



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

การประเมินภัยพิบัติหลุมยุบในประเทศไทยด้วยดัชนีภูมิประเทศ

โดย

นางสาวรุ่งทิพย์ เนื่องทวี

เลขประจำตัวนิตินิติ 6032731023

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563

การประเมินภัยพิบัติหุ้มยุบในประเทศไทยด้วยดัชนีภูมิประเทศ

นางสาวรุ่งทิพย์ เนื่องทวี

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563

ANALYSIS OF SINKHOLE HAZARD IN THAILAND
USING TOPOGRAPHIC INDEX

MISS RUNGTHIP NUANGTAWEE

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Science Program in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2020

Project Title ANALYSIS OF SINKHOLE HAZARD IN THAILAND USING
TOPOGRAPHIC INDEX
By Miss Rungthip Nuangtawee
Field of Study Geology
Project AdvisorAssistant Professor Santi Pailoplee, Ph. D.

Submitted date.....14/5/2021.....

Approval date.....7/5/2021.....


.....

Project Advisor
(Professor Santi Pailoplee, Ph. D.)

รุ่งทิพย์ เนื่องทวี : การประเมินภัยพิบัติหลุมยุบในประเทศไทยด้วยดัชนีภูมิประเทศ .
(ANALYSIS OF SINKHOLE HAZARD IN THAILAND USING TOPOGRAPHIC INDEX)
อ.ที่ปรึกษาโครงการหลัก : ศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้, 64 หน้า.

การเกิดหลุมยุบในประเทศไทยสามารถพบได้ทั่วทุกภาค โดยเฉพาะในภาคใต้ อันมีสาเหตุหลักจากการถล่มของโพรงใต้ดิน สามารถเกิดได้ทั้งจากธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ ถึงแม้การเกิดหลุมยุบในประเทศไทยจะไม่ส่งผลกระทบต่อชีวิตแต่ก็สร้างความตื่นตระหนกต่อผู้คน ส่งผลให้อาคารบ้านเรือนและระบบสาธารณูปโภคเกิดความเสียหาย สร้างความลำบากให้กับประชาชนในพื้นที่ ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงมีความสนใจในการประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบเบื้องต้น เพื่อให้ประชาชนมีความเตรียมพร้อมรับมือกับเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต และสามารถนำไปใช้ในการวางแผนก่อสร้างสิ่งต่าง ๆ ในพื้นที่อ่อนไหวต่อไป

ในขั้นตอนการดำเนินงานจะใช้ปัจจัยทางภูมิประเทศมาช่วยในการวิเคราะห์ ได้แก่ ความลาดชันของพื้นที่ ระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น ลักษณะทางธรณีวิทยา ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล ระยะห่างจากเส้นทางถนน ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ กลุ่มชุดดินและในพื้นที่ นำมาพิจารณาค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP method) และประมวลผลโดยใช้โปรแกรม ArcMap 10.5 จัดทำแผนที่แสดงความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย

จากผลการดำเนินงานพบว่าหลุมยุบส่วนใหญ่มักเกิดในบริเวณที่ราบ ตะกอนควอเทอร์นารีและหินปูนปริมาณฝนมากกว่า 1,200 มิลลิเมตร/ปี อยู่ใกล้กับแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น บ่อน้ำบาดาล เส้นทางถนนและเส้นทางน้ำ กลุ่มดินร่วนและบริเวณพื้นที่เกษตรกรรม สามารถเรียงค่าความสำคัญจากมากไปน้อย ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยา 28% ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาลและกลุ่มชุดดินอย่างละ 18% การใช้ประโยชน์ที่ดิน 12% ปริมาณฝน 9% ระยะห่างจากเส้นทางถนน 6% ความลาดชันของพื้นที่และระยะห่างจากเส้นทางน้ำอย่างละ 3% และระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น 2% ตามลำดับ และจากแผนที่แสดงความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยพบว่าพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงมากส่วนใหญ่พบในบริเวณภาคใต้ บางส่วนของภาคเหนือ ภาคตะวันตก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออก โดยจากการพิจารณาพบว่าแต่ละภาคจะมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดหลุมยุบที่แตกต่างกัน

ภาควิชา	ธรณีวิทยา	ลายมือชื่อนิสิต	รุ่งทิพย์ เนื่องทวี
สาขาวิชา	ธรณีวิทยา	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก.....	Santi
ปีการศึกษา	2563		

6032731023 : MAJOR GEOLOGY

KEYWORDS : SINKHOLE / AHP METHOD / SUSCEPTIBILITY

RUNGTHIP NUANGTAWEE : ANALYSIS OF SINKHOLE HAZARD IN THAILAND USING TOPOGRAPHIC INDEX. ADVISOR : PROFESSOR SANTI PAILOPLEE, Ph.D., 64 pp.

Sinkholes in Thailand can be found in every region, especially in the southern part. The main cause is the collapse of underground cavity which can occur by nature and human activities. Although sinkhole in Thailand does not have a life-threatening impact, but it creates a panic for people and causing damage to buildings and utilities. Therefore, the author is interested in assessing areas that are susceptible to sinkhole, so that people are prepared for the events that may occur in the future and can be used in planning the construction of buildings in these areas.

In the process, geographic factors are used in the analysis, including slope, distance to fault and lineament, geology, rainfall, distance to groundwater, distance to road, distance to stream, soil type and land use. The weight values of each factor were determined by a hierarchical analysis process (AHP method) and processed using ArcMap 10.5 to map the sinkhole susceptibility in Thailand.

As a result, most sinkholes occur on low-angle slopes, quaternary deposits and limestone, the amount of rainfall more than 1,200 mm per year, loam group, agricultural area, near fault and lineament, groundwater, road and stream. Sorting the weight values from descending: geology 28%, distance to groundwater and soil type each 18%, land use 12%, rainfall 9%, distance to road 6%, slope and distance to stream each 3% and distance to fault and lineament 2%, respectively. From the sinkhole susceptibility in Thailand map, the most highly susceptibility areas of sinkhole occurrence were found in the South regions, parts of North, Western, Northeast, Central and Eastern regions. However, It was found that each region has different factors affecting the occurrence of sinkholes.

Department : Geology

Student's Signature..... 

Field of Study : Geology

Advisor's Signature..... 

Academic Year : 2020

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิทยาศาสตร์เรื่องการประเมินภัยพิบัติหลุมยุบในประเทศไทยด้วยดัชนีภูมิประเทศฉบับนี้ สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์และการสนับสนุนจากทุกท่านดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุมัติให้มีการจัดทำโครงการวิทยาศาสตร์และอนุมัติงบประมาณสำหรับจัดทำโครงการในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.สันติ ภัยหลบลี้ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการ คำแนะนำ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งกรมทรัพยากรธรณีสำหรับข้อมูลลักษณะทางธรณีวิทยา แนวรอยเลื่อนและแนวเส้นในประเทศไทย กรมทรัพยากรน้ำสำหรับข้อมูลเส้นทางน้ำในประเทศไทย กรมทรัพยากรน้ำบาดาล สำหรับข้อมูลบ่อบาดาลในประเทศไทย กรมทางหลวงสำหรับข้อมูลเส้นทางถนนในประเทศไทย กรมอุตุนิยมวิทยาสำหรับข้อมูลปริมาณฝนในประเทศไทย และกรมพัฒนาที่ดิน สำหรับข้อมูลกลุ่มชุดดินและข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในประเทศไทย ซึ่งถือเป็นข้อมูลสำคัญที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการจัดทำโครงการในครั้งนี้

ขอขอบคุณนางสาวกมลวรรณ ทองดี นายชโลธร ชูศิริ และนายเกษมสรรค์ สุทธคุณที่ช่วยแก้ไขปัญหาขณะดำเนินงาน นางสาวกัญญกร ประเสริฐวิริยะที่ให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์สำหรับการทำโครงการ และนายวชร พุ่มหอมที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์สำหรับการทำโครงการในครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อน ๆ ธรณีวิทยา รุ่น 61 ทุกคนที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจที่ดีเสมอมา ทำให้การจัดทำโครงการในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นางสาวรุ่งทิพย์ เนื่องทวี
ผู้จัดทำ

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 พื้นที่ศึกษา	2
1.3 วัตถุประสงค์	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและวิธีดำเนินงานวิจัย	4
2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1.1 ความหมายของหลุมยุบ	4
2.1.2 สาเหตุของการเกิดหลุมยุบที่พบในประเทศไทย	4
2.1.3 ปัจจัยควบคุมการเกิดหลุมยุบ	5
2.1.4 ตัวอย่างเหตุการณ์หลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทย	6
2.1.5 กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น	11
2.1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
2.2 วิธีดำเนินงานวิจัย	18
บทที่ 3 ดำเนินงานวิจัย	20
3.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	20
3.2 ปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้อง	20
3.2.1 ความลาดชันของพื้นที่	20
3.2.2 ระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น	21
3.2.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา	21
3.2.4 ปริมาณฝน	21
3.2.5 ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล	21
3.2.6 ระยะห่างจากเส้นทางถนน	21

3.2.7 ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ	22
3.2.8 ลักษณะกลุ่มชุดดิน	22
3.2.9 การใช้ประโยชน์ที่ดิน	22
3.3 การกำหนดความสำคัญของแต่ละปัจจัยโดยใช้กระบวนการลำดับชั้น เชิงวิเคราะห์	22
3.4 การดำเนินงาน	29
บทที่ 4 ผลการวิจัย	31
4.1 ผลจากการศึกษาปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย	31
4.2 ผลการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย	42
บทที่ 5 อภิปรายผล	45
5.1 ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย	45
5.2 ผลจากการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย	58
5.3 ผลจากการเปรียบเทียบแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบ ในประเทศไทยและแผนที่แสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบ ประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2548)	59
5.4 ผลจากการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย โดยการอ้างอิงค่าน้ำหนักจากงานวิจัยและการให้ค่าน้ำหนักปัจจัยเท่ากัน	60
บทที่ 6 สรุปผล	63
6.1 สรุปผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย	63
6.2 สรุปผลจากการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย	63
6.3 สรุปผลจากการเปรียบเทียบแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบ ในประเทศไทยและแผนที่แสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบ ประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2548)	63
6.4 สรุปผลจากการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย โดยการอ้างอิงค่าน้ำหนักจากงานวิจัยและการให้ค่าน้ำหนักปัจจัยเท่ากัน	63
บรรณานุกรม	64

สารบัญรูปภาพ

รูป 1.1.	แผนที่บริเวณประเทศไทย	2
รูป 2.1.	แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงาน	9
รูป 3.1.	แผนที่เหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทย จำนวน 80 หลุม ในปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2548	23
รูป 4.1.	แผนที่แสดงความลาดชันของพื้นที่ในประเทศไทย	32
รูป 4.2.	แผนที่แสดงระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้นในประเทศไทย	33
รูป 4.3.	แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาจังหวัดสตูลและภาคตัดขวาง (กรมทรัพยากรธรณี, 2528)	34
รูป 4.4.	แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาในประเทศไทย	35
รูป 4.5.	แผนที่แสดงปริมาณฝนในประเทศไทย	36
รูป 4.6.	แผนที่แสดงระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาลในประเทศไทย	37
รูป 4.7.	แผนที่แสดงระยะห่างจากเส้นทางถนนในประเทศไทย	38
รูป 4.8.	แผนที่แสดงระยะห่างจากเส้นทางน้ำในประเทศไทย	39
รูป 4.9.	แผนที่แสดงกลุ่มชุดดินในประเทศไทย	40
รูป 4.10.	แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินในประเทศไทย	41
รูป 4.11.	แผนที่แสดงความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย	42
รูป 5.1.	แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในภาคเหนือและปัจจัยต่าง ๆ	46
รูป 5.2.	แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในภาคตะวันตกและ ปัจจัยต่าง ๆ	48
รูป 5.3.	แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และปัจจัยต่าง ๆ	50
รูป 5.4.	แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในภาคกลางและปัจจัยต่าง ๆ	52
รูป 5.5.	แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในภาคตะวันออกและ ปัจจัยต่าง ๆ	54
รูป 5.6.	แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในภาคใต้และปัจจัยต่าง ๆ	56
รูป 5.7.	(ก) แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย (ข) แผนที่แสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบ ประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2548)	59
รูป 5.8.	แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยจากการอ้างอิง Sari (2017)	60

- รูป 5.9. แผนี่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยจากการอ้างอิง
ณัฐญา ชมพูศรี (2560) 61
- รูป 5.10. แผนี่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยจากการให้ค่าน้ำหนัก
ปัจจัยเท่ากัน 62

สารบัญตาราง

ตาราง 2.1.	ตารางแสดงตัวอย่างเหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทย ระหว่างวันที่ 26 ธ.ค.2547 ถึง 28 ก.พ. 2550	6
ตาราง 2.2.	ตารางแสดงเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบรายคู่	13
ตาราง 2.3.	ตารางแสดงความหมายของการเปรียบเทียบเป็นรายคู่	14
ตาราง 2.4.	ตารางแสดงค่าของดัชนีของความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์	15
ตาราง 2.5.	ตารางแสดงค่าน้ำหนักและค่าคะแนนของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหลุมยุบ ในพื้นที่ตำบลชมพู อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก	17
ตาราง 3.1.	ตารางแสดงจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นข้อมูลย่อยของทั้ง 9 ปัจจัย	23
ตาราง 3.2.	ตารางแสดงการกำหนดค่าคะแนนของปัจจัยย่อยของทั้ง 9 ปัจจัย	25
ตาราง 3.3.	ตารางแสดงการกำหนดค่าความสำคัญของทั้ง 9 ปัจจัยด้วยการเปรียบเทียบ เป็นรายคู่	27
ตาราง 3.4.	ตารางแสดงการคำนวณหาค่าน้ำหนักของทั้ง 9 ปัจจัยด้วย วิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์	28
ตาราง 3.5.	ตารางแสดงค่าน้ำหนักของทั้ง 9 ปัจจัย	28
ตาราง 4.1.	ตารางแสดงพื้นที่ของแต่ละระดับความลาดชันและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น	31
ตาราง 4.2.	ตารางแสดงพื้นที่ของระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้นแต่ละระดับ และจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น	33
ตาราง 4.3.	ตารางแสดงพื้นที่ของแต่ละลักษณะทางธรณีวิทยาและจำนวนหลุมยุบที่ เกิดขึ้น	35
ตาราง 4.4.	ตารางแสดงพื้นที่ของปริมาณฝนแต่ละระดับและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น	36
ตาราง 4.5.	ตารางแสดงพื้นที่ของระยะห่างจากบ่อบาดาลแต่ละระดับและ จำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น	37
ตาราง 4.6.	ตารางแสดงพื้นที่ของระยะห่างจากเส้นทางถนนแต่ละระดับและ จำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น	38
ตาราง 4.7.	ตารางแสดงพื้นที่ของระยะห่างจากเส้นทางน้ำแต่ละระดับและ จำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น	39
ตาราง 4.8.	ตารางแสดงพื้นที่ของแต่ละกลุ่มชุดดินและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น	40
ตาราง 4.9.	ตารางแสดงพื้นที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทและ จำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น	41

ตาราง 4.10.	ตารางแสดงพื้นที่แต่ละระดับความอ่อนไหวและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น	44
ตาราง 5.1.	ตารางแสดงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหลุมยุบในภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย	45
ตาราง 5.2.	ตารางแสดงพื้นที่แต่ละระดับความอ่อนไหวและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น (Sari, 2017)	60
ตาราง 5.3.	ตารางแสดงพื้นที่แต่ละระดับความอ่อนไหวและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น (ณัฐญา ชมพูศรี, 2560)	61
ตาราง 5.4.	ตารางแสดงพื้นที่แต่ละระดับความอ่อนไหวและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น (ค่าน้ำหนักเท่ากัน)	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

หลุมยุบ (sinkhole) ถือเป็นธรณิพิบัติภัยรูปแบบหนึ่งที่พื้นดินเกิดการทรุดตัวลงเป็นหลุมลึก โดยมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไป เช่น รูปเกือบกลมหรือเป็นวงรี มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1 ถึง 200 เมตร ลึกตั้งแต่ 1 เมตร ถึงมากกว่า 20 เมตร (กรมทรัพยากรธรณี, 2548) สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ มีสาเหตุหลักมาจากการถล่มของโพรงใต้ดิน โดยโพรงใต้ดินสามารถเกิดขึ้นได้จากการกัดเซาะหินปูนของน้ำใต้ดิน จนเกิดเป็นโพรงหรือถ้ำใต้ดิน รวมถึงการทำเหมืองใต้ดิน เหมืองเกลือ การสูบน้ำหรือน้ำมันจากใต้ดินขึ้นมาก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดหลุมยุบ เช่นเดียวกัน (สันติ ภัยหลบลี้, 2562)

การเกิดหลุมยุบในประเทศไทย สามารถพบได้ทั่วทุกภาค โดยเฉพาะภาคใต้ มีสาเหตุหลักได้แก่ 1. โพรงหินปูนใต้ดินระดับตื้น มักเกิดในบริเวณที่รองรับด้วยหินปูน 2. โพรงชั้นเกลือหินใต้ดิน มักพบในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีชั้นเกลือหินรองรับอยู่ด้านใต้และ 3. โพรงที่เกิดจากชั้นทรายถูกน้ำใต้ดินพัดพา มักเกิดในพื้นที่ที่มีชั้นทรายรองรับอยู่ใต้ดินและอยู่ใกล้แม่น้ำ ลำคลอง (กรมทรัพยากรธรณี, 2554) โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 ถึง พ.ศ. 2548 มีเหตุการณ์การเกิดหลุมยุบมากกว่า 66 ครั้ง ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวและสึนามิในปี พ.ศ. 2547 และถึงแม้การเกิดหลุมยุบในประเทศไทยจะไม่ส่งผลกระทบต่อชีวิตแต่ก็สร้างความตื่นตระหนกต่อผู้คน ส่งผลให้อาคารบ้านเรือน รวมถึงสาธารณูปโภค เช่น ถนน ได้รับความเสียหาย สร้างความลำบากให้กับประชาชนในพื้นที่

ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงมีความสนใจในการประเมินพื้นที่ที่อาจมีการเกิดหลุมยุบเบื้องต้น เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่อ่อนไหวมีความตระหนัก เตรียมพร้อมรับมือกับเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต และสามารถนำไปใช้ในการพิจารณาวางแผนการก่อสร้างสิ่งต่าง ๆ ในพื้นที่อ่อนไหวต่อไป โดยการประเมินหลุมยุบสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

1. การสังเกตสัญญาณก่อนการเกิดหลุมยุบ เช่น การเคลื่อนตัวหรือทรุดตัวของกำแพง รั้ว เสา บ้าน การเกิดแอ่งน้ำขนาดเล็กในบริเวณที่ไม่เคยมีแอ่งน้ำมาก่อน อาคาร บ้านเรือนทรุด มีรอยปริแตกบนกำแพง ต้นไม้ และพืชผัก เกิดการเหี่ยวเฉาเป็นบริเวณแคบ ๆ หรือเป็นวงกลม เนื่องจากการสูญเสียความชื้นของชั้นดินลงไปโพรงใต้ดิน เป็นต้น ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการเบื้องต้นที่สามารถใช้เพื่อประเมินการเกิดหลุมยุบได้ในเวลาอันสั้นก่อนการเกิดหลุมยุบจริง (กรมทรัพยากรธรณี, 2548)

2. การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์แบบวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า เป็นวิธีที่สามารถระบุโพรงใต้ดินได้อย่างชัดเจนและมีความแม่นยำมาก แต่อุปกรณ์ค่อนข้างมีราคาสูง ต้องใช้แรงงานคนมากและวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยาก (ธมลวรรณ วุ่นพันธ์, 2558)

3. การจัดทำแผนที่ประเมินพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบโดยใช้ปัจจัยทางภูมิประเทศมาร่วมในการวิเคราะห์ เช่น ระดับความสูง รอยเลื่อน ลักษณะทางธรณีวิทยา ความลาดชันของพื้นที่ เป็นต้น ผ่านกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP method) ด้วยโปรแกรม ArcMap (Sari, 2017) ซึ่งวิธีนี้ถือเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และมีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ผู้จัดทำจึงเลือกวิธีนี้ในการประเมินภัยพิบัติหลุมยุบ

1.2 พื้นที่ศึกษา

1.2.1 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาโครงการ คือ ประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย มีตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์อยู่ที่ละติจูด 5 องศา 37 ลิปดาเหนือถึง 20 องศา 28 ลิปดาเหนือ และมีตำแหน่งลองจิจูดที่ 97 องศา 21 ลิปดาตะวันออกถึง 105 องศา 37 ลิปดาตะวันออก



รูป 1.1. แผนที่บริเวณประเทศไทย

1.2.2 ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา

ประเทศไทยแบ่งออกเป็น 6 ภาค ซึ่งแต่ละภาคมีลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ภาคเหนือ มีภูเขาสูง โดยจุดสูงสุด คือ ดอยอินทนนท์ซึ่งเป็นแหล่งต้นน้ำที่สำคัญ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูงแห้งแล้ง ไม่เอื้อต่อการเพาะปลูก ภาคกลาง เป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา มีความอุดมสมบูรณ์ที่สุด ภาคใต้ ติดทะเลสองฝั่ง มีจุดแคบสุดที่คอคอดกระ ภาคตะวันออก มีชายฝั่งทะเลเรียบขาวและโค้งเว้า และภาคตะวันตก เป็นหุบเขาและแนวเทือกเขา ทิศเหนือ ติดกับลาว และเมียนมาร์ ทิศตะวันตก ติดกับเมียนมาร์และทะเลอันดามัน ทิศตะวันออก ติดกับกัมพูชาและลาว ทิศใต้ ติดกับมาเลเซียและอ่าวไทย

1.2.3 ข้อมูลลักษณะภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา

ภูมิอากาศของไทยเป็นแบบเขตร้อน หรือแบบสะวันนา มีอุณหภูมิเฉลี่ย 18 - 34 °C และมีปริมาณฝนตกเฉลี่ยตลอดปีกว่า 1,500 มิลลิเมตร สามารถแบ่งได้เป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูร้อนในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ฤดูฝนในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากทะเลจีนใต้และพายุหมุนเขตร้อน และฤดูหนาวในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงกลางเดือนมีนาคม ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจากประเทศจีน ส่วนภาคใต้มีสภาพอากาศแบบป่าดงดิบ ซึ่งมีอากาศร้อนชื้นตลอดทั้งปี จึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ฤดู คือ ฤดูร้อนและฤดูฝนโดยฝั่งทะเลตะวันออก ฤดูร้อนจะเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ส่วนฝั่งทะเลตะวันตก ฤดูร้อนจะเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย
2. เพื่อจัดทำแผนที่ประเมินพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. คำนวณน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย
2. บริเวณพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย

บทที่ 2

ทฤษฎีและวิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ความหมายของหลุมยุบ

จากนิยามของพจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยา (2544) กล่าวว่า หลุมยุบเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่งที่ดินยุบตัวลงเป็นหลุมลึก มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กัน เช่น รูปเกือบกลมหรือเป็นวงรี

จากนิยามของสันติ ภัยหลบลี (2562) กล่าวว่า หลุมยุบ เป็นการทรุดตัวเนื่องจากการถล่มของโพรงใต้ดินอย่างทันทีทันใด ซึ่งโพรงเกิดขึ้นได้ทั้งจากธรรมชาติ เช่น การกัดเซาะหินปูนของน้ำใต้ดินจนกลายเป็นโพรงหรือถ้ำใต้ดิน โพรงภายในท่อลาวา หรือเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำเหมืองใต้ดิน เหมืองเกลือ การสูบน้ำหรือน้ำมันจากใต้ดินขึ้นมา โดยปกติหลุมยุบที่เกิดจากน้ำใต้ดินกัดเซาะหินปูนจะไม่ยุบเมื่อมีระดับน้ำใต้ดินสูง แต่เมื่อน้ำใต้ดินลดต่ำลง ไม่มีน้ำพยุงโครงสร้างของโพรงใต้ดิน อาจเกิดการถล่มได้ หรือหากมีการกระตุ่น เช่น แผ่นดินไหวก็สามารถทำให้โพรงใต้ดินถล่มได้ง่ายขึ้น

2.1.2 สาเหตุของการเกิดหลุมยุบที่พบในประเทศไทย

หลุมยุบเกิดจากมีโพรงใต้ดินในบริเวณนั้น ต่อมาเพดานโพรงเกิดการยุบตัวลง อาจเนื่องจากการสูบน้ำใต้ดินทำให้ขาดแรงพยุงเพดานโพรง หรือแรงสั่นสะเทือนจากการที่มียานพาหนะสัญจรไปมาในบริเวณใกล้เคียงหรือแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว จึงทำให้เพดานโพรงพังทลายลงเกิดเป็นหลุมยุบขึ้น โดยชนิดของโพรงใต้ดินที่พบในประเทศไทย มีดังนี้

1. โพรงหินปูนใต้ดิน

เมื่อฝนตกลงมา จะได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขณะผ่านชั้นบรรยากาศและซึมลงใต้ผิวดินทำให้น้ำฝนมีความเป็นกรดอย่างอ่อน จำพวกกรดคาร์บอนิก เมื่อไหลผ่านและสัมผัสกับหินปูนจะละลายเนื้อหินปูนออกไปด้วย ในที่สุดก็จะค่อย ๆ เกิดเป็นโพรงหรือถ้ำใต้ดินขึ้น เมื่อโพรงใต้ดินเหล่านี้มีการขยายขนาดใหญ่ขึ้นและอยู่ใกล้ผิวดินมากยิ่งขึ้น เพดานไม่สามารถต้านทานน้ำหนักของดินและสิ่งก่อสร้างที่กดทับด้านบนได้ ก็จะถล่มพังลงไปด้านล่างและกลายเป็นหลุมยุบในที่สุด ซึ่งโพรงหินปูนสามารถจำแนกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ โพรงหินปูนใต้ดินระดับลึก ซึ่งอยู่ลึกจากผิวดินมากกว่า 50 เมตร และโพรงหินปูนใต้ดินระดับตื้น ซึ่งอยู่ลึกจากผิวดินไม่เกิน 50 เมตร โดยหลุมยุบส่วนใหญ่จะเกิดในบริเวณที่มีโพรงหินปูนใต้ดินระดับตื้น

