

การประยุกต์ใช้ดัชนีความชุ่มชื้นของดินร่วมกับปัจจัยกายภาพในการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม บริเวณลุ่มน้ำย่อยห้วยแม่ฮ่อมองหลวง จังหวัดแม่ฮ่องสอน

Application of Antecedent Precipitation Index and Topography Factor for Landslide Risk Area Assessment in Huai Mae U-Mong Luang Sub-watershed, Mae Hong Son Province, Thailand

ชิดชนก ปราบทุกษ์^{1,2}, ปิยพงษ์ ทองดินนอก^{1*} และนฤมล แก้วจำปา¹
Chidchanok Prabtook^{1,2}, Piyapong Tongdeenok^{1*} and Naruemol Kaewjampa¹

¹คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

²กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

²Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Chathuchak, Bangkok 10900

*Corresponding author, E-mail: fforppt@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 8 มิถุนายน 2567

Received: 8 June 2024

รับแก้ไข 19 กรกฎาคม 2567

Revised: 19 July 2024

รับลงพิมพ์ 1 สิงหาคม 2567

Accepted: 1 August 2024

ABSTRACT

A landslide is a natural disaster caused by the rapid movement of a mass of soil or rock down a slope. This phenomenon is influenced by slope and heavy rainfall, which act as catalysts for landslide occurrence. Currently, land use on steep slopes, particularly in high-quality watershed forests (classes 1 and 2), is an important issue. Primarily, such conversion involves the encroachment and clearing of upland forest areas for monoculture farming, especially for crops. Climate change and increased rainfall affect the amount of moisture and the area's ability to hold water. This study focused on the application of the antecedent precipitation index (API) for assessing landslide risk areas within the Huai Mae U-Mong Luang Sub-watershed, Mae Hong Son province, Thailand. Variations in the API were analyzed, with the findings being integrated with critical landslide risk factors using a weighted index factor derived from the pairwise comparison method. The assessment included the study of landslide risk under conditions of land use change and climate change, with verification conducted against the landslide assessment maps provided by the Department of Mineral Resources using the overall accuracy method.

Based on the results of the study, the maximum API reached 487.18 mm in September, while the minimum API was 10.90 mm in January, with an average API of 243.33 mm. Landslide risk areas at a very high level constituted 8.71% in August, followed by September and July at 2.04% and 1.43%, respectively. The verification accuracy was 90.91%. Projections for the year 2027 suggested that landslide risk areas will increase by 31.11% in upper agricultural lands, with the 5-year and 10-year rainfall return periods indicating increases in landslide risk areas by 8.71% and 8.44%, respectively. In conclusion, rainfall exerted a more significant influence on landslide occurrences than land use. Consequently, a balanced watershed management structure is imperative to mitigate the impacts of climate change and reduce landslide occurrences within the watershed.

Keywords: Antecedent precipitation index (API); Landslide; Landslide risk area assessment; Huai Mae U-Mong Luang Sub-watershed; Climate change

บทคัดย่อ

ดินถล่ม เป็น ภัยพิบัติที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของมวลดินหรือหินที่ไหลลงมาตามที่ลาดเขาอย่างรวดเร็ว โดยได้รับอิทธิพลจากความลาดชัน และปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยเร่งให้เกิดดินถล่ม ปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบนพื้นที่สูงชัน ซึ่งเป็นพื้นที่ป่าไม้ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้นที่ 1 และ 2 จากการบุกรุกแผ้วถางพื้นที่ป่าต้นน้ำเพื่อทำเกษตรเชิงเดี่ยวจำพวกพืชไร่ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อปริมาณความชื้นและความสามารถในการรองรับน้ำได้ของพื้นที่ การศึกษานี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (antecedent precipitation index, API) เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในบริเวณลุ่มน้ำย่อยห้วยแม่อุ้มองหลวง จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยวิเคราะห์ความผันแปรของค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน และนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับปัจจัยเสี่ยงภัยดินถล่ม โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบปัจจัยรายคู่และการถ่วงน้ำหนักในการประเมินความเสี่ยง ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสภาพภูมิอากาศ ตรวจสอบความถูกต้องของผลการประเมิน โดยการเปรียบเทียบกับแผนที่การประเมินความเสี่ยงภัยดินถล่มของกรมทรัพยากรธรณี โดยใช้วิธีความถูกต้องโดยรวม (overall accuracy)

ผลการศึกษาพบว่า ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินมีค่าสูงสุดที่ 487.18 มิลลิเมตรในเดือนกันยายน และมีค่าต่ำสุดที่ 10.90 มิลลิเมตรในเดือนมกราคม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 243.33 มิลลิเมตร พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในระดับสูงมากมีอัตราส่วนเท่ากับร้อยละ 8.71 ในเดือนสิงหาคม ในเดือนกันยายนและกรกฎาคมมีอัตราส่วนเท่ากับร้อยละ 2.04 และ 1.43 ตามลำดับ การตรวจสอบความถูกต้องโดยรวมมีค่าเท่ากับร้อยละ 90.91 นอกจากนี้ การคาดการณ์ในปี พ.ศ. 2570 พบว่าพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 31.11 ในพื้นที่เกษตรกรรมบนพื้นที่สูง และรอบการเกิดซ้ำ 5 ปี และ 10 ปี พบว่าพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.71 และ 8.44 ตามลำดับ ผลการศึกษาสรุปลได้ว่า ปริมาณน้ำฝนมีผลกระทบต่อการเกิดดินถล่มมากกว่าการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนั้นควรมีการจัดการโครงสร้างของระบบนิเวศลุ่มน้ำให้อยู่ในสถานภาพสมดุล เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและลดการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำ

คำสำคัญ: ดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (API) ดินถล่ม การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ลุ่มน้ำย่อยห้วยแม่อุ้มองหลวง การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

คำนำ

ประเทศไทยประสบกับภัยพิบัติดินถล่มบ่อยครั้งและมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น สร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน โดยภัยพิบัติดินถล่มเป็นภัยธรรมชาติที่เกิดจากการที่ดินสูญเสียเสถียรภาพจนเกิดการเคลื่อนที่ของวัสดุ ไหลไปตามแนวลาดชันเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มักเกิดขึ้นพร้อมกับการเกิดน้ำป่าไหลหลากในพื้นที่ที่มีฝนตกหนักโดยพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มมักเป็นพื้นที่ลาดเชิงเขา ที่ได้รับอิทธิพลจากความลาดชันเป็นตัวเร่งกระบวนการเกิดดินถล่ม (Soralump and Niumak, 2013) ดังเช่น เหตุภัยพิบัติน้ำป่าไหลหลากดินถล่มที่เกิดขึ้นบริเวณที่ราบเชิงเขาห้วยแม่อุ้มองหลวง อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน เมื่อปี พ.ศ. 2548 ที่ก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรง ส่งผลให้มี บ้านน้ำริน มีผู้เสียชีวิต 10 คน สูญหาย 3 คน และจากการรวบรวมสถิติการเกิดดินถล่มในอดีต พบว่า บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำ มีการเกิดดินถล่มซ้ำในพื้นที่ และบริเวณโดยรอบ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 จนถึงปี พ.ศ. 2557 (Department of Mineral Resources, 2011) จากปัญหาปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้น จากเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ไม่เหมาะสม ทำให้ปัญหาน้ำป่าไหลหลาก-ดินถล่ม ยังคงสร้างความเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สินของราษฎรตามที่ได้เกิดดินถล่มในปี พ.ศ.2563 จนถึง พ.ศ. 2566 (Naewna Post, 2020;2022;2023) ซึ่งสร้างความเสียหาย

การเข้าใจและการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยลดความเสียหายและความสูญเสียได้ อย่างไรก็ตาม การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยในอดีตมักขาดความแม่นยำและการคาดการณ์ที่ทันทั่วถึง ทำให้ไม่สามารถเตรียมความพร้อมในการรับมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การวิจัยนี้เสนอวิธีการประยุกต์ใช้ดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (antecedent precipitation index, API) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน จากการสะสมของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาก่อนหน้า เป็นค่าที่มีบทบาทสำคัญที่ใช้ประเมินความสามารถในการรองรับน้ำของดินในพื้นที่ โดยปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาจะลดเสถียรภาพของดินในพื้นที่ทำให้ดินมีเสถียรภาพต่ำ และอ่อนตัวลง เมื่อความชุ่มชื้นของดินถึงจุดวิกฤต มักนำไปสู่การเกิดภัยพิบัติดินถล่ม (Soralump et al., 2007) ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน จึงมีบทบาทสำคัญที่นำไปสู่การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยที่มีความถูกต้อง แม่นยำและความรวดเร็วในการเตือนภัยดินถล่มล่วงหน้ามากยิ่งขึ้น โดยสอดคล้องกับนโยบาย BCG (bio-circular-green economy) ซึ่งเป็นแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจที่ยั่งยืนของประเทศไทย วิธีการนี้เน้นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ การสร้างมูลค่าเพิ่มจากการใช้ทรัพยากรชีวภาพ โดยการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ และการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (National Science and Technology Development Agency (NSTDA), 2022) นอกจากนี้ ยังสนับสนุนการพัฒนา

เศรษฐกิจที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (sustainable development goals: SDGs) ขององค์การสหประชาชาติ โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 11: เมืองและชุมชนที่ยั่งยืน (sustainable cities and communities) และเป้าหมายที่ 13: การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate action) การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มจะช่วยให้เมืองและชุมชนสามารถเตรียมตัวและปรับตัวต่อภัยพิบัติลดความเสี่ยงและสูญเสียจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และเสริมสร้างความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม (Centre for SDG Research and Support: SDG Move, 2022)

