

## การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงดินถล่มด้วยวิธีการให้ค่าน้ำหนักของหลักฐาน และวิธีอัตราส่วนความถี่ : กรณีศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำคลองกลาย จังหวัดนครศรีธรรมราช

คมพญา ทองมาก<sup>1</sup> ธนากร อักษรภักดิ์<sup>1</sup> ธงชัย สุธีรศักดิ์<sup>2\*</sup> และ วีรพันธ์ สงสม<sup>3</sup>

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต อ.กะทู้ จ.ภูเก็ต 83120

\* Corresponding Author: thongchai.s@phuket.psu.ac.th

<sup>1</sup> นักศึกษา คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

<sup>2</sup> รองศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

<sup>3</sup> อาจารย์ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

### ข้อมูลบทความ

### บทคัดย่อ

#### ประวัติบทความ :

รับเพื่อพิจารณา : 26 พฤศจิกายน 2564

แก้ไข : 23 กันยายน 2565

ตอบรับ : 27 ตุลาคม 2565

DOI : 10.14456/kmuttrd.2022.24

#### คำสำคัญ :

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ / พื้นที่เสี่ยงดินถล่ม / การให้ค่าน้ำหนักหลักฐาน / อัตราส่วนความถี่ / ลุ่มน้ำคลองกลาย

งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงดินถล่ม โดยศึกษาพื้นที่ลุ่มน้ำคลองกลาย จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยวิธีให้ค่าน้ำหนักของหลักฐาน (Weight of Evidence: WoE) และวิธีอัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio: FR) การสร้างแบบจำลองอาศัยข้อมูลตำแหน่งการเกิดดินถล่ม และข้อมูลปัจจัยเชิงพื้นที่ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ความลาดชัน ความสูงจากระดับน้ำทะเล ข้อมูลทางธรณีวิทยา ทิศทางความลาดเอียง การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะเนื้อดิน ระยะห่างจากเส้นลำน้ำ และระยะห่างจากรอยเลื่อน ส่วนการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพื้นที่เสี่ยงดินถล่ม ใช้การวิเคราะห์จากพื้นที่ใต้เส้นโค้ง (Area Under Curve: AUC) และค่าดัชนีความหนาแน่นของดินถล่ม (Landslide Density Index: LDI) ผลการทำนายพื้นที่เสี่ยงสูงและสูงมากของแบบจำลองทั้งสองพบว่า เหมือนกันในพื้นที่ยอดเขาและเชิงเขารอบพื้นที่ลุ่มน้ำ ความถูกต้องในการทำนายในเทอมของค่า AUC ของแบบจำลอง FR และ WoE เท่ากับ ร้อยละ 73.7 และ 73.6 ตามลำดับ ค่า LDI ของแบบจำลองทั้งสองใช้ระบุพื้นที่เสี่ยงสูงและสูงมากได้ โดยข้อมูลที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลประวัติการเกิดดินถล่มที่มีอยู่

## Comparison between the Weight of Evidence and Frequency Ratio Methods to Analyze Landslide Susceptibility Area: A Case Study of Khlong-Klai River Basin, Nakhon Si Thammarat Province

Kompaya Thongmark<sup>1</sup>, Thanakorn Aksornpitak<sup>1</sup>, Thongchai Suteerasak<sup>2\*</sup> and Veranun Songsom<sup>3</sup>

Prince of Songkla University, Phuket Campus, Kathu, Phuket 83120

\* Corresponding Author: [thongchai.s@phuket.psu.ac.th](mailto:thongchai.s@phuket.psu.ac.th)

<sup>1</sup> Student, Faculty of Technology and Environment.

<sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Technology and Environment.

<sup>3</sup> Lecturer, Faculty of Technology and Environment.

### Article Info

#### Article History:

Received: November 26, 2021

Revised: September 23, 2022

Accepted: October 27, 2022

DOI : [10.14456/kmuttrd.2022.24](https://doi.org/10.14456/kmuttrd.2022.24)

**Keywords** : Geographic Information Systems / Landslide Susceptibility Area / Weight of Evidence / Frequency Ratio / Khlong-Klai River Basin

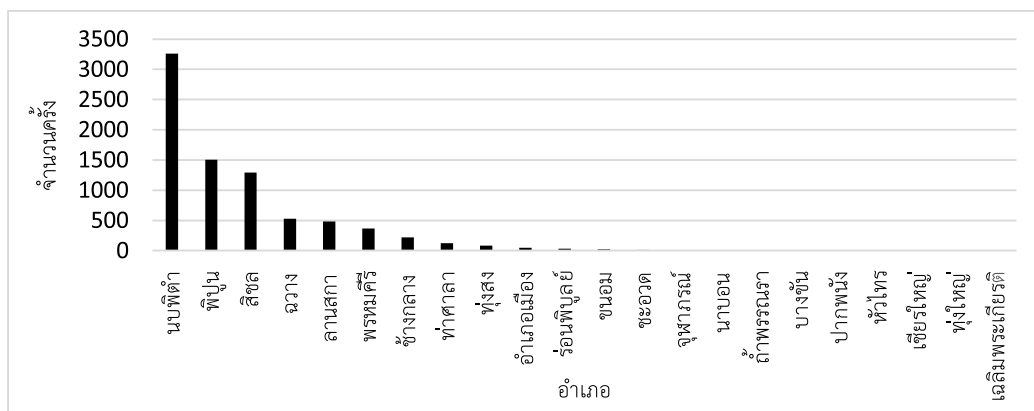
### Abstract

This research applied geographic information system (GIS) technology to assess landslide susceptibility of Khlong-Klai river basin, Nakhon Si Thammarat Province. Two methods of GIS, namely, Weight of Evidence (WoE) and Frequency Ratio (FR), were used to analyze the landslide susceptibility areas. Landslide susceptibility maps were produced from area-based data, i.e., rainfall, slope angle, altitude from sea level, geological data, slope aspect, land use, soil type, distance from streams and faults and historical data of landslide in the area. To validate the landslide susceptibility model, area under curve (AUC) analysis and landslide density index (LDI) were used. The results of both model similarly indicated high and very high susceptibilities in the areas around the river basin and those located on the hill slope and top hills. Accuracy of the predictions, based on AUC values, by the FR and WoE models were 73.7 and 73.6 percent, respectively. LDI results from both model maps could be used to identify the areas of high susceptibility and very high susceptibility; the results agreed with the historical data of landslides in the area of study.

## 1. บทนำ

การเกิดดินถล่มเป็นรูปแบบการเคลื่อนตัวของดินหรือหินตามความลาดเอียงประเภทหนึ่งที่สามารถสร้างความเสียหายให้กับพื้นที่ที่เกิดดินถล่มและพื้นที่รอบข้าง ทั้งนี้ ความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากดินถล่มส่วนใหญ่พบเกิดในพื้นที่ที่มีฝนตกหนักในบริเวณพื้นที่เชิงเขาซึ่งดินในพื้นที่ดังกล่าวอุ้มน้ำไว้จนถึงจุดอิ่มตัวหรือพื้นที่ที่เกิดการรบกวนการจับตัวกันของหน้าดินส่งผลให้เกิดการพังทลายของหน้าดินลงมาตามความลาดชัน[1]

ช่วงเวลาหลายปีที่ผ่านมาภัยพิบัติดินถล่มพบเกิดขึ้นในหลายจังหวัดของประเทศไทย ที่พบบ่อยในพื้นที่ภาคใต้เกิดในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช เช่น เหตุการณ์ดินถล่มครั้งใหญ่ในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช เมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531 มีมูลค่าความเสียหายในพื้นที่ดังกล่าวถึง 1,000 ล้านบาท โดยในพื้นที่ดังกล่าวพบการเกิดดินถล่มซ้ำในพื้นที่เดิมหรือพื้นที่ใกล้เคียงอีกหลายครั้ง [2-3]



รูปที่ 1 ข้อมูลสถิติการเกิดดินถล่มในจังหวัดนครศรีธรรมราชระหว่าง พ.ศ.2531 ถึง พ.ศ. 2560

จากข้อมูลสถิติการเกิดดินถล่มในจังหวัดนครศรีธรรมราชที่รวบรวมโดยกรมทรัพยากรธรณี ในช่วง พ.ศ. 2531 ถึง พ.ศ. 2560 ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่า อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช มีสถิติการเกิดเหตุการณ์ดินถล่มมากที่สุดในจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยพบมากถึง 3,261 เหตุการณ์ ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดดินถล่มมากในพื้นที่ดังกล่าวมาจากสภาพภูมิประเทศ รวมถึงปัจจัยในเรื่องของการบุกรุกพื้นที่เพื่อทำการเกษตรและสร้างถิ่นฐานบ้านเรือนโดยชุมชนในพื้นที่ดังกล่าว ทำให้สภาพแวดล้อมพื้นที่บริเวณนั้นมีความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม [3]

ปัจจุบันระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นหนึ่งเครื่องมือที่สามารถประยุกต์ใช้ในการประเมินความเสี่ยงในการเกิดภัยพิบัติต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยธรรมชาติ [4] การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงเกิดดินถล่มมีวิธีการสร้าง