2. ชั้นเกลือหินใต้ดิน

พื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะมีชั้นเกลือหินรองรับอยู่ด้านใต้ ซึ่งเกลือหินมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ง่าย เมื่อมีการทำเหมืองใต้ดิน โดยการสูบน้ำเกลือขึ้นมา จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิด

โพรงใต้ดินขึ้น ต่อมาเพดานโพรงพังทลายลง จึงเกิดเป็นหลุมยุบขึ้น ขนาดของหลุมยุบอาจมีขนาดใหญ่ สร้างความเสียหายให้กับทรัพย์สินของประชาชนได้

3. ชั้นทรายถูกน้ำใต้ดินพัดพา

มักเกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีชั้นทรายรองรับอยู่ใต้ดินและอยู่ใกล้แม่น้ำ ลำคลอง เกิดขึ้นทั่วทุกภาคของประเทศ โดยเมื่อมีฝนตกหนักหรือตกต่อเนื่อง จะทำให้ปริมาณและแรงพัดพาของน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นและพัดพาเอาตะกอนทรายใต้ดินลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง ทำให้เกิดโพรงใต้ดินขึ้น แต่โพรงใต้ดินที่เกิดจากสาเหตุนี้จะมีขนาดไม่ใหญ่มาก และไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สิน แต่อาจสร้างความตื่นตระหนกให้กับผู้ที่พบเห็น (กรมทรัพยากรธรณี, 2554)

2.1.3 ปัจจัยควบคุมการเกิดหลุมยุบ

1. สภาพธรณีวิทยา ได้แก่ พื้นที่กระจายตัวและปกคลุมด้วยหินที่ละลายน้ำได้ คุณสมบัติของหินหรือดินที่ปกคลุมอยู่บนหินที่ละลายน้ำได้ ความพรุนและความหนาแน่นของเนื้อดิน ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อหินที่แตกต่างกัน นอกจากทำให้พื้นผิวหินปูนที่ปรากฏบนผิวดินขรุขระแล้ว ดาดหินปูนที่อยู่ใต้ดินและปิดทับด้วยตะกอนดินยังมีผิวหน้าไม่เรียบ อันเนื่องจากเนื้อหินบริสุทธิ์ไม่เท่ากัน รวมทั้งมีความหนาแน่นและขนาดรอยแตก รอยเลื่อนไม่สม่ำเสมอเท่ากัน

2. ธรณีวิทยาโครงสร้างของหินปูน ในที่นี้รวมทั้งแบบปฐมภูมิ ซึ่งเกิดในขณะตกตะกอนสะสมตัว และแบบทุติยภูมิอันเกิดภายหลังที่หินแข็งตัวแล้ว ทั้งสองแบบเป็นสาเหตุทำให้เนื้อหินเกิดความไม่ต่อเนื่องขึ้น เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวหินปูนให้ทำปฏิกิริยากับน้ำที่มีสภาพเป็นกรดได้มากขึ้น ความไม่ต่อเนื่องของเนื้อหินปฐมภูมิ ได้แก่ การวางตัวของชั้นหิน ความหนาของชั้นหิน เป็นต้น ที่สำคัญที่สุดต่อการเกิดโพรงใต้ดิน ได้แก่ รอยแตก รอยเลื่อนที่ตัดผ่านหินปูน ซึ่งเป็นความไม่ต่อเนื่องในเนื้อหินแบบทุติยภูมิ เป็นตัวการสำคัญที่บังคับทิศทางการไหลของน้ำ บริเวณที่มีรอยแตกหนาแน่นมาก โดยเฉพาะจุดตัดของรอยแตกหินเมื่อมีการไหลของน้ำ จะทำให้หินปูนมีอัตราการละลายสูงและเร็ว เกิดเป็นร่องน้ำหรือโพรงถ้าได้ง่าย อีกทั้งมีการทอดตัวยาวถึงกัน ทำให้พื้นที่นั้นมีโอกาสเกิดหลุมยุบมากขึ้น ตำแหน่งหลุมยุบจะเริ่มพัฒนาตรงจุดที่เป็นรอยแตกของเนื้อหินปูนและมีโอกาสที่จะเกิด หินพาดผ่านหลายแนว ดังนั้นจึงมักเห็นหลุมยุบเรียงเป็นแนวเส้นตรง การวางชั้นหินอยู่ในแนวตั้งหรือเอียงเทด้วยมุมสูงกับแนวระนาบ เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้น้ำไหลซึมผ่านรอยต่อระหว่างระนาบของชั้นหินได้ดี ดังนั้นหินปูนชั้นบางและมีรอยแตกมากจึงสามารถเกิดโพรงในเนื้อหินได้ง่ายและเป็นไปอย่างรวดเร็ว


3. ลักษณะภูมิประเทศแบบคาสต์ เกิดโดยกระบวนการละลายทางเคมี โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในชั้นบรรยากาศถูกดึงดูดสู่ชั้นดินแล้วเปลี่ยนสถานะจากแก๊สเป็นของเหลว แล้วรวมตัวกับน้ำฝนกลายเป็นกรดคาร์บอนิกหรือที่เรียกว่าฝนกรด ทำลายเนื้อหินปูน นอกจากนี้ยังมีกรดอีกหลายตัวที่เป็นตัวทำลายหินปูนได้ เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้นรากพืชและจุลินทรีย์ในดินก็เป็นตัวเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ให้เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นในเขตที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น




เช่น ภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งมีฝนตกชุกและป่าไม้อุดมสมบูรณ์ จึงเหมาะกับการสลายหรือสีกร่อนของหินปูน

4. สภาพน้ำใต้ดิน เช่น ชนิดของชั้นอุ้มน้ำ (Aquifer) การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน ระยะเวลาคงที่ของระดับน้ำใต้ดิน ความเร็วและสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน ระดับความสูงของน้ำใต้ดิน โดยความเข้มข้นของฝนกรดจะขึ้นอยู่กับความลึก กล่าวคือฝนกรดจะมีความเข้มข้นสูงเมื่ออยู่ใกล้ผิวดิน และความเข้มข้นจะลดลงเมื่อลึกลงไปใต้ดิน เนื่องจากดินจะพยายามปรับสภาพจากความเป็นกรดให้เป็นกลาง ดังนั้นหินปูนจะถูกฝนกรดกัดเซาะให้ละลายเมื่อมันอยู่ในระดับตื้นเท่านั้น โดยซึมผ่านทางแนวแตก (joint) แนวชั้นหิน (bedding) หรือรอยเลื่อน (fault) เข้าไปละลายเนื้อหิน ทำให้ช่องว่างขยายใหญ่ขึ้น และเมื่อฝนกรดซึมลงจนถึงระดับน้ำใต้ดิน ซึ่งได้ระดับน้ำใต้ดินนี้ ช่องว่างในหินจะมีน้ำอยู่เต็มตลอดจนเนื้อหินก็อึดตัวด้วยน้ำ ฝนกรดจึงมีความเข้มข้นลดลง ทำให้การกัดเซาะหินลดลงไปด้วย นอกจากนั้นแรงลอยตัวหรือพยุงตัว (buoyancy force) ของน้ำจะช่วยต้านชั้นดินไม่ให้ยุบตัวลงมา โดยถ้าระดับน้ำใต้ดินลดลงทุก ๆ 1 เมตร จะทำให้น้ำลดลง 1 ตันต่อตารางเมตร ในกรณีที่มีการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้มาก ๆ ทำให้อุณหภูมิระดับน้ำใต้ดินลดลง หรือมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน ฝนกรดนี้ก็จะทำการละลายหินในส่วนที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินได้เพิ่มขึ้นด้วย รวมทั้งขาดแรงพยุงตัวของน้ำ ทำให้เกิดหลุมยุบขึ้นในที่สุด (ธมลวรรณ วุ่นพันธ์, 2558)

2.1.4 ตัวอย่างเหตุการณ์หลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทย

ตาราง 2.1. แสดงตัวอย่างเหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทยระหว่างวันที่ 26 ธ.ค.2547 ถึง 28 ก.พ.2550 (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)



สถานที่เกิดหลุมยุบ	รายละเอียด	ภาพประกอบ
ถนนสายเขาทะเลลุ-เขาค่าย อ.สวี จ.ชุมพร	<ul style="list-style-type: none"> - ขนาด 4.8x5.3x3.5 เมตร - ลักษณะภูมิประเทศ: ที่ราบระหว่างหุบเขา - ลักษณะทางธรณีวิทยา: หินปูน - สาเหตุการเกิดหลุมยุบ: เพดานโพรงหินปูนเกิดการพังทลายเนื่องจากระดับความดันภายในโพรงเปลี่ยนแปลง ทำให้ชั้นหินผุและชั้นหน้าดินที่วางทับอยู่ด้านบนทรุดตัวลงไปด้วย 	

สถานที่เกิดหลุมยุบ	รายละเอียด	ภาพประกอบ
ถนนสาย สปก. บ้านในหุบ ต.เขาค่าย อ.สวี จ.ชุมพร	<ul style="list-style-type: none"> - ขนาด 4.2x5.5x3.2 เมตร - ลักษณะภูมิประเทศ: ที่ราบเชิงเขา - ลักษณะทางธรณีวิทยา: หินปูน - สาเหตุการเกิดหลุมยุบ: เพดานโพรงหินปูนเกิดการพังทลายอันเนื่องมาจากระดับความดันภายในโพรงเปลี่ยนแปลง ทำให้ชั้นหินผุและชั้นหน้าดินที่วางทับอยู่ด้านบนทรุดตัวลงไปด้วย 	
บ้านเด่นธารา หมู่ที่ 9	<ul style="list-style-type: none"> - ลักษณะภูมิประเทศ: ที่ราบใกล้เชิงเขา - ตะกอนชั้นบน: ดินเหนียวและดินทรายแป้ง - ตะกอนชั้นล่าง: กรวดปนทราย - สาเหตุหลุมยุบ: ดินบริเวณที่อยู่รอบบ่อน้ำเกิดการยุบตัวซึ่งเป็นดินที่ถมหลังจากวางท่อบ่อ เมื่อมีฝนตกหนักติดต่อกันหลายวัน ทำให้ดินถมข้างท่อบ่อน้ำมีการทรุดตัวลง ดินบางส่วนที่อยู่ด้านล่างไหลไปแทนที่ชั้นกรวดที่รองรับบ่อน้ำอยู่ จึงทำให้ท่อบ่อน้ำเกิดการเอียงตัวและแตกหักทรุดตามลงไป 	
บ้านห้วยน้ำแก้ว ต.หน้าเขา อ.เขาพนม จ.กระบี่	<ul style="list-style-type: none"> - ลักษณะภูมิประเทศ: เนินเตี้ยใกล้ภูเขาหินปูน - ลักษณะทางธรณีวิทยา: ดินเหนียวปนทราย และเศษก้อนกรวดที่คาดว่ามาจากหินดินดาน 	
บ้านเลขที่ 6 หมู่ 1 บ้าน หนองแบก ต.หนองทะเล อ.เมือง จ.กระบี่	<ul style="list-style-type: none"> - ขนาด: 2.3x2.3x1.9 เมตร - สถานที่เกิด: บริเวณสวนปาล์ม - สาเหตุการเกิดหลุมยุบ: เพดานโพรงหินปูนที่อยู่ใต้ดินเกิดการพังทลายอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับความดันภายในโพรงจึงส่งผลให้ชั้นหินผุและชั้นหน้าดินที่วางทับอยู่ด้านบนทรุดตัวลงไปด้วยจึงเกิดเป็นหลุมยุบขึ้น 	-
บ้านเลขที่ 143 หมู่ที่ 1	<ul style="list-style-type: none"> - ขนาด: 2.5x2.5x3 เมตร - สาเหตุการเกิดหลุมยุบ: เพดานโพรงหินปูนที่อยู่ใต้ดินเกิดการพังทลายอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับความดันภายในโพรง จึงส่งผลให้ชั้นหินผุและชั้นหน้าดินที่วางทับอยู่ด้านบนทรุดตัวลงไปด้วยเกิดเป็นหลุมยุบขึ้น 	-

สถานที่เกิดหลุมยุบ	รายละเอียด	ภาพประกอบ
บ้านเลขที่ 330 หมู่ที่ 6 (บ้านหัวทาง) ต.ละงู อ.ละงู จ.สตูล	- ขนาด: 2x2x1.5 เมตร - สถานที่เกิด: บริเวณบ่อน้ำใช้ของบ้าน - สาเหตุของการเกิดหลุมยุบ: เพดานโพรงหินปูนที่อยู่ใต้ดินเกิดการพังทลาย อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน ส่งผลให้ชั้นหน้าดินที่วางทับอยู่ด้านบนทรุดตัวลง เกิดเป็นหลุมยุบ	
บ้านเลขที่ 43 หมู่ 7 บ. จะแลเกาะ ต.มะนังตายอ อ.เมือง จ.นราธิวาส	- ขนาด: 3x5x2 เมตร - ลักษณะทางธรณีวิทยา: ตะกอนดินทรายที่ยังจับตัวไม่แน่น ไม่มีโพรงหินปูนรองรับอยู่ด้านใต้ - สาเหตุการเกิดหลุมยุบ: ฝนตกหนักติดต่อกันหลายวัน น้ำใต้ดินไหลเร็วและพัดพาตะกอนที่รองรับอยู่ด้านล่างออกไปทำให้เกิดโพรงใต้ดิน เมื่อตะกอนทรายเหนือโพรงทอนน้ำหนักไม่ไหวจึงทรุดตัวลงมากลายเป็นหลุมยุบ	-
ถนนลูกรัง หมู่ 4 ต.สโสะ อ. ปะเหลียน จ.ตรัง	- ขนาด: 4x5x8 เมตร - สาเหตุการเกิดหลุมยุบ: ตะกอนทรายและดินเหนียวที่รองรับอยู่ด้านล่าง ยังไม่จับตัวแน่น เมื่อฝนตกหนักทำให้มีการไหลของน้ำใต้ดินอย่างรวดเร็ว พัดพาตะกอนที่รองรับอยู่ด้านล่างออกไป ทำให้เกิดการทรุดตัวของพื้นดินกลายเป็นหลุมยุบ	
หมู่ 3 ต.ทุ่งหลวง อ.เวียงสระ จ.สุราษฎร์ธานี	- ขนาด: 3x3x3 เมตร - สาเหตุการเกิดหลุมยุบ: ตะกอนทรายที่รองรับอยู่ด้านล่าง ยังไม่จับตัวแน่น เมื่อมีฝนตกหนักทำให้มีการไหลของน้ำใต้ดินอย่างรวดเร็ว พัดพาตะกอนที่รองรับที่อยู่ด้านล่างออกไป ทำให้เกิดการทรุดตัว	
บ่อน้ำใช้ที่บ้านเลขที่ 163 หมู่ 4 ต.ละงู อ.ละงู จ.สตูล	- บ่อน้ำใช้เกิดการยุบตัว ทำให้พื้นที่รอบบ่อแตกเป็นวงรอบบ่อ - สาเหตุของการยุบตัว: ตะกอนทรายที่รองรับอยู่ด้านล่าง ยังไม่จับตัวแน่น เมื่อมีฝนตกหนักทำให้มีการไหลของน้ำใต้ดินอย่างรวดเร็ว พัดพาตะกอนที่รองรับที่อยู่ด้านล่างออกไป ทำให้เกิดการทรุดตัวของบ่อ	

สถานที่เกิดหลุมยุบ	รายละเอียด	ภาพประกอบ
บ้านวังเตา ต.เขาโร อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช	- ขนาด: 0.8x0.8x2 เมตร - สาเหตุการเกิดหลุมยุบ: ตะกอนทรายและดินเหนียว ที่รองรับอยู่ด้านล่างยังไม่จับตัวแน่น เมื่อมีฝนตกหนักทำให้มีการไหลของน้ำใต้ดินอย่างรวดเร็ว พัดพาตะกอนที่รองรับที่อยู่ด้านล่างออกไป ทำให้เกิดการทรุดตัวของพื้นดินกลายเป็นหลุมยุบ	
หมู่บ้านโชคทิพย์ ต.ฉลอง อ.เมือง จ.ภูเก็ต	- ลักษณะทางธรณีวิทยา: ตะกอนทรายร่วนซึ่งถูกปิดทับโดยชั้นดินถม - สาเหตุการเกิดหลุมยุบ: ฝนตกหนัก ทำให้น้ำใต้ดินพัดพาตะกอนทรายร่วน ประกอบกับแรงสั่นสะเทือนเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีรถสัญจรผ่านไปมา จึงทำให้เกิดหลุมยุบขึ้น	
ต.จอมพระและต.ท่าวังผา	- พบหลุมยุบเกิดขึ้น 9 หลุม ขนาดตั้งแต่ 0.5-2.5 เมตร ลึก 0.5-2.0 เมตร - สาเหตุการเกิดหลุมยุบ: ตะกอนกรวด ทราย และดินเหนียว ที่รองรับอยู่ด้านล่างยังไม่จับตัวแน่น เมื่อมีฝนตกหนักทำให้มีการไหลของน้ำใต้ดินอย่างรวดเร็วพัดพาตะกอนที่รองรับที่อยู่ด้านล่างออกไปทำให้เกิดการทรุดตัวของพื้นดินกลายเป็นหลุมยุบ	
บ้านจำชมภู หมู่ที่ 10 ต.น้ำดิบ อ.ป่าซาง จ.ลำพูน	- พบหลุมยุบจำนวน 2 หลุม ขนาด 4.2 – 6.5 เมตร ลึก 4.5 – 5.5 เมตร - สถานที่เกิด: สวนลำไยและอยู่ห่างจากชุมชน - สาเหตุการเกิดหลุมยุบ: โพรงหินปูนเกิดการพังทลายอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับความดันภายในโพรง จึงส่งผลให้ชั้นหินผุและชั้นหน้าดินที่วางทับอยู่ด้านบนทรุดตัวลงเป็นหลุมยุบ	
อ.เมือง จ.น่าน	- ขนาด: 2 x 2 x 1.2 เมตร - สถานที่เกิด: บริเวณบ่อน้ำเก่า - สาเหตุการเกิดหลุมยุบ: ตะกอนใต้ดินถูกพัดพาโดยกระแสน้ำ	-

สถานที่เกิดหลุมยุบ	รายละเอียด	ภาพประกอบ
บ.กันใหญ่ ต.คูหาใต้ อ.รัษฎามิ จ.สงขลา	- พบหลุมยุบจำนวน 2 หลุม - ขนาด: 1. 50x50x30 เซนติเมตร 2. 3x3x2 เมตร - ลักษณะภูมิประเทศ: พื้นที่ราบ มีเขาสูงโดดซึ่งเป็นเขาหินปูน มีรอยแตกมาก มีโพรงขนาดเล็กกระจัดกระจาย	
บ.ถ้ำน้ำพุ ต.ทับทิม อ.แก่งคอย จ.สระบุรี	- ขนาด: 6x6x3.30 เมตร - สถานที่เกิด: ใกล้ไร่ข้าวโพด ห่างจากชุมชนประมาณ 1 กิโลเมตร - สาเหตุของการเกิดหลุมยุบ: เพดานโพรงหินปูนเกิดการพังทลายอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับความดันภายในโพรง จึงส่งผลให้ชั้นหินผุและชั้นหน้าดินที่วางทับอยู่ด้านบนทรุดตัวลงไป	
บ้านพะเยา ต.อ่าวนาไล อ.เวียงสา จ.น่าน	- บ่อน้ำเสียหาย ยุบตัวลงไป 1.2 เมตร	
บ้านพะละใหม่ หมู่ 3 ต.ชะเนือ อ.แม่ระมาด จ.ตาก	- ขนาด: 30x30x20 เมตร - สาเหตุของการเกิดหลุมยุบ: มีโพรงหินปูนอยู่ใต้ดินในระดับลึก ประกอบด้วยปริมาณน้ำในดินสูงชัน เนื่องจากมีฝนตกหนักติดต่อกันเป็นเวลานานหลายวัน ทำให้ชั้นหินผุและชั้นหน้าดินทรุดตัวลงไป เกิดเป็นหลุมยุบขนาดใหญ่ขึ้น	
บ้านนาคำ อ.เมือง จ.อุบลราชธานี	- สถานที่เกิด: กลางถนน - สาเหตุของการเกิดหลุมยุบ: ตะกอนใต้ดินถูกพัดพาโดยกระแส น้ำ	-
อ.กลาง จ.ภูเก็ต	- ขนาด: 1 x 1 x 0.5 เมตร - สาเหตุของการเกิดหลุมยุบ: ตะกอนใต้ดินถูกพัดพาโดยกระแส น้ำ	-
โรงเรียนเด็กอนุบาลวัดจันทรา ม หมู่ 2 ต.น้ำจืด อ.กระบุรี จ.ระนอง	- ขนาด: 4.6 x 5 x 3 เมตร - สาเหตุของการเกิดหลุมยุบ: ตะกอนใต้ดินถูกพัดพาโดยกระแส น้ำ	-

สถานที่เกิดหลุมยุบ	รายละเอียด	ภาพประกอบ
บ้านบางเหลียว ต. คีรีวงค์ อ. ปลายพระยา จ. กระบี่	- ขนาด: 1 x 1 x 1 เมตร - สาเหตุของการเกิดหลุมยุบ: ตะกอนใต้ดินถูกพัดพาโดยกระแส น้ำ	-
บ้านแม่ยางโตน ต. แม่ยางตาล อ. ร้องกวาง จ. แพร่	- ขนาด: 1.2 x 1.2 x 6 เมตร - บ่อน้ำทรุดตัว	
ม. 1 ต. สำนักทอง อ. เมือง จ. ระยอง	- ขนาด: 1 x 1 x 1 เมตร - สาเหตุของการเกิดหลุมยุบ: ตะกอนใต้ดินถูกพัดพาโดยกระแส น้ำ - สถานที่เกิด: บ่อเจาะน้ำบาดาล	-
บ้านสันสลี ม. 5 ต. ปากอ้อดอนชัย อ. เวียงชัย จ. เชียงราย	- สาเหตุของการเกิดหลุมยุบ: ตะกอนใต้ดินถูกพัดพาโดยกระแส น้ำ	-
ม. 7 ต. ลิพัง อ. ปะเหลียน จ. ตรัง	- บ่อน้ำยุบตัว ท่อบ่อบาย 24 ท่อ	
หมู่ 10 ต. พ่วงพรหมคร อ. เคียนซา จ. สุราษฎร์ธานี	- สาเหตุของการเกิดหลุมยุบ: ตะกอนใต้ดินถูกพัดพาโดยกระแส น้ำ	-

2.1.5 กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP)

กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น เป็นเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการตัดสินใจ ซึ่งได้รับความนิยมอย่างมากและเป็นที่ยอมรับกันในระดับสากลอย่างแพร่หลาย โดยเป็นเทคนิคที่ใช้การแบ่งองค์ประกอบของปัญหาออกเป็น ส่วน ๆ ในรูปของแผนภูมิตามลำดับชั้นแล้วมีการให้ค่าน้ำหนักของแต่ละองค์ประกอบแล้วนำมาคำนวณค่าน้ำหนัก เพื่อนำไปสู่ค่าลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือก

ก่อนที่จะนำมาประกอบการตัดสินใจ ซึ่งกระบวนการวิเคราะห์ในลักษณะนี้มีโครงสร้างเลียนแบบกระบวนการคิดของมนุษย์ ซึ่งมีกระบวนการอยู่ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การจัดโครงสร้างลำดับขั้นของการตัดสินใจ ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นมีโครงสร้าง กระบวนการเลียนแบบความคิดของมนุษย์ ดังนั้นจึงมีการสร้างแผนภูมิเป็นลำดับขั้นเลียนแบบกระบวนการคิดเพื่อตัดสินใจของมนุษย์ โดยแผนภูมิแบ่งออกเป็นหลายระดับขั้นขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหา โดยแต่ละระดับขั้นจะประกอบด้วยกลุ่มของเกณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่

ระดับขั้นที่ 1 เป็นขั้นบนสุดที่เป็นปัญหาหรือเป้าหมายโดยรวม จะเรียกว่า จุดโฟกัส ซึ่งจะมีเพียงแค่ ปัญหาหรือเป้าหมายเดียวเท่านั้น

ระดับขั้นที่ 2 เป็นระดับขั้นของเกณฑ์หลัก อาจมีหลายเกณฑ์ขึ้นอยู่กับว่าแผนภูมินั้นมีทั้งหมดกี่ระดับขั้น ถ้ามีมากกว่า 3 ระดับขั้นขึ้นไป จำนวนเกณฑ์ในระดับขั้นนี้ควรมีไม่เกิน 3 เกณฑ์ แต่ถ้ามีมากกว่า 3 ระดับขั้น จำนวนเกณฑ์อาจมีได้ถึง 9 เกณฑ์

ระดับขั้นที่ 3 เป็นระดับขั้นของเกณฑ์รอง สำหรับระดับขั้นชนิดนี้ จะมีจำนวนเกณฑ์เท่าไรก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าผู้ศึกษามีข้อมูลหรือประสบการณ์และความรู้ความชำนาญมากเท่าไร เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดเกณฑ์ต่าง ๆ ขึ้นมา

ระดับขั้นที่ 4 เป็นขั้นของทางเลือก หรือหนทางแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ปัญหาหรือเป้าหมายที่กำหนดไว้ในระดับขั้นที่ 1

2. การวินิจฉัยเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ในการตัดสินใจ การเปรียบเทียบสิ่งต่าง ๆ เป็นการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pair wise comparison) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบเพื่อกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญระหว่างเกณฑ์เป็นคู่ ๆ โดยใช้ตัวเลขแทนค่าเพื่อนำไปสู่การคำนวณค่าคะแนนความสำคัญรวมของแต่ละทางเลือก เครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ ได้แก่ การใช้ตารางเมตริกซ์นอกจากตารางเมตริกซ์จะสามารถใช้ประโยชน์ในการอธิบายการเปรียบเทียบแล้วยังสามารถใช้ทดสอบความสอดคล้องของการเหตุผล และความอ่อนไหวของลำดับความสำคัญของทางเลือกด้วย ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ ดังนี้

กำหนดให้ C_i = เกณฑ์หลักในการตัดสินใจ โดยที่ $i = 1, 2, \dots, n$

A_j = เกณฑ์รองในลำดับขั้นที่จะทำการวินิจฉัย โดยที่ $j = 1, 2, \dots, n$

a_{ij} = ผลการเปรียบเทียบเกณฑ์ในการตัดสินใจแบบคู่

โดยที่ $i = 1, 2, \dots, n$ และ $j = 1, 2, \dots, n$ การวินิจฉัยจะทำที่ละคู่เกณฑ์ C_i กับ A_j

ดังนั้น การวินิจฉัยจะทำในรูปของตารางเมตริกซ์ขนาด $n \times n$ และจะได้นิยามเมตริกซ์

$A = [a_{ij}]$ โดยที่ $i = 1, 2, \dots, n$ และ $j = 1, 2, \dots, n$

โดยมีกฎเกณฑ์การนำค่า a_{ij} จากการเปรียบเทียบทีละคู่เกณฑ์ใส่ลงในตารางเมตริกซ์ มีกฎ 2 ข้อ ได้แก่

1. ถ้า $a_{ij} = \alpha$ จะทำให้ $a_{ij} = 1/\alpha$ โดยที่ $\alpha \neq 0$
2. ถ้าเกณฑ์ในการตัดสินใจ C_i มีความสำคัญเท่ากับเกณฑ์ในการตัดสินใจ C_j จะทำให้

$$a_{ij} = a_{ji} = 1 \text{ เสมอ}$$

ดังนั้นตารางเมตริกซ์ A สามารถเขียนได้ ดังนี้

เกณฑ์	C_1	C_2	C_3	$\dots C_n$	เกณฑ์																					
A	=	<table style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px 10px;">1</td> <td style="padding: 5px 10px;">a_{12}</td> <td style="padding: 5px 10px;">a_{13}</td> <td style="padding: 5px 10px;">$\dots a_{1n}$</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px 10px;">$1/a_{12}$</td> <td style="padding: 5px 10px;">1</td> <td style="padding: 5px 10px;">a_{23}</td> <td style="padding: 5px 10px;">$\dots a_{2n}$</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px 10px;">$1/a_{1n}$</td> <td style="padding: 5px 10px;">$1/a_{2n}$</td> <td style="padding: 5px 10px;">1</td> <td style="padding: 5px 10px;">$\dots a_{3n}$</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px 10px;">:</td> <td style="padding: 5px 10px;">:</td> <td style="padding: 5px 10px;">:</td> <td style="padding: 5px 10px;">\dots</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px 10px;">$1/a_{1n}$</td> <td style="padding: 5px 10px;">$1/a_{2n}$</td> <td style="padding: 5px 10px;">$1/a_{3n}$</td> <td style="padding: 5px 10px;">$\dots 1$</td> </tr> </table>				1	a_{12}	a_{13}	$\dots a_{1n}$	$1/a_{12}$	1	a_{23}	$\dots a_{2n}$	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	1	$\dots a_{3n}$:	:	:	\dots	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	$1/a_{3n}$	$\dots 1$	A ₁
1	a_{12}	a_{13}	$\dots a_{1n}$																							
$1/a_{12}$	1	a_{23}	$\dots a_{2n}$																							
$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	1	$\dots a_{3n}$																							
:	:	:	\dots																							
$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	$1/a_{3n}$	$\dots 1$																							
					A ₂																					
					A ₃																					
					:																					
					A _n																					

ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตาราง 2.2.

ตาราง 2.2 แสดงตารางเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบรายคู่

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

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนครั้งในการทำวินิจฉัยเปรียบเทียบ มีดังนี้

$$N = \frac{n^2 - n}{2} \dots \dots \dots \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ N = จำนวนครั้งในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ

n = จำนวนปัจจัยที่ถูกนำมาเปรียบเทียบเป็นคู่ ๆ

การวินิจฉัยเปรียบเทียบแต่ละคู่เกณฑ์ระหว่างเกณฑ์ C_i กับ A_j นั้น ผู้ทำการตัดสินใจให้ค่าน้ำหนักจะต้องทราบว่าแต่ละเกณฑ์ที่ทำการพิจารณานั้นมีความสำคัญ มีการส่งผล มีอิทธิพล หรือมีประโยชน์มากกว่าเกณฑ์อื่นที่นำมาเปรียบเทียบในระดับใด ซึ่งการเปรียบเทียบนั้นผู้ทำการพิจารณา

ต้องแสดงออกในรูปของความหมายที่เป็นคำพูด เช่น มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด แล้วจึงใช้ตัวเลขในการแทนค่า เพื่อให้การพิจารณานั้นมีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

สำหรับกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นนั้น Dr. Thomas Saaty ได้มีการคิดค้นและคำนวณค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้แทนค่าน้ำหนักในการเปรียบเทียบเกณฑ์แต่ละคู่ พบว่าตัวเลข 1-9 นั้นมีความเหมาะสมกับเหตุผลและสะท้อนถึงระดับที่สามารถแยกแยะความสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์ได้ดี โดยได้มีการอธิบายตัวเลขไว้ดังตาราง 2.3.

ตาราง 2.3. แสดงความหมายของการเปรียบเทียบเป็นรายคู่

ระดับความเข้มข้น ของความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่ากัน	ทั้ง 2 เกณฑ์ส่งผลกระทบต่อวัตถุประสงค์เท่า ๆ กัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง	ผู้วินิจฉัยให้ความคิดเห็นว่าเกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีก เกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก	ผู้วินิจฉัยให้ความคิดเห็นว่าเกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีก เกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับมาก
7	สำคัญกว่ามากที่สุด	ผู้วินิจฉัยให้ความคิดเห็นว่าเกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีก เกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับมากที่สุด
9	สำคัญกว่าสูงสุด	ผู้วินิจฉัยให้ความคิดเห็นว่าเกณฑ์หนึ่งสำคัญกว่าอีก เกณฑ์หนึ่งอยู่ในระดับสูงสุด
2, 4, 6, 8	อยู่ระหว่างระดับที่ได้ อธิบายมาแล้วข้างต้น	อยู่ระหว่างระดับที่ได้อธิบายมาข้างต้น

3. การหาค่าน้ำหนักเกณฑ์ เมื่อได้ค่าน้ำหนักที่ผู้เชี่ยวชาญได้วินิจฉัยออกมาในรูปแบบของตัวเลขแล้ว จะนำตัวเลขที่ได้มาคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญในแต่ละชั้น แล้วทำการวิเคราะห์ตามลำดับขั้นแต่ละระดับจากชั้นบนลงสู่ชั้นล่างจนครบทุกชั้น โดยวิธีการคำนวณมีขั้นตอน ดังนี้

3.1 ทำการเปรียบเทียบเกณฑ์แต่ละคู่ในรูปของตารางเมตริกซ์ โดยทำการเปรียบเทียบทุก ๆ เกณฑ์ ทั้งแถวในแนวนอนและแนวตั้ง

3.2 คำนวณหาค่า Eigenvector ของเมตริกซ์ในแต่ละแถว โดยการหา Normalized นี้ ซึ่งทำได้จากการหาค่าเฉลี่ยความสำคัญในแต่ละแถว

3.3 การคำนวณหาลำดับความสำคัญของระดับชั้นถัดลงมา ทำโดยการคำนวณตั้งแต่ชั้นตอนที่ 1 จนถึงชั้นตอนที่ 2 แล้วนำค่าที่คำนวณได้ จากลำดับชั้นที่อยู่สูงกว่า 1 ระดับชั้น มาเป็นตัวคูณค่า

Normalized ของลำดับชั้นที่ 2 ที่ได้จากการคำนวณ จะได้ค่าลำดับความสำคัญในลำดับชั้นรองลงมาตามเกณฑ์ในระดับชั้นนั้น ๆ ทำเช่นนี้จนครบทุกเกณฑ์

โดยสมการที่ใช้คำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ในแต่ละชั้น ดังนี้

$$Aw = \lambda_{\max}w \dots \dots \dots \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อ A คือ สแควร์เมตริกซ์ระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ แสดงด้วยค่าตัวเลขซึ่งปรับค่าให้เป็น 1 แล้ว (Normalized)

w คือ Eigenvector แสดงน้ำหนักความสำคัญสัมพัทธ์ของที่อยู่ในลำดับชั้นเดียวกันหรือกลุ่มของที่อยู่ภายใต้ของในลำดับชั้นที่สูงกว่า

λ_{\max} คือ Maximum Eigenvalue

4. การตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: C.R) เป็นการตรวจสอบผลการเปรียบเทียบที่ได้กระทำมาในข้อที่ 2 นั้นว่ามีความสอดคล้องกันของเหตุผลหรือไม่ โดยสามารถหาค่าดัชนีความสอดคล้องกันของเหตุผลได้ดังนี้

4.1 คำนวณหาค่า λ_{\max} เป็นค่าที่คำนวณได้จากการนำเอาผลรวมของค่าวินิจฉัยของแต่ละเกณฑ์ในแต่ละแถว มาคูณด้วยผลรวมค่าเฉลี่ยในแนวนอนแต่ละแถว แล้วนำเอาผลคูณที่ได้มารวมกันผลลัพธ์ที่ได้จะเท่ากับจำนวนเกณฑ์ทั้งหมดที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ โดยถ้าการวินิจฉัยในเกณฑ์นั้นมีความสอดคล้องกันอย่างสมบูรณ์ จะทำให้ค่า $\lambda_{\max} = n$

4.2 คำนวณค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง (Consistency Index: C.I.) หาได้ดังสมการที่ 3

$$C.I. = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \dots \dots \dots \text{สมการที่ 3}$$

4.3 เปิดตารางค่าดัชนีวัดความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) โดยที่ค่า R.I. เป็นค่าที่ขึ้นกับขนาดของเมตริกซ์ตั้งแต่ 1x1 จนถึง 15x15 โดยผลของ R.I ดังตาราง 2.4.

ตาราง 2.4. แสดงค่าของดัชนีของความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์

N	R.I	N	R.I	N	R.I	N	R.I	N	R.I
1	0.00	4	0.90	7	1.32	10	1.49	13	1.56
2	0.00	5	1.12	8	1.41	11	1.51	14	1.57
3	0.58	6	1.24	9	1.45	12	1.48	15	1.59

4.4 คำนวณค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio, C.R) คำนวณได้จาก อัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง (Consistency Index: C.I.) ที่คำนวณได้จาก ตารางเมตริกซ์กับค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) ที่ดูจากตาราง 2.4 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$C.R. = C.I./R.I. \dots \dots \dots \text{สมการที่ 4}$$

สำหรับค่าของ C.R. ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.10 ถือว่ายอมรับได้ แต่ถ้ามากกว่า 0.10 ถือว่า ไม่สามารถยอมรับได้ จะต้องทำการทบทวนการให้ค่าน้ำหนักคะแนนเปรียบเทียบในเกณฑ์นั้นกันใหม่ จนได้ค่า C.R. ที่สามารถยอมรับได้

2.1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุของการเกิดหลุมยุบและการประเมินภัยพิบัติหลุมยุบ อาทิต Kouri (2013) ได้ทำการประเมินภัยพิบัติหลุมยุบ ในพื้นที่ศึกษาบริเวณหุบเขาคินตา ประเทศ มาเลเซียซึ่งเป็นพื้นที่ที่รองรับด้วยหินปูนยุคดีโวเนียน-เพอร์เมียน โดยการสร้างแผนที่แบบจำลองภัย พิบัติหลุมยุบด้วยข้อมูล GIS และ Remote sensing ร่วมกับวิธีการพิจารณาแบบหลายกฎเกณฑ์ โดยมีการพิจารณาปัจจัยทั้งหมด 8 ปัจจัย ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยา แนวรอยเลื่อน ประเภทของดิน ความลาดชันเฉลี่ยของพื้นที่ ขนาดหลุมยุบ ลักษณะถนน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และพื้นที่น้ำ โดยการ พัฒนาเมือง การกระจายตัวของรอยเลื่อน และพื้นที่บ่อขุดเหมืองเก่า ถือเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดหลุม ยุบโดยตรง จากการศึกษาพบว่าบริเวณที่มีการเกิดและเสี่ยงต่อการเกิดหลุมยุบมากที่สุด ได้แก่ พื้นที่ เมือง นอกจากนี้ทำให้ทราบว่าเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศสามารถนำมาใช้วิเคราะห์เชิงปริมาณการ กระจายตัวของหลุมยุบของแผนที่ได้ โดยใช้เกณฑ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมาร่วมพิจารณาและเปรียบเทียบ ระดับความสำคัญโดยการอ้างอิงจากงานวิจัยต่าง ๆ

Sari (2017) ได้ทำการประเมินภัยพิบัติหลุมยุบที่เมืองคาราปินาร์ ประเทศตุรกี โดยการสร้าง แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในพื้นที่เมืองคาราปินาร์ โดยใช้วิธี AHP method ในการ พิจารณาปัจจัยทั้งหมด 9 ปัจจัย ได้แก่ ความชันของพื้นที่ การใช้ประโยชน์ของพื้นที่ ความสูงของพื้นที่ ลักษณะทางธรณีวิทยา ระดับน้ำในบ่อบาดาล ระยะห่างจากถนน ที่พักอาศัย หลุมยุบเดิม และรอย เลื่อน พบว่าสาเหตุหลักของการเกิดหลุมยุบในเมืองคาราปินาร์ ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยา การใช้ ประโยชน์ของพื้นที่ และหลุมยุบเดิม โดยพบว่าแนวโน้มการเกิดหลุมยุบมักอยู่ใกล้กับถนน พื้นที่ เกษตรกรรมและพื้นที่ชุมชน รวมไปถึงพื้นที่ที่รองรับด้วยหินปูนและบริเวณที่มีการใช้น้ำบาดาลมาก

ณัฐญา ชมพูนศรี (2560) ได้ทำการศึกษาเรื่องพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบในภูมิภาคแบบ หินปูน โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับวิธีการพิจารณาแบบหลายกฎเกณฑ์ ในพื้นที่ศึกษา ตำบลชมพู อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการใช้น้ำบาดาลมาก ส่งผลให้เกิดหลุมยุบขึ้นในพื้นที่ โดยมีการพิจารณาปัจจัยทั้งหมด 5 ปัจจัย ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน อัตราการใช้น้ำบาดาลต่อปี ความลึกของบ่อบาดาล ข้อมูลกลุ่มชุดดิน และข้อมูลความลาดชันของพื้นที่ ดังตาราง 2.5. โดยพบว่าอัตราการใช้น้ำบาดาลต่อปีมีผลต่อการเกิดหลุมยุบในพื้นที่มากที่สุด และบริเวณที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดหลุมยุบมากที่สุด ได้แก่ พื้นที่ที่มีการทำเกษตรกรรมและพื้นที่สิ่งปลูกสร้างและที่อยู่อาศัย

ตาราง 2.5. แสดงค่าน้ำหนักและค่าคะแนนของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหลุมยุบในพื้นที่ตำบลชมพู อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก

ปัจจัย	ค่าน้ำหนัก	ความสำคัญของปัจจัย	
		รายละเอียด	ค่าคะแนน
การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2556	10	- พื้นที่สิ่งปลูกสร้างและที่อยู่อาศัย	5
		- พื้นที่เกษตรกรรม	4
		- พื้นที่ป่าไม้	3
		- พื้นที่เบ็ดเตล็ด	2
		- พื้นที่แหล่งน้ำ	1
อัตราการใช้น้ำต่อปี (ลูกบาศก์เมตร/ปี)	8	- อัตราการใช้น้ำ 1-960 ลบ.ม./ปี	1
		- อัตราการใช้น้ำ 961-18240 ลบ.ม./ปี	2
		- อัตราการใช้น้ำ 18240-35520 ลบ.ม./ปี	3
ความลึกของบ่อบาดาล (เมตร)	6	- ความลึกบ่อบาดาลช่วง 1-30 เมตร	1
		- ความลึกบ่อบาดาลช่วง 31-50 เมตร	2
		- ความลึกบ่อบาดาลช่วง 51-70 เมตร	3
		- ความลึกบ่อบาดาลช่วง 71-90 เมตร	4
		- ความลึกบ่อบาดาลช่วง 91-122 เมตร	5
ข้อมูลกลุ่มดิน	4	- กลุ่มก้อนหิน	1
		- ดินเหนียว	2
		- ดินร่วน	3
		- ดินทราย	4

ค่าความลาดชัน	2	- ค่าความลาดชัน 0-2%	1
		- ค่าความลาดชัน 2-5%	2
		- ค่าความลาดชัน 5-12%	3
		- ค่าความลาดชัน 12-20%	4
		- ค่าความลาดชัน 20-35%	5
		- ค่าความลาดชันมากกว่า 35%	6

2.2 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดหลุมยุบ เช่น สาเหตุการเกิด กระบวนการเกิด รวมถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.2 ศึกษาวิธีการใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ในการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ รวมถึงการใช้โปรแกรม ArcMap 10.5 ในการประมวลผลและจัดทำแผนที่

2. สืบค้นและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

สืบค้นและรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดหลุมยุบจากแหล่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ อาทิ หน่วยงานของภาครัฐ

3. ดำเนินงานวิจัย

3.1 จัดรูปแบบของข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นและรวบรวมให้อยู่ในรูปของไฟล์ภูมิสารสนเทศ

3.2 พิจารณปัจจัยด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP method) โดยการคำนวณค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย

3.3 ประมวลผลและจัดทำแผนที่ประเมินพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย โดยใช้โปรแกรม ArcMap 10.5

4. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินงานและสรุปผล

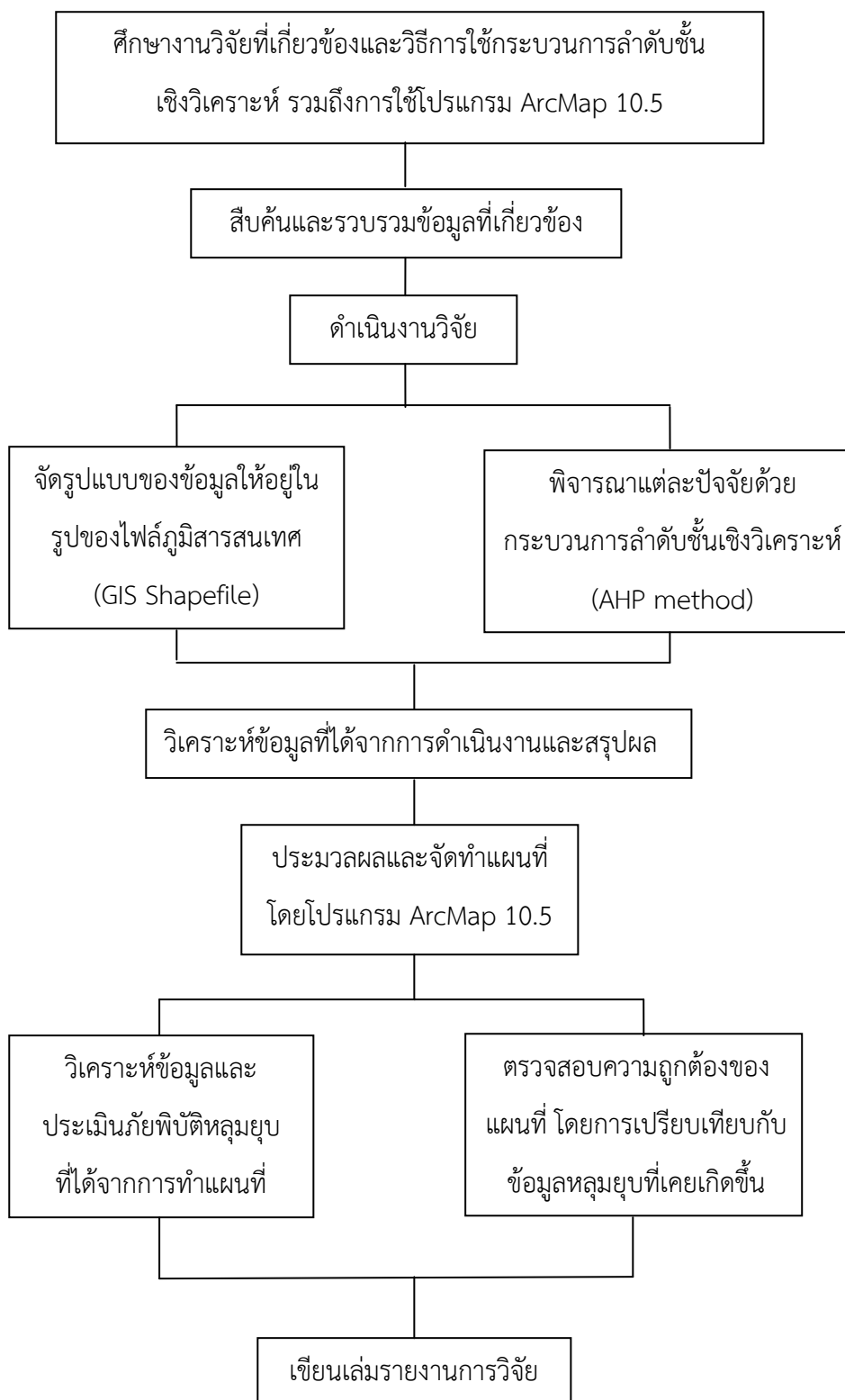
4.1 วิเคราะห์ข้อมูลและประเมินภัยพิบัติหลุมยุบที่ได้จากการจัดทำแผนที่

4.2 ตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ โดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทย

4.3 วิเคราะห์ผลจากการนำแผนที่มาเปรียบเทียบกับแผนที่แสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบในประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2548)

4.4 วิเคราะห์ผลจากการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยโดยการอ้างอิงค่าน้ำหนักจากงานวิจัยและการให้ค่าน้ำหนักปัจจัยเท่ากัน

5. เขียนเล่มรายงานการวิจัย



รูป 2.1. แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงาน

บทที่ 3

ดำเนินงานวิจัย

3.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดหลุมยุบ ทำให้ทราบถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลให้เกิดหลุมยุบ ได้แก่ ความลาดชันของพื้นที่ ระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้นลักษณะทางธรณีวิทยา ปริมาณฝน ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล ระยะห่างจากเส้นทางถนน ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ กลุ่มชุดดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ ซึ่งผู้จัดทำได้มีการรวบรวมข้อมูลของแต่ละปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น จากแหล่งที่มาที่มีความน่าเชื่อถือ ดังนี้

1. ข้อมูลความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) ความละเอียด 90 เมตร จาก United States Geological Survey (USGS)
2. ข้อมูลแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น (Faults and lineaments) จากกรมทรัพยากรธรณีและสันติ ภัยหลบลี้ (2552)
3. ข้อมูลทางธรณีวิทยา จากกรมทรัพยากรธรณี
4. ข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี พ.ศ.2560 - พ.ศ.2563 จากกรมอุตุนิยมวิทยา
5. ข้อมูลน้ำบาดาล จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล
6. ข้อมูลเส้นทางถนน จากกรมทางหลวง
7. ข้อมูลเส้นทางน้ำ จากกรมทรัพยากรน้ำ
8. ข้อมูลกลุ่มชุดดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน
9. ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน

3.2 ปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้อง

3.2.1 ความลาดชันของพื้นที่

ความลาดชันของพื้นที่สามารถบ่งบอกถึงการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ โดยบริเวณที่มีความลาดชันมากมีแนวโน้มที่จะเกิดหลุมยุบน้อยกว่าเนื่องจากไม่มีการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ ซึ่งจากข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดินสามารถแบ่งพื้นที่ความลาดชันได้เป็น 6 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ (0-2%) พื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย (2-5%) ลูกคลื่นลอนลาด (5-12%) ลูกคลื่นลอนชัน (12-20%) เนินเขา (20-35%) และพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อนหรือที่ลาดชันสูง (มากกว่า 35%)

3.2.2 ระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น

แนวรอยเลื่อนและแนวเส้นถือเป็นปัจจัยที่ทำให้ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาเกิดการเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากน้ำสามารถซึมเข้าแนวเหล่านี้ลงไปยังชั้นดินหรือหินข้างใต้ได้ ทำให้เกิดการละลายของเนื้อหินโดยเฉพาะในหินปูน ก่อให้เกิดเป็นโพรงใต้ดินขึ้น และการเคลื่อนตัวของแนวรอยเลื่อนก็อาจทำให้ชั้นดินหรือหินข้างใต้เกิดความเสียสมดุล โพรงที่อยู่ข้างใต้อาจถล่มลงมากลายเป็นหลุมยุบ ยกตัวอย่างเช่นกรณีเหตุการณ์สึนามิในปี พ.ศ.2547 การเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ ก่อให้เกิดการกระจายตัวของหลุมยุบเป็นบริเวณกว้าง ในพื้นที่แถบชายฝั่งทะเลอันดามัน โดยพบว่ามีหลุมยุบเกิดขึ้นถึง 14 ครั้ง หลังเหตุการณ์ในครั้งนี้ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าบริเวณที่อยู่ใกล้แนวรอยเลื่อนและแนวเส้นจึงมีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบมากกว่าบริเวณที่อยู่ไกล