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความผันแปรของดัชนีความชุ่มชื้นของดินและประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มโดยใช้วิธีดัชนีปัจจัยร่วม (weighted index method) เพิ่มความแม่นยำในการประเมินและเตือนภัยล่วงหน้า พร้อมทั้งเสนอแนวทางการจัดการพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มภายใต้นโยบาย BCG และเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) การวิจัยนี้จึงเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ทันสมัย เพื่อสร้างเมืองและชุมชนที่ยั่งยืนและลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติอย่างมีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำย่อยห้วยแม่อุ้มองหลวง อยู่ที่อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน มีขนาดเนื้อที่ 30.97 ตารางกิโลเมตร เป็นลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำแม่ปายตอนล่าง ซึ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำสาละวิน มีความสำคัญอย่างมากในการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับการเกิดดินถล่มเพื่อทำความเข้าใจและพัฒนาแนวทางในการป้องกันและลดความเสี่ยงจากการเกิดดินถล่มในพื้นที่ ด้วยเหตุผลหลายประการดังนี้

ลักษณะภูมิประเทศ

เป็นภูเขาสูงชันทางทิศตะวันออก มีความลาดชันสูงถึง 56 องศา ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความเสี่ยงในการเกิดดินถล่ม พื้นที่ที่มีความลาดชันสูงมักมีแนวโน้มที่จะเกิดดินถล่มได้ง่ายเมื่อมีปัจจัยเร่ง เช่น ฝนตกหนักหรือกิจกรรมมนุษย์

ลักษณะภูมิอากาศ

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่มากกว่าเท่ากับ 1,071.97 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งเป็นปริมาณน้ำฝนที่สามารถกระตุ้นให้เกิดดินถล่มได้ โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนที่ปริมาณน้ำฝนมีความเข้มข้นสูง

สภาพทางธรณีวิทยา

พื้นที่ประกอบด้วยหินกรวดมนซึ่งมีความมั่นคงต่ำและง่ายต่อการถูกกัดเซาะ ดินในพื้นที่เป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam, SCL) ที่มีคุณสมบัติในการระบายน้ำได้ดี แต่มักสูญเสียความมั่นคงเมื่อน้ำมาก

การใช้ประโยชน์ที่ดิน

มีการใช้ที่ดินในหลายรูปแบบ เช่น พื้นที่นาข้าว พื้นที่ปลูกพืชไร่ และพื้นที่ปลูกไม้ผล โดยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินและเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดดินถล่ม โดยเฉพาะเมื่อมีการทำไร่หมุนเวียนหรือการตัดไม้ทำลายป่า (Figure 1)

ความสูงจากระดับน้ำทะเล

พื้นที่นี้ระดับความสูงตั้งแต่ 695–1,788 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของความสูงนี้ส่งผลต่อการไหลของน้ำและความเสถียรของดิน

วิธีการ

การวิจัยนี้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การวิเคราะห์ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน 2) การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม 3) การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ภายใต้แบบเหตุการณ์จำลอง (scenario) (Figure 2)

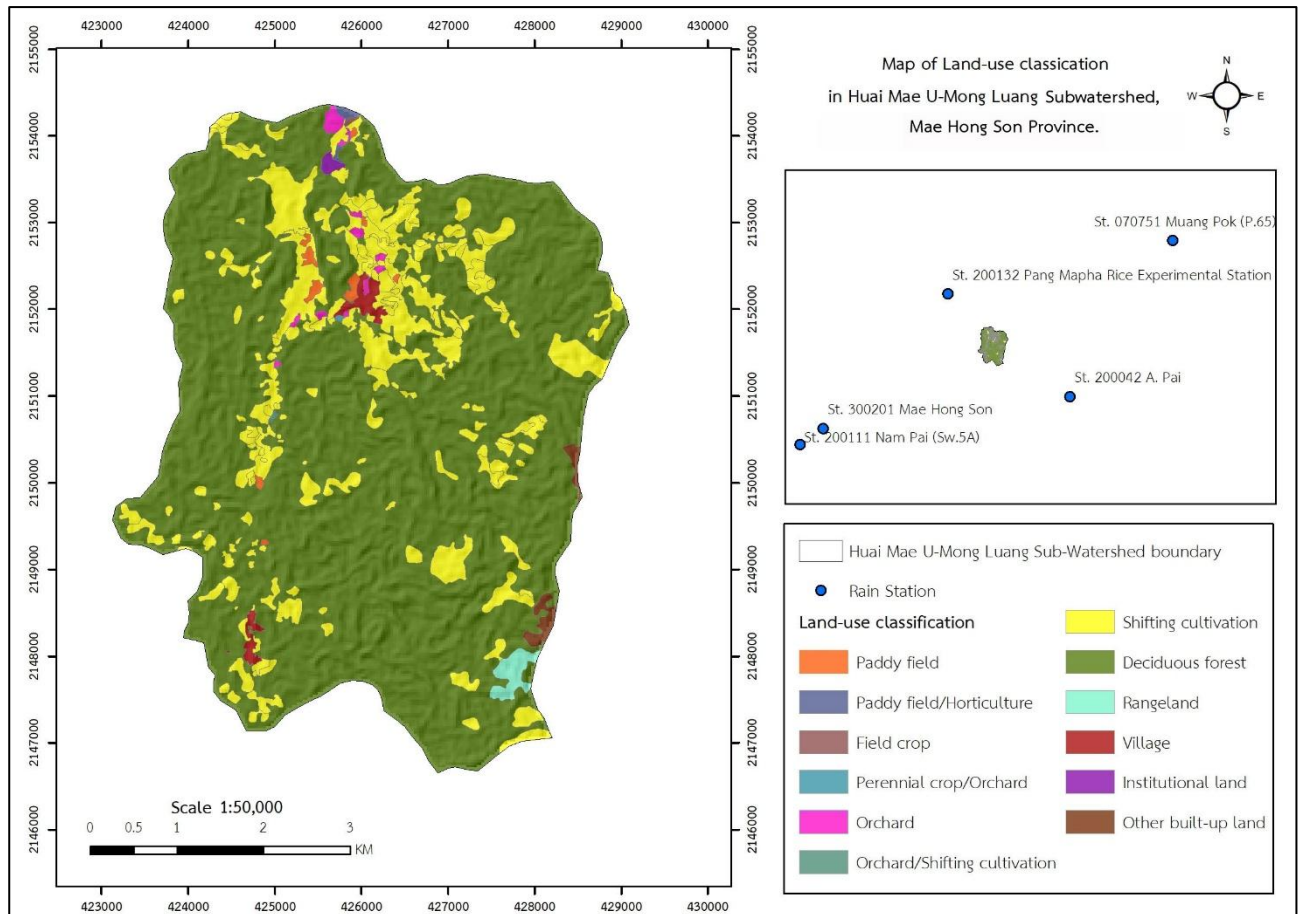


Figure 1 Land-use classification in 2021 in Huai Mae U-Mong Luang Sub-watershed, Mae Hong Son Province and location of nearest 5 weather stations

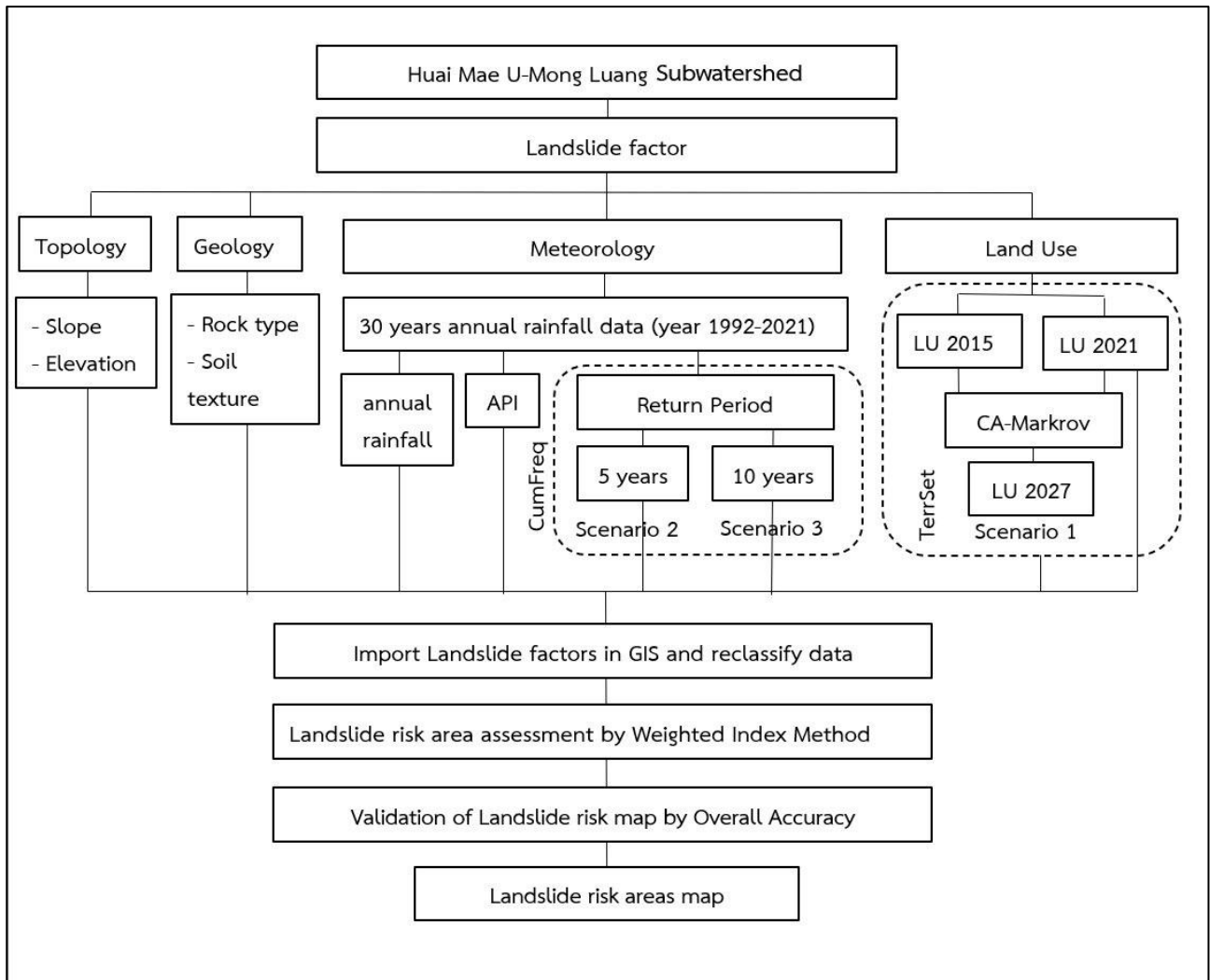


Figure 2 Process of landslide risk areas assessment

การวิเคราะห์ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน

ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความชื้นที่มีอยู่ในดิน โดยเป็นความชื้นที่เกิดจากการตกของฝนในวันก่อนหน้า ซึ่งปริมาณน้ำบางส่วนได้ระเหยกลับสู่ชั้นบรรยากาศและเป็นความชื้นที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ บางส่วนไหลลงสู่ลำธาร คงเหลือเป็นปริมาณความชื้นที่สะสมอยู่ในดิน โดยปกติมีค่าลดลงตามช่วงระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นหลังจากฝนหยุดตก ตามรูปแบบสมการของ (Linsley *et al.*, 1982) ดังสมการที่ (1) และ (2)

