

การประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนด้วยแบบจำลอง DRASTIC ขั้นสูงที่
พัฒนามาบนพื้นฐานของ MODFLOW และหลักสถิติ



นายศศิรินทร์ จิระศิริรักษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STATISTICAL AND MODFLOW-
BASED ADVANCED DRASTIC MODEL FOR GROUNDWATER VULNERABILITY ASSESS
MENT

Mr. Sasin Jirasirak



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Water Resources Engineering

Department of Water Resources Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการ
ปนเปื้อนด้วยแบบจำลอง DRASTIC ชั้นสูงที่พัฒนาบน
พื้นฐานของ MODFLOW และหลักสถิติ

โดย

นายศินท์ จิระศิริรักษ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมแหล่งน้ำ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อักษรา พฤทธิวิทยา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อักษรา พฤทธิวิทยา)

..... กรรมการ

(ดร. ปิยธิดา ห้อยสังวาลย์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. ชยาวีร์ หวังเจริญรุ่ง)

ศศินท์ จิระศิริรักษ์ : การประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนด้วยแบบจำลอง DRASTIC ขั้นสูงที่พัฒนาบนพื้นฐานของ MODFLOW และหลักสถิติ (STATISTICAL AND MODFLOW-BASED ADVANCED DRASTIC MODEL FOR GROUNDWATER VULNERABILITY ASSESSMENT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. อักษรา พุทธิวิทยา, 186 หน้า.

ทรัพยากรน้ำเป็นหนึ่งในปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีพของประชาชนและเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งมีการพัฒนาของทั้งภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมทั่วประเทศมาโดยตลอด แต่เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีการบริหารจัดการเพื่อใช้ทรัพยากรน้ำในการทำกิจกรรมต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ ส่งผลให้เกิดทั้งปัญหาภัยแล้ง อุทกภัย และการปนเปื้อนของแหล่งน้ำต่าง ๆ กระจายทั่วทุกพื้นที่ ซึ่งมีผลกระทบต่อการอุปโภคบริโภคภายในประเทศ สุขภาพอนามัยของประชาชน รวมถึงความสะอาดของระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมในภาพรวม ดังนั้น การดูแลรักษา การบำบัดฟื้นฟู และการหาแหล่งน้ำทางเลือกจึงเป็นสิ่งจำเป็นมากสำหรับประเทศไทย โดยเฉพาะเพื่อเป็นการวางแผนการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในประเทศอย่างยั่งยืน วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นการพัฒนาการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล ซึ่งถือเป็นหนึ่งในแหล่งน้ำทางเลือกหลักของประเทศ โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างข้อมูลทดแทน การสร้างสมการเชิงสถิติ การสร้างแบบจำลองการไหลของชั้นน้ำบาดาล (MODFLOW Model) และการจัดทำแผนที่ความเปราะบาง โดยใช้แบบจำลอง DRASTIC และ ADVANCED DRASTIC เพื่อเพิ่มศักยภาพในการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา 3 พื้นที่ ได้แก่ จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดสุโขทัยร่วมกับจังหวัดพิษณุโลก ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งถือเป็นวิธีการสำคัญในการคาดการณ์ความเปราะบางของพื้นที่ให้ใกล้เคียงสถานการณ์จริงมากที่สุด เพื่อวางแผนและยุทธศาสตร์ในการบริหารจัดการแหล่งน้ำบาดาลธรรมชาติที่เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ จากการเปรียบเทียบวิธีการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล วิทยานิพนธ์นี้แสดงให้เห็นว่า การประเมินโดยใช้แบบจำลองขั้นสูงที่พัฒนาแล้ว (ADVANCED DRASTIC) เป็นทางเลือกที่ดีกว่า เนื่องจากสามารถลดเซกการขาดแคลนข้อมูลทางกายภาพบางส่วนของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาได้ดี ทำให้ลดภาระด้านงบประมาณและกำลังคนในการขุดเจาะสำรวจสถานที่จริง ในขณะที่ยังสามารถจัดทำแผนที่คะแนนของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง และหวังว่าหน่วยงานที่เกี่ยวข้องของประเทศไทย อาทิ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมวิชาการเกษตร กรมชลประทาน กรมส่งเสริมการเกษตร กรมอุตุนิยมวิทยา และกรมพัฒนาที่ดิน เป็นต้น จะสามารถบูรณาการเพื่อรณรงค์และสร้างความตระหนักรู้เพื่อแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลอย่างจริงจังต่อไป

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

5570517521 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS: GROUNDWATER RESPONSE, MULTIPLE REGRESSION, GROUNDWATER RECHARGE, STATISTICAL ANALYSIS.

SASIN JIRASIRIRAK: STATISTICAL AND MODFLOW-BASED ADVANCED DRASTIC MODEL FOR GROUNDWATER VULNERABILITY ASSESSMENT. ADVISOR: ASST. PROF. DR. AKSARA PUTTHIVIDHYA, 186 pp.

Water resources are not only one of foremost basic necessity of life of the peoples, but also an important factor to drive economic growth of Thailand, including being a driving force for developments in both agricultural and industrial sectors around the country. To date, Thailand has not thrived to form a system towards intensive water resources management in order to utilise water resources in a wide range of activities, which has led to major natural disasters regarding either water shortage or floods, as well as severe contamination in water sources in many areas, of which has negatively affected water utilization within the country, health and hygiene, in consort with ecological and environmental cleanliness as a whole. In response, in addition to water resources maintenance and recuperation processes, alternative water sources are significantly important for Thailand, especially in order to achieve domestic water resources management in a sustainable manner. This study emphasises the development of groundwater vulnerability assessment, which is regarded as one of the chief alternative water sources in Thailand, by means of data generation through statistical equations using multiple linear correlation and regression analysis, MODFLOW Model to reproduce groundwater flows, as well as DRASTIC and ADVANCED DRASTIC vulnerability maps, with an objective to raise quality and productivity of the assessing procedures of groundwater vulnerability to contamination in 3 study areas, namely, Chachoengsao province, Suphanburi province, and Sukhothai with Phitsanulok provinces. The study aims to generate statistical models to best predict the vulnerability of each area for the most suitable strategic planning of groundwater resources management. This study concludes that groundwater vulnerability assessment using the ADVANCED DRASTIC method is a more appropriate model, in the sense that it could generate missing data and absorb both budget and human resources burdens to survey groundwater areas, to establish a more reliable Hydraulic Conductivity Map. The writer hopes for related Thai agencies, such as, Royal Irrigation Department (RID), Thai Meteorological Department (TMD) and Department of Groundwater Resources, Thailand (DGR) to cooperate in raising awareness of the importance to sustainably manage and eradicate groundwater contamination in the long run.

Department: Water Resources Engineering Student's Signature

Field of Study: Water Resources Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อักษรา พุทธิวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้การชี้แนะ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ตลอดจนตรวจสอบและใส่ใจในการทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าตลอดการดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ทนตัน กิจไพศาลสกุล ประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ดร. ปิยธิดา ห้อยสังวาลย์ กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร. ชยาวีร์ หวังเจริญรุ่ง กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัยในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าของท่านในการให้คำแนะนำ ชี้แนะและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณาจารย์และบุคลากรทุกท่านภาควิชาแหล่งน้ำ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนเพื่อใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษารวมถึงได้เอื้อเฟื้อสถานที่ บุคลากร เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ตลอดจนคำแนะนำและความช่วยเหลือ ขอขอบพระคุณกรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมพัฒนาที่ดิน กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการประกอบการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ขอขอบคุณคุณนงนภามาศ ปัญญาตรง ที่ให้คำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณคุณศักดิ์ สกุลไทย สำหรับคำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านโปรแกรม

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ นายพิชัย จิระศิริรักษ์ (บิดา) นางศศิธร จิระศิริรักษ์ (มารดา) นางสาวอวิศดา จิระศิริรักษ์ (คุณป้าคนโต) นางสาวศศิพร จิระศิริรักษ์ (คุณป้าคนรอง) นางวนิดา จิระศิริรักษ์ (อาม่า) นายตกท้วน แซ่จิว (คุณปู่) และญาติพี่น้องทุกคนของข้าพเจ้า ผู้ซึ่งให้ความรัก ความห่วงใย แรงผลักดัน และคอยติดตามการทำวิทยานิพนธ์อย่างใกล้ชิด สนับสนุนทางด้านการศึกษาให้ข้าพเจ้ามาโดยตลอด คอยเป็นที่พึ่งและยึดเหนี่ยวจิตใจ รวมถึงเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จ ประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้ผู้สนใจนำไปศึกษาต่อไปในภายภาคหน้า

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญรูป	ฎ
สารบัญตาราง.....	ต
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มา ความสำคัญ และความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ขอบเขตการศึกษา	4
1.3.1 เลือกพื้นที่ศึกษา.....	5
1.3.2 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและวิจัย	5
1.3.3 วิเคราะห์ข้อมูล 3 ขั้นตอน ดังนี้.....	5
1.4 แนวทางการศึกษา	5
1.5 พื้นที่ศึกษา	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	11
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการศึกษาที่ผ่านมา.....	12
2.1 สถานการณ์ของน้ำ	12
2.1.1 น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน.....	12
2.1.2 ปัญหาทรัพยากรน้ำเชิงปริมาณ	25
2.1.3 ปัญหาทรัพยากรน้ำเชิงคุณภาพ	26
2.1.4 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อทรัพยากรน้ำ.....	27