3.2.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา

ลักษณะทางธรณีวิทยาถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อการเกิดหลุมยุบ โดยพื้นที่ที่รองรับด้วยหินปูนจะมีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบมากที่สุด เนื่องจากหินปูนสามารถเกิดเป็นโพรงได้ง่ายจากกระบวนการละลายทางเคมี นอกจากนี้ดินทรายก็สามารถทำให้เกิดโพรงได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากลักษณะและสมบัติของดิน โดยเฉพาะในช่วงที่มีฝนตกหนักและพื้นที่อยู่ใกล้กับทางน้ำ

3.2.4 ปริมาณฝน

ปริมาณฝน เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดหลุมยุบได้ เนื่องจากเมื่อฝนตกหนัก น้ำใต้ดินจะมีการไหลอย่างรวดเร็วพัดพาตะกอนที่รองรับอยู่ด้านล่างออกไป ทำให้เกิดการทรุดตัวของพื้นดินกลายเป็นหลุมยุบขึ้น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าพื้นที่ที่มีปริมาณฝนมากจึงมีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบมากกว่าพื้นที่ที่มีปริมาณฝนน้อยกว่า

3.2.5 ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล

การนำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน ทำให้เกิดความไม่เสถียรของโครงสร้างใต้ดิน และอาจทำให้โพรงใต้ดินเกิดการถล่มลงมากลายเป็นหลุมยุบได้ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าพื้นที่ที่อยู่ใกล้จากบ่อน้ำบาดาลจึงมีความอ่อนไหวต่อการเกิด หลุมยุบมากกว่าพื้นที่ที่ไกลออกไป

3.2.6 ระยะห่างจากเส้นทางถนน

หลุมยุบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มักเกิดบริเวณถนน เนื่องจากการรับน้ำหนักปริมาณมากจากการจราจรบนถนน รวมถึงฝนที่ตกอย่างหนักพัดพาตะกอนใต้ถนนออกไป ทำให้ถนนเกิดการทรุดตัวเกิดเป็นหลุมยุบขึ้น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับถนนมีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบมากกว่าพื้นที่ที่ไกลจากถนนออกไป

3.2.7 ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ

พื้นที่ที่อยู่ใกล้กับเส้นทางน้ำ เช่น แม่น้ำ ลำคลองต่าง ๆ ที่มีชั้นทรายรองรับอยู่ใต้ดิน เมื่อมีฝนตกหนักหรือตกต่อเนื่อง จะทำให้ปริมาณและแรงพัดพาของน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นจึงพัดพาเอาตะกอนทรายใต้ดินลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง ส่งผลให้เกิดโพรงใต้ดินขึ้นได้ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับเส้นทางน้ำจึงมีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบมากกว่าพื้นที่ที่อยู่ไกลจากเส้นทางน้ำออกไป

3.2.8 ลักษณะกลุ่มชุดดิน

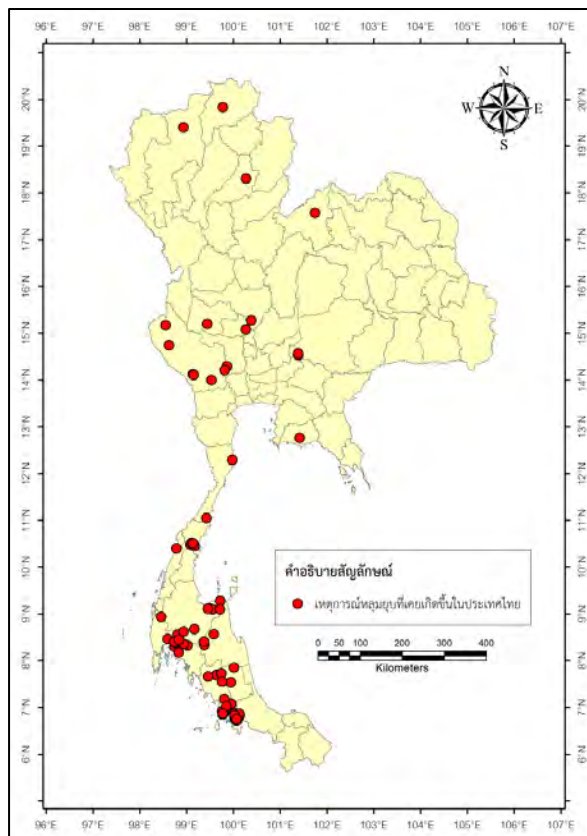
ลักษณะและสมบัติของดินที่ปกคลุมพื้นที่มีผลต่อการเกิดหลุมยุบ ซึ่งกรมพัฒนาที่ดินได้แบ่งกลุ่มชุดดินออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ กลุ่มดินทราย กลุ่มดินร่วน กลุ่มดินเหนียวและกลุ่มหิน โดยกลุ่มดินทรายสามารถเกิดหลุมยุบได้ง่ายที่สุด เนื่องจากดินทรายมีคุณสมบัติการระบายน้ำและอากาศที่ดี แต่มีความสามารถในการอุ้มน้ำที่ต่ำ รองลงมาเป็นกลุ่มดินร่วน กลุ่มดินเหนียวและกลุ่มหินตามลำดับ

3.2.9 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบมากที่สุด ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ชุมชน เนื่องจากในพื้นที่เกษตรกรรมมีการนำน้ำทั้งจากบนดินและใต้ดินขึ้นมาใช้ ส่งผลให้ระดับน้ำใต้ดินเกิดความเสียสมดุล รวมถึงการรดน้ำลงบนพื้นที่เกษตรกรรมอาจทำให้ชั้นหินด้านล่างเกิดการละลายกลายเป็นโพรงขึ้นและถล่มลงเป็นหลุมยุบได้ นอกจากนี้แรงกดทับจากสิ่งปลูกสร้างและอาคารบ้านเรือนก็สามารถเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดหลุมยุบได้ เนื่องจากโพรงใต้ดินรับน้ำหนักไม่ไหวจึงถล่มลงมากลายเป็นหลุมยุบได้เช่นเดียวกัน และพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวรองลงมา ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เบ็ดเตล็ด และพื้นที่น้ำ ตามลำดับ

3.3 การกำหนดความสำคัญของแต่ละปัจจัยโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

ในการกำหนดค่าความสำคัญของแต่ละปัจจัยจะใช้การอ้างอิงจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดหลุมยุบ รวมถึงตัวอย่างหลุมยุบในประเทศไทยระหว่างวันที่ 26 ธ.ค. 2547 ถึง 28 ก.พ. 2550 (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) ดังแสดงในบทที่ 2 และจากข้อมูลภูมิสารสนเทศของเหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทยจำนวน 80 หลุม ในปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2548 มาร่วมในการพิจารณาดังรูป 3.1.



รูป 3.1. แสดงแผนที่เหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทย จำนวน 80 หลุม
ในปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2548

เมื่อนำข้อมูลภูมิสารสนเทศของเหตุการณ์การเกิดหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทย
จำนวน 80 หลุม ในปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2548 มาซ้อนทับกับข้อมูลภูมิสารสนเทศของแต่ละปัจจัยจะ
ได้ข้อมูลดังตาราง 3.1.

ตาราง 3.1. แสดงจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นข้อมูลย่อยของทั้ง 9 ปัจจัย

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา	ชั้นข้อมูล	จำนวนหลุมยุบ
ความลาดชันของพื้นที่ (%)	0 - 2	39
	2 - 5	15
	5 - 12	14
	12 - 20	7
	20 - 35	5
	มากกว่า 35	0

ตาราง 3.1. แสดงจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นข้อมูลย่อยของทั้ง 9 ปัจจัย (ต่อ)

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา	ชั้นข้อมูล	จำนวนหลุมยุบ
ระยะห่างจากแนวรอยเลื่อน และแนวเส้น (เมตร)	0 – 2,000	26
	2,000 – 4,000	20
	4,000 – 6,000	11
	6,000 – 8,000	4
	มากกว่า 8,000	19
ลักษณะทางธรณีวิทยา	ตะกอนควอเทอร์นารี	47
	หินปูน	21
	หินตะกอนเนื้อประสม	7
	หินอัคนี	3
	หินแปร	2
ปริมาณฝน (มิลลิเมตร/ปี)	น้อยกว่า 900	7
	900 – 1,000	5
	1,000 – 1,100	1
	1,100 – 1,200	1
	มากกว่า 1,200	66
ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล (เมตร)	0 – 2,000	65
	2,000 – 4,000	13
	4,000 – 6,000	1
	6,000 – 8,000	1
	มากกว่า 8,000	0
ระยะห่างจากเส้นทางถนน (เมตร)	0 – 2,000	50
	2,000 – 4,000	17
	4,000 – 6,000	7
	6,000 – 8,000	0
	มากกว่า 8,000	6

ตาราง 3.1. แสดงจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นข้อมูลย่อยของทั้ง 9 ปัจจัย (ต่อ)

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา	ชั้นข้อมูล	จำนวนหลุมยุบ
ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ (เมตร)	0 – 2,000	41
	2,000 – 4,000	9
	4,000 – 6,000	7
	6,000 – 8,000	6
	มากกว่า 8,000	17
กลุ่มชุดดิน	กลุ่มดินทราย	1
	กลุ่มดินร่วน	62
	กลุ่มดินเหนียว	6
	กลุ่มหิน	0
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่เกษตรกรรม	55
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	17
	พื้นที่ป่าไม้	7
	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	0
	พื้นที่น้ำ	1

จากการพิจารณาข้อมูลดังที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้สามารถกำหนดค่าคะแนนของปัจจัยย่อยของทั้ง 9 ปัจจัย ได้ดังตาราง 3.2. จากนั้นจึงกำหนดค่าความสำคัญของแต่ละปัจจัยด้วยการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ ดังตาราง 3.3. และคำนวณค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยด้วยวิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ดังตาราง 3.4.

ตาราง 3.2. แสดงการกำหนดค่าคะแนนของปัจจัยย่อยของทั้ง 9 ปัจจัย

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา	ชั้นข้อมูล	ค่าคะแนนของปัจจัย
ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล (เมตร)	0 – 2,000	5
	2,000 – 4,000	4
	4,000 – 6,000	3
	6,000 – 8,000	2
	มากกว่า 8,000	1

ตาราง 3.2 แสดงการกำหนดค่าคะแนนของปัจจัยย่อยของทั้ง 9 ปัจจัย (ต่อ)

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา	ชั้นข้อมูล	จำนวนหลุมยุบ
ระยะห่างจากแนวรอยเลื่อน และแนวเส้น (เมตร)	0 – 2,000	5
	2,000 – 4,000	4
	4,000 – 6,000	3
	6,000 – 8,000	2
	มากกว่า 8,000	1
ลักษณะทางธรณีวิทยา	หินปูน	5
	ตะกอนควอเทอร์นารี	4
	หินตะกอนเนื้อประสม	3
	หินอัคนี	2
	หินแปร	1
ปริมาณฝน (มิลลิเมตร/ปี)	น้อยกว่า 900	1
	900 – 1,000	2
	1,000 – 1,100	3
	1,100 – 1,200	4
	มากกว่า 1,200	5
ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล (เมตร)	0 – 2,000	5
	2,000 – 4,000	4
	4,000 – 6,000	3
	6,000 – 8,000	2
	มากกว่า 8,000	1
ระยะห่างจากเส้นทางถนน (เมตร)	0 – 2,000	5
	2,000 – 4,000	4
	4,000 – 6,000	3
	6,000 – 8,000	2
	มากกว่า 8,000	1

ตาราง 3.2 แสดงการกำหนดค่าคะแนนของปัจจัยย่อยของทั้ง 9 ปัจจัย (ต่อ)

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา	ชั้นข้อมูล	ค่าคะแนนของปัจจัย
ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ (เมตร)	0 – 2,000	5
	2,000 – 4,000	4
	4,000 – 6,000	3
	6,000 – 8,000	2
	มากกว่า 8,000	1
กลุ่มชุดดิน	กลุ่มดินร่วน	4
	กลุ่มดินเหนียว	3
	กลุ่มดินทราย	2
	กลุ่มหิน	1
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่เกษตรกรรม	5
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	4
	พื้นที่ป่าไม้	3
	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	2
	พื้นที่น้ำ	1

ตาราง 3.3. แสดงการกำหนดค่าความสำคัญของทั้ง 9 ปัจจัยด้วยการเปรียบเทียบเป็นรายคู่

ปัจจัย	ปัจจัย 1	ปัจจัย 2	ปัจจัย 3	ปัจจัย 4	ปัจจัย 5	ปัจจัย 6	ปัจจัย 7	ปัจจัย 8	ปัจจัย 9
ปัจจัย 1	1	2	2	3	4	5	7	7	9
ปัจจัย 2	1/2	1	1	2	3	4	6	6	8
ปัจจัย 3	1/2	1	1	2	3	4	6	6	8
ปัจจัย 4	1/3	1/2	1/2	1	2	3	5	5	7
ปัจจัย 5	1/4	1/3	1/3	1/2	1	2	4	4	6
ปัจจัย 6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1	3	3	5
ปัจจัย 7	1/7	1/6	1/6	1/5	1/4	1/3	1	1	3
ปัจจัย 8	1/7	1/6	1/6	1/5	1/4	1/3	1	1	3
ปัจจัย 9	1/9	1/8	1/8	1/7	1/6	1/5	1/3	1/3	1
ผลรวม	3.18	5.54	5.54	9.38	14.17	19.87	33.33	33.33	50.00

ตาราง 3.4. แสดงการคำนวณหาค่าน้ำหนักของทั้ง 9 ปัจจัยด้วยวิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

ปัจจัย	ปัจจัย 1	ปัจจัย 2	ปัจจัย 3	ปัจจัย 4	ปัจจัย 5	ปัจจัย 6	ปัจจัย 7	ปัจจัย 8	ปัจจัย 9
ปัจจัย 1	0.31	0.36	0.36	0.32	0.28	0.25	0.21	0.21	0.18
ปัจจัย 2	0.16	0.18	0.18	0.21	0.21	0.20	0.18	0.18	0.16
ปัจจัย 3	0.16	0.18	0.18	0.21	0.21	0.20	0.18	0.18	0.16
ปัจจัย 4	0.10	0.09	0.09	0.11	0.14	0.15	0.15	0.15	0.14
ปัจจัย 5	0.08	0.06	0.06	0.05	0.07	0.10	0.12	0.12	0.12
ปัจจัย 6	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.09	0.09	0.10
ปัจจัย 7	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.06
ปัจจัย 8	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.06
ปัจจัย 9	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
ผลรวม	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

กำหนดให้ ปัจจัยที่ 1 = ลักษณะทางธรณีวิทยา ปัจจัยที่ 2 = ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล ปัจจัยที่ 3 = กลุ่มชุดดิน

ปัจจัยที่ 4 = การใช้ประโยชน์ของพื้นที่ ปัจจัยที่ 5 = ปริมาณฝน ปัจจัยที่ 6 = ระยะห่างจากเส้นทางถนน

ปัจจัยที่ 7 = ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ ปัจจัยที่ 8 = ความลาดชันของพื้นที่ ปัจจัยที่ 9 = ระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น

ตาราง 3.5. แสดงค่าน้ำหนักของทั้ง 9 ปัจจัย

ปัจจัย	ค่าน้ำหนัก
ลักษณะทางธรณีวิทยา	0.28
ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล	0.18
กลุ่มชุดดิน	0.18
การใช้ประโยชน์ของพื้นที่	0.12
ปริมาณฝน	0.09
ระยะห่างจากเส้นทางถนน	0.06
ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ	0.03
ความลาดชันของพื้นที่	0.03
ระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น	0.02

จากการตรวจสอบค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (C.R) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.03 ซึ่งน้อยกว่า 0.10 ถือเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้

3.4. การดำเนินงาน

นำข้อมูลของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการรวบรวมชั้นต้นมาประมวลผลเป็นแผนที่โดยใช้โปรแกรม Arcmap 10.5 ดังนี้

1. แปลงข้อมูลของแต่ละปัจจัยให้อยู่ในระบบพิกัดเดียวกัน
2. ดำเนินการทำแผนที่ของแต่ละปัจจัย

2.1. ความลาดชัน

นำเข้าข้อมูลความสูงเชิงตัวเลข เพื่อจัดทำเป็นแผนที่ความชัน โดยใช้เครื่องมือ Spatial Analyst tools > Surface > Slope จากนั้นทำการจำแนกออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ 0–2 %, 2–5 %, 5–12 %, 12–20 %, 20–35 % และ มากกว่า 35 % ตามการจำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน

2.2. ระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น

นำเข้าข้อมูลแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น เพื่อจัดทำแผนที่ระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น โดยใช้เครื่องมือ Analysis Tools > Proximity > Multiple Ring Buffer กำหนดระยะห่าง 2,000, 4,000, 6,000 และ 8,000 เมตร จากนั้นจึงทำการรวมเลเยอร์เข้ากับเลเยอร์ประเทศไทย โดยใช้เครื่องมือ Data management > General > Merge แล้วทำการจำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ 2,000 เมตร, 4,000 เมตร, 6,000 เมตร, 8,000 เมตร และมากกว่า 8,000 เมตร โดยอ้างอิงการจำแนกจาก Sari (2017)

2.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา

นำเข้าข้อมูลทางธรณีวิทยา เพื่อจัดทำแผนที่ลักษณะทางธรณีวิทยา โดยการจำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ หินปูน, หินตะกอนเนื้อประสม, หินอัคนี, หินแปรและตะกอนควอเทอร์นารี

2.4 ปริมาณฝน

นำเข้าข้อมูลปริมาณฝน เพื่อจัดทำแผนที่ปริมาณฝน โดยใช้เครื่องมือ Spatial Analyst Tools > Interpolation > IDW โดยการจำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ น้อยกว่า 900 มิลลิเมตร/ปี, 900 – 1,000 มิลลิเมตร/ปี, 1,000 – 1,100 มิลลิเมตร/ปี, 1,100 – 1,200 มิลลิเมตร/ปี และ มากกว่า 1,200 มิลลิเมตร/ปี

2.5 ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล

นำเข้าข้อมูลน้ำบาดาล เพื่อจัดทำแผนที่ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาลโดยใช้เครื่องมือ Analysis Tools > Proximity > Multiple Ring Buffer กำหนดระยะห่าง 2,000, 4,000, 6,000 และ 8,000 เมตร จากนั้นจึงทำการรวมเลเยอร์เข้ากับเลเยอร์ประเทศไทย โดยใช้เครื่องมือ Data management > General > Merge แล้วทำการจำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ 2,000 เมตร, 4,000 เมตร, 6,000 เมตร, 8,000 เมตร และมากกว่า 8,000 เมตร โดยอ้างอิงการจำแนกจาก Sari (2017)

2.6 ระยะห่างจากเส้นทางถนน

นำเข้าข้อมูลเส้นทางถนน เพื่อจัดทำแผนที่ระยะห่างจากเส้นทางถนน โดยใช้เครื่องมือ Analysis Tools > Proximity > Multiple Ring Buffer กำหนดระยะห่าง 2,000, 4,000, 6,000 และ 8,000 เมตร จากนั้นจึงทำการรวมเลเยอร์เข้ากับเลเยอร์ประเทศไทย โดยใช้เครื่องมือ Data management > General > Merge แล้วทำการจำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ 2,000 เมตร, 4,000 เมตร, 6,000 เมตร, 8,000 เมตร และมากกว่า 8,000 เมตร โดยอ้างอิงการจำแนกจาก Sari (2017)

2.7 ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ

นำเข้าข้อมูลเส้นทางน้ำ เพื่อจัดทำแผนที่ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ โดยใช้เครื่องมือ Analysis Tools > Proximity > Multiple Ring Buffer กำหนดระยะห่าง 2,000, 4,000, 6,000 และ 8,000 เมตร จากนั้นจึงทำการรวมเลเยอร์เข้ากับเลเยอร์ประเทศไทย โดยใช้เครื่องมือ Data management > General > Merge แล้วทำการจำแนกออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ 2,000 เมตร, 4,000 เมตร, 6,000 เมตร, 8,000 เมตร และมากกว่า 8,000 เมตร

2.8 กลุ่มชุดดิน

นำเข้าข้อมูลกลุ่มชุดดิน เพื่อจัดทำแผนที่กลุ่มชุดดิน โดยการจำแนก ออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มดินทราย กลุ่มดินร่วน กลุ่มดินเหนียวและกลุ่มก้อนหิน ตามการจำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน

2.9 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

นำเข้าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อจัดทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินโดยการจำแนก ออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่น้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด ตามการจำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน

3. แปลงข้อมูลแต่ละปัจจัยให้อยู่ในรูปแบบ Raster โดยใช้เครื่องมือ Conversion > To Raster > Polygon to Raster

4. กำหนดระดับค่าความอ่อนไหวกลุ่มย่อยของแต่ละปัจจัย โดยใช้เครื่องมือ Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify

5. จัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย โดยใช้เครื่องมือ Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator

6. จำแนกระดับความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 อ่อนไหวการเกิดหลุมยุบน้อยมาก

ระดับ 2 อ่อนไหวการเกิดหลุมยุบน้อย

ระดับ 3 อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบปานกลาง

ระดับ 4 อ่อนไหวการเกิดหลุมยุบสูง

ระดับ 5 อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงมาก

บทที่ 4 ผลการวิจัย

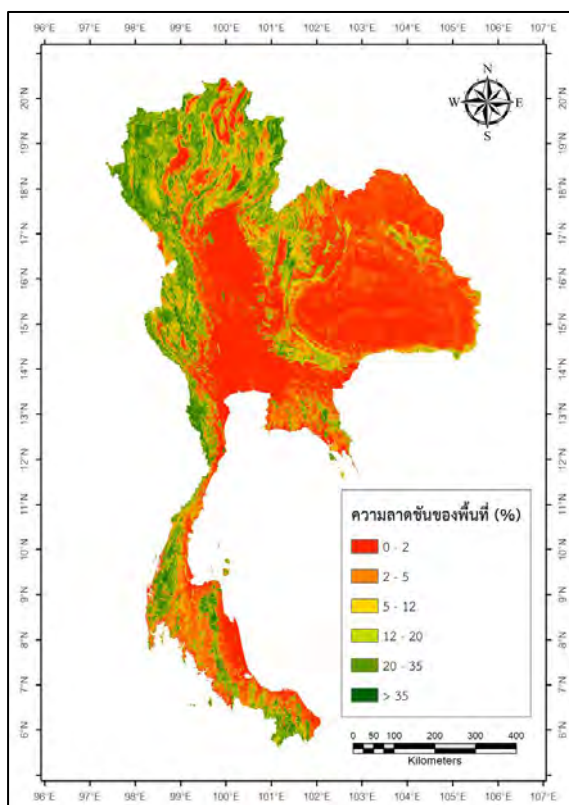
4.1 ผลจากการศึกษาปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย

1. ความลาดชันของพื้นที่

จากการศึกษาพบว่าความลาดชันของพื้นที่ ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเกิดหลุมยุบ โดยจากการอ้างอิงข้อมูลภูมิสารสนเทศของเหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทยจำนวน 80 หลุม ในปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2548 พบว่าหลุมยุบส่วนใหญ่เกิดในพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ (0 - 2%) รองลงมาเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย (2 - 5%) ลูกคลื่นลอนลาด (5 - 12%) ลูกคลื่นลอนชัน (12 - 20%) เนินเขา (20 - 35%) และพื้นที่ลาดชันเชิงชันหรือที่ลาดชันสูง (มากกว่า 35%) ตามลำดับ ดังตาราง 4.1. และรูป 4.1. และจากตัวอย่างหลุมยุบในประเทศไทยระหว่างวันที่ 26 ธ.ค. 2547 ถึง 28 ก.พ. 2550 พบว่าหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทยส่วนใหญ่เกิดในที่ราบเช่นเดียวกัน

ตาราง 4.1. แสดงพื้นที่ของแต่ละระดับความลาดชันและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น

ความลาดชัน	ครอบคลุมพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลุมยุบ	
		จำนวนหลุมยุบ	คิดเป็น (%)
พื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ (0 - 2 %)	223,669	39	49
พื้นที่ลูกคลื่นลอนลาดเล็กน้อย (2 - 5 %)	93,542	15	19
ลูกคลื่นลอนลาด (5 - 12 %)	58,085	14	17
ลูกคลื่นลอนชัน (12 - 20 %)	45,360	7	9
เนินเขา (20 - 35 %)	60,959	5	6
พื้นที่ลาดชันเชิงชันหรือที่ลาดชันสูง (> 35 %)	31,506	0	0



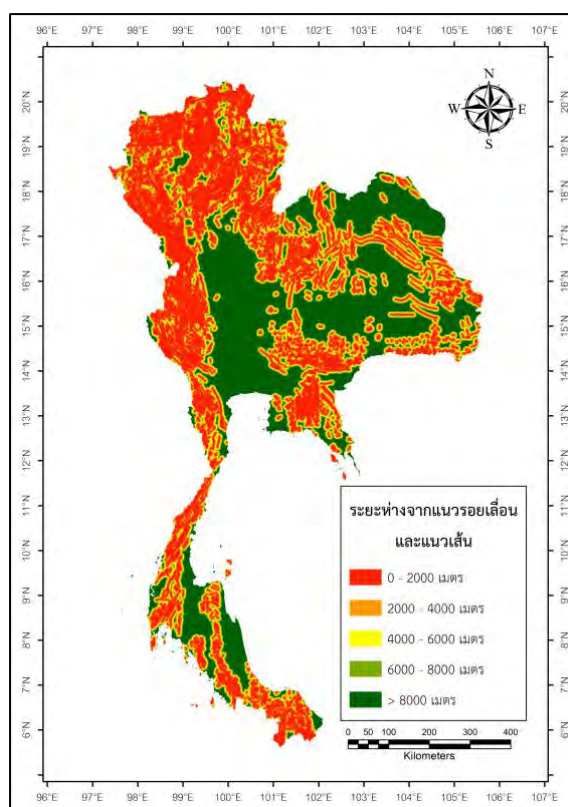
รูป 4.1. แผนที่แสดงความลาดชันของพื้นที่ในประเทศไทย

2. ระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น

จากการศึกษาพบว่าแนวรอยเลื่อนและแนวเส้นสามารถส่งผลให้เกิดหลุมยุบได้ โดยมักเกิดบริเวณแถบภาคตะวันตกและภาคใต้ของประเทศไทย แต่หากอ้างอิงจากข้อมูลภูมิสารสนเทศของเหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทยจำนวน 80 หลุม ในปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2548 พบว่าหลุมยุบส่วนใหญ่เกิดใกล้กับแนวรอยเลื่อนและแนวเส้นเพียง 26 หลุม ซึ่งคิดเป็น 33% จากจำนวนหลุมยุบทั้งหมด ดังตาราง 4.2. และรูป 4.2.

