



การวิเคราะห์ความอ่อนไหวเชิงพื้นที่และความน่าจะเป็นของรูปแบบฝนที่ก่อให้เกิดดินถล่ม  
ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยด้วยข้อมูล Tropical Rainfall Measuring Mission โดยใช้  
ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์



ศศิธร ฉัตรสุตารัตน์

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร  
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร



การวิเคราะห์ความอ่อนไหวเชิงพื้นที่และความน่าจะเป็นของรูปแบบฝนที่ก่อให้เกิดดินถล่ม  
ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยด้วยข้อมูล Tropical Rainfall Measuring Mission โดยใช้  
ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร  
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การวิเคราะห์ความอ่อนไหวเชิงพื้นที่และความน่าจะเป็นของรูปแบบฝนที่ก่อให้เกิด  
ดินถล่มในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยด้วยข้อมูล Tropical Rainfall Measuring Mission โดยใช้  
ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์"

ของ ศศิธร ฉัตรสุตารัตน์

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

### คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาสพงษ์ รุ่งทำนอง)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐพล มหาวิค)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ดร.จรัสดาว คงเมือง)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ อัมพรสถิร)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรุญ สารินทร์)

อนุมัติ

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล มุณีสว่าง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

<b>ชื่อเรื่อง</b>	การวิเคราะห์ความอ่อนไหวเชิงพื้นที่และความน่าจะเป็นของรูปแบบฝนที่ก่อให้เกิดดินถล่มในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยด้วยข้อมูล Tropical Rainfall Measuring Mission โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
<b>ผู้วิจัย</b>	ศศิธร ฉัตรสุตารัตน์
<b>ประธานที่ปรึกษา</b>	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นัฐพล มหาวิค
<b>กรรมการที่ปรึกษา</b>	ดร.จรัสดาว คงเมือง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชรินทร์ อัมพรสถิร
<b>ประเภทสารนิพนธ์</b>	วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2564
<b>คำสำคัญ</b>	ดินถล่ม, อัตราส่วนความถี่, กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น, ความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียน, ดาวเทียม TRMM

#### บทคัดย่อ

การศึกษาความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม พื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ด้วยวิธีแบบจำลองความถี่และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบแบบจำลองอัตราส่วนความถี่ (FR) และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) โดยรวบรวมปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม ได้แก่ ความสูง (Elevation) ทิศด้านลาด (Slope aspect) ค่ามุมความลาดชัน (Slope angle) ชนิดหิน (Lithology) ระยะห่างจากรอยเลื่อน (Distance to Lineament) ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ (Distance to Drainage) อนุภาคของดิน (Soil texture) ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) และดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ (Normalized difference vegetation index : NDVI) และเพื่อศึกษารูปแบบฝนก่อนและระหว่างเหตุการณ์ดินถล่ม โดยใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียน (Bayesian Probability) ใช้ข้อมูลตำแหน่งดินถล่มในปีพ.ศ. 2554 ในระดับความอ่อนไหวสูงและสูงมาก

ผลการศึกษาของแบบจำลองอัตราส่วนความถี่ และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นสามารถแบ่งเป็นระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มได้ 5 ระดับ ได้แก่ พื้นที่อ่อนไหวระดับต่ำมาก (VLS) พื้นที่ระดับอ่อนไหวต่ำ (LS) พื้นที่อ่อนไหวระดับปานกลาง (MS) พื้นที่อ่อนไหวระดับสูง (HS) และพื้นที่อ่อนไหวระดับสูงมาก (VHS) โดยทั้งสองวิธีการใช้การแบ่งพื้นที่ด้วยวิธี เนเชอรัลเบรค (Natural Breaks) เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองและตรวจสอบความน่าเชื่อถือด้วยวิธีการพื้นที่ได้กราฟ

(The Area Under Curve) พบว่า กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) มีความถูกต้องค่าการทำนายสูงสุดเท่ากับร้อยละ 62.56 และอัตราส่วนความถี่ (FR) มีความถูกต้องค่าการทำนายมีค่าเท่ากับร้อยละ 53.44 ผลจากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่ากระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และการศึกษาความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียนของรูปแบบฝนในปีพ.ศ. 2554 พื้นที่ความอ่อนในพื้นที่เสี่ยงสูงและสูงมาก พบว่า ความสัมพันธ์ปริมาณน้ำฝนสะสมและระยะเวลาฝนตก (A-D) ในช่วงปริมาณน้ำฝนสะสม  $> 152$  มม.และระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน มีค่าความน่าจะเป็นที่จะก่อให้เกิดเหตุการณ์ดินถล่มสูงสุดเท่ากับ 0.12 หรือ ร้อยละ 12 ซึ่งสามารถนำแผนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้วางแผนในการรับมือภัยพิบัติ อีกทั้งสามารถช่วยให้ประชาชนหรือหน่วยงาน ตระหนักถึงดินถล่มที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้



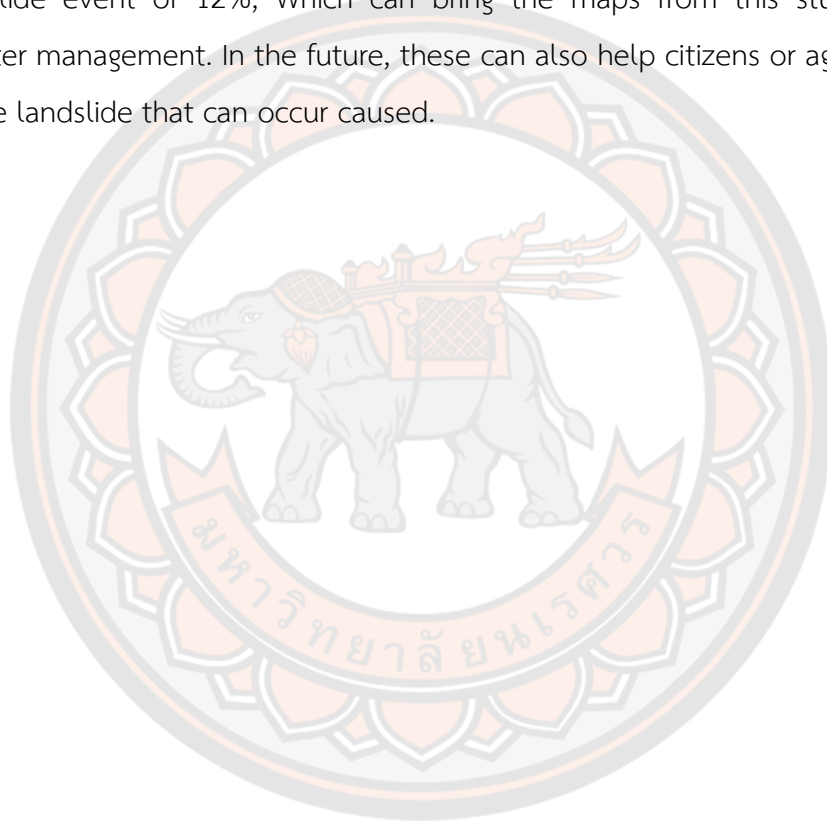
<b>Title</b>	AN ANALYSIS OF SPATIAL SUSCEPTIBILITY AND PROBABILITY OF RAINFALL PATTERN INDUCING LANDSLIDES IN NORTHERN THAILAND WITH TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION DATA USING GIS
<b>Author</b>	SASITHON CHATSUDARAT
<b>Advisor</b>	Assistant Professor Nattapon Mahavik, D.Sc.
<b>Co-Advisor</b>	Charatdao Kongmuang, Ph.D. Assistant Professor Chanin Umponstira, Ph.D.
<b>Academic Paper</b>	M.S. Thesis in Environmental Science, Naresuan University, 2021
<b>Keywords</b>	Landslide, Frequency Ratio, Analytical Hierarchy Process, Bayesian Probability, The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

### ABSTRACT

This research studied landslide susceptibility in Northern Thailand by using Frequency Ratio (FR) model and Analytic Hierarchy Process (AHP). The objectives of this study are to study and compare Frequency Ratio model (FR) and Analytic Hierarchy Process (AHP) by collecting the influencing factors for the occurrence of landslides. These factors include elevation, slope aspect, slope angle, lithology, distance to lineament, distance to drainage, soil texture, rainfall, land use and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). And, another objective is to study precipitation patterns both previous and during landslides. The 2011 landslide location data was used in the Bayesian Probability Model to study precipitation patterns.

For results of FR model and AHP, it can be divided into 5 levels of susceptibility to landslide: Very Low Susceptibility (VLS), Low Susceptibility (LS), Medium Susceptibility (MS), High Susceptibility (HS) and Very High Susceptibility (VHS). Both methods are used natural breaks. When the model is compared and verified

their reliability by using the Area Under Curve (AUC), the highest prediction rate (AHP) was 62.56%. And, the FR method was accuracy which the prediction rate was 53.44%. This study concluded that the hierarchical analysis (AHP) process is the best results. Also, the susceptibility areas in HS and VHS using the Bayesian probability of rainfall patterns in 2011 indicated that the correlation of Accumulative and Duration Rainfall (A-D). The correlation of A-D represents accumulative rainfall period  $> 152$  mm and the duration of rain  $\leq 7$  days had the highest probability of causing a landslide event of 12%, Which can bring the maps from this study to plan for disaster management. In the future, these can also help citizens or agencies to aware of the landslide that can occur caused.





## ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งได้ปลูกฝังองค์ความรู้ในระดับปริญญาตรี ส่งผลให้มีความสามารถในทางภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศที่นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาระดับปริญญาโท ทั้งนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สำหรับการให้องค์ความรู้ด้านวิชาการ คำปรึกษา รวมถึงกำลังใจอันมีค่ายิ่งที่สนับสนุนให้การวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จและสมบูรณ์ได้ด้วยดี นอกจากนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่าน อีกทั้งคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งเป็นสถาบันอันที่รักและภาคภูมิใจยิ่ง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐพล มหาวิค อาจารย์ประจำหลักสูตรภูมิศาสตร์ และภูมิสารสนเทศศาสตร์ ซึ่งเปรียบเสมือน “ครู” “บิดา” และ “ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์” คอยให้ทั้งองค์ความรู้และชี้แนวทางให้คำแนะนำในการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์และการเขียนงานในการตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการให้แก่ผู้วิจัยทั้งในระดับปริญญาตรีและปริญญาโท นอกจากนี้ขอขอบคุณทุนสนับสนุนค่าเล่าเรียนจากงบประมาณวิจัยของอาจารย์ และขอขอบพระคุณคุณคุณนิภาพร มหาวิค ที่คอยสนับสนุนและคอยให้กำลังใจในการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรีลัมภ์ รวมถึงข้อมูลที่ได้รับจากหน่วยงานต่างๆ อันได้แก่ กรมพัฒนาที่ดิน กรมทรัพยากรธรณี ที่อนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ พร้อมทั้งขอขอบพระคุณคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ อันได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สุภาสพงษ์ ฐู๋ทำนอง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.จรัสดาว คงเมือง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินทร์ อัมพรสถิร กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรุญ สารินทร์ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณาคำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์มาอย่างดีตลอดจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงลงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอมอบความกตัญญูทเวทิตาคุณให้แก่ คุณตาพิเชฐ ฉัตรสุตารัตน์ คุณยายมาลัย ฉัตรสุตารัตน์ และคุณแม่เพ็ญศรี ฉัตรสุตารัตน์ ที่คอยสนับสนุนการศึกษามาโดยตลอด รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกท่าน พี่ๆ น้องๆ เพื่อนทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับ และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

ศศิธร ฉัตรสุตารัตน์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
ประกาศศุณฺพการ.....	ช
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ฒ
บทที่ 1.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1. ขอบเขตด้านพื้นที่.....	3
2. ขอบเขตด้านวิธีการ.....	3
3. ขอบเขตด้านระยะเวลา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
บทที่ 2.....	5
2.1 คำจำกัดความของดินถล่ม.....	5
1. การเกิดและรูปแบบของดินถล่ม.....	5
2. ประเภทและลักษณะของการเกิดดินถล่ม.....	7

2.2 สาเหตุและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม .....	9
1. ความลาดชัน (Slope).....	9
2. ชนิดของหิน (Lithology).....	9
3. การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (Land use/land cover).....	11
4. ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) .....	12
5. โครงสร้างทางธรณีวิทยา (Geological Structure).....	12
2.3 สถิติการเกิดดินถล่มในประเทศไทย .....	13
2.4 แผนที่ดินถล่ม (Landslide map).....	14
1. แผนที่แสดงบริเวณและความรุนแรงที่เคยเกิดดินถล่ม .....	14
2. แผนที่แสดงความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม .....	15
3. แผนที่แสดงโอกาสเกิดดินถล่ม .....	15
4. แผนที่แสดงเสี่ยงดินถล่ม .....	15
2.5 การประเมินปริมาณน้ำฝนในเหตุการณ์ดินถล่ม .....	15
2.6 ระบบภูมิสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS).....	16
1. ความหมายของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ .....	16
2. องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.....	16
3. ลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ .....	17
2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Analysis of Spatial Data).....	18
2.8 กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP).....	19
2.9 อัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio: FR).....	23
2.10 ทฤษฎีของเบย์ (Bayes' theorem).....	23
2.11 ข้อมูลดาวเทียม The Tropical Rainfall Measuring Mission .....	25

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
1. การสร้างแผนที่อ่อนไหวต่อการดินถล่มร่วมกับภูมิสารสนเทศ.....	27
2. ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนภาคพื้นดินและการเกิดดินถล่ม.....	31
3. ความน่าจะเป็นกับดินถล่มที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลดาวเทียม TRMM และฝนสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน .....	33
บทที่ 3 .....	36
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	36
1. การเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา.....	37
2. ลักษณะทางภูมิศาสตร์.....	37
3. ลักษณะทางภูมิอากาศ.....	37
4. ลักษณะภูมิประเทศและภูมิสัณฐาน .....	38
5. ลักษณะทางธรณีวิทยา.....	39
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	40
3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย.....	41
3.4 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล .....	47
3.4.1 การวิเคราะห์แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม .....	47
3.4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	48
3.4.3 การวิเคราะห์แบบจำลองความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียน .....	49
บทที่ 4 .....	51
4.1 ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม .....	51
1. การวิเคราะห์พื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีการอัตราส่วนความถี่ .....	51

2. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น.....	65
3. ผลการเปรียบเทียบและการตรวจสอบค่าความถูกต้อง .....	69
4.2 การคัดเลือกข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	70
1. ข้อมูลในการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มและวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของรูปแบบฝน .....	70
2. การเลือกและจัดกลุ่มข้อมูลเหตุการณ์เกิดดินถล่ม.....	74
3. ปริมาณน้ำฝน 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75, 90 วัน.....	79
4.3 ผลการวิเคราะห์รูปแบบฝนที่มีผลต่อพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม .....	80
1. ปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า .....	80
2. รูปแบบฝนในแต่ละตำแหน่งดินถล่ม .....	81
3. เกณฑ์ความสัมพันธ์ของความเข้มฝนของน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก (I-D).....	82
4. เกณฑ์ความสัมพันธ์ปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาที่ฝนตก (A-D) .....	83
4.4 ผลการศึกษาของรูปแบบฝนโดยการใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นเบย์เซียน .....	84
4.4.1 ความน่าจะเป็นของความเข้มฝนของน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก.....	85
4.4.2 ความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตก .....	87
ตาราง 23 ความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตก .....	87
บทที่ 5.....	90
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	90
5.1.1 ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม.....	90
5.1.2 ผลการศึกษาของรูปแบบฝนโดยการใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นเบย์เซียน .....	91

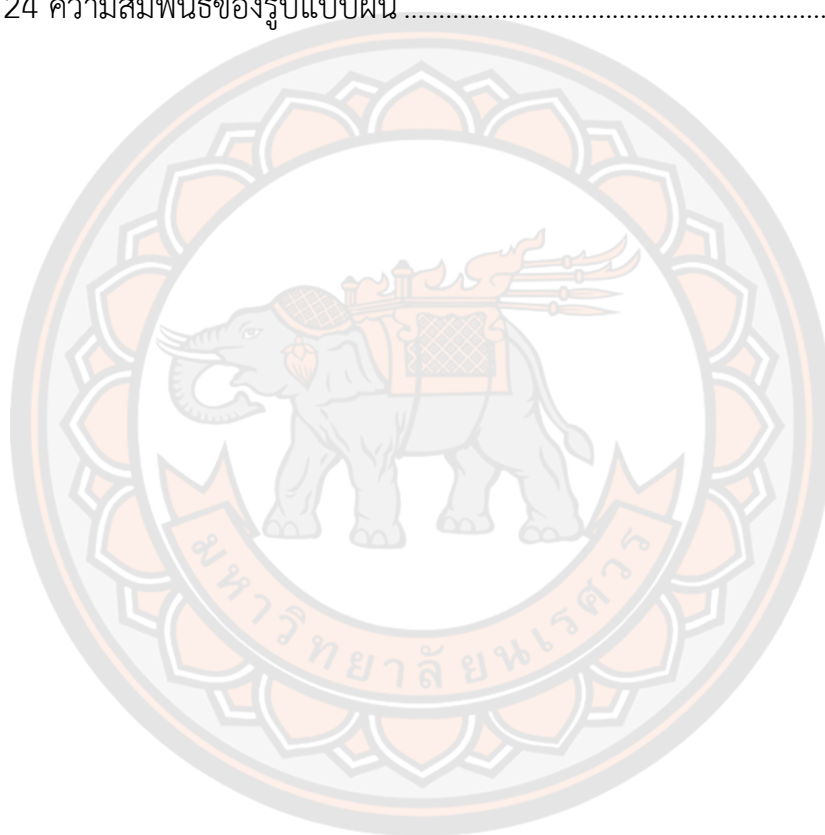
5.2 อภิปรายผล .....	92
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	96
บรรณานุกรม.....	97
ภาคผนวก.....	109
ประวัติผู้วิจัย .....	121



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 การจำแนกชนิดของดินถล่มตามรูปแบบการเคลื่อนที่ของมวลวัสดุ .....	6
ตาราง 2 ระดับโอกาสเกิดดินถล่มในชุดหินต่าง ๆ .....	10
ตาราง 3 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ปีพ.ศ 2559 .....	11
ตาราง 4 เหตุการณ์ธรณีภัยพิบัติช่วงปี พ.ศ. 2551 - พ.ศ. 2560 .....	14
ตาราง 5 ตารางเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบเกณฑ์แต่ละคู่ปัจจัย .....	20
ตาราง 6 ความหมายของการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ .....	21
ตาราง 7 ค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงคู่ (R.I.) .....	22
ตาราง 8 ข้อมูลที่ใช้และแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย .....	41
ตาราง 9 ช่วงค่าความถูกต้องพื้นที่ได้กราฟ (Hasanatic et al., 2010) .....	49
ตาราง 10 การคำนวณอัตราส่วนความถี่ .....	52
ตาราง 11 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการอัตราส่วนความถี่ .....	62
ตาราง 12 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น .....	65
ตาราง 13 ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยด้วยวิธีการระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น .....	66
ตาราง 14 เหตุการณ์ดินถล่มระดับความอ่อนไหวสูงและสูงมาก .....	73
ตาราง 15 ข้อมูลเหตุการณ์ดินถล่มที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ .....	76
ตาราง 16 ข้อมูลเหตุการณ์ดินถล่มที่มนุษย์เป็นปัจจัยเร่ง .....	77
ตาราง 17 ข้อมูลเหตุการณ์ดินถล่มในปี พ.ศ. 2554 .....	78
ตาราง 18 แสดงปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า .....	80
ตาราง 19 แสดงรูปแบบฝนในตำแหน่งดินถล่มในปีพ.ศ. 2554 .....	81

ตาราง 20 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นน้ำฝนกับระยะเวลาฝนที่ส่งผลให้เกิดดินถล่ม...85	
ตาราง 21 ความน่าจะเป็นของความเข้มข้นน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก .....85	
ตาราง 22 ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตกที่ส่งผลให้เกิดดินถล่ม .....87	
ตาราง 23 ความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตก .....87	
ตาราง 24 ความสัมพันธ์ของรูปแบบฝน ..... 113	





## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 องค์ประกอบรูปแบบของดินถล่ม (USGS, 2004) .....	7
ภาพ 2 การจำแนกประเภทของการเกิดดินถล่มตามการเคลื่อนที่.....	8
ภาพ 3 ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินถล่ม.....	9
ภาพ 4 สถิติดินถล่มรายปีและสถิติทั้งหมดในแต่ละเดือนจำแนกตามภูมิภาคของประเทศไทย.....	13
ภาพ 5 ข้อมูลแบบเวกเตอร์และราสเตอร์.....	17
ภาพ 6 การซ้อนทับชั้นข้อมูลประเภทต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับสิ่งพื้นฐาน.....	18
ภาพ 7 แผนภูมิลำดับชั้น.....	19
ภาพ 8 แสดงเหตุการณ์ E ออกเป็นส่วนย่อย k เหตุการณ์.....	23
ภาพ 9 ดาวเทียม Tropical Rainfall Measuring Mission.....	25
ภาพ 10 อุปกรณ์สำรวจของดาวเทียม .....	26
ภาพ 11 เกณฑ์ปริมาณน้ำฝนเพื่อการเตือนภัยดินถล่ม.....	31
ภาพ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณน้ำฝนรายวันกับค่าปริมาณ น้ำฝนสะสม 3 วันในช่วงเกิดดินถล่ม.....	32
ภาพ 13 พื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย.....	36
ภาพ 14 ทิศทางลม พายุหมุนเขตร้อน และแนวร่องความกดอากาศต่ำ ที่พัดผ่านประเทศไทย.....	38
ภาพ 15 ความสูง.....	42
ภาพ 16 ทิศด้านลาด.....	42
ภาพ 17 ค่ามุมความลาดชัน.....	43

ภาพ 18 ชนิดหิน.....	43
ภาพ 19 ระยะห่างจากรอยเลื่อน.....	44
ภาพ 20 ระยะห่างจากทางน้ำ.....	44
ภาพ 21 อนุภาคของดิน.....	45
ภาพ 22 ปริมาณฝน.....	45
ภาพ 23 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	46
ภาพ 24 ดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ.....	46
ภาพ 25 กรอบการดำเนินการวิจัย.....	50
ภาพ 26 ค่าอัตราส่วนความถี่ของแต่ละปัจจัย.....	61
ภาพ 27 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการอัตราส่วนความถี่รายจังหวัด.....	63
ภาพ 28 แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีการอัตราส่วนความถี่.....	64
ภาพ 29 ผลการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นรายจังหวัด.....	67
ภาพ 30 แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น.....	68
ภาพ 31 พื้นที่ที่ได้กราฟด้วยวิธีการ FR และ AHP.....	69
ภาพ 32 กราฟแสดงค่าอัตราการทำนายของแบบจำลอง (Prediction rate curve).....	70
ภาพ 33 จำนวนเหตุการณ์เกิดดินถล่มของแต่ละปี.....	71
ภาพ 34 เหตุการณ์การเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา.....	71
ภาพ 35 แสดงปริมาณน้ำฝนในแต่ละตำแหน่งเหตุการณ์ดินถล่ม.....	72
ภาพ 36 การเปรียบเทียบค่า R-squared ของการจัดกลุ่ม.....	74
ภาพ 37 แสดงการจัดกลุ่มของข้อมูลเหตุการณ์เกิดดินถล่ม.....	75
ภาพ 38 ค่า R-squared ในแต่ละกลุ่มข้อมูลของเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า.....	79

ภาพ 39 แสดงรูปแบบฝนในตำแหน่งดินถล่มในปีพ.ศ. 2554.....	82
ภาพ 40 กราฟความสัมพันธ์ของความเข้มฝนของน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก .....	83
ภาพ 41 ความสัมพันธ์ปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาที่ฝนตก.....	83
ภาพ 42 ความน่าจะเป็นของความเข้มน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก.....	86
ภาพ 43 ความน่าจะเป็นของปริมาณฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตก .....	88
ภาพ 44 แสดงความน่าจะเป็นของตำแหน่งดินถล่มเนื่องจากความสัมพันธ์ฝน .....	89
ภาพ 45 ร้อยละระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ภาคเหนือ .....	90
ภาพ 46 พายุโซนร้อน “นกเตน” .....	95
ภาพ 47 กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณรายวันในวันที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่มกับปริมาณ ฝนก่อนหน้า.....	112
ภาพ 48 แผนที่แสดงตำแหน่งการสำรวจภาคสนาม.....	113
ภาพ 49 ร่องรอยการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา.....	114
ภาพ 50 พุดคุย สอบถาม เกี่ยวกับการเกิดดินถล่มในพื้นที่.....	115
ภาพ 51 สำรวจร่องรอยการเกิดดินถล่ม.....	116
ภาพ 52 ชนิดดิน.....	117
ภาพ 53 อนุภาคของดิน .....	118
ภาพ 54 ชนิดหิน.....	119
ภาพ 55 อุปกรณ์ตรวจวัดและเตือนภัยการเกิดเหตุการณ์ดินถล่ม .....	120

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ดินถล่มเป็นหนึ่งในปัญหาภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วโลก สร้างความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจในระดับโลกและประเทศ โดยประเทศไทยมีการจดบันทึกเหตุการณ์ดินถล่มที่เกิดขึ้น ในช่วง 41 ปีที่ผ่านมา พบว่าเหตุการณ์ดินถล่มส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในภาคเหนือและภาคใต้ สร้างความเสียหายโดยรวม 2,575.5 ล้านบาท และส่งผลกระทบต่อชีวิตของประชาชนประมาณ 286 คน (สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ และคณะ, 2555) ยกตัวอย่างเช่น เหตุการณ์ดินถล่ม เมื่อวันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2549 ในจังหวัดอุดรดิตถ์ จังหวัดสุโขทัย และจังหวัดแพร่ พบว่ามีผู้เสียชีวิตทั้งสิ้น 83 คน และสร้างความเสียหายคิดเป็นเงินมูลค่ากว่า 300 ล้านบาท (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) ในช่วง 25 ปีที่ผ่านมา รัฐบาลหน่วยงาน และสถาบันการวิจัยนานาชาติหลายแห่งทั่วโลกได้ลงทุนทรัพยากรจำนวนมากในการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่จะแสดงถึงการกระจายเชิงพื้นที่ (Guzzetti et al., 2000; Intarawichian & Dasananda, 2011; ภาณุวัฒน์ เขียวสลบ, 2558) มีการนำเสนอกระบวนการวิเคราะห์ จัดทำแผนที่เหล่านี้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่นิยมใช้หลายวิธี ได้แก่ วิธีดัชนีปัจจัยรวม (weighted factor index method) วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ (statistical approach) กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) และอัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio: FR) วิธีวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression) เป็นต้น และเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าดินถล่มหลายแห่งทั่วโลกเกิดจากปริมาณน้ำฝน โดยมีการวิเคราะห์เกิดดินถล่มที่เกิดจากมีปริมาณน้ำฝนเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดดินถล่ม (Robbin. 2016 ; Ya'acob et al., 2019 ; Guzzetti et al., 1998) ซึ่งมีหลายวิธีในการวิเคราะห์เกณฑ์ปริมาณน้ำฝนรวมถึงการใช้มาตรวัดข้อมูลปริมาณน้ำฝนเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและการเกิดดินถล่ม โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่จำกัด เนื่องจากมีจำนวนสถานี และการเข้าถึงสถานีมาตรวัดปริมาณน้ำฝนที่ไม่เพียงพอ นั้น สามารถลดทอนได้โดยใช้ดาวเทียมสำรวจระยะไกลสามารถเป็นทางเลือกสำหรับลดข้อจำกัดนี้ได้

อย่างไรก็ตามพบว่าพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยเป็นพื้นที่สูงหรือพื้นที่ภูเขา ซึ่งมีการติดตั้งสถานีตรวจวัดปริมาณฝนไม่เพียงพอ เนื่องจากข้อจำกัดด้านพลังงานไฟฟ้าที่เข้าไม่ถึงทำให้การ

ตรวจวัดปริมาณฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลมีความถูกต้องไม่มากเท่าที่ควรเนื่องจากเป็นข้อมูลที่ได้จากการประมาณค่าเชิงพื้นที่ ซึ่งสามารถลดทอนได้ด้วยการใช้ข้อมูลประมาณค่าฝนจากการตรวจวัดระยะไกล ดาวเทียมเรดาร์ซึ่งอยู่ในโครงการของ National Aeronautics Space Administration (NASA) นั่นคือ ข้อมูลฝนประมาณค่าจาก The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) ซึ่งมีความละเอียดสูง อีกทั้งข้อมูลมีประโยชน์ในการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการดินถล่ม โดยมีการศึกษาเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพของ TRMM ในภูมิภาคต่าง ๆ (Zulkafli et al., 2014; Yong et al., 2014; Mahavik & Tantane. 2018) ในการประเมินทางสถิติของข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากดาวเทียมที่สัมพันธ์กับเครือข่ายมาตรวัดในแต่ละพื้นที่ อีกทั้งมีการศึกษาความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียนเพื่อประมาณค่าความน่าจะเป็นการเกิดดินถล่มกับลักษณะของฝน และมีการศึกษาความน่าจะเป็นที่ก่อให้เกิดเหตุการณ์ดินถล่มด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากดาวเทียม TRMM (Robbin. 2016 ; Do & Yin. 2018 ; Berti, 2012)

ถึงแม้ว่ามีการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในกลุ่มน้ำแม่แจ่ม ซึ่งตั้งอยู่ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยด้วยการใช้วิธีการอัตราส่วนความถี่ แต่จากการค้นคว้าเอกสารยังไม่พบการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการอัตราส่วนความถี่กับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นที่ครอบคลุมพื้นที่ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย นอกจากนี้ยังไม่พบว่างานวิจัยที่วิเคราะห์ความเชื่อมโยงของพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมของรูปแบบฝนด้วยวิธีความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียน แต่พบได้เพียงการวิเคราะห์ถึงความน่าจะเป็นของการเกิดดินถล่มในพื้นที่ที่สืบเนื่องมาจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนกับระยะเวลาฝนตกพร้อมกันกับการวิเคราะห์ปริมาณฝนตกสะสมกับระยะเวลาฝนตก (สันติ ไทยยืนวงษ์ และคณะ, 2556; สุทธิศักดิ์ ศรีลัมภ์ และธีรไฉย นุ่มมาก, 2556)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการประมาณค่าจากดาวเทียม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการหาพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม โดยใช้วิธีอัตราส่วนความถี่ และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น รวมถึงศึกษาความสัมพันธ์ของรูปแบบของฝนที่ส่งผลต่อการเกิดดินถล่มโดยมีพื้นฐานมาจากระดับความเสี่ยงที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเชิงพื้นที่ที่เหมาะสมกับพื้นที่ โดยวิเคราะห์ความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียนของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก และปริมาณฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตก โดยผลการศึกษาทำให้ทราบถึงพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมและความน่าจะเป็นของรูปแบบฝนที่ส่งผลให้เกิดดินถล่มในพื้นที่ภาคเหนือ เพื่อใช้ในการวางแผนรับมือและป้องกันการเกิดดินถล่มในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.2 จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบแบบจำลองอัตราส่วนความถี่ และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นที่ใช้ในการสร้างแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม

2. เพื่อศึกษารูปแบบฝนก่อนและระหว่างเกิดเหตุการณ์ดินถล่ม โดยใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นเบย์เซียนในพื้นที่ระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มสูงและสูงมาก

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

### 1. ขอบเขตด้านพื้นที่

พื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ประกอบด้วย 9 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดพะเยา จังหวัดน่าน จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน จังหวัดแพร่ และจังหวัดอุตรดิตถ์

### 2. ขอบเขตด้านวิธีการ

1. วิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยอัตราส่วนความถี่ และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

2. วิเคราะห์ความน่าจะเป็นของรูปแบบฝนด้วยแบบจำลองความน่าจะเป็นเบย์เซียน

### 3. ขอบเขตด้านระยะเวลา

1. วิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยอัตราส่วนความถี่และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น : ข้อมูลในปีพ.ศ. 2545 - พ.ศ. 2555

2. วิเคราะห์เกณฑ์ปริมาณฝนและรูปแบบฝนด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2554

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบถึงพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนรับมือป้องกันการเกิดดินถล่มในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยได้

2. ทราบถึงเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนก่อนหน้าในเชิงสถิติด้วยข้อมูลฝนจากดาวเทียม TRMM ที่ก่อให้เกิดดินถล่มในพื้นที่ระดับความอ่อนไหวสูงและความอ่อนไหวสูงมาก

3. ทราบถึงความน่าจะเป็นของรูปแบบฝนที่ก่อให้เกิดดินถล่มในปีพ.ศ. 2554

### 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ดินถล่ม (Landslide) หมายถึง การเคลื่อนที่ของมวลดินหรือหินลงตามลาดเขา โดยอาจมีหรือไม่มีปัจจัยน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง
2. ความเข้มข้นน้ำฝน (Intensity-I) หมายถึง ปริมาณความเข้มข้นน้ำฝนต่อ 1 หน่วยเวลา มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อวัน
3. ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม (Landslide susceptibility) หมายถึง บริเวณที่มีโอกาสเกิดดินถล่ม โดยมักจะแสดงในรูปแบบของระดับความรุนแรงในแต่ละพื้นที่
4. ปริมาณน้ำฝนสะสม (Accumulation-A) หมายถึง จำนวนปริมาณของน้ำฝนในช่วงเวลานั้น มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร
5. ผลัดกันน้ำฝน หมายถึง ผลัดกันน้ำฝนจาก TRMM 3B42 V.7 ซึ่งเป็นข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันได้มาจากดาวเทียม The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) โดยครอบคลุมพื้นที่ 50 องศาเหนือ ถึง 50 องศาใต้
6. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) หมายถึง กระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อใช้วิเคราะห์ความอ่อนไหวการเกิดดินถล่ม
7. ระยะเวลาฝนตก (Duration-D) หมายถึง จำนวนวันที่เกิดฝนตก

## บทที่ 2

### เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การศึกษาความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม โดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และวิธีความน่าจะเป็นด้วยข้อมูล The Tropical Rainfall Measuring Mission บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย โดยมีแนวคิดพื้นฐานและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 2.1 คำจำกัดความของดินถล่ม
- 2.2 สาเหตุและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม
- 2.3 สถิติการเกิดดินถล่มในประเทศไทย
- 2.4 แผนที่ดินถล่ม (Landslide map)
- 2.5 การประเมินปริมาณน้ำฝนในเหตุการณ์ดินถล่ม
- 2.6 ระบบภูมิสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS)
- 2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Analysis of Spatial Data)
- 2.8 กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP)
- 2.9 อัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio: FR)
- 2.10 ทฤษฎีของเบย์เซียน (Bayesian Approach)
- 2.11 ข้อมูลดาวเทียม the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)
- 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 คำจำกัดความของดินถล่ม

##### 1. การเกิดและรูปแบบของดินถล่ม

ดินถล่ม (Landslides) เป็นการเคลื่อนตัวของดินหรือหินที่เกิดจากการมีน้ำซึมผ่านภายใต้ชั้นหินหรือชั้นดิน โดยการเคลื่อนตัวของวัตถุจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ หรือมีแผ่นดินไหวที่เป็นอีกหนึ่งสาเหตุของแผ่นดินถล่มได้ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2523) หรือเป็นการเคลื่อนที่ของมวลดินและหินลงมาตามความลาดชันของเขาด้วยอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงโลก และมีน้ำเข้ามาทำให้มวลดินและหินเคลื่อนตัว มักเกิดจากน้ำป่าไหลหลาก ดินถล่มในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่เกิดจากฝนตกหนักมาก และมักเกิดจากน้ำป่าไหลหลากทำให้เกิดการพัดพาหิน หินทราย และเศษไม้ต่างๆ ไปกับน้ำ (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) หรือเป็นกระบวนการทางธรณีวิทยาที่ทำลายวัสดุธรณี ณี ที่หนึ่งไปแล้วไปสร้างอีกในที่หนึ่ง โดยมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา อาจจะช้าหรือเร็ว มวลหรือเศษหิน และดินที่วางอยู่บนทางลาดสามารถเคลื่อนที่ลงตามความลาดชันจากความถ่วงหรือเรียกว่า การเคลื่อนที่ของมวล (Mass movement, Mass wasting) และเมื่อดินและหินมีน้ำเพิ่มมากขึ้นจากฝนตกหนักติดต่อกัน หลายวัน



การเคลื่อนที่ของมวลดินและหินจะเกิดขึ้นได้ดี เนื่องจากวัฏจักรน้ำจะมีแรงต้านลดลง โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นบ่อยในฤดูฝนและเกิดขึ้นทุกปีในประเทศไทย (กิจการ พรหมมา, 2530) ดินถล่มเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่มวลดินหรือหินผุพังเมื่อถึงระดับหนึ่งจะเกิดการเลื่อนไถลจากที่สูงไปตามแรงโน้มถ่วงลงสู่ที่ต่ำ ตัวกระตุ้นที่เกิดดินถล่มได้เร็วคือ น้ำฝน การสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวและการเปลี่ยนแปลงทางลาดของมนุษย์ (สุทธิศักดิ์ และคณะ, 2551) และ Cruden (1991) ดินถล่มเป็นการเคลื่อนที่ของมวลหินเศษซากหรือดินตามความลาดชัน โดยทั่วไปการเคลื่อนที่ของมวลสารเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณ อาจเป็นพื้นที่เล็ก ๆ หรือพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนส่งผลต่อความชื้นในดินโดยน้ำจะเป็นตัวของมวลดินลงมาตามลาดเขาได้ ความลาดชันของพื้นที่ สภาพธรณีวิทยา ซึ่งเป็นตัวกำหนดวัตถุดิบกำเนิดดิน โครงสร้างดิน และความหนาของชั้นดิน ตลอดจนชนิดของป่าไม้และการใช้ประโยชน์ที่ดิน พฤติกรรมการเกิดดินถล่มนั้น มีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุดิบกำเนิดและชั้นดินที่อยู่บริเวณพื้นที่ลาด เช่น หินแกรนิตจะผุพังเป็นตะกอนดินร่วน ชั้นดินปนทรายปะปนด้วยกรวดชั้นหนาและก้อนหินแกรนิตขนาดใหญ่ ส่วนหินดินดานหรือหินโคลนจะผุเป็นชั้นดินเหนียวและดินเหนียวปนทราย ซึ่งเกิดการเคลื่อนไถลได้ง่าย ส่วนกลไกการพังทลายของพื้นที่มีหลายรูปแบบ ได้แก่ การตก การคว่ำ การถล่ม ซึ่งมีทั้งแบบหมุนและแบบเคลื่อนที่โดยตรง การแตก การแยกของชั้นหินเคลื่อนที่ตามแนวลาดชัน และการไหลของชั้นดินตามแรงโน้มถ่วง การเคลื่อนที่แบบซับซ้อน ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่เกิดจากหลายรูปแบบร่วมกัน แสดงดังตาราง 1

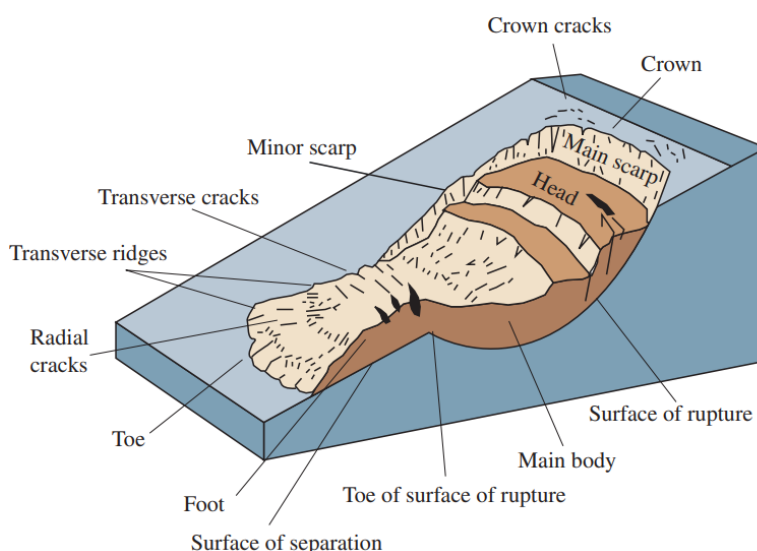
**ตาราง 1** การจำแนกชนิดของดินถล่มตามรูปแบบการเคลื่อนที่ของมวลวัตถุ

รูปแบบการเคลื่อนที่	ชนิดของเนื้อดินและหิน		
	หินฐาน	วิศวกรรมปฐพี	
		ตะกอนเนื้อหยาบ	ตะกอนเนื้อละเอียด
ตก	หินตก	เศษซากตก	ดินตก
คว่ำ	หินคว่ำ	เศษซากคว่ำ	ดินคว่ำ
ถล่ม	หินถล่ม	เศษซากถล่ม	ดินถล่ม
แตกแยก	หินแตกแยก	เศษซากแตกแยก	ดินแตกแยก
ไหล	หินไหล/หินคืบ	เศษซากไหล	ดินไหล
ซับซ้อน	ดินถล่มที่เกิดขึ้นร่วมกันหลายแบบ		

ที่มา: (Varnes, 1978)

## 2. ประเภทและลักษณะของการเกิดดินถล่ม

การเกิดดินถล่มมีหลายประเภทและสามารถแบ่งได้หลายรูปแบบ โดยผู้จำแนกประเภทดินถล่มไว้หลายท่าน ซึ่งส่วนใหญ่มักจะจำแนกประเภทของการเกิดดินถล่มตามลักษณะวัตถุที่เคลื่อนตัว ลักษณะของชนิดวัตถุที่มาประกอบ รวมถึงความเร็วในการเคลื่อนตัว แสดงองค์ประกอบรูปแบบของดินถล่มพร้อมคำศัพท์ที่อธิบายคุณสมบัติเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป ดังภาพ 1



ภาพ 1 องค์ประกอบรูปแบบของดินถล่ม (USGS, 2004)

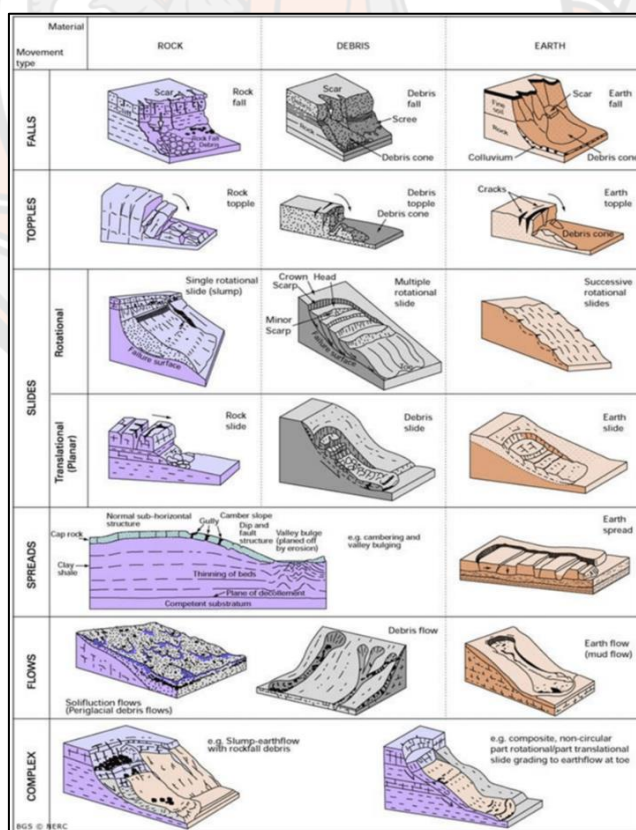
ถึงแม้ว่าดินถล่มโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในพื้นที่เขาสูง แต่ยังสามารถเกิดขึ้นได้ในบริเวณพื้นที่ราบต่ำทั่วไปได้ เช่น การขูดเจาะถนนและอาคาร เป็นต้น โดย Cruden และ Varnes (1996) ผู้ที่ได้รับการยอมรับในการศึกษาดินถล่มและมีงานวิจัยหลายฉบับที่นำการจำแนกประเภทดินถล่มของพวกเขาไปใช้อุ้บ่อยครั้ง โดยแบ่งประเภทของการเกิดดินถล่มตามชนิดของการเคลื่อนที่ ดังภาพ 2 แบ่งเป็น 5 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. การร่วง (Fall) เป็นการเคลื่อนที่ของมวลดินหรือหินที่หลุดจากพื้นที่ลาดเอียงที่มีความลาดชันสูง โดยการหล่น กลิ้ง หรือกระดอน อย่างอิสระตามอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงโลก
2. การล้มคว่ำ (Topples) เป็นการพลิกคว่ำ หมุน หรือล้มคว่ำลงมาตามลาดเอียงของมวลดินหรือหิน อาจเกิดขึ้นจากน้ำหนักกดทับที่อยู่เหนือลาดเอียงและแรงดันน้ำ โดยอาจมีน้ำเป็นปัจจัยหรือไม่เกี่ยวข้อง

3. การถล่ม (Slides) เป็นการเคลื่อนที่ของมวลดินหรือหินลงมาตามแนวลาดเอียง แบ่งการถล่มได้ตามลักษณะการเกิดดังนี้ การถล่มตามแนวระนาบที่มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบโค้งครึ่งวงกลม (Rotational slide) เป็นการหมุนของวัตถุตามการเคลื่อนที่ของดินที่มีลักษณะเป็นดินเป็นเนื้อเดียวกัน เคลื่อนที่ไปอย่างช้าๆ และการถล่มตามแนวระนาบที่มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบตรง (Translational slide) ส่วนใหญ่เกิดตามระนาบของโครงสร้างธรณีวิทยา เช่น รอยต่อระหว่างชั้นดินและชั้นหิน ระนาบการวางตัวของชั้นหิน

4. การไหล (Flows) เป็นการเคลื่อนที่ของตะกอนอย่างรวดเร็วในลักษณะคล้ายของเหลวตามพื้นระนาบ โดยมีการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง ซึ่งดินถล่มชนิดนี้ยังแบ่งได้ตามชนิดของตะกอน เช่น ตะกอนที่ไหลปะปนทั้งตะกอนดิน หิน และซากต้นไม้