2.2 คุณภาพน้ำบาดาล (กรมควบคุมมลพิษ, 2556).....	28
2.3 ปัญหาน้ำบาดาลเชิงพื้นที่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2556).....	28
2.3.1 ปัญหาการใช้น้ำบาดาลในปริมาณเกินเกณฑ์มาตรฐานส่งผลกระทบต่อ ดั้งนี้.....	28
2.3.2 ปัญหาคุณภาพน้ำบาดาลเสื่อมโทรม	30
2.4 การประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน (Groundwater Vulnerability Assessment)	30
2.5 แบบจำลอง DRASTIC	35
2.6 แบบจำลอง ADVANCED DRASTIC	45
2.7 การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis).....	50
2.8 สหสัมพันธ์ (Correlation)	51
2.9 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS)	54
2.9.1 องค์ประกอบของ GIS (Components of GIS)	54
2.9.2 ลักษณะข้อมูลภูมิศาสตร์ (Geographic Features)	54
2.9.3 ที่ตั้ง (Location)	55
2.9.5 ลักษณะข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	56
2.9.6 ประเภทของ Feature.....	56
2.9.7 เทคนิคและวิธีการนำเข้าสู่ข้อมูล	57
2.10 แบบจำลองน้ำบาดาล MODFLOW (MODFLOW Groundwater models)	58
2.11 ข้อมูลทั่วไปพื้นที่ศึกษา.....	62
2.11.1 จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก	62
2.11.2 จังหวัดสุพรรณบุรี.....	66
2.11.3 จังหวัดฉะเชิงเทรา	67
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	71

3.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (Local-Scale Data)	73
3.2 การนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการ ปนเปื้อนโดยใช้แบบจำลอง DRASTIC	90
3.2.1 การวิเคราะห์ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดย ใช้แบบจำลอง DRASTIC	90
3.2.2 นำเข้าข้อมูลการวิเคราะห์ค่าคะแนนโดยเกณฑ์การให้คะแนน DRASTIC	99
3.2.3 การจัดทำแผนที่ความเปราะบางของพื้นที่ศึกษา โดยการนำแผนที่ของทั้ง 7 ตัว แปรมาซ้อนทับ โดยใช้โปรแกรม GIS ในการทำ Overlay เพื่อรวมค่าคะแนน	105
3.3 การนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการ ปนเปื้อน โดยการใช้แบบจำลอง ADVANCED DRASTIC	107
3.3.1 การศึกษาความสัมพันธ์และวิเคราะห์เชิงสถิติระหว่างปริมาณน้ำฝนและระดับ น้ำบาดาล เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ ศึกษา 3 แห่ง ได้แก่	107
3.3.2 การจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการสร้างรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ ของคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล ด้วยแบบจำลอง MODFLOW.....	112
3.3.3 การพัฒนาแบบจำลองชั้นเพื่อประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของระบบ น้ำบาดาล (ADVANCED DRASTIC).....	137
3.4 การนำวิธีการประเมินความเปราะบางไปใช้เพื่อวิเคราะห์ถึงพื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อน.....	139
บทที่ 4 ผลการศึกษา	141
4.1 การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลโดยวิธี DRASTIC.....	141
4.1.1 จังหวัดฉะเชิงเทรา	142
4.1.2 จังหวัดสุพรรณบุรี.....	145
4.1.3 จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก	148

4.2 การวิเคราะห์ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนโดยวิธี ADVANCED DRASTIC.....	153
4.2.1 ผลจากการศึกษาความสัมพันธ์และวิเคราะห์เชิงสถิติระหว่างปริมาณน้ำฝนและ ระดับน้ำบาดาล เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระดับน้ำบาดาล ใน พื้นที่ศึกษา 3 แห่ง ได้แก่.....	153
การวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยวิธีถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis)	153
4.2.2 ผลจากการจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการสร้างรูปแบบการกระจายตัว เชิงพื้นที่ของคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW	166
4.2.3 ผลการพัฒนาแบบการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลชั้นสูง (ADVANCED DRASTIC) บนพื้นฐานการวิเคราะห์เชิงสถิติและแบบจำลอง สภาพการไหล (MODFLOW Model) และนำไปใช้เพื่อประเมินความเปราะบาง ของพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 แห่ง.....	170
4.3 ผลจากการประยุกต์ใช้แผนที่ความเปราะบางในการวิเคราะห์พื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อน ...	175
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	177
5.1 สรุปผลการศึกษาจากการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล....	177
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	180
รายการอ้างอิง.....	182
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	186

สารบัญรูป

รูปที่ 1- 1 พื้นที่จังหวัดสุโขทัย (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ NASA)	7
รูปที่ 1- 2 พื้นที่ จังหวัดพิษณุโลก (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ NASA)	8
รูปที่ 1- 3 พื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ NASA)	9
รูปที่ 1- 4 พื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ NASA)	10
รูปที่ 2- 1 การถ่ายเทตามวัฏจักรน้ำ จากการได้รับ (Gaining Stream) และการสูญเสีย (Losing Stream) ระหว่างน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน (Reid et al., 2009).....	14
รูปที่ 2- 2 การถ่ายเทตามวัฏจักรน้ำ การสูญเสีย (Losing Stream) ระหว่างน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน ในเขตพื้นที่ไม่อิ่มตัวของน้ำ (Unsaturated Zone) (Reid et al., 2009).....	14
รูปที่ 2- 3 ลุ่มน้ำผิวดิน 25 ลุ่มในประเทศไทย (ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ, 2555).....	16
รูปที่ 2- 4 แอ่งน้ำบาดาล 27 แอ่งในประเทศไทย (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)	17
รูปที่ 2- 5 น้ำใต้ดินในพื้นที่ชนบท (Palomino, 2013)	18
รูปที่ 2- 6 ภาพตัดขวางชั้นดิน (Liubov, 2015)	19
รูปที่ 2- 7 น้ำบาดาล (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)	20
รูปที่ 2- 8 ตัวอย่างการปนเปื้อนของชั้นน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม(Palomino, 2013)	21
รูปที่ 2- 9 กระบวนการปนเปื้อนจากแหล่งต่าง ๆ (อาทิ โรงงาน พื้นที่เพาะปลูก และเหมืองแร่) (Palomino, 2013).....	23
รูปที่ 2- 10 กระบวนการปนเปื้อนของพื้นที่ทิ้งขยะลงสู่ น้ำบาดาล (Palomino, 2013)	24
รูปที่ 2- 11 แผนที่คุณภาพน้ำบาดาล (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)	29

รูปที่ 2- 12 รูปแสดงผลลัพธ์ของ Statistical Analysis ระหว่างการพบไนเตรทกับความลึกของบ่อ (Proceedings for the Source Water Assessment and Protection, 1998)	34
รูปที่ 2- 13 ตัวอย่างแผนที่ที่ความเปราะบางทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ (DRASTIC Map) (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2552)	38
รูปที่ 2- 14 ตัวอย่างแผนที่ที่แสดงความเปราะบางทางอุทกธรณีวิทยาต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล(กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)	40
รูปที่ 2- 15 ตัวอย่างแผนที่ที่แสดงความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551).....	41
รูปที่ 2- 16 ตัวอย่างการนำ Improved DRASTIC มาใช้ในการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน (N. Z. Jovanovic et al., 2006).....	48
รูปที่ 2- 17 บริเวณของเขตอิมอากาศเพื่อแบ่งเกณฑ์การให้คะแนนในรูปแบบใหม่ (FRITCH G. TODD et al., 2000).....	50
รูปที่ 2- 18 ลักษณะข้อมูลภูมิศาสตร์ (Geographic Features) (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)	55
รูปที่ 2- 19 ระบบชั้นน้ำบาดาลที่ถูกแบ่งเป็นเซลล์ย่อย (Arlai, 2007).....	60
รูปที่ 2- 20 เซลล์ i, j, k และ อีก 6 เซลล์ที่ต่อเนื่องจากเซลล์ i, j, k (Arlai,2007).....	61
รูปที่ 2- 21 ภูมิประเทศจังหวัดพิษณุโลก (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพิษณุโลก, 2553).....	65
รูปที่ 3- 1 พื้นที่ศึกษาทั้ง 3 แห่ง พร้อมทั้งลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่.....	71
รูปที่ 3- 2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	72
รูปที่ 3- 3 ข้อมูลแผนที่ชั้นน้ำบาดาล จังหวัดฉะเชิงเทรา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)	83
รูปที่ 3- 4 ข้อมูลแผนที่ชนิดดิน จังหวัดฉะเชิงเทรา (กรมพัฒนาที่ดิน).....	84
รูปที่ 3- 5 ข้อมูลแผนที่เขตอิมอากาศ จังหวัดฉะเชิงเทรา (กรมพัฒนาที่ดิน)	84
รูปที่ 3- 6 ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ จังหวัดฉะเชิงเทรา (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ NASA).....	85
รูปที่ 3- 7 ข้อมูลแผนที่ชั้นน้ำบาดาล จังหวัดสุพรรณบุรี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล).....	85