ตาราง 4.2. ตารางแสดงพื้นที่ของระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้นแต่ละระดับและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น

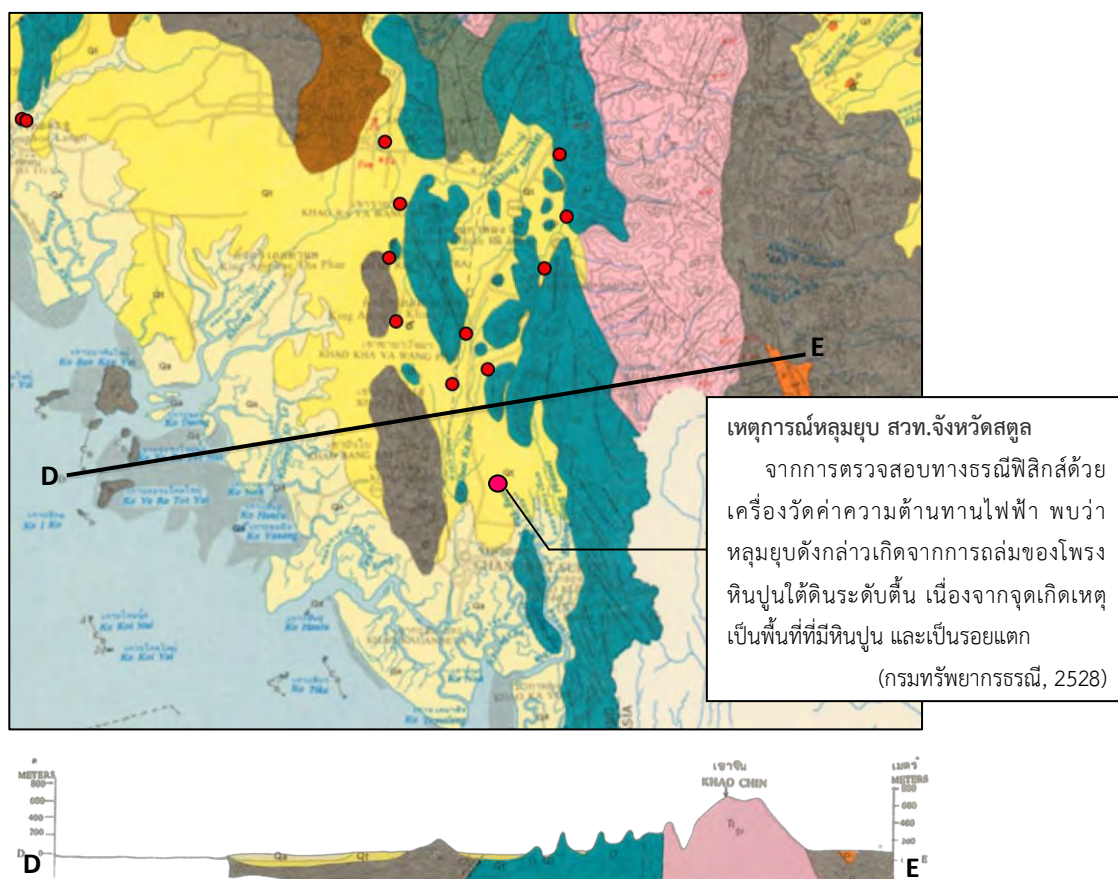
ระยะห่างจากแนว รอยเลื่อนและแนวเส้น	ครอบคลุมพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลุมยุบ	
		จำนวนหลุมยุบ	คิดเป็น (%)
0 – 2000	187,083	26	32
2000 – 4000	83,741	20	25
4000 - 6000	46,745	11	14
6000 – 8000	31,044	4	5
มากกว่า 8000	164,506	19	24



รูป 4.2. แผนที่แสดงระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้นในประเทศไทย

3. ลักษณะทางธรณีวิทยา

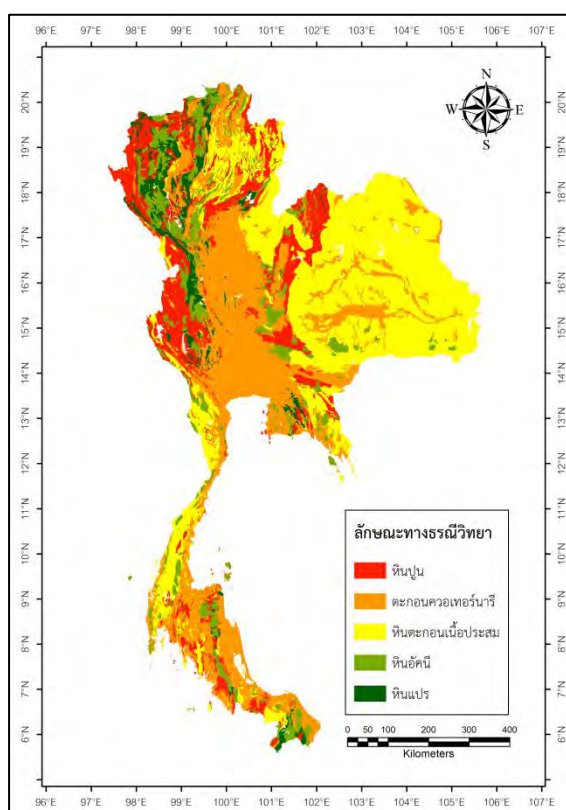
จากการอ้างอิงข้อมูลภูมิสารสนเทศของเหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทยจำนวน 80 หลุมยุบ ในปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2548 พบว่าหลุมยุบส่วนใหญ่เกิดขึ้นในตะกอนควอเทอร์นารี รองลงมาเป็น หินปูน หินตะกอนเนื้อประสม หินอัคนีและหินแปร ตามลำดับ ดังตาราง 4.3. และรูป 4.4. แต่จากหลักฐานข้อมูลหลุมยุบและการพิจารณาภาพตัดขวางลักษณะทางธรณีวิทยาในบางพื้นที่ จะพบว่าหลุมยุบเหล่านั้นเกิดจากการถล่มของโพรงหินปูนใต้ดินในบริเวณที่มีการสะสมของตะกอนควอเทอร์นารี ปิดทับอยู่ด้านบน ดังรูป 4.3. ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของการนำข้อมูลภูมิสารสนเทศมาใช้ เนื่องจากแผนที่จะแสดงให้เห็นสิ่งที่อยู่เพียงบนผิวดินเท่านั้น และจากตัวอย่างหลุมยุบในประเทศไทยระหว่างวันที่ 26 ธ.ค. 2547 ถึง 28 ก.พ. 2550 พบว่าหลุมยุบที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมักเกิดในหินปูนและตะกอนควอเทอร์นารี



รูป 4.3. แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาจังหวัดสตูลและภาพตัดขวาง (กรมทรัพยากรธรณี, 2528)

ตาราง 4.3. แสดงพื้นที่ของแต่ละลักษณะทางธรณีวิทยาและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น

ลักษณะทางธรณีวิทยา	ครอบคลุมพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลุมยุบ	
		จำนวนหลุมยุบ	คิดเป็น (%)
ตะกอนควอเทอร์นารี	163,536	48	60
หินปูน	79,949	21	26
หินตะกอนเนื้อประสม	197,972	7	9
หินอัคนี	50,050	2	3
หินแปร	21,613	2	3



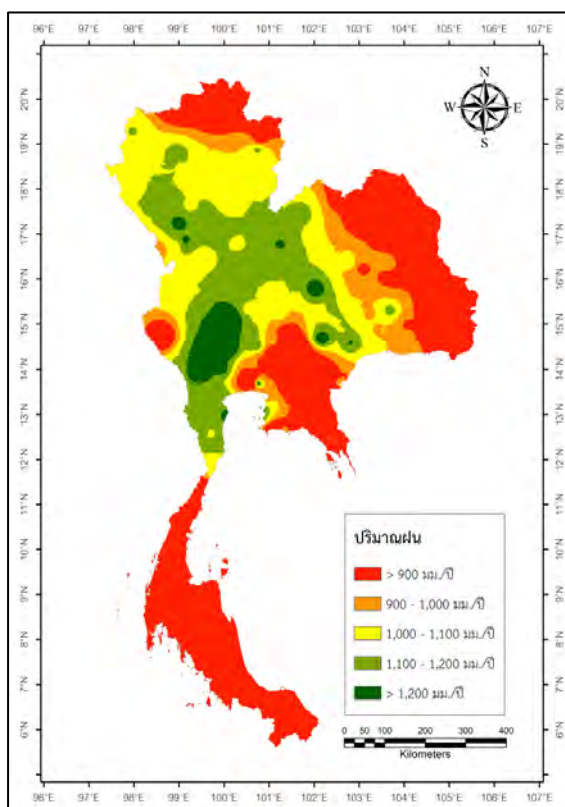
รูป 4.4. แผนที่แสดงลักษณะทางธรณีวิทยาในประเทศไทย

4. ปริมาณฝน

จากการศึกษาโดยอ้างอิงข้อมูลภูมิสารสนเทศของเหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทยจำนวน 80 หลุม ในปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2548 พบว่าหลุมยุบส่วนใหญ่เกิดในบริเวณที่มีปริมาณฝนมากกว่า 1,200 มิลลิเมตร/ปี ดังตาราง 4.4. และรูป 4.5. ซึ่งพบมากในบริเวณภาคใต้ ภาคตะวันออกและบางส่วนของภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และจากตัวอย่างเหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทยระหว่างวันที่ 26 ธ.ค. 2547 ถึง 28 ก.พ. 2550 พบว่าหลุมยุบที่เกิดขึ้นในประเทศไทย มักเกิดในช่วงที่ฝนตกหนัก เช่นเดียวกัน

ตาราง 4.4. แสดงพื้นที่ของปริมาณฝนแต่ละระดับและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น

ปริมาณฝน	ครอบคลุมพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลุมยุบ	
		จำนวนหลุมยุบ	คิดเป็น (%)
น้อยกว่า 900	23,757	7	9
900 – 1,000	114,528	5	6
1,000 – 1,100	115,093	1	1
1,100 – 1,200	51,825	1	1
มากกว่า 1,200	207,916	66	83



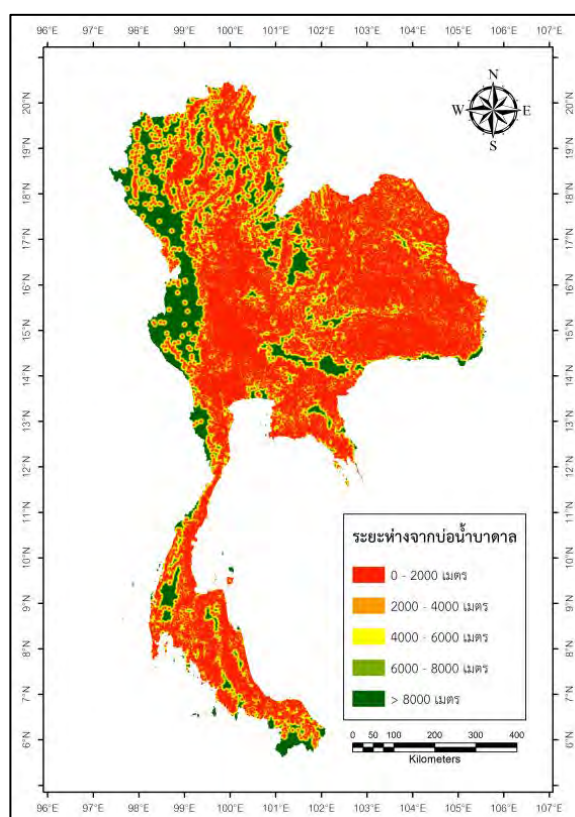
รูป 4.5. แผนที่แสดงปริมาณฝนในประเทศไทย

5. ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล

จากการอ้างอิงข้อมูลภูมิสารสนเทศของเหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทยจำนวน 80 หลุม ในปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2548 พบว่าหลุมยุบส่วนใหญ่เกิดในบริเวณที่ใกล้กับบ่อน้ำบาดาล ดังตาราง 4.5. และรูป 4.6. และจากตัวอย่างหลุมยุบในประเทศไทยระหว่างวันที่ 26 ธ.ค. 2547 ถึง 28 ก.พ. 2550 พบว่าหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในหลายพื้นที่มักเกิดบริเวณที่มีบ่อน้ำบาดาลเช่นเดียวกัน รวมถึงหลุมยุบที่อยู่ในบริเวณใกล้กับบ่อน้ำบาดาลซึ่งได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาล

ตาราง 4.5. ตารางแสดงพื้นที่ของระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาลแต่ละระดับและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น

ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล	ครอบคลุมพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลุมยุบ	
		จำนวนหลุมยุบ	คิดเป็น (%)
0 – 2000	276,931	65	81
2000 – 4000	111,911	13	16
4000 - 6000	46,540	1	1
6000 – 8000	27,195	1	1
มากกว่า 8000	50,542	0	0



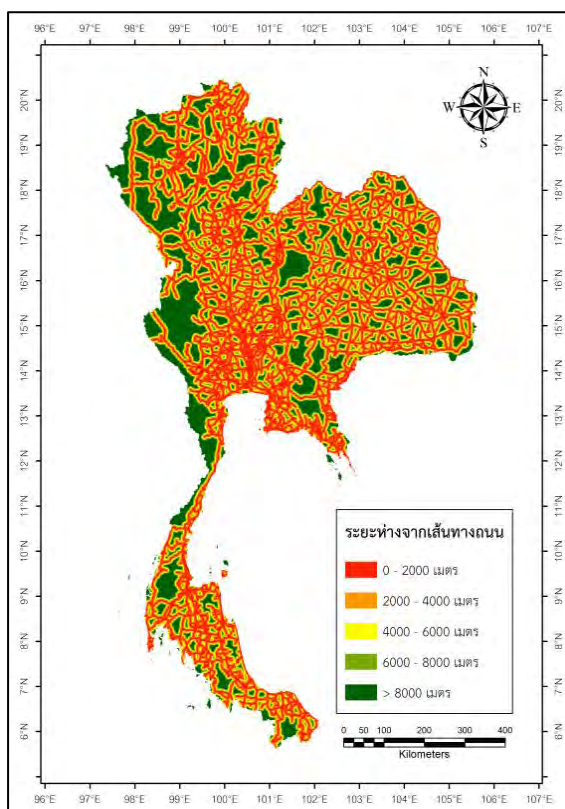
รูป 4.6. แผนที่แสดงระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาลในประเทศไทย

6. ระยะห่างจากเส้นทางถนน

จากการอ้างอิงข้อมูลภูมิสารสนเทศของเหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทยจำนวน 80 หลุม ในปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2548 พบว่าหลุมยุบส่วนใหญ่เกิดในบริเวณที่ใกล้กับเส้นทางถนน และลดลงตามระยะห่างจากเส้นทางถนนที่เพิ่มขึ้น ดังตาราง 4.6. และรูป 4.7. และจากตัวอย่างหลุมยุบในประเทศไทยระหว่างวันที่ 26 ธ.ค. 2547 ถึง 28 ก.พ. 2550 พบว่าหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในหลายพื้นที่ที่มักเกิดบริเวณที่ใกล้กับถนนเช่นเดียวกัน

ตาราง 4.6. ตารางแสดงพื้นที่ของระยะห่างจากเส้นทางถนนแต่ละระดับและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น

ระยะห่างจากเส้นทางถนน	ครอบคลุมพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลุมยุบ	
		จำนวนหลุมยุบ	คิดเป็น (%)
0 – 2,000	170,920	50	63
2,000 – 4,000	115,144	17	21
4,000 – 6,000	76,917	7	9
6,000 – 8,000	50,337	0	0
มากกว่า 8,000	99,802	6	7



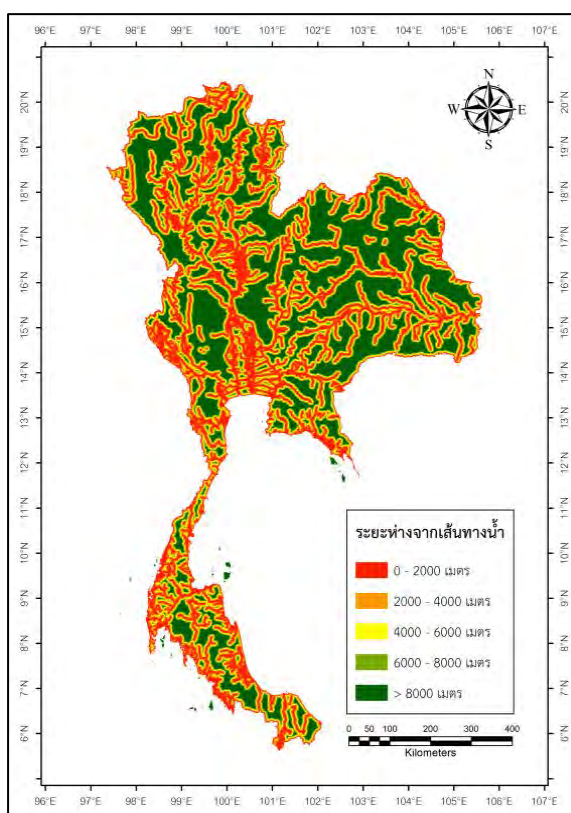
รูป 4.7. แผนที่แสดงระยะห่างจากเส้นทางถนนในประเทศไทย

7. ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ

จากการอ้างอิงข้อมูลภูมิสารสนเทศของเหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทยจำนวน 80 หลุม ในปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2548 พบว่าหลุมยุบส่วนใหญ่เกิดในบริเวณที่ใกล้กับเส้นทางน้ำ และจำนวนหลุมยุบจะลดลงตามระยะห่างจากเส้นทางน้ำที่เพิ่มขึ้น ดังตาราง 4.7. และรูป 4.8. และถึงแม้จากตัวอย่างหลุมยุบในประเทศไทยระหว่างวันที่ 26 ธ.ค. 2547 ถึง 28 ก.พ. 2550 จะไม่มีการระบุอ้างอิงถึงเส้นทางน้ำแต่เมื่อสังเกตจากข้อมูลภูมิสารสนเทศเหตุการณ์หลุมยุบข้างต้น จะพบว่าตำแหน่งของการเกิดหลุมยุบนั้นมีความสัมพันธ์กับเส้นทางน้ำในบางพื้นที่

ตาราง 4.7. แสดงพื้นที่ของระยะห่างจากเส้นทางน้ำแต่ละระดับและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น

ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ	ครอบคลุมพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลุมยุบ	
		จำนวนหลุมยุบ	คิดเป็น (%)
0 – 2,000	55,930	41	51
2,000 – 4,000	69,784	9	11
4,000 – 6,000	88,257	7	9
6,000 – 8,000	128,280	6	8
มากกว่า 8,000	170,869	17	21



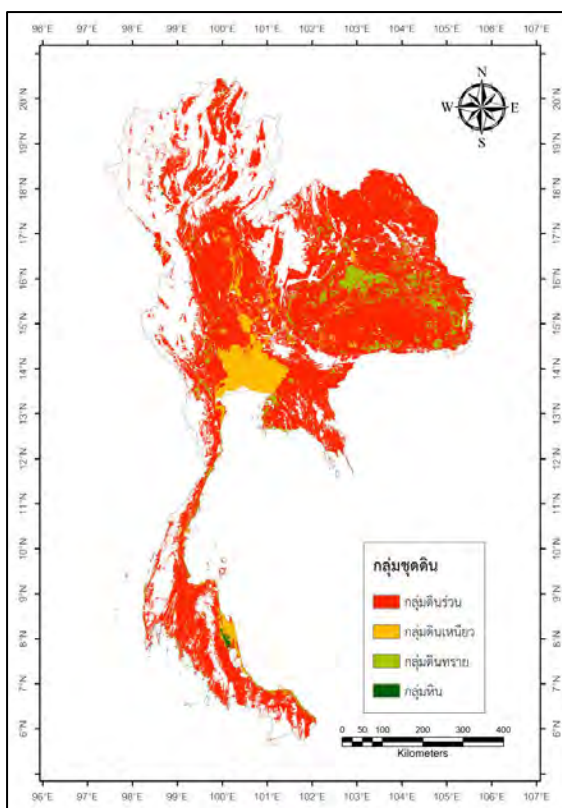
รูป 4.8. แผนที่แสดงระยะห่างจากเส้นทางน้ำในประเทศไทย

8. กลุ่มชุดดิน

จากการอ้างอิงข้อมูลภูมิสารสนเทศของเหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทยจำนวน 80 หลุม ในปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2548 พบว่าหลุมยุบในประเทศไทยพบในกลุ่มดินร่วนมากที่สุด อันได้แก่ ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินร่วนปนดินเหนียว ดินร่วนปนทราย และดินร่วนปนทรายแป้ง รองลงมาเป็นกลุ่มดินเหนียวและกลุ่มดินทราย ส่วนในบริเวณกลุ่มหินยังไม่มีกรพบหลุมยุบเกิดขึ้น ดังตาราง 4.8. และรูป 4.9. และจากตัวอย่างหลุมยุบในประเทศไทยระหว่างวันที่ 26 ธ.ค. 2547 ถึง 28 ก.พ. 2550 พบว่าหลุมยุบส่วนใหญ่เกิดในบริเวณที่มีตะกอนทรายรองรับอยู่ด้านล่าง ซึ่งยังไม่จับตัวแน่น เมื่อมีฝนตกหนักจึงทำให้น้ำใต้ดินไหลอย่างรวดเร็ว พัดพาตะกอนที่รองรับอยู่ด้านล่างออกไป จึงเกิดการทรุดตัวขึ้น

ตาราง 4.8. แสดงพื้นที่ของแต่ละกลุ่มชุดดินและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น

กลุ่มชุดดิน	ครอบคลุมพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลุมยุบ	
		จำนวนหลุมยุบ	คิดเป็น (%)
กลุ่มดินร่วน	286,680	62	78
กลุ่มดินเหนียว	25,297	6	8
กลุ่มดินทราย	20,987	1	2
กลุ่มหิน	718	0	0



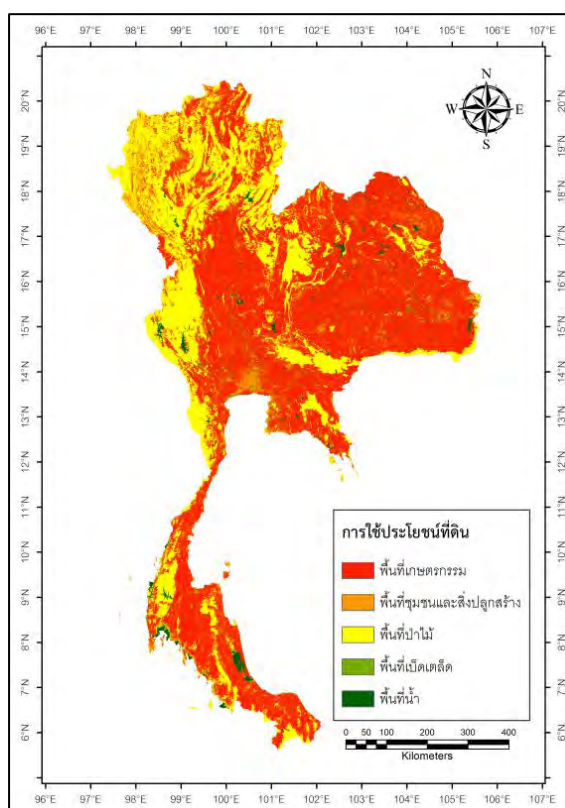
รูป 4.9. แผนที่แสดงกลุ่มชุดดินในประเทศไทย

9. การใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการอ้างอิงข้อมูลภูมิสารสนเทศของหลุมยุบในประเทศไทยจำนวน 80 หลุม ในปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2548 พบว่ามีหลุมยุบเกิดในบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมมากที่สุด รองลงมาเป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่น้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด ตามลำดับ ดังตาราง 4.9. และรูป 4.10. และจากตัวอย่างหลุมยุบในประเทศไทยระหว่างวันที่ 26 ธ.ค. 2547 ถึง 28 ก.พ. 2550 พบว่าหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทยมักเกิดในพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง

ตาราง 4.9. แสดงพื้นที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น

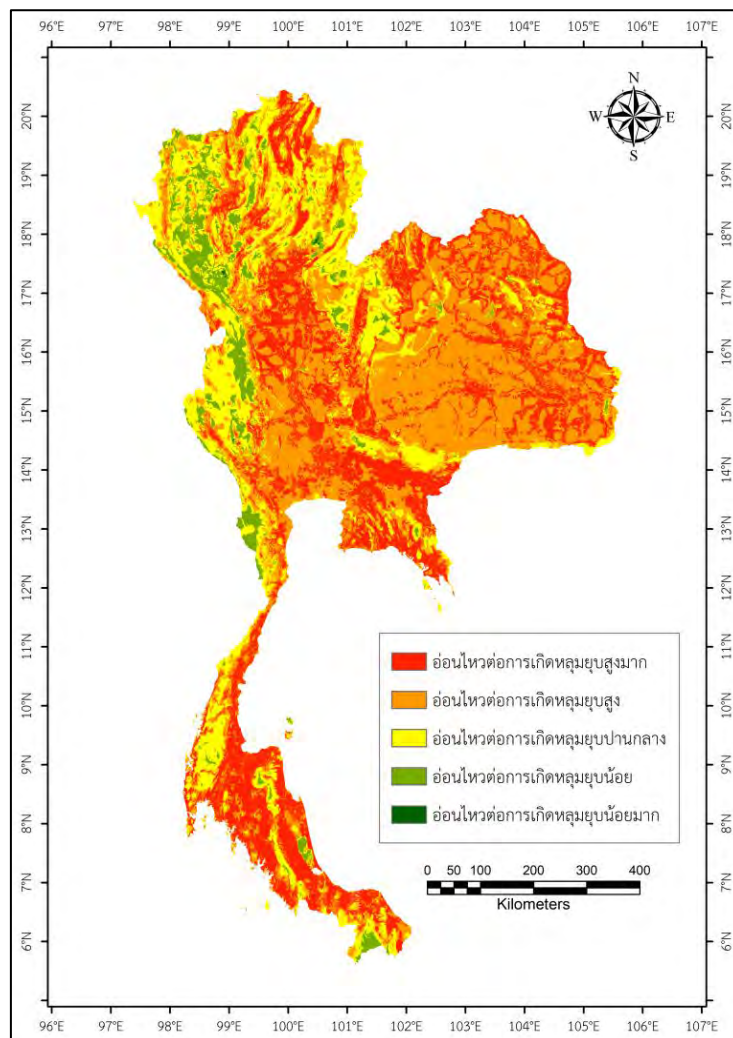
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ครอบคลุมพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลุมยุบ	
		จำนวนหลุมยุบ	คิดเป็น (%)
พื้นที่เกษตรกรรม	302,843	55	69
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	31,916	17	21
พื้นที่ป่าไม้	159,632	7	9
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	4,002	0	0
พื้นที่น้ำ	14,727	1	1



รูป 4.10. แผนที่แสดงการใช้ประโยชน์ที่ดินในประเทศไทย

4.2 ผลการจัดทำแผนที่ประเมินพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย

เมื่อนำค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการพิจารณาด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ มาประมวลผลจัดทำแผนที่ด้วยโปรแกรม ArcMap 10.5 จะได้แผนที่ดังรูป 4.11.