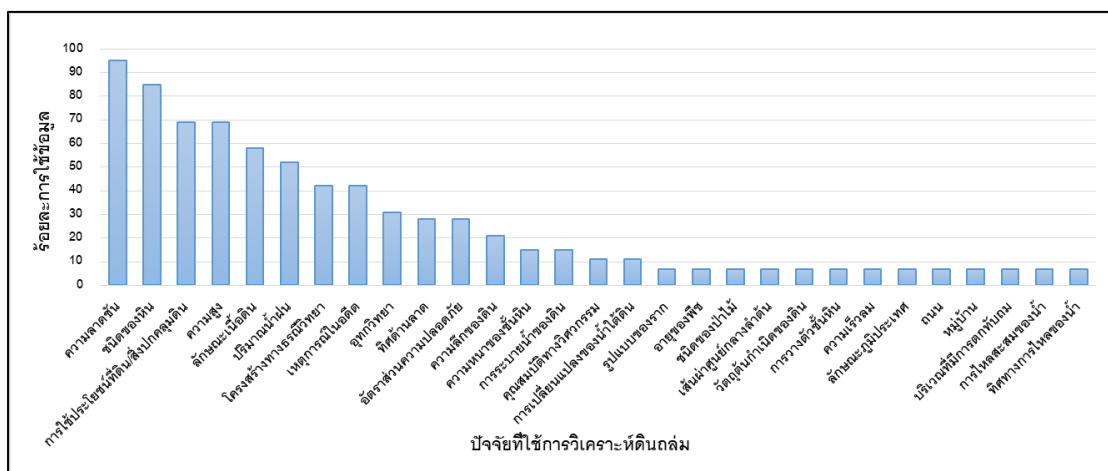
5. การเคลื่อนที่แบบซับซ้อน (Complex) เป็นการเคลื่อนที่ที่ประกอบมากกว่าหนึ่งแบบ โดยเริ่มต้นจากการเคลื่อนที่แบบหนึ่ง เช่น การเคลื่อนที่แบบ debris flow แต่ในขณะต่อมาวัตถุอาจเปลี่ยนเป็นรูปแบบอื่น เช่น topple rock เป็นต้น



ภาพ 2 การจำแนกประเภทของการเกิดดินถล่มตามการเคลื่อนที่

ที่มา: Cruden และ Varnes (1996)

## 2.2 สาเหตุและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม



ภาพ 3 ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ดินถล่ม  
ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2552)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2552) พบว่ามีสาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดดินถล่ม โดยสาเหตุจากลักษณะกายภาพเชิงพื้นที่ที่ถูกนำมาพิจารณาเพื่อใช้วิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดดินถล่ม และเมื่อนำปัจจัยที่รวบรวมได้มาจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่นิยมมาใช้วิเคราะห์ สามารถอธิบายได้ดังภาพ 3 ได้แก่

1. ความลาดชัน (Slope) เป็นองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับสัณฐานวิทยา ซึ่งความลาดของพื้นที่เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของสัณฐานเปลือกโลก ความลาดเนินเขาจะรวมทุกส่วนของสัณฐาน โดยมีค่าตั้งแต่ 0-90 องศา มีขอบเขตตั้งแต่ยอดเขาไปถึงร่องน้ำ แม่น้ำ (อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ, 2530) อีกทั้งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มมากที่สุด ส่วนใหญ่พบว่าโอกาสของการเกิดดินถล่มจะมีสูงมากบนพื้นที่ลาดชัน โดยมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ เกิดขึ้นในขณะที่ฝนตก และบริเวณพื้นที่สูงจะมีแรงโน้มถ่วงโลกเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

2. ชนิดของหิน (Lithology) หินต่างชนิดกันจะมีอัตราการผุพังต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ไม่เหมือนกัน และเมื่อกลายเป็นดินจะให้ลักษณะดินที่แตกต่างกันด้วย การผุพังสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การผุพังทางกายภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่าการแตกตัวของหินเป็นชิ้นเล็กๆ และการผุพังทางเคมี ที่ส่งผลต่อกันสลายตัวของแร่ แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายในเนื้อสาร (มนตรี ชูวงศ์, 2553) เช่น หินแกรนิตมีอัตราการผุพังสูงเมื่อผุพังแล้วจะได้ชั้นดินทรายร่วนหรือดินทรายปนดินเหนียว ส่วนหินภูเขาไฟมีอัตราการผุพังสูงใกล้เคียงกับหินแกรนิตเมื่อผุพังได้ชั้นดินร่วนปนดินเหนียวหรือดินเหนียว และหินดินดาน-หินโคลน เมื่อผุพังจะได้ชั้นดินเหนียวหรือ

ดินเหนียวปนทราย สามารถแสดงระดับโอกาสเกิดดินถล่มในชุดหินต่างๆ (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) ดังตาราง 2 อีกทั้ง กิจกรรม พรหมมา (2556) จำแนกชนิดของหินโดยใช้เกิดการเกิดที่แตกต่างกันได้ 3 ชนิด คือ หินอัคนี หินตะกอน และหินแปร โดยหินแกรนิต อยู่ในกลุ่มหินอัคนีที่พบสูงที่สุดในโลก เป็นหินที่ประกอบด้วยแร่ควอซ ไรต์ เฟลด์สปาร์ และแร่ไมกาเสมอ เนื้อของหินแกรนิตประกอบไปด้วยผลึกแร่ขนาดใหญ่จนมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เกิดจากการเย็นตัวของหินหนืดอย่างช้า ๆ หินดินดาน หินโคลน หินทราย และหินทรายแป้ง เป็นตะกอนเนื้อละเอียด ประกอบด้วยเศษหินและแร่ที่เกิดมาจากการกัดกร่อนของหิน จัดอยู่ชนิดหินตะกอนที่เกิดจากการผุพังของหินชนิดใดก็ได้ของโลก จากนั้นถูกพัดพาไปโดยตัวกลาง เช่น น้ำ ลม หรือธารน้ำแข็ง จนกระทั่งตกตะกอน มีการจะแนกประเภทของตะกอนไว้โดยใช้เกณฑ์เส้นผ่าศูนย์กลางมาตรฐาน ในพ.ศ. 2465 เรียกว่า มาตรฐานเวินท์ (Wentworth scale) เป็นมาตราลอการิทึม ที่ใช้จำแนกขนาดของตะกอนตั้งแต่ใหญ่ไปหาเล็ก หินควอร์ตไซต์ เกิดจากการแปรสภาพที่มีความร้อนหรือความดันต่ำ เกิดมาจากการแปรสภาพของหินทรายจนเม็ดทรายประสานกันอย่างเหนียวแน่น แร่ในหินชนิดนี้เป็นแร่ที่ตกผลึกใหม่เกือบทั้งหมด ไม่มีริ้วขนาน มีสีขาวถึงสีน้ำตาลอ่อน จัดอยู่ในกลุ่มของชนิดหินแปร ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของหินทั้งในโครงสร้างของหินและทางเคมีของแร่

ตาราง 2 ระดับโอกาสเกิดดินถล่มในชุดหินต่าง ๆ

ระดับที่	โอกาสเกิดดินถล่ม	รายละเอียด	อิทธิพลของโครงสร้างหิน
1	สูงมาก	หินแกรนิตเด่น อัตราการผุพังสูงและลึกมีการสะสมตัวของหินที่ผุพังอยู่กับที่สูง	มีน้อย
2	สูง	หินดินดานและหินโคลนเด่น อัตราการผุพังสูง มีการสะสมตัวของหินผุพังน้อยกว่าแกรนิต	มีมาก
3	ปานกลาง	หินทรายแป้งและหินทรายแป้งเด่น อัตราการผุพังปานกลาง	มีมาก
4	น้อย	หินควอร์ตไซต์ หินทราย และหินทรายแป้งเด่น โดยทั่วไปมีลักษณะคล้าย กับระดับ 3 แต่หินควอร์ตไซต์มีความทนทานต่อการผุพังสูง	มีปานกลาง
5	น้อยมาก	หินปูนและหินโดโลไมท์เด่น อัตราการผุพังปานกลาง สะสมตัวของหินที่ผุพังอยู่น้อย	มีน้อย

3. การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (Land use/land cover) เป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงกับพื้นที่ ซึ่งสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิดจะช่วยลดการปะทะของเม็ดฝนก่อนจะตกถึงผิวดิน และลดการพังทลายของดิน ดังนั้น สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีพืชปกคลุมดินน้อยและอยู่ในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง จะทำให้มีโอกาสเกิดดินถล่มได้มาก โดยกรมพัฒนาที่ดินมีตารางการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ดังตาราง 3

ตาราง 3 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ปีพ.ศ 2559

รหัส	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3
U	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูก สร้าง	U1 ตัวเมืองและย่านการค้า	
		U2 หมู่บ้าน	U200 หมู่บ้านจัดสรร U201 หมู่บ้าน U202 หมู่บ้านชาวเขา
A	พื้นที่เกษตรกรรม	A1 นาข้าว	A100 นาไร่ A101 นา
		A2 พืชไร่	A200 ไร่ไร่ A203 อ้อย A209 ถั่วเหลือง A229 พริก
		A3 ไม้ยืนต้น	A301 ไม้ยืนต้น A302 ยางพารา A305 สัก A315 ไม้
		A4 ไม้ผล	A01 ไม้ผลผสม A405 มะพร้าว A406 ลิ้นจี่ A407 มะม่วง A411 กัลย A413 ลำไย
		A5 พืชสวน	A501 พืชสวนผสม A502 พืชผัก

ตาราง 3 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ปีพ.ศ 2559 (ต่อ)

รหัส	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3
		A6 ไร่หมุนเวียน	A600 ไร่ร้าง
			A601 พีชไรผสม (ไร่หมุนเวียน)
			A602 ข้าวโพด (ไร่หมุนเวียน)
F	พื้นที่ป่าไม้	F1 ป่าดิบ	F100 ป่าดิบสมบูรณ์
		F2 ป่าผลัดใบ	F 201 ป่าผลัดใบสมบูรณ์
W	พื้นที่แหล่งน้ำ	W1 แหล่งน้ำตามธรรมชาติ	W101 แม่น้ำลำคลอง
			W102 หนอง บึง ทะเลสาบ
		W2 แหล่งน้ำที่สร้างขึ้น	W201 อ่างเก็บน้ำ
			W202 บ่อน้ำในนาไร่
			W203 คลองชลประทาน

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมพัฒนาที่ดิน ปีพ.ศ. 2559

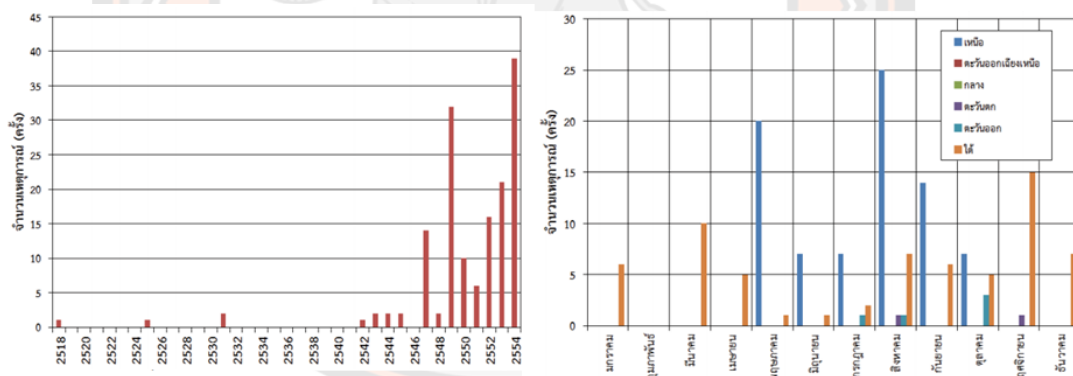
4. ปริมาณน้ำฝน (Rainfall) ทั่วโลกต่างให้ความสำคัญกับปริมาณน้ำฝนเป็นอย่างมากเกี่ยวกับการเกิดดินถล่ม มีการศึกษาสภาวะวิกฤตของฝนที่ก่อให้เกิดดินถล่มในหลายประเทศ และนำไปสู่การเกิดดินถล่ม โดยดินถล่มจะเกิดขึ้นเมื่อฝนตกหนักหรือตกติดต่อกันเป็นเวลานาน ปริมาณน้ำฝนมากกว่า 100 มิลลิเมตร ใช้เวลาตกติดต่อกัน 3 วัน น้ำฝนจะไหลซึมลงไปในพื้นที่ดินเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มความดันของน้ำในช่องว่างของเม็ดดิน น้ำจะเข้าไปแทนที่ช่องว่างระหว่างเม็ดดินทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินลดน้อยลง ส่งผลให้ชั้นดินมีกำลังรับแรงเฉือนลดลง ถ้าหากปริมาณน้ำในมวลดินเพิ่มขึ้นจนระดับน้ำในชั้นใต้ดินสูงขึ้นมาที่ระดับผิวดิน และกัดเซาะหน้าดินทำให้ลาดดินเริ่มมีการเคลื่อนตัวและเกิดดินถล่ม (กรมทรัพยากรธรณี, 2554)

5. โครงสร้างทางธรณีวิทยา (Geological Structure) เป็นปัจจัยควบคุมวิวัฒนาการของภูมิประเทศ และสัณฐาน โดยโครงสร้างที่ประกอบด้วยวัสดุที่ไม่ทนทานหรือกระบวนการอื่นๆ ของธรณีวิทยาอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วกว่าโดยสร้างที่แข็งแรงกว่าในเวลาเท่ากัน (อภิสัทธี เอี่ยมหน่อ, 2530) และมีผลต่อการผุพังของหิน ถ้าหินที่มีรอยแตกมากและอยู่ในเขตรอยเลื่อนมีพลังจะมีอัตราการผุพังสูง ทำให้เกิดการผุพังรวดเร็วกว่าบริเวณอื่น หินที่ถูกแทรกด้วยหินอัคนีหรือบริเวณที่มีน้ำพุร้อน และแหล่งแร่จากสายน้ำแร่ร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในเนื้อหินจะทำให้ชั้นหินมีอัตราการผุพังสูงขึ้น (กรมทรัพยากรธรณี, 2554)

## 2.3 สถิติการเกิดดินถล่มในประเทศไทย

ข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณี ในฐานะข้อมูลการรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมไทย ในปีพ.ศ. 2560 ดังแสดงตาราง 4 พบว่าเหตุการณ์ธรณีภัยพิบัติในช่วงปีพ.ศ. 2551 - พ.ศ. 2560 เกิดดินไหลจำนวน 256 ครั้ง ดินถล่มจำนวน 41 ครั้ง และหินร่วง หินถล่มจำนวน 31 ครั้ง โดยภาพรวมพบว่ามีแนวโน้มจำนวนครั้งในการเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติเพิ่มขึ้น

ประเทศไทยประสบกับเหตุการณ์ดินถล่มที่สร้างความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์ และคณะ (2555) ได้รวบรวมเหตุการณ์ดินถล่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2513 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ดังแสดงในภาพ 4 ซึ่งในช่วงเวลาที่ได้จัดบันทึกมีเหตุการณ์ดินถล่มเกิดขึ้นมากกว่า 150 เหตุการณ์ โดยเหตุการณ์ที่ไม่มีประชาชนพบเห็นหรือประสบภัยจะไม่มีกรบันทึกไว้ จากการจำแนกเป็นรายปี พบว่าเหตุการณ์ดินถล่มจะเพิ่มขึ้นในช่วง 2-3 ปีหลัง และเหตุการณ์ส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นในพื้นที่ภาคเหนือ โดยในช่วงเดือนพฤษภาคมและเดือนสิงหาคมมีความถี่สูงในการเกิดดินถล่ม อีกทั้งเหตุการณ์ดินถล่มที่เกิดขึ้นในประเทศไทยล้วนมีสาเหตุมาจากร่องมรสุมตามฤดูกาลและลมพายุมรสุมที่ผ่านประเทศไทย



ภาพ 4 สถิติดินถล่มรายปีและสถิติทั้งหมดในแต่ละเดือนจำแนกตามภูมิภาคของประเทศไทย  
ที่มา: สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์ และคณะ (2555)



ตาราง 4 เหตุการณ์ธรณีภัยพิบัติช่วงปี พ.ศ. 2551 - พ.ศ. 2560

ปีพ.ศ	ดินถล่ม	ดินไหล	หินร่วง	รอยแยก	หลุบยุบ	ตลิ่งทรุดตัว	แผ่นดินไหว	รวม
2551	1	6	5	7	6	2	2	29
2552	3	10	1	-	4	-	1	19
2553	2	14	-	6	24	2	6	54
2554	15	106	4	14	13	1	1	154
2555	4	39	-	9	7	11	5	75
2556	4	10	5	-	6	3	2	30
2557	5	14	2	2	-	1	2	26
2558	4	13	4	5	5	2	7	40
2559	1	17	6	8	8	5	-	45
2560	2	27	4	1	8	-	106	148
<b>รวม</b>	<b>41</b>	<b>256</b>	<b>31</b>	<b>52</b>	<b>81</b>	<b>27</b>	<b>132</b>	<b>620</b>

ที่มา: กรมทรัพยากรธรณี (2561)

## 2.4 แผนที่ดินถล่ม (Landslide map)

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม โดยทั่วไปจะแสดงในรูปแบบแผนที่ ซึ่งมักแสดงถึงการกระจายตัวของการเกิดดินถล่มในพื้นที่ หรือพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่ม เพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้นำไปประยุกต์ใช้หรือวิเคราะห์ประเมินความเสี่ยงต่อไป ดังนั้นจึงสรุปความหมายของแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มและแผนที่อื่นที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่มได้ดังนี้

1. แผนที่แสดงบริเวณและความรุนแรงที่เคยเกิดดินถล่ม (Landslide inventory map) เป็นการรวบรวมข้อมูลตำแหน่งและขอบเขตการเกิดดินถล่มที่เกิดขึ้นในอดีตในรูปแบบแผนที่ ซึ่งอาจเป็นข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลจากเหตุการณ์เดียวหรือหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น หรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นไม่ได้กระทบต่อประชากรหรือชุมชนจะไม่ได้ถูกบันทึกไว้ก็ตาม แผนที่นี้จะแสดงเพียงตำแหน่ง

การเกิดดินถล่มเท่านั้น จึงเป็นประโยชน์เพียงใช้ในการประเมินความเสียหายโดยรวมและวางแผนเพื่อการบริหาร (สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์ และคณะ, 2555; Guzzetiti et al. 2000)

2. แผนที่แสดงความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม (Landslide susceptibility map) เป็นแผนที่แสดงการจำแนกเสถียรภาพของพื้นที่ลาดเอียง โดยจะแสดงบริเวณที่อาจจะเกิดดินถล่มและจำแนกตั้งแต่สถานะภาพเสถียรภาพจนถึงสถานะภาพเสถียรภาพวิกฤต ซึ่งจะเป็นสีหรือสัญลักษณ์ที่แตกต่างกัน เช่น สีแดงแสดงพื้นที่ที่ไม่มีเสถียรภาพ สีส้มและเหลืองแสดงถึงพื้นที่ที่เสถียรภาพน้อย สีน้ำเงินแสดงพื้นที่ที่มีเสถียรภาพปานกลาง และสีเขียวแสดงพื้นที่ที่มีเสถียรภาพสูง เป็นต้น

3. แผนที่แสดงโอกาสเกิดดินถล่ม (Landslide hazard map) เป็นแผนที่สำหรับการคาดการณ์บริเวณที่มีโอกาสเกิดดินถล่มโดยใช้วิธีการคำนวณจากความน่าจะเป็นในการเกิดซ้ำจากแบบจำลองและข้อมูลต่างๆ แผนที่แสดงโอกาสเกิดดินถล่มที่สมบูรณ์จะแสดงทั้งโอกาสเกิดในบริเวณแหล่งกำเนิด และโอกาสที่ดินถล่มที่จะเกิดขึ้น พร้อมทั้งทดสอบปรับแก้ไขให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นจริง เพื่อสามารถนำไปใช้งานการจำแนกพื้นที่เสี่ยงที่จะใช้ในการเตือนภัยต่อสาธารณชน และการวางแผนรับมือความสูญเสีย

4. แผนที่แสดงเสี่ยงดินถล่ม (Landslide risk map) เป็นแผนที่ประเมินความเสี่ยงจากมูลค่าความเสียหายจากดินถล่ม โดยนำเอาแผนที่โอกาสดินถล่มมาวิเคราะห์โอกาสเกิดภัยทางสถิติ พร้อมประเมินความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยสามารถนำไปใช้ในการบริหารจัดการภัย และปรับปรุงเสริมความปลอดภัยในพื้นที่เสี่ยงได้

## 2.5 การประเมินปริมาณน้ำฝนในเหตุการณ์ดินถล่ม

การใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในการวิเคราะห์ดินถล่ม เป็นวิธีการที่สะดวกและเตือนภัยได้เป็นพื้นที่บริเวณกว้าง แต่ต้องใช้เกณฑ์ในการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำฝนที่ถูกต้องด้วย (Terlien, 1998) ซึ่งการแบ่งเกณฑ์ในการเตือนภัยดินถล่ม (Aleotti, 2004) ได้แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การเตือนภัยดินถล่มเชิงสถิติ (Empirical Thresholds) เป็นการเตือนภัยที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนและเหตุการณ์ดินถล่มในอดีต และการเตือนภัยดินถล่มเชิงกายภาพ (Physical-Thresholds) เป็นการเตือนภัยดินถล่มที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางกายภาพทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนกับความมั่นคงด้านลาดดิน

## 2.6 ระบบภูมิสารสนเทศศาสตร์ (Geographic Information System: GIS)

### 1. ความหมายของระบบสารสนเทศศาสตร์

ระบบภูมิสารสนเทศศาสตร์ หรือ Geographic Information System: GIS เป็นระบบที่ได้ออกแบบเพื่อจัดการกับข้อมูลที่มีความซับซ้อน และให้เข้าใจถึงข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สามารถอ้างอิงและสามารถโดยดัชนีต่างๆ ได้ ข้อมูลภูมิศาสตร์จะประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ตำแหน่งทางพื้นที่ ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ค่าอธิบายข้อมูล และเวลาที่เกิดเหตุการณ์ต่างๆ

กระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่บนโลกด้วยระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้กำหนดข้อมูลและสารสนเทศที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ โดยใช้คอมพิวเตอร์ที่ประกอบด้วย ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เพื่อนำเข้าข้อมูล จัดเก็บข้อมูล แก้ไขข้อมูล แปลผลวิเคราะห์ข้อมูล และนำมาแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบต่างๆ เช่น ภาพสามมิติ แผนที่ ตารางข้อมูล และสถิติ เพื่อช่วยในการตัดสินใจของผู้ใช้ให้มีความถูกต้องแม่นยำ

### 2. องค์ประกอบของระบบสารสนเทศศาสตร์

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Hardware) คือ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ มีลักษณะเป็นโครงสร้างสามารถมองเห็นด้วยตาและสัมผัสได้ เช่น จอภาพ คีย์บอร์ด เครื่องพิมพ์ เมาส์ รวมไปถึงอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ เช่น Digitizer Scanner Plotter Printer หรืออื่นๆ เพื่อใช้ในการนำเข้าข้อมูล ประมวลผล แสดงผล และผลิตผลลัพธ์ของการทำงาน

โปรแกรม (Software) คือ ชุดของคำสั่งสำเร็จรูป เช่น โปรแกรม ArcMap และ MapInfo ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันการทำงานและเครื่องมือที่จำเป็นต่างๆ สำหรับนำเข้าและปรับแต่งข้อมูล จัดการระบบฐานข้อมูล เรียกค้น วิเคราะห์ และจำลองภาพ หรือคือโปรแกรมที่ใช้สั่งงานให้คอมพิวเตอร์ทำงาน โดยคำสั่งเหล่านี้เรียงกันเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนการทำงาน (Methods) คือ วิธีการที่องค์กรนั้นๆ นำเอาระบบ GIS ไปใช้งาน โดยแต่ละระบบแต่ละองค์กรย่อมมีความแตกต่างกันออกไป เพราะฉะนั้นผู้ปฏิบัติงานต้องเลือกวิธีการในการจัดการกับปัญหาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับของหน่วยงานนั้นๆ เอง

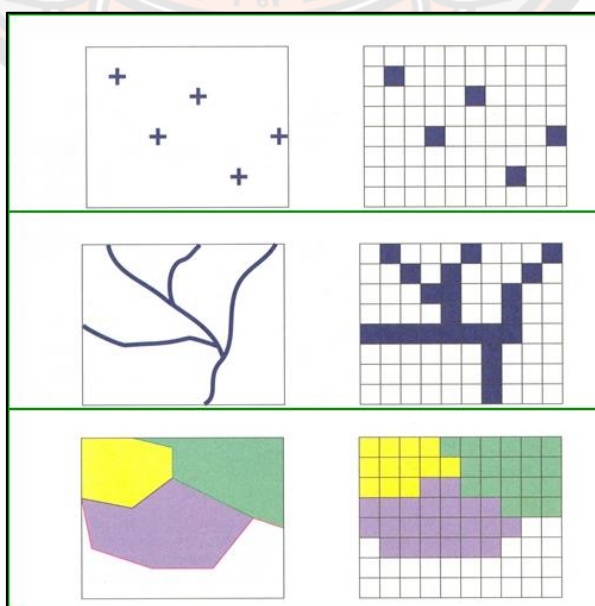
ข้อมูล (Data) คือ ข้อมูลต่างๆ ที่จะใช้ในระบบ GIS และถูกจัดเก็บในรูปแบบของฐานข้อมูล โดยได้รับการดูแลจากระบบจัดการฐานข้อมูล หรือ DBMS ซึ่งข้อมูลจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญรองลงมาจากบุคลากร

บุคลากร (People) คือ ผู้ปฏิบัติงานซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น ผู้เชี่ยวชาญสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล ผู้บริหารซึ่งต้องใช้ข้อมูลในการตัดสินใจ บุคลากรจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในระบบ GIS เนื่องจากข้อมูลที่มีอยู่มากมายมหาศาลนั้นจำเป็นต้องมีบุคลากรในการทำงาน

### 3. ลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่

รูปแบบเวกเตอร์ (Vector) เป็นข้อมูลที่สร้างขึ้นแสดงในรูปแบบของจุด เส้น และพื้นที่ โดยการอ้างอิงกับจุดพิกัด หรือเป็นข้อมูลที่ได้จากระบบเครื่องวัดพิกัดจากดาวเทียม เพื่อใช้เป็นตัวแทนของสิ่งที่ปรากฏอยู่บนพื้นที่จริง จะมีมาตราส่วนเป็นตัวกำหนดขนาด เช่น จุดตำแหน่งการเกิดดินถล่ม จุดหมู่บ้าน เส้นลำน้ำ และขอบเขตการปกครอง เป็นต้น (ดังภาพ 5)

รูปแบบราสเตอร์ (Raster) เป็นข้อมูลที่เกิดจากการกวาดภาพ (Scan) แผนที่ชนิดต่างๆ ภาพถ่ายจากดาวเทียม/ภาพถ่ายทางอากาศ เมื่อขยายภาพจะเห็นโครงสร้างของภาพเป็นช่องสี่เหลี่ยมที่เรียกว่า “จุดภาพ” หรือ “กริดเซลล์” (Grid cell) เรียงต่อเนื่องกันตามแนวราบและแนวตั้ง ซึ่งจุดภาพที่เรียงตัวตามแนวราบและแนวตั้งนี้คือลักษณะของข้อมูลแบบราสเตอร์ ทั้งนี้แต่ละจุดภาพจะมีค่าได้หนึ่งค่า โดยความสามารถแสดงรายละเอียดของราสเตอร์ขึ้นอยู่กับขนาดของช่องกริด ณ จุดพิกัดที่เป็นฐานข้อมูลแสดงตำแหน่ง ถ้าหากขนาดของช่องกริดมีขนาดใหญ่รายละเอียดข้อมูลที่แสดงจะหายาบ ในทางตรงข้ามถ้าขนาดของช่องกริดมีเล็ก จะให้ข้อมูลที่มีรายละเอียดที่ชัดเจนขึ้น ข้อมูลแบบราสเตอร์มีข้อดีคือทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว (ดังภาพ 5)

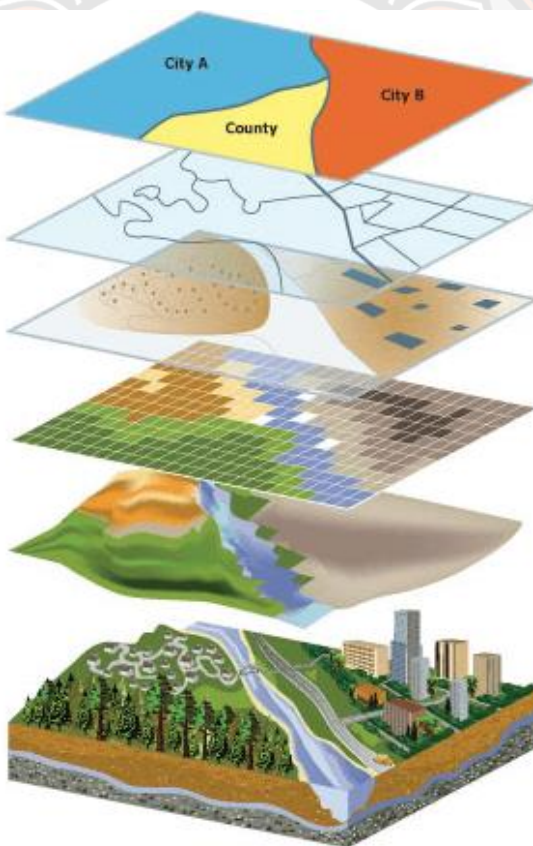


ภาพ 5 ข้อมูลแบบเวกเตอร์และราสเตอร์

## 2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Analysis of Spatial Data)

ข้อมูลและการตรวจวัดที่สามารถอ้างอิงตำแหน่งบนพื้นโลก และสามารถอธิบายถึงสิ่งที่อยู่ในแต่ละพื้นที่ได้ จะถูกนำมาใช้ใน GIS โดยแต่ละชุดข้อมูลจะถูกจัดให้เป็นชั้นข้อมูลที่สามารถนำมา รวมกันเพื่อใช้เป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นการรวมชั้นข้อมูลเพื่อหาคำตอบเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่างๆ บนโลกดังแสดงในภาพ 6

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ เป็นกระบวนการที่สามารถจำลองปัญหาเชิงพื้นที่ได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มาจากการประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ จากนั้นจะต้องสำรวจและตรวจสอบผลลัพธ์ ในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วย วิธีนี้ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูงในการประเมินความเหมาะสมทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่



ภาพ 6 การซ้อนทับชั้นข้อมูลประเภทต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับสิ่งพื้นฐานที่ตั้งอยู่บนแนวคิดเชิงพื้นที่

ที่มา: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/analytics/how-to-perform-spatial-analysis/>

## 2.8 กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP)

กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น เป็นกระบวนการที่ใช้ในการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งเป็นการตัดสินใจแบบมีหลักเกณฑ์และมีความแม่นยำ จากการกำหนดค่าคะแนนตามความสำคัญโดยมีกระบวนการคิดเลียนแบบความคิดของมนุษย์ โดยการรวบรวมข้อคิดเห็นเชิงปฏิบัติของผู้เชี่ยวชาญเข้าด้วยกันผ่านการประเมินปัจจัยหลายประการด้วยการตัดสินใจและให้ค่าน้ำหนักของเกณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ซึ่งมีกระบวนการอยู่ 5 ขั้นตอน ดังนี้

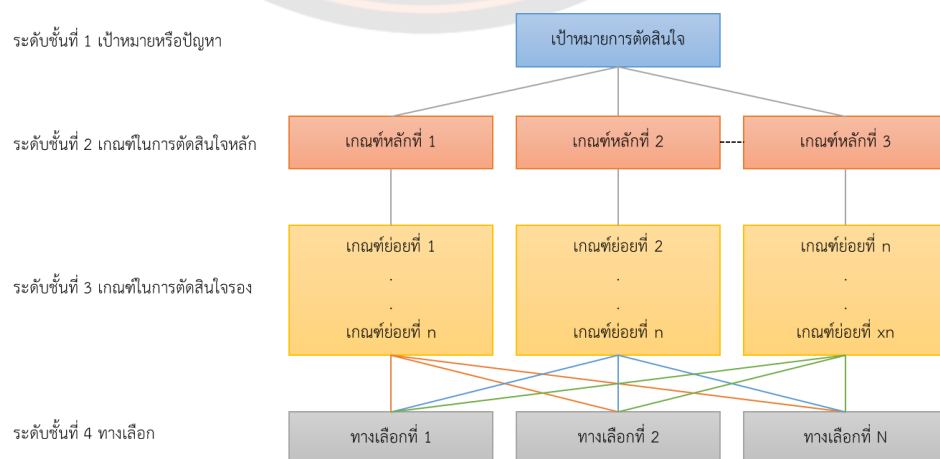
**1. การจัดโครงสร้างลำดับของการตัดสินใจ** โดยมีกระบวนการคิดเลียนแบบความคิดของมนุษย์ โดยการสร้างแผนภูมิแบ่งออกเป็นหลายระดับขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหา โดยแต่ละระดับชั้นจะประกอบด้วยกลุ่มของเกณฑ์ต่าง ๆ แสดงดังภาพ 7 ได้แก่

ระดับชั้นที่ 1 เป็นเป้าหมายหรือปัญหา เรียกว่าจุดโฟกัส ซึ่งจะมีเพียงแค่ปัญหาหรือเป้าหมายเดียวเท่านั้น

ระดับชั้นที่ 2 เป็นชั้นของเกณฑ์หลัก อาจมีหลายเกณฑ์ขึ้นอยู่กับว่าแผนภูมินั้นมีกี่ระดับชั้น ถ้าหากมีมากกว่า 3 ระดับชั้นขึ้นไป จำนวนเกณฑ์ในระดับชั้นนี้ควรมีไม่เกิน 3 เกณฑ์ แต่ถ้ามีมากกว่า 3 ระดับชั้นขึ้นไป จำนวนเกณฑ์อาจมีได้ถึง 9 เกณฑ์

ระดับชั้นที่ 3 เป็นระดับของเกณฑ์รอง จะมีจำนวนเกณฑ์เท่าไรก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าผู้ศึกษามีข้อมูลหรือประสบการณ์เท่าไร เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดเกณฑ์ต่าง ๆ ขึ้นมา

ระดับชั้นที่ 4 เป็นชั้นของทางเลือกหรือทางแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ปัญหาหรือเป้าหมายที่กำหนดไว้ในระดับชั้นที่ 1



ภาพ 7 แผนภูมิลำดับชั้น

2. การเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ตัดสินใจ เป็นการเปรียบเทียบเกณฑ์ต่าง ๆ เป็นการเปรียบเทียบรายคู่ (Pair wise comparison) เพื่อการเปรียบเทียบและกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญระหว่างเกณฑ์เป็นคู่ ๆ โดยใช้ตัวเลขแทนค่าเพื่อนำไปสู่การคำนวณค่าคะแนนความสำคัญรวมของแต่ละทางเลือก โดยใช้ตารางเมตริกซ์ นอกจากนี้จะสามารถใช้ประโยชน์ในการทดสอบความสอดคล้องของเหตุผล แสดงได้ดังตาราง 5

ตาราง 5 ตารางเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบเกณฑ์แต่ละคู่ปัจจัย

เกณฑ์ (C)		เกณฑ์				
$C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$		$A_1$	$A_2$	$A_3$	...	$A_n$
เกณฑ์	$A_1$	1	$1/a_{12}$	$1/a_{13}$	...	$a_{1n}$
	$A_2$	$1/a_{12}$	1	$1/a_{23}$	...	$a_{2n}$
	$A_3$	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	1	...	$a_{3n}$
	:	:	:	:	...	:
	$A_n$	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	$1/a_{3n}$	...	1

การเปรียบเทียบแต่ละคู่เกณฑ์ระหว่างเกณฑ์ C กับ A นั้น ผู้ตัดสินใจให้ค่าน้ำหนักจะต้องทราบว่าแต่ละเกณฑ์ที่ทำการพิจารณานั้นมีความสำคัญ มีอิทธิพล หรือมีประโยชน์มากกว่าเกณฑ์อื่นที่นำมาเปรียบเทียบในระดับใด ซึ่งผู้พิจารณาต้องพิจารณาแล้วแสดงออกในความหมายที่เป็นคำพูด เช่น น้อยที่สุด น้อย ปานกลาง มาก และมากที่สุด และจึงทำการใช้ตัวเลขแทนค่า เพื่อให้การพิจารณามีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดย Thomas Saaty (1980) ได้มีการคิดค้นและคำนวณค่าที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบแต่ละเกณฑ์แต่ละคู่ พบ ตัวเลข 1-9 นั้นเหมาะสมกับเหตุผลและสะท้อนถึงระดับที่สามารถแยกแยะความสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์ได้ดี โดยได้มีการอธิบายตัวเลขไว้ดังตาราง 6

ตาราง 6 ความหมายของการเปรียบเทียบเป็นรายคู่

ระดับความเข้มข้น ของความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่ากัน	ทั้ง 2 เกณฑ์ส่งผลต่อวัตถุประสงค์เท่าๆ กัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง	เกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก	เกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับมาก
7	สำคัญกว่ามากที่สุด	เกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับมากที่สุด
9	สำคัญกว่าที่สูงสุด	เกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับสูงสุด
2, 4, 6, 8	อยู่ระหว่างกลาง	อยู่ระหว่างระดับที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น

3. หาค่าน้ำหนักจากเกณฑ์ เมื่อได้ค่าน้ำหนักความสำคัญในแต่ละชั้น โดยออกมาในรูปแบบตัวเลข จะนำค่าน้ำหนักความสำคัญในแต่ละชั้น จากระดับชั้นบนลงสู่ชั้นล่างครบทุกชั้น มีวิธีการคำนวณดังนี้

- ทำการเปรียบเทียบเกณฑ์แต่ละคู่ในรูปของตารางเมตริกซ์ ซึ่งจะเปรียบเทียบทุกๆ ปัจจัย ทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง ดังตาราง 5

4. การตรวจสอบความสอดคล้องของเหตุผล (Consistency Ratio: CR) เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องในการเปรียบเทียบเกณฑ์แต่ละคู่เมตริกซ์ โดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้องของเหตุผล ดังสมการ 1

$$\text{ค่าดัชนีความสอดคล้อง (C.I.)} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (\text{สมการ 1})$$



โดย  $\lambda_{\max}$  คือ ค่าที่ได้จากการนำเอาผลรวมของแต่ละแถวของเมทริกซ์ของแต่ละแถว มาคูณด้วยผลรวมค่าเฉลี่ยในแนวนอนแต่ละแถว แล้วนำผลคูณที่ได้มารวมกัน ผลลัพธ์จะได้เท่ากับจำนวนปัจจัยทั้งหมดที่ถูกเอามาเปรียบเทียบ

เปิดตารางค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) เป็นค่าที่ขึ้นกับขนาดของเมทริกซ์ตั้งแต่  $1 \times 1$  ถึง  $15 \times 15$  ดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 ค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (R.I.)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

5. คำนวณค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio : C.R) คำนวณได้จากอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่า ดัชนีความสอดคล้อง ที่ได้จากรายการเมทริกซ์กับค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม ที่ได้จากรายการ 7 แสดงได้ดังสมการ 2

$$\text{ค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (C.R)} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (\text{สมการ 2})$$

อัตราส่วนของความสอดคล้องจะถูกใช้เพื่อวัดความสอดคล้องในการการเปรียบเทียบเป็นคู่ โดย Saaty (1980) ได้กำหนดค่าอัตราความสอดคล้องที่ยอมรับได้สำหรับตารางเมทริกซ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

- ค่าอัตราส่วนความสอดคล้องที่ 5% สำหรับตารางเมทริกซ์ที่มีขนาด  $3 \times 3$
- ค่าอัตราส่วนความสอดคล้องที่ 8% สำหรับตารางเมทริกซ์ที่มีขนาด  $4 \times 4$
- ค่าอัตราส่วนความสอดคล้องที่ 10% สำหรับตารางเมทริกซ์ที่มีขนาดมากกว่า  $4 \times 4$

ถ้าอัตราส่วนของความสอดคล้องที่ได้ตกอยู่ในระดับที่ได้รับมีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าที่กำหนดไว้ นั่นหมายความว่าผลของค่าเฉลี่ยที่ได้ถูกต้องหรือมีความสอดคล้อง และการประเมินผลนั้นให้ผลที่ยอมรับได้ ในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราส่วนของความสอดคล้องมีค่ามากกว่าค่าที่ยอมรับได้ก็แสดงว่าผลของการทำการประเมินและวิเคราะห์นั้นไม่มีความสอดคล้องภายในตารางเมทริกซ์ ซึ่งควรปรับปรุงการประเมินใหม่

## 2.9 อัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio: FR)

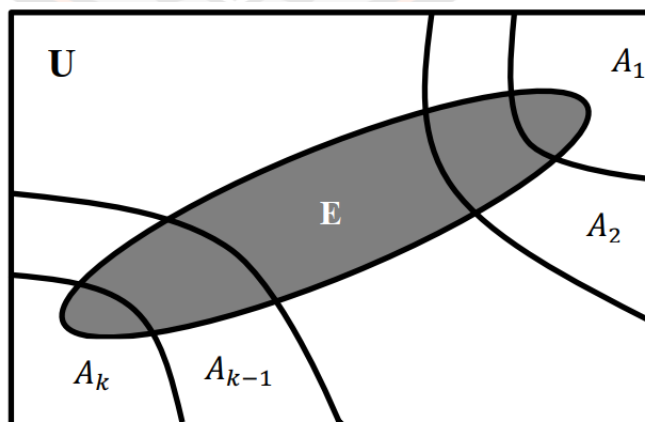
อัตราส่วนความถี่ เป็นวิธีการทางสถิติที่นิยมนำมาวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม โดยใช้เหตุผลทางคณิตศาสตร์มารองรับและสามารถทำได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมที่ซับซ้อน เพื่อจะใช้ในการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการเกิดดินถล่มกับปัจจัยกายภาพในพื้นที่ศึกษา ซึ่งค่าอัตราส่วนความถี่นี้เป็นอัตราส่วนของดินถล่มที่เคยเกิดขึ้นทั้งหมดในพื้นที่ศึกษากับค่าแต่ละช่วงของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับดินถล่ม โดยการหาอัตราส่วนของเปอร์เซ็นต์ของดินถล่มในแต่ละช่วงเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ในแต่ละช่วงของแต่ละสมการ (ดังสมการ 3) ถ้าหากค่าอัตราส่วนความถี่มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าพื้นที่นั้นหรือช่วงนั้นมีโอกาสเกิดดินถล่มสูง แต่ถ้าหากค่าอัตราส่วนความถี่น้อยกว่า 1 แสดงว่ามีโอกาสเกิดดินถล่มต่ำ จากนั้นคำนวณค่าอัตราส่วนความถี่ของทุกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่มดังสมการ 4 เมื่อ  $n$  คือ จำนวนปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่ม เพื่อให้ได้ค่าดัชนีความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่สามารถแบ่งขอบเขตพื้นที่ความอ่อนไหวได้

$$\text{ค่าอัตราส่วนความถี่ (FR)} = \frac{\text{จำนวนพิกลเซลพื้นที่ดินถล่มในแต่ละชั้นข้อมูลของแต่ละปัจจัย}}{\text{จำนวนพิกลเซลพื้นที่ศึกษาในแต่ละชั้นข้อมูลของแต่ละปัจจัย}} \quad (\text{สมการ 3})$$

$$\text{ค่าดัชนีพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม (LSI)} = \sum \text{FR}_n \quad (\text{สมการ 4})$$

## 2.10 ทฤษฎีของเบย์ (Bayes' theorem)

ทฤษฎีของเบย์ (Bayes' theorem) เป็นการใช้หลักการของความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข พัฒนาเป็นทฤษฎีหรือการหาความน่าจะเป็นของส่วนย่อยจากเหตุการณ์ที่สนใจจากเห็นการณที่เกิดขึ้นแล้ว



ภาพ 8 แสดงเหตุการณ์ E ออกเป็นส่วนย่อย k เหตุการณ์

ถ้าให้เอกภพสัมพัทธ์  $U$  ประกอบด้วยเหตุการณ์ที่ไม่สามารถเกิดขึ้นพร้อมกัน จำนวนเหตุการณ์  $k$  คือ  $A_1, A_2, \dots, A_k$  และให้  $E$  เป็นเหตุการณ์หนึ่งในตัวอย่างที่เกิดจากการทดลองเดียวกันนี้ และต้องเป็นเหตุการณ์หนึ่งของ  $A_i$  (โดยที่  $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ) ดังภาพ 8 สามารถคำนวณความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของเหตุการณ์ใน  $A_i$  เมื่อเหตุการณ์  $E$  เกิดขึ้นแล้วได้ ดังสมการที่ 5

$$P(A_i|E) = \frac{(P(E,A_i) \cdot P(A_i))}{\sum_{i=1}^k (E|A_i) \cdot P(A_i)} = \frac{P(E,A_i) \cdot P(A_i)}{P(E)} \quad (\text{สมการ 5})$$

ความน่าจะเป็นแบบเบย์ (Bayesian Probability) เป็นเทคนิคที่ใช้จากทฤษฎีความน่าจะเป็นตามกฎของเบย์ (Bayes' theorem) สามารถสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ได้ โดยใช้วิธีการทางสถิติที่นำไปใช้กับข้อมูลที่ต้องการตามวัตถุประสงค์ จากข้อมูลที่มีการจำกัดทั้งด้านเวลา และงบประมาณแบบจำลองความน่าจะเป็นแบบเบย์เขียนให้โครงสร้างสำหรับการแบ่งการตัดสินใจที่ซับซ้อนออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ตัดสินใจเกี่ยวกับเหตุการณ์ที่จะคาดการณ์ 2) ระบุปัญหา 3) ประเมินความน่าจะเป็น และ 4) ใช้สูตร Bayes เพื่อใช้คาดการณ์ (Do el at., 2018) แบบจำลองความน่าจะเป็นแบบเบย์เขียน กรณีสองมิติ จะถูกเลือกใช้เมื่อต้องวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากหลายปัจจัย ดังแสดงในสมการ 6

$$P(L|A, D) = \frac{(P(A,D|L) \cdot P(L))}{P(A,D)} \quad (\text{สมการ 6})$$

โดยที่  $P(L) = N_L/N_R$

$P(A, D) = N_{(A,D)}/N_R$

$P(A, D|L) = N_{(A,D|L)}/N_L$

$N_R$  คือ จำนวนของเหตุการณ์ฝนตกทั้งหมดที่บันทึกในช่วงเวลาที่กำหนด

$N_L$  คือ จำนวนเหตุการณ์ดินถล่มทั้งหมดที่บันทึกในช่วงเวลาที่กำหนด

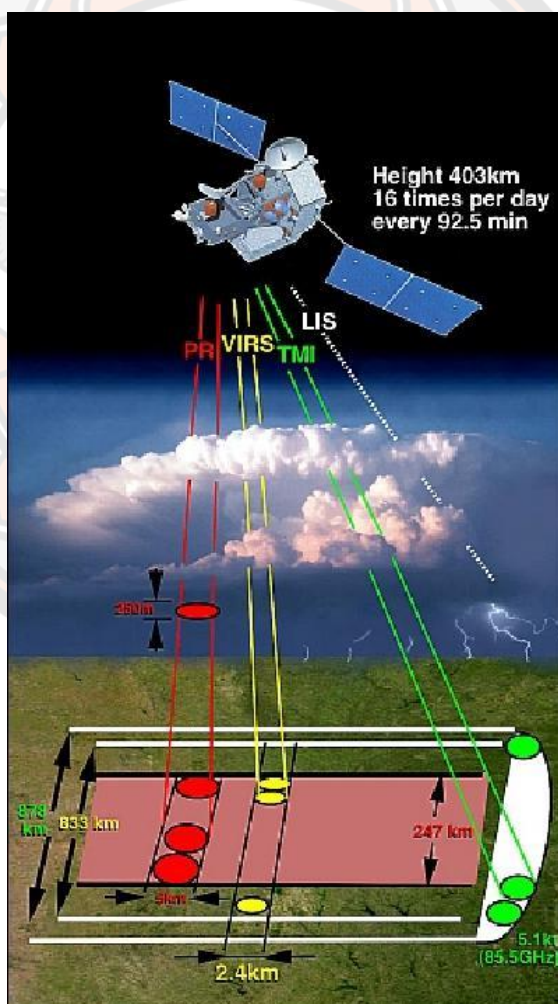
$N_{(A,D)}$  คือ จำนวนความสัมพันธ์ปริมาณฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตกของแต่ละ