$$API_t = API_0 \times K_t \quad (1)$$

เมื่อ API_0 = ค่าเริ่มต้นของ API

P_t = ค่าของ API_0 ที่ลดลงตามเวลา t

K_t = ค่าคงที่คูณลด ณ เวลาใด ๆ

$$API_t = (K_t \times API_{t-1}) + P_t \quad (2)$$

เมื่อ API_t = ค่า API ณ เวลาใด ๆ (มิลลิเมตร)

API_{t-1} = ค่า API ของเวลาก่อนหน้า (มิลลิเมตร)

P_t = ค่าปริมาณน้ำฝน ณ เวลาใด ๆ (มิลลิเมตร)

K_t = ค่าคงที่คูณลด ณ เวลาใด ๆ ซึ่งค่า K หาได้จากสมการที่ (3)

$$K_t = \exp(-E_t/W) \quad (3)$$

เมื่อ E_t = การคายระเหย ณ เวลาใด ๆ

W = ค่าสูงสุดของปริมาณน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการคายระเหยน้ำ หรือ maximum soil water available (มิลลิเมตร) สามารถหาได้จากสมการที่ (4) ดังนี้

$$W = (WHC/100) \times (B.D. \times 100) \quad (4)$$

เมื่อ WHC = ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (ร้อยละ)

$B.D.$ = ความหนาแน่นรวมของดิน (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินวิกฤต ($API_{critical}$) เป็นค่าที่แสดงถึงศักยภาพสูงสุดของพื้นที่ในการรับรองได้ของดิน โดยสามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ (5) Soralump and Thaiyuenwong (2009)

$API_{critical}$

= ความลึกของดิน $\times$ ความชื้นในดินเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (5)

วิเคราะห์ความผันแปรของค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน โดยการทดสอบทางสถิติแบบไม่มีพารามิเตอร์ วิธี Mann-Kendall (MK) เพื่อศึกษาแนวโน้มของค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินและปริมาณน้ำฝน และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินและค่าปริมาณน้ำฝนรายวัน ด้วยวิธี Pearson correlation

การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มด้วยวิธีปัจจัยร่วม

รวบรวมข้อมูลและกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม Soralump and Thaiyuenwong (2009) ได้รวบรวมปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม จำนวนทั้งสิ้น 29 ปัจจัย ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ ได้เลือกปัจจัยเพื่อนำมาใช้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม จำนวน 6 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชัน ชนิดของหิน ลักษณะของเนื้อดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ระดับความสูง และปริมาณน้ำฝนสะสม โดยประยุกต์ร่วมกับค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินในบริเวณพื้นที่ที่ศึกษา

นำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาและกรมชลประทานในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษา ได้แก่ สถานี 300201 สถานีตรวจวัดอากาศแม่ฮ่องสอน สถานี 200042 สถานีอำเภอป่า 200111 สถานีน้ำปาย (Sw.5A) สถานี 200132 สถานีทดลองข้าวไร่และธัญพืชเมืองหนาวปางมะผ้า สถานี 07051 สถานีม่วงป๊อก (P.65) ทำการกำหนดตำแหน่งตามพิกัดภูมิศาสตร์ ในรูปแบบของจุด (point) แทรกค่าข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ลงในตารางข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (attribute data) บันทึกข้อมูลในรูปแบบข้อมูลเวกเตอร์ (vector) ทำการแปลงข้อมูลให้เป็นข้อมูลในรูปแบบราสเตอร์ (raster) ความละเอียดของข้อมูลเท่ากับ 30 เมตร $\times$ 30 เมตร และทำการประมาณค่าในช่วง (interpolation) ให้อยู่ในระบบกริดด้วยวิธี Inverse distance weighting (IDW)

นำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่ของแต่ละปัจจัยในโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcGIS version 10.4) จัดรูปแบบของข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลราสเตอร์ (raster) ความละเอียดของข้อมูลเท่ากับ 30 เมตร $\times$ 30 เมตร และนำเข้าโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์ข้อมูล ทำการแบ่งตามชั้นข้อมูล (reclassify) ของปัจจัยทั้งหมดที่ได้จัดเตรียมไว้ตาม

เกณฑ์การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม ของ Chantasorn (2012); Khiaosalap (2015); Jitpratum (2016) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลทั้งหมดพร้อมทั้งแก้ไขและปรับปรุงให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน (พื้นหลักฐานอ้างอิง WGS 1984 UTM Zone 47N)

การวิเคราะห์ข้อมูล

ประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม (weighted index method) โดยพิจารณาจากปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดดินถล่ม ให้ค่าถ่วงน้ำหนัก (weighting) ในแต่ละปัจจัยตามความสำคัญ และให้ค่าคะแนนและนำมาคำนวณรวมกับค่าถ่วงน้ำหนัก ผลการคำนวณแต่ละปัจจัยนำมารวมกันแล้วนำไปเปรียบเทียบกับระดับโอกาสเกิดดินถล่ม

กำหนดค่าคะแนนความสำคัญของปัจจัยหลัก โดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (analytic hierarchy process, AHP) เป็นวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจเลือกปัจจัยที่ดีที่สุด ในการกำหนดค่าคะแนนความสำคัญของปัจจัยหลักได้จากการให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการเกิดดินถล่มในหน่วยงานต่างๆ เป็นผู้ประเมินโดยทำการเปรียบเทียบปัจจัยทีละคู่ (pairwise comparison) ครบทุกคู่ของทุกปัจจัยในรูปแบบเมทริกซ์ (pairwise comparison matrix) ในการให้ค่าคะแนนระดับความสำคัญหรือความมีอิทธิพลต่อกันมีทั้งหมด 9 ระดับ ตามเกณฑ์ของ Saaty and Vargas (1980) ตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อมูล (consistency) โดยนำผลการให้คะแนนความสำคัญ ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบของแต่ละท่านมาทำการตรวจสอบจากสัดส่วนความสมเหตุสมผล (consistency; CR)

การคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญ (weight) ในแต่ละชั้นคำนวณหาค่ารวมของทุกสดมภ์ และมาหารด้วยค่ารวมของแต่ละสดมภ์ โดยผลรวมแต่ละสดมภ์ต้องเท่ากับ 1 จากนั้นคำนวณผลรวมของแต่ละแถวและหารด้วยจำนวนปัจจัย จึงได้คำตอบออกมาเป็นค่าคะแนนถ่วงน้ำหนัก และเมื่อเรียงลำดับผลลัพธ์ของน้ำหนักแต่ละปัจจัยตามคะแนนจากมากไปน้อย ปัจจัยที่มีคะแนนมากที่สุดจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุด

กำหนดค่าคะแนนความสำคัญและค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยย่อยที่ใช้ในการประเมิน ทำการจำแนกรายละเอียดของแต่ละปัจจัยตามอิทธิพลที่มีผลต่อการเกิดดินถล่ม โดยจำแนกจากปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุดไปจนถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มน้อยที่สุด กำหนดลำดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม รายละเอียดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มมากจะมีค่าลำดับความสำคัญมาก และรายละเอียดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มน้อย จะมีค่าลำดับความสำคัญน้อย (Table 1)

Table 1 Weighting factors affecting landslide susceptibility

Factor	Weighting	Importance Value		Source
		Detail	Ranking	
1. Slope (degree)	0.24	> 40°	5	Royal Thai Survey Department (2021)
		31°–40°	4	
		21°–30°	3	
		10°–20°	2	
		< 10°	1	
2. Geology	0.06	Biotite granite	5	Department of Mineral Resources (2021) <i>Mairaing et al. (2007)</i>
		Limestone	4	
		Phyllite	3	
		Conglomerate	2	
3. Soil unit	0.08	Soil unit 62	5	Land Development
		Soil unit 29E	4	Department (2022)
4. Land use	0.13	Field crop/ Shifting cultivation/	5	Land Development Department (2023)
		Paddy field/ Paddy field and Horticulture/	4	
		Perennial crop and Orchard/	3	
		Orchard/ Orchard and Shifting cultivation		
		Deciduous forest/ Rangeland	2	
		Village/ Institutional land/ Other built-up land	1	
5. Elevation (meter)	0.07	> 1,400	5	Earth Data (2021)
		1,201–1,400	4	
		1,001–1,200	3	
		801–1,000	2	
		< 800	1	
6. Average Rainfall (mm/month)	0.27	> 200	5	Royal Irrigation Department (2021) and Meteorological Department (2021)
		151–200	4	
		101–150	3	
		50–100	2	
		< 50	1	
7. API (mm)	0.15	> 300	5	Royal Irrigation Department (2021) and Meteorological Department (2021)
		251–300	4	
		201–250	3	
		151–200	2	
		< 150	1	

การวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม ค่าคะแนน
ระดับพื้นที่ดินถล่มคำนวณจากค่าน้ำหนักปัจจัยหลักคูณ
กับค่าลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยย่อย หาผลรวมของ
คะแนนทั้งหมดของทุกปัจจัย แสดงดังสมการที่ (6)

$$S = (W_1R_1) + (W_2R_2) + (W_3R_3) + \dots + (W_nR_n) \quad (6)$$

เมื่อ S = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

W_n = ค่าน้ำหนักของปัจจัยหลัก

R_n = ค่าคะแนนตามลำดับความสำคัญของ
รายละเอียดปัจจัยย่อย

n = จำนวนปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

โดยใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถจัดทำได้
จากนำผลรวมของคะแนนทั้งหมด มาแบ่งช่วงตามระดับพื้นที่

เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม นำคะแนนสูงสุด และต่ำสุดมาจัดชั้นข้อมูล โดยกำหนดความกว้างอันตรภาคชั้นเท่ากัน 5 ระดับ คือ พื้นที่เสี่ยงสูงมาก พื้นที่เสี่ยงสูง พื้นที่เสี่ยงปานกลาง พื้นที่เสี่ยงต่ำ และพื้นที่เสี่ยงต่ำมาก

การตรวจสอบความถูกต้องและความคลาดเคลื่อน โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม เปรียบเทียบกับข้อมูลแผนที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ของกรมทรัพยากรธรณี ปี 2564 ประเมินค่าความถูกต้องโดยรวม (overall accuracy) ดังสมการในสมการที่ 7

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\text{จำนวนกริดที่ประเมินถูกต้อง}}{\text{จำนวนกริดทั้งหมด}} \quad (7)$$

การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ภายใต้แบบจำลองเหตุการณ์ (Scenario)

การศึกษาในครั้งนี้ ทำการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ภายใต้เงื่อนไขของปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดดินถล่ม 2 ภาพเหตุการณ์ คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) กรณีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตอีก 7 ปี ข้างหน้า ด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2558 และปี พ.ศ. 2564 ที่ได้จากการรวบรวมของกรมพัฒนาที่ดิน มาวิเคราะห์เพื่อหาแนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2570 โดยใช้แบบจำลอง Markov Chain ในโปรแกรม TerrSet ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ในการวิเคราะห์รูปแบบการใช้ที่ดิน พ.ศ.2570 Eastman (2003) ได้กล่าวว่า แบบจำลองนี้สามารถใช้ได้ดีในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง และการสร้างภาพฉายอนาคตสำหรับประเมินสถานการณ์ในอนาคตได้เป็นอย่างดี

2) กรณีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนสูงสุดรายปีย้อนหลัง 30 ปี (พ.ศ. 2535-2564) ทั้งหมด 4 สถานี โดยรอบบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยแม่อุ้มองหลวงจากกรมชลประทาน ได้แก่ สถานี 20042 อำเภอปาย สถานี 200111 น้ำปาย (Sw.5A) สถานี 200132 ศูนย์ทดลองและวิจัยข้าวไร่ เมืองหนาวปางมะผ้า อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน สถานี 07751 เมืองป๊อก (P.65) เพื่อวิเคราะห์รอบการเกิดซ้ำของปริมาณน้ำฝนสูงสุดใน 5 ปีและ 10 ปี ในโปรแกรมวิเคราะห์ความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการกระจายความน่าจะเป็น (CumFreq)

ผลและวิจารณ์

การศึกษาดัชนีความชุ่มชื้นของดินเพื่อประยุกต์ใช้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม บริเวณลุ่มน้ำย่อย

ห้วยแม่อุ้มองหลวง อำเภอปางมะผ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยการศึกษารายละเอียดของข้อมูลปัจจัยต่าง ๆ ในปี พ.ศ. 2564 สามารถอธิบายผลการศึกษาดังรายละเอียด ต่อไปนี้

การวิเคราะห์ดัชนีความชุ่มชื้นของดิน

ปัจจัยทางด้านปริมาณน้ำฝนในพื้นที่

จากการศึกษาข้อมูลปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชุ่มชื้นของดินในพื้นที่ พบว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยย้อนหลัง 30 ปี (พ.ศ. 2535-2564) มีค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเท่ากับ 1,175.20 มิลลิเมตร โดยมีปริมาณน้ำฝนสูงสุดในเดือนสิงหาคม โดยมีค่าเท่ากับ 236.23 มิลลิเมตร ซึ่งส่งผลให้ดินในช่วงนี้มีความชุ่มชื้นสูงสุดและเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดดินถล่มเนื่องจากดินอิ่มตัวด้วยน้ำ เดือนที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำสุดของปีคือเดือนกุมภาพันธ์ โดยมีค่าเท่ากับ 5.86 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้ดินมีความชุ่มชื้นต่ำสุดในช่วงนี้และมีความเสี่ยงต่ำในการเกิดดินถล่ม โดยพบว่า ความชุ่มชื้นของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยแม่อุ้มองหลวงมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละเดือน โดยเฉพาะในช่วงที่มีฝนตกหนักเช่นเดือนสิงหาคม ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงในการเกิดดินถล่มสูงสุด

ความผันแปรของดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (antecedent precipitation index, API)

1) การวิเคราะห์ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (API) รายเดือนพบว่า ค่า API เฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 243.33 มิลลิเมตร โดยมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายน เท่ากับ 487.18 มิลลิเมตร รองลงมา คือ เดือนสิงหาคมและเดือนตุลาคม ซึ่งมีค่า API เท่ากับ 466.47 และ 423.69 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนเดือนที่มีค่า API ต่ำที่สุดคือ เดือนมกราคม โดยมีค่าเท่ากับ 10.90 มิลลิเมตร โดยพบว่า ค่า API มีความสอดคล้องกับค่าปริมาณน้ำฝนที่ตกสะสมตั้งแต่พฤษภาคมจนถึงเดือนสิงหาคม โดยมีปริมาณน้ำฝนสูงสุดในเดือนสิงหาคมเท่ากับ 236.23 มิลลิเมตร รองลงมาคือเดือนกรกฎาคมและเดือนกันยายน ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 194.22 และ 187.98 มิลลิเมตรตามลำดับ ทำให้ค่า API ในเดือนกันยายนมีค่าสูงที่สุดเนื่องมาจากปริมาณน้ำฝนที่ตกสะสมอย่างต่อเนื่องในช่วงฤดูฝน ทำให้ดินมีปริมาณความชุ่มชื้นสูง ค่า API จึงมีค่าสูงตามไปด้วย ส่วนช่วงฤดูแล้งฝน พบว่า ค่าปริมาณฝนที่ตกหลังเดือนตุลาคมต่อเนื่องเดือนพฤศจิกายนและธันวาคม มีค่าน้อย จึงทำให้ค่าความชื้นที่สะสมในดินมีค่าลดลง ส่งผลให้เดือนมกราคมมีค่า API ต่ำที่สุดเท่ากับ 10.90 มิลลิเมตร โดยค่า API มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน และค่าคงที่คูณลด ค่า API มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำฝน และค่าคงที่คูณลดเพิ่มขึ้น และเมื่อมีปริมาณน้ำฝนตกสะสมกันเป็นระยะเวลาสั้น ค่าคงที่คูณลดมีค่าสูง จะส่งผลให้ค่า API มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ปัจจัยของ ปริมาณน้ำฝน และค่าคงที่คูณลด จึงเป็นปัจจัย

สำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำฝน และค่าคงที่คูณลด มีบทบาทสำคัญในการควบคุมค่า API

2) การศึกษาค่า API รายฤดูกาลแสดงให้เห็นถึงความผันแปรที่ชัดเจน โดยในช่วงฤดูน้ำหลาก (พฤษภาคมถึงตุลาคม) ค่า API มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำฝนและค่าคงที่คูณลด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 369.67 มิลลิเมตร โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 204.13 ถึง 487.18 มิลลิเมตร ในเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงฝนแรก ค่า API เท่ากับ 204.13 มิลลิเมตร จากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนสิงหาคม โดยมีค่า API เดือนมิถุนายน กรกฎาคม และสิงหาคมเท่ากับ 272.28, 364.3 และ 466.47 มิลลิเมตร ตามลำดับ ก่อนจะมีค่าเพิ่มสูงสุดในเดือนกันยายน โดยมีค่าเท่ากับ 487.18 มิลลิเมตร เนื่องจากการตกสะสมของปริมาณน้ำฝนอย่างต่อเนื่องในช่วงฤดูฝน และการเพิ่มขึ้นของค่าคงที่คูณลดตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือน

สิงหาคม จากนั้นปริมาณน้ำฝนจะเริ่มลดลง ทำให้ค่า API ลดลงเล็กน้อยในเดือนตุลาคม โดยมีค่าเท่ากับ 423.69 มิลลิเมตร ส่วนในช่วงฤดูแล้งฝน (พฤศจิกายนถึงเมษายน) พบว่าค่า API มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณน้ำฝน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 12.79 ถึง 333.05 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 116.98 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำฝนเริ่มลดลงตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม ทำให้ค่าความชื้นของดินจึงลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าต่ำสุดในเดือนมกราคม เท่ากับ 10.19 มิลลิเมตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lekprasoet *et al.* (2021) ที่พบว่าค่า API รายวันมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำฝนของวันที่ทำการศึกษาและความชื้นที่มีอยู่ในดินก่อนหน้านี้ โดยเมื่อมีฝนตกจะทำให้ความชื้นในดินเพิ่มขึ้น หากอัตราการคายระเหยน้ำลดลงจะส่งผลให้ค่าคงที่คูณลดรายวันสูงขึ้น ทำให้ค่า API สูงขึ้น (Figure 3)