รูป 4.11. แผนที่แสดงความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย

จากการประมวลผลแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย ที่มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยโดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดหลุมยุบ และเหตุการณ์หลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทย ซึ่งมีการใช้ปัจจัยทั้งหมด 9 ปัจจัย ในการร่วมพิจารณา ได้แก่ ความลาดชันของพื้นที่ ระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น ลักษณะทางธรณีวิทยา ปริมาณฝน ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล ระยะห่างจากเส้นทางถนน ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ กลุ่มชุดดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่ามีรายละเอียด ดังนี้

1. พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงมาก

พบมากในภาคใต้บริเวณที่ราบ บริเวณพื้นที่เกษตรกรรม บริเวณใกล้กับบ่อน้ำบาดาลและบริเวณกลุ่มดินร่วน บางส่วนของภาคเหนือพบในบริเวณที่ราบระหว่างเขาที่มีการสะสมของตะกอนควอเทอร์นารีและบริเวณกลุ่มดินร่วน บางส่วนของภาคตะวันตกพบในบริเวณที่ราบและบริเวณพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการสะสมตัวของตะกอนควอเทอร์นารีใกล้กับเขาหินปูน บางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบในหินปูนบริเวณจังหวัดเลย และตะกอนควอเทอร์นารีที่สะสมบริเวณแม่น้ำมูลและแม่น้ำชี รวมถึงบริเวณที่อยู่ใกล้กับเส้นทางและแม่น้ำ บางส่วนของภาคกลางพบในบริเวณใกล้บ่อน้ำบาดาลและเส้นทาง และบางส่วนของภาคตะวันออกพบในบริเวณที่ราบ บริเวณพื้นที่เกษตรกรรมและกลุ่มดินร่วน

2. พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูง

พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือบริเวณที่ราบหินตะกอนเนื้อประสม บางส่วนของภาคเหนือภาคตะวันตก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้ พบในบริเวณที่ห่างจากบ่อน้ำบาดาลประมาณ 4,000 เมตร และบางส่วนของภาคกลางพบในบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงซึ่งมีการสะสมของตะกอนควอเทอร์นารี

3. พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบปานกลาง

พบในบางส่วนของภาคเหนือบริเวณทิวเขาถนนธงชัยตะวันตกในส่วนที่เป็นหินปูน บริเวณทิวเขาผีปันน้ำและทิวเขาหลวงพระบางในส่วนที่เป็นหินตะกอนเนื้อประสม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้ รวมถึงบริเวณที่อยู่ห่างจากบ่อน้ำบาดาลประมาณ 6,000 เมตร บางส่วนของภาคตะวันตกพบในบริเวณทิวเขาถนนธงชัยและทิวเขาตะนาวศรีในส่วนที่เป็นหินปูนแถบจังหวัดตากและกาญจนบุรี บางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบในบริเวณทิวเขาภูพานและทิวเขาพนมดงรักซึ่งเป็นหินตะกอนเนื้อประสมและเป็นพื้นที่ป่าไม้ รวมถึงบริเวณที่ห่างจากบ่อน้ำบาดาลประมาณ 6,000 เมตร บางส่วนของภาคกลางพบในบริเวณทิวเขาเพชรบูรณ์และทิวเขาสันกำแพงในส่วนที่เป็นหินตะกอนเนื้อประสม บางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบในบริเวณทิวเขาจันทร์บุรีและพื้นที่ป่าไม้ และบางส่วนของภาคใต้พบในบริเวณทิวเขาภูเก็ตและทิวเขาสันกาลาคีรีในส่วนที่เป็นหินตะกอนเนื้อประสม บริเวณทิวเขานครศรีธรรมราชในส่วนที่เป็นหินอัคนี รวมถึงบริเวณที่ห่างจากบ่อน้ำบาดาลประมาณ 6,000 เมตร

4. พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบน้อย

พบในบางส่วนของภาคเหนือบริเวณทิวเขาขุนตาล ทิวเขาจอมทองและทิวเขาถนนธงชัยในส่วนที่เป็นหินอัคนี และบริเวณที่อยู่ห่างจากบ่อน้ำบาดาลประมาณ 8,000 เมตร บางส่วนของภาคตะวันตกพบในบริเวณทิวเขาถนนธงชัยและทิวเขาตะนาวศรีในส่วนที่เป็นหินอัคนีและหินแปร รวมถึงบริเวณที่ห่างจากบ่อน้ำบาดาล 8,000 เมตรขึ้นไป บางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบในบริเวณพื้นที่น้ำ บางส่วนของภาคกลางพบในบริเวณทิวเขาเพชรบูรณ์ซึ่งห่างจากบ่อน้ำบาดาลมากกว่า 8,000 เมตร และบริเวณทิวเขาสันกำแพงในส่วนที่เป็นหินอัคนี บางส่วนของภาคตะวันออกพบในบริเวณภูเขาหินอัคนีซึ่งมีระยะห่าง

จากบ่อบาดาลมากกว่า 8,000 เมตร และบางส่วนของภาคใต้พบในบริเวณอุทยานแห่งชาติเขาสกและทะเลสาบสงขลาตอนเหนือซึ่งเป็นพื้นที่น้ำ บริเวณทิวเขานครศรีธรรมราชซึ่งห่างจากบ่อบาดาลมากกว่า 8,000 เมตร

5. พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบน้อยมาก

พบในบางส่วนของภาคเหนือบริเวณเขื่อนสิริกิติ์และเขื่อนภูมิพล บางส่วนของภาคตะวันตกพบในบริเวณเขื่อนศรีนครินทร์ และบางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือบริเวณเขื่อนจุฬาภรณ์ซึ่งเป็นพื้นที่น้ำทั้งหมด ในขณะที่ภาคกลาง ภาคตะวันออกและภาคใต้ไม่พบพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบน้อยมาก

จากการตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่โดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลภูมิสารสนเทศของเหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทยจำนวน 80 หลุม ในปี พ.ศ. 2539 - พ.ศ. 2548 พบว่ามีความถูกต้อง 78 %

ตาราง 4.10. แสดงพื้นที่แต่ละระดับความอ่อนไหวและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น

ระดับความอ่อนไหว	ครอบคลุมพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลุมยุบ	
		จำนวนหลุมยุบ	คิดเป็น (%)
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงมาก	141,518	62	78
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูง	228,800	16	20
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบปานกลาง	112,732	2	2
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบน้อย	29,915	0	0
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบน้อยมาก	154	0	0

บทที่ 5

อภิปรายผล

5.1 ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย

จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย ทั้ง 9 ปัจจัย ได้แก่ ความลาดชันของพื้นที่ ระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น ลักษณะทางธรณีวิทยา ปริมาณฝน ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล ระยะห่างจากเส้นทางถนน ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ กลุ่มชุดดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าแต่ละปัจจัยมีความสำคัญต่อการเกิดหลุมยุบที่ต่างกัน ซึ่งสามารถเรียงลำดับความสำคัญ โดยอ้างอิงจากค่าน้ำหนักที่ใช้ในการประมวลผลจัดทำแผนที่จากมากไปน้อยได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยา คิดเป็น 28 % ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาลและกลุ่มชุดดิน คิดเป็นอย่างละ 18 % การใช้ประโยชน์ที่ดิน คิดเป็น 12 % ปริมาณฝน คิดเป็น 9 % ระยะห่างจากเส้นทางถนน คิดเป็น 6 % ความลาดชันของพื้นที่และระยะห่างจากเส้นทางน้ำ คิดเป็นอย่างละ 3 % และระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น คิดเป็น 2 % ตามลำดับ

โดยเมื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบในภาคต่าง ๆ จากข้อมูลหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในประเทศไทยสามารถสรุปได้ดังตาราง 5.1.

ตาราง 5.1. แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหลุมยุบในภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย

ภาค	ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหลุมยุบ								
	ปัจจัย	ปัจจัย	ปัจจัย	ปัจจัย	ปัจจัย	ปัจจัย	ปัจจัย	ปัจจัย	ปัจจัย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ภาคเหนือ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
ภาคตะวันตก	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	✓		✓	✓		✓	✓	✓	
ภาคกลาง	✓		✓	✓		✓		✓	
ภาคตะวันออก	✓	✓	✓		✓				
ภาคใต้	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓

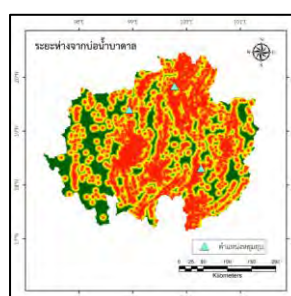
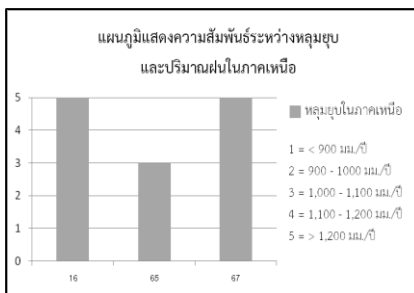
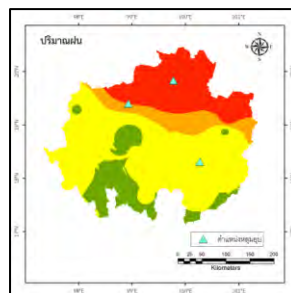
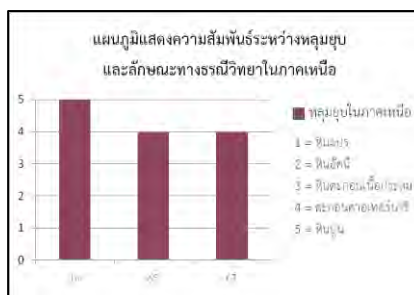
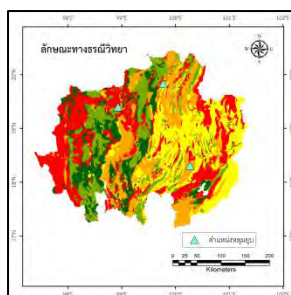
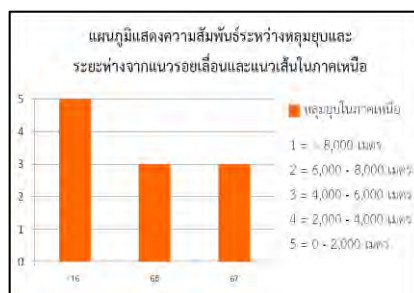
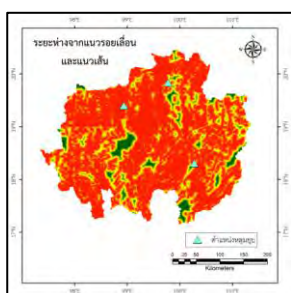
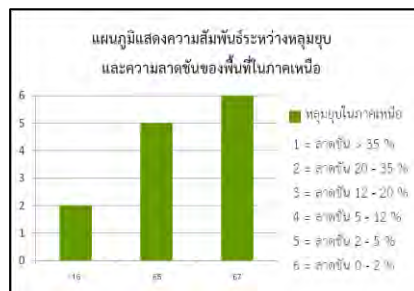
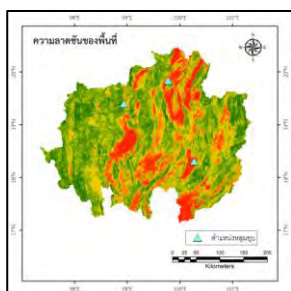
กำหนดให้ ปัจจัย 1 = ลักษณะทางธรณีวิทยา ปัจจัย 2 = ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาล ปัจจัย 3 = กลุ่มชุดดิน

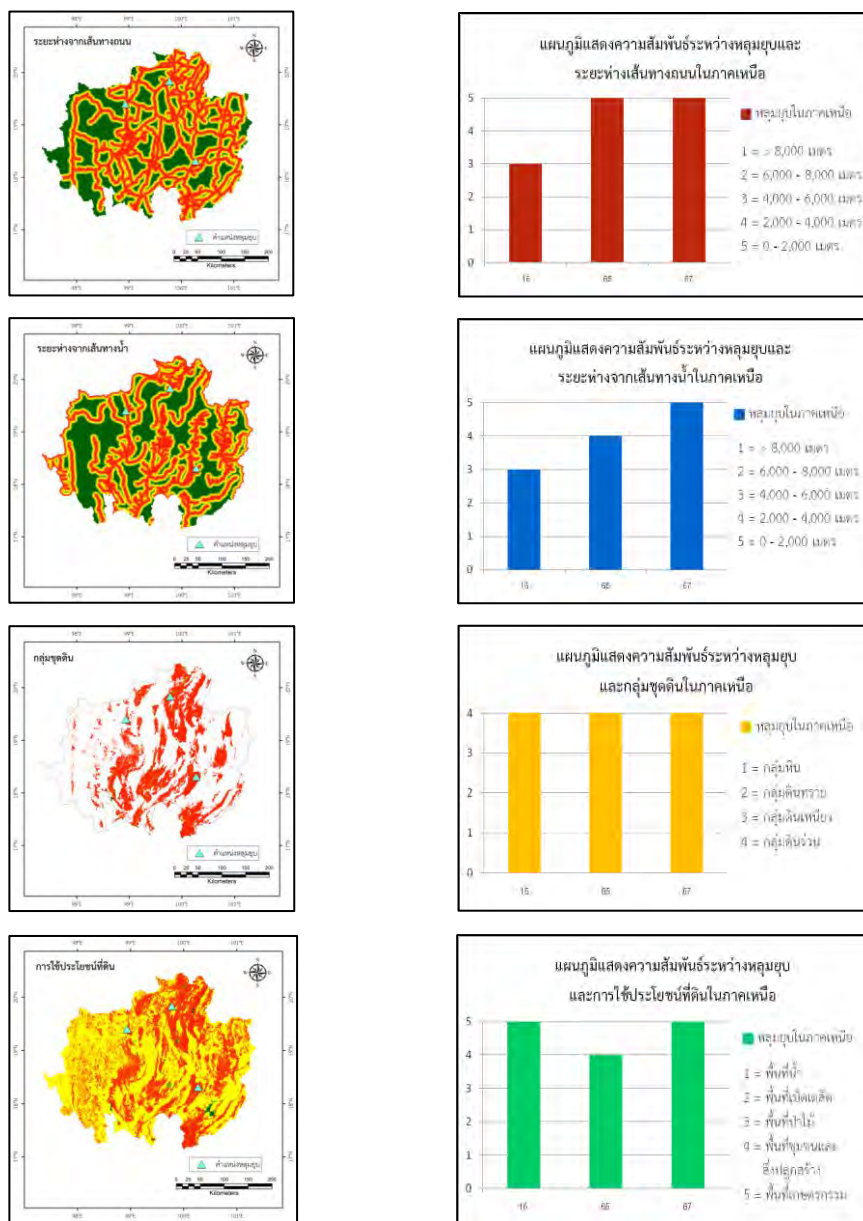
ปัจจัย 4 = การใช้ประโยชน์ของพื้นที่ ปัจจัย 5 = ปริมาณฝน ปัจจัย 6 = ระยะห่างจากเส้นทางถนน

ปัจจัย 7 = ระยะห่างจากเส้นทางน้ำ ปัจจัย 8 = ความลาดชันของพื้นที่ ปัจจัย 9 = ระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น

จากตารางข้างต้นสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบในภาคเหนือ

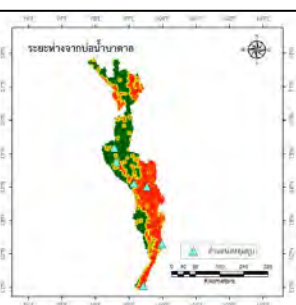
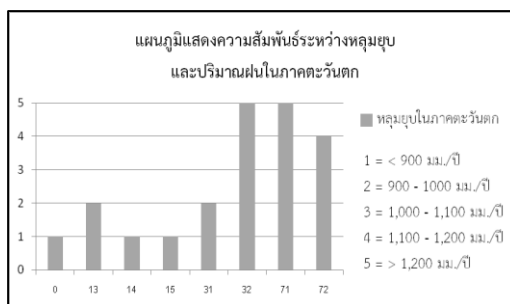
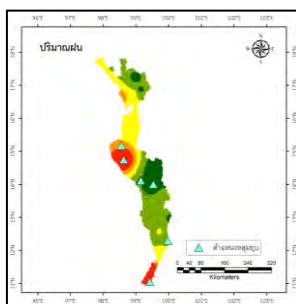
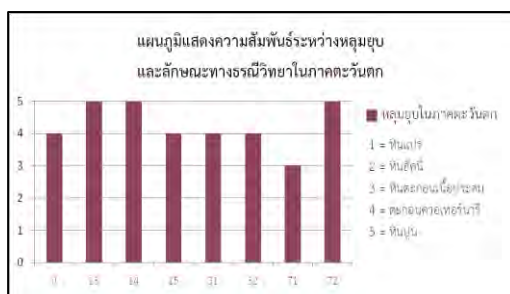
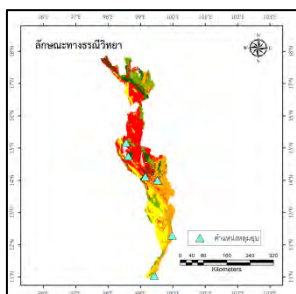
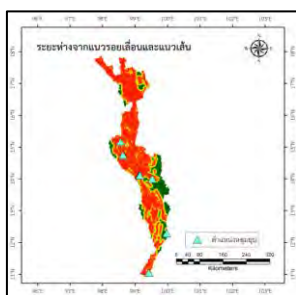
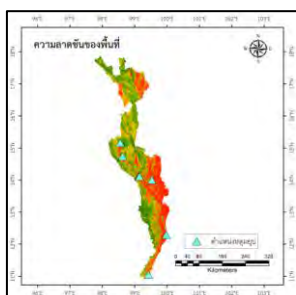


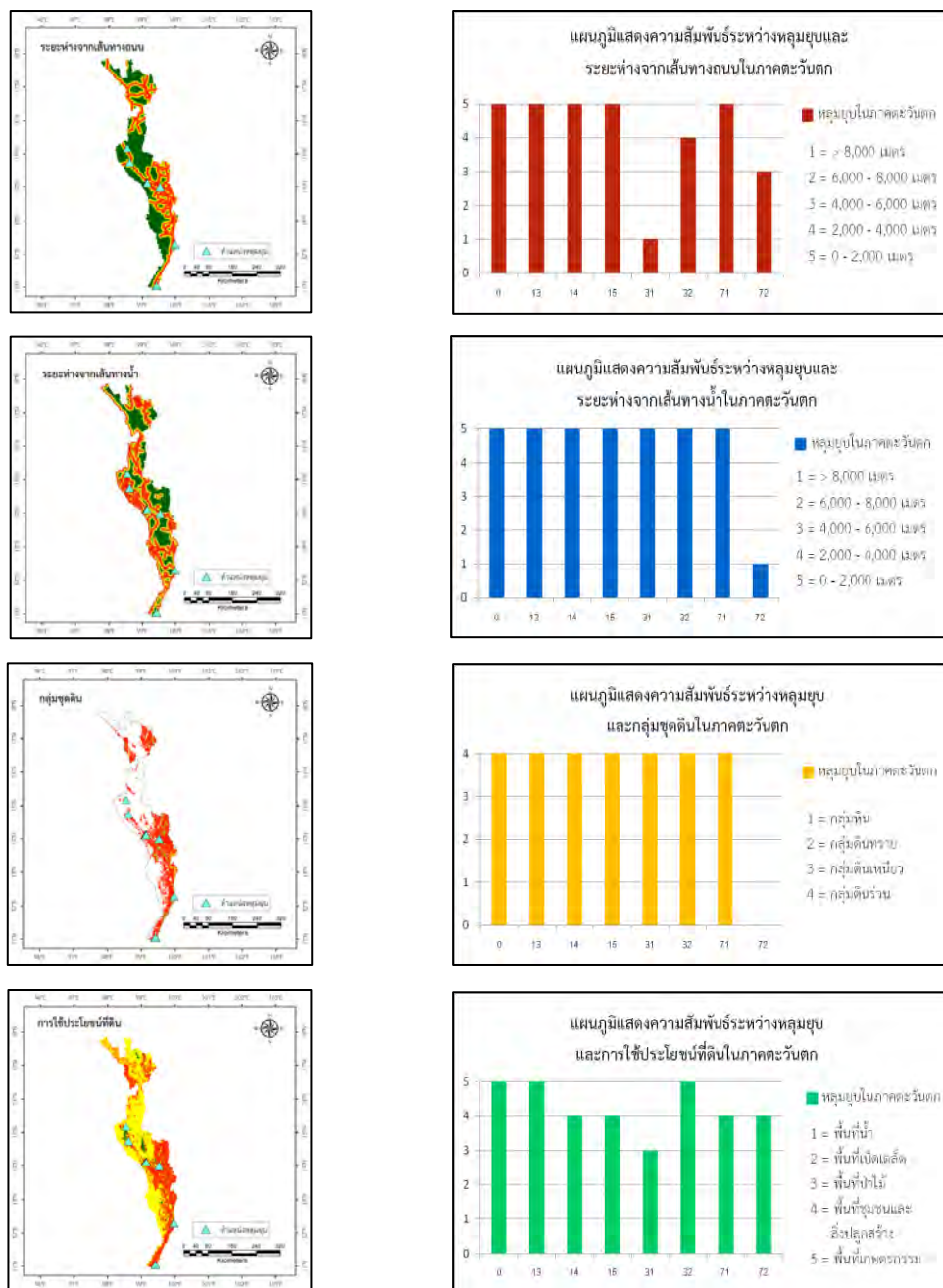


รูป 5.1. แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในภาคเหนือและปัจจัยต่าง ๆ

ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบในภาคเหนือ ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยาประเภทหินปูนและตะกอนควอเทอร์นารี บริเวณที่มีบ่อบาดาลหรือใกล้กับบ่อบาดาล กลุ่มชุดดินประเภทดินร่วน เช่น ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง ดินร่วนปนดินเหนียวและดินร่วนปนทรายแป้ง การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่เกษตรกรรม ปริมาณฝนในระดับที่มากกว่า 1,200 มิลลิเมตร/ปี และอาจสัมพันธ์กับเส้นทางน้ำและเส้นทางถนน

2. ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบในภาคตะวันตก

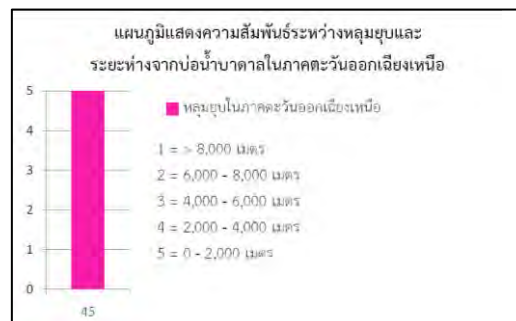
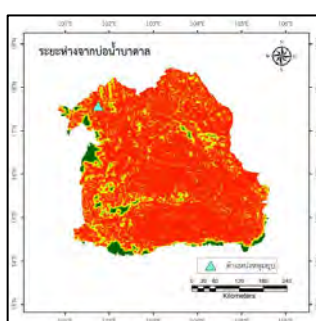
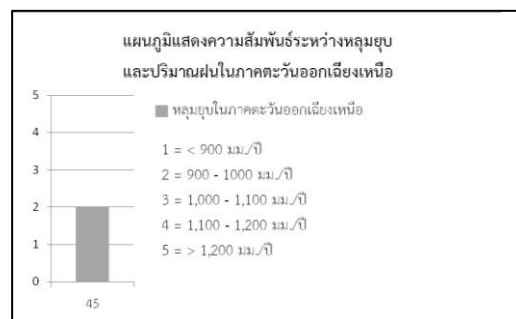
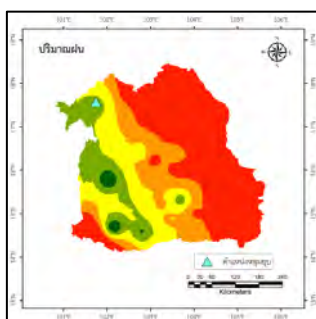
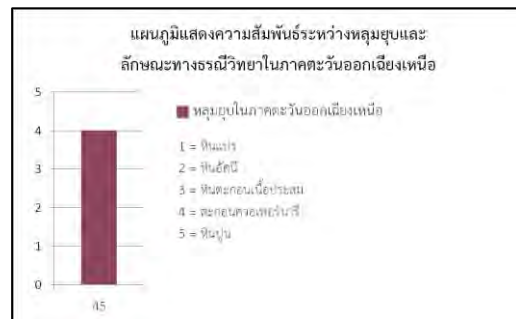
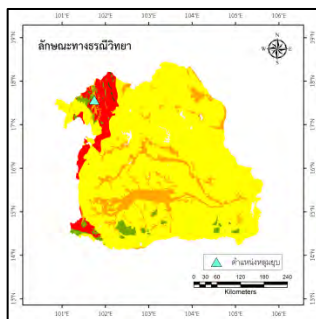
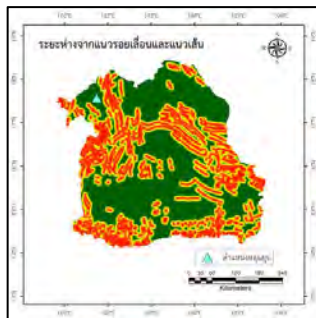
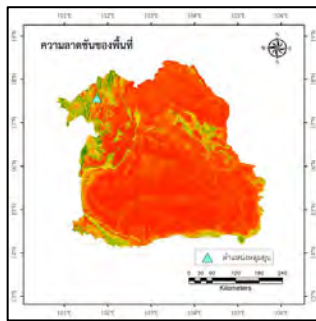


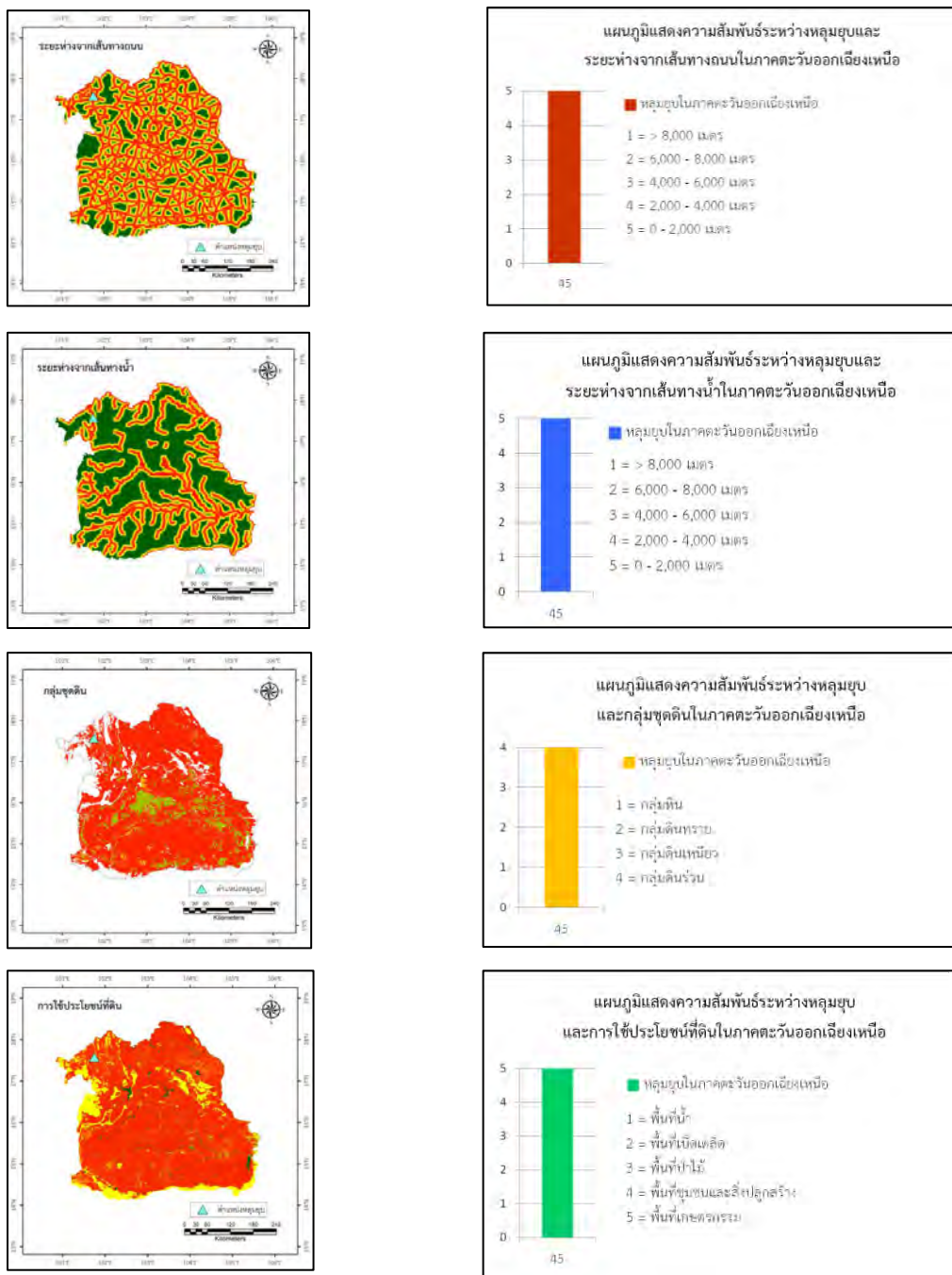


รูป 5.2. แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในภาคตะวันตกและปัจจัยต่าง ๆ

ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบในภาคตะวันตก ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยาประเภทตะกอนควอเทอร์นารีและหินปูน บริเวณที่มีบ่อบาดาลหรือใกล้กับบ่อบาดาล กลุ่มชุดดินประเภทดินร่วน เช่น ดินร่วนปนทราย ดินร่วนปนทรายปนกรวด ดินร่วนปนดินเหนียวและดินร่วนปนทรายแป้ง การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง บริเวณที่ใกล้กับถนน บริเวณที่ใกล้กับแนวรอยเลื่อนและแนวเส้น เช่น รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ และอาจสัมพันธ์กับเส้นทางน้ำ

3. ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

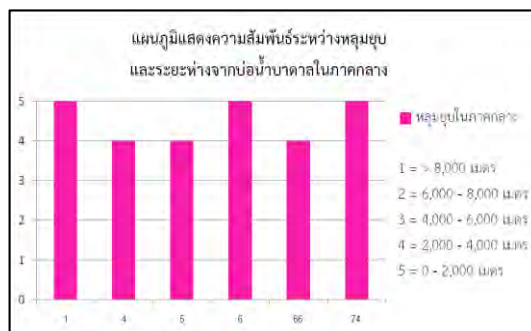
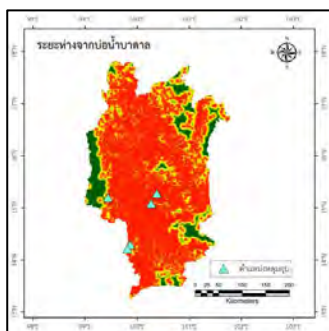
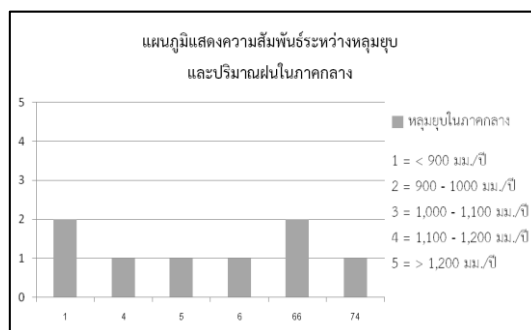
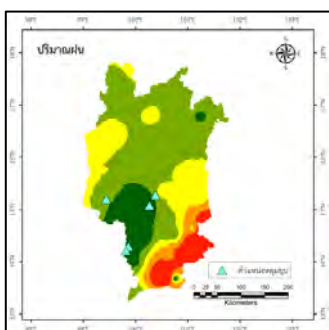
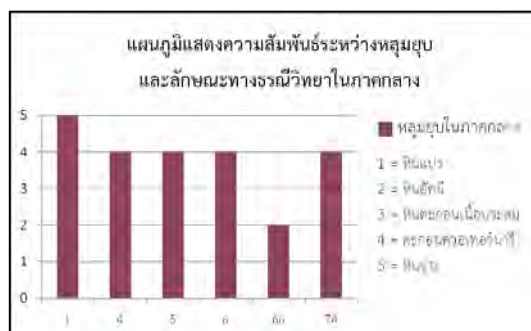
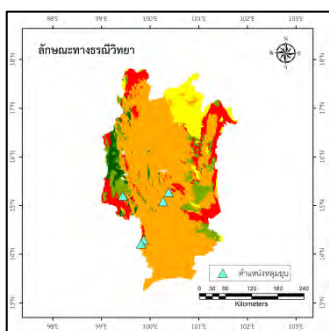
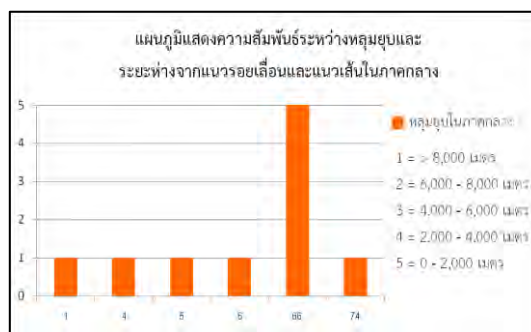
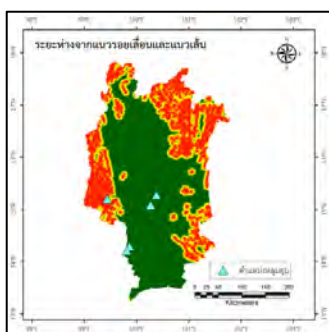
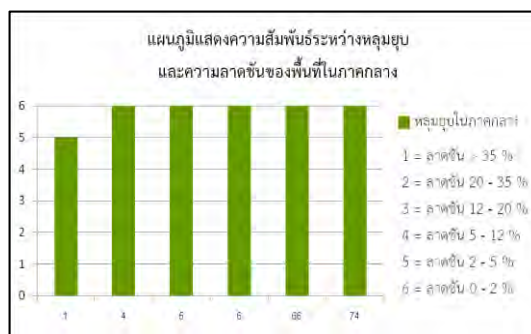
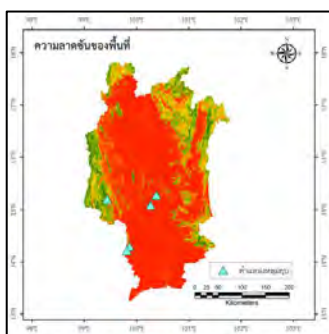


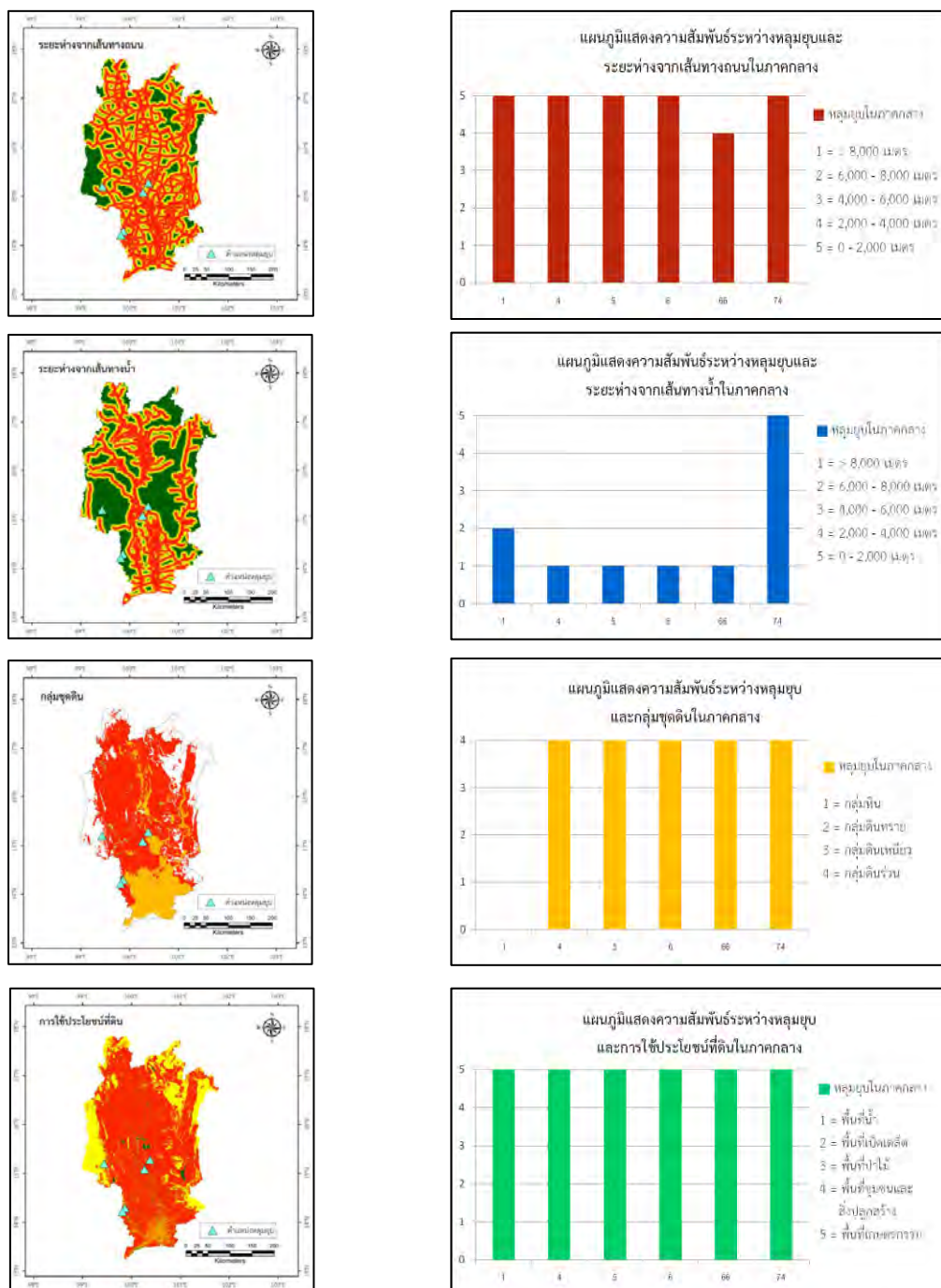


รูป 5.3. แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและปัจจัยต่าง ๆ

ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยาประเภทตะกอนควอเทอร์นารี กลุ่มชุดดินประเภทดินร่วน เช่น ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่เกษตรกรรม บริเวณที่ใกล้กับถนนและเส้นทางน้ำ รวมถึงความลาดชันประเภทพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ (0-2 %)

4. ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบในภาคกลาง

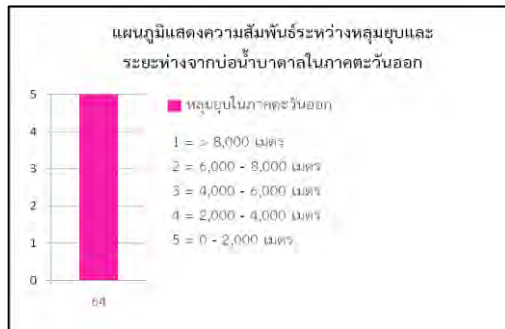
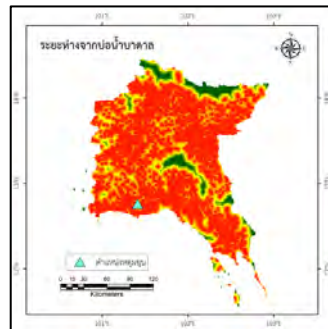
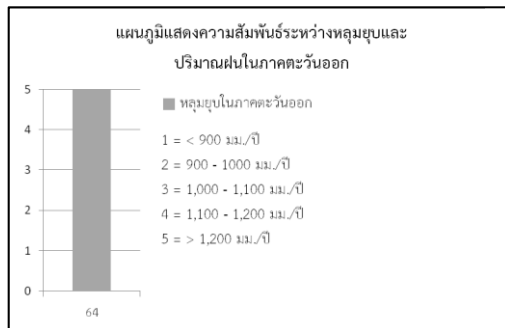
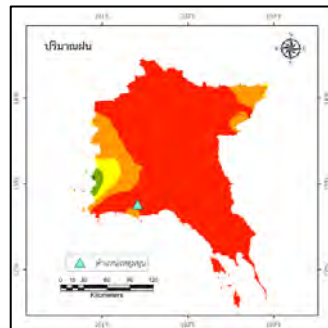
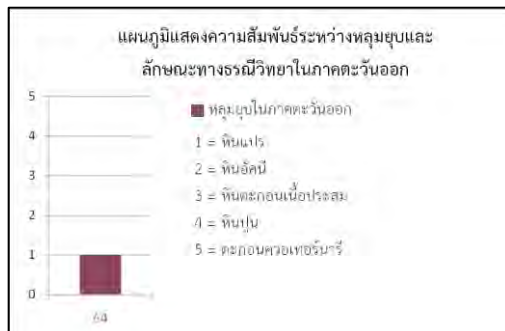
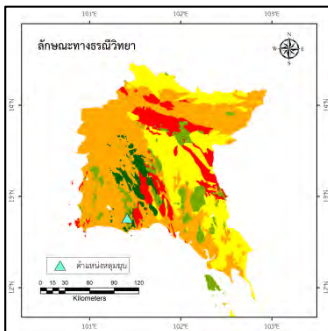
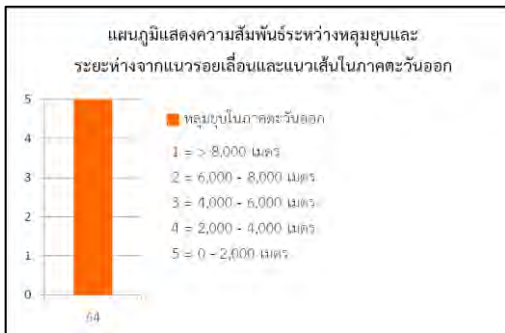
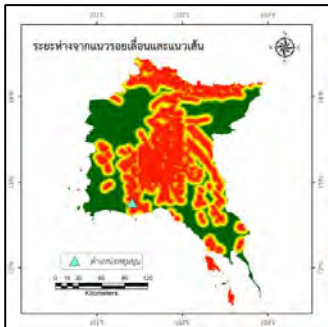
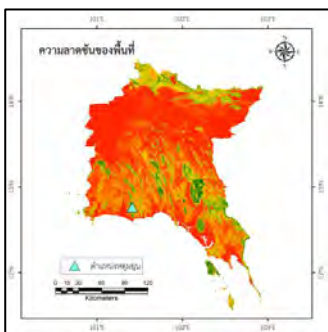


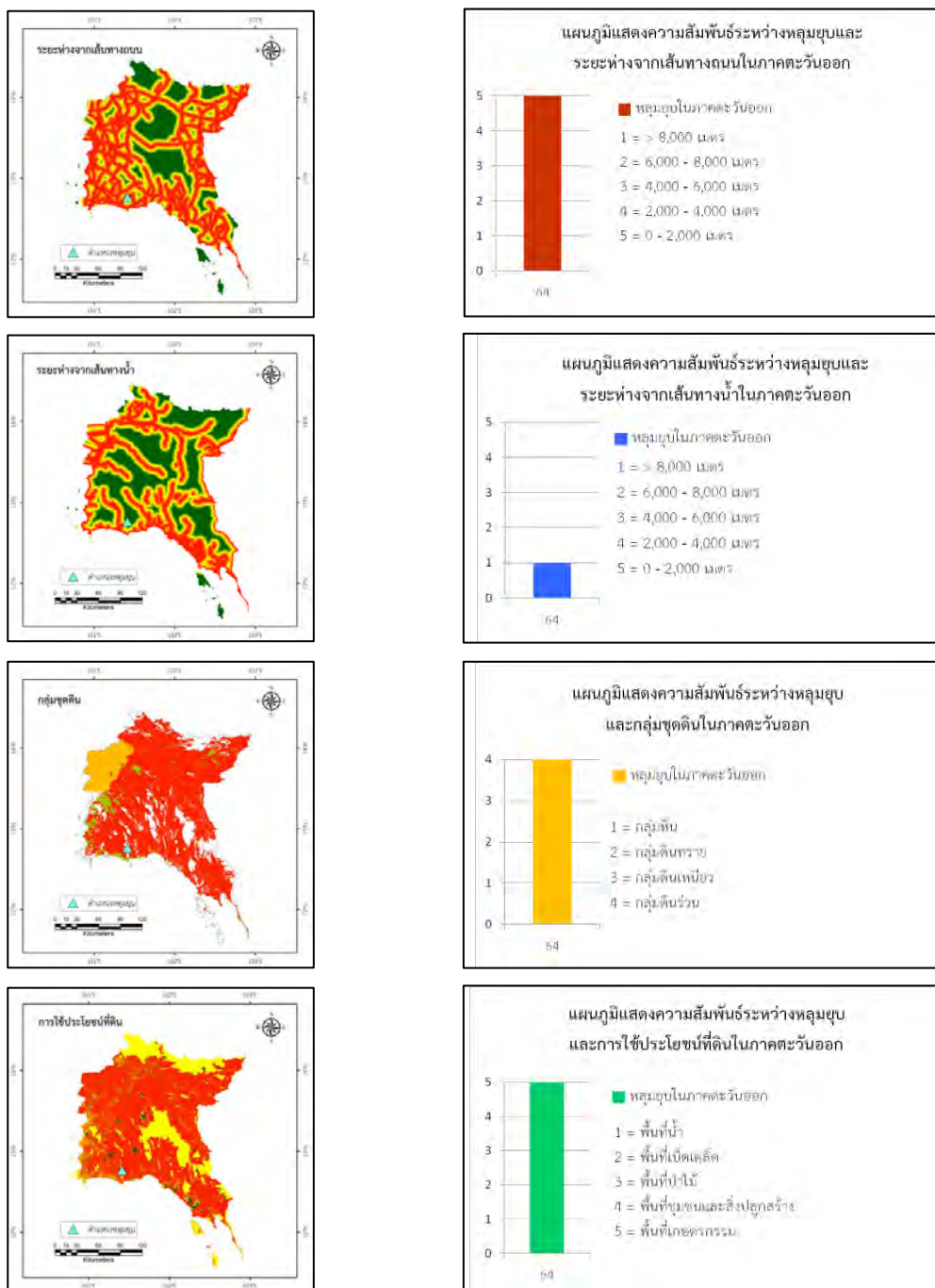


รูป 5.4. แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในภาคกลางและปัจจัยต่าง ๆ

ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบในภาคกลาง ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยาประเภทตะกอนควอเทอร์นารีและหินปูน กลุ่มชุดดินประเภทดินร่วน เช่น ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้งและดินร่วนปนทราย การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่เกษตรกรรม ความลาดชันประเภทพื้นที่ราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ (0-2 %) และอาจสัมพันธ์กับเส้นทางถนน

5. ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบในภาคตะวันออกเฉียง

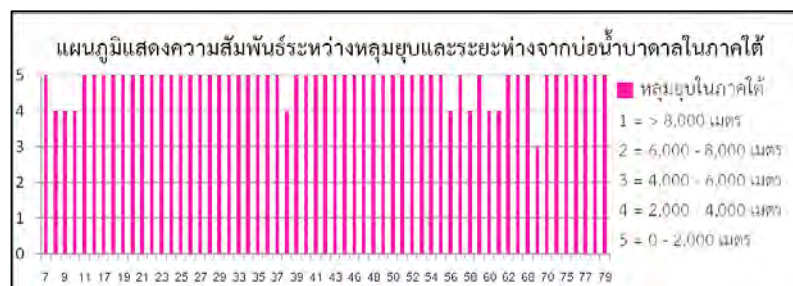
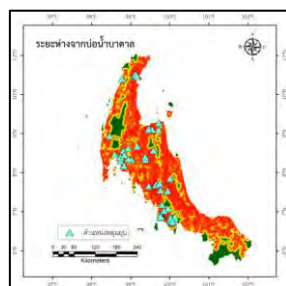
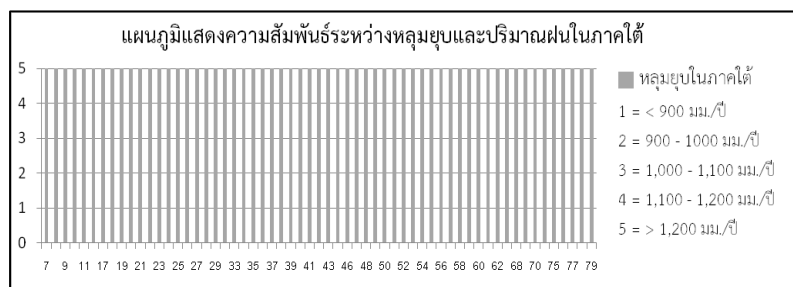
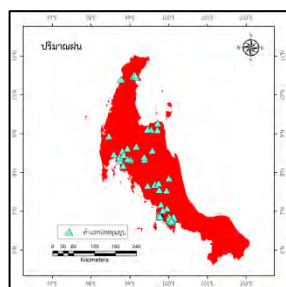
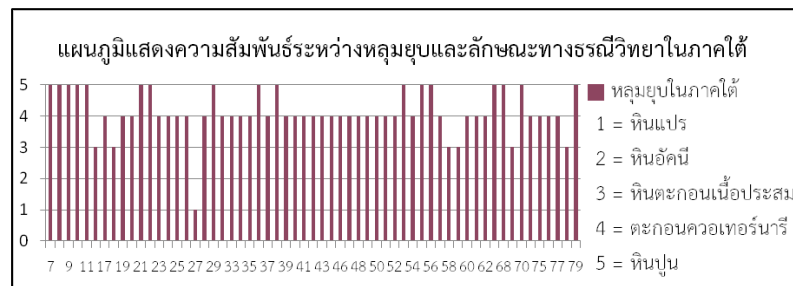
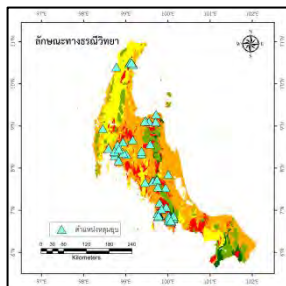
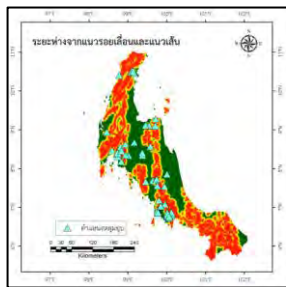
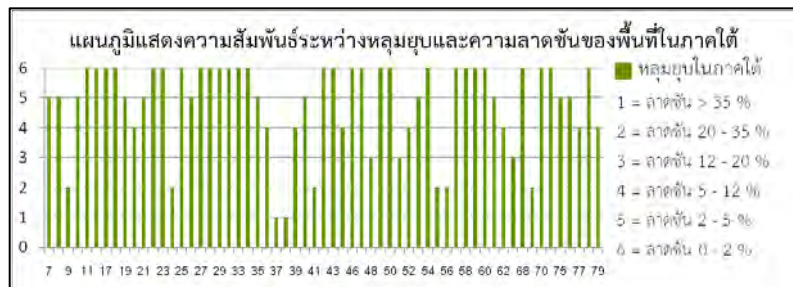
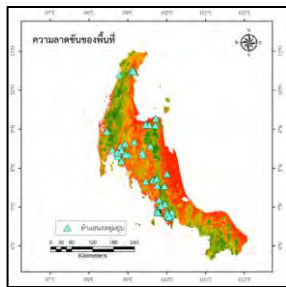