ช่วงที่ส่งผลให้เกิดดินถล่ม

$N_{(A,D|L)}$  คือ จำนวนของเหตุการณ์ดินถล่มในแต่ละช่วงที่กำหนด

## 2.11 ข้อมูลดาวเทียม The Tropical Rainfall Measuring Mission

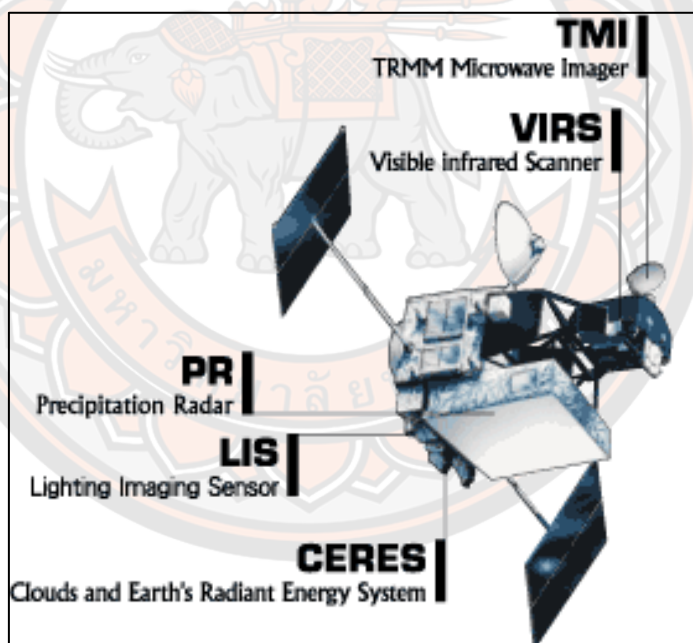
ดาวเทียม The Tropical Rainfall Measuring Mission เป็นดาวเทียมทางอุตุนิยมวิทยา ดังแสดงในภาพ 9 เริ่มใช้งานเมื่อวันที่ 27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2540 ซึ่งเป็นความร่วมมือระหว่าง National Aeronautics Space Administration (NASA) และ Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) เพื่อใช้เก็บข้อมูลพื้นฐานและศึกษาพายุฝน สภาพภูมิอากาศในเขตร้อน ( $40^{\circ} \text{ S} - 40^{\circ} \text{ N}$ ) ดาวเทียมชนิดนี้เป็นดาวเทียมที่มีวงโคจรไม่สัมพันธ์กับดาวอาทิตย์ (Non-sun-synchronous Orbit) มีระดับความสูงอยู่ที่ 403 กิโลเมตร มีระนาบวงโคจรเอียง (Inclined Orbit) ทำมุม 35 องศา กับเส้นศูนย์สูตร และมีการโคจรทั้งหมด 16 รอบในหนึ่งวัน โดยแต่ละรอบใช้เวลาในการโคจรทั้งหมด 92.5 นาที (Liu et al., 2012)



ภาพ 9 ดาวเทียม Tropical Rainfall Measuring Mission

ที่มา: <https://pmm.nasa.gov/image-gallery/diagram-trmm-instruments-measurement-path>

ผลิตภัณฑ์น้ำฝน TRMM 3B42 V.7 คือ การผลิตผลจากข้อมูล TRMM ที่ปรับแก้แล้วด้วยการรวมข้อมูลอินฟราเรด (IR) ของหยาดน้ำฟ้า และ root-mean-square (RMS) ของการประมาณค่าของหยาดน้ำฟ้าที่ผิดพลาด ซึ่งข้อมูลที่ได้ข้อมูลเรดาร์ที่มีความละเอียดเชิงห้วงเวลาน้ำฝนรายวัน ข้อมูลมีความละเอียดเชิงพื้นที่  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  ครอบคลุมตั้งแต่ 50 องศาเหนือ ถึง 50 องศาใต้ และ TRMM 3B42 V.7 ประกอบด้วยเซนเซอร์ที่ใช้ ได้แก่ Advanced Microwave Scanning Radiometer, Advanced Microwave Sounding Unit-A, Advanced Microwave Sounding Unit-B, TRMM Precipitation Radar, Special Sensor Microwave Imager/Sounder, TRMM Microwave Imager, Visible และ Infrared Spin Scan Radiometer (GMS Series), Visible และ Infrared Spin Scan Radiometer (METEOSAT Series) ช่วงเวลาที่เริ่มบันทึกตั้งแต่วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2540 ถึงปัจจุบัน (National Aeronautics and Space Administration, 2015)



ภาพ 10 อุปกรณ์สำรวจของดาวเทียม

ที่มา: <https://pmm.nasa.gov/trmm/trmm-instruments>

ดาวเทียม TRMM ได้ติดตั้งทั้งอุปกรณ์แบบ Passive Microwave และแบบ Active Microwave ทั้งนี้อุปกรณ์ที่สำคัญของ TRMM (ภาพ 10) มีอยู่ 5 ชนิดคือ

1. เครื่อง Precipitation Radar (PR) ทำงานที่ช่วงคลื่น 13.81 GHz มีความละเอียด 4.3 กิโลเมตร

2. เครื่อง Visible/Infrared Scanner (VIRS) ทำงานที่ช่วงคลื่น 0.60-12 ไมโครเมตร ความละเอียด 2.0 กิโลเมตร

3. เครื่อง TRMM Microwave Image (TMI) มี 5 Band width ทำงานที่ช่วงคลื่น 10-90 GHz ความละเอียด 5 - 45 กิโลเมตร

4. เครื่อง Clouds and the Earths Radiant Energy System (CERLS) ทำงานที่ช่วงคลื่น 0.3 - 50 ไมโครเมตร ความละเอียด ~25 กิโลเมตร

5. เครื่อง Lightning Imaging Sensor (LIS) ทำงานที่ช่วงคลื่น 0.774 ไมโครเมตร มีความละเอียด 4 กิโลเมตร

## 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1. การสร้างแผนที่อ่อนไหวต่อการดินถล่มร่วมกับภูมิสารสนเทศ

ในปัจจุบันนี้มีการศึกษาทั่วโลกมีการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติร่วมกับเครื่องมือทางสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อใช้วิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มและแสดงบริเวณที่อาจจะเกิดดินถล่มที่มีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือสูง โดยส่วนใหญ่ใช้วิธีอัตราความถี่ และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นซึ่งวิธีการนี้มีการใช้อย่างแพร่หลายด้วยข้อมูลทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม ปัจจัยที่ก่อให้เกิดดินถล่ม ได้แก่ ความสูง ความลาดชัน ทิศทางด้านลาด ชนิดของหิน ระยะทางจากทางน้ำ ปริมาณฝน ลักษณะของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ และระยะทางจากรอยเลื่อน Intarawichian และ Dasananda (2011) ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศเพื่อวิเคราะห์ระบุพื้นที่ดินถล่มในอดีตร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ อีกทั้งสร้างแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มบริเวณลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนล่าง ประเทศไทย จากการตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้พื้นที่ได้กราฟ พบว่า ความอัตราความสำเร็จ 80.06% (success rate curve) และอัตราการทำนาย 84.82% (prediction rate curve) อีกทั้ง Intarawichian (2008) ได้วิเคราะห์เปรียบเทียบ 3 วิธี พบว่า การประสมประสานค่าน้ำหนักของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นและวิธีอัตราส่วนความถี่ให้ค่าความถูกต้องของการทำนายสูงสุดเท่ากับ 91.22% รองลงมาวิธีกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นเท่ากับ 84.82% และอัตราส่วนความถี่ให้ค่าความถูกต้องการทำนายน้อยที่สุดเท่ากับ 64.90% เช่นเดียวกันกับการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมฉับพลันและดินถล่มบริเวณลุ่มน้ำห้วยแม่สร้อย จังหวัดแพร่ และลุ่มน้ำคลองท่าพน จังหวัดนครศรีธรรมราช (ภาณุวัฒน์ เขียวสลับ, 2558) ใช้ปัจจัยในการหาพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม

ได้แก่ ความสูงของพื้นที่ ชนิดของหิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปริมาณน้ำฝน ความลาดชัน และลักษณะเนื้อดิน ด้วยวิธีดัชนีปัจจัยร่วม (weighted factor index method) และวิธีอัตราส่วนความถี่ โดยใช้ข้อมูลร่องรอยการเกิดดินถล่มปีพ.ศ. 2554 พิจารณาหาความถูกต้องโดยรวม (overall accuracy) และหาพื้นที่ได้กราฟ พบว่าในพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มในระดับสูงและสูงมาก จากวิธีปัจจัยร่วม ลุ่มน้ำห้วยแม่สรอยมีพื้นที่ร้อยละ 37.54 ส่วนลุ่มน้ำคลองท่าหน มีพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 26.30 มีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับร้อยละ 96.92 และ 57.23 ตามลำดับ และการตรวจสอบความถูกต้องด้วยพื้นที่ได้กราฟ จากวิธีดัชนีปัจจัยร่วมและวิธีอัตราส่วนความถี่ พบว่า วิธีดัชนีปัจจัยร่วมมีค่าเท่ากับ 0.53 และ 0.42 ตามลำดับ ส่วนวิธีอัตราส่วนความถี่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่สรอย มีค่าเท่ากับ 0.78 และ 0.33 ตามลำดับ โดยวิธีที่พบว่า Khan, Hawas, et al., 2019 ได้พัฒนาแผนที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ทางตอนเหนือของประเทศปากีสถาน โดยได้นำภาพถ่ายดาวเทียม SPOT-5 มาสร้างพื้นที่ดินถล่มในอดีตและทำการสำรวจภาคสนามเพื่อตรวจสอบความถูกต้องมาศึกษา ร่วมกับร่วมกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ ความลาดชัน ทิศทางของพื้นที่ผิว ธรณีวิทยา การใช้ประโยชน์ที่ดิน ระยะห่างจากรอยเลื่อน ถนนและแม่น้ำ โดยปัจจัยระยะห่างจากรอยเลื่อนและความลาดชันมีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดดินถล่ม พบว่า 17.31% ของพื้นที่อยู่ในระดับมีความเสี่ยงมากถึงเสี่ยงมากที่สุด อีกทั้งยังมีการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบหาวิธีการทางสถิติที่มีความถูกต้องสูงสุด จากการศึกษาจะเป็น 3 วิธี ได้แก่ อัตราส่วนความถี่, Statistical Index (SI), และ Certainty Factor (CF) ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มณฑล Gangu ประเทศจีน โดย Wu, Yanli, et al., 2016 วิเคราะห์ตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอดีต 328 จุด ร่วมกับปัจจัยทางพื้นที่ที่สำคัญ 12 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชัน ทิศทางของพื้นที่ผิวความโค้ง ความสูง ระยะห่างจากรอยเลื่อน ระยะห่างจากแม่น้ำ ระยะห่างจากรอยเลื่อน ดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปริมาณน้ำฝน และชนิดของหิน และตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่โดยใช้พื้นที่ได้กราฟ โดยผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าวิธี SI มีความถูกต้องสูงที่สุด 75.71%, วิธี FR 75.62% และ CF 75.56% ตามลำดับ ในขณะที่ Mallick, Javed, et al., 2018 ได้ศึกษาในลุ่มน้ำ Abha ประเทศซาอุดีอาระเบีย ได้ใช้วิธีการ Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) รวมทั้งปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม การสังเกต การลงพื้นที่ภาคสนาม และสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ ใช้ปัจจัยดังนี้ ความลาดชัน ปริมาณฝน ระยะห่างจากรอยเลื่อน ระยะห่างจากรอยเลื่อน ระยะห่างจากทางระบายน้ำ ทิศทางของพื้นที่ผิว ธรณีวิทยา ธรณีสัณฐาน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ โดยตรวจสอบ

ความถูกต้องด้วยวิธีการหาพื้นที่ได้โค้ง (ROC) พบว่า แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ความอ่อนไหวสูงและสูงมาก 15.11% และมีความถูกต้อง 89.1% ในประเทศไทย

นอกจากนี้ยังมีมีการใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมอีกด้วย เช่นงานของ Seejata, Yodying, Mahavik, Tantane, & Tubtim, (2018) ทำการประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น กลุ่มน้ำยมตอนล่าง จังหวัดสุโขทัย ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ความลาดชัน ระดับความสูงของพื้นที่ ความหนาแน่นของทางน้ำ การใช้ประโยชน์ที่ดิน และการระบายน้ำของดิน โดยจำแนกพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมเป็น 5 ระดับ ซึ่งพบว่า พื้นที่อำเภอเมือง อำเภอศรีมาศ และอำเภอกงไกรลาศ เป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงมากที่สุดจากอุทกภัย โดยพื้นที่เหล่านี้มีความลาดชันและความสูงต่ำมาก นอกจากนี้การถ่วงน้ำหนักของปัจจัยสำคัญจะต้องได้รับการแก้ไขอย่างมีเหตุผล เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง Yodying, et al., (2019) ได้ทำการประเมินความเสี่ยงจากอุทกภัยโดยใช้ (FAHP) ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อประเมินภัยน้ำท่วมโดยเปรียบเทียบผลของระดับความสูงระหว่างจากแบบจำลองระดับความสูง (SRTM DEM) และ LiDAR พื้นที่ศึกษาคือโครงการ “บางระกำโมเดล 60” โดยใช้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 8 ปัจจัย ได้แก่ ระยะห่างจากโครงข่ายระบายน้ำ ความหนาแน่นของการระบายน้ำ ระดับความสูง การสะสมการไหล การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความลาดชัน การแทรกซึมของน้ำในดิน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี โดยแต่ละปัจจัยได้รับการถ่วงน้ำหนักเพื่อวิเคราะห์แผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม และตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการกับข้อมูลพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) พบว่า พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมสูงมากใกล้โครงข่ายท่อระบายน้ำ ปัจจัยสนับสนุนที่สำคัญต่อความเสี่ยงจากน้ำท่วม ได้แก่ การสะสมการไหล ความสูงและการแทรกซึมของน้ำในดินมีน้ำหนักเท่ากัน ระยะห่างจากโครงข่ายการระบายน้ำ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี ความหนาแน่นของการระบายน้ำ การใช้ที่ดิน และความลาดชันตาม ลำดับ

ในภาคเหนือของประเทศไทยมีการศึกษาการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ปูล จังหวัดอุตรดิตถ์ (มนันยา จันทศร, 2555) ด้วยดัชนีวิธีปัจจัย และวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชัน ชนิดของหิน ระดับความสูง การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ลักษณะเนื้อดิน และปริมาณน้ำฝน พบว่า วิธีดัชนีปัจจัยร่วมแบ่งระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มได้ 5 ระดับ ได้แก่ ระดับสูงมากคิดเป็นร้อยละ 34.48 และระดับสูง ปานกลาง ต่ำ และต่ำมาก คิดเป็นร้อยละ 46.74, 10.32, 4.87 และ 3.22 ตามลำดับ ส่วนในวิธีวิเคราะห์ทางสถิติพบปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุด ได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน ร่องลงมา ธรณีวิทยา ปริมาณน้ำฝน การใช้ประโยชน์ที่ดิน



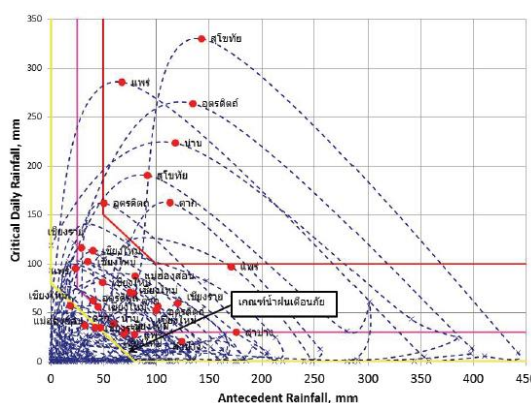
ความลาดชัน และระดับความสูง ตามลำดับ แบ่งระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มได้ 5 ระดับ คือ ระดับสูงมากคิดเป็นร้อยละ 3.10 ระดับ ปานกลาง ระดับต่ำ และระดับต่ำมาก คิดเป็น ร้อยละ 45.39, 12.37, 21.71 และ 17.42 ตามลำดับ ตรวจสอบค่าความถูกต้อง Kappa statistic และ overall accuracy วิธีดัชนีปัจจัยร่วมให้ค่าเท่ากับ 0.33 และร้อยละ 68.89 ตามลำดับ และวิธี วิเคราะห์ทางสถิติให้ค่าความถูกต้องเท่ากับ 0.65 และร้อยละ 82.10 ตามลำดับ อีกทั้ง Moazzam, Muhammad Farhan Ul, et al., (2020) การเปรียบเทียบวิธีการเชิงสถิติสำหรับวิเคราะห์ความ อ่อนไหวต่อดินถล่ม พื้นที่แม่พูล จังหวัดอุดรดิษฐ์ประเทศไทย จากการวิเคราะห์ 3 วิธีการ ได้แก่ อัตราส่วนความถี่ ข้อมูลเชิงปริมาณ (IVF) และการให้น้ำหนักของข้อมูล (WOE) เพื่อการประเมินและ เปรียบเทียบจากการใช้ข้อมูลการตีความบนภาพถ่าย SPOT-5 และการสำรวจภาคสนาม พบพื้นที่ดิน ถล่มทั้งหมด 677 แห่ง โดยทำการแบ่งเป็นชุดข้อมูลสำหรับการฝึกอบรม เท่ากับ 473 แห่ง (70%) และตรวจสอบความถูกต้อง 204 แห่ง โดยการศึกษาได้ใช้ปัจจัยทางกายภาพทั้งหมด 11 ได้แก่ ความสูง ความลาดเอียง ความโค้ง เส้นโค้งบนระนาบ การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ดัชนีความชันภูมิ ประเทศ ดัชนีแรงของเส้นทางน้ำ ความใกล้เคียงถึงถนน และความใกล้เคียงถึงเส้นทางน้ำ โดยการ วิเคราะห์ทั้ง 3 วิธีร่วมกับเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ พบว่า วิธีอัตราส่วนความถี่ มีเกือบ 40% ของพื้นที่ ศึกษาทั้งหมดเป็นพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในระดับสูงและสูงมาก ในขณะที่วิธีWOE และ วิธีIVF พบว่าเกือบ 50% ของพื้นที่ทั้งหมดเป็นพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม ผลที่ได้รับจากการ ตรวจสอบความถูกต้องพบว่าพื้นที่ได้เส้นโค้ง อ้างอิงจากกราฟอัตราการทำนายสำหรับ FR, IFV และ WOE เท่ากับ 80.78%, 72.88% และ 72.33% ตามลำดับ และกราฟอัตราความสำเร็จของ แบบจำลองในการศึกษานี้เท่ากับ 74.60%, 75.04% และ 72.54% ตามลำดับ ดังนั้น สรุปได้แผนที่ ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มจากวิธี FR, IFV และWOE เป็นแผนที่ที่มีความถูกต้องสูงเนื่องจากมี ดินถล่มมากกว่า 2 ใน 3 และโซนความอ่อนไหวสูงมากของแต่ละวิธีการ จากการศึกษาพบว่า มุมลาด เอียง การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน และถนนมีส่วนสำคัญต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา

อีกทั้งในประเทศกลุ่มทวีปแอฟริกาได้มีการศึกษาการประเมินความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม บริเวณเขต Tarmaber ในประเทศเอธิโอเปีย ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น โดย Abay, Barbieri, & Woldearegay, (2019) จากข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมในพื้นที่ศึกษาร่วมกับการใช้ ข้อมูลรีโมตเซนซิง และการใช้เครื่องมือทางภูมิสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ ส่งผลต่อการเกิดดินถล่ม ได้แก่ ชนิดของหิน ระยะจากรอยเลื่อน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ระยะจากทาง น้ำ ความลาดชัน ทิศทางของพื้นที่ผิว และความสูง ผลการวิจัยพบว่า ชนิดหินมีอิทธิพลต่อการเกิดดิน

ถล่มมากที่สุด รองลงมาคือ ระยะห่างรอยเลื่อน และระยะห่างจากทางน้ำ ตามลำดับ โดยพื้นที่ศึกษามีพื้นที่ความอ่อนไหวระดับสูงมากที่สุดคิดเป็น 44% ของพื้นที่ ตามด้วยระดับสูงมากเท่ากับ 29% ระดับปานกลางเท่ากับ 20% และระดับต่ำเท่ากับ 7% ของพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้เมื่อตรวจสอบความถูกต้องพบว่ามีความถูกต้อง 88.60%

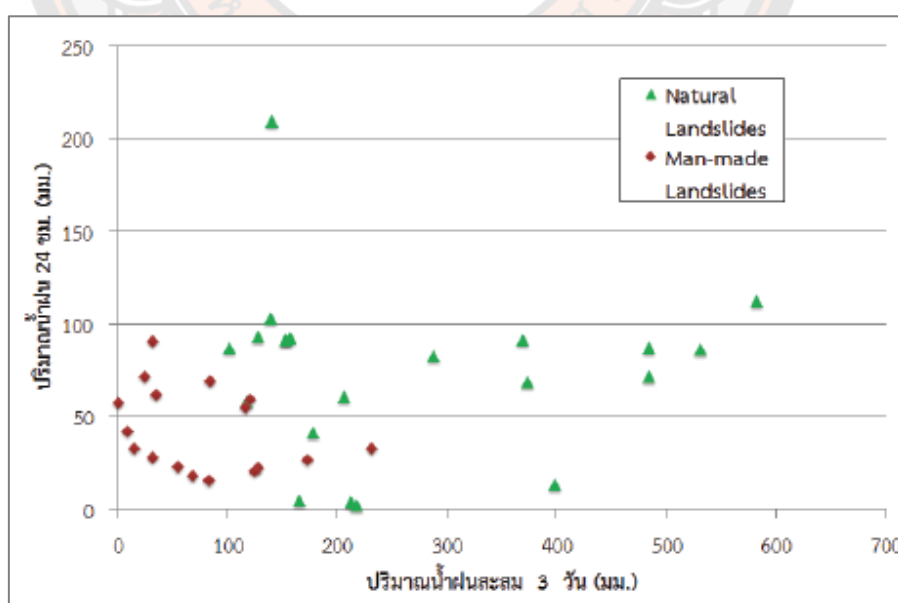
## 2. ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนภาคพื้นดินและการเกิดดินถล่ม

การใช้ปริมาณน้ำฝนภาคพื้นดินที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดน้ำฝนในประเทศไทย เพื่อหาช่วงคาบเวลาที่เหมาะสมในการสร้างเป็นขอบเขตหรือเกณฑ์ในการเตือนภัยดินถล่ม (สันติ ไทย ยืนวงศ์, ภูเบศร หนูทิมทอง, วิทวัส เดชมาก, และ สุทธิศักดิ์ ศรีลัมภ์, 2556) ศึกษาขอบเขตปริมาณน้ำฝนวิกฤตสำหรับพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มด้วยข้อมูลการเกิดดินถล่ม และข้อมูลปริมาณน้ำฝน โดยหาสถานีน้ำฝนที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลตำแหน่งดินถล่มโดยใช้วิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบ Thiessen Polygon เพื่อคำนวณปริมาณฝนรายวันแต่ละคาบเวลาตั้งแต่วันที่ 1 ถึง 7 โดยเลือกคาบเวลาที่มีอัตราส่วนการเกิดมากที่สุดเป็นคาบเวลาที่เหมาะสม จากนั้นแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนก่อนหน้าที่ทำให้ชั้นดินชื้น และปริมาณฝนวิกฤตที่เกิดขึ้น 24 ชั่วโมงสุดท้าย โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนการเกิดดินถล่มในแต่ละคาบที่อัตราส่วนการเกิดดินถล่ม 1:1,000, 1:500, 1:200 และ 1:100 ผลการศึกษาพบว่า จำนวนเหตุการณ์ดินถล่มเพิ่มสูงขึ้นตามคาบเวลาที่เพิ่มขึ้น และขอบเขตน้ำฝนวิกฤตที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยควรใช้ปริมาณน้ำฝนที่คาบเวลา 4 วัน ในการติดตามและเฝ้าระวังภัยดินถล่ม โดยแบ่งปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า (Antecedent Rainfall) 3 วันและน้ำฝนวิกฤต (Critical Rainfall) วันที่ 4 ดังภาพ 10 มีจุดของเหตุการณ์ดินถล่มอยู่ต่ำกว่าเส้นขอบเขตน้ำฝนวิกฤตเส้นแรก แม้มีโอกาสเกิดน้อยเนื่องจากไม่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนจากตำแหน่งที่ตั้งสถานีและที่เกิดเหตุดินถล่มเกิดห่างไกลแต่ก็ยังคงนำมาพิจารณาในการวิเคราะห์ด้วย



ภาพ 11 เกณฑ์ปริมาณน้ำฝนเพื่อการเตือนภัยดินถล่ม

ในขณะที่ สุทธิศักดิ์ ศรีลัมภ์ และ ชีรไนย์ นุ่มมาก (2556) ได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการเกิดดินถล่มกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีที่ใกล้กับจุดเกิดเหตุ เพื่อประเมินและกำหนดเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนที่ก่อให้เกิดดินถล่มในขั้นต้น รวมถึงพัฒนาเป็นเกณฑ์เตือนภัยที่ได้จากการวิเคราะห์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อเตือนภัยในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ สถิติการเกิดดินถล่มในประเทศไทย พบว่า มีมากกว่า 150 เหตุการณ์ ช่วงปี พ.ศ. 2513- พ.ศ.2554 โดยช่วง 2-3 ปีหลังมีสถิติการเกิดที่ถี่มากขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ และการกระทำของมนุษย์เป็นปัจจัยเร่ง โดยเฉพาะภาคเหนือ ภาคใต้ที่พบเหตุการณ์ดินถล่ม นอกจากนี้ปริมาณฝนในประเทศไทยมีปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละภูมิภาคเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากร่องมรสุมไม่เหมือนกัน เช่น ภาคเหนือมีปริมาณฝนเฉลี่ย 1,200 มิลลิเมตรต่อปี ภาคกลางมีฝนเฉลี่ย 1,375 มิลลิเมตรต่อปี โดยเกณฑ์ปริมาณฝนเพื่อการเตือนภัยดินถล่มส่วนใหญ่มักเป็นแบบสถิติ โดยอาศัยความสัมพันธ์ค่าปริมาณน้ำฝนรายวัน ปริมาณฝนสะสม ความเข้มฝน และระยะเวลาที่ฝนตก โดยประเทศไทยมีลักษณะการตกของฝนหนักติดต่อกัน จากสถิติที่ผ่านมาพบฝนตกหนักประมาณ 3-4 วันแล้วเกิดดินถล่ม ดังนั้นจึงใช้เกณฑ์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนรายวันกับปริมาณฝนสะสม 3 วันสำหรับเตือนภัยดินถล่ม ดังภาพ 12 พบว่าปัจจัยที่มนุษย์สร้างเร่งให้เกิดดินถล่มมีค่อนข้างมีต่ำกว่าดินถล่มที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยค่าปริมาณน้ำฝนรายวันน้อยกว่า 50 มิลลิเมตร และค่าปริมาณน้ำฝนสะสม 3 วันน้อยกว่า 100 มิลลิเมตร



ภาพ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณน้ำฝนรายวันกับค่าปริมาณน้ำฝนสะสม 3 วัน ในช่วงเกิดดินถล่ม

อีกทั้ง Althuwaynee, Omar F., Asikoglu, Omer, & Eris, Ebru (2018) สร้างเกณฑ์ของความเข้มของน้ำฝนที่ทำให้เกิดดินถล่มในพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มของทางภาคเหนือประเทศตุรกี โดยใช้ข้อมูลน้ำฝน 2 คือ สถานี Rize และสถานี Rize-Pazar โดยการพัฒนาเกณฑ์เชิงประจักษ์ ได้แก่ ปริมาณฝนก่อนหน้าการเกิดดินถล่ม 3, 5, 10, 15 และ 30 วัน พบว่า สถานี Rize มีเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า 3 วัน ที่ระดับปานกลาง และเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า 30 ที่ระดับต่ำมาก และเมื่อพิจารณาถึงสถานีใน Rize - Pazar มีเกณฑ์ปริมาณฝนก่อนหน้า 3 วัน ในระดับสูง และเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า 10 วันก่อนหน้า ในระดับปานกลาง การทดสอบความน่าเชื่อถือนั้นไม่มีการระบุรูปแบบเกณฑ์ที่ชัดเจน จากความแตกต่างของผลการทดสอบความน่าเชื่อถือของมาตรวัดปริมาณน้ำฝน 2 สถานี ผลการใช้เกณฑ์ปริมาณฝนก่อนหน้านี้ที่ไม่มีประสิทธิผลเกณฑ์ในพื้นที่ศึกษา สถานี Rize - Pazar ปริมาณน้ำฝนสะสมสูงส่งผลให้ดินถล่มและในขณะที่สถานี Rize มีปริมาณฝนสะสมตกแต่กลับส่งผลให้เกิดดินถล่ม อีกทั้งความสัมพันธ์ระหว่างกับวันที่เกิดดินถล่ม (E-date) และความเข้มฝนกับวันที่เกิดดินถล่ม (I-date) พบว่า ผลลัพธ์ความน่าเชื่อถือต่ำไม่สามารถใช้งานได้จริงจึงได้แสดงผลไว้ในการศึกษา แต่แสดงผลความสัมพันธ์ปริมาณฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตก (ED) และความสัมพันธ์ปริมาณฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตก (ID) ในทั้ง 2 สถานี ผลลัพธ์ความน่าเชื่อถืออย่างมีนัยสำคัญสูงที่ประมาณ 97% และ 95% ตามลำดับ

### 3. ความน่าจะเป็นกับดินถล่มที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลดาวเทียม TRMM และฝนสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน

ปัจจุบันมีการศึกษาเพื่อสร้างหรือพัฒนาแบบจำลองเกณฑ์ของพฤติกรรมฝนหรือรูปแบบฝนที่ส่งผลให้เกิดดินถล่ม โดยการใช้สถิติการเกิดดินถล่มในพื้นที่ จากการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนจากข้อมูลด้วยเทียม TRMM ที่มีถูกใช้กันอย่างแพร่หลายและมีความน่าเชื่อถือที่นำไปใช้ได้ โดย Robbins, J. C., (2016) ได้ทำการศึกษาลักษณะความสัมพันธ์ของฝนที่มีผลต่อการเกิดดินถล่มในประเทศปาปัวนิวกินี โดยใช้ปริมาณน้ำฝนสะสมกับช่วงเวลาที่ฝนตก และความเข้มฝนกับช่วงเวลาที่ฝนตก เพื่อพัฒนาระบบเตือนภัยและสร้างแบบจำลองการทำนายการเกิดดินถล่ม รวมทั้งแก้ปัญหาความไม่แน่นอนของข้อมูลการเกิดดินถล่ม ด้วยวิธีการความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียน เพื่อหาความเป็นไปได้ของการเกิดดินถล่ม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปริมาณฝนสะสมที่มากกว่า 250 มิลลิเมตร และระยะเวลาน้อยกว่า 15 วัน จะเกิดความเสี่ยงดินถล่มระดับกลาง หากปริมาณฝนสะสมมากกว่า 1,200 มิลลิเมตร และระยะเวลามากกว่า 75 วัน จะเกิดความเสี่ยงดินถล่มระดับสูง โดยการวิเคราะห์ปริมาณฝนสะสมและช่วงเวลา สามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการเกิดดิน

ถล่มในประเทศปาปัวนิวกินี นอกจากนั้นในประเทศมาเลเซีย พื้นที่ Ulu Kelang ได้วิเคราะห์เกณฑ์ ปริมาณน้ำฝนที่ก่อให้เกิดดินถล่มจากข้อมูลดาวเทียม TRMM โดย Ya'acob, Norsuzila, Tajudin, Noraisyah, Yusof, Azita laily, Ali, Darmawaty Mohd, & Samin, Suzi Seroja, (2018) ซึ่งใช้ ภาษาไพธอน 2.7 เพื่อสกัดข้อมูลและวิเคราะห์ร่วมกับโปรแกรม MATLAB กับตำแหน่งดินถล่ม โดย การศึกษาครั้งนี้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนสะสมกับปริมาณน้ำฝนสะสม (E-E) และ ตรวจสอบความถูกต้องทำโดยเปรียบเทียบเกณฑ์ฝนจากข้อมูลฝนภาคพื้นดินและเกณฑ์ฝนจาก ข้อมูล TRMM โดยการวิเคราะห์เกณฑ์ปริมาณน้ำฝนสะสม 3 วัน และ 30 วัน (E3-E30) ตามจุดเกิด ดินถล่ม ใช้ทำนายการเกิดเหตุดินถล่มที่แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ไม่มีเหตุการณ์ดินถล่ม เกิดดินถล่ม น้อย และเกิดดินถล่มมาก เพื่อตรวจสอบเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนที่เป็นไปได้ในการทำนายดินถล่มใน อนาคต ผลการศึกษาพบว่าเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการข้อมูล TRMM มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า ค่าที่ได้จากการข้อมูลปริมาณน้ำฝนภาคพื้นดิน แต่เกณฑ์ปริมาณน้ำฝนจาก TRMM สามารถนำมา ทำนายโอกาสการเกิดดินถล่มได้ และในคาบสมุทรอินโดจีนมีการเปรียบเทียบโครงสร้างความ ผิดพลาดเชิงพื้นที่ระหว่างผลิตภัณฑ์ TRMM และ Aphrodite โดย (Mahavik & Tantanee, 2018) ใช้สคริปต์ Python และไลบรารี Base Map เพื่อค้นหาข้อผิดพลาดของโครงสร้างเชิงพื้นที่โดยใช้ เมทริกซ์ทางสถิติ POD, FAR และ CSI จากผลิตภัณฑ์ 3B42 และ 3B42RT เปรียบเทียบกับ ข้อมูลฝน ที่ได้จากฝนภาคพื้นดิน (APHRODITE) พบว่าทั้ง POD, FAR และ CSI มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างฤดูฝนกับฤดูแล้ง ในปี 2004 โดยฤดูฝนของข้อมูลผลิตภัณฑ์ TRMM แสดงการดำเนินการที่ตรวจพบฝนดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฤดูแล้งพบว่าเกิดความเอนเอียงมากกว่า 3 ครั้ง และความสัมพันธ์ของความเอนเอียงเชิงพื้นที่จากฝนภาคพื้นดินนั้น พบว่า ข้อมูลผลิตภัณฑ์ TRMM3B42 มีประสิทธิภาพดีกว่าผลิตภัณฑ์ 3B42RT จะเห็นได้ว่าในพื้นที่ทางกลางของคาบสมุทร อินโดจีนนั้นมีความเอนเอียงของข้อมูลเชิงพื้นที่น้อยที่สุดโดยตรวจสอบความถูกต้องกับพื้นที่ภูเขา Tennasserim เนื่องจากมีการกระจายตัวของสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้น

อีกทั้ง Do & Yin, Kun Long, (2018) ได้วิเคราะห์เกณฑ์ปริมาณน้ำฝนและวิธีความน่าจะเป็นแบบเบย์สำหรับการเริ่มต้นของดินถล่ม ในเหตุการณ์ดินถล่มและเหตุการณ์ฝนตกในอดีต พื้นที่ เมืองท่าซางและบริเวณโดยรอบประเทศเวียดนาม โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันได้รับการรวบรวม จากสถานีวัดปริมาณน้ำฝนรวมกับวันที่เกิดดินถล่มจริง และข้อมูลดินถล่ม 37 เหตุการณ์จากทั้งหมด 245 เหตุการณ์ พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนรายวันและก่อนหน้าของเหตุการณ์ดินถล่ม แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณฝนก่อนหน้า 3 วันที่มีความเหมาะสมที่สุด และพบว่าแบบจำลองความน่าจะเป็น

เป็นแบบเบียร์กรณี 1 มิติ มีความน่าจะเป็นแตกต่างกันไปในช่วง 0.03 ถึง 0.44 แบบจำลองความน่าจะเป็นแบบเบียร์ สำหรับกรณีสองมิติถูกสร้างขึ้นจากดินถล่ม 11 ครั้ง โดยความเข้มของฝนและระยะเวลาฝนตก ในช่วงเดือนพฤษภาคม เดือนมิถุนายน และเดือนกรกฎาคม) ของปี 2013 มีค่าความน่าจะเป็นอยู่ในช่วง 0.08 ถึง 0.67 และคำนวณค่าตามเงื่อนไขความน่าจะเป็นของดินถล่มจากกรณีสองมิติ แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าช่วงความเข้มของฝนมากกว่า 40 มม. โดยมีระยะเวลาฝนมากกว่า 0.3 วัน อาจส่งผลให้เกิดดินถล่ม



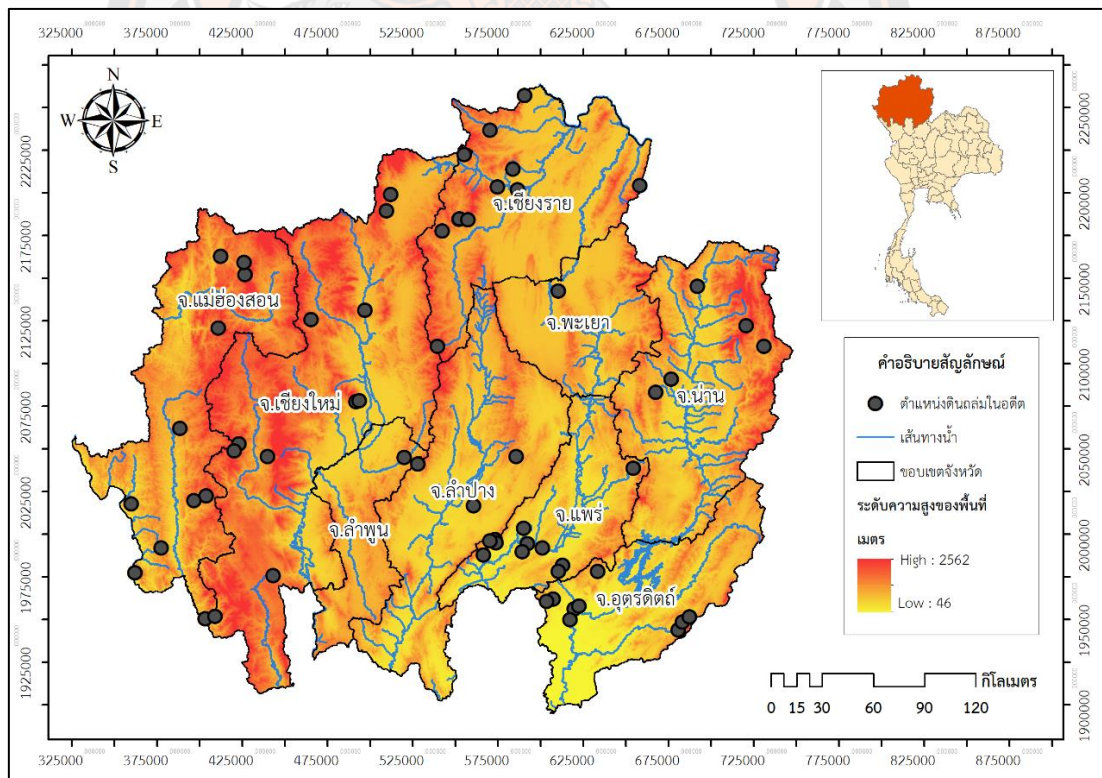
### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับพื้นที่ศึกษา ลักษณะทางภูมิศาสตร์ ลักษณะทางภูมิอากาศ ลักษณะทางธรณีวิทยา รวมถึงข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม พื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยด้วยวิธีแบบจำลองความถี่และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น

#### 3.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา คือ ภาคเหนือของประเทศไทย (ดังภาพ 13) ประกอบด้วย 9 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำพูน จังหวัดลำปาง จังหวัดพะเยา จังหวัดน่าน จังหวัดแพร่ และจังหวัดอุตรดิตถ์ มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 93,691 ตารางกิโลเมตร



ภาพ 13 พื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

### 1. การเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา

ข้อมูลสถิติการเกิดดินถล่มในประเทศไทยได้ถูกรวบรวมตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2513 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554 ที่รวบรวมโดย (สุทธิศักดิ์ ศรลัมภ์ และ ชีรไนย์ น้อยมาก, 2556) เมื่อทำการจำแนกรายภูมิภาค พบว่า พื้นที่ภาคเหนือมีจำนวน 64 เหตุการณ์ เนื่องจากพื้นที่เป็นที่ลาดชันภูเขาสูงโดยสาเหตุที่เกิดดินถล่มส่วนใหญ่ล้วนเกิดมาจากเหตุการณ์ฝนตกหนัก เนื่องจากมรสุมตามฤดูกาลหรืออิทธิพลของพายุที่พัดผ่านประเทศไทย โดยการศึกษานี้ได้ใช้การประมาณค่าปริมาณน้ำฝนที่ได้จากดาวเทียม TRMM ที่มีคุณลักษณะครอบคลุมเชิงพื้นที่มากกว่าสถานีตรวจวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา

### 2. ลักษณะทางภูมิศาสตร์

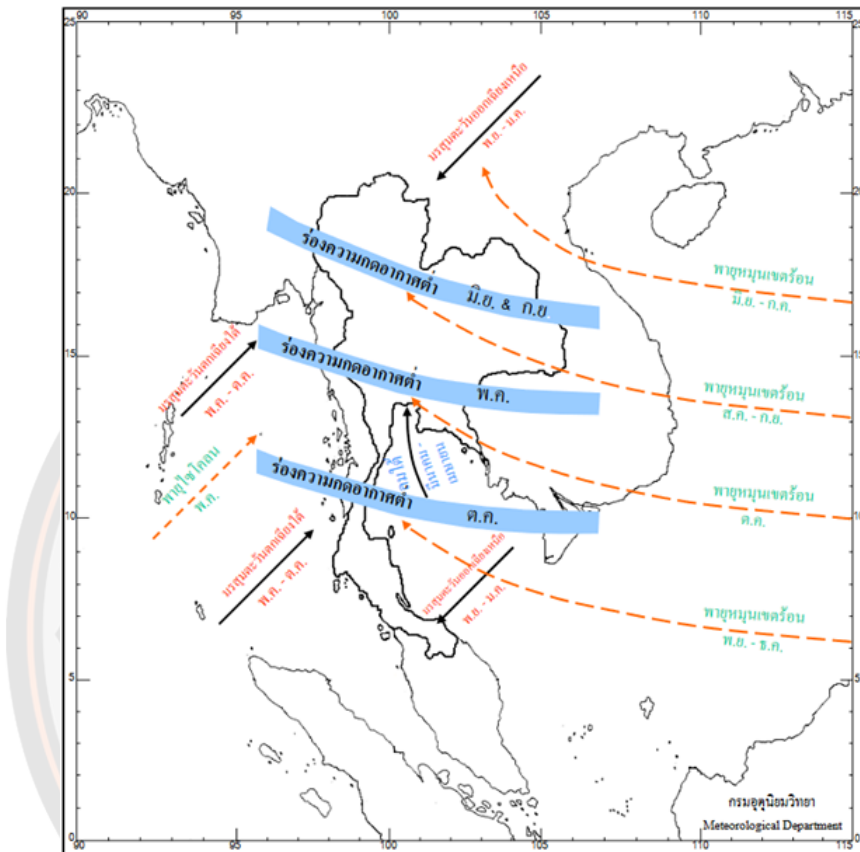
ภาคเหนือเป็นที่ราบสูง มีภูเขาวางตัวติดกันในแนวเหนือใต้ ทิวเขาที่มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 1,600 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล ภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นที่อกเขาสลับซับซ้อน สลับกับหุบเขาทั้งแคบและกว้างมากมาย ทิวเขาที่สำคัญ ได้แก่ ทิวเขาแดนลาว ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือกั้นเขตแดนระหว่างไทยกับพม่า เป็นแหล่งกำเนิดของแม่น้ำสายสำคัญๆ หลายสายคือ แหล่งกำเนิดของแม่น้ำปิง ทางตะวันตกมีทิวเขาถนนธงชัย และทิวเขาตะนาวศรีบางส่วน ตอนกลางของภาคมีทิวเขาฝิปปันน้ำ ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำวังและแม่น้ำยม ด้านตะวันออกมีทิวเขาหลวงพระบางเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำน่าน และมีทิวเขาเพชรบูรณ์บางส่วนเป็นแนวกั้น ภาคเหนือมีลุ่มน้ำทั้งหมด 7 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำปิง ลุ่มน้ำวัง ลุ่มน้ำยม ลุ่มน้ำน่าน ลุ่มน้ำโขงเหนือ ลุ่มน้ำสาละวิน และลุ่มน้ำกก

### 3. ลักษณะทางภูมิอากาศ

ภาคเหนือมีสภาพภูมิอากาศที่เหมือนภาคอื่น ๆ ประกอบด้วย 3 ฤดูกาล คือ ฤดูหนาว เริ่มต้นประมาณกลางเดือนตุลาคมและสิ้นสุดประมาณเดือนกุมภาพันธ์ ฤดูหนาวในภาคเหนือมีลักษณะเห็นเด่นชัดกว่าภาคกลาง และภาคใต้เพราะอยู่ใกล้แนวเคลื่อนที่ของอากาศหนาวเย็นที่เคลื่อนที่จากเขตความกดอากาศสูงในไซบีเรียผ่านประเทศจีนมีความเย็นมากกว่าภาคอื่นๆ ฤดูร้อนเริ่มต้นประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์และไปสิ้นสุดประมาณกลางเดือนพฤษภาคม ในเดือนกุมภาพันธ์มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มอ่อนกำลังลง ทำให้ลมตะวันออกเฉียงใต้จากทะเลจีนมีกำลังแรงขึ้น เป็นผลให้เกิดพายุฤดูร้อนขึ้นในภาคเหนือเป็นครั้งคราว มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุด 37 องศาเซลเซียส และฤดูฝนเริ่มต้นประมาณกลางเดือนพฤษภาคมและไปสิ้นสุดฤดูในเดือนกันยายนหรือต้นเดือนตุลาคม ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524 – พ.ศ. 2553) มีจำนวนวันฝนตกตลอดปีทั้งหมด 122 วัน



ปริมาณฝนเฉลี่ย 1,230 มิลลิเมตร สถิติพายุหมุนเขตร้อน (ภาพ 14) ที่เคลื่อนผ่านภาคเหนือของประเทศไทยในคาบ 62 ปี (พ.ศ. 2497 - พ.ศ. 2555) ในระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน เกิดขึ้นทั้งหมด 72 ครั้ง (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2562)