รูปที่ 3- 8 ข้อมูลแผนที่ชนิดดิน จังหวัดสุพรรณบุรี (กรมแผนที่ดิน)	86
รูปที่ 3- 9 ข้อมูลแผนที่เขตอิมอากาศ จังหวัดสุพรรณบุรี (กรมแผนที่ดิน)	86
รูปที่ 3- 10 ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ จังหวัดสุพรรณบุรี (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ NASA).....	87
รูปที่ 3- 11 ข้อมูลแผนที่ชั้นน้ำบาดาล จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล).....	87
รูปที่ 3- 12 ข้อมูลแผนที่ชนิดดิน จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก (กรมแผนที่ดิน).....	88
รูปที่ 3- 13 ข้อมูลแผนที่เขตอิมอากาศ จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก (กรมแผนที่ดิน) ...	88
รูปที่ 3- 14 ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ NASA).....	89
รูปที่ 3- 15 ตัวอย่างตำแหน่งข้อมูลความลึกระดับน้ำบาดาล	99
รูปที่ 3- 16 ตัวอย่างผลการประเมินจากข้อมูลความลึกระดับน้ำบาดาล จังหวัดฉะเชิงเทรา.....	100
รูปที่ 3- 17 ตัวอย่างตำแหน่งข้อมูลอัตราการเติมน้ำบาดาล จังหวัดฉะเชิงเทรา	100
รูปที่ 3- 18 ตัวอย่างผลการประเมินข้อมูลอัตราการเติมน้ำบาดาล จังหวัดฉะเชิงเทรา.....	101
รูปที่ 3- 19 ตัวอย่างผลการประเมินข้อมูลตัวกลางชั้นน้ำบาดาล จังหวัดฉะเชิงเทรา.....	101
รูปที่ 3- 20 ตัวอย่างผลการประเมินข้อมูลตัวกลางชั้นดิน จังหวัดฉะเชิงเทรา	102
รูปที่ 3- 21 ตัวอย่างผลการประเมินข้อมูลภูมิประเทศ จังหวัดฉะเชิงเทรา.....	102
รูปที่ 3- 22 ตัวอย่างผลการประเมินข้อมูลเขตอิมอากาศ จังหวัดฉะเชิงเทรา.....	103
รูปที่ 3- 23 ตัวอย่างตำแหน่งข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน จังหวัดฉะเชิงเทรา.....	103
รูปที่ 3- 24 ตัวอย่างผลการประเมินข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน จังหวัดฉะเชิงเทรา.....	104
รูปที่ 3- 25 ตัวอย่างการ Overlay แผนที่ตัวแปรทั้ง 7 เพื่อการสร้างแผนที่ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ในจังหวัดฉะเชิงเทรา	105

รูปที่ 3- 26 ตัวอย่างแผนที่ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนต่อการเกิด มลภาวะโดยวิธี DRASTIC.....	106
รูปที่ 3- 27 ลักษณะของกราฟที่ค่า $r = 1, .5, 0, -.5$ และ -1 (ดร.อิศรวิญญู รินไธสง, 2548)	109
รูปที่ 3- 28 การแบ่งพื้นที่ศึกษาในการหาค่าความสัมพันธ์เป็นส่วน ๆ ตามพิกัดของสถานีวัด น้ำฝน เพื่อกำหนดข้อมูลของสถานีวัดปริมาณน้ำฝนและข้อมูลระดับน้ำบาดาลที่จะใช้ในการ จะศึกษาความสัมพันธ์และวิเคราะห์เชิงสถิติ	110
รูปที่ 3- 29 ตัวอย่างการหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination – R^2) เพื่อพิจารณาความสามารถในการพยากรณ์ ของจังหวัดฉะเชิงเทรา	112
รูปที่ 3- 30 การแบ่งการไหลของน้ำบาดาลเป็นหน่วยลูกบาศก์ เพื่อใช้ในการพิจารณาการไหล ในรูปแบบสามมิติ (Arlai, 2007).....	114
รูปที่ 3- 31 สร้างพื้นที่ศึกษาในรูปแบบสามมิติ (3D Grid) ในโปรแกรมGMS.....	117
รูปที่ 3- 32 การกำหนดพิกัดของพื้นที่ศึกษาในโปรแกรม GMS.....	118
รูปที่ 3- 33 ผลลัพธ์จากการสร้างพื้นที่ศึกษาในรูปแบบสามมิติ	118
รูปที่ 3- 34 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการนำเข้าข้อมูลความสูงของพื้นที่ศึกษา จังหวัด ฉะเชิงเทรา.....	119
รูปที่ 3- 35 การใส่ค่าความสูงของพื้นที่สามมิติที่สร้างขึ้น.....	120
รูปที่ 3- 36 ตัวอย่างพื้นที่ที่ได้หลังกำหนดขอบเขตเงื่อนไขการจำลองสภาพการไหล (Boundary Condition) จังหวัดฉะเชิงเทรา	120
รูปที่ 3- 37 ตัวอย่างพื้นที่ศึกษาหลังการใส่ค่าความสูงและการกำหนดขอบเขต จังหวัด ฉะเชิงเทรา.....	121
รูปที่ 3- 38 ตัวอย่างตัวเลขแทน Boundary Condition ของแต่ละกริดในพื้นที่ศึกษา จังหวัด ฉะเชิงเทรา.....	121
รูปที่ 3- 39 ตัวอย่างการจำลองพื้นที่ศึกษา จังหวัดฉะเชิงเทรา.....	122
รูปที่ 3- 40 Global Basic Package ของ MODFLOW Model ในโปรแกรม GMS	123
รูปที่ 3- 41 Package ของ MODFLOW Model ในโปรแกรม GMS	123

รูปที่ 3- 42 การกำหนดหน่วยที่ในแบบจำลองสภาพการไหลด้วย MODFLOW Model	124
รูปที่ 3- 43 ตัวอย่างตำแหน่งและระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ที่ระดับน้ำบาดาล จังหวัด ฉะเชิงเทรา.....	125
รูปที่ 3- 44 การ Interpolation ระดับน้ำเริ่มต้น (Starting Head) ของแบบจำลองสภาพการ ไหล (MODFLOW Model).....	125
รูปที่ 3- 45 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการ Interpolation ระดับน้ำบาดาลเริ่มต้นในแต่ละกริด จังหวัดฉะเชิงเทรา	126
รูปที่ 3- 46 ตัวอย่างผลลัพธ์การใส่ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) จังหวัดฉะเชิงเทรา.....	127
รูปที่ 3- 47 ตัวอย่างผลลัพธ์การใส่อัตราการเติมน้ำ (Recharge) จังหวัดฉะเชิงเทรา.....	127
รูปที่ 3- 48 ตัวอย่างการใส่ค่าความพรุน (Porosity) จังหวัดฉะเชิงเทรา	128
รูปที่ 3- 49 ตัวอย่างการตรวจสอบการใส่ข้อมูลพื้นฐาน จังหวัดฉะเชิงเทรา	128
รูปที่ 3- 50 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการตรวจสอบการใส่ข้อมูล จังหวัดฉะเชิงเทรา	129
รูปที่ 3- 51 ตัวอย่างการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาเพื่อศึกษา จังหวัด ฉะเชิงเทรา.....	129
รูปที่ 3- 52 ตัวอย่างผลลัพธ์การจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา จังหวัด ฉะเชิงเทรา.....	130
รูปที่ 3- 53 ตัวอย่างระดับน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษาที่แสดงบนแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยใช้ MODFLOW Model ในโปรแกรม GMS จังหวัดฉะเชิงเทรา.....	130
รูปที่ 3- 54 ตัวอย่างการ Trial and Error เพื่อปรับเทียบ การจำลองสภาพน้ำบาดาล จังหวัด ฉะเชิงเทรา.....	131
รูปที่ 3- 55 ตัวอย่างการ Trial and Error เพื่อปรับเทียบ การจำลองสภาพน้ำบาดาล จังหวัด สุพรรณบุรี	132
รูปที่ 3- 56 ตัวอย่างการ Trial and Error เพื่อปรับเทียบ การจำลองสภาพน้ำบาดาล จังหวัด จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก	132