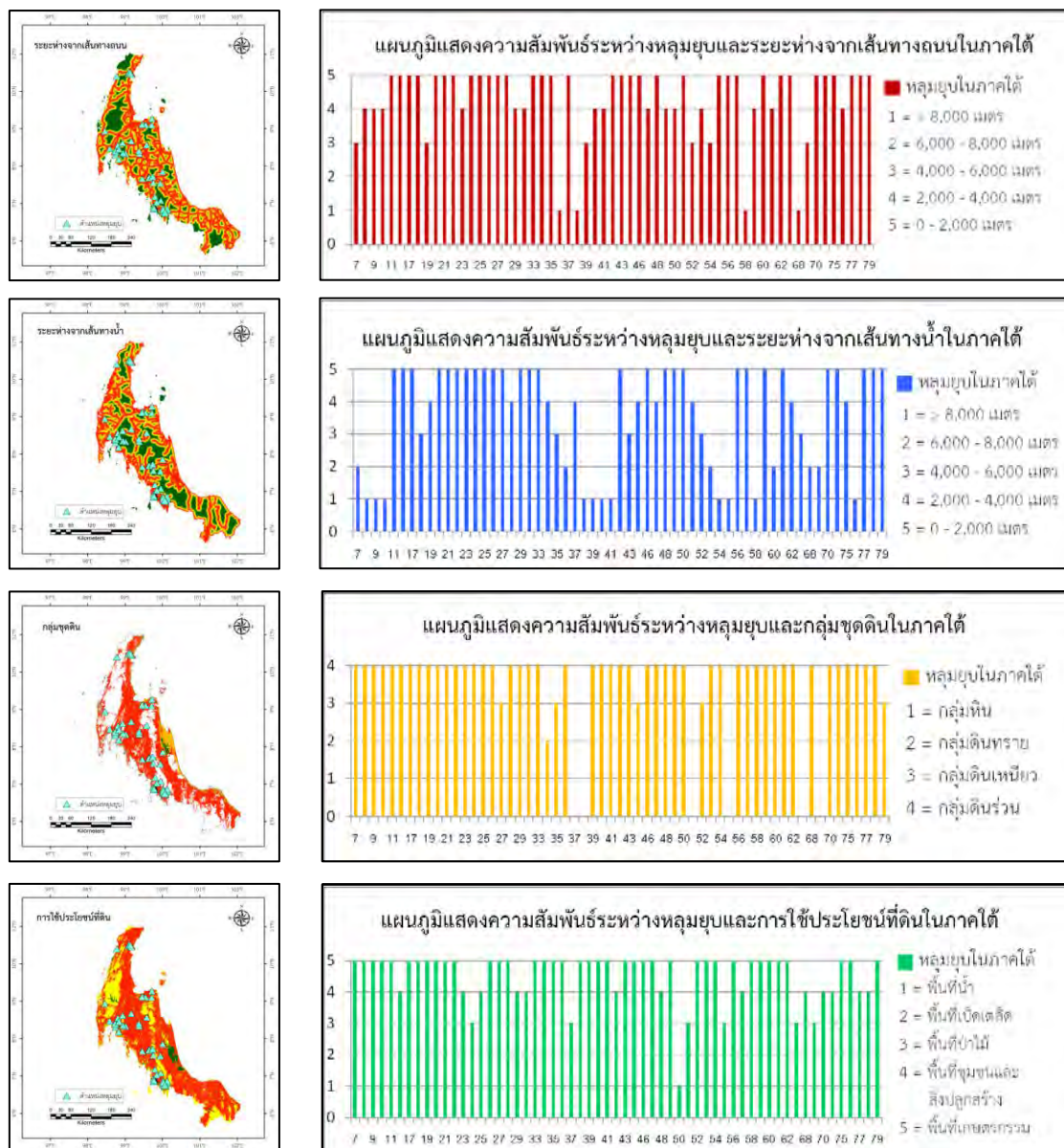


รูป 5.5. แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในภาคตะวันออกและปัจจัยต่าง ๆ

ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบในภาคตะวันออก ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยาประเภทตะกอนควอเทอร์นารี บริเวณที่มีบ่อน้ำบาดาล กลุ่มชุดดินประเภทดินร่วน เช่น ดินร่วนปนทรายปนกรวด และปริมาณฝนที่มากกว่า 1,200 มิลลิเมตร/ปี

6. ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบในภาคใต้





รูป 5.6. แผนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหลุมยุบที่เคยเกิดขึ้นในภาคใต้และปัจจัยต่าง ๆ

ปัจจัยที่ทำให้เกิดหลุมยุบในภาคใต้ ได้แก่ ลักษณะทางธรณีวิทยาประเภทตะกอนควอเทอร์นารี และหินปูน บริเวณที่มีบ่อบาดาลหรือใกล้กับบ่อบาดาล ปริมาณฝนที่มากกว่า 1,200 มิลลิเมตร/ปี และบริเวณที่ใกล้กับแนวรอยเลื่อนและแนวเส้นซึ่งส่วนใหญ่เป็นรอยแตกที่เกิดหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวใหญ่ในปี พ.ศ. 2547 และอาจมีความสัมพันธ์กับเส้นทางถนนและเส้นทางน้ำ

5.2 ผลจากการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย

เมื่อพิจารณาพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบจากแผนที่ประเมินพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยในแต่ละระดับสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. พื้นที่ที่อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงมาก ครอบคลุมพื้นที่ 141,518 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 27 % ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากในภาคใต้และบริเวณที่มีความลาดชันแบบราบเรียบถึงค่อนข้างราบเรียบ (0 – 2 %) พื้นที่เกษตรกรรม หินปูนและตะกอนควอเทอร์นารี และกลุ่มดินร่วน

2. พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูง ครอบคลุมพื้นที่ 228,800 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 44 % ของพื้นที่ทั้งหมด พบมากในที่ราบภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง และบริเวณหินตะกอนเนื้อประสม และบริเวณที่ห่างจากบ่อบาดาลประมาณ 4,000 เมตร

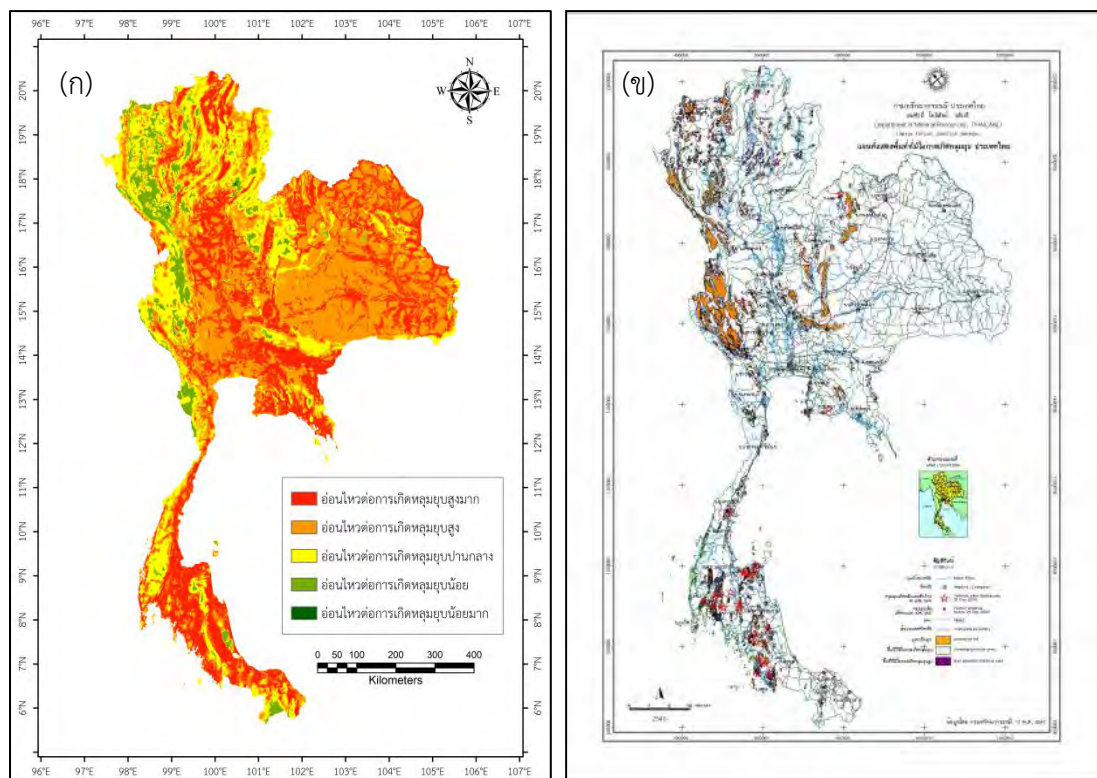
3. พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบปานกลาง ครอบคลุมพื้นที่ 112,732 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 22 % ของพื้นที่ทั้งหมด มักพบในบริเวณภูเขาหินปูนและหินตะกอนเนื้อประสม พื้นที่ป่าไม้ และบริเวณที่ห่างจากบ่อบาดาลประมาณ 6,000 เมตร

4. พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบน้อย ครอบคลุมพื้นที่ 29,915 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 6 % ของพื้นที่ทั้งหมด มักพบในบริเวณภูเขาหินอัคนีและหินแปร พื้นที่น้ำ และบริเวณที่ห่างจากบ่อบาดาล 8,000 เมตรขึ้นไป

5. พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบน้อยมาก ครอบคลุมพื้นที่ 154 ตารางกิโลเมตร คิดเป็น 1 % ของพื้นที่ทั้งหมด พบในบางส่วนของภาคเหนือ ภาคตะวันตกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นบริเวณพื้นที่น้ำทั้งหมด

จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวในแต่ละระดับและปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดหลุมยุบนั้นมีความสอดคล้องกันเช่นเดียวกับผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยข้างต้น และจากการตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่ พบว่ามีความถูกต้อง 78% นั้นอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับและเชื่อถือได้ เช่นเดียวกับในกรณีของงานวิจัย Sari, 2017 ที่ได้ทำงานวิจัยไว้ ณ เมืองคาราปินาร์ ซึ่งมีความถูกต้องอยู่ที่ 82%

5.3 ผลจากการเปรียบเทียบแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยและแผนที่แสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบ ประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2548)



รูป 5.7. (ก) แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย

(ข) แผนที่แสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบ ประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2548)

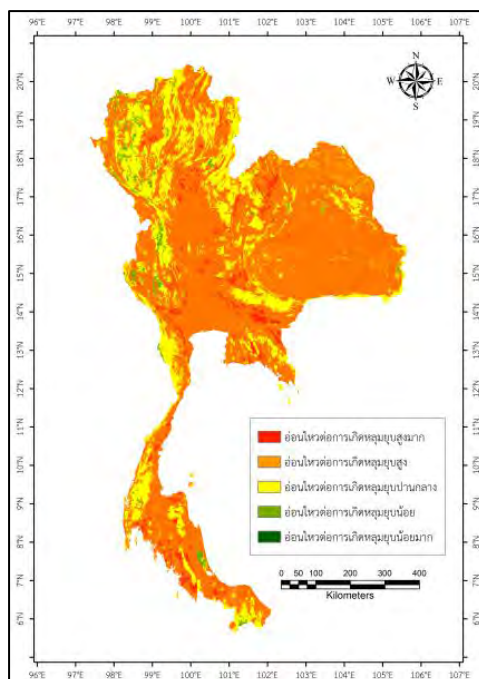
จากการเปรียบเทียบแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย (แผนที่ ก) และแผนที่แสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบ ประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2548) (แผนที่ ข) พบว่า

จากการนำพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงมากจากแผนที่ (ก) เปรียบเทียบกับพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบสูงจากแผนที่ (ข) พบว่ามีความตรงกันของพื้นที่ 53%

จากการนำพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงจากแผนที่ (ก) เปรียบเทียบกับพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบจากแผนที่ (ข) พบว่ามีความตรงกันของพื้นที่ 31%

ทั้งนี้เนื่องจากทั้ง 2 แผนที่มีการใช้ปัจจัยในการพิจารณาที่แตกต่างกัน โดยแผนที่แสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบ ประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2548) จะใช้พื้นที่หินปูนเป็นหลักในการกำหนดขอบเขตพื้นที่เสี่ยง ในขณะที่แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยจะใช้ปัจจัยอื่น ๆ มาร่วมพิจารณาด้วย อาทิ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ระยะห่างจากเส้นทางน้ำและถนน เป็นต้น

5.4 ผลจากการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยโดยการอ้างอิงค่าน้ำหนักจากงานวิจัยและการให้ค่าน้ำหนักปัจจัยเท่ากัน

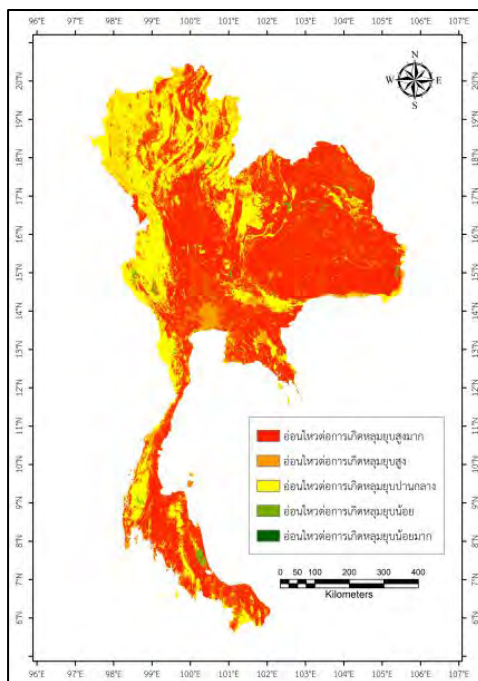


รูป 5.8. แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยจากการอ้างอิง Sari (2017)

จากการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยจากการอ้างอิง Sari (2017) พบว่ามีหลุมยุบในพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงมาก จำนวน 59 หลุม พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูง 20 หลุม และพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบปานกลาง 1 หลุม ซึ่งมีความถูกต้อง 74% ดังตาราง 5.2. โดยจะพบว่าพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงมากจะอยู่ในบริเวณหลุมยุบเดิมและหินปูน ซึ่งคล้ายกับแผนที่แสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบ ประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2548) เนื่องจากมีการใช้ปัจจัยที่คล้ายกัน

ตาราง 5.2. แสดงพื้นที่แต่ละระดับความอ่อนไหวและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น (Sari, 2017)

ระดับความอ่อนไหว	ครอบคลุมพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลุมยุบ	
		จำนวนหลุมยุบ	คิดเป็น (%)
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงมาก	15,240	59	74
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูง	363,186	20	25
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบปานกลาง	124,688	1	1
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบน้อย	10,006	0	0
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบน้อยมาก	-	-	-

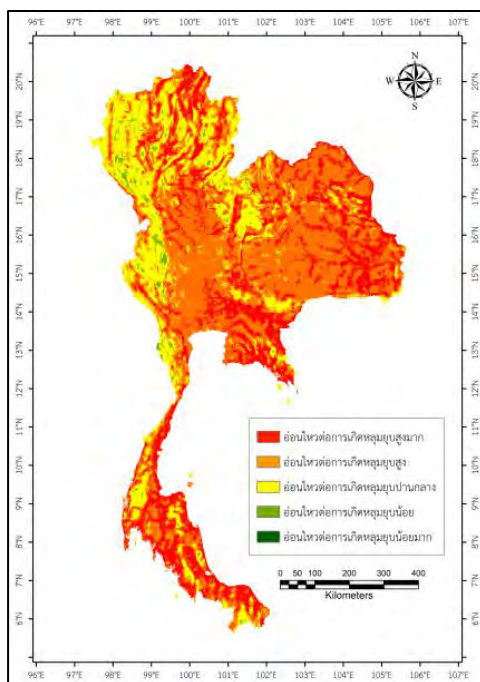


รูป 5.9. แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยจากการอ้างอิง ฦัฐญา ชมพูศรี (2560)

จากการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยจากการอ้างอิง ฦัฐญา ชมพูศรี (2560) พบว่ามีหลุมยุบในพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงมาก จำนวน 62 หลุม พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูง 13 หลุม และพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบปานกลาง 5 หลุม ซึ่งมีค่าความถูกต้อง 78% ดังตาราง 5.3. โดยจะพบว่าแผนที่ที่ได้มีลักษณะคล้ายกับปัจจัยการใช้ประโยชน์ที่ดิน เนื่องจากการให้ค่าน้ำหนักปัจจัยการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ค่อนข้างมากและขาดปัจจัยอัตราการใช้น้ำบาดาลต่อปี

ตาราง 5.3. แสดงพื้นที่แต่ละระดับความอ่อนไหวและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น (ฦัฐญา ชมพูศรี, 2560)

ระดับความอ่อนไหว	ครอบคลุมพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลุมยุบ	
		จำนวนหลุมยุบ	คิดเป็น (%)
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงมาก	286,116	62	78
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูง	76,054	13	16
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบปานกลาง	143,899	5	6
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบน้อย	7,030	0	0
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบน้อยมาก	21	0	0



รูป 5.10. แผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยจากการให้ค่าน้ำหนักปัจจัยเท่ากัน

จากการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยจากการให้ค่าน้ำหนักปัจจัยเท่ากัน พบว่ามีหลุมยุบในพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงมาก จำนวน 50 หลุม พื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูง 28 หลุม และพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบปานกลาง 2 หลุม ซึ่งมีค่าความถูกต้อง 63% ดังตาราง 5.4. ซึ่งจะเห็นได้ว่าปัจจัยระยะห่างจากเส้นทางถนน ระยะห่างจากเส้นทางน้ำและระยะห่างจากแนวรอยเลื่อนและแนวเส้นมีผลต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยมากขึ้น อย่างไรก็ตามค่าความถูกต้องของแผนที่กลับลดลง ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าค่าน้ำหนักที่แตกต่างกันในแต่ละปัจจัยมีผลต่อค่าความถูกต้องของแผนที่ ซึ่งการให้ค่าน้ำหนักปัจจัยที่แตกต่างกันโดยอ้างอิงจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ จะให้ค่าความถูกต้องของแผนที่มากกว่า

ตาราง 5.4. แสดงพื้นที่แต่ละระดับความอ่อนไหวและจำนวนหลุมยุบที่เกิดขึ้น (ค่าน้ำหนักเท่ากัน)

ระดับความอ่อนไหว	ครอบคลุมพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลุมยุบ	
		จำนวนหลุมยุบ	คิดเป็น (%)
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงมาก	119,249	50	63
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูง	267,438	28	35
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบปานกลาง	119,711	2	2
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบน้อย	6,722	0	0
อ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบน้อยมาก	-	-	-

บทที่ 6

สรุปผล

6.1 สรุปผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย

จากการศึกษาพบว่าลักษณะทางธรณีวิทยา ระยะห่างจากบ่อน้ำบาดาลและกลุ่มชุดดินเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยมากกว่า 60% นอกจากนี้หลุมยุบในประเทศไทยส่วนใหญ่พบในบริเวณตะกอนควอเทอร์นารีและหินปูน กลุ่มดินร่วน บริเวณพื้นที่เกษตรกรรม บริเวณที่มีปริมาณฝนมาก บริเวณที่ใกล้กับบ่อน้ำบาดาล ถนน เส้นทางน้ำ แนวรอยเลื่อนและแนวเส้น และบริเวณที่ราบ

6.2 สรุปผลจากการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย

จากการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยพบว่าพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบสูงมาก พบมากบริเวณภาคใต้ บางส่วนของภาคเหนือ ภาคตะวันตก ภาคกลางและภาคตะวันออก ซึ่งสัมพันธ์กับบริเวณที่ราบ พื้นที่เกษตรกรรม หินปูนและตะกอนควอเทอร์นารี และกลุ่มดินร่วน และพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบน้อยมาก มักสัมพันธ์กับพื้นที่น้ำ

6.3 สรุปผลจากการเปรียบเทียบแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยและแผนที่แสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบ ประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2548)

จากการเปรียบเทียบพบว่าแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยและแผนที่แสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบ ประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2548) มีลักษณะแตกต่างกัน เนื่องจากจำนวนและชนิดของปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์แตกต่างกัน โดยแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทยจะมีการใช้ปัจจัยที่หลากหลายสามารถครอบคลุมเหตุการณ์หลุมยุบที่อาจเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ ได้ดีกว่า ในขณะที่แผนที่แสดงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบ ประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2548) จะมีการกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดหลุมยุบในบริเวณพื้นที่หินปูนได้ดีกว่า

6.4 ผลจากการจัดทำแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดหลุมยุบในประเทศไทย โดยการอ้างอิงค่าน้ำหนักจากงานวิจัยและการให้ค่าน้ำหนักปัจจัยเท่ากัน

จากการจัดทำแผนที่โดยใช้ปัจจัยและค่าน้ำหนักจากงานวิจัยที่ต่างกัน พบว่าแผนที่ที่ได้จะมีลักษณะที่ต่างกัน ทั้งนี้แผนที่อาจมีข้อดีและข้อจำกัดบางอย่างที่ต่างกัน และจากแผนที่ที่ให้ค่าน้ำหนักปัจจัยเท่ากันพบว่าการให้ค่าน้ำหนักที่ต่างกันโดยอ้างอิงจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ จะส่งผลให้ค่าความถูกต้องของแผนที่มากกว่าการให้ค่าน้ำหนักเท่ากัน ดังนั้นในการจัดทำแผนที่ควรเลือกใช้ปัจจัยและให้ค่าน้ำหนักจากแหล่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือและพิจารณาแล้วว่าเหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา

บรรณานุกรม

- กรมทรัพยากรธรณี. คู่มือแนวทางปฏิบัติในพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบและบัญชีรายชื่อจังหวัดที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบ. (ม.ป.ท.), 2548.
- กรมทรัพยากรธรณี. ตารางสรุปเหตุการณ์หลุมยุบในประเทศไทยระหว่างวันที่ 26 ธ.ค.2547 ถึง 28 ก.พ. 2550 [ออนไลน์]. 2550. แหล่งที่มา: www.dmr.go.th [24 ตุลาคม 2563]
- กรมทรัพยากรธรณี. ความรู้เกี่ยวกับหลุมยุบ [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: www.dmr.go.th [24 ตุลาคม 2563]
- ณัฐยา ชมภูศรี. การศึกษาเรื่องพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดหลุมยุบในภูมิภาคแบบหินปูน โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับวิธีการพิจารณาแบบหลายกฎเกณฑ์ กรณีศึกษา ตำบลชมพู อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี, ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2560.
- ธมลวรรณ วุ่นพันธ์. ธรณีพิบัติภัยหลุมยุบสถานีวิจัยกระจายเสียงแห่งประเทศไทย จังหวัดสตูล. กรุงเทพฯ: สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 4 (สุราษฎร์ธานี) กรมทรัพยากรธรณี, 2558.
- สันติ ภัยหลบลี้. ภัยพิบัติการทรุดตัวของพื้นดิน [ออนไลน์]. 2560. แหล่งที่มา: www.mitrearth.org [24 ตุลาคม 2563]
- สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ. กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น [ออนไลน์]. ม.ป.ป. แหล่งที่มา: www.dti.or.th [24 ตุลาคม 2563]
- Kouri, O., Fugara, A., Rawashdeh, S., Sadoun, B. Geospatial Modeling for Sinkholes Hazard Map based on GIS & RS Data. *Journal of Geographic Information System* 6 (December 2013): 584-592.
- Sari, F., Sinkhole Susceptibility Analysis for Karapinar/Konya Via Multi Criteria Decision, 4th International GeoAdvances Workshop, pp. 339-343, Turkey, 2017