ภาพ 14 ทิศทางลม พายุหมุนเขตร้อน และแนวร่องความกดอากาศต่ำ ที่พัดผ่านประเทศไทย  
ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2562)

#### 4. ลักษณะภูมิประเทศและภูมิสัณฐาน

กรมทรัพยากรธรณี (2561) อธิบายว่าบริเวณที่สูงทางภาคเหนือ (Northern Highland) ส่วนใหญ่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นทิวเขาสูงและหุบเขาแคบๆ มีความลาดชันมาก และมีระดับความสูงมากกว่าภาคอื่นๆ ทางทิศตะวันออกทิวเขามีเขาป้าน้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำโขงส่วนหนึ่ง และป้าน้ำลงสู่แม่น้ำยมและแม่น้ำน่านทางทิศตะวันตก บริเวณนี้ประกอบด้วยพื้นที่ภูเขาซึ่งมีอัตราส่วนที่สูงกว่าพื้นที่ราบประมาณ 4:1 ครอบคลุมพื้นที่บริเวณจังหวัดเชียงราย จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดพะเยา จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำพูน จังหวัดลำปาง จังหวัดน่าน จังหวัดแพร่ และจังหวัดอุตรดิตถ์

ทางทิศใต้มีพื้นที่รอยต่อกับที่ราบลุ่มภาคกลาง ทางทิศตะวันออกจรดประเทศลาว โดยมีทิวเขาหลวงพระบางกั้นพรมแดน ซึ่งทิวเขานี้วางตัวทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย แล้วทอดผ่านลงมาทางทิศใต้ในเขตจังหวัดพะเยา จังหวัดแพร่จังหวัดน่าน และจังหวัดอุตรดิตถ์ ทางด้านทิศเหนือและทิศตะวันตกของบริเวณนี้จรดเขตประเทศพม่า โดยมีทิวเขาแดนลาวและทิวเขาถนนธงชัยกั้นพรมแดน ทิวเขาเหล่านี้มียอดเขาจำนวนมากที่สูงกว่า 2,000 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยทิวเขาแดนลาวมีความต่อเนื่องมาจากเทือกเขาสูงในประเทศพม่า

เส้นทางน้ำที่ไหลไปทางทิศเหนือ ได้แก่ แม่น้ำฝาง น้ำแม่ก ก น้ำแม่จัน และน้ำแม่อิง เป็นต้น ซึ่งแม่น้ำเหล่านี้จะไหลลงสู่แม่น้ำโขงต่อไป ส่วนทางน้ำที่ไหลลงทางทิศใต้ ได้แก่ แม่น้ำปิง แม่น้ำวัง แม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน ซึ่งแม่น้ำทั้งสี่สายนี้เป็นสาขาที่สำคัญของแม่น้ำเจ้าพระยา โดยเป็นแหล่งที่ตั้งของชุมชนขนาดใหญ่ทางภาคเหนือที่สำคัญ ได้แก่ แอ่งเชียงราย บริเวณลุ่มแม่น้ำกกและแม่น้ำอิง แอ่งแพร่ บริเวณลุ่มแม่น้ำยม แอ่งลำปาง บริเวณลุ่มแม่น้ำวัง แอ่งเชียงใหม่-ลำพูน บริเวณลุ่มแม่น้ำปิง และแอ่งปาย แอ่งฝาง ในเขตจังหวัดเชียงใหม่ เป็นต้น

## 5. ลักษณะทางธรณีวิทยา

### 1. ธรณีวิทยาทั่วไป

1.1 ธรณีวิทยาภาคเหนือ มีลักษณะภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสูงสลับซับซ้อนต่อเนื่องกันเป็นแนวเหนือ-ใต้ และตะวันตกเฉียงเหนือ - ตะวันออกเฉียงใต้ ประกอบด้วยหินยุคต่างๆ โดยเทือกเขาเหล่านี้มักถูกกำหนดโดยลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างและชนิดของหินที่ปรากฏ ได้แก่

1.2 ธรณีวิทยาแนวแม่ฮ่องสอน - แม่สอ - ทองผาภูมิ ชั้นหินที่สำคัญในแนวนี้ประกอบด้วย หินยุคไซลูเรียน - ดีโวเนียน - คาร์บอนิเฟอรัส ส่วนใหญ่ได้แก่ หินเชิร์ต, หินดินดาน, หินทราย และหินทรายชนิดซับซ้อนสลับกับชั้นหินปูน โดยมีหินทรายแดงและหินกรวดมนยุคคาร์บอนิเฟอรัสวางตัวอยู่ข้างบน

1.3 ธรณีวิทยาแนวดอยอินทนนท์ - ดาก มีลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างเป็นแกนรูปประทุนของภูมิภาค ซึ่งทอดยาวตามแนวเทือกเขาจากทางเหนือลงมาจรดแนวรอยเลื่อนแม่น้ำปิงยาวประมาณ 300 กิโลเมตร กว้างมากกว่า 70 กิโลเมตร ประกอบด้วยหินแปรเกรดสูงพวกหินพาราไนส์ หินควอร์ตซิติกชีสต์ หินไบโอไทต์ชีสต์ หินแคลก์ซิลิเกตชีสต์ และหินอ่อน และใกล้กับแนวรอยเลื่อนแม่ปิง พบว่ามีหินอัคนีชนิดหินแกรนิต หินแกรนิตไดออไรต์ และหินเพกมาไทต์ แทรกอยู่หลายๆ บริเวณตลอดแนวเทือกเขา หินแปรเกรดสูงถูกปิดทับด้วยหินทรายยุคแคมเบรียน และหินปูนยุคออร์โดวิเซียนแบบไม่

ต่อเนื่อง ในพื้นที่ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของอำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน และทางตะวันตกของอำเภोजอมทองและอำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่

1.4 ธรณีวิทยาแนวเชียงราย - เชียงใหม่ - เถิน ประกอบด้วยหินยุคไซลูเรียน - ดีโวเนียน - คาร์บอนิเฟอรัส บริเวณด้านตะวันออกของอำเภอเถิน ดอยขุนตาล จังหวัดลำปาง และบริเวณดอยลังกา จังหวัดเชียงราย โดยมีหินแกรนิตแทรกดันตัวเข้ามาในบางพื้นที่ เช่น ดอยขุนตาล ดอยหมอก และดอยลังกา

1.5 ธรณีวิทยาแนวลำปาง - แพร่ - สุโขทัย ชั้นหินที่ปกคลุมบริเวณนี้เป็นหินยุคเพอร์เมียน - ไทรแอสซิก และหินมหายุคมีโซโซอิกที่ตกตะกอนในทะเลตื้นจนถึงทะเลลึก แอ่งลำปางเป็นแหล่งตกตะกอนที่สำคัญโดยมีตะกอนคล้ายคลึงกับลักษณะปรากฏแบบฟลิชและตะกอนภูเขาไฟ แอ่งแพร่มีการสะสมตะกอนคล้ายแอ่งลำปาง แต่จะมีตะกอนภูเขาไฟปะปนน้อยกว่า

1.6 ธรณีวิทยาแนวน่าน - แพร่ - อุตรดิตถ์ บริเวณนี้เริ่มตั้งแต่ทางตอนใต้และตะวันออกเฉียงใต้ของจังหวัดแพร่ ไปจนถึงแนวรอยเลื่อนอุตรดิตถ์ในเขตจังหวัดน่านและอุตรดิตถ์ หินยุคไทรแอสซิก - ครีเทเชียสแผ่ปกคลุมเป็นบริเวณกว้างทั้งด้านทิศตะวันออกและตะวันตก

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

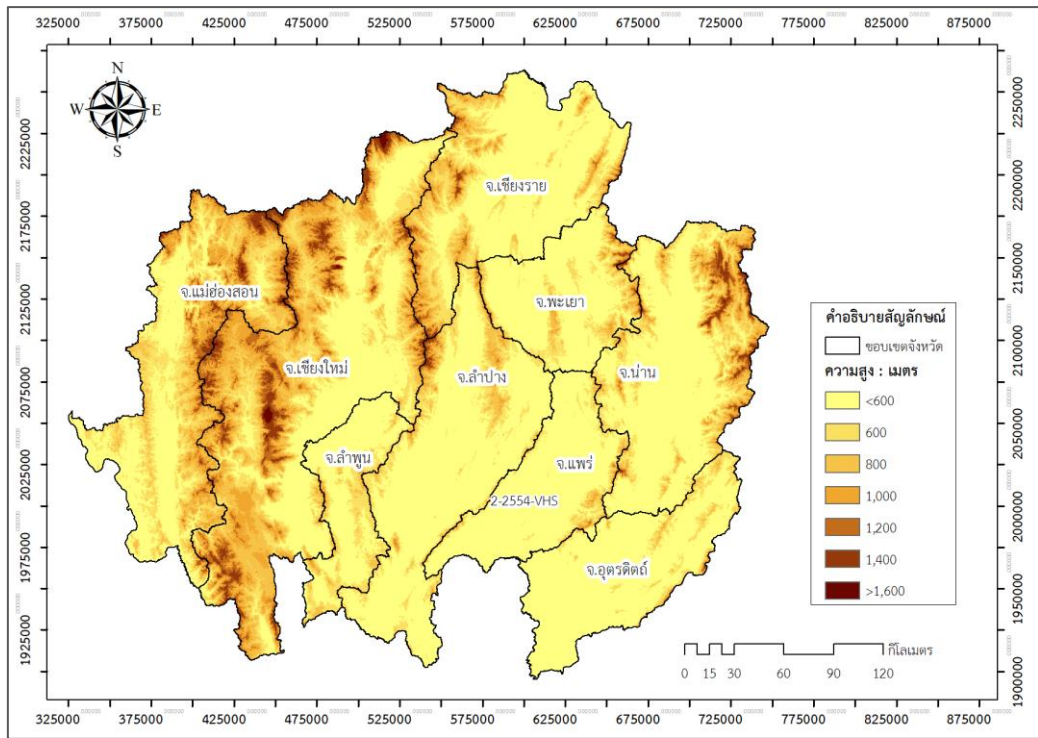
1. คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กแบบพกพา Dell รุ่น Intel(R) Core(TM) i5-6300HQ CPU @2.30GHz Ram 8 GB
2. โปรแกรมทางภูมิสารสนเทศ
3. โปรแกรม Microsoft office

### 3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

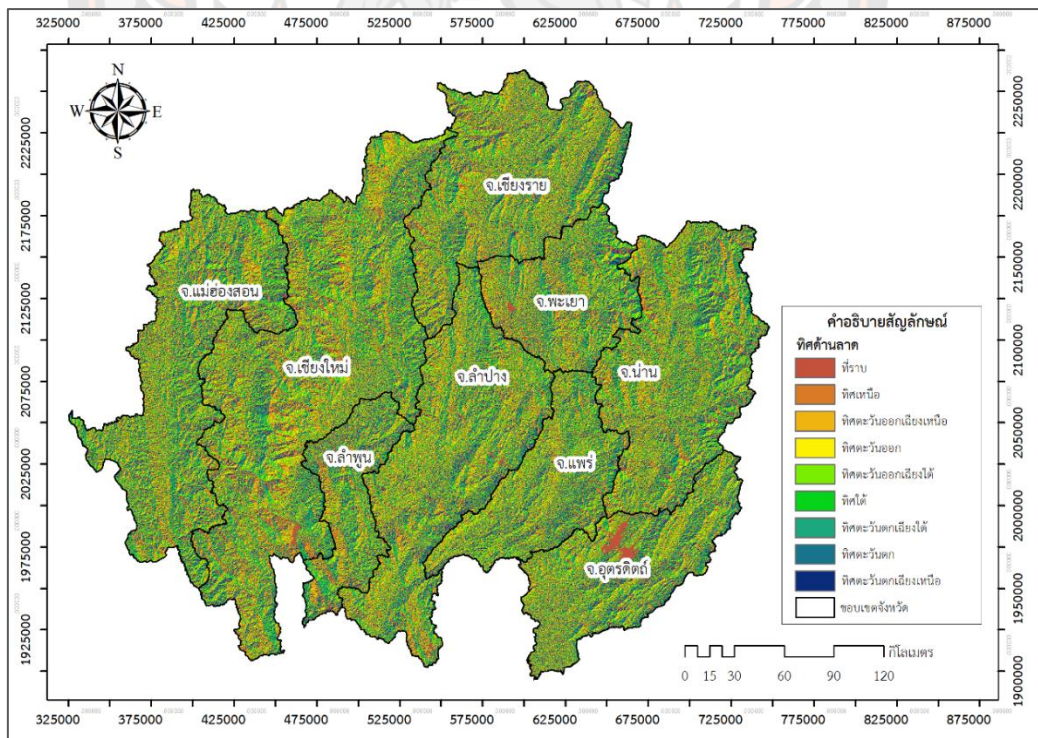
การวิจัยในครั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูลจากข้อมูลต่างๆ และจัดทำข้อมูลด้วยเครื่องมือทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในตาราง 8 และแสดงข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ รายละเอียด และที่มาของข้อมูล โดยใช้ข้อมูลความลาดชันจาก SRTM DEM ที่มีความละเอียด 5 เมตร เพื่อใช้สร้างทิศด้านลาดชันและค่ามุมความลาดชัน การสร้างชั้นข้อมูลระยะห่างจากเส้นทางน้ำ ระยะห่างจากรอยเลื่อนด้วยเครื่องมือ Buffer และจัดกลุ่มชั้นข้อมูลของอนุภาคดิน ชนิดหิน ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้จากดาวเทียม TRMM โดยการรวบรวมข้อมูลเหล่านี้จะใช้ข้อมูลที่อยู่ในช่วงพ.ศ. 2545 - พ.ศ. 2555 และจัดทุกชั้นข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบราสเตอร์มีขนาดเท่ากับ 30 เมตร แสดงรายละเอียดของปัจจัยดังภาพ 15 ถึง ภาพ 24

ตาราง 8 ข้อมูลที่ใช้และแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

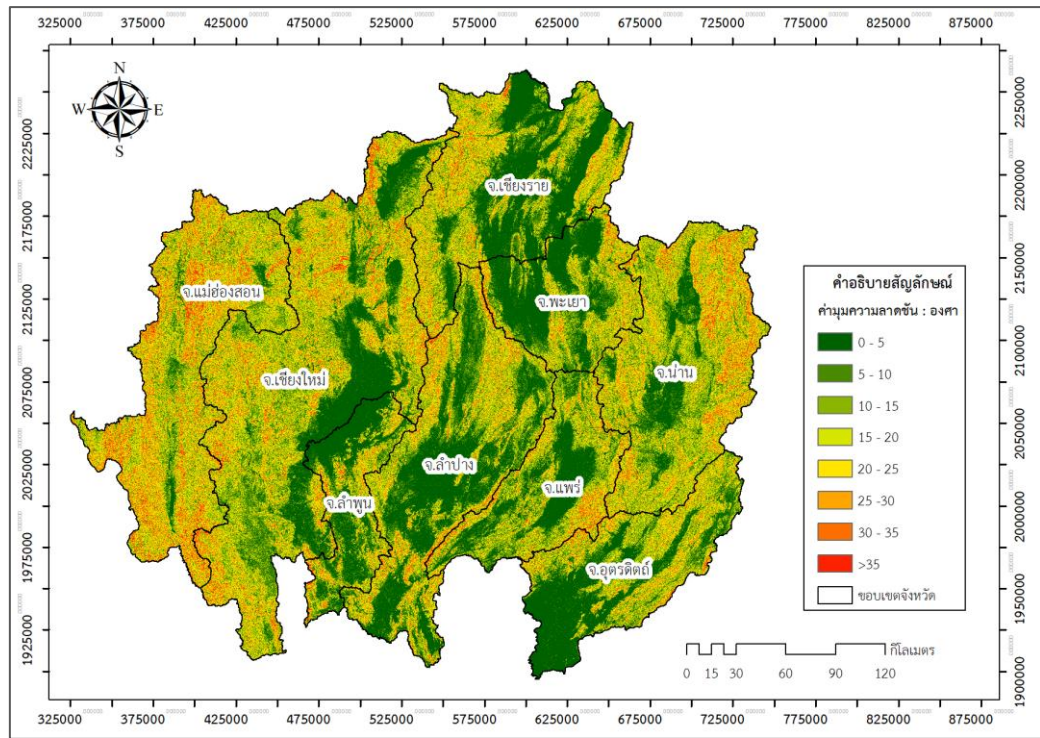
ลำดับ	ข้อมูล	ประเภท	ความละเอียด	แหล่งข้อมูล
1.	ความสูง	ราสเตอร์	5 เมตร	SRTM DEM จาก <a href="http://earthexplorer.usgs.gov/">http://earthexplorer.usgs.gov/</a>
2.	ทิศด้านลาด, ค่ามุมความลาดชัน	ราสเตอร์	30 เมตร	สร้างจากความสูงของพื้นที่
3.	เส้นทางน้ำ	เวกเตอร์	-	<a href="http://www.gissci.org">www.gissci.org</a>
4.	ชนิดของหิน, รอยเลื่อน	ราสเตอร์	-	กรมทรัพยากรธรณี
5.	อนุภาคของดิน, ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน	เวกเตอร์	-	กรมพัฒนาที่ดิน
6.	ดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ	ราสเตอร์	0.05 องศา	<a href="https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php">https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php</a>
7.	ปริมาณน้ำฝน	ราสเตอร์	0.25°x0.25°	ผลิตภัณฑ์น้ำฝนจาก TRMM 3B42 V.7
8.	ตำแหน่งดินถล่ม	เวกเตอร์	-	ศูนย์ปฐพีและฐานราก



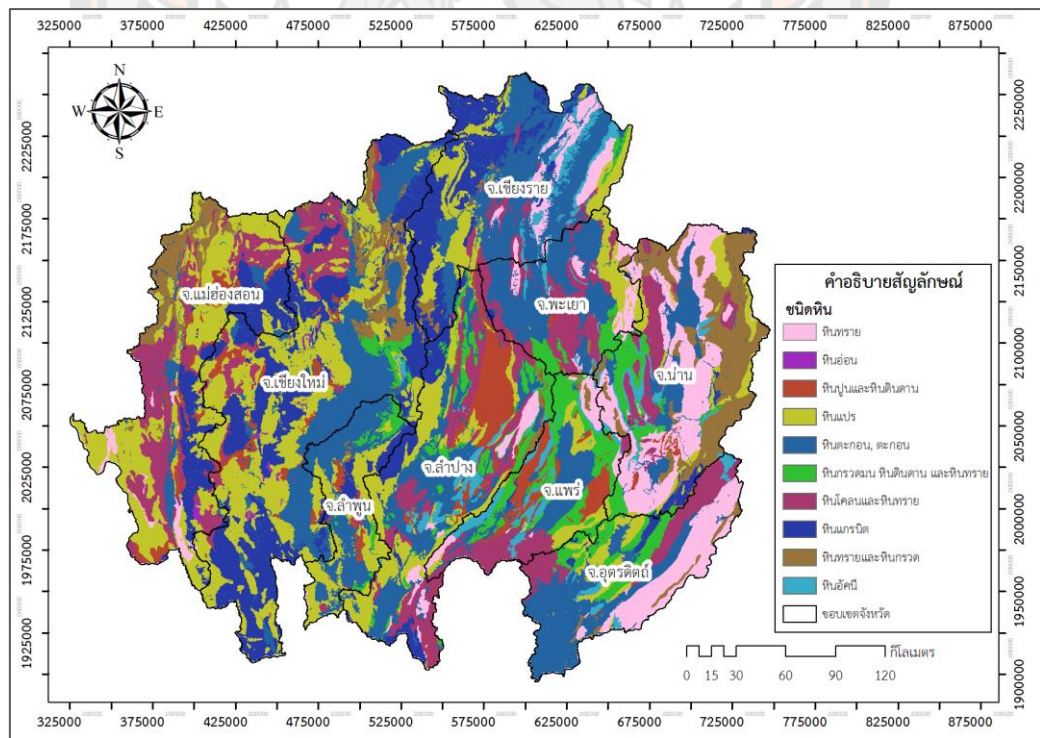
ภาพ 15 ความสูง



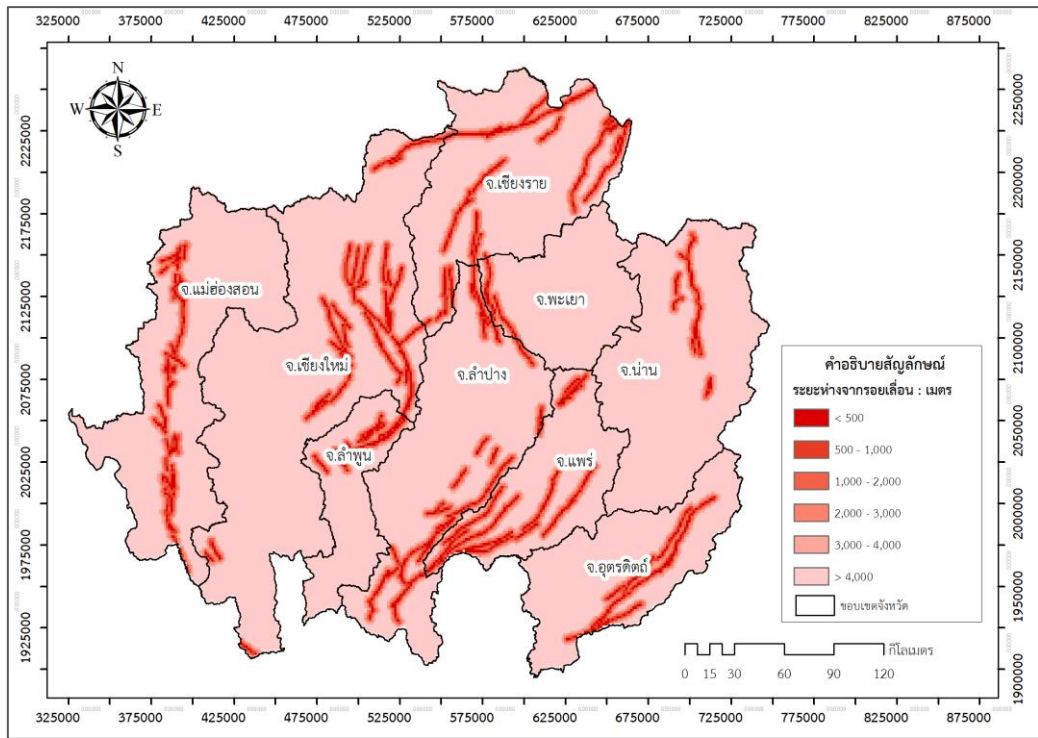
ภาพ 16 ทิศด้านลาด



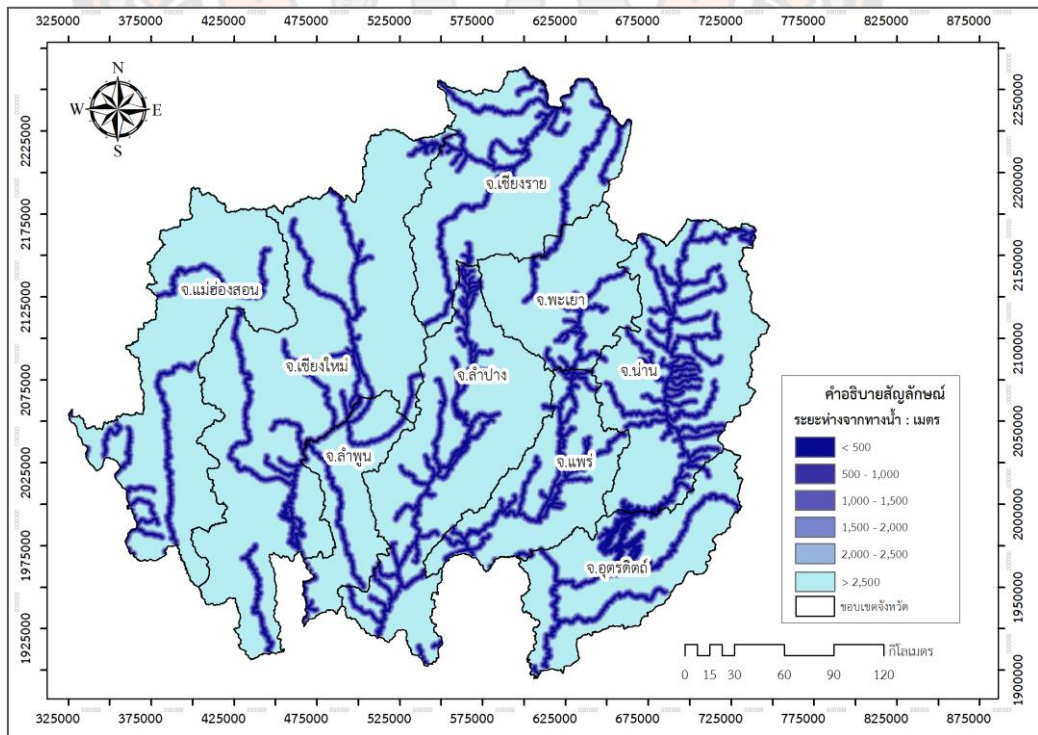
ภาพ 17 ค่ามุมความลาดชัน



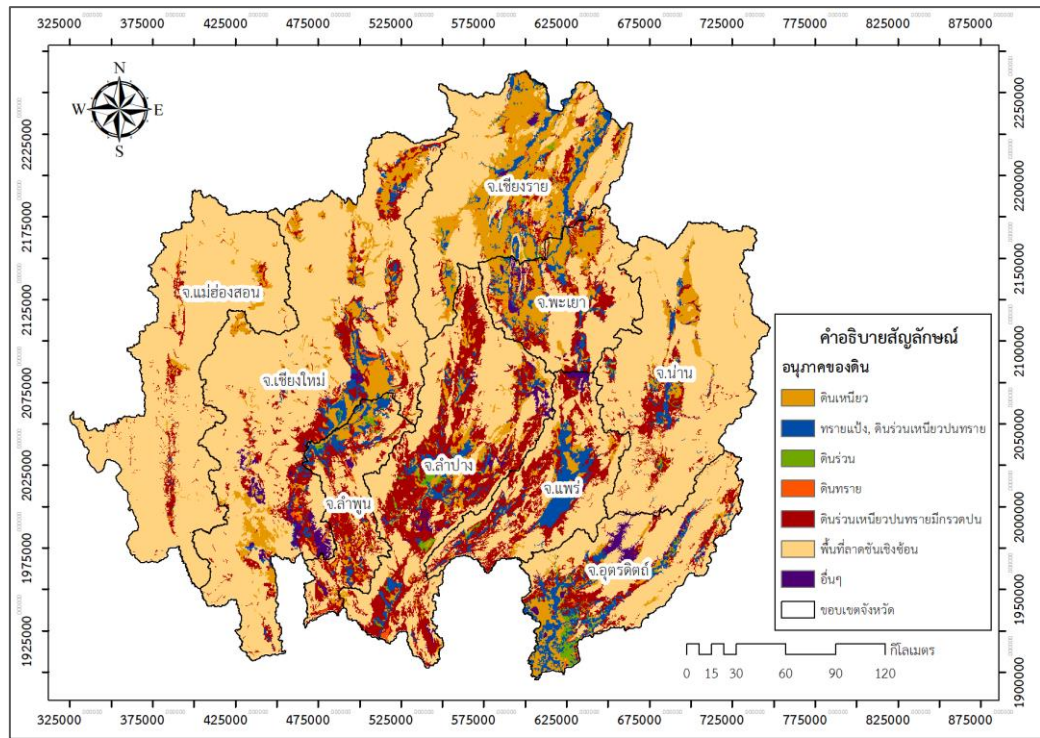
ภาพ 18 ชนิดหิน



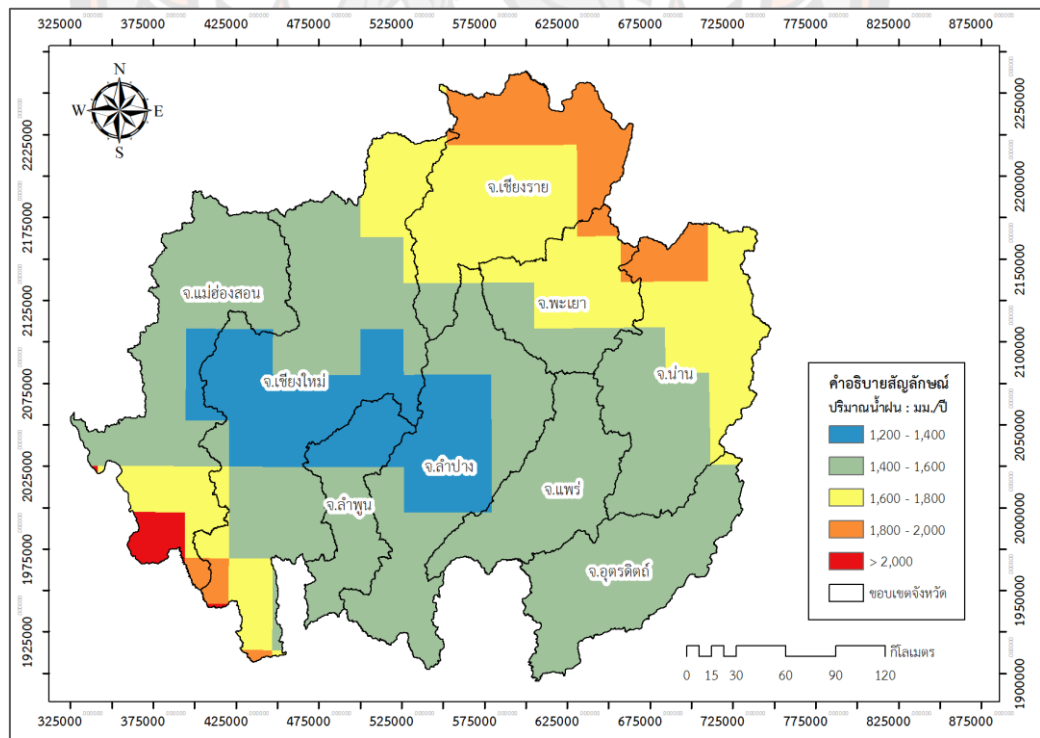
ภาพ 19 ระยะห่างจากรอยเลื่อน



ภาพ 20 ระยะห่างจากทางน้ำ

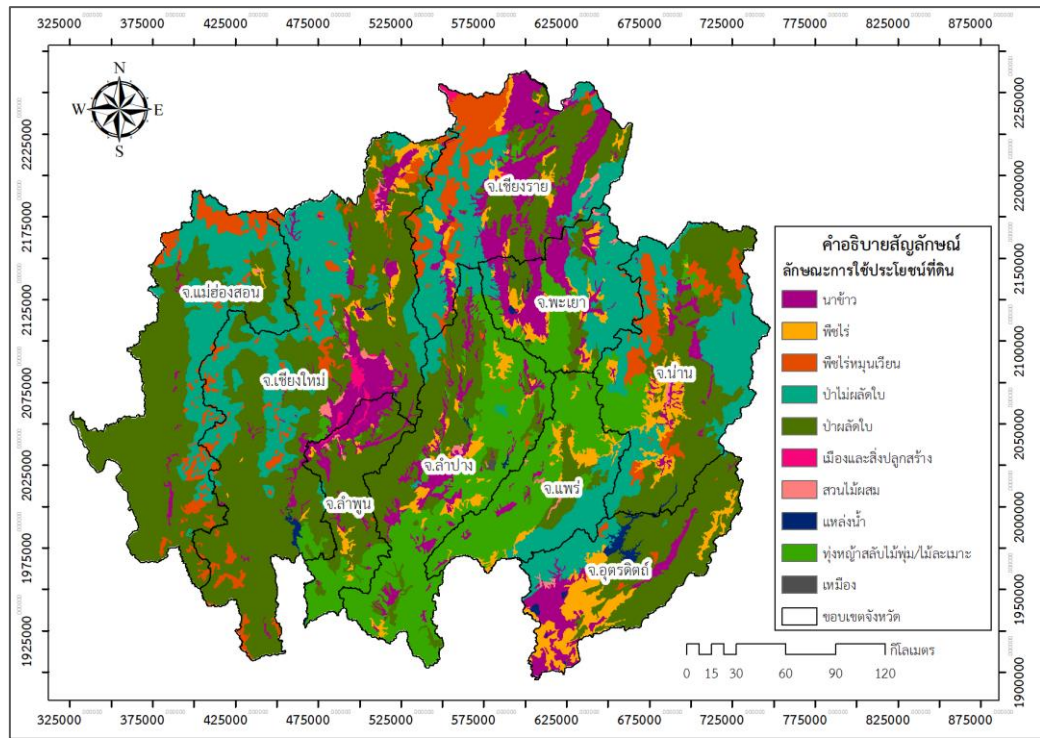


ภาพ 21 อนุภาคของดิน

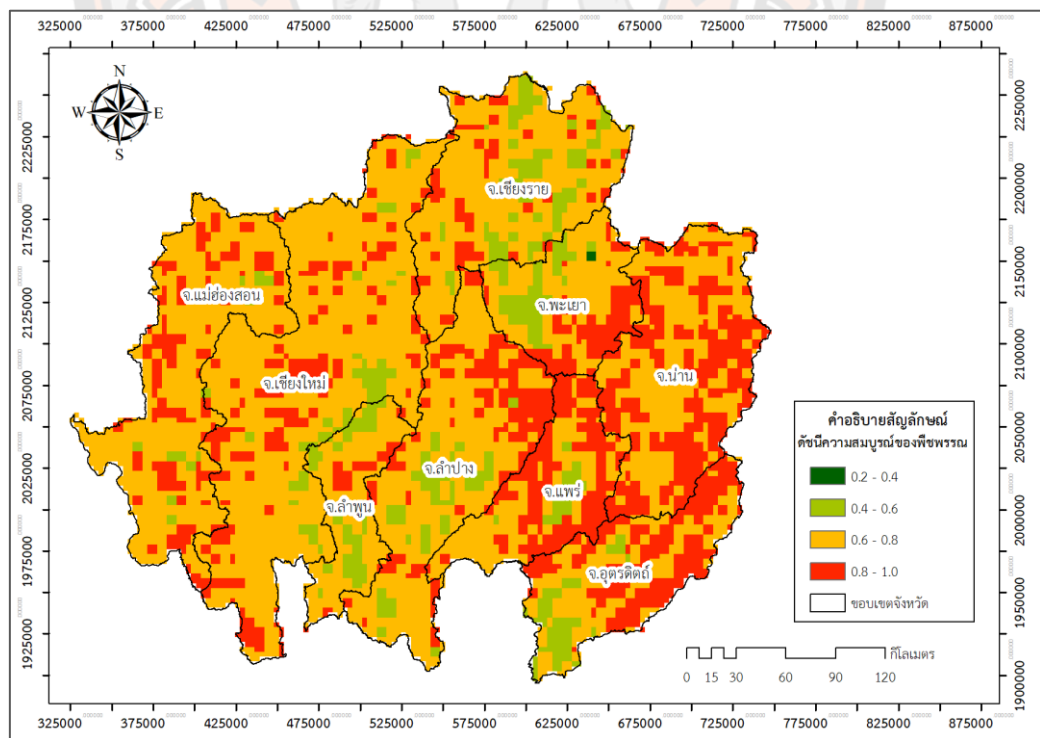


ภาพ 22 ปริมาณฝน





ภาพ 23 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน



ภาพ 24 ดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ

### 3.4 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้มีการนำข้อมูลแผนที่ที่แสดงความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มจากปัจจัยทางด้านกายภาพซึ่งมีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษาตามกรอบแนวคิดการวิจัย โดยเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหว 2 วิธี คือ อัตราส่วนความถี่และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น เพื่อให้ได้แผนที่ความอ่อนไหวที่มีประสิทธิภาพ และใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียนเพื่อจำลองความน่าจะเป็นรูปแบบฝนที่มีผลต่อการเกิดดินถล่มด้วยข้อมูลฝนจากดาวเทียม TRMM กับจุดตำแหน่งเกิดดินถล่ม แสดงดังภาพ 25

3.4.1 การวิเคราะห์แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม มีวิธีการในการวิเคราะห์แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม มีดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่มจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ดังตาราง 8
2. แบ่งข้อมูลดินถล่มจำนวน 64 ตำแหน่ง (ภาพ 34) สำหรับการสร้างแบบจำลองจำนวน 45 ตำแหน่ง (70%) และสำหรับตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองจำนวน 19 ตำแหน่ง (30%)
3. วิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยกระบวนการลำดับชั้น
  - วิเคราะห์ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย โดยการเปรียบเทียบค่าในแต่ละคู่ ดังตาราง 5
  - วิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้องของการเปรียบเทียบคู่ของแต่ละปัจจัย โดยใช้ดัชนีค่าความสอดคล้อง (C.I.) ดังสมการ 1
  - ค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล ดังสมการ 2
4. วิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีอัตราส่วนความถี่
  - แบ่งช่วงชั้นข้อมูลของปัจจัยต่าง ๆ อ้างอิงและปรับปรุงจาก (Intarawichian, 2008) เพื่อให้ทราบจำนวนพิทเซลล์ในแต่ละช่วงของปัจจัย
  - คำนวณเปอร์เซ็นต์ของดินถล่มในแต่ละช่วงของปัจจัยต่าง ๆ
  - คำนวณหาค่าอัตราส่วนความถี่ของปัจจัยต่าง ๆ ดังสมการ 3
  - คำนวณผลรวมของค่าอัตราส่วนความถี่ทั้ง 10 ปัจจัย เพื่อทราบค่าพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม ดังสมการ 4

5. จำแนกคะแนนของข้อมูลโดยใช้วิธี Natural breaks classification โดยวิธีการนี้เป็นการจำแนกข้อมูลตามความถี่ หรือระยะห่างระหว่างชั้นที่มีขนาดไม่เท่ากัน

6. จำแนกระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม 5 ระดับ ได้แก่ ระดับความอ่อนไหวต่ำมาก (VLS) ระดับความอ่อนไหวต่ำ (LS) ระดับความอ่อนไหวปานกลาง (MS) ระดับความอ่อนไหวสูง (HS) ระดับความอ่อนไหวสูงมาก (VHS)

7. ข้อมูลดินถล่มและข้อมูลความอ่อนไหว (Susceptibility) แสดงตำแหน่งจุดภาพ (Pixel) ที่มีการเกิดดินถล่มและไม่มีการเกิดดินถล่ม โดยนำผลรวมของตำแหน่งที่มีการเกิดดินถล่มแสดงในรูปแบบกราฟ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลวิเคราะห์ โดยค่าความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มจะอยู่ในแนวนอน (x) และค่าผลรวมตำแหน่งที่มีดินถล่มอยู่ในแนวตั้ง (y)

8. เลือกผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่มีความน่าเชื่อถือสูงสุดจากผลการตรวจสอบความถูกต้อง

9. เลือกใช้ตำแหน่งดินถล่มในระดับสูง (HS) ระดับสูงมาก (VHS) จากแผนที่การอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองความน่าจะเป็นของรูปแบบพื้นที่ส่งผลให้เกิดดินถล่มในขั้นต่อไป

#### 3.4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

1. กราฟ Success rate curve คือ การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลร่องรอยดินถล่มที่นำมาวิเคราะห์ค่าระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มเพื่อหาความเหมาะสม และข้อมูลตำแหน่งดินถล่มในอดีตที่เคยเกิดขึ้น โดยคำนวณในโปรแกรม Microsoft Excel สร้างกราฟสะสมความถี่ (Cumulative curve)

2. คำนวณพื้นที่ใต้กราฟ เพื่อหาค่าความถูกต้องแม่นยำของแผนที่ที่ได้จากทั้งสองวิธี หากเส้นกราฟอยู่บนเส้นทแยงมุมของค่า 0 ถึง 1 (หรือ 0 ถึง 100) โดยค่า AUC เข้าใกล้ 1 หมายความว่าแผนที่ที่ได้มีค่าความถูกต้องสูง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการทำนายพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม แต่หากค่า AUC เข้าใกล้ 0.5 หมายความว่าแผนที่ยังมีค่าความถูกต้องต่ำ ดังตาราง 9

ตาราง 9 ช่วงค่าความถูกต้องพื้นที่ได้กราฟ (Hasanatic et al., 2010)

พื้นที่ได้กราฟ (AUC)	คุณภาพ
0.90 - 1.00	ดีมาก
0.80 - 0.90	ดี
0.70 - 0.80	ปานกลาง
0.60 - 0.70	ต่ำ
0.50 - 0.60	ต่ำมาก

#### 3.4.3 การวิเคราะห์แบบจำลองความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียน

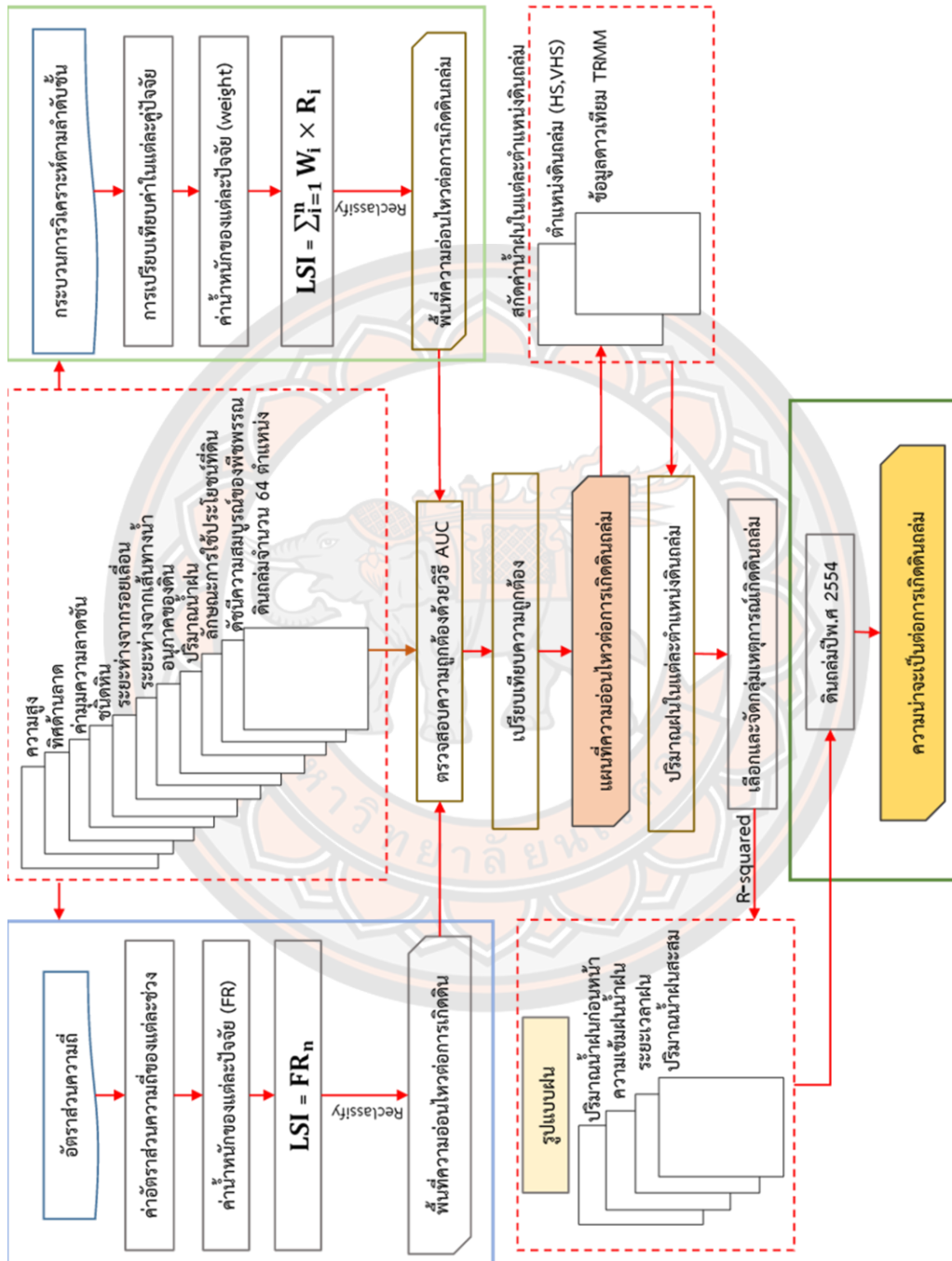
1. สำหรับข้อมูลน้ำฝนใช้เครื่องมือ Python ในการดาวน์โหลดข้อมูลผลิตภัณฑ์น้ำฝนรายวันจาก TRMM 3B42 V.7 ที่มีความละเอียด  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$

2. เลือกใช้ตำแหน่งการเกิดดินถล่มที่มีในพื้นที่อ่อนไหวระดับสูงและระดับสูงมาก โดยใช้ข้อมูลดินถล่มที่ระบุวันที่เกิดเหตุการณ์ของแต่ละตำแหน่ง เพื่อใช้สกัดค่าน้ำฝนในช่วงก่อนเหตุการณ์ดินถล่ม

4. คัดเลือกและจำแนกกลุ่มข้อมูลเป็น 3 กลุ่ม คือดินถล่มที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ดินถล่มที่มนุษย์เป็นปัจจัยเร่ง ซึ่งได้จากการบันทึกประเภทของสาเหตุการเกิดจากข้อมูลดินถล่มในอดีตที่ถูกบันทึกไว้ และดินถล่มในปีพ.ศ. 2554 ซึ่งได้จากการเลือกข้อมูลจากทั้งสองกลุ่มข้างต้นที่เกิดขึ้นเฉพาะปีพ.ศ. 2554

5. ทำการหาค่าความสัมพันธ์ (R-squared) ของทั้ง 3 กลุ่ม เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนกับระยะเวลาฝนตก, ปริมาณฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตก และปริมาณฝนก่อนหน้า 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75, 90 วัน ของแต่ละชุดข้อมูล

6. วิเคราะห์ความน่าจะเป็นจากสมการ 5 โดยใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียน เพื่อทราบถึงรูปแบบฝนที่ก่อให้เกิดดินถล่ม โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก และปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาที่ฝนตก เพื่อนำไปแสดงผลการวิเคราะห์



ภาพ 25 กรอบการดำเนินงานวิจัย

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

การศึกษาความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และวิธีความน่าจะเป็นด้วยข้อมูล The Tropical Rainfall Measuring Mission บริเวณภาคเหนือของประเทศไทย เพื่อศึกษาหาพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มและเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนที่ส่งผลให้เกิดดินถล่ม มีรายละเอียดผลการศึกษาแบ่งเป็น 4 ส่วนดังนี้

- 4.1 ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ภาคเหนือ
- 4.2 ผลการคัดเลือกข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา
- 4.3 ผลการวิเคราะห์รูปแบบฝนที่มีผลต่อพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม
- 4.4 ผลการศึกษาของรูปแบบฝนโดยการใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นเบย์เซียน