แบบจำลองเพื่อประเมินความเสี่ยงดังกล่าวหลายวิธี เช่น วิธีการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process : AHP) วิธีการให้ค่าน้ำหนักของหลักฐาน (Weight of Evidence : WoE) และ วิธีอัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio : FR) เป็นต้น แต่ละวิธีอาศัยข้อมูลปัจจัยที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองที่เหมือนและต่างกันตามบริบทของพื้นที่ เช่น ในงานของ Jirakajonhkool และคณะ [5] และงานของ Khiao-salap และ Tongdenok [6] ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ AHP ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงเพื่อการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแผ่นดินถล่มเหมือนกัน โดยงานแรกประเมินความเสี่ยงในเขตอำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ส่วนงานที่สองใช้กับการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่สรอย จังหวัดแพร่ อย่างไรก็ตามงานทั้งสองต่างใช้จำนวนปัจจัยที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองแตกต่างกัน ในงานแรกใช้ 9 ปัจจัย (คือ ปริมาณน้ำฝน ความลาดชัน การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ความสูง NDVI รอยเลื่อน ระยะห่างแม่น้ำ การระบายน้ำของดินและลักษณะหิน) ส่วนงานที่สองใช้ 6 ปัจจัย (คือ ปริมาณน้ำฝน ความลาดชัน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความสูง ชุดของดิน และลักษณะหิน) ความแตกต่างของการใช้ปัจจัยดังกล่าวขึ้นกับลักษณะเฉพาะของพื้นที่ นอกจากนี้วิธีสร้างแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์แบบ AHP ดังกล่าว การสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงดินถล่มสามารถใช้วิธีอัตราส่วนความถี่ (FR) และวิธีการให้น้ำหนักของหลักฐาน (WoE) ได้เช่นกัน โดยทั้งสองวิธีเป็นวิธีที่ไม่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญให้ค่าน้ำหนักปัจจัยและลำดับความสำคัญ แต่วิธีทั้งสองอาศัยข้อมูลความถี่การเกิดและข้อมูลหลักฐานการเกิดจริงมาประกอบกับข้อมูลปัจจัยเพื่อสร้างแบบจำลอง เช่น ในงานวิจัยของ Oh และคณะ [7] ใช้วิธีแบบจำลองอัตราส่วนความถี่ (FR) การทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มโดยใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์ของประเทศไทย ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่กรมทรัพยากรธรณี [3] ใช้ในการแสดงผลพื้นที่ที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มของจังหวัดนครศรีธรรมราชทั้งจังหวัดโดยด้วยกัน ส่วนวิธีการให้น้ำหนักของหลักฐาน (WoE) เป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีการใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงดินถล่ม เช่น การประเมินความอ่อนไหวต่อดินถล่มโดยใช้วิธีการทางสถิติแบบสองตัวแปรและวิธีการ WoE ในพื้นที่ Simada ทางตะวันตกเฉียงเหนือของเอธิโอเปียในงานของ Mersha และ Meten [8] และการประเมินความไวต่อดินถล่มโดยใช้วิธีการ WoE กับกรณีศึกษาพื้นที่ Xunyang ประเทศจีน ในงานวิจัยของ Cao และคณะ [9] รวมถึงงานของ Westen และคณะ [10] ที่ใช้วิธีการ WoE จัดทำแผนที่เพื่อประเมินความเสี่ยงดินถล่มในพื้นที่ทางตะวันออกเฉียงของเมืองเบลลูโน ประเทศอิตาลี นอกจากนี้ตัวอย่างงานวิจัยข้างต้น มีงานวิจัยอีกมากมายที่วิธีการ FR ร่วมกับวิธีการ WoE เช่น งานของ Nohani และคณะ [11] ที่ใช้วิธีการทั้งสองศึกษาการเกิดดินถล่มทางตอนเหนือของประเทศอิหร่าน และงานของ Aghdam และคณะ [12] ที่ศึกษาการเกิดดินถล่มในจังหวัดทางตอนใต้ของภูเขาเขา โกรส ประเทศอิหร่าน โดยทั้งสองงานวิจัยใช้จำนวนปัจจัยแตกต่างกันเช่นกัน งานวิจัยแรกใช้ 10 ปัจจัย (ได้แก่ ความสูง มุมความลาดเอียง ทิศทางการเอียง ระยะห่างจากถนน ระยะห่างแม่น้ำระยะห่างรอยเลื่อน NDVI ปริมาณน้ำฝน การใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลหิน) ในขณะที่งานวิจัยที่สองใช้ 12 ปัจจัย

(ได้แก่ ความสูง ความลาดชัน ทิศทางการเอียง ระยะห่างจากถนน ระยะห่างแม่น้ำ ระยะห่างรอยเลื่อน ปริมาณน้ำฝน ความสั้นสะเทือน Plan curvature Profile curvature การใช้ประโยชน์ที่ดิน และ ข้อมูลหิน) ซึ่งการเลือกปัจจัยขึ้นกับความเหมาะสมและบริบทของพื้นที่เป็นหลัก

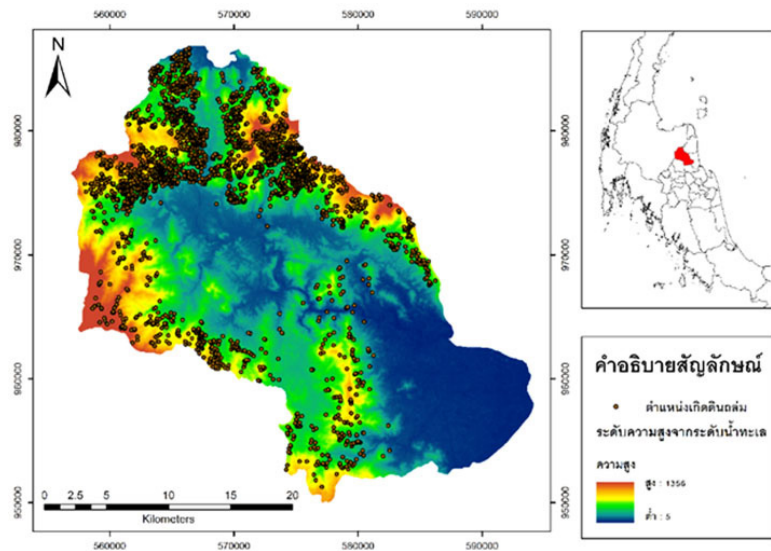
จากแผนที่โอกาสเกิดดินถล่มที่ระบุในรายงานข้อมูลการเกิดดินถล่มในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชที่จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี [3] โดยแผนที่ดังกล่าวจัดทำขึ้นมา พ.ศ. 2553 และยังคงใช้ประกอบรายงานแผนที่เสี่ยงภัยระดับชุมชนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามแผนที่ดังกล่าวมีความละเอียดในการจำแนกเชิงพื้นที่ต่ำ ไม่สามารถนำเสนอภาพการกระจายตัวของระดับความเสี่ยงเจาะจงได้อย่างชัดเจน ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ในการวางแผนรับมือและแก้ไขปัญหาได้อย่างเหมาะสมกับขนาดของพื้นที่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ วัตถุประสงค์แรกเป็นการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจัดทำแผนที่ความเสี่ยงดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองกลาย อำเภอหนองปีตา จังหวัดนครศรีธรรมราช วัตถุประสงค์ที่สองเป็นการเปรียบเทียบผลจากการประมวลผลข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับจัดทำแผนที่ความเสี่ยงดินถล่มดังกล่าวด้วยวิธีแบบจำลองอัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio: FR) และวิธีการให้น้ำหนักของหลักฐาน (Weight of Evidence: WoE) ส่วนวัตถุประสงค์สุดท้ายเป็นการประเมินผลลัพธ์และความถูกต้องของแบบจำลองความเสี่ยงดินถล่มที่จัดทำขึ้นมา ข้อมูลดังกล่าวอาจเป็นเครื่องมือช่วยประกอบการตัดสินใจวางแผนป้องกันหรือการจัดการพื้นที่เสี่ยงภัยเกิดดินถล่มของหน่วยงานรัฐที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ รวมถึงผู้ที่สนใจนำเทคนิคดังกล่าวนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่น ๆ ในอนาคต

## 2. พื้นที่ศึกษา

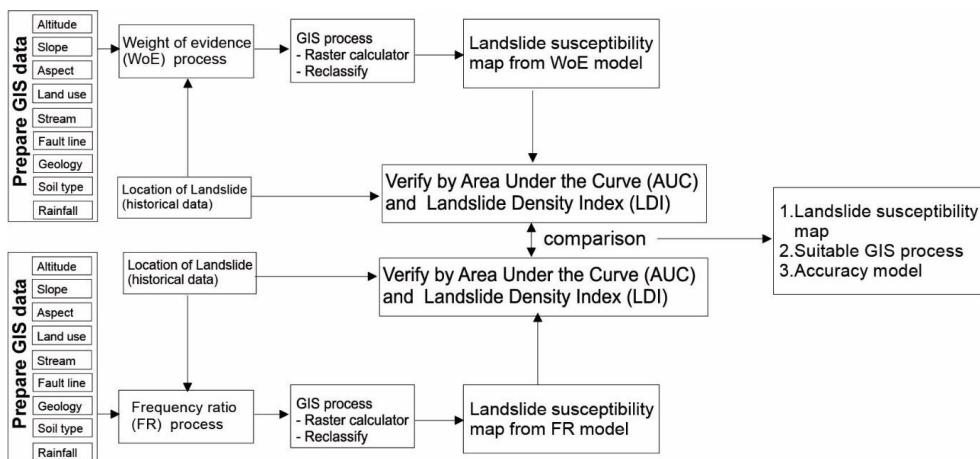
พื้นที่ลุ่มน้ำคลองกลายเป็นหนึ่งในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาของพื้นที่ลุ่มภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนบน (รหัสลุ่มน้ำ 19) มีพื้นที่ประมาณ 617 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 2.08 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด มีคลองกลายเป็นคลองที่ระบายน้ำในพื้นที่ออกสู่ทะเล พื้นที่ลุ่มน้ำดังกล่าวตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอหนองปีตา จังหวัดนครศรีธรรมราช มีพื้นที่ทางทิศตะวันออกอยู่ติดกับอำเภอท่าศาลา และทิศใต้ติดกับอำเภอท่าศาลา อำเภอ

พรมคีรีและอำเภอพิปูน พื้นที่ทางทิศเหนือติดกับอำเภอสิชล โดยพื้นที่ตอนเหนือบางส่วนและทางตะวันตกอยู่ติดกับจังหวัด สุราษฎร์ธานี คือ อำเภอกาญจนาดิษฐ์ และอำเภอบ้านนาสาร ตามลำดับ [13] หากพิจารณาลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ ศึกษา พบว่า พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจาก ดินถล่มส่วนใหญ่ตั้ง อยู่ในเขตที่ราบระหว่างหุบเขาสลับ ในช่วงฤดูฝนพื้นที่ดังกล่าว ได้รับอิทธิพลจากร่องความกดอากาศต่ำปกคลุมภาคใต้ฝั่ง ตะวันตกเป็นระยะ ๆ ประกอบกับพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงของภาคใต้จึงได้รับอิทธิพลจากลม มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดผ่านอ่าวไทยค่อนข้างมาก ทำ ผลให้พื้นที่ดังกล่าวได้รับน้ำฝนมากทุกปี ปัจจุบันหลายพื้นที่