รูปที่ 3- 57 ตัวอย่างการจำลองชั้นน้ำบาดาลหลังจากได้รับการปรับเทียบข้อมูล จังหวัด ฉะเชิงเทรา.....	133
รูปที่ 3- 58 ค่า R ² การจำลองชั้นน้ำบาดาลก่อนและหลังจากได้รับการปรับเทียบข้อมูล (Calibration) จังหวัดฉะเชิงเทรา	134
รูปที่ 3- 59 ค่า R ² การจำลองชั้นน้ำบาดาลก่อนและหลังจากได้รับการปรับเทียบข้อมูล (Calibration) จังหวัดสุพรรณบุรี.....	135
รูปที่ 3- 60 ค่า R ² การจำลองชั้นน้ำบาดาลก่อนและหลังจากได้รับการปรับเทียบข้อมูล (Calibration) จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก	136
รูปที่ 3- 61 ผลการประเมินความลึกระดับน้ำบาดาลที่ได้จากสมการความสัมพันธ์เชิง คณิตศาสตร์ระหว่างระดับน้ำบาดาลและปริมาณน้ำฝน จังหวัดฉะเชิงเทรา	137
รูปที่ 3- 62 ผลการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านที่ได้จากการจำลองสภาพชั้น น้ำบาดาลโดย MODFLOW Model จังหวัดฉะเชิงเทรา	138
รูปที่ 3- 63 ผลการประเมินความแปรปรวนของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน จังหวัด ฉะเชิงเทรา.....	138
รูปที่ 3- 64 การประยุกต์ใช้แผนที่ DRASTIC Map เทียบพื้นที่ปนเปื้อนจังหวัดสุพรรณบุรี ..	139
รูปที่ 3- 65 การประยุกต์ใช้แผนที่ ADVANCED DRASTIC Map เทียบพื้นที่ปนเปื้อน จังหวัดสุพรรณบุรี.....	140
รูปที่ 4- 1 แผนที่ประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลด้วยวิธีประเมินแบบ DRASTIC (DRASTIC Map) จังหวัดฉะเชิงเทรา.....	144
รูปที่ 4- 2 แผนที่ประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลด้วยวิธีประเมิน DRASTIC (DRASTIC Map) จังหวัดสุพรรณบุรี	148
รูปที่ 4- 3 แผนที่ประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลด้วยวิธีประเมิน DRASTIC (DRASTIC Map) จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก.....	151
รูปที่ 4- 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์และระดับน้ำ บาดาล ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ พร้อมค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²) จังหวัดฉะเชิงเทรา	156

รูปที่ 4- 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์และระดับน้ำบาดาล ที่ได้จากการคำนวณความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ พร้อมค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) จังหวัดสุพรรณบุรี.....	158
รูปที่ 4- 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์ และระดับน้ำบาดาล ที่ได้จากการคำนวณความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ พร้อมค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) จังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก.....	163
รูปที่ 4- 7 ระดับความสูงของชั้นน้ำบาดาลที่ได้จากการจำลองสภาพการไหลและการกระจายตัวของน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา	166
รูปที่ 4- 8 ระดับความสูงของชั้นน้ำบาดาลที่ได้จากการจำลองสภาพการไหลและการกระจายตัวของน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี	167
รูปที่ 4- 9 ระดับความสูงของชั้นน้ำบาดาลที่ได้จากการจำลองสภาพการไหลและการกระจายตัวของน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก	167
รูปที่ 4- 10 แผนที่การประเมินการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนชั้นสูงที่พัฒนาขึ้น ในจังหวัดฉะเชิงเทรา.....	171
รูปที่ 4- 11 แผนที่การประเมินการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนชั้นสูงที่พัฒนาขึ้น ในจังหวัดสุพรรณบุรี	172
รูปที่ 4- 12 แผนที่การประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนชั้นสูงที่พัฒนาขึ้น ในจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก	173

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2- 1 แหล่งน้ำจืดและปริมาณน้ำจืดบนโลก (Christopherson, 2000) 15

ตารางที่ 2- 2 ระดับความรุนแรงของแหล่งมลสารที่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำบาดาล (กรม
ทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551) 39

ตารางที่ 2- 3 ตารางแสดงตัวอย่างการศึกษาค้นคว้าความเปราะบางของพื้นที่ต่อการปนเปื้อนของ
สารสู้นำใต้ดิน (Liggett E. Jessica and Sonia, 2009) 43

ตารางที่ 2- 4 ตารางแสดงตัวอย่างการศึกษาค้นคว้าความเปราะบางของพื้นที่ต่อการปนเปื้อนของ
สารสู้นำใต้ดิน (แปลจาก Liggett E. Jessica and Sonia, 2009) 44

ตารางที่ 2- 5 ผลต่อความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ที่พิจารณาจากการไหล
และคุณสมบัติทางชลศาสตร์ (N. Z. Jovanovic, S. Adams, A. Thomas et al., 2006) 45

ตารางที่ 2- 6 ผลต่อความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ที่พิจารณาจากชั้น
ความหนาและชนิดตัวกลางของเขตไม่อิ่มน้ำ(N. Z. Jovanovic et al., 2006) 46

ตารางที่ 2- 7 ผลต่อความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ที่พิจารณาจากตัวกลาง
และระยะเวลาในการไหลของน้ำจนถึงระดับน้ำบาดาล (N. Z. Jovanovic et al., 2006) 46

ตารางที่ 2- 8 ผลต่อความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ที่พิจารณาจากความ
หนาของเขตไม่อิ่มน้ำและอัตราการเติมน้ำ (N. Z. Jovanovic et al., 2006) 47

ตารางที่ 2- 9 ผลต่อความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ที่พิจารณาจากชนิด
ของสารปนเปื้อน และการดูดซับของตัวกลางดินชนิดต่างๆ (Jovanovic et al., 2006) 47

ตารางที่ 2- 10 ผลต่อความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ที่พิจารณาจาก
ปริมาณที่ดูดซับสารได้ของเขตไม่อิ่มน้ำและระยะเวลาคงอยู่ของสารปนเปื้อน (Jovanovic et
al., 2006) 48

ตารางที่ 2- 11 ชุดการคำนวณในแบบจำลอง MODFLOW (ที่มา: ปณต, 2550) 62

ตารางที่ 2- 12 181

ตารางที่ 3- 1 ตัวอย่างข้อมูลความลึกน้ำบาดาลรายเดือนย้อนหลังตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007-2008 ของจังหวัดฉะเชิงเทรา (ข้อมูลความลึกระดับน้ำบาดาลรายเดือนย้อนหลัง กรมทรัพยากรน้ำบาดาล).....	73
ตารางที่ 3- 2 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนย้อนหลังตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007-2009 ของจังหวัดฉะเชิงเทรา (ข้อมูลฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา 1969 – 2011)	74
ตารางที่ 3- 3 ตัวอย่างข้อมูลความลึกน้ำบาดาลรายเดือนย้อนหลังตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007-2008 ของจังหวัดสุพรรณบุรี (ข้อมูลความลึกระดับน้ำบาดาลรายเดือนย้อนหลัง กรมทรัพยากรน้ำบาดาล).....	74
ตารางที่ 3- 4 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนย้อนหลังตั้งแต่ปี ค.ศ. 2005 และ 2008-2009ของจังหวัดสุพรรณบุรี (ข้อมูลฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา 1969 – 2011)	75
ตารางที่ 3- 5 ตัวอย่างข้อมูลความลึกน้ำบาดาลรายเดือนย้อนหลังตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007-2008 ของจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก (ข้อมูลความลึกระดับน้ำบาดาลรายเดือนย้อนหลัง กรมทรัพยากรน้ำบาดาล).....	76
ตารางที่ 3- 6 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนย้อนหลังตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007 ของจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก (ข้อมูลฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา 1969 – 2011)	76
ตารางที่ 3- 7 ตัวอย่างข้อมูลคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล T, K, S ของจังหวัดฉะเชิงเทรา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550)	77
ตารางที่ 3- 8 ข้อมูลคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล T, K, S ของจังหวัดสุพรรณบุรี (ข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550)	80
ตารางที่ 3- 9 ข้อมูลคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล T, K, S ของจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก (ข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550)	81
ตารางที่ 3- 10 ข้อมูลตำแหน่งพื้นที่ปนเปื้อนด้วยไนเตรท.....	89
ตารางที่ 3- 11 ตารางแสดงค่าน้ำหนัก (Weight) ของแต่ละปัจจัยในแบบจำลอง DRASTIC (Aller et al., 1987)	91
ตารางที่ 3- 12 ช่วงค่าของความลึกของระดับน้ำบาดาลและค่าคะแนนที่กำหนดให้ (Aller et al., 1987).....	92

ตารางที่ 3- 13 ช่วงค่าของความลึกของระดับน้ำบาดาลและค่าคะแนนที่กำหนดให้ (ดัดแปลงจาก Aller et al., 1987)	93
ตารางที่ 3- 14 ช่วงค่าของอัตราการเพิ่มเติมน้ำสุทธิและค่าคะแนนที่กำหนดให้ (Aller et al., 1987).....	94
ตารางที่ 3- 15 ช่วงค่าของอัตราการเพิ่มเติมน้ำสุทธิและค่าคะแนนที่กำหนดให้ (ดัดแปลงจาก Aller et al., 1987).....	94
ตารางที่ 3- 16 กลุ่มตัวกลางของชั้นน้ำบาดาลและช่วงค่าคะแนนที่กำหนดให้ (Aller et al., 1987).....	95
ตารางที่ 3- 17 กลุ่มตัวกลางของดินและค่าคะแนนที่กำหนดให้ (Aller et al., 1987).....	95
ตารางที่ 3- 18 ช่วงค่าของความลาดชันของพื้นที่และค่าคะแนนที่กำหนดให้ (Aller et al., 1987).....	96
ตารางที่ 3- 19 กลุ่มตัวกลางของเขตอิมอากาศและช่วงค่าคะแนนที่กำหนดให้ (Aller et al., 1987).....	97
ตารางที่ 3- 20 ช่วงค่าของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาลและค่าคะแนนที่กำหนดให้ (Aller et al., 1987).....	98
ตารางที่ 3- 21 ช่วงค่าของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาลและค่าคะแนนที่กำหนดให้ที่ได้รับการดัดแปลง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2552)	99
ตารางที่ 3- 22 ตารางแสดงตัวอย่างสมการสมการทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณฝน และระดับน้ำบาดาล	110
ตารางที่ 3- 23 ตัวอย่างการverifyสมการที่ได้ ในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา หาค่าร้อยละ ความผิดพลาด (% error) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)	111
ตารางที่ 3- 24 ค่า RMSE ที่ได้จากการปรับเทียบ MODFLOW Model.....	137
ตารางที่ 4- 1 ขนาดพื้นที่ตามระดับความเปราะบางของจังหวัดฉะเชิงเทรา	145
ตารางที่ 4- 2 ขนาดพื้นที่ตามระดับความเปราะบางของจังหวัดสุพรรณบุรี	148
ตารางที่ 4- 3 ขนาดพื้นที่ตามระดับความเปราะบางของจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก....	152