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม

การศึกษานี้วิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม 2 วิธีการ คือ อัตราส่วนความถี่และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น โดยแสดงผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์พื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีการอัตราส่วนความถี่พบว่า ความสัมพันธ์ของตำแหน่งดินถล่มกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดินถล่ม โดย ระยะห่างจากรอยเลื่อน (FR เท่ากับ 4.14) มีผลต่อการเกิดดินถล่มสูงสุด รองลงมาคือ ดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ (FR เท่ากับ 3.75), ชนิดหิน (FR เท่ากับ 3.40), ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและปริมาณน้ำฝน มีอัตราส่วนความถี่ที่เท่ากัน (FR เท่ากับ 3.21), ความสูง (FR เท่ากับ 2.81), อนุภาคของดิน (FR เท่ากับ 2.68), ระยะห่างจากทางน้ำ (FR เท่ากับ 2.67), ค่ามุมความลาดชัน (FR เท่ากับ 2.51) ตามลำดับ และปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดดินถล่มน้อยที่สุด คือ ทิศด้านลาด (FR เท่ากับ 1.00) เมื่อคำนวณวิธีการอัตราส่วนความถี่พบค่าความสัมพันธ์ระหว่างดินถล่มและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับดินถล่มได้ ดังตาราง 10

ตาราง 10 การคำนวณอัตราส่วนความถี่

ปัจจัย	ช่วง	พิกเซลพื้นที่ศึกษา		พิกเซลพื้นที่ดินถล่ม		ค่าอัตราส่วนความถี่ของแต่ละช่วง
		จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	
ความสูง	<600	61,509,291	57.62	25,200	62.22	1.08
	600-800	17,825,813	16.70	4,500	11.11	0.67
	800-1,000	12,904,154	12.09	63,00	15.56	1.29
	1,000-1,200	8,325,999	7.80	2,700	6.67	0.85
	1,200-1,400	4,098,454	3.84	0	0.00	0.00
	1,400-1,600	1,956,014	1.83	1,800	4.44	2.43
ทิศด้านลาด	ที่ราบ	11,117,269	10.41	4,500	11.11	1.07
	ทิศเหนือ	11,288,279	10.57	2,700	6.67	0.63
	ทิศตะวันออก	12,194,390	11.42	3,600	8.89	0.78
	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	12,014,599	11.26	6,300	15.56	1.38
	ทิศตะวันออก	12,591,105	11.80	6,300	15.56	1.32
	ทิศตะวันออกเฉียงใต้	12,561,529	11.77	5,400	13.33	1.13
	ทิศตะวันตกเฉียงใต้	12,172,591	11.40	4,500	11.11	0.97
	ทิศตะวันตก	11,589,805	10.86	6,300	15.56	1.43
	ค่ามุมความลาดชัน	0-5	27,614,454	25.87	1,800	4.44
5-10	15,977,064	25.87	2,700	6.67	0.26	
10-15	16,517,373	15.47	9,000	22.22	1.44	
15-20	17,027,761	15.95	13,500	33.33	2.09	
20-25	14,272,257	13.37	6,300	15.56	1.16	
25-30	8,998,060	8.43	4,500	11.11	1.32	
30-35	4,229,287	3.96	0	0.00	0.00	
>35	2,110,845	1.98	2,700	6.67	3.37	

ตาราง 10 การคำนวณอัตราส่วนความถี่(ต่อ)

ปัจจัย	ช่วง	พิภพพื้นที่ศึกษา		พิภพพื้นที่ดินถล่ม		ค่าอัตราส่วนความถี่ของแต่ละช่วง
		จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	
ชนิดหิน	หินทราย	9,163,772	8.64	900	2.27	0.26
	หินอ่อน	182,622	0.17	0	0.00	0.00
	หินปูนและหินดินดาน	4,647,423	4.38	2,700	6.82	1.56
	หินแปร	22,561,620	21.27	8,100	20.45	0.96
	หินตะกอน, ตะกอน	24,739,087	23.32	1,800	4.55	0.19
	หินกรวดมน หินดินดาน และหินทราย	6,429,148	6.06	1,800	4.55	0.75
	หินโคลนและหินทราย	13,775,112	12.98	7,200	18.18	1.40
	หินแกรนิต	14,275,539	13.46	9,000	22.73	1.69
	หินทรายและหินกรวด	7,292,587	6.87	3,600	9.09	1.32
	หินอัคนี	3,027,661	2.85	4,500	11.36	3.98
ระยะห่างจาก รอยเลื่อน	<500	8,216,099	7.70	5,400	13.64	1.77
	5,00-1,000	6,379,828	5.98	2,700	6.82	1.14
	1,000-1,500	5,736,133	5.37	900	2.27	0.42
	1,500-2,000	5,300,293	4.97	900	2.27	0.46
	2,000-2,500	4,967,420	4.65	0	0.00	0.00
	>2,500	76,147,221	71.33	29,700	75.00	1.05
ระยะห่างจาก ทางน้ำ	<500	8,216,099	7.70	5,400	13.64	1.77
	500-1,000	6,379,828	5.98	2,700	6.82	1.14
	1,000-1,500	5,736,133	5.37	900	2.27	0.42
	1,500-2,000	5,300,293	4.97	900	2.27	0.46
	2,000-2,500	4,967,420	4.65	0	0.00	0.00
	>2,500	76,147,221	71.33	29,700	75.00	1.05



ตาราง 10 การคำนวณอัตราส่วนความถี่ (ต่อ)

ปัจจัย	ช่วง	พิภพพื้นที่ศึกษา		พิภพพื้นที่ดินถล่ม		ค่าอัตราส่วนความถี่ของแต่ละช่วง
		จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	
อนุภาคดิน	ดินเหนียว	12,723,983	11.98	2,700	6.82	0.57
	ทรายแป้ง, ดินร่วนเหนียวปนทราย	5,883,327	5.54	900	2.27	0.41
	ดินร่วน	681,401	0.64	0	0.00	0.00
	ดินทราย	401,574	0.38	0	0.00	0.00
	ดินร่วนเหนียวปนทรายมี กรวดปน	15,388,835	14.49	1800	4.55	0.31
	พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน	69,470,842	65.43	33300	84.09	1.29
	อื่นๆ	1,617,812	1.52	900	2.27	1.49
	ปริมาณน้ำฝน	1,200 - 1,400	14,592,255	13.67	4,500	11.11
1,400 - 1,600		59,469,619	55.71	20,700	51.11	0.92
1,600 - 1,800		24,209,478	22.68	9,900	24.44	1.08
1,800 - 2,000		7,452,752	6.98	3,600	8.89	1.27
> 2,000		1,023,050	0.96	1,800	4.44	4.64
ลักษณะ การใช้	นาข้าว	10,970,294	10.34	1,800	4.55	0.44
	พืชไร่	5,748,937	5.42	1,800	4.55	0.84
ประโยชน์ ที่ดิน	พืชไร่หมุนเวียน	6,479,363	6.11	1,800	4.55	0.74
	ป่าไม่ผลัดใบ	23,296,447	21.97	10,800	27.27	1.24
	ป่าผลัดใบ	43,082,156	40.62	14,400	36.36	0.90
	เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	326,469	0.31	0	0.00	0.00
	สวนไม้ผสม	507,635	0.48	0	0.00	0.00
	แหล่งน้ำ	550,114	0.52	900	2.27	4.38
	ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม/ ไม้ละเมาะ	15,066,909	14.21	8,100	20.45	1.44

ตาราง 10 การคำนวณอัตราส่วนความถี่ (ต่อ)

ปัจจัย	ช่วง	พิภพพื้นที่ศึกษา		พิภพพื้นที่ดินถล่ม		ค่าอัตราส่วนความถี่ของแต่ละช่วง
		จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	
ดัชนี	0.2-0.4	38,612	0.04	0	0.00	0.00
ความสมบูรณ์	0.4-0.6	9,501,031	8.89	900	2.27	0.26
ของพืชพรรณ	0.6-0.8	69,406,340	64.91	25,200	63.64	0.98
	0.8-1.0	27,982,303	26.17	13,500	34.09	1.30

**ความสูง** เมื่อทำการเปรียบเทียบตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอดีตกับความสูงของพื้นที่จำแนกทั้งหมด 7 ช่วง พบว่ามีการกระจายตัวของตำแหน่งดินถล่มอย่างหนาแน่นที่บริเวณความสูงน้อยกว่า 600 เมตร และไม่มีการเกิดดินถล่มในพื้นที่ที่มีความสูงระดับ 1,200 ถึง 1,400 เมตร และช่วงความสูงที่มากกว่า 1,600 เมตร แต่เมื่อทำการคำนวณค่าอัตราส่วนความถี่ (ดังภาพ 26 (ก)) พบว่า บริเวณพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวสูงคือ พื้นที่ที่มีความสูงระหว่าง 1,400 ถึง 1,600 เมตร (FR เท่ากับ 2.43) รองลงมาคือ บริเวณพื้นที่ที่มีความสูงเท่ากับ 800 ถึง 1,000 เมตร (FR เท่ากับ 1.29) และในทางกลับกันพบค่า (FR เท่ากับ 1.08) ช่วงความสูงน้อยกว่า 600 เมตร

**ทิศด้านลาด** จำแนกเป็น 9 ทิศทาง พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอดีตในทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ และทิศตะวันตก มีพื้นที่การเกิดดินถล่มที่ใกล้เคียงกัน รองลงมาคือทิศใต้และที่ราบตามลำดับ เมื่อทำการคำนวณค่าอัตราส่วนความถี่ออกมา (ดังภาพ 26 (ข)) พบว่ามีค่าอัตราส่วนความถี่สูงสุดในทิศตะวันตก (FR เท่ากับ 1.43) ทิศตะวันออก (FR เท่ากับ 1.38) ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (FR เท่ากับ 1.32) ทิศใต้ (FR เท่ากับ 1.13) และที่ราบ (FR เท่ากับ 1.07) ตามลำดับ

**ค่ามุลความลาดชัน** จำแนกเป็น 8 ช่วง เมื่อทำการเปรียบเทียบตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอดีตช่วง 30-35 องศา ไม่ปรากฏการเกิดดินถล่ม ในขณะที่มีการเกิดดินถล่มสูงสุดในค่ามุลความลาดชันช่วง 15-20 องศา รองลงมาในช่วง 10-15 องศา และในช่วง 20-25 องศา ตามลำดับ เมื่อคำนวณค่าอัตราส่วนความถี่ (ดังภาพ 26 (ค)) พบว่า ค่ามุลความลาดชันช่วงที่มากกว่า 35 องศา (FR เท่ากับ 3.37) มีค่าอัตราส่วนความถี่มากที่สุด รองลงมาในช่วงค่ามุลความลาดชัน 15-20 องศา (FR เท่ากับ 2.09) และพบในช่วง 10-15 องศา (FR เท่ากับ 1.44)

**ชนิดของหิน** กลุ่มชนิดของหินในพื้นที่ศึกษานี้จำแนกเป็น 10 กลุ่ม (ดังภาพ 26 (ง)) พบว่า ค่าอัตราส่วนความถี่ในการเปรียบเทียบตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอดีต เกิดขึ้นสูงมากในหินอัคนี (FR เท่ากับ 3.98) รองลงมาคือ หินแกรนิต (FR เท่ากับ 1.69) หินปูนและหินดินดาน (FR เท่ากับ 1.56) หินโคลนและหินทราย (FR เท่ากับ 1.40) และชนิดของหินที่ไม่เกิดดินถล่ม คือ หินอ่อน แสดงการเกิดดินถล่มในอดีตกระจายตัวในช่วงหินแกรนิต หินแปร ถัดมาคือหินโคลนและหินทราย

**ระยะห่างจากรอยเลื่อน** จำแนกเป็น 6 ช่วง พบว่า มีการเกิดดินถล่มสูงที่สุดในบริเวณระยะห่างจากรอยเลื่อนมากกว่า 4,000 เมตร และไม่พบการเกิดดินถล่มในช่วงระยะห่างน้อยกว่า 500 เมตร และ 1,000-2,000 เมตร แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนความถี่กับตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอดีต (ดังภาพ 26 (จ)) พบว่าช่วงระยะห่างจากรอยเลื่อนเท่ากับ 500-1,000 เมตร (FR เท่ากับ 3.16) มีค่าอัตราส่วนความถี่สูงสุด และรองลงมาคือในช่วงระยะห่างที่มากกว่า 4,000 เมตร (FR เท่ากับ 1.04) และช่วงระยะห่างเท่ากับ 3,000-4,000 (FR เท่ากับ 0.93)

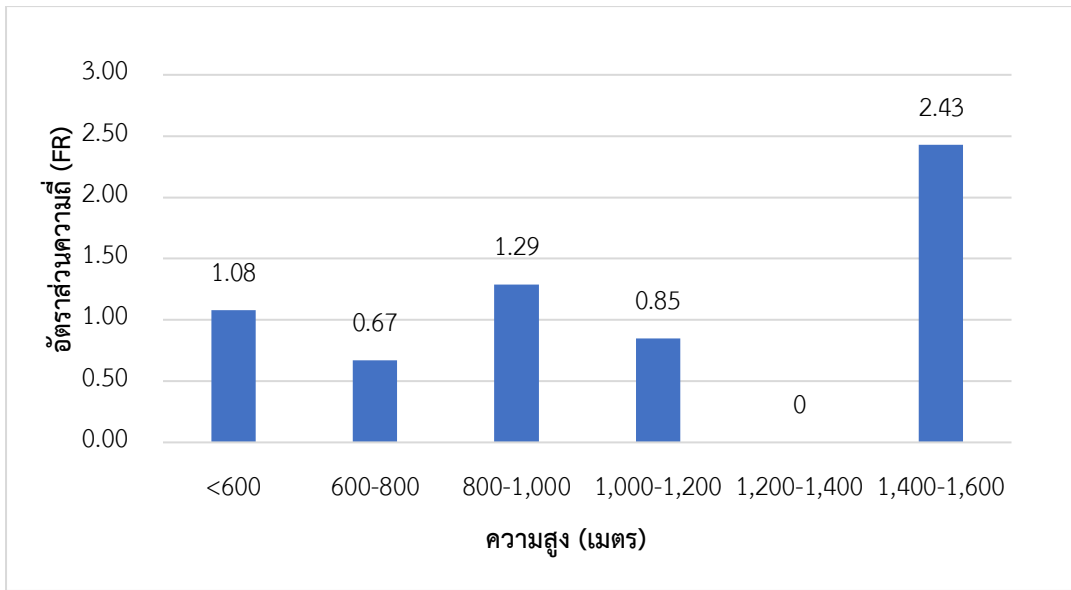
**ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ** จำแนกเป็น 6 ช่วง พบว่า การเกิดดินถล่มสูงสุดมีระยะห่างจากเส้นทางน้ำมากกว่า 2,500 เมตร รองลงมา คือ ในระยะห่างที่น้อยกว่า 500 เมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนความถี่กับตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอดีต (ดังภาพ 26 (ข)) พบว่าอัตราส่วนความถี่สูงสุดที่ระยะห่างที่น้อยกว่า 500 เมตร (FR เท่ากับ 1.77) รองลงมา คือ 500-1,000 เมตร (FR เท่ากับ 1.14) มากกว่า 2,500 เมตร ตามลำดับ และไม่พบการเกิดดินถล่มในอดีตในช่วง 2,000-2,500 เมตร

**อนุภาคของดิน** ในพื้นที่ศึกษาจำแนกตามกลุ่มชุดดินทั้งหมด 7 กลุ่ม พบว่า พื้นที่ลาดเชิงชัน มีพื้นที่การเกิดดินถล่มสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 84.09 แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนความถี่กับตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอดีต (ดังภาพ 26 (ซ)) พบว่าพื้นที่อื่น ๆ มีค่าอัตราส่วนความถี่สูงสุด (FR เท่ากับ 1.19) และรองลงมา คือ พื้นที่ลาดเชิงชัน (FR เท่ากับ 1.29) และไม่พบตำแหน่งดินถล่มในช่วง ดินร่วน และดินทราย

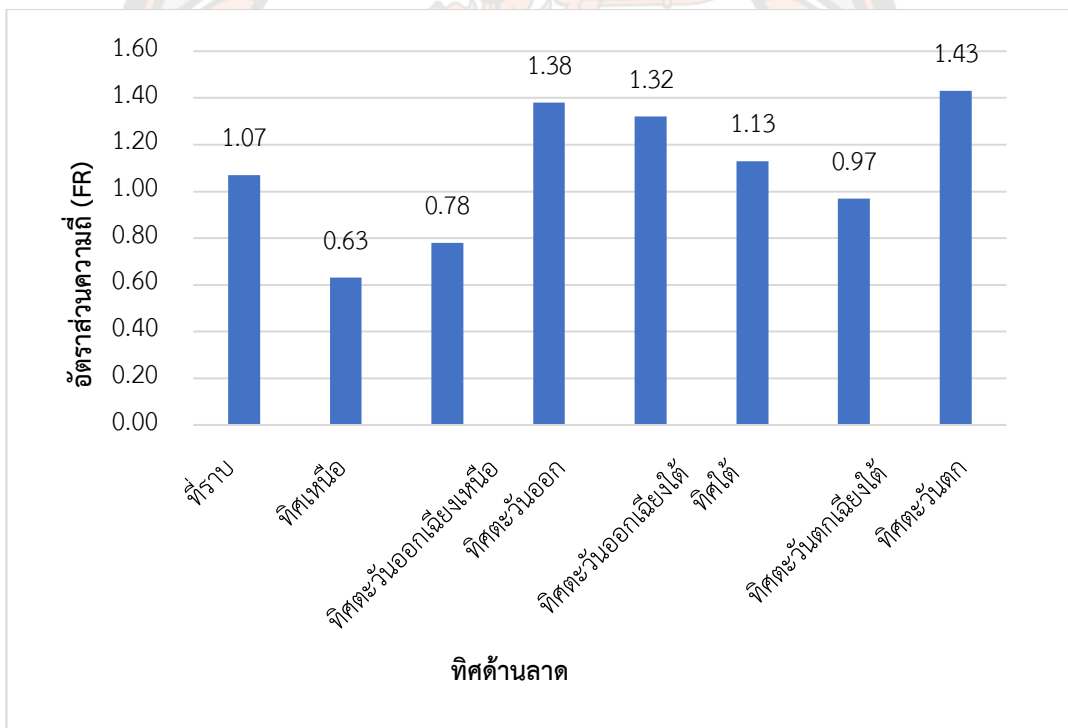
**ปริมาณน้ำฝน** เมื่อจำแนกปริมาณน้ำฝนทั้งหมด 5 ช่วง พบว่า มีการเกิดดินถล่มสูงสุดในช่วง 1,400-1,600 มิลลิเมตร รองลงมา คือ ช่วง 1,600-1,800 มิลลิเมตร โดยค่าอัตราส่วนความถี่ของปริมาณน้ำฝนลดลง ตามลำดับ พบอัตราส่วนความถี่สูงสุดในช่วงที่มากกว่า 2,000 เมตร (FR เท่ากับ 4.64) และรองลงมาคือ ช่วง 1,800-1,600 มิลลิเมตร (FR เท่ากับ 1.27) ช่วง 1,600-1,800 มิลลิเมตร (FR เท่ากับ 1.08), ช่วง 1,400-1,200 เมตร (FR เท่ากับ 0.92) และช่วง 1,200-1,400 เมตร (FR เท่ากับ 0.81) ตามลำดับ (ดังภาพ 26 (ฉ))

**ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน** จำแนกลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน 10 ประเภท เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนความถี่กับตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอดีต (ดังภาพ 26 (ญ)) พบว่า มีอัตราส่วนความถี่สูงสุดในพื้นที่แหล่งน้ำ (FR เท่ากับ 4.38) รองลงมา คือ พื้นที่ทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม/ไม้ละเมาะ (FR เท่ากับ 1.44) ป่าไม้ไม่ผลัดใบ (FR เท่ากับ 1.24) ตามลำดับ ในขณะที่พื้นที่เมืองและสิ่งปลูกสร้างสวนไม้ผสม และเหมือง ไม่ปรากฏพื้นที่ที่เกิดดินถล่ม

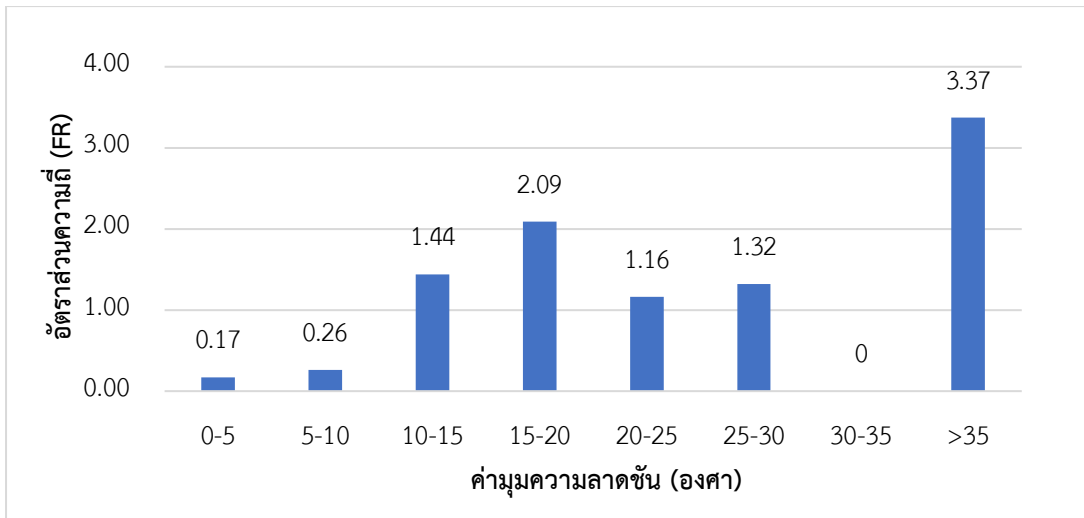
**ดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ** จำแนกเป็น 4 ช่วง (ดังภาพ 26 (ฎ)) พบค่าอัตราส่วนความถี่สูงสุดในช่วงค่า 0.8-1.0 (FR เท่ากับ 1.30) รองลงมาในช่วง 0.6-0.8 (FR เท่ากับ 0.98) กล่าวคือ การเกิดดินถล่มส่วนใหญ่พบในช่วงที่มีค่าความหนาแน่นพืชมีค่าใบสีเขียว ในขณะที่ช่วง 0.2-0.4 ไม่ปรากฏการเกิดดินถล่ม



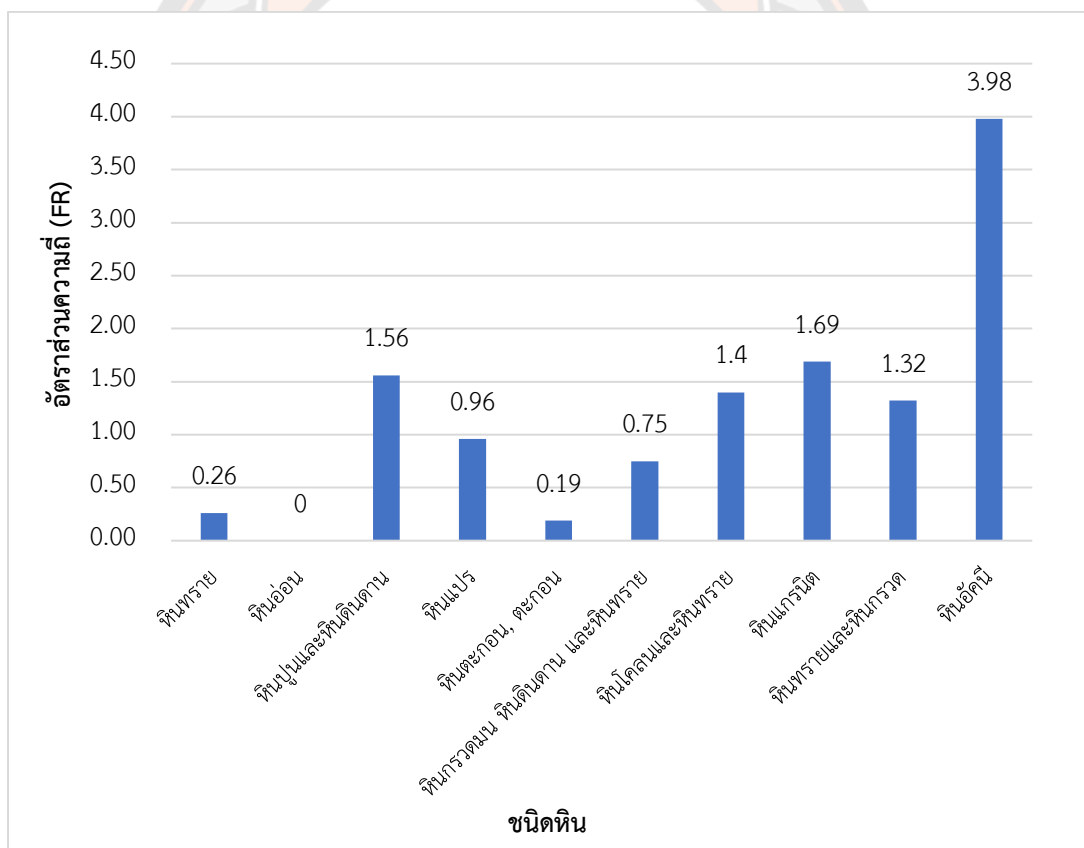
(ก)



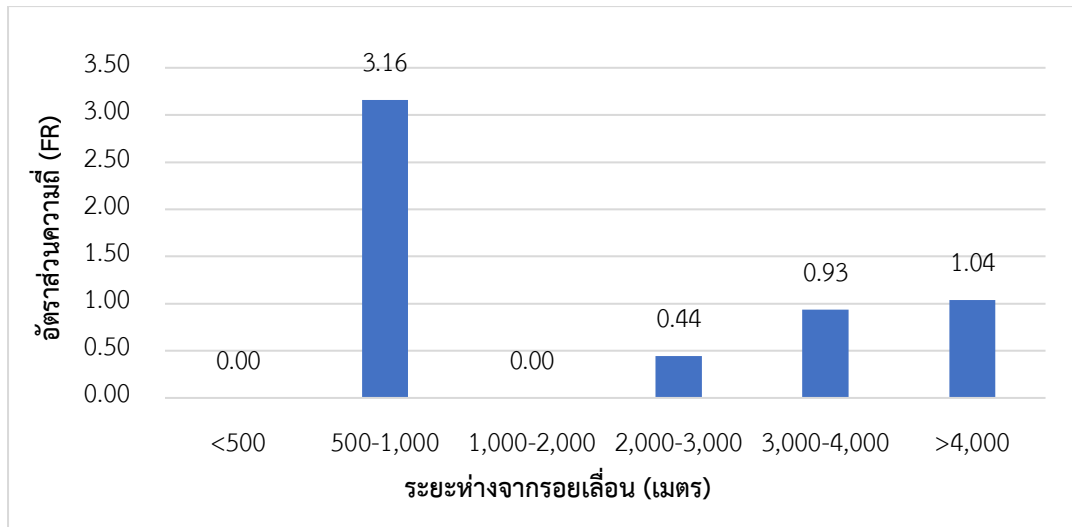
(ข)



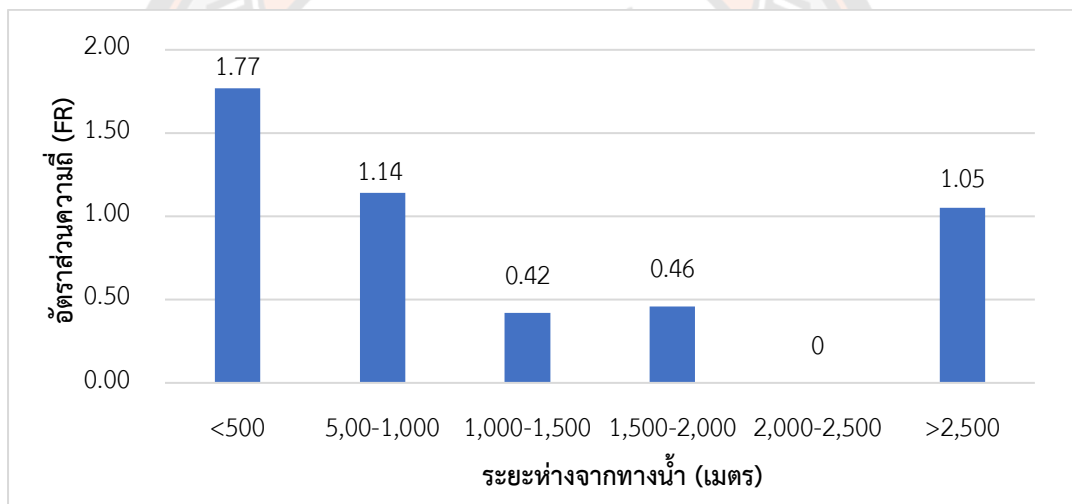
(ค)



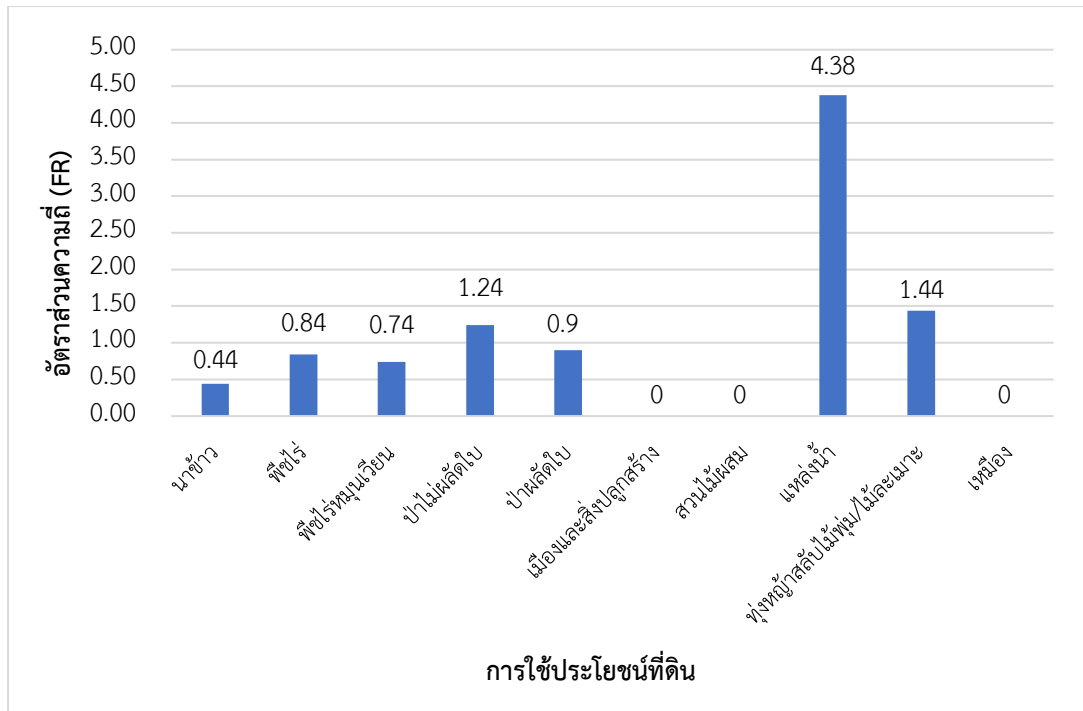
(ง)



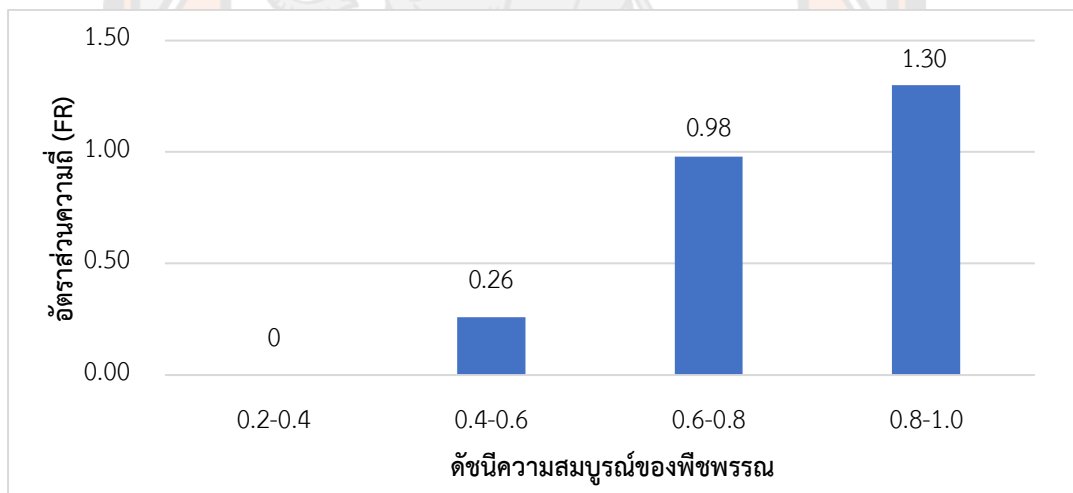
(จ)



(ข)



(ญ)



(ฎ)

ภาพ 26 ค่าอัตราส่วนความถี่ของแต่ละปัจจัย

(ก) ความสูง (ข) ทิศด้านลาด (ค) ค่ามุมความลาดชัน (ง) ชนิดของหิน (จ) ระยะห่างจากรอยเลื่อน

(ช) ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ (ซ) อนุภาคของดิน (ฌ) ปริมาณน้ำฝน

(ญ) ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ฎ) ดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ

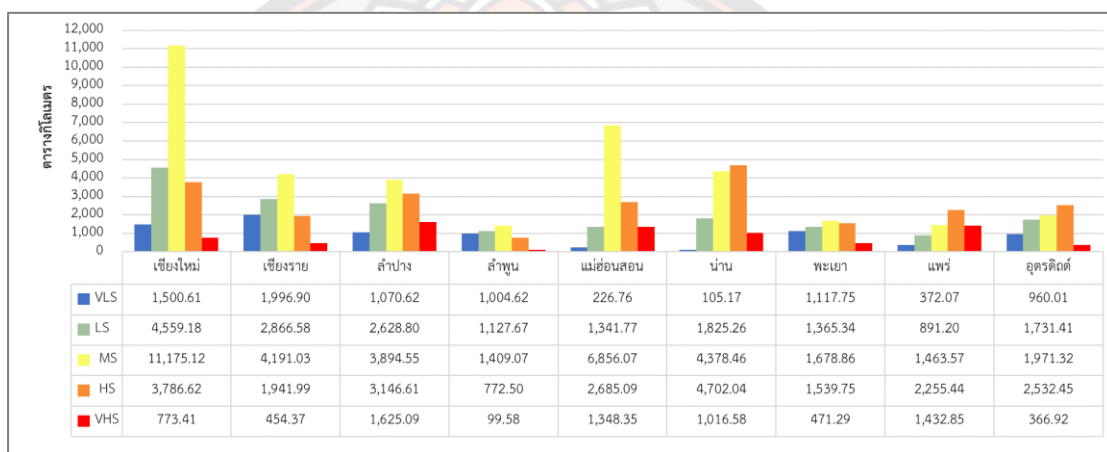


ตาราง 11 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการอัตราส่วนความถี่

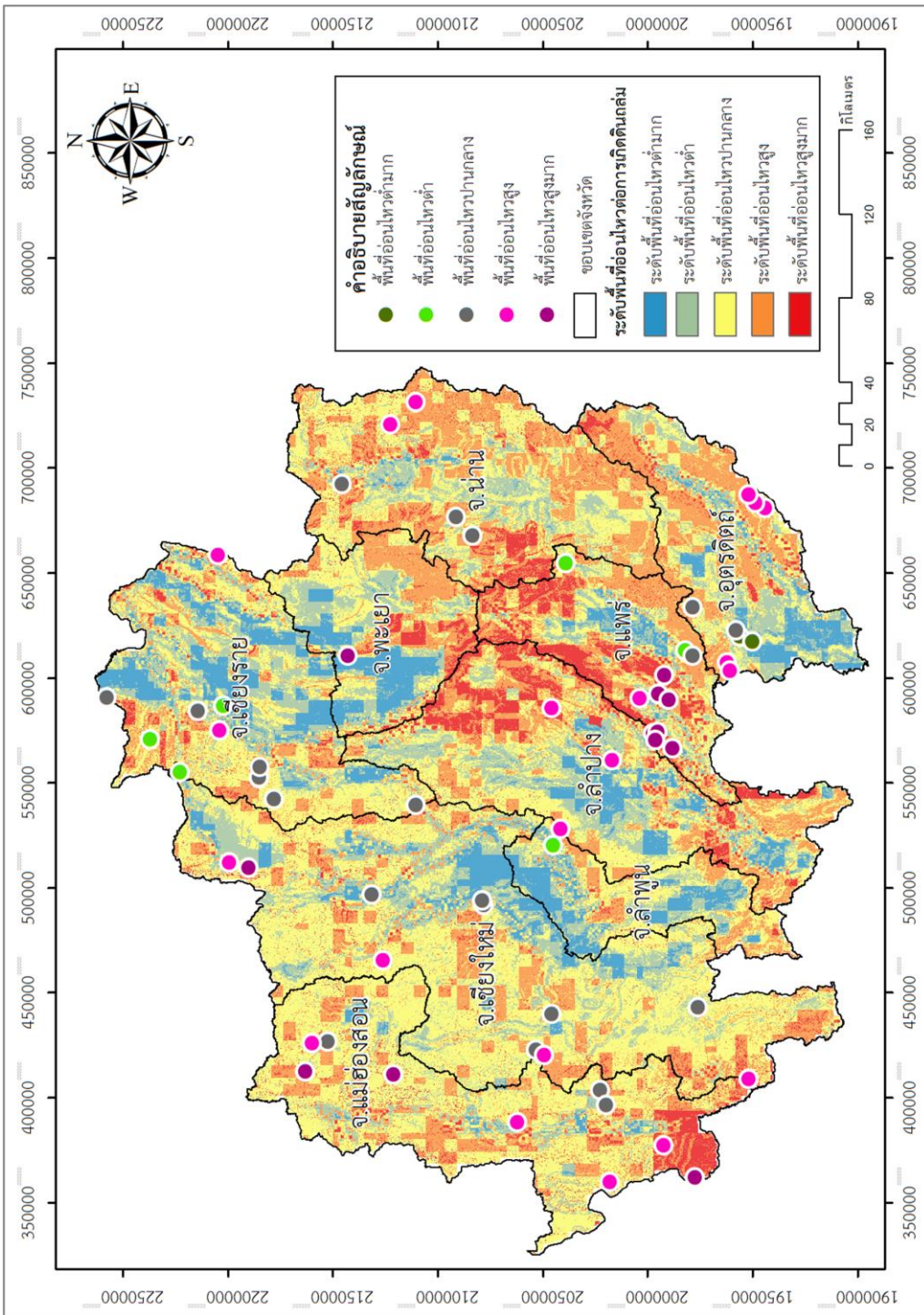
ระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม	ตำแหน่งการเกิด ดินถล่มในอดีต	พื้นที่ (ตร.กม)	ร้อยละ
ระดับอ่อนไหวต่ำมาก (VLS)	1	8,354.52	9.00
ระดับอ่อนไหวต่ำ (LS)	3	18,337.20	19.00
ระดับอ่อนไหวปานกลาง (MS)	14	37,018.03	39.00
ระดับอ่อนไหวสูง (HS)	21	23,362.48	25.00
ระดับอ่อนไหวสูงมาก (VHS)	24	7,588.42	8.00

จากตาราง 11 แสดงผลการวิเคราะห์ระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีการอัตราส่วนความถี่ พบว่ามีพื้นที่ในระดับอ่อนไหวปานกลาง เท่ากับ 37,018.03 ตารางกิโลเมตรหรือคิดเป็นร้อยละ 39 รองลงมา คือ ระดับอ่อนไหวสูง ระดับอ่อนไหวต่ำ ระดับอ่อนไหวต่ำมาก มีพื้นที่เท่ากับ 23,362.48 ตารางกิโลเมตร 15,885.63 ตารางกิโลเมตร และ 8,354.52 ตารางกิโลเมตรคิดเป็นร้อยละ 25 19 และ 9 ตามลำดับ ในขณะที่ระดับความอ่อนไหวสูงมากมีพื้นที่น้อยที่สุด เท่ากับ 7,588.42 ตารางกิโลเมตรหรือคิดเป็นร้อยละ 8 โดยแสดงตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอดีต (ภาพ 27) ในพื้นที่ระดับความอ่อนไหวสูงมาก พื้นที่ระดับความอ่อนไหวสูง พื้นที่ระดับความอ่อนไหวปานกลาง พื้นที่ระดับความอ่อนไหวต่ำ และพื้นที่ระดับความอ่อนไหวต่ำมาก เท่ากับ 14, 21, 3, 1 และ 24 เหตุการณ์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณารายจังหวัด พบว่า ขนาดพื้นที่ในระดับความอ่อนไหวสูงมากต่อการเกิดดินถล่มบริเวณจังหวัดลำปาง จังหวัดแพร่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน และจังหวัดน่าน มีขนาดพื้นที่ 1,625.09 ตารางกิโลเมตร 1,432.85 ตารางกิโลเมตร 1,348.35 ตารางกิโลเมตร และ 1,016.58 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ และพบขนาดพื้นที่ที่เกิดดินถล่มน้อยที่สุดในระดับความอ่อนไหวสูงมาก บริเวณจังหวัดลำพูน 99.58 ตารางกิโลเมตร รองลงมา คือ ระดับความอ่อนไหวสูง พบบริเวณจังหวัดน่าน จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำปาง จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดอุดรธานี และจังหวัดแพร่ มีพื้นที่รวม 4,702.04 ตารางกิโลเมตร 3,786.62 ตารางกิโลเมตร 3,146.61 ตารางกิโลเมตร 2,685.09 ตารางกิโลเมตร 2,532.45 ตารางกิโลเมตร และ 2,255.44 ตารางกิโลเมตรตามลำดับ และพบขนาดพื้นที่ที่เกิดดินถล่มน้อยที่สุดในระดับความอ่อนไหวสูงบริเวณจังหวัดลำพูน 772.50 ตารางกิโลเมตร ในระดับความอ่อนไหวปานกลางพบในบริเวณพื้นที่ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดน่าน จังหวัดเชียงราย จังหวัดลำปาง มีขนาดพื้นที่ 11,175.12 ตารางกิโลเมตร 6,856.07 ตารางกิโลเมตร

4,378.46 ตารางกิโลเมตร 4,191.03 ตารางกิโลเมตรและ 3,894.55 ตารางกิโลเมตรตามลำดับ และพบขนาดพื้นที่ที่มีการเกิดดินถล่มน้อยที่สุดในระดับความอ่อนไหวปานกลางบริเวณจังหวัดลำพูน 1,409.07 ตารางกิโลเมตรระดับความอ่อนไหวน้อย พบบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย จังหวัดลำปาง 4,559.18 ตารางกิโลเมตร 2,866.58 ตารางกิโลเมตร 2,628.80 ตารางกิโลเมตรตามลำดับ และพบขนาดพื้นที่ที่มีการเกิดดินถล่มน้อยที่สุดในระดับความอ่อนไหวน้อยบริเวณ จังหวัดแพร่ 891.20 ตารางกิโลเมตรระดับความอ่อนไหวน้อยมากพบบริเวณ จังหวัดเชียงราย 1,996.90 ตารางกิโลเมตร และจังหวัดเชียงใหม่ 1,500.61 ตารางกิโลเมตร พบพื้นที่ที่มีการเกิดดินถล่มน้อยที่สุดในระดับความอ่อนไหวน้อยมาก 105.17 ตารางกิโลเมตร แสดงดังภาพ 27



ภาพ 27 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการอัตราส่วนความถี่รายจังหวัด



ภาพ 28 แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีการส่วนความถี่

## 2. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นในการศึกษาครั้งนี้ ทำการอ้างอิงและปรับปรุงค่าความสำคัญตามความเหมาะสมตามปัจจัยในพื้นที่ โดยผลการแบ่งช่วงชั้นของแต่ละปัจจัยและค่าถ่วงน้ำหนักในแต่ละปัจจัยที่แสดงลำดับความสำคัญ พบว่า ปริมาณฝนมีค่าน้ำหนักของปัจจัยที่สูงสุด เท่ากับ 0.26 ถัดมาพบในปัจจัยชนิดของหิน ค่ามุมความลาดชัน ระยะห่างจากรอยเลื่อน มีค่าเท่ากับ 0.17, 0.16 และ 0.12 ตามลำดับ และในทางกลับกันพบค่าน้ำหนักที่น้อยที่สุดในปัจจัยความสูงของพื้นที่ และทิศด้านลาดเท่ากับ 0.03 โดยมีค่าอัตราความสอดคล้องของปัจจัยทั้งหมดเท่ากับ 7 เปอร์เซนต์ (ดังตาราง 13) ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นค่าที่เปรียบเทียบของแต่ละปัจจัยมีความถูกต้องและสามารถเชื่อถือได้

ตาราง 12 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

ระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม	ตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอดีต	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ	
ระดับอ่อนไหวต่ำมาก (VLS)		2	10,479.57	11.00
ระดับอ่อนไหวต่ำ (LS)		6	12,118.71	13.00
ระดับอ่อนไหวปานกลาง (MS)		22	28,256.45	30.00
ระดับอ่อนไหวสูง (HS)		21	31,620.76	33.00
ระดับอ่อนไหวสูงมาก (VHS)		12	12,185.14	13.00

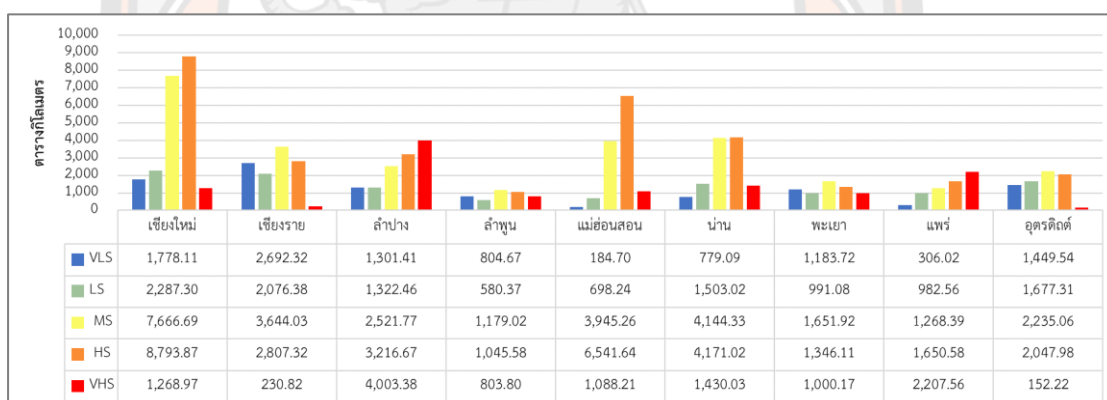
จากตาราง 12 ผลการวิเคราะห์ระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น พบว่าระดับพื้นที่อ่อนไหวสูง มีขนาดพื้นที่เท่ากับ 31,620.76 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 33 ของพื้นที่ โดยพบกระจายทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นบริเวณที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ลาดชันสูง ถัดมาพบพื้นที่ระดับอ่อนไหวปานกลาง มีพื้นที่ทั้งหมด 28,256.45 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 30 และรองลงมาในช่วงระดับอ่อนไหวสูงมาก และระดับอ่อนไหวต่ำ มีขนาดพื้นที่ 12,185.14 ตารางกิโลเมตร และ 12,118.71 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ โดยคิดเป็นร้อยละ 13 และระดับในพื้นที่อ่อนไหวต่ำมาก มีขนาดพื้นที่ 10,479.57 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 11 โดยแสดงตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอดีต (ดังภาพ 30) ในระดับความอ่อนไหวปานกลาง ระดับความอ่อนไหวสูง ระดับความอ่อนไหวสูงมาก ระดับความอ่อนไหวต่ำ และระดับความอ่อนไหวต่ำมาก เท่ากับ 22, 21, 12, 6 และ 2 เหตุการณ์ ตามลำดับ