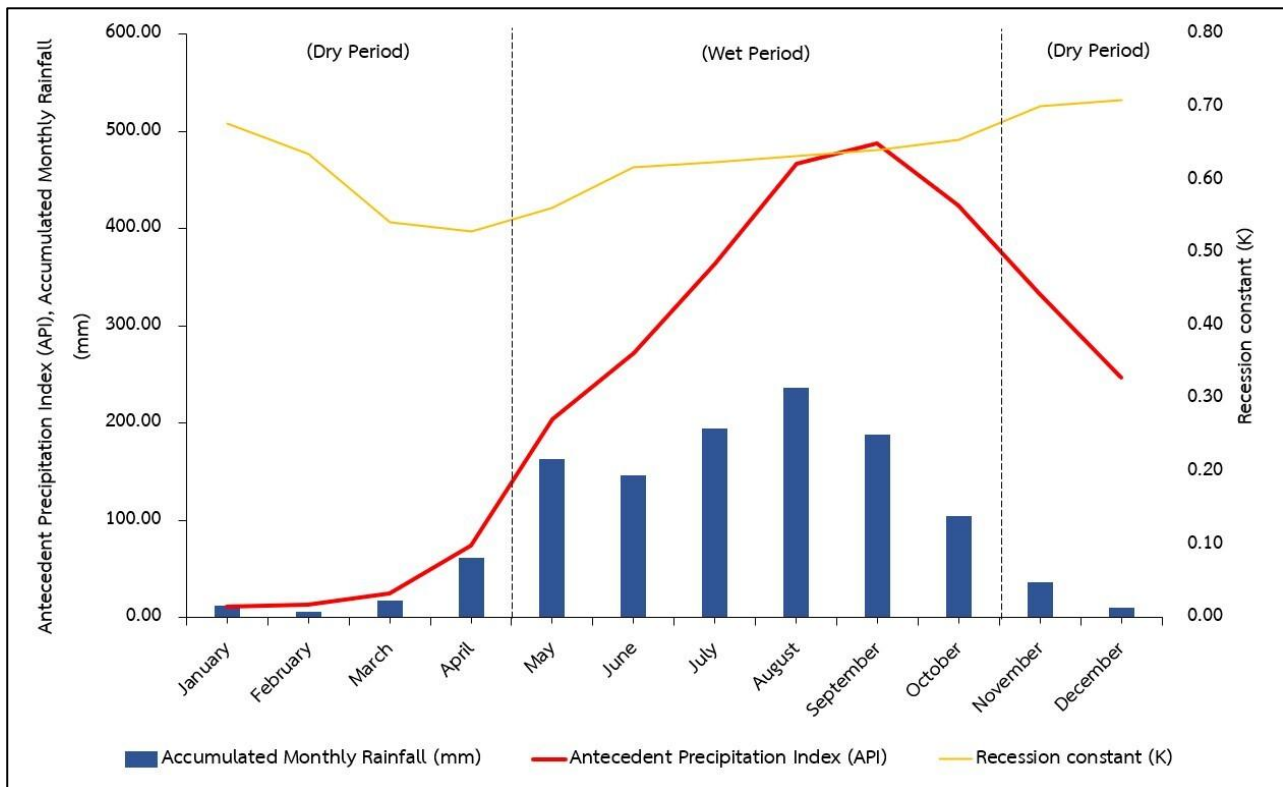


Figure 3 Variation of antecedent precipitation Index (API) and accumulated monthly rainfall (mm) in 2021 at Huai Mae U-Mong Luang Sub-watershed, Mae Hong Son province

การวิเคราะห์แนวโน้มค่า API รายวันในปี พ.ศ. 2564 ในพื้นที่ศึกษาด้วยวิธี Mann-Kendall (MK) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่า API และค่าปริมาณน้ำฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า z เท่ากับ 4.95 และ 4.26 ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า API และค่าปริมาณน้ำฝนด้วยวิธี Pearson correlation พบว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.78 ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึง

ความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างปริมาณน้ำฝนและค่า API โดยเฉพาะในช่วงฤดูน้ำหลากค่า API มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำฝน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lekprasoet *et al.* (2021) ที่พบว่าค่า API เปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินก่อนหน้านี้ นอกจากนี้ ผลการศึกษายังชี้ให้เห็นว่าความชื้นในดินมีบทบาทสำคัญในกระบวนการระเหย ซึ่งส่งผลต่อระดับความร้อนและความชื้นในบรรยากาศ

การประยุกต์ใช้ดัชนีความชุ่มชื้นของดินในการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษาพบว่าปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุด โดยมีค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.27 รองลงมาได้แก่ ความลาดชัน ค่า API การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะของเนื้อดิน ระดับความสูง และชนิดของหิน โดยมีค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.24, 0.15, 0.13, 0.07, 0.06 และ 0.06 ตามลำดับ

ปริมาณน้ำฝนมีผลโดยตรงต่อปริมาณความชื้นในดิน เมื่อปริมาณน้ำฝนเข้าสู่ช่องว่างในดิน ดินจะอิ่มตัวไปด้วยน้ำ ส่งผลให้น้ำหนักมวลมากกว่าแรงต้านทานการไหล ซึ่งนำไปสู่การเกิดดินถล่มในเวลาต่อมา Jumruang *et al.* (2022) พบว่าการเคลื่อนตัวของมวลดินระดับตื้น (0.5–1.0 เมตร) จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อมีปริมาณน้ำฝนสะสม 600 มิลลิเมตรในช่วงเวลา 3 เดือน ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Mtibaa and Tsunetaka (2023) ที่พบว่าความชื้นของฝน ระยะเวลา และการกระจายตัวของฝน มีผลต่อการเกิดแผ่นดินถล่มอย่างมีนัยสำคัญ

ค่าคะแนนระดับพื้นที่เสี่ยงภัยต่อการเกิดดินถล่ม

จากการศึกษาพบว่า การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มรายเดือนของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยแม่อุ้มองหลวง โดยใช้ดัชนีความชุ่มชื้นของดินมาประยุกต์ ด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม ในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม สามารถแบ่งระดับความเสี่ยงภัยออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ พื้นที่เสี่ยงภัยระดับสูงมาก (4.22–4.93) พื้นที่เสี่ยงภัยระดับสูง (3.50–4.21) พื้นที่เสี่ยงภัยระดับปานกลาง (2.78–3.49) พื้นที่เสี่ยงภัยระดับต่ำ (2.06–2.77) พื้นที่เสี่ยงภัยระดับต่ำมาก (1.34–2.05) (Table 2)

Table 2 Landslide hazard scores in Huai Mae U–Mong Luang Sub–watershed, Mae Hong Son province

Landslide hazard level	Score
Very high risk	4.22–4.93
High risk	3.50–4.21
Moderate risk	2.78–3.49
Low risk	2.06–2.77
Very low risk	1.34–2.05

การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม

จากการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม พบว่า เดือนสิงหาคมมีระดับความเสี่ยงสูงที่สุดในการเกิดดินถล่ม รองลงมาคือเดือนกรกฎาคมและเดือนกันยายน โดยมีค่าการกระจายพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับสูงมากต่อพื้นที่เท่ากับร้อยละ 8.71 2.04 และ 1.43 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ตามลำดับ (Figure 4) พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุดเป็นพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นที่ ซึ่งมีค่าสูงที่สุดในเดือนสิงหาคม เนื่องจากปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน จึงพบว่าค่าดัชนีความชุ่มชื้นในดินมีค่ามากที่สุดในเดือนสิงหาคมเช่นกัน นอกจากนี้ พื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 30 องศาและความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 1,201–1,400 เมตร ยังเป็นปัจจัยคงที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม Yongsiri *et al.* (2023) พบว่า ความลาดชันเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดดินถล่ม โดยพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงจะมีโอกาสสูญเสียเสถียรภาพและเกิดดินถล่มได้ง่ายกว่าพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำ สอดคล้องกับการศึกษาของ Rajabian (2023) ที่พบว่า องศาของความลาดชันมีผลต่อการเกิดและรูปแบบของดินถล่ม โดยความลาดชันที่ 30–35 องศาส่งผลให้เกิดดินถล่มเนื่องจากสูญเสียเสถียรภาพ Duangpiiboon (2010) กล่าวว่า ความสูงมีความสอดคล้องกับความลาดชัน โดยบริเวณที่มีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลมากจะเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง โอกาสเกิดดินถล่มได้ง่าย Kohno and Higuchi (2023) ได้ทำการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในหมู่เกาะญี่ปุ่น พบว่า ที่ระดับความสูง 400–2,000 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีพื้นที่ดินถล่มประมาณร้อยละ 7–8 โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อิทธิพลจากชนิดหินที่ประกอบไปด้วยหินกรวดมนขนาดใหญ่การจัดกระจายตามพื้นผิว ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างดินมาก ประกอบกับลักษณะของเนื้อดินแบบดินร่วนเหนียวปนทรายที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี ส่งผลให้พื้นที่สามารถกักเก็บความชื้นไว้ในดินได้ค่อนข้างมาก โดยอัตราการคายระเหยในเดือนดังกล่าวมีค่าต่ำ สอดคล้องกับ Ahmad *et al.* (2022) พบว่าเนื้อดินมีผลต่อภัยพิบัติทางอุตุนิยมวิทยา เป็นปัจจัยที่มีทำให้เกิดดินถล่มมากขึ้น