ตารางที่ 4- 4 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล วิเคราะห์โดยวิธีถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis)	154
ตารางที่ 4- 5 สมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล จังหวัดฉะเชิงเทรา	155
ตารางที่ 4- 6 การ verify สมการที่ได้เพื่อตรวจสอบการนำไปใช้ของสมการในจังหวัดฉะเชิงเทรา.....	155
ตารางที่ 4- 7 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล วิเคราะห์โดยวิธีถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis)	157
ตารางที่ 4- 8 สมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล จังหวัดสุพรรณบุรี.....	158
ตารางที่ 4- 9 การ verify สมการที่ได้เพื่อตรวจสอบการนำไปใช้ของสมการในจังหวัดสุพรรณบุรี	160
ตารางที่ 4- 10 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล วิเคราะห์โดยวิธีถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis)	161
ตารางที่ 4- 11 สมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก	162
ตารางที่ 4- 12 การ verify สมการที่ได้เพื่อตรวจสอบการนำไปใช้ของสมการในจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก.....	162
ตารางที่ 4- 13 ค่า R^2 ที่ได้จากการตรวจสอบการนำไปใช้ของสมการ	165
ตารางที่ 4- 14 ค่า RMSE และ R^2 ที่ได้จากแบบจำลองหลังการปรับเทียบเพื่อความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูล.....	168
ตารางที่ 4- 15 ตัวอย่างชนิดตัวกลางเมื่อเทียบค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านก่อนและหลังการปรับเทียบโมเดล.....	168

ตารางที่ 4- 16 ขนาดพื้นที่ตามระดับความเปราะบางจากการประเมินด้วยแบบจำลองการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนชั้นสูงที่พัฒนาขึ้นของจังหวัดฉะเชิงเทรา.....	171
ตารางที่ 4- 17 ขนาดพื้นที่ตามระดับความเปราะบางจากการประเมินด้วยแบบจำลองการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนชั้นสูงที่พัฒนาขึ้นของจังหวัดสุพรรณบุรี	172
ตารางที่ 4- 18 ขนาดพื้นที่ตามระดับความเปราะบางจากการประเมินด้วยแบบจำลองการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนชั้นสูงที่พัฒนาขึ้นของจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก.....	173
ตารางที่ 4- 19 ผลการประยุกต์ใช้แผนที่ความเปราะบาง.....	176
ตารางที่ 5- 1 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงที่ได้จากการประเมินความเปราะบาง ต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล โดยใช้แบบจำลอง DRASTIC และแบบจำลอง ADVANCED DRASTIC.....	177

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มา ความสำคัญ และความเป็นมาของงานวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา ที่มีการพัฒนาทางเศรษฐกิจ รวมถึงการเจริญเติบโตของภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมทั่วประเทศอย่างต่อเนื่อง เป็นที่รู้กันดีว่ากิจกรรมทุกชนิดนั้นต้องมีการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ไม่มากก็น้อยในการดำเนินงาน ส่งผลให้อัตราการใช้ทรัพยากรทุกชนิดเพิ่มสูงขึ้นในระยะเวลาสั้น ๆ น้ำก็เป็นหนึ่งในทรัพยากรที่สำคัญและมีบทบาทในการขับเคลื่อนกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นไม่ทางใดก็ทางหนึ่งเพราะน้ำเป็นปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีพและการทำกิจกรรม ทำให้ปัจจุบันมีความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคในด้านต่าง ๆ ภายในประเทศเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ประกอบกับการที่น้ำเป็นทรัพยากรที่มีคุณค่าและมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้น การดูแลรักษาแหล่งน้ำหรือต้นกำเนิดน้ำจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับประเทศไทย โดยมุ่งเน้นมิให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำหรือเกิดผลกระทบทางลบต่อสิ่งแวดล้อมในภาพรวม

อย่างที่ทราบกันดีว่าน้ำนั้นเป็นทรัพยากรที่มีอยู่มากมาย ประมาณ 70% ของเปลือกโลกนั้นประกอบด้วยน้ำซึ่งดูเหมือนว่าจะสามารถใช้ได้ไม่มีหมด แต่ในปริมาณน้ำทั้งหมดนั้นส่วนใหญ่เป็นน้ำที่ไม่สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคหรือบริโภคได้ เช่นน้ำทะเล น้ำแข็งขั้วโลก ส่งผลให้แหล่งน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้จริงนั้นไม่ได้มีมากอย่างที่คาดคิด น้ำในส่วนที่สามารถใช้ในการอุปโภคและบริโภคได้นั้นส่วนหนึ่งจึงได้มาจากแหล่งน้ำผิวดินอันเป็นแหล่งน้ำสำคัญที่เป็นที่รู้จักและมีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ซึ่งนอกเหนือจากแหล่งน้ำผิวดินยังมีแหล่งน้ำบาดาลที่เป็นต้นกำเนิดหรือเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญยิ่งอีกแหล่งหนึ่งสำหรับมนุษย์ ซึ่งคนส่วนใหญ่ยังไม่ตระหนักว่า แหล่งน้ำบาดาลนั้นสามารถเกิดการปนเปื้อนจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ได้เช่นกัน ทั้งนี้ การปนเปื้อนดังกล่าวอาจส่งผลให้คุณภาพของแหล่งน้ำบาดาลด้อยลง จนไม่สามารถนำมาใช้อุปโภคบริโภคได้อย่างปลอดภัยอีกต่อไป เนื่องจากน้ำบาดาลจะเป็นแหล่งกักเก็บใต้ดินที่อาจมองไม่เห็น หรืออาจไม่สามารถศึกษาพฤติกรรมการไหลได้โดยตรงเหมือนระบบน้ำผิวดิน ซึ่งเป็นผลให้การบริหารจัดการแหล่งน้ำใต้ดินทำได้ยากและมีความซับซ้อนกว่ามาก ดังนั้น การเฝ้าระวังและการป้องกันก่อนที่จะเกิดปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลจึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด

ในการนี้ เพื่อที่จะสามารถวางแผนป้องกันก่อนการปนเปื้อนจะเกิดขึ้น แนวทางการประเมินความเปราะบางของแหล่งน้ำบาดาล (Groundwater Vulnerability Assessment) เป็นเครื่องมือที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการประเมินความเปราะบางของพื้นที่ศึกษาต่อการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดผิวดิน โดยประเมินระดับความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลจากแหล่งกำเนิดผิวดินในพื้นที่นั้น ๆ นอกจากนี้ การประเมินดังกล่าวยังสามารถประเมินเหตุปัจจัยที่ส่งผลให้มีโอกาสเกิดการปนเปื้อนได้มากขึ้นอีกด้วย ซึ่งถือว่าเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการจัดการและการอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาลของประเทศต่อไป

ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาล (Groundwater Vulnerability) หมายถึง ศักยภาพหรือความสามารถในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในชั้นน้ำบาดาลเมื่อเกิดการปนเปื้อน อันเนื่องมาจากผลกระทบจากเหตุปัจจัยภายนอก ทั้งนี้ การคำนวณความเปราะบางดังกล่าวสามารถทำได้โดยการนำข้อมูลต่าง ๆ ของพื้นที่มาประมวลและประเมิน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ (1) Index and Overlay Method (2) Statistical Method และ (3) Process Method โดยแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดในบทถัดไป

การประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน (Groundwater Vulnerability Assessment) แบบจำลอง DRASTIC Vulnerability Mapping (Aller L., Bennett T., Lehr et al., 1987) เป็นลักษณะการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษาโดยวิธี Index and Overlay Method เป็นแบบจำลองที่ได้รับความนิยมสูงสุดในการประยุกต์ใช้เพื่อประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนของพื้นที่ เนื่องจากเป็นวิธีที่ตรงไปตรงมาสะดวกต่อการนำไปใช้และใช้เพียงข้อมูลเชิงกายภาพของพื้นที่ก็สามารถทำการประเมินได้ทันที โดยเก็บข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์และให้คะแนนจากตัวแปรสำคัญจำนวน 7 ตัวแปร ได้แก่ Depth of Groundwater (D), Recharge (R), Aquifer Media (A), Soil Media (S), Topography (T), Impact of Vadose Zone (I), และ Hydraulic Conductivity (C) ซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนาโดยสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อม สหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency: U.S. EPA) เพื่อประเมินศักยภาพในการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน

ตัวอย่างในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง DRASTIC เพื่อประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ได้แก่ (1) การประเมินพื้นที่ในประเทศจอร์แดน (S. Bataineh, C. Curtis, and M. Alghwazi) (2) โครงการประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนของมลสารทางการเกษตรลงสู่แหล่งน้ำบาดาลและออกแบบแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและ

จังหวัดสุพรรณบุรี ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เมื่อปี 2552 (3) โครงการประเมินศักยภาพน้ำบาดาล วางระบบติดตามการปนเปื้อนและวางแผนรายละเอียดการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เมื่อปี 2551 และ (4) การศึกษาความเปราะบางของพื้นที่ British Columbia หัวข้อ Groundwater Vulnerability Assessments and Integrated Water Resource Management (Liggett E. Jessica and Sonia, 2009) เป็นต้น

ทั้งนี้ โดยที่ปกติแล้ว แบบจำลอง DRASTIC มีโครงสร้างการวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ เพื่อประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนโดยลักษณะของการให้คะแนน ซึ่งถือเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนต่อการประเมินและให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดจากข้อมูลที่มี แต่เนื่องจากวิธีการนี้ต้องอาศัยความถูกต้องของข้อมูลเป็นหลัก จึงทำให้เกิดข้อจำกัดในการประเมิน เนื่องจากแหล่งน้ำบาดาลเป็นสิ่งที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ดังนั้นการเก็บและรวบรวมข้อมูลในบางโอกาสจึงเป็นไปได้ยาก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความละเอียดและความถูกต้องของการประเมิน และการปนเปื้อนบางของสารบางประเภทอาจมีผลเสียต่อข้อมูลในการนี้ จึงเป็นที่มาของแนวความคิดแบบจำลอง ADVANCED DRASTIC, MODIFIED DRASTIC หรือ IMPROVED DRASTIC ซึ่งเป็นการประยุกต์แบบจำลอง DRASTIC ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์ในรูปแบบอื่น เพื่อลดข้อจำกัดและพัฒนาวิธีการประเมินให้ดียิ่งขึ้น อาทิ (1) การวิเคราะห์ตัวแปร I: Impact of Vadose Zone ในวิธีการประเมินแบบ DRASTIC เพื่อปรับค่าอัตรา (Rate) ของคะแนนให้เหมาะสม โดยทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลของตัวแปร (2) การนำข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกมาวิเคราะห์ผลที่เกิดจากค่าตัวแปร A: Aquifer media และ I: Impact of vadose zone และ (3) การวิเคราะห์และการปรับค่าน้ำหนักของข้อมูลให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา เป็นต้น

ดังนั้น การวางแผนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลเป็นวิธีที่ง่ายเหมาะสม สะดวก ปลอดภัย และมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด อีกทั้งยังเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวด้วย ซึ่งหนึ่งในการวางแผนเพื่อการป้องกันการเกิดการปนเปื้อน ได้แก่ การศึกษาและประเมินความเปราะบางของพื้นที่ต่อการปนเปื้อน ซึ่งถือเป็นตัวช่วยสำคัญในการวางแผนระยะยาวได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม การดำเนินการในประเทศไทยยังไม่ให้ความสนใจและตระหนักถึงปัญหามลพิษและการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลเท่าที่ควร และการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลในประเทศไทยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการติดตามสถานการณ์การปนเปื้อน โดยการเจาะ

สำรวจและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำบาดาลเท่านั้น ยังไม่มีมาตรการ กระบวนการ หรือเครื่องมือที่สามารถป้องกันหรือแก้ไขปัญหานี้ได้จริงจัง

การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการสร้างเสริมความตระหนักรู้ในปัญหาการปนเปื้อนของทรัพยากรน้ำบาดาล รวมถึงการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการประเมินความเปราะบางในพื้นที่ของแหล่งน้ำบาดาล เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการป้องกันการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลในธรรมชาติ ก่อนที่จะเกิดการปนเปื้อนแผ่ขยายในวงกว้าง โดยมีเป้าหมายที่จะอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำบาดาลอันเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญและทรงคุณค่าอย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างปริมาณน้ำฝนและระดับน้ำบาดาล เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากความสัมพันธ์ในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก จังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดฉะเชิงเทรา

2. จำลองการไหลของน้ำบาดาลและสร้างรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล ด้วยแบบจำลองในตระกูล MODFLOW

3. พัฒนาแบบจำลองเพื่อประเมินความเปราะบางขั้นสูงของระบบน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน โดยปรับปรุงแบบจำลอง DRASTIC พื้นฐาน โดยใช้แบบจำลองธรณีจากคุณสมบัติทางชลศาสตร์เชิงพื้นที่ของชั้นน้ำบาดาลและความสัมพันธ์เชิงสถิติของตัวแปรอิทธิพล

4. ประยุกต์ใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น เพื่อประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนและเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการประเมินความเปราะบางดังกล่าว

1.3 ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาล โดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของแบบจำลองการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาล ซึ่งอาศัยรูปแบบการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและการให้คะแนนของผู้ศึกษา (Overlay and Index Method) ร่วมกับการสร้างความสัมพันธ์เชิงสถิติและแบบจำลองทางกายภาพของสภาพการไหลของน้ำบาดาล โดยมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

1.3.1 เลือกพื้นที่ศึกษา

ทำการเลือกพื้นที่ศึกษา 3 พื้นที่ คือ จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดสุโขทัยร่วมกับจังหวัดพิษณุโลก เนื่องจาก (1) จังหวัดฉะเชิงเทรามีปัญหาของน้ำบาดาลในแง่มลพิษจากแหล่งอุตสาหกรรมและขยะ ซึ่งสามารถหาพื้นที่ต้นเหตุได้ (2) จังหวัดสุพรรณบุรีมีปัญหาของน้ำบาดาลในแง่มลพิษจากการเกษตร ซึ่งมีทั่วบริเวณในจังหวัด ทำให้ไม่สามารถระบุพื้นที่ต้นเหตุได้ และ (3) จังหวัดสุโขทัยร่วมกับจังหวัดพิษณุโลกมีปัญหาของน้ำบาดาลในแง่การขาดแคลนและปริมาณน้ำบาดาลที่ลดน้อยลง

1.3.2 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและวิจัย

1.3.3 วิเคราะห์ข้อมูล 3 ขั้นตอน ดังนี้

- วิเคราะห์เชิงสถิติ
- วิเคราะห์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในแบบจำลอง MODFLOW เขียนโดย McDonald and Harbaugh (1988) ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชั้นน้ำบาดาลทั้งแบบมีแรงดันและไม่มีแรงดัน หรือทั้งสองกรณีรวมกัน และเป็นการไหลแบบสามมิติ โดยแบบจำลองนี้สามารถนำไปจำลองปริมาณน้ำที่ไหลลงไปเพิ่มเติม (Recharge) การคายระเหยของน้ำ (Evapotranspiration) การไหลเข้าสู่บ่อบาดาล (Flow to wells) การไหลเข้าสู่ทางน้ำ (Flow to drains) และอื่น ๆ ซึ่งแยกเป็นชุดของโปรแกรม (Modules) ที่สามารถเลือกใช้แยกกันโดยอิสระ
- วิเคราะห์และประเมินคะแนนในแบบจำลอง DRASTIC ร่วมกับโปรแกรม GIS

1.3.4 นำผลจากการวิเคราะห์มาพัฒนาแบบจำลอง ADVANCED DRASTIC เพื่อประเมินความแปรปรวนบางชั้นสูงของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา

1.4 แนวทางการศึกษา

สำหรับแนวทางการศึกษาวิจัย แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. จัดทำ DRASTIC MAP (แผนที่แสดงความแปรปรวนของชั้นน้ำบาดาล) โดยใช้ข้อมูลความลึกของชั้นน้ำบาดาล (D), อัตราการเติมน้ำสุทธิ (R), ดัชนีค่าชั้นน้ำบาดาล (A), ดัชนีค่าดิน (S), ภูมิประเทศ (T), เขตอิมมูนาส (I), สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาล (C) เพื่อจัดทำการศึกษาวิเคราะห์ในลักษณะการให้คะแนนในรูปแบบของแบบจำลอง DRASTIC ซึ่งเป็น

วิธีการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลที่ Aller et al. (1987) พัฒนาขึ้น และประยุกต์ร่วมกับ GIS เพื่อสร้างแผนที่ความเปราะบางของพื้นที่

2. การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา โดยการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและข้อมูลระดับน้ำบาดาลที่มีการบันทึกไว้รายเดือน โดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบถดถอย (Linear Regression Analysis)

3. สร้างแบบจำลองสภาพชั้นน้ำบาดาลเพื่อสร้างรูปแบบและลักษณะเฉพาะตัวการไหลของน้ำบาดาลในแต่ละพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลทางกายภาพ ของพื้นที่ประกอบด้วยแบบจำลอง MODFLOW ในโปรแกรม GIS เพื่อทำการหาค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาล (C) ที่เหมาะสมกับการไหล