ตาราง 13 ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยตามลำดับชั้น

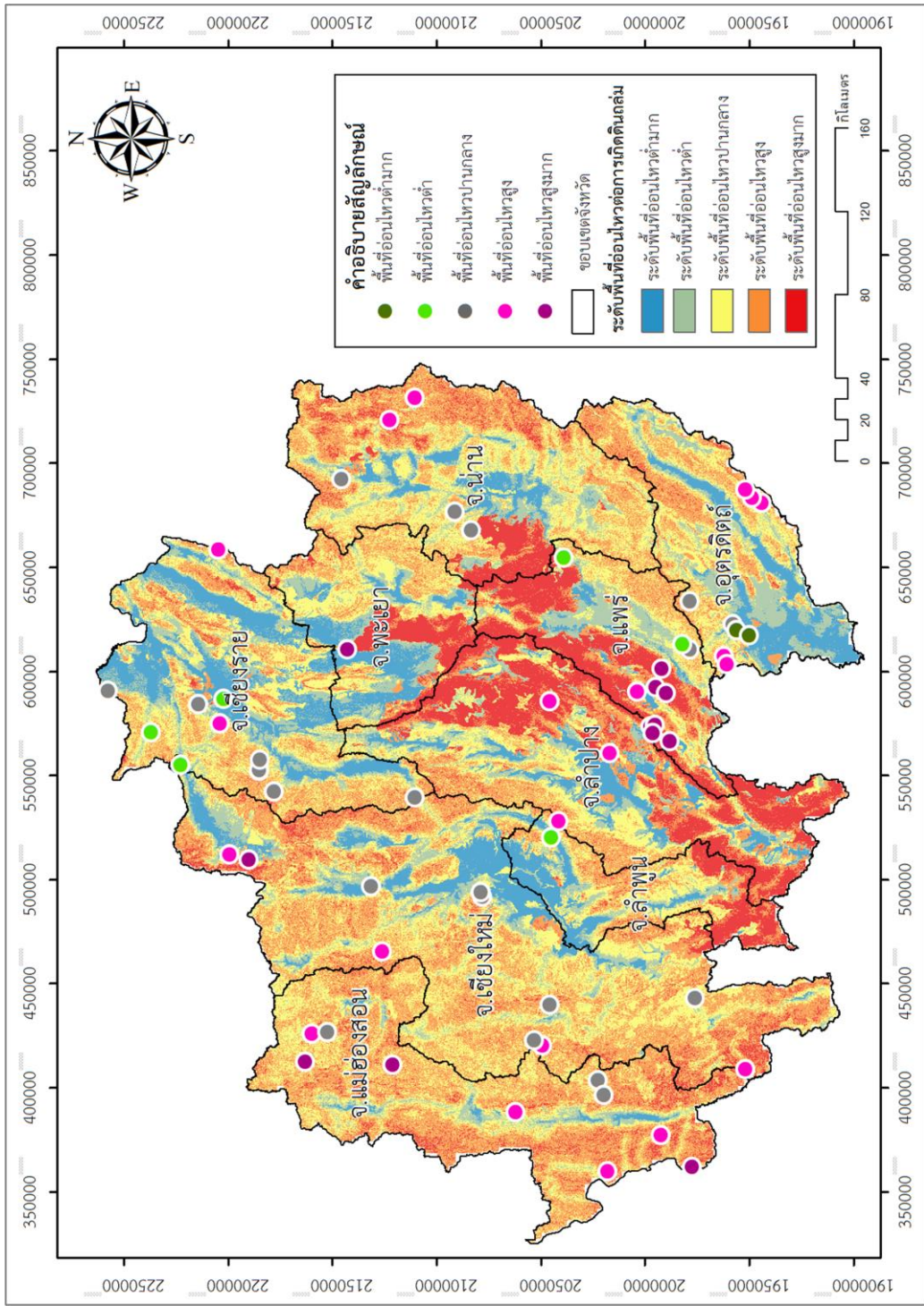
ปัจจัย	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	ค่าน้ำหนัก
[1] ความสูงของพื้นที่	1.00	1.00	0.20	0.50	0.20	0.33	0.50	0.20	0.25	0.33	0.03
[2] ทิศด้านลาด	1.00	1.00	0.25	2.00	0.20	0.20	0.33	0.17	0.25	0.33	0.03
[3] ค่ามุมความลาดชัน	5.00	4.00	1.00	5.00	0.50	2.00	5.00	0.50	3.00	5.00	0.16
[4] ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ	2.00	0.50	0.20	1.00	0.33	0.25	0.33	0.20	0.33	0.50	0.03
[5] ชนิดของหิน	5.00	5.00	2.00	3.00	1.00	2.00	2.00	0.33	4.00	5.00	0.17
[6] ระยะห่างจากรอยเลื่อน	3.00	5.00	0.50	4.00	0.50	1.00	3.00	0.33	3.00	4.00	0.12
[7] อนุภาคของดิน	2.00	3.00	0.20	3.00	0.50	0.33	1.00	0.20	0.33	0.50	0.06
[8] ปริมาณน้ำฝน	5.00	6.00	2.00	5.00	3.00	3.00	5.00	1.00	5.00	5.00	0.26
[9] ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน	4.00	4.00	0.33	3.00	0.25	0.33	3.00	0.20	1.00	2.00	0.08
[10] ดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ	3.00	3.00	0.20	2.00	0.20	0.25	2.00	0.20	0.50	1.00	0.06

ความสอดคล้องของปัจจัย (CR) : 0.07

เมื่อพิจารณารายจังหวัดแสดงดังภาพ 29 มีขนาดพื้นที่ในระดับความอ่อนไหวสูงมาก บริเวณจังหวัดลำปาง จังหวัดแพร่ และจังหวัดน่าน มีขนาดพื้นที่เท่ากับ 4,003.38 ตารางกิโลเมตร 2,207.56 ตารางกิโลเมตร และ 1,430.03 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ระดับความอ่อนไหวสูงมาก บริเวณจังหวัดลำพูน มีขนาดพื้นที่ 803.80 ตารางกิโลเมตร รองลงมา คือ ระดับความอ่อนไหวสูงพบในบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน และจังหวัดน่าน มีขนาดพื้นที่พื้นที่ 8,793.87 ตารางกิโลเมตร 6,541.64 ตารางกิโลเมตร และ 4,171.023 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ระดับความอ่อนไหวปานกลางพบในบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดน่าน และจังหวัดแม่ฮ่องสอน มีพื้นที่เท่ากับ 7,666.69 ตารางกิโลเมตร 4,144.33 ตารางกิโลเมตร และ 3,945.26 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ ระดับความอ่อนไหวน้อย พบบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงราย และจังหวัดอุตรดิตถ์ มีขนาดพื้นที่ 2,287.30 ตารางกิโลเมตร 2,076.38 ตารางกิโลเมตร และ 1,677.31 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ และระดับความอ่อนไหวต่ำมาก ในจังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดอุตรดิตถ์ มีขนาดพื้นที่ 2,692.32 ตารางกิโลเมตร 1,778.11 ตารางกิโลเมตร และ 1,449.54 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ



ภาพ 29 ผลการวิเคราะห์ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นรายจังหวัด

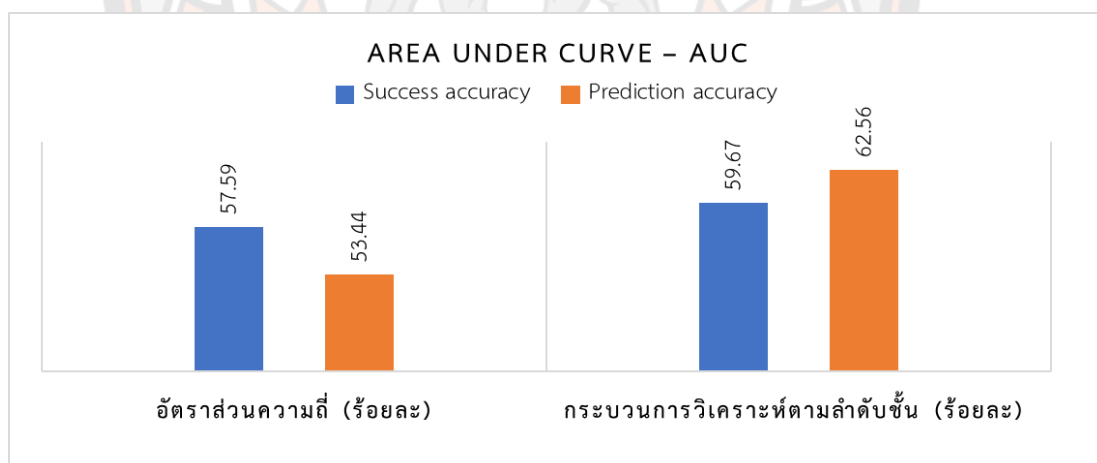


ภาพ 30 แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยวิธีการแบบการวิเคราะห์ตามสถิติเบื้องต้น

### 3. ผลการเปรียบเทียบและการตรวจสอบค่าความถูกต้อง

ประสิทธิภาพของแบบจำลองในการสร้างพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่สร้างด้วยแบบจำลองอัตราส่วนความถี่ และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยในการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาจากวิธีการหาค่าพื้นที่ใต้กราฟของความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของค่าดัชนีที่ถูกแบ่งเป็น 100 ช่วง กับค่าร้อยละของตำแหน่งการเกิดดินถล่มในการประเมินประสิทธิภาพ (Training) และความถูกต้องของแบบจำลอง (Testing) ซึ่งจะใช้วิเคราะห์ค่าอัตราการทำนายของแบบจำลอง (Prediction Rate) โดยจะพิจารณาค่าร้อยละของการปรากฏของตำแหน่งการเกิดดินถล่มในการสร้างแบบจำลอง (Success rate) ใช้ประเมินความสามารถของการจำแนกความอ่อนไหวในตำแหน่งเหตุการณ์ดินถล่มของแบบจำลองร่วมด้วย

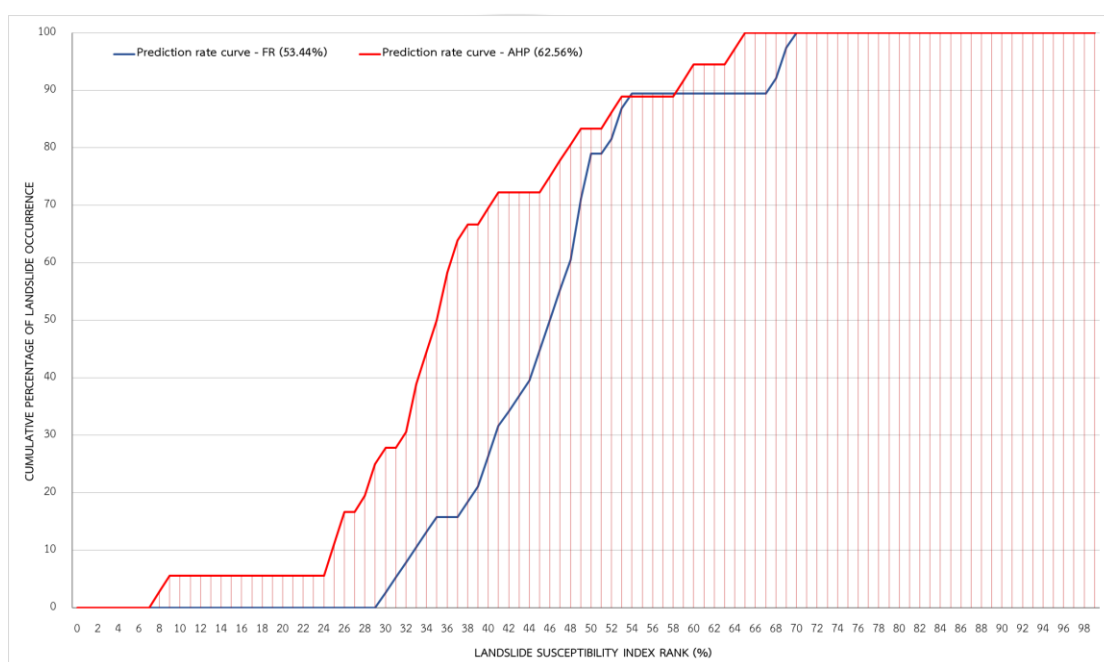
ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการหาค่าใต้กราฟแสดงดังภาพ 31 พบว่า แบบจำลองอัตราส่วนความถี่ มีความถูกต้องของค่าอัตราความสำเร็จ เท่ากับร้อยละ 57.59 ขณะเดียวกันค่าอัตราการทำนาย มีค่าเท่ากับร้อยละ 53.44 และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น พบว่ามีความถูกต้องของค่าอัตราความสำเร็จ เท่ากับร้อยละ 59.67 และค่าอัตราการทำนายเท่ากับร้อยละ 62.56



ภาพ 31 พื้นที่ใต้กราฟด้วยวิธีการ FR และ AHP



ผลการประเมินประสิทธิภาพดังกล่าวพบว่าทั้ง 2 วิธีการอยู่ในช่วง 0.5-0.6 ซึ่งในการศึกษานี้สรุปได้ว่าทั้ง 2 วิธีการ สามารถจัดทำแผนที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มได้ โดยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบแบบจำลองอัตราส่วนความถี่กับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นที่ใช้ในการสร้างพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม ซึ่งผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองกับตำแหน่งเหตุการณ์ดินถล่มในอดีต ดังภาพ 32 พบว่า แผนที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นให้ผลการตรวจสอบความถูกต้องที่สูงที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

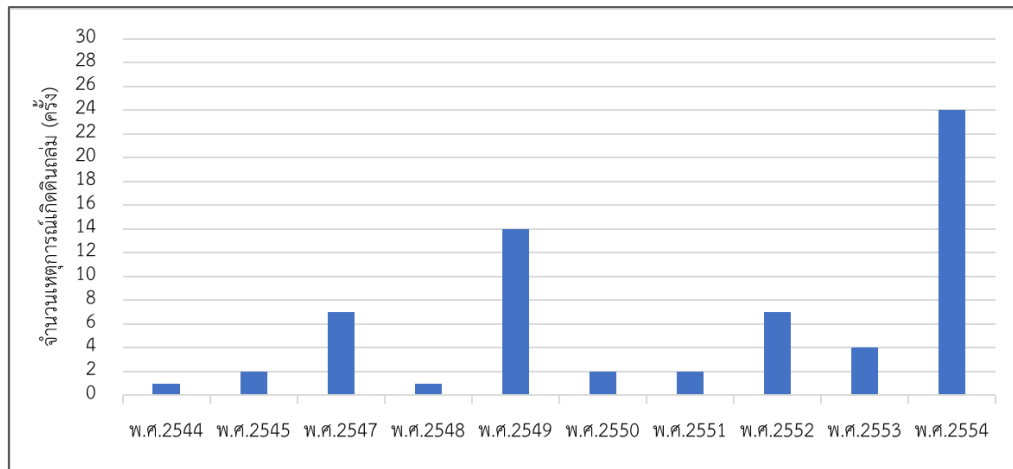


ภาพ 32 กราฟแสดงค่าอัตราการทำนายของแบบจำลอง (Prediction rate curve)

#### 4.2 การคัดเลือกข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

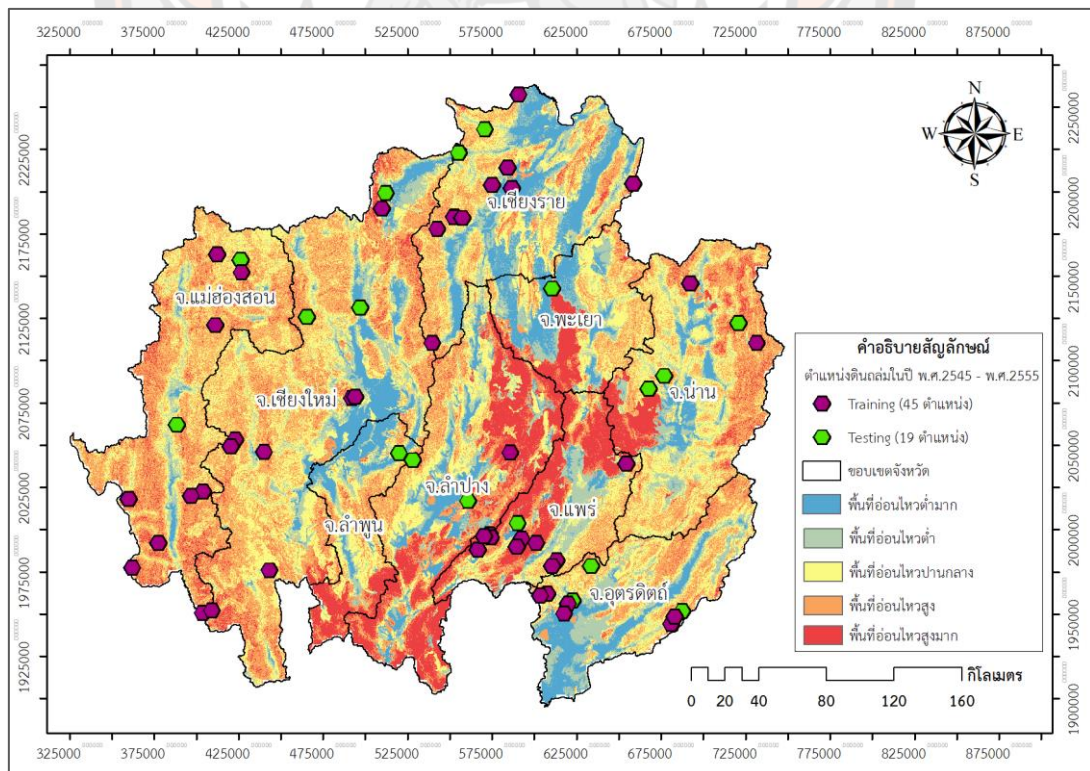
1. ข้อมูลในการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มและวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของรูปแบบฝน

พื้นที่ศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดเชียงราย จังหวัดแพร่ จังหวัดอุตรดิตถ์ จังหวัดน่าน จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน และจังหวัดพะเยา พบว่ามีเหตุการณ์ที่ถูกบันทึกไว้ทั้งหมด 64 เหตุการณ์ โดยในปีพ.ศ. 2554 พบว่ามีเหตุการณ์เกิดดินถล่มสูงสุด 24 เหตุการณ์ รองลงมา คือ ปีพ.ศ. 2549 พ.ศ. 2547 มีการดินถล่ม 14 และ 7 เหตุการณ์ ตามลำดับ โดยปีพ.ศ. 2544 และปี พ.ศ. 2548 พบว่ามีเหตุการณ์เกิดดินถล่มน้อยที่สุดคือ 1 เหตุการณ์ ดังภาพ 33



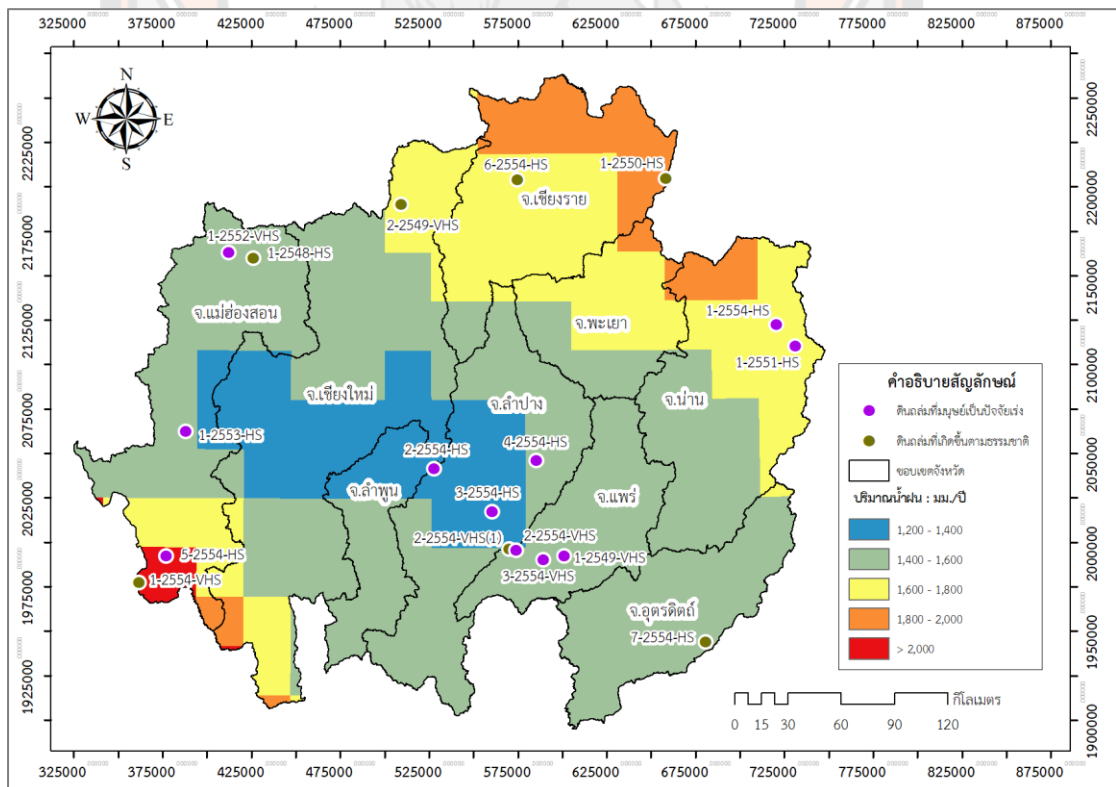
ภาพ 33 จำนวนเหตุการณ์เกิดดินถล่มของแต่ละปี

ในพื้นที่ศึกษานี้จะพิจารณาการเกิดดินถล่มในช่วงปีพ.ศ. 2545 ถึงปี พ.ศ. 2555 พบว่ามีการเกิดเหตุการณ์ดินถล่มสูงสุดในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่จำนวน 12 เหตุการณ์ จังหวัดเชียงราย และจังหวัดแม่ฮ่องสอนพบจังหวัดละ 11 เหตุการณ์ จังหวัดแพร่พบทั้งหมด 10 เหตุการณ์ โดยจังหวัดลำพูน และจังหวัดพะเยามีการเกิดดินถล่มน้อยที่สุด คือ 1 เหตุการณ์ แสดงตำแหน่งเหตุการณ์การเกิดดินถล่มภาพ 34



ภาพ 34 เหตุการณ์การเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา

ผลการคัดเลือกเหตุการณ์ดินถล่มในอดีต แสดงผลการสกัดข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันจากการประมาณค่าจากดาวเทียม TRMM ช่วงปี พ.ศ. 2545 ถึงปี พ.ศ. 2555 พบตำแหน่งดินถล่มทั้งหมดจำนวน 18 เหตุการณ์ โดยในปี พ.ศ. 2554 พบการเกิดดินถล่มทั้งหมด 9 เหตุการณ์ ในบริเวณจังหวัดน่าน จังหวัดลำปาง จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดแพร่ และจังหวัดอุตรดิตถ์ โดยมีค่าปริมาณน้ำฝนรายวันสูงสุดเท่ากับ 24.68 มิลลิเมตร และน้อยที่สุดเท่ากับ 2.42 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำฝนในแต่ละตำแหน่งของเหตุการณ์ดินถล่ม โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ย 10 ปี เมื่อแบ่งเหตุการณ์ดินถล่มตามระดับความอ่อนไหว พบว่า ระดับความอ่อนไหวสูง (HS) เกิดเหตุการณ์ดินถล่มทั้งหมด 11 เหตุการณ์ และพบเหตุการณ์ดินถล่มที่อยู่ระดับความอ่อนไหวสูงมาก (VHS) ทั้งหมด 7 เหตุการณ์ และเมื่อแบ่งประเภทการเกิดพบ ดินถล่มที่มนุษย์เป็นปัจจัยเร่งทั้งหมด 11 เหตุการณ์ ดินถล่มที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ 7 เหตุการณ์ แสดงดังภาพ 35 ซึ่งเมื่อแสดงปริมาณฝนรายวันดังตาราง 14 พบสูงที่สุดในตำแหน่ง 1-2549-VHS วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2549 จังหวัดแพร่ มีค่าเท่ากับ 50.90 มม. รองลงมาในตำแหน่งที่ 2-2554-VHS (1) วันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554 จังหวัดลำปาง มีปริมาณฝนรายวันเท่ากับ 30.49 มม. และในตำแหน่งที่ 2-2550-HS วันที่ 8 กันยายน พ.ศ. 2550 จังหวัดเชียงราย พบปริมาณฝนรายวันน้อยที่สุดเท่ากับ 1.81 มม.



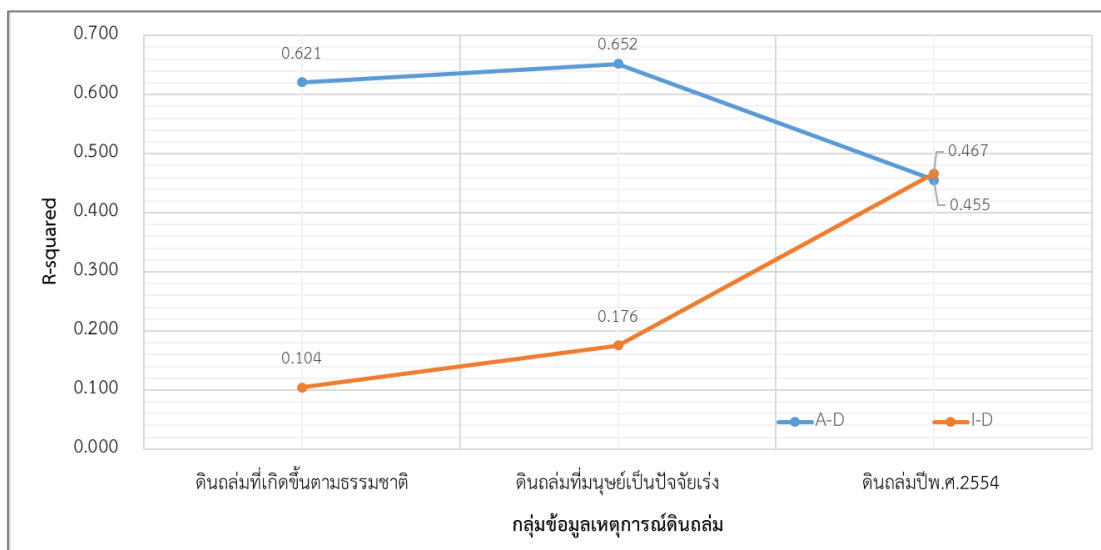
ภาพ 35 แสดงปริมาณน้ำฝนในแต่ละตำแหน่งเหตุการณ์ดินถล่ม

ตาราง 14 เหตุการณ์ดินถล่มระดับความอ่อนไหวสูงและสูงมาก

ชื่อตำแหน่ง	วันที่เกิดดินถล่ม	จังหวัด	ปริมาณฝนรายวัน (มม.)
1-2548-HS	13 สิงหาคม 2548	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	19.20
2-2550-HS	8 กันยายน 2550	จังหวัดเชียงราย	1.81
1-2551-HS	20 กรกฎาคม 2551	จังหวัดน่าน	2.09
1-2553-HS	24 สิงหาคม 2553	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	20.99
1-2554-HS	26 มิถุนายน 2554	จังหวัดน่าน	17.77
2-2554-HS	1 สิงหาคม 2554	จังหวัดลำปาง	22.86
3-2554-HS	2 สิงหาคม 2554	จังหวัดลำปาง	24.68
4-2554-HS	2 สิงหาคม 2554	จังหวัดลำปาง	23.60
5-2554-HS	4 สิงหาคม 2554	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	8.00
6-2554-HS	12 สิงหาคม 2554	จังหวัดเชียงราย	9.06
7-2554-HS	9 กันยายน 2554	จังหวัดอุตรดิตถ์	4.96
1-2549-VHS	31 สิงหาคม 2549	จังหวัดแพร่	50.90
2-2549-VHS	9 ตุลาคม 2549	จังหวัดเชียงใหม่	8.50
3-2549-VHS	23 กันยายน 2549	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	2.17
4-2549-VHS	10 สิงหาคม 2549	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	3.83
5-2549-VHS	18 กันยายน 2549	จังหวัดแพร่	7.81
2-2554-VHS (1)	21 สิงหาคม 2554	จังหวัดลำปาง	30.49
3-2554-VHS	3 ตุลาคม 2554	จังหวัดแพร่	2.42

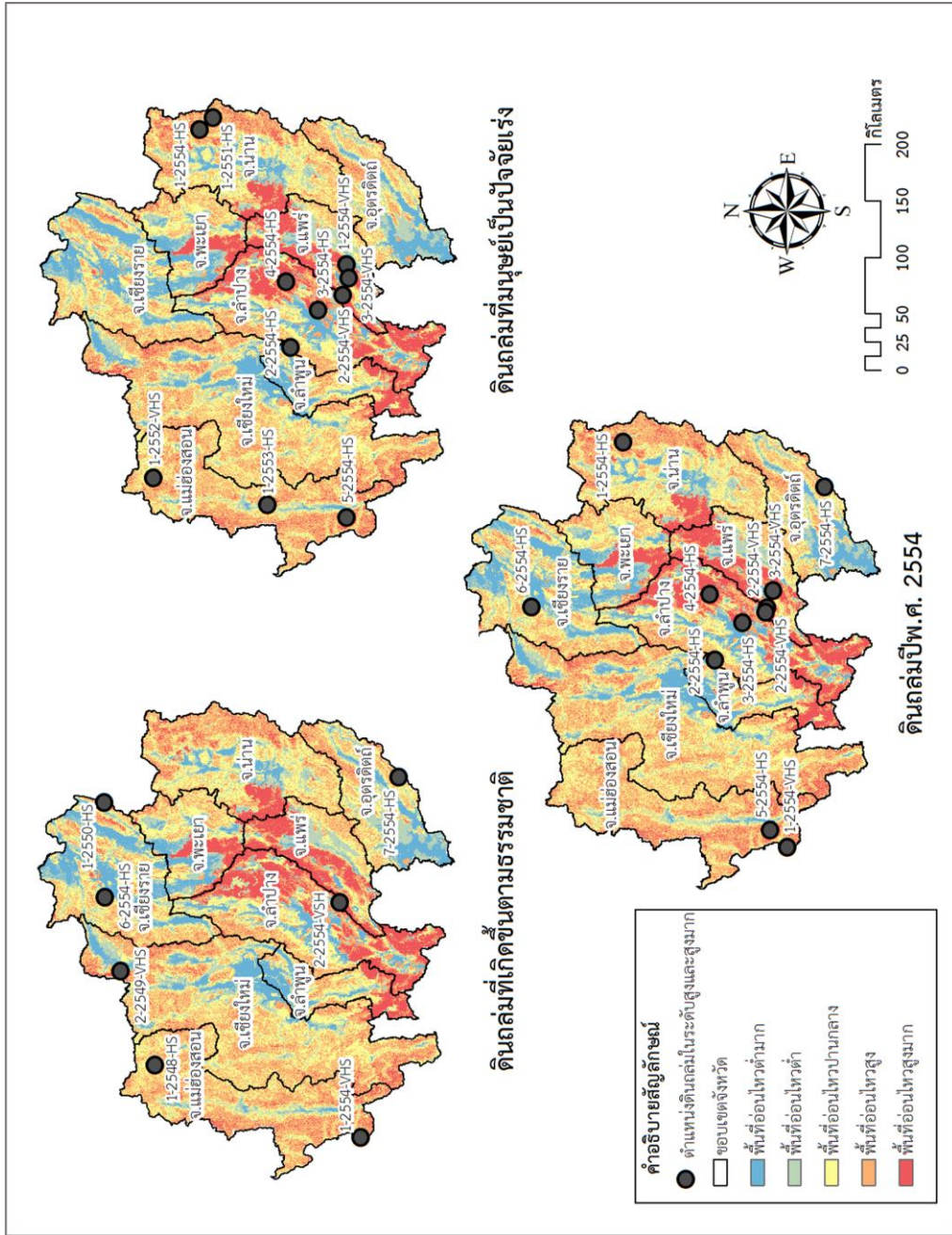
## 2. การเลือกและจัดกลุ่มข้อมูลเหตุการณ์เกิดดินถล่ม

เมื่อพิจารณาถึงการจัดกลุ่มข้อมูลทั้ง 3 กลุ่ม ได้แก่ ดินถล่มที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และดินถล่มที่มนุษย์เป็นปัจจัยเร่ง ในปี พ.ศ. 2554 จากนั้นทำการหาค่าความสัมพันธ์ ซึ่งเป็นการแสดงถึงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับระยะเวลาฝนตก และปริมาณฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตกของแต่ละชุดข้อมูล



ภาพ 36 การเปรียบเทียบค่า R-squared ของการจัดกลุ่ม

เมื่อจำแนกกลุ่มข้อมูลจากการหาค่าความสัมพันธ์ทั้ง 3 กลุ่ม ดังภาพ 36 พบว่าเหตุการณ์ดินถล่มในปี พ.ศ. 2554 มีค่า R-squared ของปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตกเท่ากับ 0.455 หรือเท่ากับร้อยละ 45.50 และความเข้มข้นกับระยะเวลาฝนตกเท่ากับ 0.467 หรือเท่ากับร้อยละ 46.70 โดยทั้งสองความสัมพันธ์มีค่า R-squared ไปในทิศทางเดียวกันแสดงให้เห็นว่ามีค่าความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อกันได้ดี ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มดินถล่มที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และกลุ่มดินถล่มที่มนุษย์เป็นปัจจัยเร่ง ที่แสดงค่าความสัมพันธ์ของปริมาณฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตกเท่ากับ 0.621 และ 0.652 หรือเท่ากับร้อยละ 62.10 และ 65.20 ซึ่งในทางตรงข้ามทั้งสองกลุ่มข้อมูลมีความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกับระยะเวลาฝนตกเท่ากับ 0.104 และ 0.176 หรือเท่ากับร้อยละ 10.40 และ 17.60 ตามลำดับ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ข้อมูลเหตุการณ์ดินถล่มในปี พ.ศ. 2554 เพื่อใช้ในพิจารณาการศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบฝนในขั้นตอนต่อไป



ภาพ 37 แสดงการจำกัดกลุ่มของข้อมูลเหตุการณ์ที่เกิดดินกล่ม

การจัดข้อมูลของเหตุการณ์เกิดดินถล่มตามการจัดกลุ่มทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ ดินถล่มที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Landslide) ดินถล่มที่มนุษย์เป็นปัจจัยเร่ง (Man-made Landslide) และดินถล่มที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2554 เพื่อเลือกใช้กลุ่มข้อมูลดินถล่มที่มีความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่มีค่าไปทางเดียวกันใช้การศึกษาในขั้นต่อไป แสดงผลการจัดกลุ่มข้อมูลดินถล่มแต่ละประเภทดังภาพ 37 ดังนี้

**1. ดินถล่มที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ** เป็นดินถล่มขนาดใหญ่ที่มีผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก จากตาราง 15 เมื่อพิจารณาข้อมูลดินถล่มที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ พบว่ามีเหตุการณ์ดินถล่มที่อยู่ในระดับความอ่อนไหวสูงมากทั้งหมด 3 เหตุการณ์ โดยตำแหน่ง 2-2554-VSH พบจำนวนเหตุการณ์ที่เกิดดินถล่มในอดีตสูงสุด 147 เหตุการณ์ รองลงมาพบในตำแหน่ง 1-2554-VHS จำนวน 140 เหตุการณ์ และน้อยที่สุดในตำแหน่ง 2-2549-VHS พบจำนวนเหตุการณ์ที่เกิดดินถล่มสูงที่สุดในตำแหน่งที่ 7-2554-HS, 6-2554-HS, 1-2550-HS ทั้งหมด 154, 146 และ 67 เหตุการณ์ตามลำดับ และในตำแหน่ง 1-2548-HS น้อยที่สุด 8 เหตุการณ์

ตาราง 15 ข้อมูลเหตุการณ์ดินถล่มที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ

ตำแหน่ง	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	วันที่เกิดดินถล่ม	จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดดินถล่ม
1-2548-HS	สบป่อง	ปางมะผ้า	แม่ฮ่องสอน	13 สิงหาคม 2548	8
1-2550-HS	ปอ	เวียงแก่น	เชียงราย	8 กันยายน 2550	67
6-2554-HS	ดอยฮาง	เมือง	เชียงราย	12 สิงหาคม 2554	146
7-2554-HS	น้ำไผ่	น้ำปาด	อุตรดิตถ์	9 กันยายน 2554	154
2-2549-VHS	แม่ฮ่อง	ฝาง	เชียงใหม่	9 ตุลาคม 2549	1
1-2554-VHS	แม่สามแลบ	สบเมย	แม่ฮ่องสอน	3 สิงหาคม 2554	140
2-2554-VHS	วังเงิน	แม่ทะ	ลำปาง	21 สิงหาคม 2554	147

**2. เหตุการณ์ดินถล่มที่มนุษย์เป็นปัจจัยเร่ง** เป็นดินถล่มขนาดเล็กที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การตัดพื้นที่ไหล่เขาเพื่อสร้างถนนหรือที่อยู่อาศัย แต่ความเสียหายที่เกิดขึ้นน้อยกว่าดินถล่มที่ขึ้นตามธรรมชาติค่อนข้างมาก ซึ่งจากตาราง 16 พบว่า มีเหตุการณ์เกิดดินถล่มในระดับความอ่อนไหวสูงมากทั้งหมด 4 เหตุการณ์ โดยส่วนใหญ่เกิดที่อำเภอลอง จังหวัดแพร่ ในตำแหน่งที่ 3-2554-VHS มีการเกิดดินถล่มในอดีตสูงสุดที่จำนวน 159 เหตุการณ์ รองลงมา คือ ตำแหน่ง 2-2554-VHS จำนวน 147 เหตุการณ์ และตำแหน่งที่มีการเกิดดินถล่มน้อยที่สุด คือ ตำแหน่ง 1-2554-VHS และ 1-2552-VHS จำนวน 36 และ 8 เหตุการณ์ตามลำดับ ในขณะที่พบตำแหน่งดินถล่มในระดับความอ่อนไหวสูงจำนวน 7 เหตุการณ์ โดยพบเหตุการณ์ในอดีตสูงสุดจำนวน 142 เหตุการณ์ คือ ตำแหน่ง 5-2554-HS ในบริเวณพื้นที่อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน รองลงมาในจังหวัดลำปาง ตำแหน่ง 2-2554-HS 4-2554-HS และ 3-2554-HS จำนวน 141 139 และ 138 เหตุการณ์ตามลำดับ แต่ในทางกลับกันพบน้อยที่สุดในอำเภอบ่อเกลือได้ จังหวัดน่าน ทั้งหมด 72 เหตุการณ์

**ตาราง 16** ข้อมูลเหตุการณ์ดินถล่มที่มนุษย์เป็นปัจจัยเร่ง

ตำแหน่ง	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	วันที่เกิดดินถล่ม	จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดดินถล่ม
1-2551-HS	บ่อเกลือใต้	บ่อเกลือ	น่าน	20 กรกฎาคม 2551	72
1-2553-HS	เมืองปอน	ขุนยวม	แม่ฮ่องสอน	24 สิงหาคม 2553	97
1-2554-HS	ภูคา	ปัว	น่าน	26 มิถุนายน 2554	135
2-2554-HS	เวียงตาล	ห้างฉัตร	ลำปาง	1 สิงหาคม 2554	141
3-2554-HS	พระบาท	เมือง	ลำปาง	2 สิงหาคม 2554	138
4-2554-HS	บ้านดง	แม่เมาะ	ลำปาง	2 สิงหาคม 2554	139
5-2554-HS	แม่ยวม	แม่สะเรียง	แม่ฮ่องสอน	4 สิงหาคม 2554	142
1-2552-VHS	สบป่อง	ปางมะผ้า	แม่ฮ่องสอน	23 กันยายน 2552	88
1-2554-VHS	แม่ปาน	ลอง	แพร่	31 สิงหาคม 2549	36
3-2554-VHS	แม่ปาน	ลอง	แพร่	3 ตุลาคม 2554	159
2-2554-VHS	บ่อเหล็กทอง	ลอง	แพร่	18 สิงหาคม 2554	147



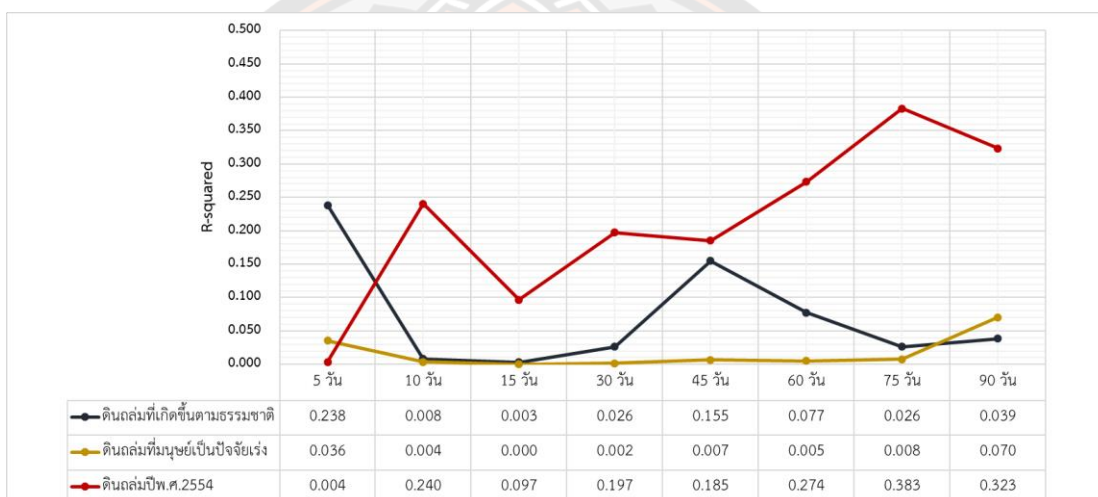
**3. ดินถล่มในปี พ.ศ. 2554** โดยเหตุการณ์ทั้งหมดเกิดขึ้นในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม ซึ่งสัมพันธ์กับฤดูฝนในภาคเหนือ จากตาราง 17 พบว่า มีเหตุการณ์ดินถล่มในปี พ.ศ. 2554 จำนวน 11 เหตุการณ์ มีเหตุการณ์การเกิดดินถล่มสูงในทุกตำแหน่งของการเกิดดินถล่ม และช่วงเดือนสิงหาคมเกิดขึ้นสูงสุดถึง 8 เหตุการณ์ ในจังหวัดลำปาง จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดเชียงราย และจังหวัดแพร่ ซึ่งแบ่งตามช่วงระดับอ่อนไหวสูงจำนวน 7 เหตุการณ์ และช่วงระดับอ่อนไหวสูงมากจำนวน 4 เหตุการณ์ โดยตำแหน่ง 3-2554-VHS อำเภอลอง จังหวัดแพร่ มีจำนวนการเกิดดินถล่มสูงสุด 159 เหตุการณ์ และในตำแหน่ง 1-2554-VHS อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอนมีการเกิดดินถล่มน้อยที่สุดจำนวน 140 เหตุการณ์

ตาราง 17 ข้อมูลเหตุการณ์ดินถล่มในปี พ.ศ. 2554

ตำแหน่ง	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	วันที่เกิดดินถล่ม	จำนวนเหตุการณ์ ที่เกิดดินถล่ม
1-2554-HS	ภูคา	ปัว	น่าน	26 มิถุนายน 2554	135
2-2554-HS	เวียงตาล	ห้างฉัตร	ลำปาง	1 สิงหาคม 2554	141
3-2554-HS	พระบาท	เมือง	ลำปาง	2 สิงหาคม 2554	138
4-2554-HS	บ้านดง	แม่เมาะ	ลำปาง	2 สิงหาคม 2554	139
5-2554-HS	แม่ยวม	แม่สะเรียง	แม่ฮ่องสอน	4 สิงหาคม 2554	142
6-2554-HS	ดอยฮาง	เมือง	เชียงราย	12 สิงหาคม 2554	146
7-2554-HS	น้ำไผ่	น้ำปาด	อุตรดิตถ์	9 กันยายน 2554	154
1-2554-VHS	แม่สามแลบ	สบเมย	แม่ฮ่องสอน	3 สิงหาคม 2554	140
2-2554-VHS	บ่อเหล็กทอง	ลอง	แพร่	18 สิงหาคม 2554	147
2-2554-VHS (1)	วังเงิน	แม่ทะ	ลำปาง	21 สิงหาคม 2554	147
3-2554-VHS	แม่ปาน	ลอง	แพร่	3 ตุลาคม 2554	159

### 3. ปริมาณน้ำฝน 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75, 90 วัน

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนก่อนหน้าดินถล่ม 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน ของทั้ง 3 กลุ่ม แสดงดังภาพ 38 พบว่าข้อมูลกลุ่มดินถล่มในปี พ.ศ. 2554 แสดงค่าความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลปริมาณน้ำฝนก่อนหน้าดินถล่มที่ค่าความสัมพันธ์ที่ค่าไปทางเดียวกัน มีค่าเท่ากับ 0.004, 0.240, 0.097, 0.197, 0.185, 0.383 และ 0.323 ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มดินถล่มที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เหตุการณ์ดินถล่มที่มนุษย์เป็นปัจจัยเร่ง แสดงค่าความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนก่อนหน้าดินถล่มที่มีค่าที่ค่อนข้างต่ำมาก ดังนั้น ในการศึกษาเลือกใช้กลุ่มข้อมูลดินถล่ม ในปีพ.ศ. 2554 ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป



ภาพ 38 ค่า R-squared ในแต่ละกลุ่มข้อมูลของเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า

#### 4.3 ผลการวิเคราะห์รูปแบบฝนที่มีผลต่อพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม

##### 1. ปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 วัน ในตำแหน่งการเกิดดินถล่มปีพ.ศ. 2554 ด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากดาวเทียม TRMM (ดังตาราง 18) เมื่อพิจารณาภาพรวมของเหตุการณ์ดินถล่มทั้งหมด 11 ตำแหน่ง พบว่าฝนรายวันมีปริมาณมากที่สุด ในตำแหน่ง 2-2554-VHS (1) มีปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 30.49 มิลลิเมตร รองลงมาคือ ตำแหน่ง 3-2554-HS และ 4-2554-HS มีปริมาณฝนเท่ากับ 24.68 23.60 มิลลิเมตร ตามลำดับ และพบปริมาณน้ำฝนรายวันน้อยที่สุดในการเกิดดินถล่มในตำแหน่ง 3-2554-VHS มีปริมาณฝนรายวันเท่ากับ 2.42 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบปริมาณฝนรายวันทุกตำแหน่งพบว่า ตำแหน่ง 2-2554-VHS(1) มีปริมาณน้ำฝนรายวันสูงที่สุดแต่พบว่า มีปริมาณฝนก่อนหน้าไม่สูงมาก โดยมีปริมาณน้ำฝนก่อนหน้าเท่ากับ 78.52, 167.27, 235.24, 318.32, 469.55, 596.43, 668.30 และ 817.07 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ตำแหน่ง 5-2554-HS มีค่าปริมาณฝนรายวันที่ส่งผลให้เกิดดินถล่มเท่ากับ 8 มิลลิเมตร กลับพบว่าปริมาณน้ำฝนก่อนหน้ามากที่สุดและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเท่ากับ 227.57, 247.12, 300.22, 446.05, 571.67, 674.48, 779.39 และ 943.27 มิลลิเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือ ตำแหน่งที่ 3-2554-VHS พบว่ามีปริมาณน้ำฝนก่อนหน้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเท่ากับ 79.96, 199.50, 240.74, 331.95, 500.49, 616.20, 754.28 และ 885.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ตาราง 18 แสดงปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า