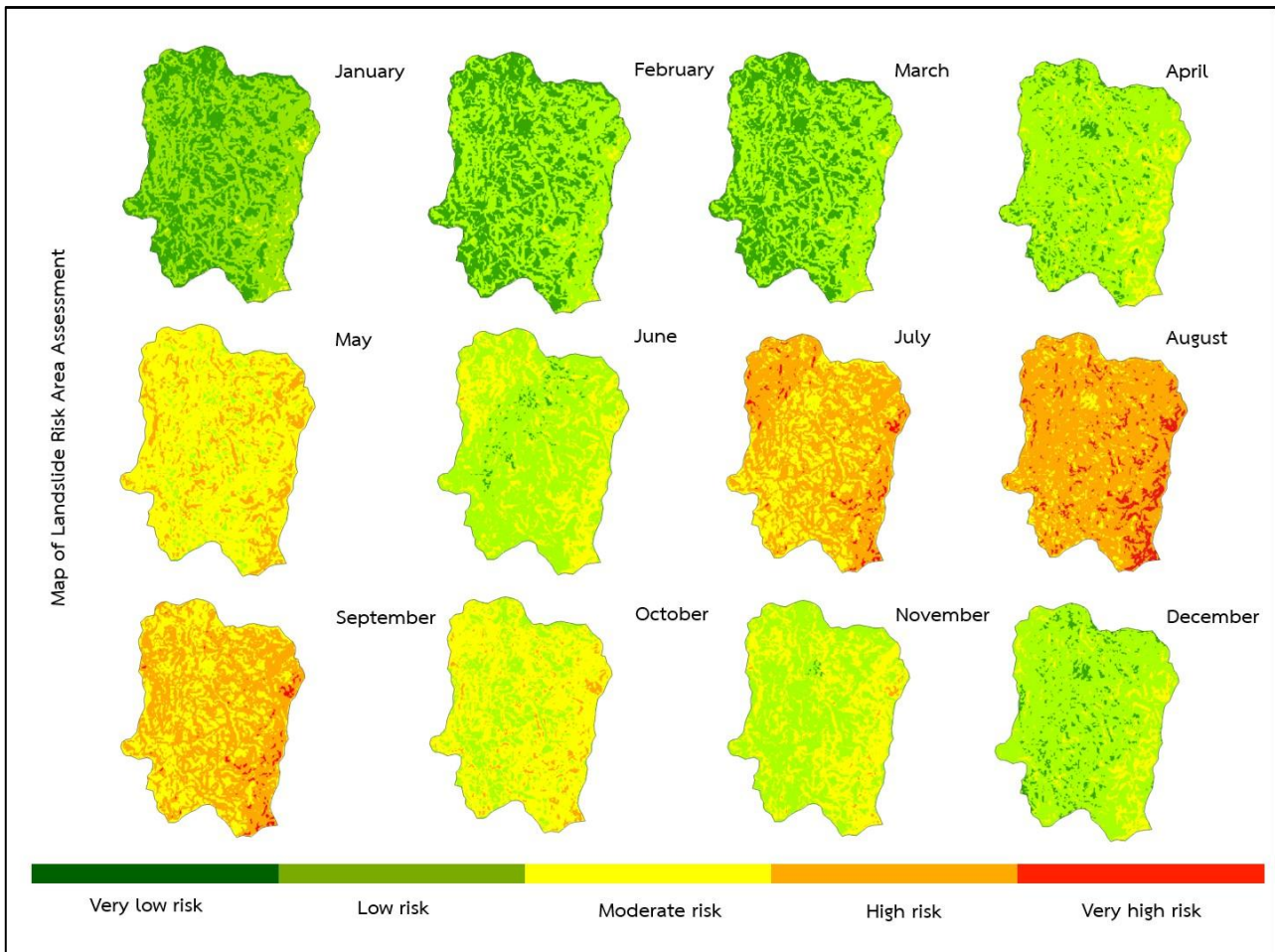


Figure 4 Landslide hazard areas by risk class using weight factor index method in Huai Mae U-Mong Luang Sub-watershed, Mae Hong Son province

พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในระดับสูงและสูงมากได้รับอิทธิพลจากการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบไร่หมุนเวียนที่มีการเปิดพื้นที่และถูกปล่อยพักไว้เพื่อรอการทำการเกษตรกรรม ส่งผลให้พื้นที่ขาดสิ่งปกคลุมดิน สอดคล้องกับ Hu et al. (2023) ที่ได้ทำการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของการเกิดดินถล่มเชิงพื้นที่ และพบว่าอัตราการการเกิดดินถล่มมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับประเภทการใช้ที่ดินหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.7 นอกจากนี้ ประเภทการใช้ที่ดินที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของมนุษย์ เช่น พืชพรรณที่เพาะปลูก มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดดินถล่มในช่วงฤดูฝน โดยพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ไม่เหมาะสมบนเนินเขามีแนวโน้มที่จะเกิดแผ่นดินถล่มได้ง่าย (Xu et al., 2023) เมื่อพื้นที่ได้รับอิทธิพลจากปริมาณน้ำฝนซึ่งเป็นตัวเร่งให้เกิดดินถล่ม ความชื้นในดินของวันก่อนหน้าทำให้ดินมีน้ำหนักรวมมากขึ้นจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา พื้นที่ไม่สามารถรับน้ำหนักของมวลดินได้ ทำให้หน่วยแรงผลักดันจากน้ำหนักดิน (shear stress) มีค่ามากกว่าหน่วยแรงต้านทานการไถตามแนวพังทลาย (shear strength) ส่งผลให้ค่าปัจจัยความปลอดภัย (factor of

safety, FS) ต่ำ และเกิดดินถล่มได้ Thummasorn (2020) สอดคล้องกับ Chatsudarat (2021) พบว่า ปริมาณฝนก่อนหน้าที่มีปริมาณมากที่สุดและเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มสูงที่สุด

การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างปริมาณน้ำฝน ความลาดชัน ความสูงของพื้นที่ และลักษณะของเนื้อดินต่อการเกิดดินถล่ม ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าปริมาณน้ำฝนในเดือนสิงหาคมเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ความชุ่มชื้นในดินเพิ่มขึ้นมากที่สุด และพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงและความสูงจากระดับน้ำทะเลสูงมีโอกาสเกิดดินถล่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า (Yongsiri et al., 2023; Rajabian, 2023; Kohno and Higuchi, 2023) นอกจากนี้ ผลการศึกษานี้เน้นถึงผลกระทบของการใช้ที่ดินแบบไร่หมุนเวียนที่ส่งผลให้พื้นที่ขาดสิ่งปกคลุมดิน ทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มสูงขึ้น การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของระบบ GIS ยังยืนยันว่าประเภทการใช้ที่ดินมีความสัมพันธ์กับการเกิดดินถล่มอย่างมีนัยสำคัญ (Hu et al., 2023; Xu et al., 2023)

การตรวจสอบความถูกต้อง

จากการศึกษาพบว่า การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยแม่อุ้มองหลวงด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วมเปรียบเทียบกับแผนที่เสี่ยงภัยที่ประเมินจากกรมทรัพยากรธรณี ตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ด้วยการใช้ค่า Overall accuracy เป็นดัชนีตรวจสอบเพื่อวัดความสอดคล้องทางสถิติพบว่า การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม มีค่า Overall accuracy อยู่ในระดับสูงมาก โดยมีค่าเท่ากับ 0.91 หรือร้อยละ 90.91 แสดงว่า การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม มีการจำแนกพื้นที่เสี่ยงภัยบนพื้นที่ได้อย่างถูกต้อง

การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ภายใต้แบบจำลองเหตุการณ์ (scenario)

การคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2570

การคาดการณ์แนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินจากปี พ.ศ. 2558 จนถึงปี พ.ศ. 2570 พบว่า พื้นที่เกษตรกรรมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2558 พื้นที่เกษตรกรรมมีขนาด 5.47 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 17.66 ต่อมาในปี พ.ศ. 2564 ขนาดพื้นที่เพิ่มขึ้นเป็น 5.53

ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 17.87 และในปี พ.ศ. 2570 พื้นที่เกษตรกรรมเพิ่มขึ้นอีกเป็น 5.55 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 17.92 ในทางกลับกัน พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2558 มีขนาดพื้นที่ 0.43 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 1.40 ลดลงเหลือ 0.40 ตารางกิโลเมตรในปี พ.ศ. 2564 คิดเป็นร้อยละ 1.29 และในปี พ.ศ. 2570 ลดลงเหลือ 0.36 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 1.18 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี พ.ศ. 2558 และปี พ.ศ. 2570 พบว่า พื้นที่เกษตรกรรมมีการขยายตัวมากที่สุด จากร้อยละ 17.66 ในปี พ.ศ. 2558 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 17.92 ในปี พ.ศ. 2570 การเพิ่มขึ้นนี้เกิดจากลักษณะการทำเกษตรกรรมของชาติดินร่วนซุยหรือกลุ่มชาติดินชั้นบนพื้นที่สูงที่ใช้ระบบหมุนเวียนธาตุอาหารตามธรรมชาติ (ไร่หมุนเวียน) ซึ่งเน้นการผลิตรายละและปล่อยให้พักระยะยาวจนดินฟื้นคืนความอุดมสมบูรณ์ โดยเฉลี่ยแล้วมีการพักพื้นที่ไม่ต่ำกว่า 7-12 ปี การทำการเกษตรเช่นนี้ทำให้พื้นที่เกษตรกรรมถูกปล่อยร้างและขาดสิ่งปกคลุมดิน ส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มได้ง่าย (Boonchai, 2016) (Table 3)

Table 3 Land-use classification areas in 2015, 2021 and 2027 in Huai Mae U-Mong Luang Sub-watershed, Mae Hong Son province

Land-use classification	2015		2021		2027	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Agriculture land	5.47	17.66	5.53	17.87	5.55	17.92
Forest land	24.88	80.35	24.86	80.27	24.87	90.31
Miscellaneous land	0.18	0.58	0.18	0.58	0.18	0.59
Urban and built-up land	0.43	1.40	0.40	1.29	0.36	1.18
Total	30.97	100.00	30.97	100.00	30.97	100.00

เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในปี พ.ศ. 2564 พบว่าในปี พ.ศ. 2570 มีพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับต่ำ ปานกลาง และระดับสูงเพิ่มขึ้น โดยพื้นที่เสี่ยงภัยระดับสูงเพิ่มจาก 4.59 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2564 เป็น 4.60 ตารางกิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2570 คิดเป็นร้อยละ 0.03 การเพิ่มขึ้นของระดับพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มทั้งหมดในปี