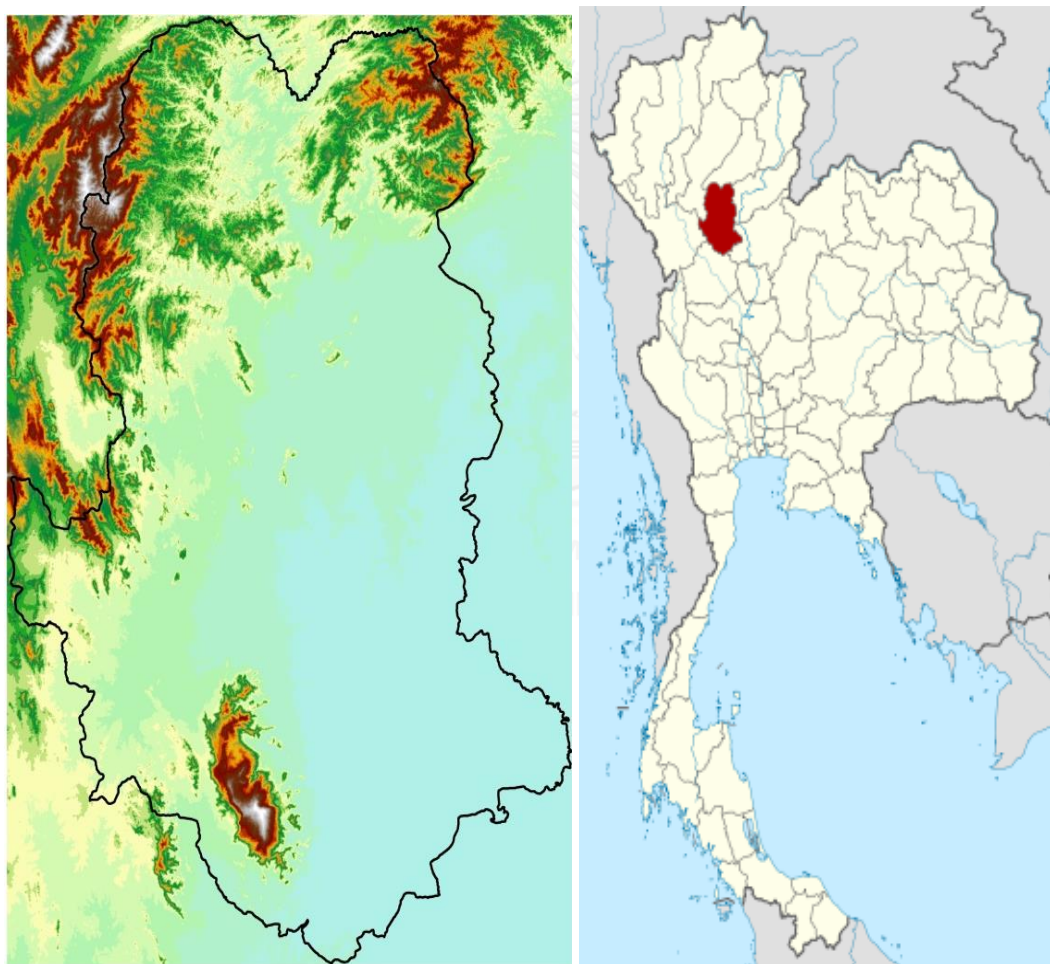
4. พัฒนาแบบจำลอง ADVANCED DRASTIC เพื่อประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา โดยประยุกต์จากแบบจำลอง DRASTIC แบบจำลองดังกล่าวอาศัยหลักการให้คะแนนและค่าถ่วงน้ำหนัก โดยอาศัยมาตรฐานของ USEPA และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญเป็นหลัก ซึ่งอาจจะไม่สามารถประยุกต์ใช้ได้ในทุกพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนได้ ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาแบบจำลอง DRASTIC ขั้นสูง ที่มีการนำเข้าตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างปริมาณน้ำฝนและระดับน้ำบาดาลในพื้นที่และสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ที่สะท้อนทั้งความสัมพันธ์ปริมาณน้ำฝนกับระดับน้ำบาดาล (D) และการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาล (C) ที่ได้จากการจำลองโปรแกรมเนื่องจากการจำลองที่ให้สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาล (C) ได้ทั้งพื้นที่ซึ่งทำให้มีความครอบคลุมและลดการผิดพลาดจากการประเมินหรือการทดลองได้มากกว่า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน พร้อมทั้งจัดทำ ADVANCED DRASTIC MAP (แผนที่แสดงความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลขั้นสูง) และเปรียบเทียบแผนที่ความเปราะบางที่ได้จากแบบจำลอง DRASTIC และแบบจำลอง ADVANCED DRASTIC

1.5 พื้นที่ศึกษา

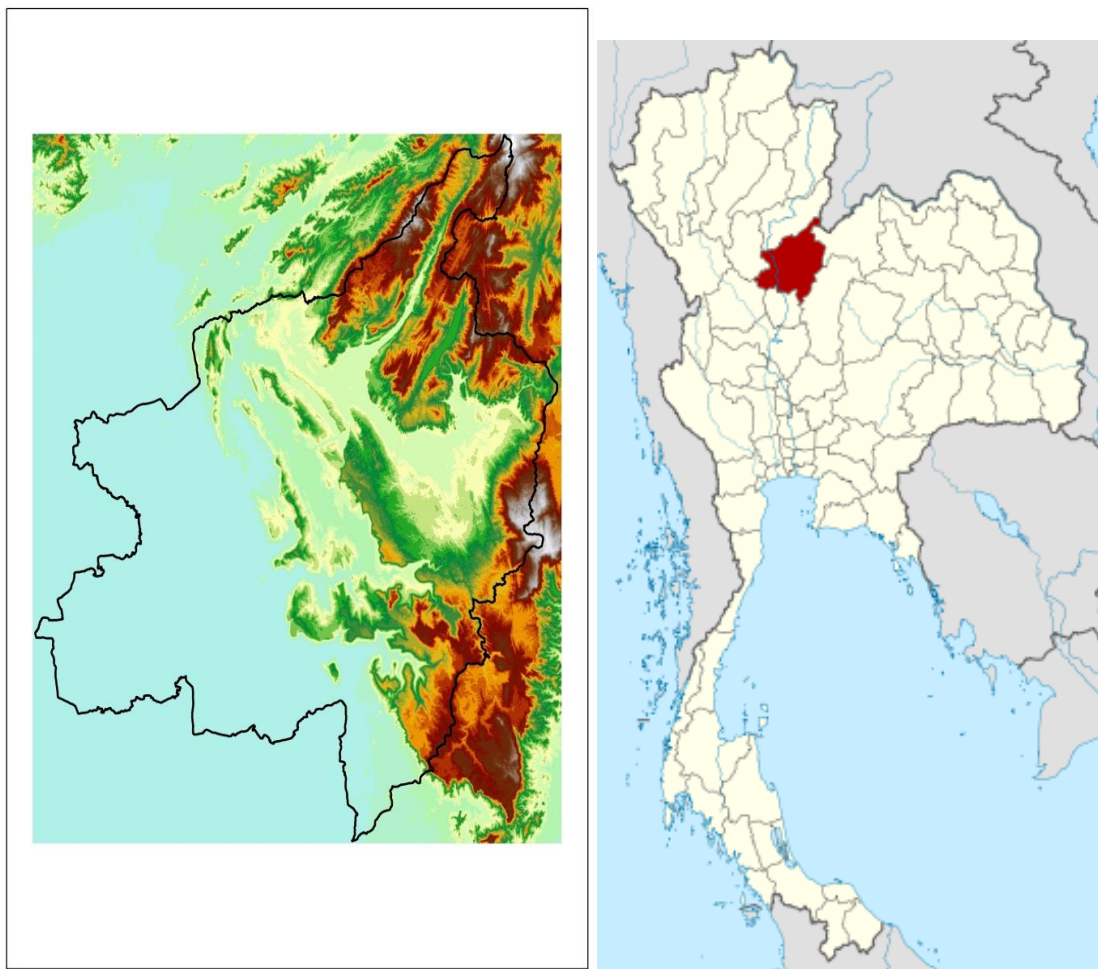
เลือกพื้นที่ศึกษา 3 พื้นที่ ได้แก่

- จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก คือ ตัวแทนพื้นที่ลุ่มที่ไม่มีแหล่งกำเนิดการปนเปื้อน
- จังหวัดสุพรรณบุรี คือ ตัวแทนพื้นที่เกษตรกรรม
- จังหวัดฉะเชิงเทรา คือ ตัวแทนพื้นที่อุตสาหกรรมที่มีแหล่งกำเนิดการปนเปื้อนบริเวณ