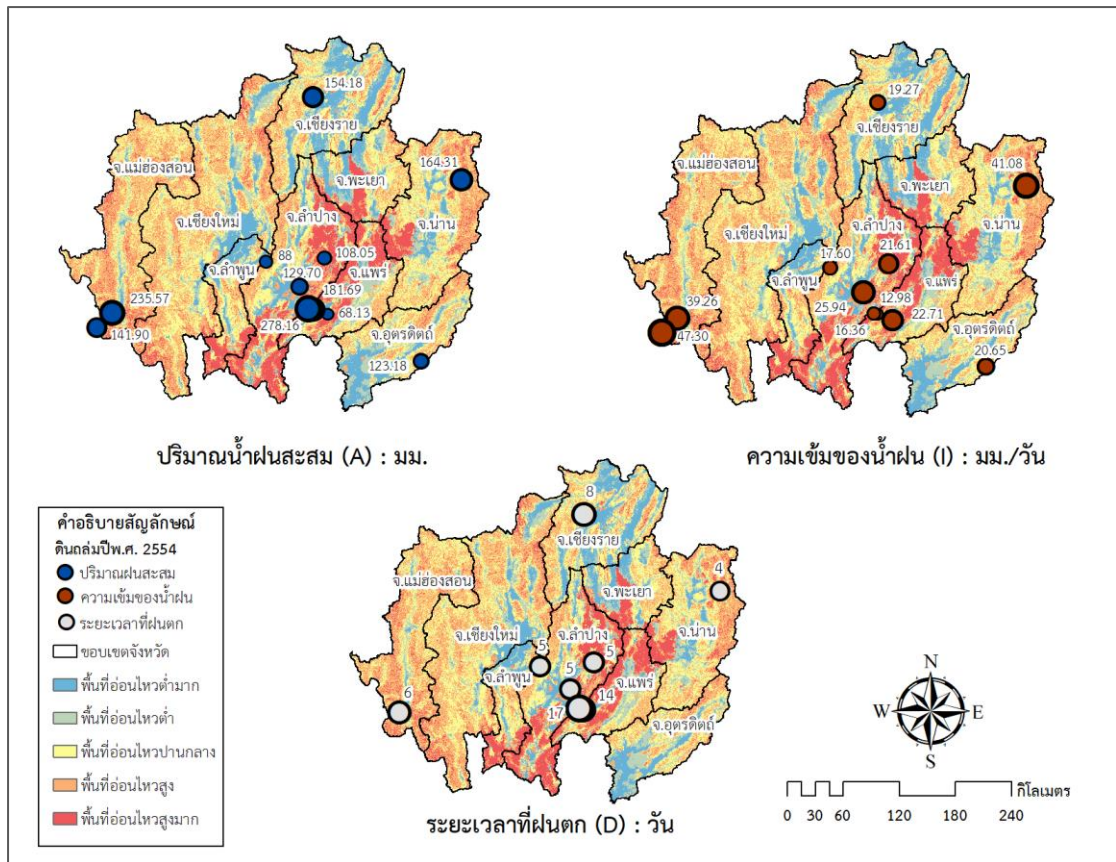
ตำแหน่ง	ปริมาณ ฝน รายวัน (มม.)	ปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า							
		5 วัน	10 วัน	15 วัน	30 วัน	45 วัน	60 วัน	75 วัน	90 วัน
1-2554-HS	17.77	146.54	187.62	334.85	334.85	468.53	597.24	659.35	708.33
2-2554-HS	22.86	65.14	108.17	122.43	246.49	406.47	448.59	541.82	744.46
3-2554-HS	24.68	104.49	106.52	123.93	277.99	434.88	492.55	559.75	769.25
4-2554-HS	23.60	84.45	126.15	139.34	263.78	465.47	514.40	560.69	748.03
5-2554-HS	8.00	227.57	247.12	300.22	446.05	571.67	674.48	779.39	943.27
6-2554-HS	9.06	104.94	166.77	223.14	339.10	434.52	581.99	649.45	800.32
7-2554-HS	4.96	118.93	176.50	253.71	392.40	620.66	743.44	813.36	917.10
1-2554-VHS	3.83	138.08	144.99	158.00	311.07	475.80	543.92	622.48	795.79
2-2554-VHS	7.81	17.86	138.33	173.89	263.69	397.40	563.47	614.40	744.65
2-2554-VHS (1)	30.49	78.52	167.27	235.24	318.32	469.55	596.43	668.30	817.07
3-2554-VHS	2.42	79.96	199.50	240.74	331.95	500.49	616.20	754.28	885.33

## 2. รูปแบบฝนในแต่ละตำแหน่งดินถล่ม

จากการวิเคราะห์ปริมาณฝนสะสม(A) ระยะเวลาฝนตก(D) และความเข้มของน้ำฝน(I) ของแต่ละตำแหน่งดินถล่มในภาคเหนือปีพ.ศ. 2554 พบว่า ตำแหน่ง 2-2554-VHS(1) จังหวัดลำปาง มีระยะเวลาฝนตกสูงสุด 17 วัน และมีค่าปริมาณฝนสะสมเท่ากับ 278.16 มิลลิเมตร ถัดมาพบว่า ตำแหน่ง 5-2554-HS จังหวัดแม่ฮ่องสอนและ 2-2554-VHS ในจังหวัดแพร่ มีปริมาณน้ำฝนสะสมเท่ากับ 235.57 มิลลิเมตร และ 181.69 มิลลิเมตร ตามลำดับ และพบน้อยที่สุดเพียง 68.13 มิลลิเมตร ในตำแหน่ง 3-2554-VHS เมื่อพิจารณาระยะเวลาฝนตกสูงสุดเท่ากับ 17 วัน รองลงมาเท่ากับ 14 วัน และ 8 วัน ในตำแหน่งที่ 2-2554-VHS(1), 2-2554-VHS และ 6-2554-HS ตามลำดับ และสำหรับความเข้มของน้ำฝนพบว่าตำแหน่ง 1-2554-VSH จังหวัดแม่ฮ่องสอน มีความเข้มของน้ำฝนสูงสุดเท่ากับ 47.30 มิลลิเมตร/วัน ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีระยะเวลาฝนตกน้อยที่สุดเท่ากับ 3 วัน พบรองลงมาตำแหน่ง 1-2554-HS จังหวัดน่าน มีความเข้มของน้ำฝนเท่ากับ 41.08 มิลลิเมตร/วัน และระยะเวลาฝนตกเท่ากับ 4 วัน และในขณะที่ตำแหน่งที่ 2-2554-VHS(1), 2-2554-VHS ที่มีระยะเวลาฝนตกยาวนาน แต่กลับมีค่าความเข้มฝนน้อยเท่ากับ 16.36 และ 12.98 มิลลิเมตร/วัน ตามลำดับ (ดังตาราง 19 และ ภาพ 39)

**ตาราง 19** แสดงรูปแบบฝนในแต่ละตำแหน่งดินถล่มในปีพ.ศ. 2554

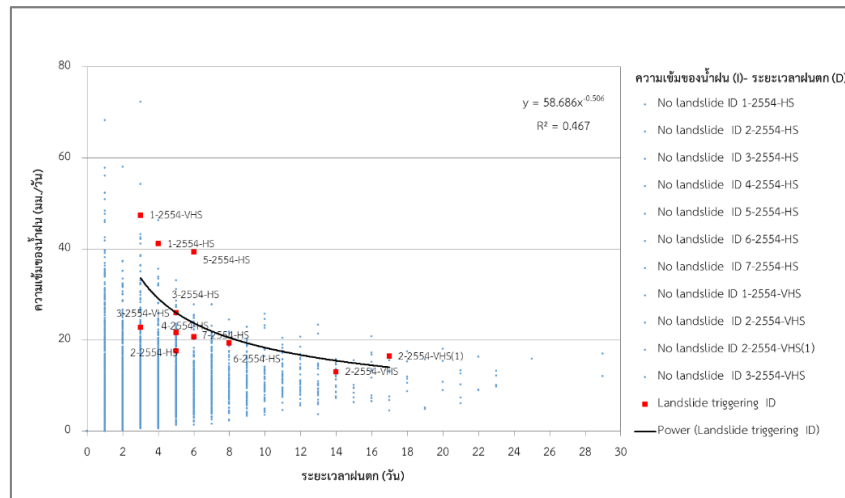
ตำแหน่ง	วันที่เกิดดินถล่ม	จังหวัด	(A) : มม.	(D) : วัน	(I) : มม./วัน
1-2554-HS	26 มิถุนายน 2554	จังหวัดน่าน	164.31	4.00	41.08
2-2554-HS	1 สิงหาคม 2554	จังหวัดลำปาง	88.00	5.00	17.60
3-2554-HS	2 สิงหาคม 2554	จังหวัดลำปาง	129.70	5.00	25.94
4-2554-HS	2 สิงหาคม 2554	จังหวัดลำปาง	108.05	5.00	21.61
5-2554-HS	4 สิงหาคม 2554	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	235.57	6.00	39.26
6-2554-HS	12 สิงหาคม 2554	จังหวัดเชียงราย	154.18	8.00	19.27
7-2554-HS	9 กันยายน 2554	จังหวัดอุตรดิตถ์	123.89	6.00	20.65
1-2554-VHS	3 สิงหาคม 2554	จังหวัดแม่ฮ่องสอน	141.90	3.00	47.30
2-2554-VHS	18 สิงหาคม 2554	จังหวัดแพร่	181.69	14.00	12.98
2-2554-VHS (1)	21 สิงหาคม 2554	จังหวัดลำปาง	278.16	17.00	16.36
3-2554-VHS	3 ตุลาคม 2554	จังหวัดแพร่	68.13	3.00	22.71



ภาพ 39 แสดงรูปแบบฝนในตำแหน่งดินถล่มในปีพ.ศ. 2554

### 3. เกณฑ์ความสัมพันธ์ของความเข้มฝนของน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก (I-D)

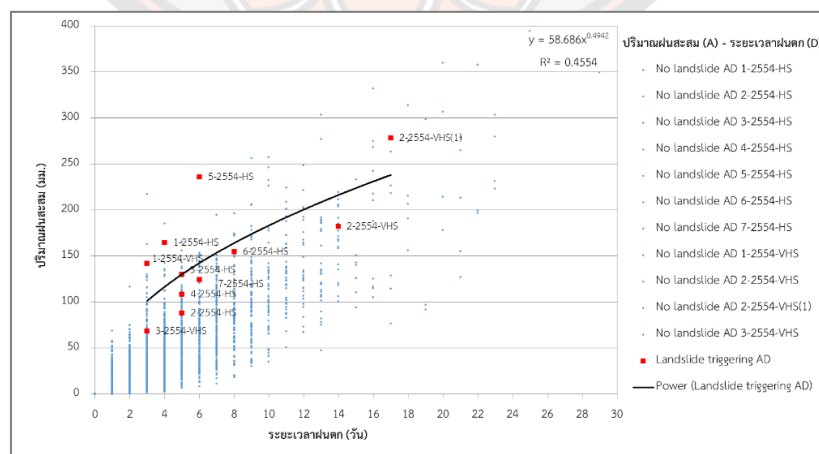
เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนและระยะเวลาฝนตก พบว่า ดินถล่มในปีพ.ศ. 2554 แสดงให้เห็นว่ามีการเกาะกลุ่มและแนวเส้นตรงที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพ 40 โดยตำแหน่ง 1-2554-VHS และตำแหน่ง 5-2554-HS อยู่ในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ตำแหน่งที่ 2-2554-VHS (1) จังหวัดน่าน มีการกระจายตัวไม่ใกล้เคียงกับแนวเส้นตรง เนื่องจากมีระยะเวลาฝนตก 3-6 วัน และมีความเข้มของน้ำฝนมากกว่า 40 มิลลิเมตร/วัน ขึ้นไป ซึ่งตำแหน่งที่ 3-2554-HS จังหวัดลำปาง และ 6-2554-HS จังหวัดเชียงราย แสดงมีการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกับแนวเส้นตรง เมื่อหาค่าเฉลี่ยของความเข้มน้ำฝนมีค่าเท่ากับ 26 มิลลิเมตร/วัน และค่าเฉลี่ยระยะเวลาฝนตกเท่ากับ 7 วัน มีค่า R-Squared ของข้อมูลดินถล่มในอดีตปีพ.ศ. 2554 เท่ากับ 0.467 หรือร้อยละ 46 แสดงว่าความเข้มของน้ำฝนและระยะเวลาฝนตกมีความสัมพันธ์กันที่จะนำไปใช้ในการหาความน่าจะเป็นในการศึกษาขั้นตอนต่อไป



ภาพ 40 กราฟความสัมพันธ์ของความเข้มฝนของน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก

#### 4. เกณฑ์ความสัมพันธ์ปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาที่ฝนตก (A-D)

เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและระยะเวลาฝนตก พบว่าดินถล่มในปี พ.ศ. 2554 โดยตำแหน่ง 5-2554-HS จังหวัดแม่ฮ่องสอน กับตำแหน่งที่ 2-2554-VHS (1) จังหวัดลำปาง พบว่า ทั้ง 2 ตำแหน่ง ปริมาณน้ำฝนสะสมมากกว่า 230 มิลลิเมตรขึ้นไป แสดงดังภาพที่ 41 มีการกระจายตัวที่ไม่เกาะกลุ่มและไม่ใกล้เคียงกับเส้นตรง และตำแหน่งที่ 3-2554-HS จังหวัดลำปาง มีการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกับแนวเส้นตรงมากที่สุด เมื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนสะสมเท่ากับ 152 มิลลิเมตร และค่าเฉลี่ยระยะเวลาฝนตกเท่ากับ 7 วัน มีค่า R-Squared ของข้อมูลดินถล่มในอดีตปีพ.ศ. 2554 เท่ากับ 0.455 หรือร้อยละ 45 สามารถนำค่าไปวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่ทำให้เกิดดินถล่มในขั้นตอนต่อไปได้



ภาพ 41 ความสัมพันธ์ปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาที่ฝนตก

#### 4.4 ผลการศึกษาของรูปแบบฝนโดยการใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นเบย์เซียน

แบบจำลองความน่าจะเป็นเบย์เซียนแบบสองมิติประเมินความน่าจะเป็นตามเงื่อนไขของเหตุการณ์ที่กำหนดให้เกิดร่วมกันสองตัวแปร เพื่อใช้ในคำนวณค่าความน่าจะเป็นแบบเบย์ในรูปแบบสองมิติ แบบจำลองความน่าจะเป็นถูกรวบรวมข้อมูลอย่างละเอียด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลาที่ยาวนานในอดีต ดังนั้นทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันใน 10 ปีย้อนหลัง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 - พ.ศ. 2555 แม้ว่าข้อมูลเหตุการณ์ดินถล่มจะถูกรวบรวมเช่นเดียวกับข้อมูลปริมาณฝนแต่ไม่สามารถใช้ได้ทั้งหมด ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงใช้ข้อมูลดินถล่มในปี พ.ศ. 2554 การเลือกใช้ข้อมูลสำหรับการคำนวณพารามิเตอร์ของความน่าจะเป็นได้ความน่าจะเป็นแบบเบย์สองมิติ เหตุการณ์ฝนตกรายวันที่ถูกบันทึกในเดือนพฤษภาคมจนถึงแต่ละวันที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่ม ในปี พ.ศ. 2554 มีจำนวน 171 เหตุการณ์ และมีเหตุการณ์ดินถล่มจำนวน 11 เหตุการณ์ โดยพบว่าระยะเวลาฝนตกที่สั้นที่สุดคือ 3 วัน/เหตุการณ์ และเวลาที่ยาวนานที่สุดคือ 17 วัน/เหตุการณ์ จากการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ของข้อมูลรูปแบบฝน เพื่อใช้ประเมินความน่าจะเป็นจากทั้ง 2 ความสัมพันธ์ คือ ความเข้มฝนของน้ำฝนเท่ากับ 26 มิลลิเมตร/วัน ปริมาณน้ำฝนสะสมเท่ากับ 152 มิลลิเมตร และระยะเวลาฝนตกเท่ากับ 7 วัน โดยแบ่งข้อมูลในการหาค่าความน่าจะเป็นของการเกิดดินถล่มจากทั้ง 2 ความสัมพันธ์ ได้แก่

การแบ่งช่วงความสัมพันธ์ของความเข้มน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก

- 1) ความเข้มน้ำฝน  $\leq 26$  มม./วัน และ ระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน
- 2) ความเข้มน้ำฝน  $\leq 26$  มม./วัน และ ระยะเวลาฝนตก  $> 7$  วัน
- 3) ความเข้มน้ำฝน  $> 26$  มม./วัน และ ระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน
- 4) ความเข้มน้ำฝน  $> 26$  มม./วัน และ ระยะเวลาฝนตก  $> 7$  วัน

การแบ่งช่วงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตก

- 1) ปริมาณน้ำฝนสะสม  $\leq 152$  มม. และ ระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน
- 2) ปริมาณน้ำฝนสะสม  $\leq 152$  มม. และ ระยะเวลาฝนตก  $> 7$  วัน
- 3) ปริมาณน้ำฝนสะสม  $> 152$  มม. และ ระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน
- 4) ปริมาณน้ำฝนสะสม  $> 152$  มม. และ ระยะเวลาฝนตก  $> 7$  วัน

4.4.1 ความน่าจะเป็นของความเข้มข้นของน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก

ตาราง 20 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นน้ำฝนกับระยะเวลาฝนที่ส่งผลให้เกิดดินถล่ม

ช่วงความเข้มข้นของน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก	จำนวนดินถล่มในแต่ละช่วง	จำนวนของความล้มเหลว I-D ในแต่ละช่วงที่ไม่ส่งผลให้เกิดดินถล่ม	จำนวนของความล้มเหลว I-D ในแต่ละช่วงที่ส่งผลให้เกิดดินถล่ม	จำนวนดินถล่มทั้งหมด	จำนวนเหตุการณ์ฝนทั้งหมด
$I \leq 26$ มม./วัน และ $D \leq 7$ วัน	4	66	70		
$I \leq 26$ มม./วัน และ $D > 7$ วัน	4	56	60		
$I > 26$ มม./วัน และ $D \leq 7$ วัน	3	38	41	11	171
$I > 26$ มม./วัน และ $D > 7$ วัน	0	0	0		
ผลรวม	11	160	171		

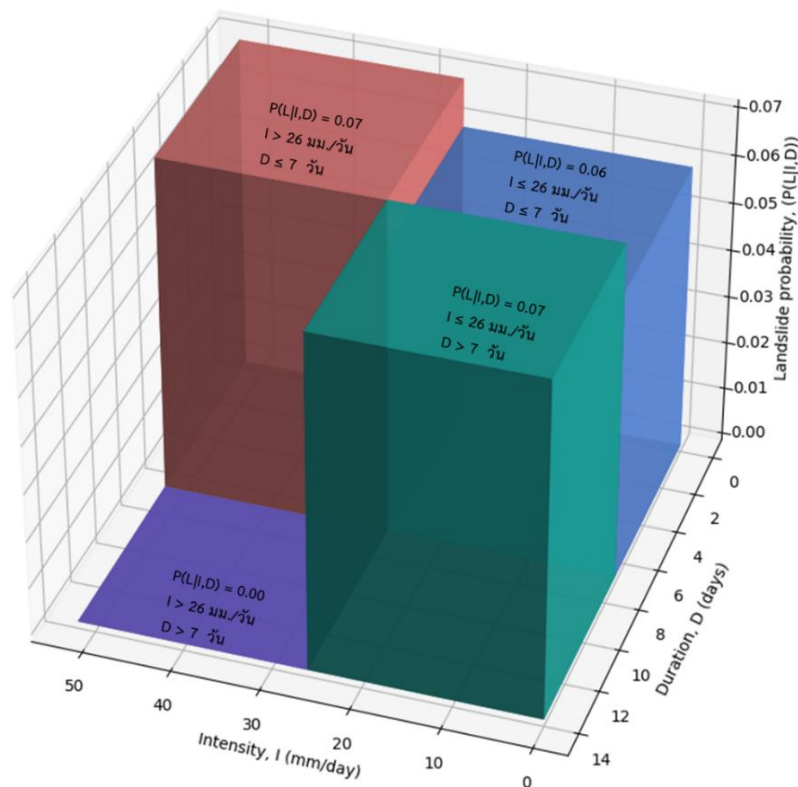
ตาราง 21 ความน่าจะเป็นของความเข้มข้นของน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก

ช่วงความเข้มข้นของน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก	P(I D)	P(I, D I)	P(L)	P(L , D)
$I \leq 26$ มม./วัน และ $D \leq 7$ วัน	0.41	0.36	0.06	0.06
$I \leq 26$ มม./วัน และ $D > 7$ วัน	0.35	0.36	0.06	0.07
$I > 26$ มม./วัน และ $D \leq 7$ วัน	0.24	0.27	0.06	0.07
$I > 26$ มม./วัน และ $D > 7$ วัน	0.00	0.00	0.06	0.00



จากการแบ่งช่วงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก ดังตาราง 20 พบว่า เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในแต่ละช่วงที่ส่งผลให้เกิดดินถล่มที่เกิดขึ้นสูงสุด 4 ตำแหน่ง ในช่วงความเข้มข้นน้ำฝน  $\leq 26$  มม./วัน และ ระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน ทั้งนี้ช่วงความเข้มข้นน้ำฝน  $\leq 26$  มม./วัน และ ระยะเวลาฝนตก  $> 7$  วัน ถัดมาพบในช่วงความเข้มข้นน้ำฝน  $> 26$  มม./วัน และระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน เท่ากับ 3 เหตุการณ์ ตามลำดับ และไม่พบการเกิดดินถล่มในช่วงความเข้มข้นน้ำฝน  $> 26$  มม./วัน และ ระยะเวลาฝนตก  $> 7$  วัน

ความน่าจะเป็นที่เกิดดินถล่มจากความสัมพันธ์ความเข้มข้นน้ำฝนและระยะเวลาฝนตก ตาราง 21 และ ดังภาพ 42 พบว่าความน่าจะเป็นของความเข้มข้นน้ำฝนและระยะเวลาฝนตกในช่วงความเข้มข้นน้ำฝน  $\leq 26$  มม./วัน และ ระยะเวลาฝนตก  $> 7$  วัน และช่วงความเข้มข้นน้ำฝน  $> 26$  มม./วัน และระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน มีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.07 หรือคิดเป็นร้อยละ 7 และในช่วงความเข้มข้นน้ำฝน  $\leq 26$  มม./วัน และ ระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน มีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.06 หรือร้อยละ 6 ที่จะส่งผลให้เกิดดินถล่ม



ภาพ 42 ความน่าจะเป็นของความเข้มข้นน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก

**ตาราง 22** ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตกที่ส่งผลให้เกิดดินถล่ม

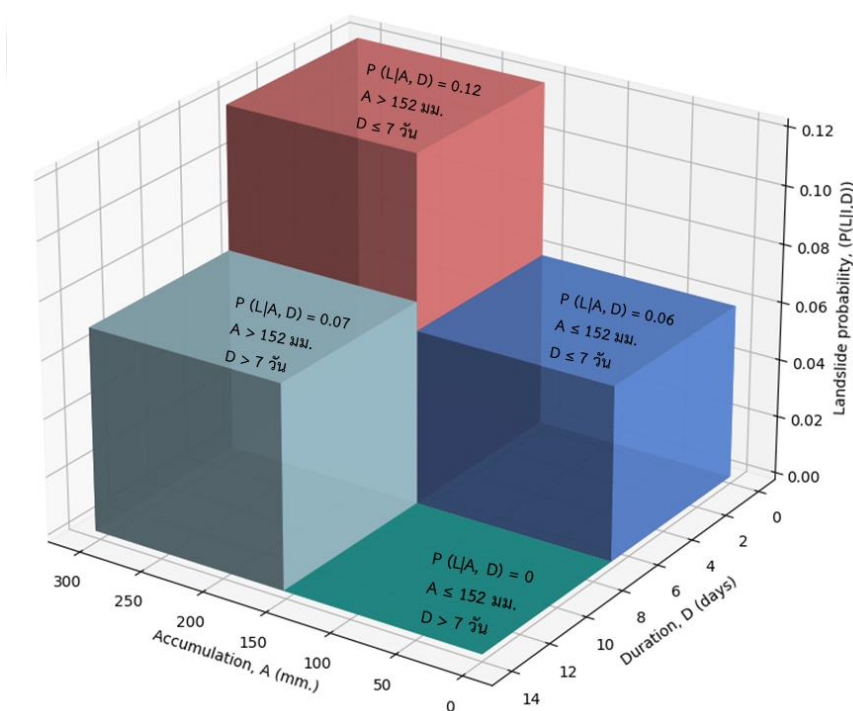
ช่วงปริมาณน้ำฝนสะสม กับระยะเวลาฝนตก	จำนวน ดินถล่มใน แต่ละช่วง	จำนวนของความสัมพัทธ์ A-D ในแต่ละช่วงที่ไม่ส่งผลให้เกิดดิน ถล่ม	จำนวนของความสัมพัทธ์ A-D ในแต่ละช่วงที่ส่งผลให้เกิด ดินถล่ม	จำนวนของความสัมพัทธ์ A-D ในแต่ละช่วงที่ส่งผลให้ เกิดดินถล่ม	จำนวนดิน ถล่มทั้งหมด	จำนวน เหตุการณ์ ฝนทั้งหมด
A ≤ 152 มม. และ D ≤ 7 วัน	6	98	104	104	0	171
A ≤ 152 มม. และ D > 7 วัน	0	0	0	0	11	171
A > 152 มม. และ D ≤ 7 วัน	2	22	24	24	0	171
A > 152 มม. และ D > 7 วัน	3	40	43	43	0	171
Sum	11	160	171	171	0	171

**ตาราง 23** ความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตก

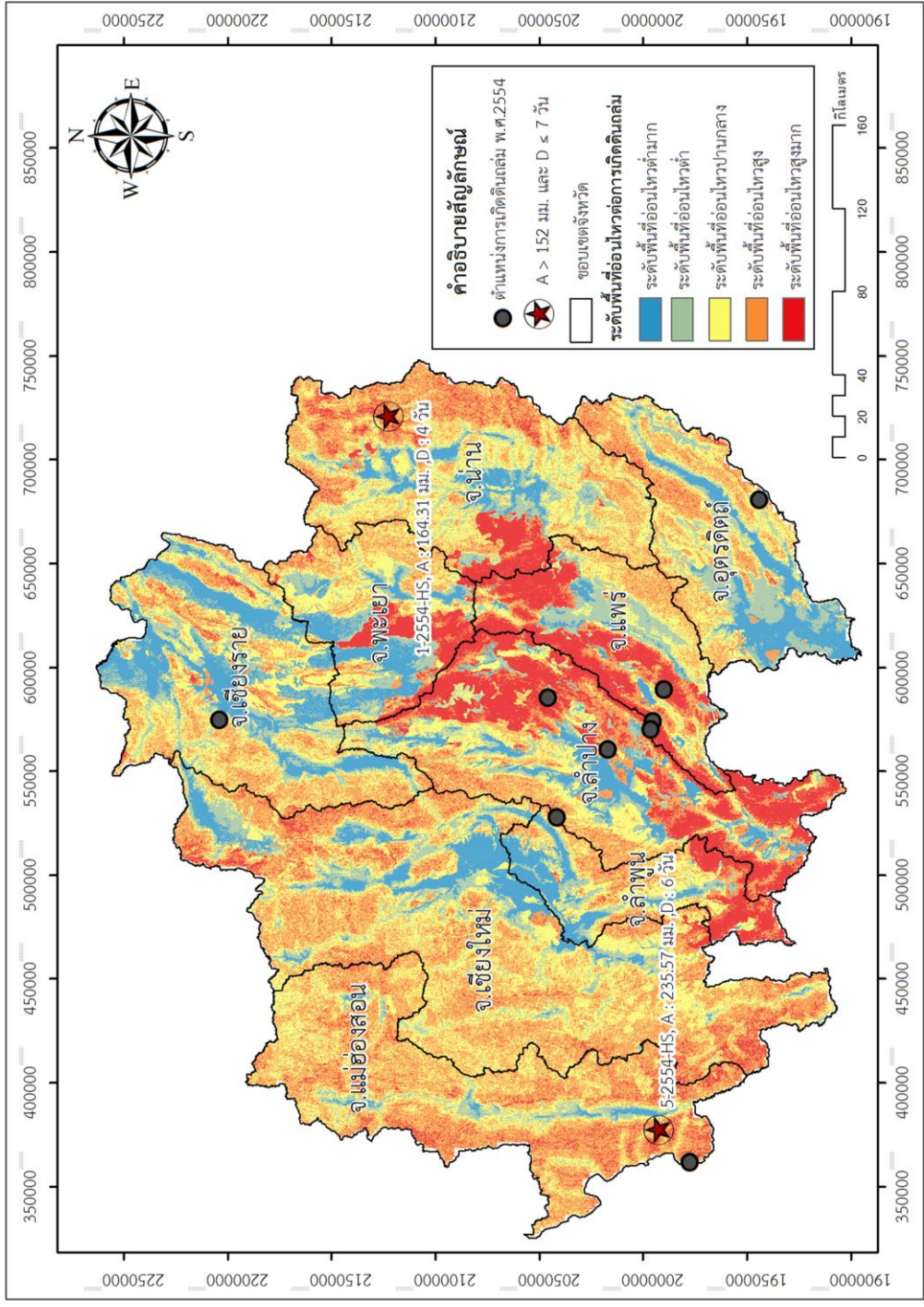
ช่วงปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตก	P(A D)	P (A, D L)	P (L)	P (L A, D)
A ≤ 152 มม. และ D ≤ 7 วัน	0.61	0.45	0.06	0.06
A ≤ 152 มม. และ D > 7 วัน	0.00	0.00	0.00	0.00
A > 152 มม. และ D ≤ 7 วัน	0.14	0.18	0.06	0.12
A > 152 มม. และ D > 7 วัน	0.25	0.27	0.06	0.07

จากการแบ่งช่วงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตกที่ส่งผลให้เกิดดินถล่มดังตาราง 22 พบว่า เหตุการณ์ดินถล่มที่เกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 6 เหตุการณ์ ในช่วงปริมาณน้ำฝนสะสม  $\leq 152$  มม. และระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน ถัดมาในช่วงปริมาณน้ำฝนสะสม  $> 152$  มม. และระยะเวลาฝนตก  $> 7$  วัน, ปริมาณน้ำฝนสะสม  $> 152$  มม. และระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน, พบดินถล่มเท่ากับ 3 และ 2 เหตุการณ์ตามลำดับ และไม่ปรากฏเหตุการณ์เกิดดินถล่มในช่วงปริมาณน้ำฝนสะสม  $\leq 152$  มม. และ ระยะเวลาฝนตก  $> 7$  วัน

ความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตก แสดงดังตาราง 23 และภาพ 43 ความสัมพันธ์ทั้ง 4 ช่วง กลับพบว่าในช่วงปริมาณน้ำฝนสะสม  $> 152$  มม. และ ระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน มีความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 0.12 หรือร้อยละ 12 ที่มีโอกาสจะส่งผลให้เกิดดินถล่ม แสดงดังภาพ 44 ถัดมาในช่วงปริมาณน้ำฝนสะสม  $> 152$  มม. และระยะเวลาฝนตก  $> 7$  วัน มีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.07 หรือร้อยละ 7 ส่วนในช่วงปริมาณน้ำฝนสะสม  $\leq 152$  มม. และระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน มีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.06 หรือร้อยละ 6 ที่อาจส่งผลให้เกิดดินถล่ม



ภาพ 43 ความน่าจะเป็นของปริมาณฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตก



ภาพ 44 แสดงความน่าจะเป็นของตำแหน่งดินถล่มเนื่องจากความสั่นพั่นพื้น

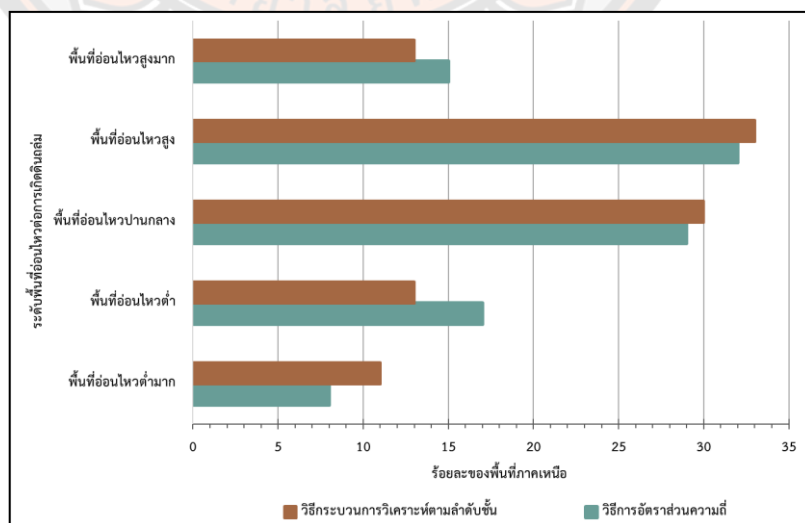
## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 ผลการวิเคราะห์หาพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้วิธีการในการวิเคราะห์ 2 วิธี คือ วิธีการอัตราส่วนความถี่ และ กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น เพื่อการวิเคราะห์พื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยด้วยข้อมูลที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มทั้ง 10 ปัจจัย ได้แก่ ความสูงของพื้นที่ ทิศด้านลาด ค่ามุมความลาดชัน ชนิดของหิน ระยะห่างจากรอยเลื่อน ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ ชนิดของหิน อนุภาคของดิน ปริมาณน้ำฝน ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดัชนีความสมบูรณ์ของพืชพรรณ โดยปัจจัยเหล่านี้ได้ถูกแบ่งค่าน้ำหนักและจัดช่วงชั้นข้อมูล จากนั้นนำมาสร้างแผนที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม พบว่าวิธีอัตราส่วนความถี่ มีขนาดพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดพื้นที่ดินถล่ม ระดับพื้นที่อ่อนไหวสูงคิดเป็นร้อยละ 32 รองลงมาในระดับอ่อนไหวปานกลาง ระดับอ่อนไหวต่ำ และ ระดับอ่อนไหวสูงมาก คิดเป็นร้อยละ 29, 17 และ 15 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาจากวิธีการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น พบว่ามีพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในระดับอ่อนไหวสูงคิดเป็นร้อยละ 33 ถัดมาพื้นที่อ่อนไหวปานกลางคิดเป็นร้อยละ 30 ระดับความอ่อนไหวระดับสูงมาก และความอ่อนไหวระดับต่ำ โดยทั้งสองคิดเป็นร้อยละ 13 (ดังภาพ 45)



ภาพ 45 ร้อยละระดับพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ภาคเหนือ

สำหรับการเปรียบเทียบและตรวจสอบความน่าเชื่อถือการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 2 วิธี โดยใช้ตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอดีตที่ถูกรวบรวมไว้ทั้งหมด 64 ตำแหน่ง พบว่า อัตราส่วนความถี่ ความถูกต้องของค่าอัตราความสำเร็จ มีค่าเท่ากับร้อยละ 57.59 และมีค่าความถูกต้องการทำนาย มีค่าเท่ากับร้อยละ 53.44 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น พบว่ามีความถูกต้องของค่าอัตราความสำเร็จ เท่ากับร้อยละ 59.67 และค่าความถูกต้องการทำนาย เท่ากับร้อยละ 62.56 จากการศึกษาที่สรุปได้ว่า กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น ให้ผลลัพธ์ของค่าความถูกต้องของการทำนายที่ดีกว่าจึงทำให้การศึกษาในขั้นต่อไปเลือกใช้จัดทำแผนที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม และการวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นต่อไป

#### 5.1.2 ผลการศึกษาของรูปแบบฝนโดยการใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นเบย์เซียน

การวิเคราะห์หาพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่ดีที่สุดด้วยวิธีการกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นผู้ศึกษาได้เลือกใช้ข้อมูลการเกิดดินถล่มในอดีตที่แสดงในระดับความอ่อนไหวสูงและสูงมาก โดยแบ่งข้อมูลเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ดินถล่มที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ดินถล่มที่มนุษย์เป็นปัจจัยเร่ง และเหตุการณ์ดินถล่มในปี พ.ศ. 2554 เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละกลุ่ม พบว่า เหตุการณ์ดินถล่มในปี พ.ศ. 2554 เป็นกลุ่มข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการศึกษาปริมาณน้ำฝน 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75, 90 วัน และวิเคราะห์ปริมาณฝนสะสม ระยะเวลาฝนตก และความชื้นของน้ำฝน ของแต่ละตำแหน่งดินถล่มได้

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75, 90 วัน ในตำแหน่งการเกิดดินถล่มปีพ.ศ. 2554 พบว่าเกิดดินถล่มในระดับความอ่อนไหวสูงมากตำแหน่ง 2-2554-VHS(1) มีค่าปริมาณน้ำฝนรายวันเท่ากับ 30.49 มิลลิเมตร แต่พบว่าค่าปริมาณฝนก่อนหน้ามีปริมาณน้ำฝนที่ไม่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เท่ากับ 78.52, 167.27, 235.24, 318.32, 469.55, 596.43, 668.30 และ 817.07 มิลลิเมตร ตามลำดับ และตำแหน่ง 5-2554-HS มีค่าปริมาณฝนรายวันที่เกิดดินถล่มเท่ากับ 8 มิลลิเมตร มีค่าปริมาณฝนก่อนหน้าที่มีปริมาณมากที่สุดและเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเกิดเหตุการณ์ดินถล่ม มีค่าปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 227.57, 247.12, 300.22, 446.05, 571.67, 674.48, 779.39 และ 943.27 มิลลิเมตร ตามลำดับ ถัดมาในตำแหน่งที่ 3-2554-VHS มีค่าปริมาณฝนรายวันเท่ากับ 2.42 มิลลิเมตร และพบว่าปริมาณฝนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกันแต่ลดลงในวันที่เกิดดินถล่ม เท่ากับ 79.96, 199.50, 240.74, 331.95, 500.49, 616.20, 754.28 และ 885.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ

นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์รูปแบบฝนแต่ละตำแหน่งการเกิดดินถล่ม พบว่า ตำแหน่ง 2-2554-VHS (1) จังหวัดลำปาง มีระยะเวลาฝนตกยาวนานที่สุดเท่ากับ 17 มีปริมาณน้ำฝนสะสมเท่ากับ 235.57 มิลลิเมตร ซึ่งในทางตรงข้ามกันกลับพบความเข้มข้นน้ำฝนน้อยเท่ากับ 16.36 และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นน้ำฝนสูงสุดกลับพบว่าในตำแหน่ง 1-2554-VHS จังหวัดแม่ฮ่องสอน เท่ากับ 47.30 มิลลิเมตร/วัน ใช้ระยะเวลาฝนตกสั้นที่สุดเพียง 3 วัน มีปริมาณน้ำฝนสะสม 141.90 มิลลิเมตร และในตำแหน่ง 1-2554-HS จังหวัดน่าน มีความเข้มข้นน้ำฝนเท่ากับ 41.08 มิลลิเมตร/วัน ปริมาณน้ำฝนสะสม 164.31 มิลลิเมตร ใช้ระยะเวลาฝนตก 4 วัน

ผลจากการวิเคราะห์จากทั้ง 2 ความสัมพันธ์ในข้างต้นนั้น เมื่อวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียนสองมิติ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของรูปแบบฝน ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนสะสม เท่ากับ 152 มิลลิเมตร ระยะเวลาฝนตกเท่ากับ 7 วัน และความเข้มข้นปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 26 มิลลิเมตร/วัน พบว่าความน่าจะเป็นระหว่างความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตกที่ส่งผลให้เกิดดินถล่มสามารถสรุปได้ว่า ในพื้นที่ศึกษาครั้งนี้มีค่าความน่าจะเป็นของการเกิดดินถล่มจากค่าความสัมพันธ์ ปริมาณน้ำฝนสะสมและระยะเวลาฝนตก ในช่วงปริมาณน้ำฝนสะสม  $> 152$  มม. และระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน มีความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 0.12 หรือร้อยละ 12

## 5.2 อภิปรายผล

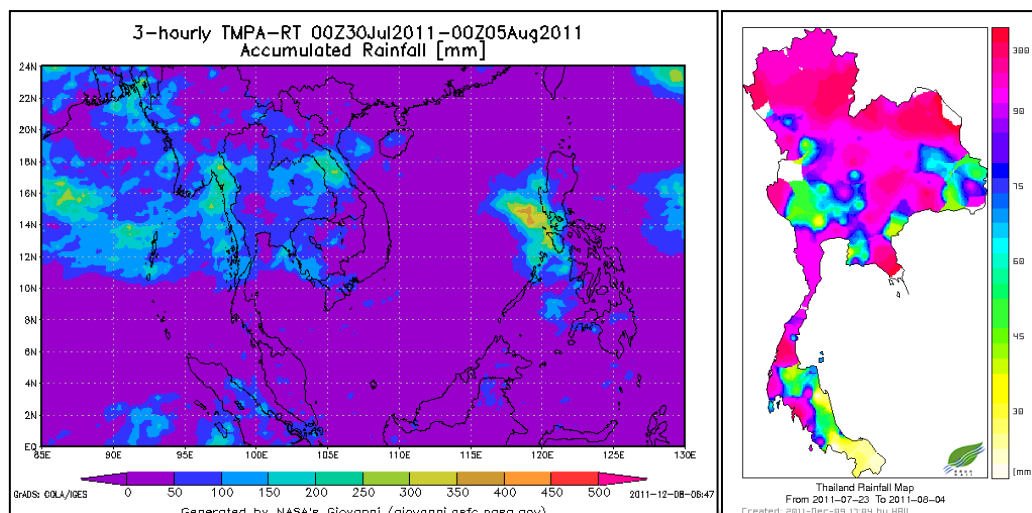
ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาและเปรียบเทียบการวิเคราะห์วิธีอัตราส่วนความถี่ และกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นที่ใช้ในการสร้างแผนที่ระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ภาคเหนือ เปรียบเทียบและตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองของทั้ง 2 วิธี โดยใช้วิธีพื้นที่ได้กราฟ เพื่อเลือกใช้แผนที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่มีความน่าเชื่อถือสูงสุด พบว่าการวิเคราะห์พื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น มีค่าความถูกต้องการทำนายสูงสุด เท่ากับร้อยละ 62.56 โดยพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ คือ ปริมาณน้ำฝน เนื่องจากปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยสูงสุดที่ส่งผลให้เกิดดินถล่ม โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ย 10 ปี ช่วงปีพ.ศ. 2545-พ.ศ. 2555 สอดคล้องกับสถิติพายุหมุนเขตร้อนเคลื่อนผ่านภาคเหนือของประเทศไทย พ.ศ. 2497 - พ.ศ. 2555 ในระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน รวมทั้งหมด 72 ครั้ง (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2562) รองลงมา คือ ชนิดหิน พบว่า หินแกรนิต มีโอกาสการเกิดดินถล่มสูง (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) ถัดมาคือ ค่ามุมความลาดชัน ส่วนใหญ่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นทิวเขาสูง มีความลาดชันมาก และพื้นที่มีระดับความสูงมากกว่าภาคอื่นๆ ครอบคลุมพื้นที่บริเวณจังหวัดเชียงราย จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดพะเยา จังหวัดเชียงใหม่

จังหวัดลำพูน จังหวัดลำปาง จังหวัดน่าน จังหวัดแพร่ และจังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ในการศึกษาระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มระดับความอ่อนไหวสูงและสูงมากส่วนใหญ่ พบในบริเวณจังหวัดลำปาง จังหวัดแพร่ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน และจังหวัดน่าน ซึ่งมีการอ้างอิงและปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนักของพื้นที่แม่แจ่มตอนล่าง (Intarawichian, 2008) ส่งผลให้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นให้ค่าความถูกต้องของการทำนายสูงสุดเท่ากับ 84.82% พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดดินถล่ม คือ ปริมาณน้ำฝน ชนิดหิน และระยะห่างจากรอยเลื่อน ซึ่งการใช้ข้อมูลของปริมาณน้ำฝนที่แตกต่างกันในการศึกษารังนี้ใช้ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ย 10 ปี ที่ได้จากดาวเทียม TRMM แต่พื้นที่แม่แจ่มได้จากการตรวจวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน ซึ่งการประมาณค่าฝนที่ได้จากดาวเทียม TRMM มีค่าความถูกต้องและครอบคลุมเชิงพื้นที่ได้ดีกว่า เนื่องจากเป็นข้อมูลปริมาณน้ำฝนของแต่ละตำแหน่งของการเกิดดินถล่ม ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลดินถล่ม 64 เหตุการณ์ ในขณะที่พื้นที่แม่แจ่มตอนล่างใช้ข้อมูลการเกิดดินถล่มที่ได้จากการแปลภาพถ่ายความละเอียดสูง และลงพื้นที่ตรวจสอบมีตำแหน่งดินถล่มทั้งหมด 101 เหตุการณ์ และยังสอดคล้องกับอีกหลายงานวิจัยที่ พบว่าการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นใช้วิเคราะห์ร่วมกับเครื่องมือการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ที่มีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ สามารถนำไปในการสร้างแผนที่ความอ่อนไหวและใช้ประโยชน์ได้ (Abay, 2019 ; Moradi, 2012; Althuwaynee, 2014; Boroumandi, 2015)

ทั้งนี้การวิเคราะห์ผลวิธีอัตราส่วนความถี่ พบค่าความถูกต้องของการทำนายสูงสุดเท่ากับร้อยละ 53.44 เนื่องจากการเลือกใช้ปัจจัยทางกายภาพ รวมถึงการแบ่งช่วงชั้นของแต่ละปัจจัยซึ่งแตกต่างจากงานของ (Anucharn, 2015) ที่ได้ศึกษาในพื้นที่บริเวณเขาพนมเบญจา จังหวัดกระบี่ วิธีอัตราส่วนให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดเท่ากับ 93.98% ข้อดีของการศึกษาในครั้งนี้ มีการวิเคราะห์พื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มได้ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างและมีค่าความถูกต้องของแบบจำลอง สามารถนำไปใช้ในการศึกษาขั้นต่อไปได้ เมื่อลงพื้นที่สำรวจความถูกต้องจากตำแหน่งการเกิดดินถล่มในอดีตในวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2554 ตำแหน่ง 2-2554 (1) ตำบลวังเงิน อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง จำนวน 2 ตำแหน่ง และทำการสอบถามชาวบ้านในพื้นที่พบว่าในวันที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2562 มีเหตุการณ์ดินถล่มขนาดใหญ่เกิดขึ้น 1 เหตุการณ์ (ดังภาพ 48, ภาคผนวก ข)