ในอำเภอนบพิตำถูกบุกรุกโดยมนุษย์เพื่อเข้าทำการเกษตร และสร้างถิ่นฐานบ้านเรือน แม้ว่าพื้นที่บางส่วนอยู่ในเขต อุทยานแห่งชาติเขาหลวง และป่าสงวนแห่งชาติเขานัน ซึ่งผล จากการบุกรุกเข้าไปใช้พื้นที่ดังกล่าวส่งผลให้สภาพแวดล้อม พื้นที่ดังกล่าวมีความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม [2-3] ดังที่ พบเห็นจุดที่เกิดดินถล่มได้หลายจุดในพื้นที่ดังกล่าว การเก็บ ข้อมูลการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษานี้มาจากการลงพื้นที่เก็บ พิกัดตำแหน่งการเกิดดินถล่มของจุดที่พบเห็นการเกิดดินถล่ม ในพื้นที่ เพื่อประเมินความเสี่ยงภัยต่างๆ โดยกรม ทรัพยากรธรณี [3] มีตำแหน่งจุดการเกิดดินถล่มดังแสดงใน รูปที่ 2



รูปที่ 2 ตำแหน่งที่เกิดดินถล่มบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำคลองกลายและพื้นที่สูงโดยรอบในอำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช



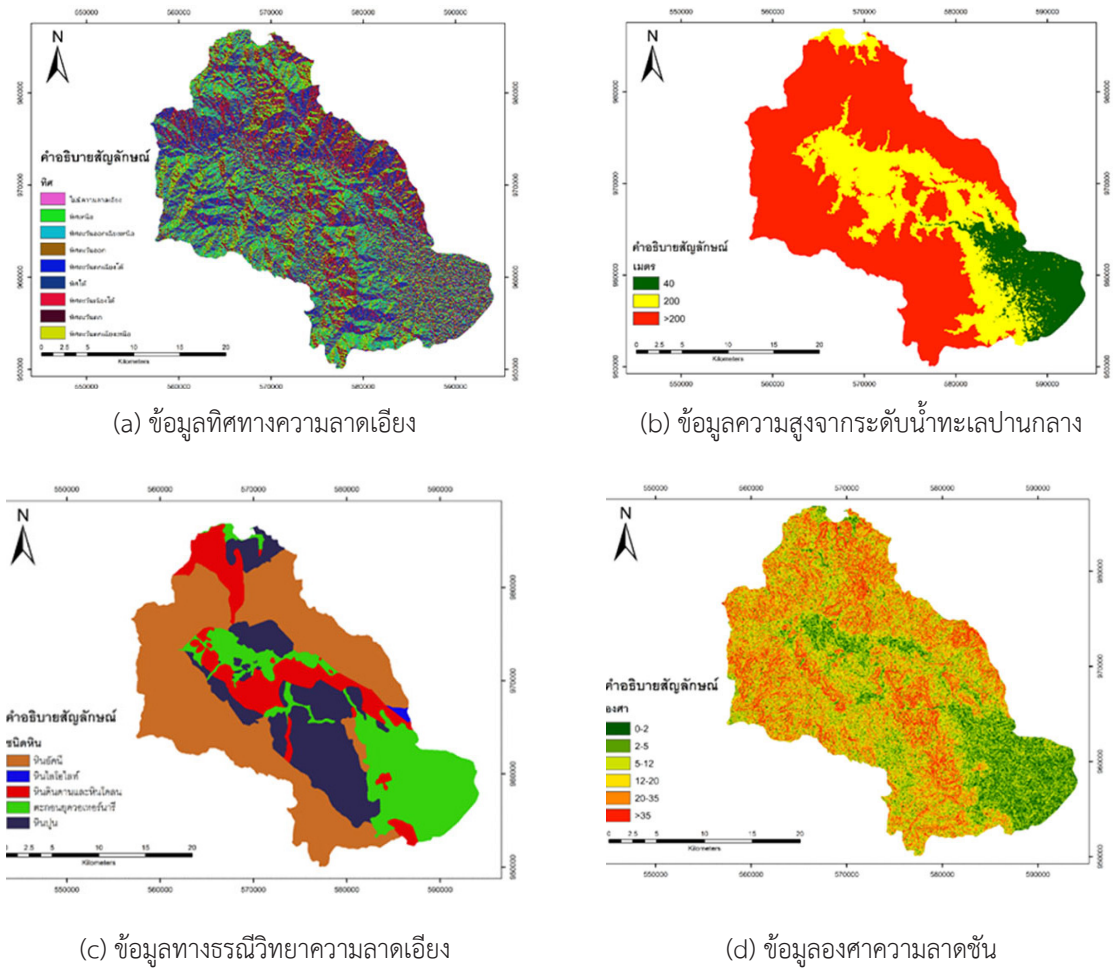
รูปที่ 3 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล การจัดทำแผนที่พื้นที่เสี่ยงดินถล่มและการตรวจสอบผล

### 3. วิธีการทดลอง

#### 3.1 ข้อมูลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม

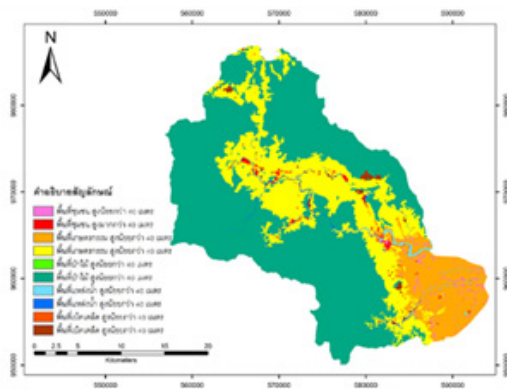
การจัดทำแผนที่พื้นที่เสี่ยงดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองกลายและพื้นที่สูงโดยรอบของอำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช เริ่มต้นจากการรวบรวมและจัดระเบียบข้อมูลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ลักษณะทางธรณีวิทยา ระยะห่างจากรอยแตกหรือเลื่อนของโครงสร้างธรณีวิทยา องศาความลาดชัน ทิศทางความลาดเอียง ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะเนื้อดิน และระยะห่างจากเส้นลำน้ำ มาวิเคราะห์ผลร่วมกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มโดยนำข้อมูลจุดเกิดดินถล่ม โดยนำข้อมูลตำแหน่งดินถล่มจำนวน 3,261 ตำแหน่งแบ่งเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เพื่อสร้าง

แบบจำลอง (Training Data) พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มจำนวน 1,957 ตำแหน่ง (ร้อยละ 60) และข้อมูลสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Testing Data) จำนวน 1,304 ตำแหน่ง (ร้อยละ 40) ทั้งนี้การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการ FR และ WoE สำหรับการวิเคราะห์และจัดทำแผนที่ความเสี่ยงดินถล่มดังกล่าวจัดทำขึ้นจากข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ข้างต้นและอาศัยเครื่องทางภูมิสารสนเทศ คือ โปรแกรม ArcGIS เวอร์ชัน 10 เพื่อช่วยในการประมวลผลและจัดทำแผนที่เสี่ยงดินถล่ม และสุดท้ายนำไปตรวจสอบความถูกต้องด้วยการเปรียบเทียบผลจากสองวิธีการในท้ายสุด เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ดังแสดงขั้นตอนการจัดทำในรูปที่ 3

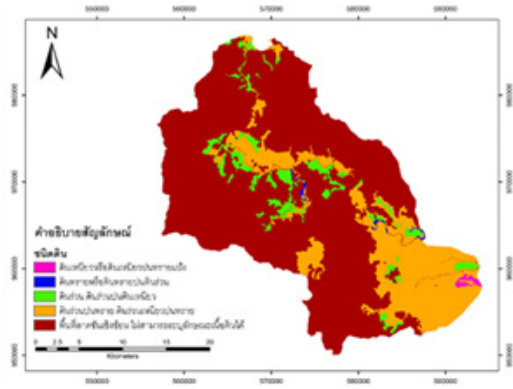


รูปที่ 4 ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงดินถล่ม

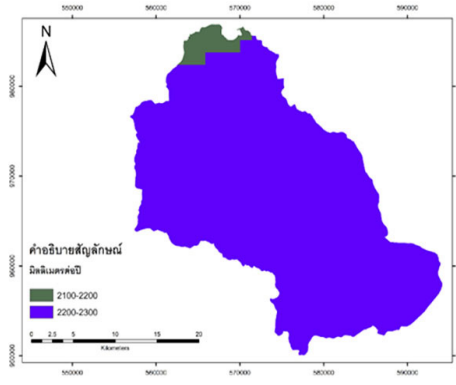




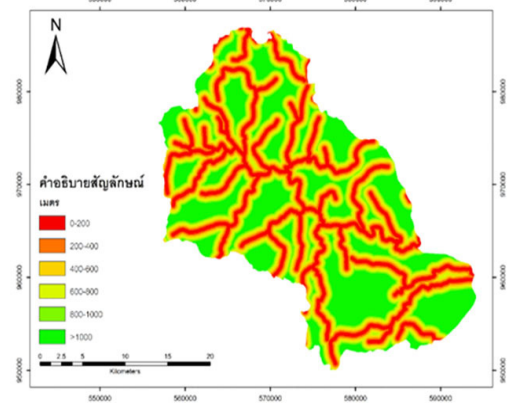
(e) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน



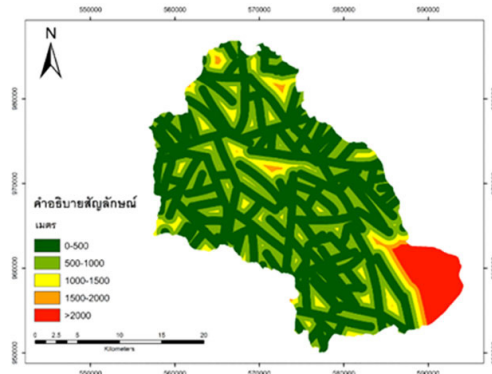
(f) ลักษณะเนื้อดิน



(g) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน



(h) ข้อมูลระยะห่างจากเส้นลำน้ำ



(i) ข้อมูลระยะห่างจากรอยแตกหรือเลื่อนของโครงสร้างธรณีวิทยา

รูปที่ 4 ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงดินถล่ม (ต่อ)