พ.ศ. 2570 มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 3.98 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 31.11 เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินบนสภาพภูมิประเทศภูเขาสูงชัน ลักษณะหินที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ และการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน ทำให้พื้นที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มเพิ่มขึ้น (Rita *et al.*, 2023) (Table 4)

Table 4 Proportion of landslide hazard areas in Huai Mae U–Mong Luang Sub–watershed, Mae Hong Son province and change from 2021 to 2027

Landslide hazard	2021		2027		Landslide hazard change 2021–2027	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Very high risk	1.70	5.49	1.70	5.49	0.00	0.00
High risk	4.59	14.82	4.60	14.85	+ 0.01	+ 0.03
Moderate risk	7.28	23.54	7.31	23.60	+ 0.03	+ 0.10
Low risk	10.54	34.03	10.60	34.23	+ 0.06	+ 0.19
Very low risk	6.86	6.79	6.76	21.83	– 0.10	– 0.32
Total	30.97	100.00	30.97	100.00		

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงของภูมิประเทศต่อการประเมินความเสี่ยงดินถล่ม การขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรมโดยเฉพาะการทำการเกษตรแบบหมุนเวียนของชาวชาติพันธุ์กะเหรี่ยง เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มเพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นที่เกษตรกรรมถูกปล่อยร้างและขาดสิ่งปกคลุมดิน ทำให้ความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มสูงขึ้น นอกจากนี้ การลดลงของพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างยังชี้ให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในลักษณะการใช้ที่ดินที่อาจส่งผลต่อความเสี่ยงจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Baiku *et al.* (2021) พบว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เกษตรกรรมพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่แหล่งน้ำ ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน และส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแควน้อยตอนบนเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rita *et al.* (2023) ที่ชี้ให้เห็นว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยเฉพาะกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การปลูกพืช มีบทบาทสำคัญในการประเมินและลด

ความเสี่ยงจากการเกิดดินถล่ม การใช้ข้อมูลย้อนหลังและการคาดการณ์ในอนาคตเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์แนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เสี่ยงภัย

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในรอบการเกิดซ้ำปี 5 และปีที่ 10

จากการประมาณค่ารอบการเกิดซ้ำของปริมาณน้ำฝนสูงสุดในรอบ 5 ปี โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนสูงสุดรายวันย้อนหลัง 30 ปี (พ.ศ. 2535–2564) จาก 4 สถานีรอบพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยห้วยแม่อุ้มมองหลวง พบว่า รอบการเกิดซ้ำของปริมาณน้ำฝนสูงสุดในรอบ 5 ปี มีโอกาสเกิดปริมาณน้ำฝนสูงสุดอยู่ระหว่าง 67.11–99.95 มิลลิเมตรต่อวัน อย่างน้อย 1 ครั้งในรอบ 5 ปี ส่วนในรอบ 10 ปี มีโอกาสเกิดปริมาณน้ำฝนสูงสุดอยู่ระหว่าง 81.5–118.44 มิลลิเมตรต่อวัน อย่างน้อย 1 ครั้งในรอบ 10 ปี เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำฝนสูงสุดรายวันในรอบปีการเกิดซ้ำปีที่ 5 และปีที่ 10 พบว่ามีปริมาณน้ำฝนสะสมรายวันเฉลี่ย 76.48 มิลลิเมตรต่อวัน และ 91.19 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ (Figure 5)

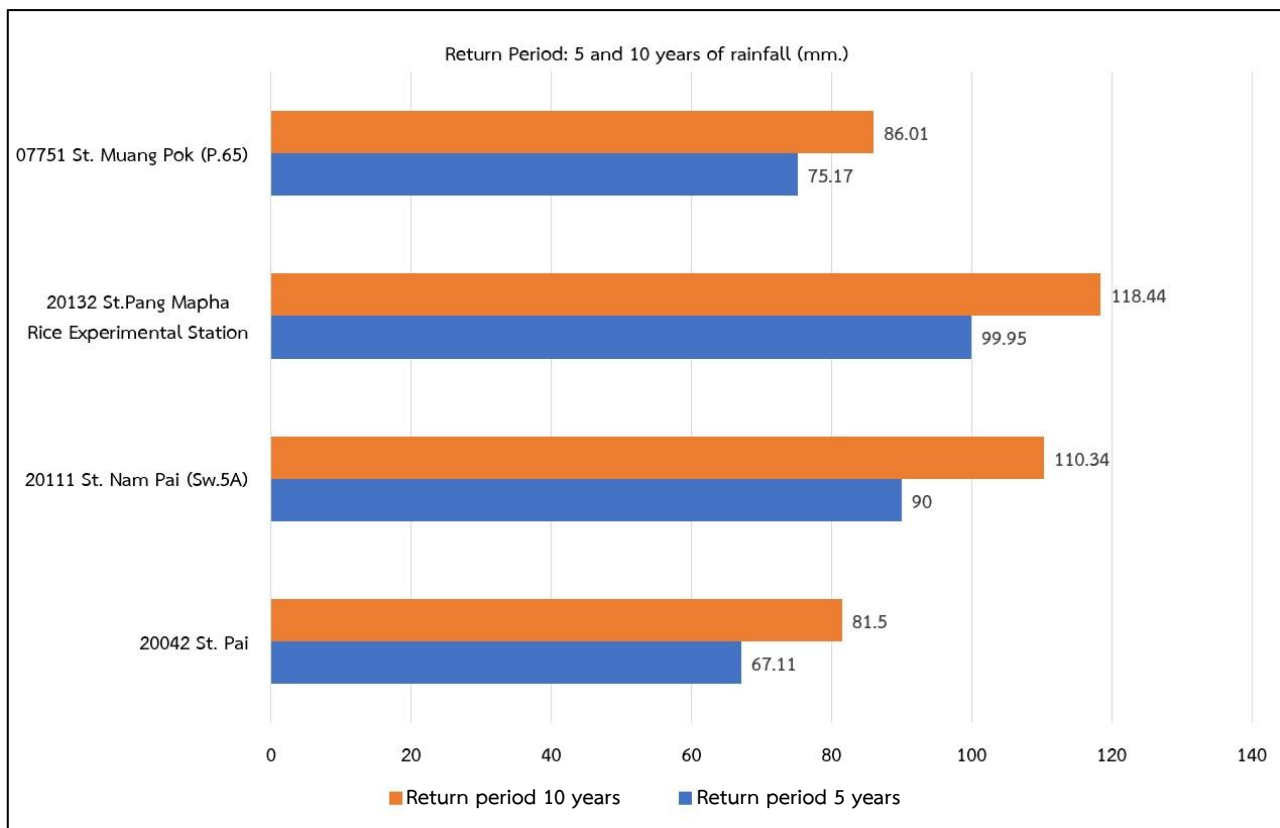


Figure 5 Return period for 5 and 10 years of rainfall data in Huai Mae U-Mong Luang Sub-watershed, Mae Hong Son province

การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มจากการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในรอบการเกิดซ้ำ 5 ปีและ 10 ปี สามารถอธิบายได้ดังนี้

ในรอบการเกิดซ้ำ 5 ปี พบว่าพื้นที่ศึกษามีพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในระดับปานกลางครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด เท่ากับ 10.01 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 32.32 รองลงมาคือพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในระดับต่ำ คิดเป็นเนื้อที่ 8.12 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 26.22 ส่วนในรอบการเกิดซ้ำ 10 ปี พบว่าพื้นที่ศึกษามีพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในระดับเสี่ยงภัยปานกลางครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด เท่ากับ 9.81 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 31.68 รองลงมาคือพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับต่ำ เนื้อที่ 8.68 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 28.03 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในปี พ.ศ. 2564 (Table 5) พบว่า ในรอบการเกิดซ้ำ 5 ปี และ 10 ปี มีพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในระดับสูงและสูงมากมีพื้นที่เพิ่มขึ้น โดยมีพื้นที่เสี่ยงภัยระดับสูง มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2564 เท่ากับร้อยละ 51.63 และ 37.04 ตามลำดับ และในระดับเสี่ยงภัยสูงมากมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เพิ่มขึ้นจาก

ปี พ.ศ. 2564 เท่ากับร้อยละ 2.94 และ 26.47 ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้คิดเป็นร้อยละ 38.47 และ 34.18 ของพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม ปี พ.ศ. 2564 โดยพบว่าปริมาณน้ำฝนสูงสุดรายวันในรอบการเกิด 5 ปี และ 10 ปี ส่งผลให้พื้นที่ศึกษาเกิดการกระจายเชิงพื้นที่ของระดับความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในระดับสูงและสูงมากกว่าในปี พ.ศ. 2564 ปริมาณน้ำฝนสูงสุดรายวันจึงเป็นปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน ค่า API ที่แปรผันตามปริมาณน้ำฝนทำให้ความเสี่ยงในการเกิดดินถล่มเพิ่มมากขึ้น ผลศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการวิเคราะห์รอบการเกิดซ้ำของปริมาณน้ำฝนสูงสุดต่อการประเมินความเสี่ยงดินถล่ม การเก็บข้อมูลย้อนหลัง 30 ปีช่วยให้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มและคาดการณ์ความเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การเพิ่มขึ้นของพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในรอบการเกิดซ้ำ 5 ปีและ 10 ปีเน้นถึงความจำเป็นในการจัดการโครงสร้างของกลุ่มน้ำให้อยู่ในสถานภาพสมดุล เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและลดการเกิดดินถล่ม โดยปริมาณน้ำฝนสูงสุดรายวันมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดดินถล่ม (Table 5)

Table 5 Proportion of landslide hazard areas in Huai Mae U–Mong Luang Sub–watershed, Mae Hong Son province in 2021 and return periods (5 and 10 years)

Landslide hazard	2021		Return period 5 years		Return period 10 years	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Very high risk	1.70	5.49	1.75	5.65	2.15	6.94
High risk	4.59	14.82	6.96	22.47	6.29	20.31
Moderate risk	7.28	23.51	10.01	32.32	9.81	31.68
Low risk	10.54	34.03	8.12	26.22	8.68	28.03
Very low risk	6.86	22.15	4.13	13.34	4.04	13.04
Total	30.97	100.00	30.97	100.00	30.97	100.00

