระวังเป็นอย่างมากในฤดูฝนหรือช่วงที่มีฝนตกหนัก ได้แก่ ตำบลบ้านกาดและทุ่งปี อำเภอมะนัง ตำบลยางครามและตำบลสันติสุข อำเภอดอยหล่อ ตำบลทุ่งสะโตกและตำบลท่าวังพร้าว อำเภอสันป่าตอง การศึกษานี้ยังสามารถเป็นแนวทางการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเพื่อประกอบการจัดทำแผนการรับมือสาธารณภัยประเภทน้ำท่วมที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

7. ข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งต่อไปสามารถทำการเปรียบเทียบเพื่อหาผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจากแบบจำลองที่แตกต่างกัน หรือทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทางสถิติกับแบบจำลองจากการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine learning) เป็นต้น นอกจากนี้ ผู้วิจัยที่สนใจสามารถนำแบบจำลองดัชนีทางสถิติสามารถนำไปประยุกต์กับการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดภัยด้านอื่นเช่น การเกิดดินถล่ม และการเกิดไฟฟ้า เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา มิจิจริง, สาวิตตรี ทองกุ่ม, และธงชัย สุธีรศักดิ์. (2562). การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมและพื้นที่รับน้ำกรณีศึกษาพื้นที่ทางทิศใต้ของจังหวัดสุพรรณบุรี. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 29(3), 372-387.
- คณะกรรมการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติ. (2558). *แผนป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยแห่งชาติ พ.ศ.2558*. สืบค้นจาก http://www.disaster.go.th/upload/download/file_attach/55acacb4f1f7c.pdf
- ธิดาภัทร อนุชาญ, และณัฐริกา ทองจิต. (2563). การสร้างแผนที่ความอ่อนไหวในการเกิดน้ำท่วม โดยใช้วิธีอัตราส่วนความถี่และดัชนีทางสถิติ กรณีศึกษาจังหวัดนครสวรรค์. *วารสารวิชาการเพื่อการพัฒนานวัตกรรมเชิงพื้นที่*, 1(1), 19-30.
- ธีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ, และธนัทเดช โรจนกุศล. (2556). การเฝ้าระวังและติดตามสถานการณ์น้ำด้วยเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 32(2), 246-256.
- มนัส สุวรรณ. (2555). มหาอุทกภัยปี 2554: มุมมองของนักภูมิศาสตร์. *วารสารราชบัณฑิตยสถาน*, 27(4), 186-207.

- วรวิทย์ สุภวิมุติ. (2564). การวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ วิธีอัตราส่วนความถี่ และวิธีอัตราส่วนความถี่สัมพัทธ์ ในอำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์*. 20(2), 134-156. doi: 10.14416/j.appsci.2021.02.011
- สำนักประชาสัมพันธ์เขต 3 เชียงใหม่. (2564, กันยายน 24). *ปก.เชียงใหม่ ประสานหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเข้าช่วยเหลือประชาชนในพื้นที่อำเภอแม่วาง หลังจากฝนตกหนักต่อเนื่องในช่วงคืนวานนี้ทำให้ระดับน้ำจากลำน้ำแม่วางได้เอ่อล้นตลิ่ง*. สืบค้นจาก https://region3.prd.go.th/region3_ci/prchiangmai/news/38111
- ศิริกร ค้างพิบูลย์, ชงชัย สุธีรศักดิ์, รวี รัตนาคม และวันจิตรา โต้ะหวันหลง. (2561). การจำลองพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการวิเคราะห์อัตราส่วนความถี่ ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองหลังสวน ภาคใต้ ประเทศไทย. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 28(2), 259-272.
- Cao, C., Xu, P., Wang, Y., Chen, J., Zheng, L., & Niu, C. (2016). Flash flood hazard susceptibility mapping using frequency ratio and statistical index methods in coalmine subsidence areas. *Sustainability*, 8(9), 948. doi: <https://doi.org/10.3390/su8090948>
- Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). (2021, April 10). *2021 Disaster in numbers*. Retrieved from https://cred.be/sites/default/files/2021_EMDAT_report.pdf
- Khosravi, K., Pourghasemi, H. R., Chapi, K., & 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. *Environmental Monitoring and Assessment* 188(12), 656. doi: 10.1007/s10661-016-5665-9

- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R. & Fatemi Aghda, S. M. (2013). Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Natural Hazards*, 69(1), 749–79. doi: 10.1007/s11069-013-0728-5
- Suppawimut, W. (2021). GIS-based flood susceptibility mapping using statistical index and weighting factor models. *Environment and Natural Resources Journal*, 19(6), 481-493. doi: <http://dx.doi.org/10.32526/ennrj/19/202100>
- Tehrany, M. S., Kumar, L., Jebur, M. N., & Shabani, F. (2019) Evaluating the application of the statistical index method in flood susceptibility mapping and its comparison with frequency ratio and logistic regression methods. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1) , 79-101. doi: 10.1080/19475705.2018.1506509
- Waiyasuri, K., Kulpanich, N., Worachairungreung, M., Sae-Ngow P., & Chaysmithikul, P. (2021). Flood prone risk area analysis during 2005 – 2019 in Lam Se Bok Watershed, Ubon Ratchathani province, Thailand. *Geographia Technica*, 16(1), 141–53.