ปัจจัยและการเตรียมข้อมูลปัจจัยที่นำมาศึกษาการเกิดดินถล่มในงานวิจัยนี้เป็นปัจจัยที่ใช้เหมือนกับในงานการจัดทำแผนที่โอกาสเกิดดินถล่มที่ระบุในรายงานข้อมูลการเกิดดินถล่มในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชที่จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี [3] และเพิ่มเติมปัจจัยอื่นเพื่อเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลองมากขึ้น ประกอบด้วย

(1) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (20 ปี) จัดเตรียมขึ้นจากภาพถ่ายดาวเทียม TRMM พ.ศ.2541-2560 ที่มีความละเอียดครอบคลุมเชิงพื้นที่ขนาด 25x25 ตารางกิโลเมตร [14] ทดแทนข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดเนื่องจากข้อมูลไม่ละเอียด และสามารถแยกชั้นข้อมูลได้อย่างชัดเจน ประกอบกับข้อมูลจากดาวเทียม TRMM สามารถใช้ทดแทนได้ดังที่ได้ระบุไว้ในงานวิจัยของ Suwannasri และคณะ [15] ทั้งนี้การจำแนกช่วงชั้นของข้อมูลปริมาณน้ำฝนอาศัยเกณฑ์การจำแนกเดียวกับที่ใช้ในการจัดทำแผนที่โอกาสเกิดดินถล่มที่ระบุในรายงานข้อมูลการเกิดดินถล่มในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชที่จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี [3]

(2) ข้อมูลทางธรณีวิทยา เป็นข้อมูลวิทยาของหินที่มาจากกรมทรัพยากรธรณี มีการจำแนกประเภทของหินเป็น 7 ประเภท ซึ่งเป็นเกณฑ์การจำแนกเดียวกับที่ใช้ในการจัดทำแผนที่โอกาสเกิดดินถล่มที่ระบุในรายงานข้อมูลการเกิดดินถล่มในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชที่จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี [3]

(3) ระยะห่างจากรอยแตกหรือเลื่อนของโครงสร้างธรณีวิทยา มีการสร้างช่วงชั้นข้อมูลเป็นแนวกันชน (Buffer) รอบเส้นข้อมูลรอยแตกหรือเลื่อนของโครงสร้างธรณีวิทยาสามารถจำแนกข้อมูลเป็น 5 ช่วงชั้น ที่ใช้เกณฑ์การจำแนกช่วงชั้นข้อมูลเดียวกับที่ใช้ในการจัดทำแผนที่โอกาสเกิดดินถล่มที่ระบุในรายงานข้อมูลการเกิดดินถล่มในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชที่จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี [3]

(4) องศาความลาดชัน เป็นค่าที่คำนวณจากข้อมูลความสูงประเทศเชิงเลข ASTER GDEM มีการจำแนกช่วงชั้นข้อมูลเป็น 6 ช่วงชั้น ที่เป็นเกณฑ์การจำแนกเดียวกับที่กำหนดไว้ในรายงานลักษณะและสมบัติชุดดินในพื้นที่ภาคใต้ที่จัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน [16]

(5) ทิศทางความลาดเอียง เป็นการวิเคราะห์ทิศทางความลาดเอียงของข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข ASTER GDEM

และจำแนกทิศทางความลาดเอียงออกเป็น 9 ประเภท ซึ่งเป็นเกณฑ์การจำแนกเดียวกับที่ใช้ในงานวิจัยของ Regmi และคณะ [17]

(6) ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง มาจากค่าระดับความสูงของข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข ASTER GDEM จำแนกออกเป็น 3 ประเภท โดยใช้เกณฑ์การจำแนกเดียวกับที่ใช้ในการจัดทำแผนที่โอกาสเกิดดินถล่มที่ระบุในรายงานข้อมูลการเกิดดินถล่มในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชที่จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี [3]

(7) การใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นข้อมูลที่มาจากการสรุปประเภทสภาพการใช้ที่ดินจังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2561 ที่จัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน โดยจำแนกข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็น 5 ประเภท ซึ่งใช้เกณฑ์การจำแนกเดียวกับที่ใช้ในการจัดทำแผนที่โอกาสเกิดดินถล่มที่ระบุในรายงานข้อมูลการเกิดดินถล่มในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชที่จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี [3]

(8) ลักษณะเนื้อดิน เป็นข้อมูลที่มาจากข้อมูลชุดดินของจังหวัดนครศรีธรรมราช พ.ศ. 2561 ที่จัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน จำแนกจากลักษณะเนื้อดินของแผนที่ชุดดิน 5 ประเภท (ได้แก่ C ดินเหนียวหรือดินเหนียวปนทรายแป้ง(อยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 6), S ดินทรายหรือดินทรายปนดินร่วน (อยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 32) L ดินร่วน ดินร่วนปนดินเหนียว หรือดินเหนียวปนลูกรัง(อยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 6, 26, 34, 51) G ดินร่วนปนทราย ดินร่วนเหนียวปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนก้อนหิน(อยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 17, 26, 32, 34, 39, 45, 50, 59) และSC พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนไม่สามารถระบุลักษณะเนื้อดินได้และแหล่งน้ำ(อยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 62) เกณฑ์การจำแนกอาศัยเกณฑ์เดียวกับที่กำหนดไว้ในรายงานลักษณะและสมบัติชุดดินในพื้นที่ภาคใต้ที่จัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน [16]

(9) ระยะห่างจากเส้นลำน้ำ มาจากการสร้างช่วงชั้นข้อมูลเป็นแนวกันชน (Buffer) รอบข้อมูลเส้นทางน้ำที่ได้จากข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ จำแนกประเภทตามระยะห่างจากเส้นทางน้ำเป็น 6 ช่วงชั้นข้อมูล ที่เป็นเกณฑ์การจำแนกเดียวกับที่ใช้ในการจัดทำแผนที่โอกาสเกิดดินถล่มที่ระบุในรายงานข้อมูลการเกิดดินถล่มในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราชที่จัดทำโดยกรมทรัพยากรธรณี [3]

ทั้งนี้ผลของการจำแนกประเภทข้อมูลและช่วงชั้นของ



ข้อมูลต่างๆ ที่ข้างต้นแสดงข้อมูลการจำแนกดังตารางที่ 1 และมีผลแผนที่แสดงการจำแนกข้อมูลดังรูปที่ 4

ตารางที่ 1 ข้อมูลปัจจัย การแบ่งช่วงชั้นปัจจัยย่อย ค่า FR และค่า WoE

ปัจจัย	ปัจจัยย่อย	ร้อยละของ ปัจจัยย่อย	ร้อยละของ ดินถล่ม	ค่า FR	ค่า WoE
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี (20) ปี (Rainfall)	2100-2200	2.88	6.75	2.34	0.89
	2200-2300	97.12	93.25	0.96	-0.89
วิทยาหิน (Geology)	Granite	46.16	79.92	1.73	1.54
	Rhyolite	0.25	0.00	0.00	0.00
	Shale	12.77	11.65	0.91	-0.11
	Sediments	20.87	0.05	0.00	-6.25
	Limestone	19.95	8.38	0.42	-1.00
ความสูงจาก ระดับน้ำทะเล (Dem)	0-40	11.07	0.00	0.00	0.00
	40-200	26.71	3.68	0.14	-2.26
	>200	62.22	96.32	1.55	2.77
องศาความลาดชัน (Slope)	0-2	10.46	5.06	0.48	-0.79
	2-5	14.09	5.01	0.36	-1.14
	5-12	23.43	17.99	0.77	-0.33
	12-20	19.01	21.46	1.13	0.15
	20-35	22.32	34.29	1.54	0.60
	>35	10.69	16.20	1.52	0.48
การใช้ประโยชน์ ที่ดิน (Landuse)	u<40	0.69	0.00	0.00	0.00
	u>40	0.58	0.00	0.00	0.00
	a<40	10.54	0.00	0.00	0.00
	a>40	24.76	11.96	0.48	-0.89
	f<40	0.00	0.00	0.00	0.00
	f>40	61.60	87.74	1.42	1.50
	w<40	0.47	0.00	0.00	0.00
	w>40	0.47	0.00	0.00	0.00
	m<40	0.20	0.00	0.00	0.00
	m>40	0.68	0.31	0.45	-0.80

ตารางที่ 1 ข้อมูลปัจจัย การแบ่งช่วงชั้นปัจจัยย่อย ค่า FR และค่า WoE (ต่อ)

ปัจจัย	ปัจจัยย่อย	ร้อยละของ ปัจจัยย่อย	ร้อยละของ ดินถล่ม	ค่า FR	ค่า WoE
ลักษณะเนื้อดิน (Soil)	C	0.32	0.00	0.00	0.00
	S	0.28	0.00	0.00	0.00
	L	4.89	0.82	0.17	-1.83
	G	21.56	0.51	0.02	-3.98
	Sc	72.95	98.67	1.35	3.32
ทิศทางความลาดเอียง (Aspect)	f	4.88	4.09	0.84	-0.19
	n	11.06	9.66	0.87	-0.15
	ne	12.70	10.94	0.86	-0.17
	e	14.12	14.72	1.04	0.05
	se	11.70	14.15	1.21	0.22
	s	12.23	16.25	1.33	0.33
	sw	10.82	13.23	1.22	0.23
	nw	10.63	6.59	0.62	-0.52
ระยะห่างจากเส้นลำน้ำ (Stream)	0-200	16.45	16.10	0.98	-0.03
	200-400	16.03	14.56	0.91	-0.11
	400-600	14.97	17.27	1.15	0.17
	600-800	13.11	15.38	1.17	0.19
	800-1000	11.21	11.85	1.06	0.06
	>1000	28.23	24.83	0.88	-0.17
ระยะห่างจากโครงสร้าง ธรณีวิทยา (Lineament)	0-500	59.77	65.00	1.09	0.22
	500-1000	26.93	29.48	1.10	0.13
	1000-1500	5.67	5.06	0.89	-0.12
	1500-2000	1.36	0.46	0.34	-1.09
	>2000	6.27	0.00	0.00	0.00

### 3.2 การจัดทำแผนที่ความเสี่ยงการเกิดดินถล่ม

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการจัดทำแผนที่ 2 วิธี คือ วิธีอัตราส่วนความถี่(Frequency Ratio: FR) และการให้ค่าน้ำหนักของหลักฐาน(Weight of Evidence: WoE) นอกจากนี้ในการ

ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทั้งสองอาศัยสถิติจากการวิเคราะห์สองตัวแปร (statistical bivariate) มาช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเช่นเดียวกับที่ใช้ในงานวิจัยของ Aghdam และคณะ [12]

3.2.1 วิธีอัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio: FR) เป็นวิธีทางสถิติแบบ 2 ตัวแปรที่ โดยคำนวณจำนวนพิชเซลล์สำหรับการเกิดดินถล่มและไม่เกิดในแต่ละปัจจัย แล้วหาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องระหว่างดินถล่มและปัจจัยที่ควบคุมดินถล่ม [3] โดยแต่ละปัจจัยคำนวณด้วยสมการที่ 1

$$FR = \frac{\% \text{ของดินถล่มในแต่ละปัจจัยย่อย}}{\% \text{ของพื้นที่ในปัจจัยย่อย}} \quad (1)$$

ค่า FR ของแต่ละปัจจัยที่คำนวณได้แสดงถึงระดับความสัมพันธ์ ค่า 1 คือค่าเฉลี่ยสำหรับการเกิดดินถล่มของปัจจัย ค่าที่มากกว่า 1 บ่งบอกว่าจะมีความน่าจะเป็นสูงที่มีโอกาสเกิดดินถล่ม และค่าที่น้อยกว่า 1 บ่งบอกว่าจะมีความน่าจะเป็นต่ำที่จะเกิดดินถล่ม จากนั้นนำค่า FR ที่ได้ไปเพิ่มในแรสเตอร์ของแต่ละปัจจัย เพื่อวิเคราะห์ออกมาเป็นแผนที่ความเสี่ยงดินถล่ม โดยการรวมค่า FR ของแผนที่ปัจจัยตามสมการที่ 2 จะได้แผนที่ความเสี่ยงออกมา โดยแบ่งระดับความเสี่ยงเป็น ต่ำมาก ต่ำ ปานกลาง สูง สูงมาก [8] แผนที่ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อดินถล่มจัดทำขึ้นโดยใช้โปรแกรม ArcGIS เวอร์ชัน 10 จากนั้นนำมาทดสอบผลลัพธ์ด้วยค่าดัชนีความไวต่อดินถล่ม (Landslide Susceptibility Index : LSI) [7] ซึ่งค่า FR ที่คำนวณได้สำหรับแต่ละพิชเซลล์ใน LSI บ่งบอกถึงความไวต่อการเกิดดินถล่มค่าพิชเซลล์ที่สูงขึ้นของ LSI มีความอ่อนไหวต่อดินถล่มที่สูงขึ้นในขณะที่ค่าพิชเซลล์ที่ต่ำกว่าจะมีความไวต่ำกว่า [18] ดัชนีความไวต่อดินถล่มคำนวณจากค่าอัตราส่วนความถี่ที่กำหนดในกระบวนการฝึกอบรมที่สามารถเพิ่มลงในเครื่องคำนวณแรสเตอร์ของ ArcGIS ได้ดังสมการที่ 2

$$LSI = \sum_{i=0}^n (FR)_i \quad (2)$$

3.2.2 การให้น้ำหนักของหลักฐาน (Weight of Evidence: WoE) อาศัยการประยุกต์ใช้ความน่าจะเป็นตามทฤษฎีของเบย์ มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของดินถล่ม โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มจะเป็น “หลักฐาน” และการปรากฏของตำแหน่งดินถล่มบนหลักฐาน แสดงด้วยความสัมพันธ์เชิงสถิติ ที่บ่งบอกว่าหลักฐาน คือ ปัจจัยที่มี

อิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม เป็นสาเหตุของดินถล่มในอดีต โดยความสัมพันธ์เชิงสถิติดังกล่าวจะแสดงเป็น “ค่าน้ำหนักเชิงบวกและค่าน้ำหนักเชิงลบของแต่ละหลักฐาน” น้ำหนักเชิงบวก ( $W_i^+$ ) ระบุการเกิดเหตุการณ์ ส่วนน้ำหนักเชิงลบ ( $W_i^-$ ) ระบุการไม่เกิดขึ้นของเหตุการณ์ เบย์ [19] จากการคำนวณโดยสมการที่ 3 [10, 20]

$$W_i^+ = \frac{\ln \frac{N_{pix1}}{N_{pix1} + N_{pix2}}}{\frac{N_{pix3}}{N_{pix3} + N_{pix4}}} \quad \text{และ} \quad W_i^- = \frac{\ln \frac{N_{pix2}}{N_{pix1} + N_{pix2}}}{\frac{N_{pix4}}{N_{pix3} + N_{pix4}}} \quad (3)$$

$N_{pix1}$  คือ จำนวนจุดดินถล่มที่เกิดในแต่ละปัจจัยย่อย  $N_{pix2}$  คือ จำนวนจุดดินถล่มที่ไม่อยู่ในปัจจัยย่อยนั้นที่ได้มาจากการนำจำนวนดินถล่มทั้งหมดหักลบกับจำนวนจุดดินถล่มที่เกิดในแต่ละปัจจัยย่อย  $N_{pix3}$  คือ จำนวนพื้นที่ที่ไม่มีดินถล่มในปัจจัยย่อยหาได้จากการนำจำนวนพิชเซลล์ในแต่ละปัจจัยย่อยหักลบด้วยจำนวนจุดดินถล่มที่เกิดในแต่ละปัจจัยย่อย และ  $N_{pix4}$  คือ จำนวนพิชเซลล์ที่ไม่มีจุดดินถล่มหรือพื้นที่ของปัจจัยย่อยที่กำหนดซึ่งได้มาจากการนำจำนวนพิชเซลล์ทั้งหมดของแผนที่มาหักลบด้วยจำนวนจุดดินถล่มทั้งหมดและจำนวนพิชเซลล์ในแต่ละปัจจัยย่อยจากนั้นนำมารวมกับจำนวนจุดดินถล่มในแต่ละปัจจัยย่อยตามลำดับ ทั้งนี้ผลของ  $W^+$  และ  $W^-$  ที่ได้นำไปคำนวณหาค่าความเปรียบเทียบกับ (Weight contrast :  $C_w$ ) [19]-[21] ซึ่งค่าดังกล่าวคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$C_w = W_i^+ - W_i^- \quad (4)$$

ค่าความเปรียบเทียบกับ ( $C_w$ ) บอกความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและดินถล่ม ถ้าค่าความเปรียบเทียบกับเป็นบวกแสดงถึงความสัมพันธ์เป็นบวก แต่ถ้าค่าความเปรียบเทียบกับเป็นลบนั้นจะแสดงถึงความสัมพันธ์เป็นลบ หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการดังกล่าวให้นำค่าความเปรียบต่างแต่ละปัจจัยย่อยมารวมกัน และทำเป็นแผนที่ค่าน้ำหนัก ( $W_{map}$ ) [22]

ด้วยสมการที่ 5

$$W_{map} = \sum_{x=1}^n (C_w)_x \quad (5)$$

จากนั้นจัดทำแผนที่ความเสี่ยงดินถล่ม (LSI) โดยการรวมแผนที่ค่าน้ำหนักทั้งหมดตามสมการที่ 6 [21]

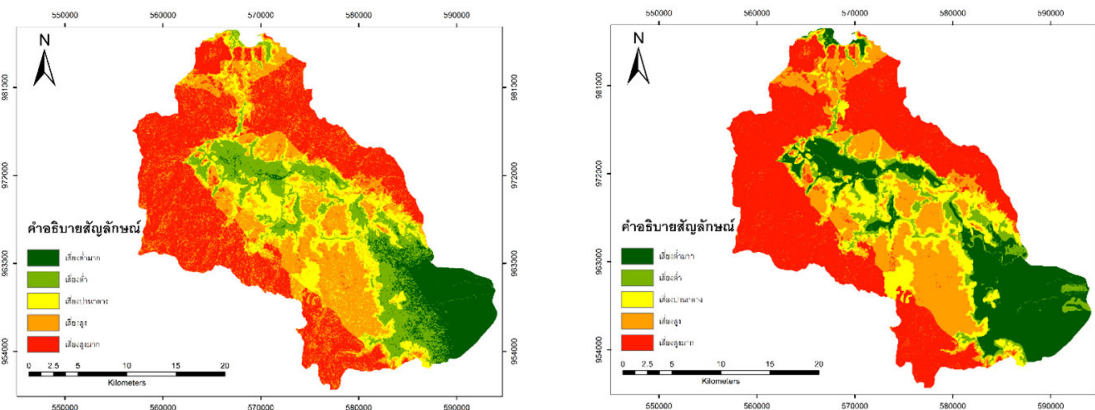
$$LSI = \sum_{i=1}^n (w_{map})_i \quad (6)$$

ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวเป็นกระบวนการทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่อาศัยโปรแกรม ArcGIS เวอร์ชัน 10 เพื่อช่วยในการประมวลผลและจัดทำแผนที่เสี่ยงดินถล่ม

### 3.3 การทดสอบและเปรียบเทียบผลเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การทดสอบอาศัยข้อมูลประวัติการเกิดดินถล่มนำมาทำเป็นข้อมูลการทดสอบผล โดยอาศัยการทำแบบจำลองความเสี่ยงเพื่อนำไปวิเคราะห์อัตราการทำนายที่ใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นที่ใต้กราฟ (Area Under Curve : AUC) ที่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงอัตราความสำเร็จ (Success rate) และอัตราการทำนาย (Predictive rate) [23] ในส่วนของ

ความแม่นยำของแบบจำลองพิจารณาจากการเปรียบเทียบผลที่ตรงกันของข้อมูลที่มีจากแบบจำลองทั้งสองกับความหนาแน่นการเกิดดินถล่ม ซึ่งอาศัยค่าดัชนีความหนาแน่นดินถล่ม (Landslide Density Index : LDI) ที่เป็นอัตราส่วนระหว่างเปอร์เซ็นต์ของพิกเซลดินถล่มและเปอร์เซ็นต์ของพิกเซลระดับในแต่ละชั้นในแผนที่ความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบแบบจำลอง [24] หากค่า LDI เพิ่มขึ้นจากระดับเสี่ยงต่ำเป็นสูงมาก แผนที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มถือว่าใช้ได้ ทั้งนี้ความเหมาะสมของแผนที่ความเสี่ยงใด ๆ สามารถตรวจสอบได้หากเปอร์เซ็นต์ของดินถล่มเกิดขึ้นในเขตความเสี่ยงสูงและสูงมากเมื่อเทียบกับโซนอื่น ๆ [25]