สรุป

การประยุกต์ใช้ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม บริเวณลุ่มน้ำย่อยห้วยแม่ฮ่อมองหลวง อำเภอบางมะฝ้า จังหวัดแม่ฮ่องสอน พบว่า ค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน บริเวณลุ่มน้ำย่อยห้วยแม่ฮ่อมองหลวง อยู่ระหว่าง 10.19 – 487.18 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 243.33 มิลลิเมตร โดยมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายน และต่ำสุดในเดือนมกราคม จากการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มโดยวิธีดัชนีปัจจัยร่วมเดือนสิงหาคม มีพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุด รองลงมาได้แก่ เดือนกรกฎาคม และเดือนกันยายน ตามลำดับ โดยมีค่าการกระจายพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับสูงมากต่อพื้นที่เท่ากับ ร้อยละ 8.71, 2.04 และ 1.43 ของพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ ให้ค่าความถูกต้อง (overall accuracy) เท่ากับ 90.91 จากการคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มภายใต้ภาพจำลองเหตุการณ์ 2 กรณี พบว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลต่อการเกิดดินถล่มมากกว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน โดยพบว่า ในรอบการเกิดซ้ำ 5 ปี และ 10 ปี พบว่าพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับสูงและสูงมาก เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2564 ร้อยละ 38.47 และ 34.18 ตามลำดับ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในปี พ.ศ. 2570 มีพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในระดับต่ำ ปานกลาง และสูงมีพื้นที่เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2564 โดยมีเนื้อที่เท่ากับ 0.06 0.03 และ 0.01 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.19 0.10 และ 0.03 ตามลำดับ จากผลการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนและจัดการพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงและได้รับปริมาณน้ำฝนมาก ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและลดความเสี่ยงจากการเกิดดินถล่มในอนาคต และควรมีการใช้แบบจำลองสภาพภูมิอากาศเพิ่มเติม และขยายการศึกษาให้ครอบคลุมพื้นที่และปัจจัยต่าง ๆ มากขึ้นจะช่วยเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของผลการศึกษาในอนาคต

REFERENCES

- Ahmad, A., Farida, M., Juita, N. 2022. Spatial analysis of soil texture on risk assessment of hydrometeorology disaster in Rubia–Kelara district of Jeneponto Regency. *Journal Wilayah Dan Lingkungan*, 1 0 (1) : 4 2– 5 4 . doi.org/10.14710/jwl.10.1.42–54
- Baiku, P., Tongdeenok, P., Kaewjampa, N. 2021. Application of SWAT and CLUE–S model in streamflow and land use prediction in the upper Khwae–Noi Subwatershed, Nakhonchai district, Phitsanulok province. *Thai Journal of Forestry*, 40(2): 39–55. (in Thai)
- Boonchai, K. 2016. Rotational farming: cultural rights for ecological and social practice. *Journal of Social Development*, 18(Special Issue): 145–155. (in Thai)
- Chantasorn, M. 2012. Comparison of Methodologies for Landslide Susceptibility Assessment at Huai Maeplum Watershed, Uttaradit Province. M.S. Thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Chatsudarat, S. 2021. An Analysis of Spatial Susceptibility and Probability of Rainfall Pattern Inducing Landslides in Northern Thailand with Tropical Rainfall Measuring Mission Data Using GIS. M.S. Thesis, Naresuan University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Centre for SDG Research and Support: SDG Move. 2022. Introduction of SCGs. <https://www.sdgmovement.com/intro-to-sdgs/>, 2 6 April 2022. (in Thai)

- Department of Mineral Resources. 2011. **Knowledge of Landslide**. http://www.dmr.go.th/download/Landslide/what_landslide1.htm, 26 April 2022. (in Thai)
- Department of Mineral Resources. 2021. **Data Landslide of Maehongson**. <https://www.dmr.go.th/en/departement-of-mineral-resources-thailand/>, 28 Mar 2024. (in Thai)
- Duangpi boon, S. 2010. **Modeling and Spatial Database for Flood and Landslide Risk Assessment: A Case Study of the Lang Suan Watershed, Southern Thailand**. M.S. Thesis, Prince of Songkla University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Eastman, J.R. 2003. **TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling System**. Clark University. New York, United States.
- Earth Data. 2021. **Earthdata Search**. <https://www.earthdata.nasa.gov/>, 2 September 2020. (in Thai)
- Hu, J., Yu, Y., Gui, R., Zheng, W., Guo, A. 2023. Spatial distribution analysis of landslide deformations and land-use changes in the three gorges reservoir area by using interferometric and polarimetric SAR. **Remote Sensing**, 15(2302): 1–21. doi.org/10.3390/rs15092302
- Jitpratum, J. 2016. **Antecedent Precipitation Index for Early Warning Flood and Landslide in Different Types of Land Use at Huai Mafueang Sub-Watershed, Mueang District, Rayong Province**. M.S. Thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Jumruang, W., Jotisankasa, A., Chayprakykaew, S. 2022. Development of warning system for landslide hazard area with IoT system (internet of things). In: **The 27th National Convention on Civil Engineering**. Chiang Rai, Thailand, pp. 12–1 – 12–6. (in Thai)
- Khiaosalap, P. 2015. **Flash Flood and Landslide Risk Area Assessment in Huai Mae Saroi Watershed, Phrae Province and Khlong Tha Thon Watershed, Nakhon Si Thammarat Province**. M.S. Thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Kohno, M., Higuchi, Y. 2023. Landslide susceptibility assessment in the Japanese Archipelago based on a landslide distribution map. **International Journal of Geo-Information**, 12(3 7) : 1–25. doi.org/10.3390/ ijgi12020037
- Land Development Department. 2022. **Soil Unit Map**. <https://dinonline.ddd.go.th/>, 1 8 September 2021. (in Thai)
- Land Development Department. 2023. **Land Use 2024**. <https://dinonline.ddd.go.th/>, 6 June 2023. (in Thai)
- Lekprasoet, R., Tuankrua, V., Kheereemangkla, Y. 2021. Influences of rainfall and antecedent precipitation index on surface runoff generation in Na Luang Sub-watershed, Nan province. **Thai Journal of Science and Technology**, 10(4): 403–415. (in Thai)
- Linsley, R.K., Kohler, M.A., Paulus, J. 1982. **Hydrology for Engineers McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering**. McGraw-Hill International, New York, NY, USA.
- Mairaing, W., Sorlump, S., Jotisankas, A. 2007. **Landslides, a Danger that can be Prevented**. Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Meteorological Department. 2021. **Rainfall Data 2021**. Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Mtibaa, S., Tsunetaka, H. 2023. Revealing the relation between spatial patterns of rainfall return levels and landslide density. **Earth Surface Dynamics**, 11: 461–474. doi.org/10.5194/esurf–11–461–2023
- Naewna Post. 2020. **Depression Maehongson Constantly Heavy Rainfall Flash Floods–Landslide**. <https://www.naewna.com/local/513521>, 7 July 2024. (in Thai)
- Naewna Post. 2022. **Heavy rainfall – Flash Floods in Pang Mapha District**. <https://www.naewna.com/local/672149>, 7 July 2024. (in Thai)
- Naewna Post. 2023. **Maehongson Warning Flash Floods–Landslide**. <https://www.naewna.com/local/748714>, 7 July 2024. (in Thai)
- National Science and Technology Development Agency (NSTDA). 2022. **What is BCG**. <https://www.bcg.in.th/>, 26 April 2022. (in Thai)
- Rajabian, A. 2023. Effect of initial failure geometry on the progress of a retrogressive seepage-induced landslide. **International**

- Journal of Geo-Engineering**, 14(11): 1–16.
doi.org/10.1186/s40703-023-00189-8
- Rita, M.D.P.S., Santos, A.L.B., Velloso, M.M. 2023. The use of a booklet in schools to promote landslide prevention. **Crossref**, 1–10.
doi10.56238/sevedi76016-001
- Royal Irrigation Department. 2021. **Rainfall Data 2021**. <https://hydro-1.net/>, 2 September 2021. (in Thai)
- Royal Thai Survey Department. 2021. **Topographic Maps 2021**. Mae Hong Son, Mae Hong Son province, Thailand. (in Thai)
- Saaty, T.L., Vargas, L.G.. 1980. **Model, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. Austin State University, Texas, United States.
- Soralump, S., Hunsuwan, B., Torviwat, W. 2007. Analysis of critical API using for warning of heavy rainfall-induced landslide. In: **The 12th National Convention on Civil Engineering**. Phitsanulok, Thailand, pp. 466 – 473. (in Thai)
- Soralump, S., Thaiyuenwong, S. 2009. **Study of Landslide-Flood Behavior in the Selected Area for Developing of Warning Method and Criteria (Phase III)**. Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- Soralump, S., Nuimak, T. 2013. Estimation of statistical critical rainfall envelope for landslide warning. In: **The 18th National Convention on Civil Engineering**. Chiang Mai, Thailand, pp. 322 – 330. (in Thai)
- Thummasorn, S. 2020. **Coulomb with Physics of Landslide**. <http://www.thaiphysoc.org/article/227/>, 26 April 2024. (in Thai)
- Xu, B., Zhang, C., Liu, W., Huang, J., Su, Y., Yang, Y., Jiang, W., Sun, W. 2023. Landslide identification method based on the FKGRNet model for remote sensing images. **Remote Sensing**, 15(3407): 1–25. doi.org/10.3390/rs15133407
- Yongsiri, P., Soyong, P., Laongmanee, W., Uthaisri, P. 2023. Analysis of areas at risk of landslides by applying geospatial technology together with the highest daily rainfall data in 30 years in the Northern Thailand. **Journal of Roi Kaensarn Academi**, 8(9): 184–199. (in Thai)