เมื่อตรวจสอบตำแหน่งการลงพื้นที่กับปัจจัยกายภาพที่ใช้ศึกษาที่พบว่า ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่มีค่าเท่ากับ 1,400 – 1,600 มิลลิเมตร/ปี ชนิดหิน คือ หินแกรนิต และหินอัคนี การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลดินถล่มในปีพ.ศ. 2554 และข้อมูลปริมาณฝนรายวัน (มม./วัน) ในช่วงเวลาเดียวกันกับการเกิดดินถล่ม โดยใช้แบบจำลองความน่าจะเป็นเบย์เซียน ในพื้นที่ที่มีระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มสูงและสูงมาก พบว่าในช่วงปริมาณน้ำฝนสะสม > 152 มม. และระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน มีความน่าจะเป็นสูงสุดเท่ากับ 0.12 หรือร้อยละ 12 เป็นช่วงความน่าจะเป็นสูงที่สุดในการศึกษาความน่าจะเป็นของการเกิดดินถล่มเนื่องจากเหตุการณ์ฝน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุทธิศักดิ์ ศรีลัมภ์ และธีรไนย์ น้อยมาก (2556) ที่ได้จากการวิเคราะห์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าเหตุการณ์ฝนตกมีความสัมพันธ์กับร่องแนวมรสุม ปริมาณฝนรายวันและปริมาณฝนสะสม 3 วัน มีปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 200 มิลลิเมตรขึ้นไป อีกทั้งยังมีการศึกษาเกณฑ์การเตือนภัยพื้นที่เสี่ยงดินถล่มด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีการตรวจวัดน้ำฝนภาคพื้นดินในประเทศไทย โดยสันติ ไทยยืนวงษ์ และคณะ (2556) พบว่า พื้นที่ภาคเหนือใช้ปริมาณน้ำฝนที่คาบเวลา 4 วัน ในการติดตามและเฝ้าระวังภัยดินถล่ม โดยแบ่งปริมาณน้ำฝนก่อนหน้า 3 วัน ในการศึกษาครั้งนี้เมื่อได้ลงพื้นที่ตำแหน่ง 2-2554 (1) ตำบลวังเงิน อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง มีค่าปริมาณน้ำฝนสะสมเท่ากับ 278.11 มิลลิเมตร และจากการสอบถามชาวบ้านที่ได้รับความเสียหายจากดินถล่ม พบว่า มีฝนตกอย่างต่อเนื่องในพื้นที่จนกระทั่งวันที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่ม เมื่อพิจารณารูปแบบฝนปีพ.ศ. 2554 ด้วยข้อมูลน้ำฝนรายวันจาก TRMM พบว่าตำแหน่ง 2-2554-VHS (1) พบว่ามีปริมาณฝนรายวันสูงสุดและมีระยะเวลาฝนตกยาวนานที่สุดถัดมาในตำแหน่งที่ 5-2554-HS ตำบลแม่ยม อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน วันที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่ม 4 สิงหาคม พ.ศ. 2554 มีความสอดคล้องกับประกาศให้จังหวัดลำปางและแม่ฮ่องสอนเป็นพื้นที่ประสบภัยพิบัติกรณีสถานการณ์อุทกภัยเนื่องจากพายุโซนร้อน “นกเตน” (NOCK - TEN) และร่องมรสุมกำลังแรงพาดผ่านภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แสดงดังภาพ 46 (บันทึกเหตุการณ์มหาอุทกภัยปี,2554)



ภาพ 46 พายุโซนร้อน “นกเตน”

เช่นเดียวกับ Robbins (2016) ได้ใช้ข้อมูลฝนรายวัน (มม./วัน) จากดาวเทียม TRMM และใช้วิเคราะห์หาความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียนเช่นเดียวกัน ในการศึกษาลักษณะและความสัมพันธ์ของฝนที่มีผลต่อการเกิดดินถล่มในประเทศปาปัวนิวกินี โดยใช้ปริมาณน้ำฝนสะสมกับระยะเวลาฝนตก และความชื้นฝนกับระยะเวลาฝนตก ซึ่งพบว่า ในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการเกิดดินถล่มในประเทศปาปัวนิวกินี สามารถใช้เป็นเกณฑ์ปริมาณฝนสะสมที่มากกว่า 250 มิลลิเมตร และระยะเวลาน้อยกว่า 15 วัน ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงดินถล่มในระดับกลาง และถ้าหากมีปริมาณฝนสะสมมากกว่า 1,200 มิลลิเมตร และระยะเวลามากกว่า 75 วัน ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงดินถล่มระดับสูง เนื่องจากสภาพภูมิประเทศเป็นเกาะและชายฝั่ง ส่งผลให้มีอิทธิพลขนาดใหญ่มากระแสมลในภูมิภาคที่หลายหลายทำให้มีปริมาณฝนที่แตกต่างกับการศึกษาในครั้งนี้ นอกจากนี้ Ya'acob et al., (2018) พบว่า เกณฑ์ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการข้อมูล TRMM มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าค่าที่ได้จากการข้อมูลปริมาณน้ำฝนภาคพื้นดิน แต่เกณฑ์ปริมาณน้ำฝนจาก TRMM สามารถนำมาทำนายโอกาสการเกิดดินถล่มได้ ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ปริมาณฝนรายวัน (มม./วัน) แตกต่างกับการศึกษาของ Do et al., (2018) ที่ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมง (มม./ชั่วโมง) โดยคำนวณเงื่อนไขความน่าจะเป็นแบบเบย์เซียนกรณีสองมิติระหว่างความชื้นของฝนและระยะเวลาฝนตก พบว่าความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่เมืองท่าซางและบริเวณโดยรอบประเทศเวียดนาม ในช่วงความชื้นของฝนมากกว่า 40 มม. และมีระยะเวลาฝนตกมากกว่า 0.3 วัน โดยพบว่ามีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.67 หรือร้อยละ 67 ซึ่งสามารถใช้เป็นเกณฑ์ที่ส่งผลให้เกิดดินถล่มได้ถึง แม้การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ไม่ได้มีการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลฝนภาคพื้นดินกับข้อมูลฝนจากดาวเทียม TRMM แต่ยังมีการศึกษาในพื้นที่คาบสมุทรอินโดจีน ของ Mahavik & Tantane (2018) โดยใช้ข้อมูลผลิตภัณฑ์ TRMM3B42 แสดงการ

ตรวจจับฝนในฤดูฝนได้ดีกว่าฤดูแล้ง และมีความสัมพันธ์ข้อมูลเชิงพื้นที่ของฝนภาคพื้นดินอีกด้วย โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาความน่าจะเป็นโดยใช้ข้อมูลตำแหน่งดินถล่มในอดีตที่ทราบวันที่เกิดเหตุการณ์อย่างแน่นอน และใช้ข้อมูลฝนประมาณค่าปริมาณน้ำฝนรายวันจากดาวเทียม TRMM ส่งผลให้มีความแม่นยำของปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการวิเคราะห์ของแต่ละตำแหน่งการเกิดดินถล่มมากยิ่งขึ้น อีกทั้งการใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้จากดาวเทียม TRMM นั้น สามารถลดทอนข้อจำกัดเชิงพื้นที่ของข้อมูลปริมาณฝนสถานีภาคพื้นดินของพื้นที่ภาคเหนือ ประเทศไทยได้

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. แผนที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มจากกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นสามารถใช้เปรียบเทียบกับแผนที่จากหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อเตรียมการเฝ้าระวังการเกิดดินถล่มได้
2. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาความน่าจะเป็นของรูปแบบฝนจากข้อมูลฝนจาก TRMM ต่อการเกิดดินถล่ม ในช่วงปริมาณน้ำฝนสะสม  $> 152$  มม. และระยะเวลาฝนตก  $\leq 7$  วัน หากต้องการนำไปใช้เฝ้าระวังการเกิดดินถล่มจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยอื่น ๆ ในพื้นที่นั้นด้วย เช่น สภาพภูมิประเทศ ชนิดหิน เป็นต้น ซึ่งจะต้องศึกษาอย่างละเอียดต่อไป
3. การศึกษานี้ไม่ได้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างพื้นที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มที่วิเคราะห์ด้วยปริมาณน้ำฝนจาก TRMM กับปริมาณน้ำฝนภาคพื้นดิน
4. การศึกษาครั้งหน้าควรทดลองใช้ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญ ที่มีค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษามากที่สุด
5. การศึกษาในอนาคตควรใช้ข้อมูลดินถล่มที่ได้จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียมหรือข้อมูลที่มีความละเอียดสูง เพื่อปรับปรุงความแม่นยำของการตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่ม

# บรรณานุกรม



## บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี. (2554). **แผนที่เสี่ยงภัยดินถล่มระดับชุมชน จังหวัดน่าน**. กรุงเทพฯ: รายงานฉบับสมบูรณ์.
- กรมธรณีวิทยาและศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก. (2549). **โครงการศึกษาหาแนวทางป้องกันและลดผลกระทบจากภัยดินถล่ม**. กรุงเทพฯ: รายงานฉบับสมบูรณ์.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2544). **ภัยธรรมชาติในประเทศไทย**. เรียกใช้เมื่อ 18 มิถุนายน 2562 จาก <https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=23>
- กิจการ พรหมมา. (2530). **ธรณีวิทยาสำหรับวิศวกร**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คลังข้อมูลน้ำแห่งชาติ. (15 พฤศจิกายน 2563). **“บันทึกเหตุการณ์มหาอุทกภัยปี 2554”**. เข้าถึงได้จาก <http://tiwrmdev.haii.or.th/current/menu.html>
- ฐานข้อมูลเพื่อการรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย. (17 มิถุนายน 2562). **ข้อมูลชี้วัด “จำนวนครั้งที่เกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติธรรมชาติ”**. เข้าถึงได้จาก [http://www.onep.go.th/env\\_data/2016/01\\_76/](http://www.onep.go.th/env_data/2016/01_76/)
- ภาณุวัฒน์ เขียวสลับ. (2558). **การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมฉับพลันและดินถล่ม บริเวณลุ่มน้ำห้วยแม่สร้อย จังหวัดแพร่ และลุ่มน้ำคลองท่าหน จังหวัดนครศรีธรรมราช**. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา สาขาการจัดการลุ่มน้ำ.
- ภาณุวัฒน์ เขียวสลับ และ ปิยพงษ์ ทองดินอก. (2015). **การประยุกต์ใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการเปรียบเทียบพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่สร้อย จ.แพร่ และลุ่มน้ำคลองท่าหน จ.นครศรีธรรมราช**. วารสารวิจัย มช.(บศ), 15(1), 63-79.
- ภาณุวัฒน์ เขียวสลับ และ ปิยพงษ์ ทองดินอก. (2016). **การประยุกต์ใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการเปรียบเทียบพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยแม่สร้อย จ.แพร่ และลุ่มน้ำคลองท่าหน จ.นครศรีธรรมราช**. วารสารวิจัย มช. (ฉบับบัณฑิตศึกษา) KRU RESEARCH JOURNAL (GRADUATE , 63-79.
- มนตรี ชูวงศ์. (2554). **ธรณีสัณฐานวิทยาพื้นฐาน**. พระนครศรีอยุธยา: เทียนวัฒนาพริ้นท์ติ้ง.

มนันยา จันทศร. (2555). การเปรียบเทียบวิธีการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในพื้นที่  
**ลุ่มน้ำห้วยแม่พูล จังหวัดอุตรดิตถ์**. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
 ภาควิชา อนุรักษ์วิทยา สาขาการจัดการลุ่มน้ำ.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2523). **พจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์ (อังกฤษ-ไทย) ฉบับราชบัณฑิต**.  
 กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดนนทชัย.

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันระดับประเทศ (องค์การมหาชน),. (ม.ป.ป.). เรียกใช้เมื่อ 4 April 2019 จาก  
[https://www.dti.or.th/download/150319174753\\_3ahp4.pdf](https://www.dti.or.th/download/150319174753_3ahp4.pdf)

สันติ ไทยยืนวงษ์, ภูเบศร หนูทิมทอง, วิทวัส เดชมาก, และ สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์. (2556). การเตือนภัย  
**ดินถล่มจากการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ภูเขาทางภาคเหนือของประเทศไทย**. การ  
 ประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18, (หน้า 401-406). เชียงใหม่.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2552). **โครงการศึกษาพฤติกรรมการเกิดน้ำท่วม-ดินถล่มใน  
 พื้นที่ต้นฉบับเพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับเกณฑ์และวิธีการในการเตือนภัย**. กรุงเทพฯ:  
 รายงานฉบับสมบูรณ์.

สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์. (2550). การเตือนภัยดินถล่มโดยอาศัยค่าปริมาณน้ำฝน. ภัยพิบัติที่กำลังรุนแรงขึ้น.  
 สถาบันพัฒนากรมชลประทาน.

สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์, และ ชีร์ไนย์ นุ่มมาก. (2556). **การประเมินเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนเชิงสถิติ สำหรับ  
 เตือนภัยดินถล่ม**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 18, (หน้า 322-330).  
 เชียงใหม่.

อภิสิทธิ์ เอี่ยมหน่อ. (2530). **ธรณีสัณฐานวิทยา**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิชจำกัด.

Abay, A., Barbieri, G., & Woldearegay, K. (2019). **GIS-based Landslide Susceptibility  
 Evaluation Using Analytical Hierarchy Process (AHP) Approach: The Case  
 of Tarmaber District, Ethiopia**. Momona Ethiopian Journal of Science, 11(1),  
 14. doi:10.4314/mejs.v11i1.2

- Abedini, M., & Tulabi, S. (2018). **Assessing LNRF, FR, and AHP models in landslide susceptibility mapping index: a comparative study of Nojian watershed in Lorestan province, Iran.** *Environmental Earth Sciences*, 77(11), 405. doi:10.1007/s12665-018-7524-1
- Abedini, M., Ghasemyan, B., & Rezaei Mogadda.M.H. (2017). **Landslide susceptibility mapping in Bijar city, Kurdistan Province, Iran: a comparative study by logistic regression and AHP models.** *Environmental Earth Sciences*, 76(8), 308. doi:10.1007/s12665-017-6502-3
- Achour, Yacine, Boumezbeur, Abderrahmane, Hadji, Riheb, Chouabbi, Abdelmadjid, Cavaleiro, Victor, & Bendaoud, El Amine. (2017). **Landslide susceptibility mapping using analytic hierarchy process and information value methods along a highway road section in Constantine, Algeria.** *Arabian Journal of Geosciences*, 10(8), 194. doi:10.1007/s12517-017-2980-6
- Aleotti, Pietro. (2004). **A warning system for rainfall-induced shallow failures.** *Engineering Geology*(3-4), 247-265. doi:10.1016/j.enggeo.2004.01.007
- Althuwaynee, Omar F., Asikoglu, Omer, & Eris, Ebru. (2018). **Threshold contour production of rainfall intensity that induces landslides in susceptible regions of northern Turkey.** *Landslides*, 18(5), 1541-1560.
- Althuwaynee, Omar F., Pradhan, Biswajeet, & Lee, Saro. (2016). **A novel integrated model for assessing landslide susceptibility mapping using CHAID and AHP pair-wise comparison.** *International Journal of Remote Sensing*, 37(5), 1190-1209. doi:10.1080/01431161.2016.1148282

- Althuwaynee, Omar F., Pradhan, Biswajeet, Park, Hyuck-Jin, & Lee, Jung Hyun. (2013). **A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping.** *Catena*, 114, 21-36. Retrieved 8 28, 2013
- Anbalagan, R. (1992). **Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain.** *Engineering Geology*, 269-277.
- Basu, Tirthankar, & Pal, Swades. (2017). **Exploring landslide susceptible zones by analytic hierarchy process (AHP) for the Gish River Basin, West Bengal, India.** *Spatial Information Research*, 25(5), 665-675. doi:10.1007/s41324-017-0134-2
- Berti, M., Martina, M. L. V., Franceschini, S., Pignone, S., Simoni, A., & Pizziolo, M. (2012). **Probabilistic rainfall thresholds for landslide occurrence using a Bayesian approach.** *Geophysical Research: Earth Surface*, 117(F4). doi:10.1029/2012jf002367
- Boroumandi, Mehdi, Khamehchiyan, Mashalah, & Nikoudel, Mohammad Reza. (2015). **Using of Analytic Hierarchy Process for Landslide Hazard Zonation in Zanjan Province, Iran.** *Engineering Geology for Society and Territory*, 2, 951-955. doi:10.1007/978-3-319-09057-3\_165
- Chen, W., Li, Wenping, Chai, Huichan, Hou, Enke, Li, Xiaoqin, & Ding, Xiao. (2015). **GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process (AHP) and certainty factor (CF) models for the Baozhong region of Baoji City, China.** *Environmental Earth Sciences*, 75, 63. doi:10.1007/s12665-015-4795-7



- Daneshvar, M., & Reza, M. (2014). **Landslide susceptibility zonation using analytical hierarchy process and GIS for the Bojnurd region, northeast of Iran.** *Landslides*, 11(6), 1079-1091. doi:10.1007/s10346-013-0458-5
- Diouri, A., Ait Brahim, L., Boustia, M., Jemmah, I. A., El Hamdouni, I., ElMahsani, A., . . . Nounah, A. (2018). **Landslide susceptibility mapping using AHP method and GIS in the peninsula of Tangier (Rif-northern morocco).** *MATEC Web of Conferences*, 02084. doi:10.1051/mateconf/201814902084
- Do, H. M., & Yin, Kun Long. (2018). **Rainfall Threshold Analysis and Bayesian Probability Method for Landslide Initiation Based on Landslides and Rainfall Events in the Past.** *Open Journal of Geology*, 08(07), 674-696. doi:10.4236/ojg.2018.87040
- El Jazouli, Aafaf, Barakat, Ahmed, & Khellouk, Rida. (2019). **GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco).** *Geoenvironmental Disasters*, 6(1), 3.
- Guyot, Jean-Loup, Lavado, Waldo, Tarnavsky, Elena, Manz, Bastian, Onof, Christian, Buytaert, Wouter, & Zulkafli, Zed. (2014). **A Comparative Performance Analysis of TRMM 3B42 (TMPA) Versions 6 and 7 for Hydrological Applications over Andean–Amazon River Basins.** *Hydrometeorology*, 15(2), 581-592. doi:10.1175/jhm-d-13-094.1
- Guzzetti, F. (1998). **Hydrological triggers of diffused.** *Environmental Geology*, 2(35), 79-80.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., & Carrara, A. (2000). **Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy.** *Environ Manage*, 247-263.

- Hasekioğulları, G. D., & Ercanoğlu, Murat. (2012). **A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey)**. *Natural Hazards*, 63(2), 1157-1179. doi:10.1007/s11069-012-0218-1
- Intarawichian, N. (2008). **A COMPARATIVE STUDY OF ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS AND PROBABILITY ANALYSIS FOR LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ZONATION IN LOWER MAE CHAEM WATERSHED, NORTHERN THAILAND**. Doctor of philosophy in Geoinformatics Thesis, Suranaree University, Department of Technology.
- Intarawichian, N., & Dasananda, S. (2011). **Frequency ratio model based landslide susceptibility mapping in lower Mae Chaem watershed, Northern Thailand**. *Environmental Earth Sciences*, 64(8), 2271-2285. doi:10.1007/s12665-011-1055-3
- Jianguo Gao, , & Qiqing Wang,. (2016). **Application of Analytical Hierarchy Process Method for Landslide Susceptibility Mapping Using GIS**. 21, 6615-6627.
- Khan, Hawas, Shafique, Muhammad, Khan, Muhammad A., Bacha, Mian A., Shah, Safer U., & Calligaris, Chiara. (2019). **Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan**. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(1), 11-24. doi:10.1016/j.ejrs.2018.03.004
- KUMAR, R., & R., A. (2016). **Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process (AHP) in Tehri Reservoir Rim Region, Uttarakhand**. *GEOLOGICAL SOCIETY OF INDIA*, 271-286.
- Liu, Zhong, Ostrenga, Dana, Teng, William, & Kempler, Steven. (2012). **Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Precipitation Data and Services for Research and Applications**. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(9), 1317-1325. doi:10.1175/bams-d-11-00152.1

- Mahavik, N., & Tantanee, S. (2018). **Comparison of spatial error structures between TRMM products and Aphrodite over the Indochina Peninsula.** Asian Conference on Remote Sensing 2018, 3, pp. 1754-1763.
- Mallick, Javed, Singh, Ram Karan, AlAwadh, Mohammed A., Islam, Saiful, Khan, Roohul Abad, & Qureshi, Mohamed Noor. (2018). **GIS-based landslide susceptibility evaluation using fuzzy-AHP multi-criteria decision-making techniques in the Abha Watershed, Saudi Arabia.** Environmental Earth Sciences, 77(7), 276. doi:10.1007/s12665-018-7451-1
- Moazzam, Muhammad Farhan Ul, Vansarochana, Anujit, Boonyanuphap, Jaruntorn, Choosumrong, Sittichai, Rahman, Ghani, & Djueyep, Geraud Poueme. (2020). **Spatio-statistical comparative approaches for landslide susceptibility modeling: case of Mae Phun, Uttaradit Province, Thailand.** SN Applied Sciences, 2(3). doi:10.1007/s42452-020-2106-8
- Mondal, Sujit, & Maiti, Ramkrishna. (2014). **Integrating the Analytical Hierarchy Process (AHP) and the frequency ratio (FR) model in landslide susceptibility mapping of Shiv-khola watershed, Darjeeling Himalaya.** International Journal of Disaster Risk Science, 200-212. doi:10.1007/s13753-013-0021-y
- Moradi, M., Bazyar, M. H., & Mohammadi, Z. (2012). **GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping by AHP Method, A Case Study, Dena City, Iran.** Basic and Applied Scientific Research, 2(7), 6715-6732.
- Nahayo, L., Kalisa, Egide, Maniragaba, Abias, & Nshimiyimana, Francois Xavier. (2019). **Comparison of analytical hierarchy process and certain factor models in landslide susceptibility mapping in Rwanda.** Modeling Earth Systems and Environment, 5(3), 885-895. doi:10.1007/s40808-019-00575-1

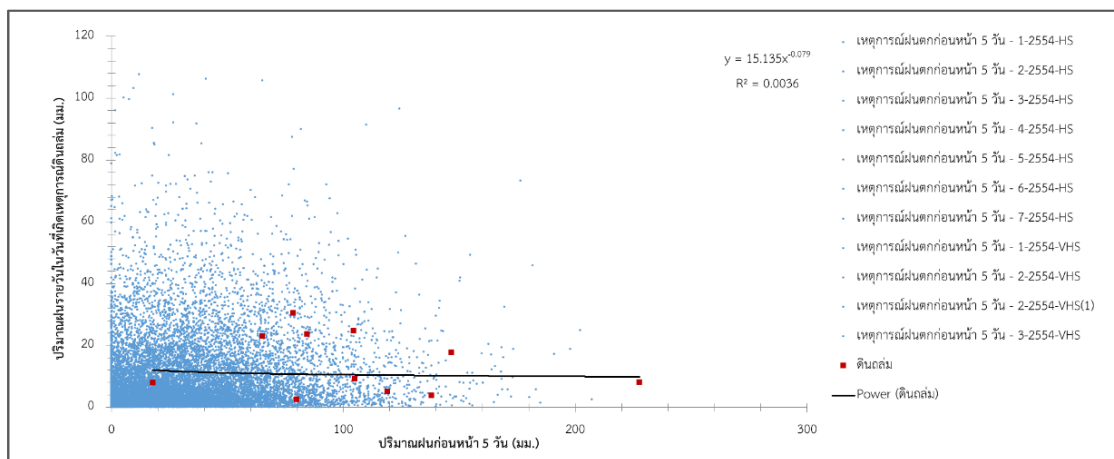
- National Aeronautics and Space Administration. ( 1 7 December 2 0 1 5 ).  
**TRMM3B42 dailyV.7.** เรียกใช้เมื่อ 23 April 2016 จาก April23,2016,from  
<http://mirador.gsfc.nasa.gov>
- Nguyen, T. T. N., & Liu, C. C. (2019). **A New Approach Using AHP to Generate Landslide Susceptibility Maps in the Chen-Yu-Lan Watershed, Taiwan.** *Sensors (Basel)*, 19(3), 773. doi:10.3390/s19030505
- Noorollahi, Y. (2018). **Landslide modelling and susceptibility mapping using AHP and fuzzy approaches.** *International Journal of Hydrology*, 137-148. doi:10.15406/ijh.2018.02.00063
- Phukon, P., Chetia, D., & P., D. (2012). **Landslide Susceptibility Assessment in the Guwahati City, Assam using Analytic Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS).** *Computer Applications in Engineering Sciences*, 2(1).
- Pourghasemi, Hamid Reza, Pradhan, Biswajeet, & Gokceoglu, Candan. ( 2 0 1 2 ).  
**Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran.** *Natural Hazards*, 63(2), 965-996. doi:10.1007/s11069-012-0217-2
- PPM+NASA. (2011). **Instruments.** Retrieved June 17, 2019, from  
<https://pmm.nasa.gov/trmm/trmm-instruments>
- Robbins, J. C. (2016). **A probabilistic approach for assessing landslide-triggering event rainfall in Papua New Guinea, using TRMM satellite precipitation estimates.** *Journal of Hydrology*, 541, 296-309. doi:10.1016/j.jhydrol.
- Saaty, T. (1980). **Analytic Hierarchical Proces.** Retrieved from Statistics Reference Online.

- Seejata, K., Yodying, A., Mahavik, N., Tantanee, S., & Tubtim, W. (2018). **Assessment of flood hazard areas using Analytical Hierarchy Process over the Lower Yom Basin, Sukhothai Province.** *Procedia Engineering*, 212, 340-347.
- Semlali, I., Ouadif, L., & Bahi, L. (2019). **Landslide susceptibility mapping using the analytical hierarchy process and GIS.** *CURRENT SCIENCE*, 116(5), 773-779.
- Shahabi, Himan, Khezri, Saeed, Ahmad, Baharin Bin, & Hashim, Mazlan. (2014). **Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models.** *Catena*, 55-70. doi:10.1016/j.catena.2013.11.014
- Terlien M. T. (1998). **The determination of statistical and deterministic hydrological and deterministic hydrological.** *Environmental geology*, 35 (2-3), 124-130.
- Thidapath Anucharn. (2015). **OPTIMAL LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY AND RISK ANALYSES AT KHAO PHANOM BENCHA, KRABI PROVINCE, THAILAND.** Doctor of Philosophy in Geoinformatics, Suranaree University of Technology.
- United States Geological Survey (USGS). (2004). **Landslide Types and Processes.** Retrieved June 2, 2020, from <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004->
- Wu, Yanli, Li, Wenping, Wang, Qiqing, Liu, Qiangqiang, Yang, Dongdong, Xing, Maolin, . . . Yan, Shishun. (2016). **Landslide susceptibility assessment using frequency ratio, statistical index and certainty factor models for the Gangu County, China.** *Arabian Journal of Geosciences*, 9(2), 84. doi:10.1007/s12517-015-2112-0
- Ya'acob, Norsuzila, Tajudin, Noraisyah, & Azize, Aziean Mohd. (2019). **Rainfall-landslide early warning system (RLEWS) using TRMM precipitation estimates.** *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 13(3), 1259. doi:10.11591/ijeecs.v13.i3.pp1259-1266

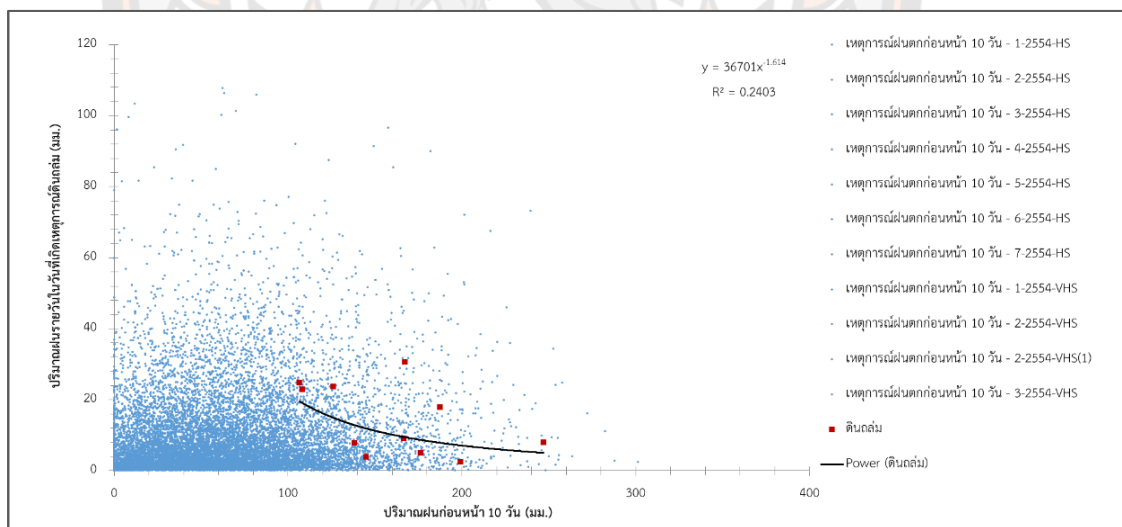
- Ya'acob, Norsuzila, Tajudin, Noraisyah, Yusof, Azita laily, Ali, Darmawaty Mohd, & Sarnin, Suzi Seroja. (2018). **Rainfall thresholds for possible landslide occurrence in Ulu Kelang, Selangor, Malaysia using TRMM satellite precipitation estimates.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 169, 012112. doi:10.1088/1755-1315/169/1/012112
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A. C., & Yomralioglu, T. (2011). **A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey.** Catena, 274-287. doi:10.1016/j.catena.2011.01.014
- Yodying, A., Seejata, K., Chatsudarat, S., Chidburee, P., Mahavik, N., Kongmuang, C., & Tantanee, S. (2019). **FLOOD HAZARD ASSESSMENT USING FUZZY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS: A CASE STUDY OF BANG RAKAM MODEL IN THAILAND.** The 40th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2019). Daejeon, Korea.
- Yong, B., Chen, Bo, Gourley, Jonathan J., Ren, Liliang, Hong, Yang, Chen, Xi, . . . Gong, Luyan. (2014). **Intercomparison of the Version-6 and Version-7 TMPA precipitation products over high and low latitudes basins with independent gauge networks: Is the newer version better in both real-time and post-real-time analysis for water resources and hydrologic ext.** Journal of Hydrology, 508, 77-87. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.10.050



ภาคผนวก ก กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณรายวันในวันที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่มกับปริมาณฝน  
ก่อนหน้า 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75, 90 วัน

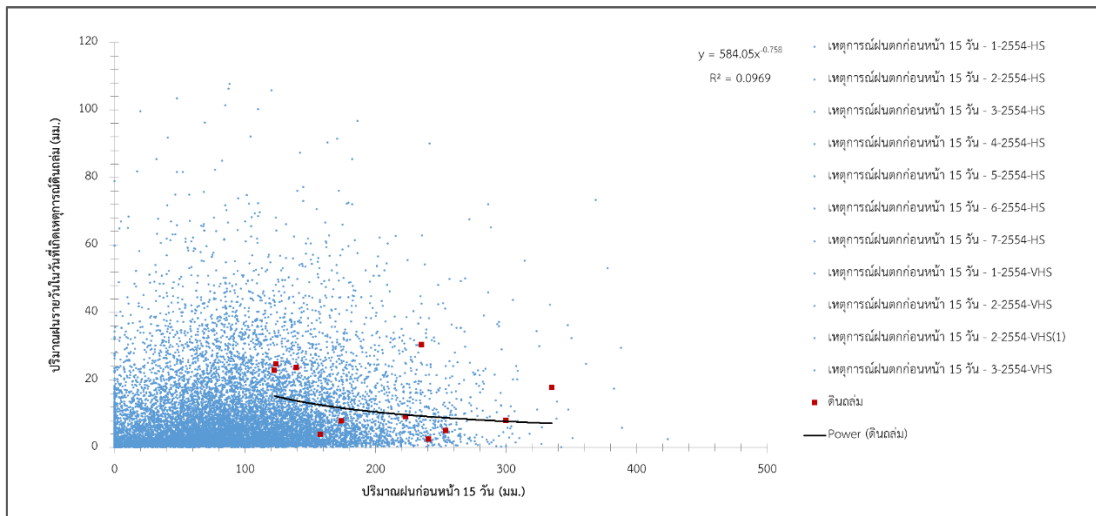


(ก)

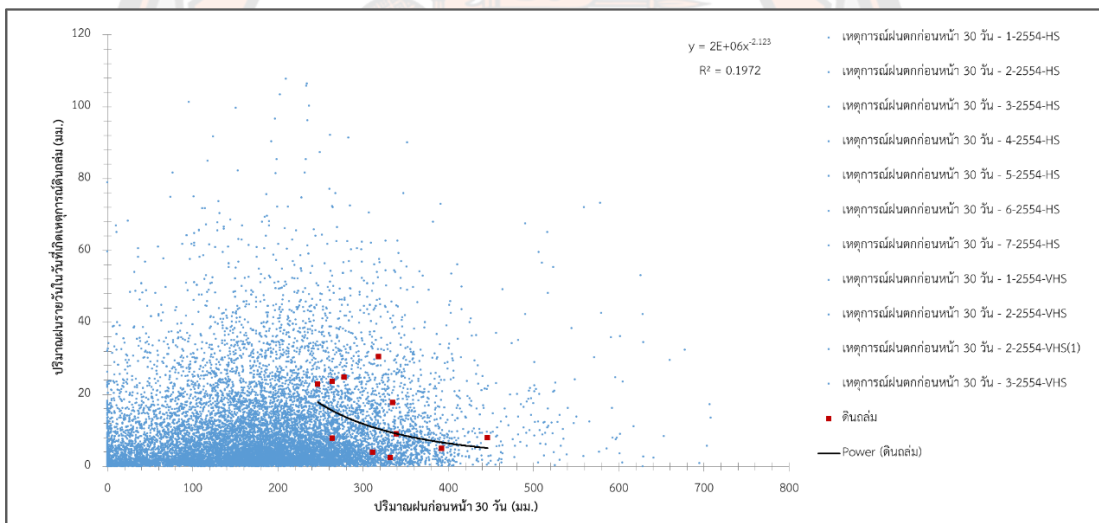


(ข)

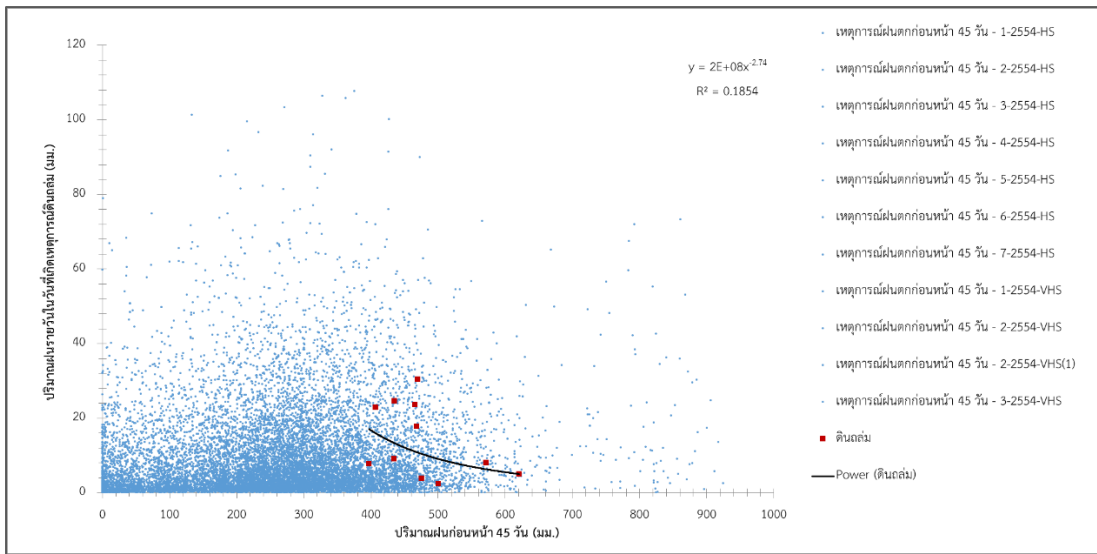




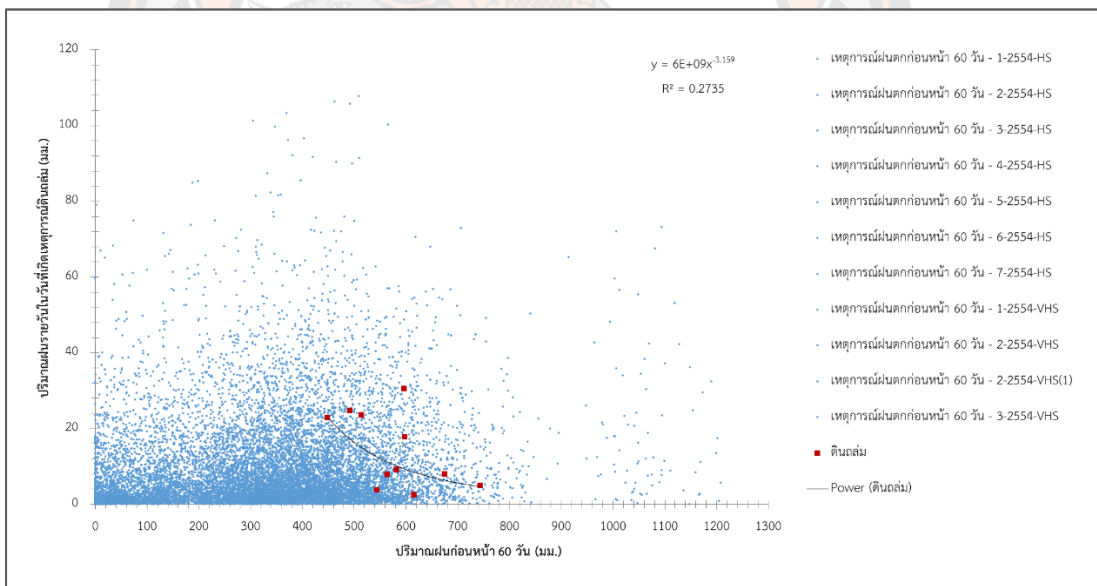
(ค)



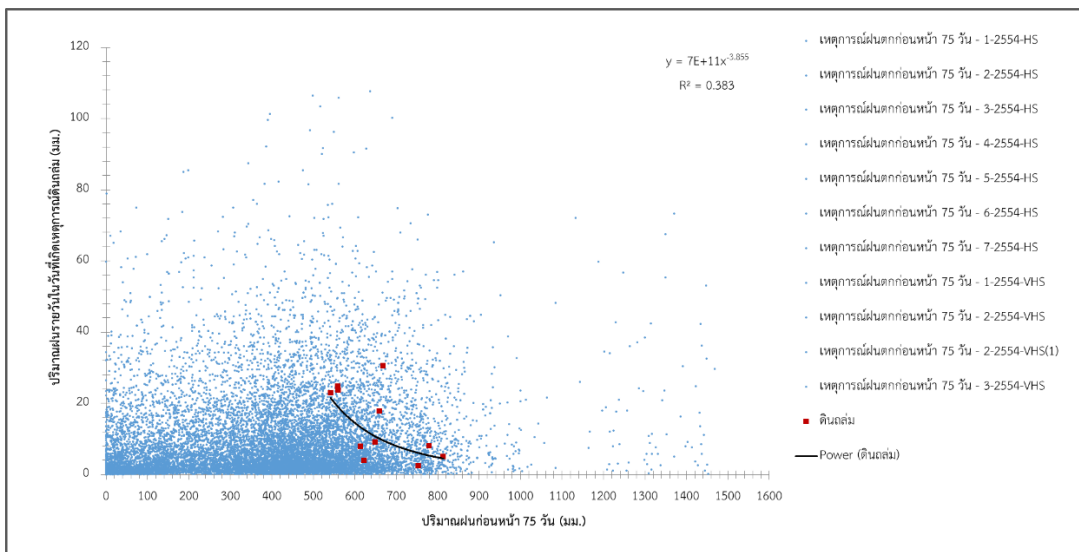
(ง)



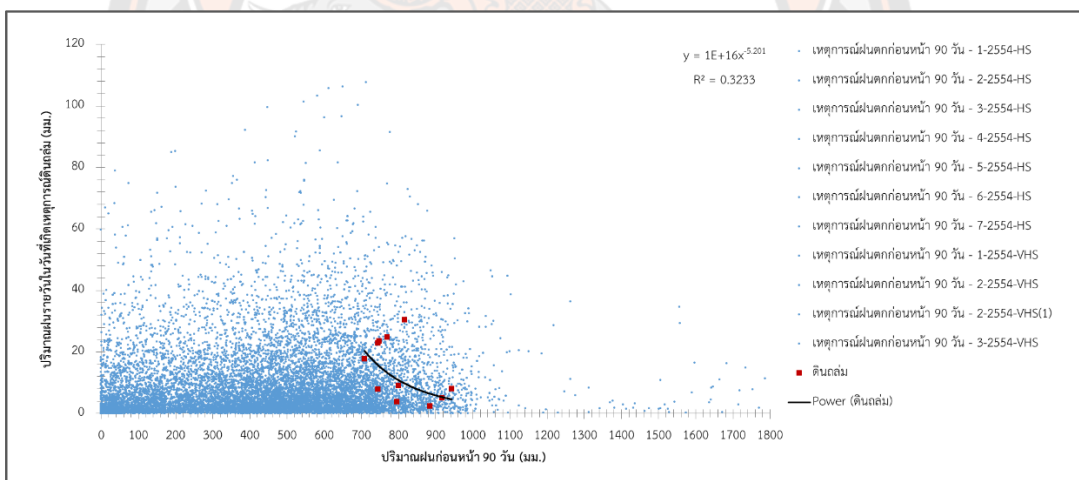
(จ)



(ฉ)



(จ)



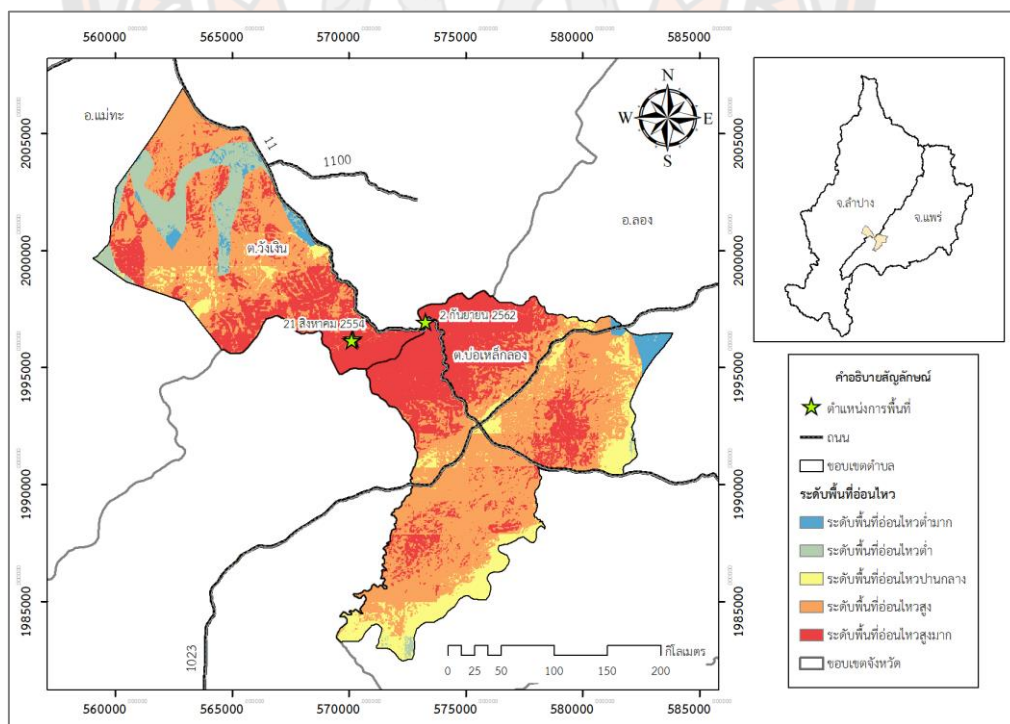
(ฉ)

**ภาพ 47** กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณรายวันในวันที่เกิดเหตุการณ์ดินถล่มกับปริมาณฝนก่อนหน้า  
 (ก.) 5 วัน (ข.) 10 วัน (ค.) 15 วัน (ง.) 30 วัน (ฉ.) 45 วัน (จ.) 60 วัน (จ.) 75 วัน (ฉ.) 90 วัน

ตาราง 24 ความสัมพันธ์ของรูปแบบฝน

ความสัมพันธ์รูปแบบฝน	Curves	R <sup>2</sup>
ปริมาณฝนสะสม(A) - ระยะเวลาฝนตก(D)	$A = 58.686D^{0.4942}$	R <sup>2</sup> = 0.4554
ความเข้มข้นของน้ำฝน(I) - ระยะเวลาฝนตก(D)	$I = 58.686D^{-0.506}$	R <sup>2</sup> = 0.467
เหตุการณ์ฝนตกก่อนหน้า 5 วัน	$y = 15.135A^{-0.079}$	R <sup>2</sup> = 0.0036
เหตุการณ์ฝนตกก่อนหน้า 10 วัน	$y = 36701A^{-1.614}$	R <sup>2</sup> = 0.2403
เหตุการณ์ฝนตกก่อนหน้า 15 วัน	$y = 584.05A^{-0.758}$	R <sup>2</sup> = 0.0969
เหตุการณ์ฝนตกก่อนหน้า 30 วัน	$y = 2E+06A^{-2.123}$	R <sup>2</sup> = 0.1972
เหตุการณ์ฝนตกก่อนหน้า 45 วัน	$y = 2E+08A^{-2.74}$	R <sup>2</sup> = 0.1854
เหตุการณ์ฝนตกก่อนหน้า 60 วัน	$y = 6E+09A^{-3.159}$	R <sup>2</sup> = 0.2735
เหตุการณ์ฝนตกก่อนหน้า 75 วัน	$y = 7E+11A^{-3.855}$	R <sup>2</sup> = 0.383
เหตุการณ์ฝนตกก่อนหน้า 90 วัน	$y = 1E+16A^{-5.201}$	R <sup>2</sup> = 0.3233

ภาคผนวก ข แผนที่ตำแหน่งดินถล่ม



ภาพ 48 แผนที่แสดงตำแหน่งการสำรวจภาคสนาม

## ภาคผนวก ค การสำรวจภาคสนาม



ภาพ 49 ร่องรอยการเกิดดินถล่มในพื้นที่ศึกษา



ภาพ 50 พูดคุย สอบถาม เกี่ยวกับการเกิดดินถล่มในพื้นที่



ภาพ 51 สํารวจร่องรอยการเกิดดินถล่ม



ภาพ 52 ชนิดดิน





ภาพ 53 อนุภาคของดิน



ภาพ 54 ชนิดหิน



ภาพ 55 อุปกรณ์ตรวจวัดและเตือนภัยการเกิดเหตุการณ์ดินถล่ม