รูปที่ 5 แผนที่พื้นที่เสี่ยงดินถล่มในอำเภอนบพิตำ (a) จัดทำด้วยวิธี FR (b) จัดทำด้วยวิธี WoE

## 4. ผลและวิจารณ์ผล

### 4.1 แบบจำลองพื้นที่เสี่ยงดินถล่มด้วยวิธีอัตราส่วนความถี่

ผลจากการจำลองพื้นที่เสี่ยงเกิดดินถล่มในอำเภอนบพิตำ

จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยวิธีอัตราส่วนความถี่ (FR) พื้นที่เสี่ยงสูงมากพบบริเวณตอนบนของพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นพื้นที่สูงทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออกล้อมรอบพื้นที่ลุ่มน้ำคลองกลายดังแสดงในรูปที่ 5(a) พิจารณาผลของความเสี่ยงเชิงพื้นที่

เป็นผลลัพธ์ที่เป็นขนาดของพื้นที่และค่า LSI แสดงดังตารางที่ 2 ทั้งนี้ผลดังกล่าว พบว่า พื้นที่ที่เสี่ยงต่ำมากมีขนาดของพื้นที่น้อยที่สุดคือ 72.10 ตร.กม. คิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 10.17 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนพื้นที่เสี่ยงสูงมากมีขนาดของพื้นที่มากที่สุด (246.20 ตร.กม.) รองลงมาคือพื้นที่เสี่ยงสูง (187.33 ตร.กม.) หากคิดรวมพื้นที่ทั้งสองเข้าด้วยกันพบว่าพื้นที่เสี่ยงดินถล่มดังกล่าวมีมากถึงร้อยละ 61.17 ของพื้นที่ทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอำเภอนบพิตำ (รูปที่ 2) พบว่า พื้นที่เสี่ยงสูงมากส่วนใหญ่พบสอดคล้องกับตำแหน่งการเกิดดินถล่ม ส่วนพื้นที่ที่เกิดดินถล่มบางส่วนในพื้นที่ตรงกลางค่อนข้างมาทางตอนล่างพบตรงกับพื้นที่เสี่ยงสูง

ส่วนพื้นที่ตอนกลางของพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เสี่ยงต่ำไปจนถึงเสี่ยงปานกลาง ส่วนพื้นที่ตอนล่างทางทิศตะวันออกส่วนมากเป็นพื้นที่สีเขียวคือพื้นที่เสี่ยงต่ำมาก ทั้งนี้หากพิจารณาถึงปัจจัยที่มีความเชื่อมโยงกับพื้นที่เสี่ยงสูง ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยาที่เป็นหินอัคนี ความสูงจากระดับน้ำทะเลที่ระดับความสูงมากกว่า 200 เมตร การใช้ประโยชน์ที่ดินที่อยู่ในกลุ่มประเภทพื้นที่ป่าไม้ และลักษณะเนื้อดินที่เป็นดินในพื้นที่ลาดชันเชิงชันไม่สามารถระบุลักษณะเนื้อดินได้และดินจากแหล่งน้ำ โดยผลของปัจจัยที่โดดเด่นและพบความเชื่อมโยงกับพื้นที่เสี่ยงดังกล่าวเหมือนกับที่ใช้ในงานวิจัยของ Khiaosalap และ Tongdenok [6] ที่ศึกษาการเกิดดินถล่มในจังหวัดแพร่

ตารางที่ 2 ข้อมูลความเสี่ยงดินถล่มเชิงพื้นที่ที่มาจากแบบจำลองอัตราส่วนความถี่

ความเสี่ยง	LSI	จำนวนเซลล์ในพื้นที่	% ของพื้นที่	จำนวนจุดดินถล่ม	%จุดดินถล่ม	พื้นที่เสี่ยง (ตร.กม.)
เสี่ยงต่ำมาก	2.82-4.64	80112	10.17	0	0	72.10
เสี่ยงต่ำ	4.64-6.84	109980	13.97	5	0.26	98.98
เสี่ยงปานกลาง	6.84-9.12	115702	14.69	73	3.73	104.13
เสี่ยงสูง	9.12-10.78	208139	26.43	497	25.40	187.33
เสี่ยงสูงมาก	10.78-13.40	273554	34.74	1382	70.62	246.20

ตารางที่ 3 ข้อมูลความเสี่ยงดินถล่มเชิงพื้นที่ที่มาจากแบบจำลองการให้ค่าน้ำหนักหลักฐาน

ความเสี่ยง	LSI	จำนวนเซลล์ในพื้นที่	% ของพื้นที่	จำนวนจุดดินถล่ม	%จุดดินถล่ม	พื้นที่เสี่ยง (ตร.กม.)
เสี่ยงต่ำมาก	-17.14 - -10.24	148012	18.80	2	0.08	133.21
เสี่ยงต่ำ	-10.24 - -3.79	55223	7.01	10	0.46	49.70
เสี่ยงปานกลาง	-3.79 - 2.67	101097	12.84	65	3.14	90.99
เสี่ยงสูง	2.67-7.01	157353	19.98	329	17.94	141.62
เสี่ยงสูงมาก	7.01-11.24	325802	41.37	1551	78.37	293.22

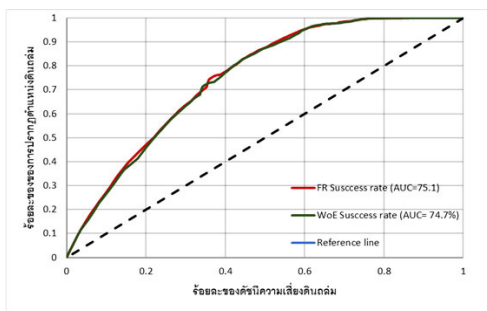
ผลจากการจำลองพื้นที่เสี่ยงเกิดดินถล่มในอำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยวิธีการให้ค่าน้ำหนักของหลักฐาน (WoE) ผลการกระจายตัวของพื้นที่เสี่ยงโดยมากมีลักษณะคล้ายกับที่พบจากแบบจำลอง FR ยกเว้นพื้นที่ตอน

กลางตรงบริเวณลุ่มน้ำคลองกลายบางส่วนที่มีความแตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 5(b) พิจารณาผลของความเสี่ยงเชิงพื้นที่เป็นผลลัพธ์ที่เป็นขนาดของพื้นที่และค่า LSI แสดงดังตารางที่ 3 ทั้งนี้ผลดังกล่าว พบว่า พื้นที่ที่เสี่ยงต่ำมีขนาดของพื้นที่

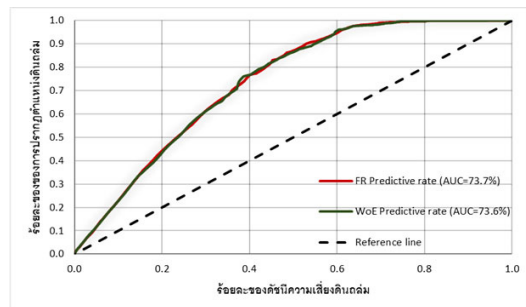


น้อยที่สุดคือ 49.70 ตร.กม. คิดเป็นเนื้อที่ร้อยละ 7.10 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนพื้นที่เสี่ยงสูงมากมีขนาดของพื้นที่มากที่สุด (293.22 ตร.กม.) รองลงมาคือพื้นที่เสี่ยงสูง (141.62 ตร.กม.) หากคิดรวมพื้นที่เสี่ยงมากทั้งสองเข้าด้วยกันพบว่าพื้นที่เสี่ยงดินถล่มดังกล่าวมีมากถึงร้อยละ 61.35 ของพื้นที่ทั้งหมด หากเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอำเภอหนองปีตา (รูปที่ 2) และพื้นที่เสี่ยงจากแบบจำลองที่มาจากวิธี FR พบว่าพื้นที่เสี่ยงสูงและสูงมากจากวิธีทั้งสองมีขอบเขตพื้นที่ค่อนข้างตรงกันและพบนัยของความสอดคล้องกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มเช่นกัน หากพิจารณาถึงปัจจัยที่มีความเชื่อมโยงกับพื้นที่เสี่ยงสูง พบว่ามีปัจจัยเชื่อมโยงที่มีกลุ่มปัจจัยย่อยเหมือนกับผลของวิธี FR ที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ หากพิจารณาความ

ชัดเจนในการจำแนกความเสี่ยงจากพื้นที่เสี่ยงผลของพื้นที่เสี่ยงที่คำนวณจากวิธี WoE ให้ผลลัพธ์ที่มีการแบ่งสีของพื้นที่เสี่ยงค่อนข้างชัดเจน ในขณะที่ผลของแบบจำลองที่มาจากวิธีแบบ FR พบการกระจายตัวของพื้นที่เสี่ยงที่แตกต่างกันในแต่ละประเภทของพื้นที่เสี่ยง ตัวอย่างเช่นมีพื้นที่เสี่ยงสูงกระจายตัวแบบบางในทุพื้นที่เสี่ยงสูงมาก และพื้นที่เสี่ยงปานกลางกระจายแบบบางตัวในพื้นที่เสี่ยงมากในพื้นที่ตอนกลางของอำเภอหนองปีตา เป็นต้น อย่างไรก็ตามพบผลพื้นที่เสี่ยงต่ำและต่ำมากของทั้งสองแบบจำลองที่ให้ผลไม่ตรงกัน กล่าวคือ ตรงกลางของแผนที่เสี่ยงด้วยวิธีแบบ FR ให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นพื้นที่เสี่ยงต่ำในขณะที่พื้นที่ดังกล่าวในวิธีแบบ WoE ให้ผลที่เป็นพื้นที่เสี่ยงต่ำมาก

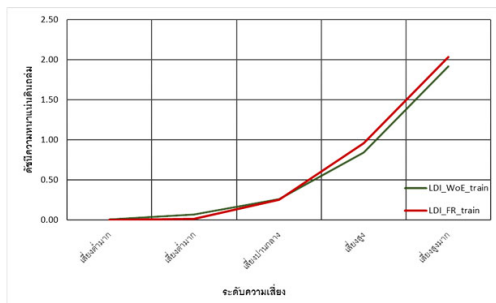


(a)

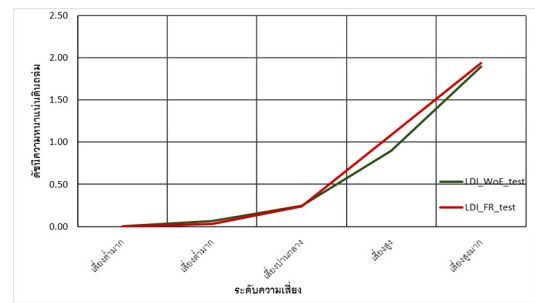


(b)

รูปที่ 6 กราฟ (a) ค่าอัตราความสำเร็จของแบบจำลอง FR และ WoE และ (b) ค่าอัตราการทำนายของแบบจำลอง FR และ WoE



(a)



(b)

รูปที่ 7 (a) ดัชนีความหนาแน่นดินถล่มของการทดสอบ และ (b) ดัชนีความหนาแน่นดินถล่มของการตรวจสอบ

#### 4.3 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองพื้นที่เสี่ยงดินถล่ม

จากการทดสอบผลความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลองที่อาศัยการประเมินผลเทียบกับข้อมูลประวัติการเกิดดินถล่ม ผลที่ได้จากการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองพื้นที่เสี่ยงดินถล่มที่สร้างด้วยวิธี FR และ WoE ด้วยการวิเคราะห์วิธีพื้นที่ใต้กราฟ (AUC) ให้ผลดังรูปที่ 6 ทั้งนี้พบว่าค่าอัตราการสำเร็จ (Success rate) ที่ประเมินความสามารถในการจำแนกระดับความเสี่ยงต่าง ๆ ในบริเวณที่มีตำแหน่งเหตุการณ์ดินถล่ม ผลจากวิธีแบบ FR มีค่าสูงกว่าแบบ WoE โดยค่าอัตราการสำเร็จของแบบจำลอง FR มีค่าร้อยละ 75.1 และค่าอัตราการสำเร็จของแบบจำลอง WoE มีค่าร้อยละ 74.7 ดังรูปที่ 6 (a) ในส่วนของค่าอัตราการทำนาย (Predictive rate) ที่ใช้ประเมินความสามารถในการจำแนกระดับความเสี่ยงต่าง ๆ ในบริเวณที่มีตำแหน่งเหตุการณ์ดินถล่ม วิธีแบบ FR มีค่าใกล้เคียงกับแบบ WoE เช่นกัน โดยค่าอัตราการทำนายของแบบจำลอง FR มีค่าร้อยละ 73.7 และค่าอัตราการทำนายของแบบจำลอง WoE มีค่าร้อยละ 73.6 ดังแสดงในรูปที่ 6(b) ผลจากตัวชี้วัดทั้งสองที่มาจากแบบจำลองทั้งสองสามารถสะท้อนให้เห็นถึงความแม่นยำในการทำนายในระดับดี เช่นเดียวกับที่พบในงานของ Aghdam และคณะ [12] ที่มีค่าอัตราการทำนายของแบบจำลองวิธีแบบ FR และ WoE ร้อยละ 85 และ 86 ตามลำดับ

พิจารณาค่าความถูกต้องและแม่นยำของแบบจำลองทั้งสองที่สะท้อนออกมาในรูปของค่าดัชนีความหนาแน่นของดินถล่ม (LDI) ของการทดสอบ (training) และการตรวจสอบ (testing) ซึ่งมาจากการนำข้อมูลตำแหน่งดินถล่มจำนวน 3,261 ตำแหน่งแบ่งเป็นข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลอง (Training Data) พื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มจำนวน 1,957 ตำแหน่ง (ร้อยละ 60) และข้อมูลใช้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Testing Data) จำนวน 1,304 ตำแหน่ง (ร้อยละ 40) ผลการเปรียบเทียบความหนาแน่นการเกิดดินถล่มกับช่วงชั้นความเสี่ยงของแบบจำลองทั้งสองแสดงดังรูปที่ 7 ผลที่ได้พบว่าค่า LDI ของการทดสอบสำหรับชั้นความเสี่ยงสูงมากมีค่า LDI สูงกว่าช่วงชั้นความเสี่ยงอื่นๆ โดยพบค่า LDI ค่อยลดลงตามระดับความเสี่ยงที่ลดลง (รูปที่ 7a) ผลดังกล่าวสามารถสะท้อนให้เห็นถึงความถูกต้องของแผนที่ความเสี่ยงต่อดินถล่ม ในทำนอง

เดียวกันค่า LDI (test) ควรแปรผันกับระดับความเสี่ยงด้วยดังที่ Can และคณะ [26] และ Bai และคณะ [27] ได้ระบุว่า ข้อมูลดินถล่มควรอยู่ในประเภทที่มีความเสี่ยงสูงหรือสูงมาก สำหรับการตรวจสอบแผนที่เสี่ยง ซึ่งผลของค่า LDI ของการตรวจสอบที่แสดงผลร่วมกับระดับความเสี่ยงถูกนำมาใช้สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของผลจากวิธีแบบ FR และ WoE (รูปที่ 7b) โดยผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความถูกต้อง เช่นกันดังที่พบผลลัพธ์ของค่า LDI ทดสอบที่สูงสุดที่ความเสี่ยงสูงมากและแนวโน้มที่ค่า LDI ที่ลดลงตามความเสี่ยงเช่นเดียวกับที่พบจากค่า LDI ตรวจสอบ นอกจากนี้การมีค่าร้อยละและความหนาแน่นของการเกิดดินถล่มสูงสุดในระดับความเสี่ยงการเกิดดินถล่มที่สูงมากสามารถบ่งชี้ถึงความน่าเชื่อถือของแผนที่ความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มที่เกิดจากแบบจำลอง FR และ WoE ด้วยเช่นกัน

จากการประเมินพื้นที่เสี่ยงด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองพื้นที่เสี่ยงดินถล่มด้วยวิธีการ FR และ WoE พบว่าผลลัพธ์ที่ได้ค่อนข้างคล้ายคลึงกัน คือมีพื้นที่เสี่ยงสูงมากที่ตรงกับข้อมูลประวัติการเกิดร้อยละ 71-79 โดยมีพื้นที่เสี่ยงสูงพบในลำดับรองลงมาร้อยละ 18-26 เนื่องจากวิธีทั้งสองต่างสร้างแบบจำลองบนพื้นฐานข้อมูลประวัติการเกิดดินถล่มทั้ง 3,261 เหตุการณ์เหมือนกัน แม้เป็นการแบ่งไปใช้ในกระบวนการทดสอบและตรวจสอบก็ตาม โดยผลการประเมินความถูกต้องและแม่นยำต่างก็ให้ผลที่ค่อนข้างดี เช่นเดียวกับที่พบการใช้วิธีการดังกล่าวในหลายงานวิจัย [12] [20-21] [24-25] อย่างไรก็ตามผลของวิธีดังกล่าวขึ้นกับข้อมูลปัจจัยที่เลือกใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยว่ามีความสามารถในการจำแนกความแตกต่างของความเสี่ยงการเกิดดินถล่มได้มากน้อยเพียงใด

ในงานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะที่อาจนำมาช่วยปรับปรุงให้เกิดความแม่นยำมากขึ้นได้ในอนาคตในบางประเด็น ประเด็นแรกข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ค่อนข้างกว้างเนื่องจากมีจำนวนสถานีในการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนน้อย หากมีข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่มีความละเอียดในการแยกชั้นข้อมูลและครอบคลุมกับข้อมูลจุดตำแหน่งดินถล่มอาจช่วยให้มีการจำแนกข้อมูลความเสี่ยงที่ดีขึ้น ประเด็นที่สองคือการเพิ่มปัจจัยที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งจากหลายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับดินถล่ม [11-12] พบว่า มีการใช้ปัจจัยที่ในการสร้างแบบจำลองเหมือนกันและต่างกัน แต่มีบางปัจจัยที่ไม่มีข้อมูลของปัจจัยดังกล่าวใน

พื้นที่ เช่น ระยะห่างจากถนน, NDVI, ความชันสะท้อน, Plan curvature และ Profile curvature เป็นต้น ทั้งนี้หากมีการศึกษาข้อมูลปัจจัยดังกล่าวเพิ่มเติมและนำมาประกอบในการสร้างแบบจำลองอาจช่วยนำเสนอภาพความเสี่ยงดินถล่มของพื้นที่ที่มีขนาดเล็กได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ประเด็นถัดมาอาจนำวิธีการสร้างแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์แบบอื่นๆ มาเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่แตกต่างกันอาจได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของพื้นที่แต่ละพื้นที่ได้เช่นกัน ประเด็นสุดท้ายหากนำข้อมูลจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์อื่นๆ เช่น ข้อมูลจำนวนครัวเรือน จำนวนประชากร สถานที่ที่ตั้งของสถานที่ที่สามารถสนับสนุนด้านการช่วยเหลือ และเส้นทางการคมนาคม มาใช้ร่วมกับข้อมูลความเสี่ยงดินถล่มดังกล่าวอาจช่วยในการบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งสนับสนุนที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและบรรเทาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากดินถล่มในอนาคตได้

## 6. สรุป

1) ผลจากการประเมินพื้นที่เสี่ยงดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองกลาย อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยวิธีอัตราส่วนความถี่ (FR) ให้ผลของพื้นที่เสี่ยงสูงมากมีขนาดของพื้นที่มากที่สุด (246.20 ตร.กม.) รองลงมาคือพื้นที่เสี่ยงสูง (187.33 ตร.กม.) หากคิดรวมพื้นที่ทั้งสองเข้าด้วยกันพบว่าพื้นที่เสี่ยงดินถล่มดังกล่าวมีมากถึงร้อยละ 61.17 ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนผลจากวิธีค่าน้ำหนักของหลักฐาน (WoE) พบพื้นที่เสี่ยงสูงมากมีขนาดของพื้นที่มากที่สุด (293.22 ตร.กม.) รองลงมาคือพื้นที่เสี่ยงสูง (141.62 ตร.กม.) หากคิดรวมพื้นที่เสี่ยงสูงทั้งสองเข้าด้วยกันพบว่าพื้นที่เสี่ยงดินถล่มดังกล่าวมีมากถึงร้อยละ 61.35 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่เสี่ยงสูงมากจากทั้งสองแบบจำลองพบสอดคล้องกันเชิงที่ตั้งและสอดคล้องกับตำแหน่งการเกิดดินถล่มคือบริเวณ ส่วนพื้นที่ที่เกิดดินถล่มบางส่วนในพื้นที่ตรงกลางค่อนข้างมาทางตอนล่างพบตรงกับพื้นที่เสี่ยงสูง

2) ในการทดสอบผลความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลองที่มาจากวิธีอัตราส่วนความถี่และวิธีค่าน้ำหนักของหลักฐานให้ผลลัพธ์ของค่าอัตราการทำนายและอัตราความสำเร็จที่อยู่ในระดับดีใกล้เคียงกันคือมีค่ามากกว่าร้อยละ 70 แต่ผลจากแบบจำลองวิธีแบบ FR ดีกว่า วิธีแบบ WoE เพียงเล็กน้อย โดยค่าความหนาแน่นของดินถล่มและช่วงชั้นความเสี่ยงจากแบบ

จำลองทั้งสองต่างก็ให้ผลลัพธ์เหมือนกันคือมีความแม่นยำและถูกต้องของแผนที่ความเสี่ยงต่อดินถล่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงและสูงมากเมื่อพิจารณาผลการศึกษาถึงความผันแปรของข้อมูลและความคลาดเคลื่อนทางสถิติ พบว่าการใช้วิธี IDW มีผลต่อการกระจายเชิงพื้นที่ของความถี่ดินถล่มหันต่อเนื่องและสอดคล้องกับข้อมูลที่ตรวจวัดมากกว่าวิธีอื่นเป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อนและมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่สูงเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ที่ใช้ในการศึกษานี้ อย่างไรก็ตามเพื่อให้เกิดความชัดเจนของผลการศึกษามากยิ่งขึ้น หากมีการเพิ่มจำนวนและความหนาแน่นของจุดตัวอย่างที่ใช้ในการแทรกค่าและตรวจสอบความถูกต้องอาจทำให้ผลการศึกษาที่สามารถยืนยันความแตกต่างกันทางสถิติได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต ที่สนับสนุนอุปกรณ์และทุนวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาในส่วนของคำแนะนำด้านข้อมูลในพื้นที่ศึกษาสำหรับการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณ กรมทรัพยากรธรณีและกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยในความเอื้อเฟื้อบุคลากรให้คำปรึกษาด้านข้อมูลในงานวิจัยดังกล่าว

## 8. เอกสารอ้างอิง

1. Suteerasak, T. and Tohwanlong, W., 2016, "Application of Basic Mathematics to the Studying of Hillside Slope and Soil Surface of Landslide Area: A Case Study of Phuket Province," *KMUTT Research and Development Journal*, 39 (4), pp. 491-508.
2. Department of Mineral Resource, 2011, *Landslide Susceptibility Map in the Community Level of Nakhon Si Thammarat Province* (Research Report), Department of Mineral Resource, Ministry of Natural Resources and Environment. (In Thai)
3. Mineral Resources Regional Office 13, 2016, *Nakhon Si Thammarat: Landslide Susceptibility Report* (Report No. 10006), Department of Mineral Resource, Bangkok. (In Thai)

4. Duangpiboon, S., Suteerasak, T., Rattanakom, R. and Towanlong, W., 2018, "Flood Susceptibility Mapping Using Geographic Information System and Frequency Ratio Analysis in the Lang Suan Watershed, Southern Thailand," *The Journal of KMUTNB*, 28 (2), pp. 259–272. (In Thai)
5. Jirakajonhkool, S., Klawwikarn, P. and Oumkratum, S., 2012, "Geo-Informatics for landslide risk zone assessment in Wang Sa Pung Amphoe, Loei Province," *Thai Journal of Science and Technology*, 1 (3), pp. 197-210. (In Thai)
6. Khiaosalap, P. and Tongdenok, P., 2015, "Assessment of Landslide Hazard Applying Techniques Weighted Factor Index Method and Geographic Information System in Huai Mae Saroi Watershed, Phrae Province," *Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference: Science, Genetic Engineering, Architecture and Engineering, Agro-Industry, Natural Resources and Environment. Bangkok (Thailand): The Thailand Research Fund*, Bangkok, Thailand, pp. 1264-1271. (In Thai)
7. Oh, H.J., Lee, S., Chotikasathien, W., Kim, C.H. and Kwon, J.H., 2009, "Predictive Landslide Susceptibility Mapping using Spatial Information in the Pechabun Area of Thailand," *Environ Geol*, 57, pp. 641–651.
8. Mersha, T. and Meten, M., 2010, "GIS-based Landslide Susceptibility Mapping and Assessment using Bivariate Statistical Methods in Simada Area, Northwestern Ethiopia," *Geoenvironmental Disasters*, 7 (20), pp. 1-22.
9. Cao, Y., Wei, X., Fan, W., Nan, Y., Xiong, W. and Zhang, S., 2021, "Landslide Susceptibility Assessment using the Weight of Evidence Method: A Case Study in Xunyang Area, China," *PLoS ONE*, 16 (1): e0245668, pp. 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245668>
10. van Westen, C.J., Rengers, N. and Soeters, R., 2003, "Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment," *Natural Hazards*, 30, pp. 399–419.
11. Nohani, E., Moharrami, M., Sharafi, S., Khosravi, K., Pradhan, B., Pham, B.T., Lee, S. and Melesse, A.M., 2019, "Landslide Susceptibility Mapping Using Different GIS-Based Bivariate Models," *Water*, 11 (7), 1402. <https://doi.org/10.3390/w11071402>
12. Aghdam, I.N., Pradhan, B. and Panahi, M., 2017, "Landslide Susceptibility Assessment using a Novel Hybrid Model of Statistical Bivariate Methods (FR and WOE) and Adaptive Neuro-fuzzy Inference System (ANFIS) at Southern Zagros Mountains in Iran," *Environ Earth Sci*, 76 (237), pp. 1-22.
13. Office of the National Water Resources, 2021, 22 Basins in Thailand and Royal Decree Defines the Group of Basins 2021 [Online], Available: <http://www.onwr.go.th/?p=10637>. [20 September 2022]
14. Meteorological Department, 2014, Rainfall Report [Online], Available: <http://hydromet.tmd.go.th/Reports/Main.aspx>. [11 November 2021]
15. Suwannasri, M., Prasanchum, H. and Phonkasi, S., 2017, "Comparison of Rainfall from TRMM with Rain Gauge Station in Upper Nam Phong River Basin," *Proceedings of the 14<sup>th</sup> KU-KPS Conference*, Bangkok, Thailand, pp. 198-206. (In Thai)
16. Office of Soil Survey and Land Use Planning, 2000, Characteristics and Properties of Established Soil Series in the Peninsular and Southeast Coast Regions of Thailand, Report no. 56/03/48, Land Development Department, Bangkok. (In Thai)
17. Regmi, N.R., Giardino, J.R. and Vitek, J.D., 2010, "Modeling Susceptibility to Landslides using the Weight of Evidence Approach: Western Colorado, USA," *Geomorphology*, 115, pp. 172–187.

18. Akgun, A., Dag, S. and Bulut, F., 2008, "Landslide Susceptibility Mapping for a Landslide-prone Area (Findikli, NE of Turkey) by Likelihood-frequency Ratio and Weighted Linear Combination Models," *Environ Geol*, 54, pp. 1127–1143.
19. Pardeshi, S.D., Autade, S.E. and Pardeshi, S.S., 2013, "Landslide Hazard Assessment: Recent Trends and Techniques," *SpringerPlus*, 2 (1), pp. 523, 1-11.
20. Bonham-Carter, G.F., 1994, "APPENDIX II - Fortran Program for Calculating Weights of Evidence," pp. 341-343, in G.F. Bonham-Carter and D.F. Merriam (Eds.), *Geographic Information Systems for Geoscientists; Modelling with GIS, Computer Methods in the Geosciences*, Vol. 13, Pergamon Press, Netherlands.
21. Dahal, R. K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Masuda, T. and Nishino, K., 2007, "GIS-based Weights-of-evidence Modelling of Rainfall-induced Landslides in Small Catchments for Landslide Susceptibility Mapping," *Environmental Geology*, 54, pp. 311–324.
22. van Westen, C.J., 2002, "Case Study Data-Driven Models: Use of weights of Evidence Modeling for Landslide Susceptibility Mapping" ILWIS Application Weights of Evidence Modeling [Online], Available: [https://filetransfer.itc.nl/pub/westen/GISSIZ/Chapter%206%20-%20Exercises/GIS%20exercises/Data%20driven%20models/Exercise%20data\\_driven%20models%202002.pdf](https://filetransfer.itc.nl/pub/westen/GISSIZ/Chapter%206%20-%20Exercises/GIS%20exercises/Data%20driven%20models/Exercise%20data_driven%20models%202002.pdf). [11 November 2021]
23. Chung, C.-J.F. and Fabbri, A.G., 2003, "Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping," *Natural Hazards*, 30 (3), pp. 451-472.
24. Pham, B.T., Bui, D.T., Indra, P. and Dholakia, M.B., 2015, "Landslide Susceptibility Assessment at a Part of Uttarakhand Himalaya, India using GIS-based Statistical Approach Frequency Ratio Method," *International Journal of Engineering Research and Technology*, 4 (11), pp. 338–344.
25. Fayez, L., Pham, B.T., Solanki, H.A., Pazhman, D., Dholakia, M.B., Khalid, M., Prakash, I., 2018, "Application of Frequency Ratio Model for the Development of Landslide Susceptibility Mapping at Part of Uttarakhand State, India," *International Journal of Applied Engineering Research*, 13 (9), pp. 6846–6854.
26. Can, T., Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H. and Duman, T.Y., 2005, "Susceptibility Assessments of Shallow Earthflows Triggered by Heavy Rainfall at Three Catchments by Logistic Regression Analyses," *Geomorphology*, 72 (1-4), pp. 250-271.
27. Bai, S.B., Wang, J., Lu, G-N., Zhou, P-G., Hou, S-S. and Xu, S-N., 2010, "GIS-based Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping of the Zhongxian Segment in the Three Gorges Area, China," *Geomorphology*, 115, pp. 23–31.