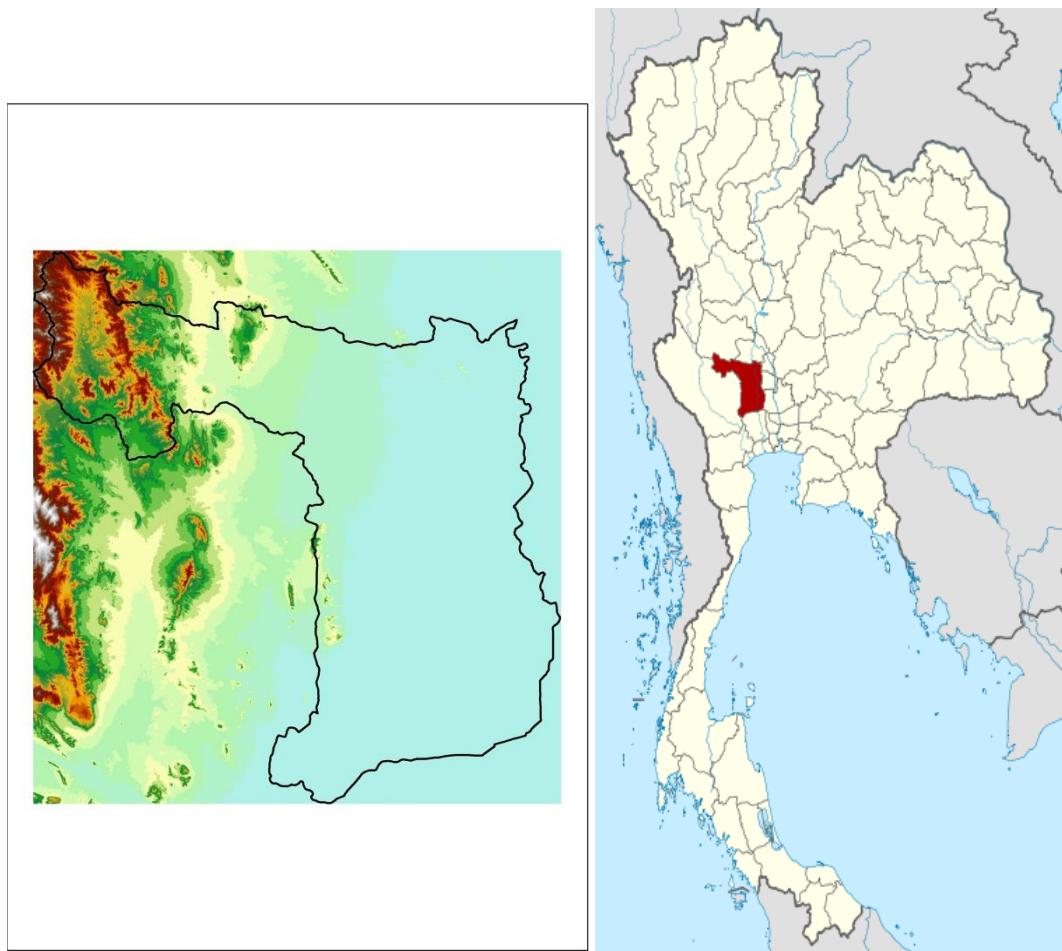
ผิวดิน



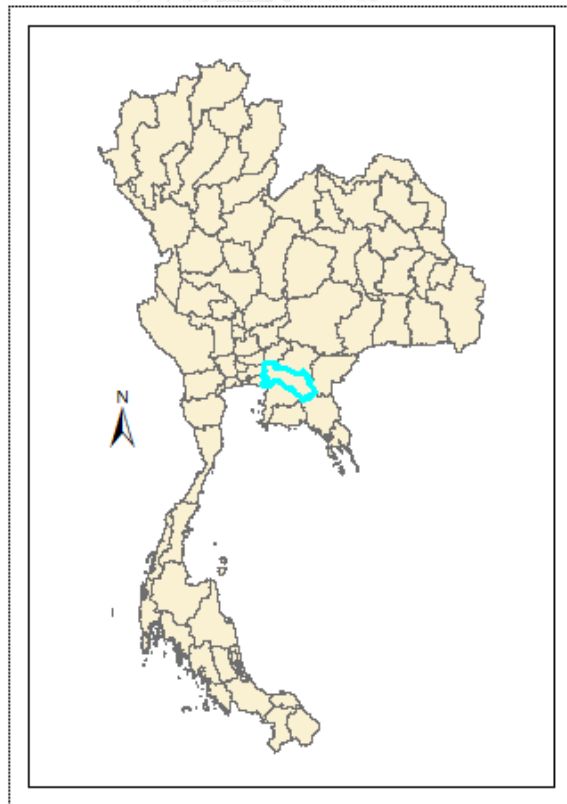
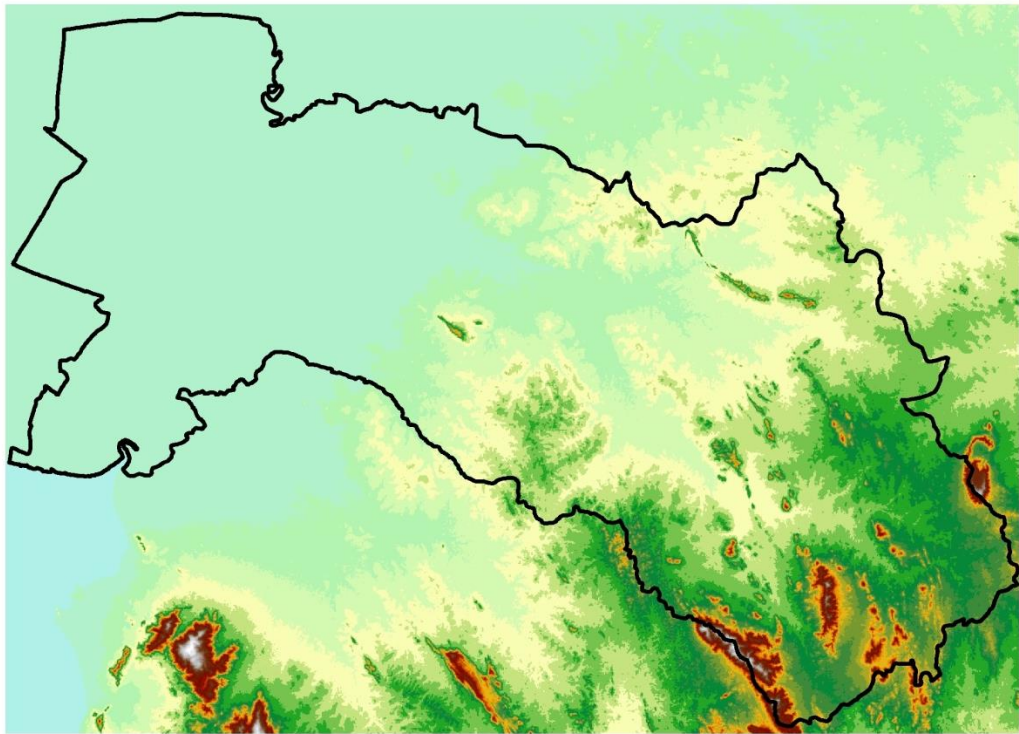
รูปที่ 1- 1 พื้นที่จังหวัดสุโขทัย (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ NASA)



รูปที่ 1- 2 พื้นที่ จังหวัดพิษณุโลก (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ NASA)



รูปที่ 1- 3 พื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (NASA)



รูปที่ 1- 4 พื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ NASA)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการศึกษาและวิจัยนี้ ผู้จัดทำมีความคาดหวังที่จะพัฒนาและปรับปรุงวิธีการศึกษา และวิธีการวิเคราะห์ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน โดยใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติ ร่วมกับแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาล เพื่อสร้างรูปแบบที่เฉพาะเจาะจงกับพื้นที่ศึกษา ให้สามารถเข้าใจลักษณะความเปราะบางของพื้นที่ต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น และสามารถนำไปปรับใช้เป็น เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในการวางแผนดำเนินงานหรือทำกิจกรรม ที่เกี่ยวข้องในอนาคต เนื่องจากแหล่งน้ำบาดาลเป็นแหล่งสำคัญของทรัพยากรน้ำที่ใช้ในการ อุปโภคบริโภคของมนุษย์ ดังนั้น การที่สามารถเข้าใจหรือวิเคราะห์ถึงลักษณะของน้ำบาดาลได้ ละเอียดและแม่นยำขึ้น จะส่งผลให้ประเทศไทยสามารถวางแผนการบริหารจัดการ ตั้งแต่การ ตัดสินใจดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่ไปจนถึงการวางลักษณะของการจัดการผังเมืองให้มี ผลกระทบต่อแหล่งน้ำบาดาลและสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการศึกษาที่ผ่านมา

การประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน โดยใช้แบบจำลอง DRASTIC ขั้นสูง หรือที่เรียกว่า แบบจำลอง ADVANCED DRASTIC ที่พัฒนาบนพื้นฐานของแบบจำลองการไหลและการสร้างรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคุณสมบัติทางศาสตร์ของน้ำบาดาล (MODFLOW) จำเป็นต้องอาศัยการรวบรวมและทบทวนทฤษฎี ผลการศึกษาที่ผ่านมา รวมถึงแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ทั้งในด้านสถานการณ์คุณภาพน้ำบาดาล ปัญหาการปนเปื้อนของน้ำบาดาลที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับน้ำบาดาล รวมถึงการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา (Groundwater Vulnerability Assessment) โดยเฉพาะการใช้แบบจำลอง DRASTIC เป็นกลไกสำคัญในการดำเนินการวิจัยเพื่อประเมินความเปราะบางดังกล่าว ซึ่งจะส่งผลให้สามารถวางแผนในการบริหารจัดการน้ำบาดาล ป้องกันและหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาการปนเปื้อนเพิ่มขึ้น รวมไปถึงวางแผนแนวทางในการบรรเทาปัญหาการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นและฟื้นฟูคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ต่อไป

2.1 สถานการณ์ของน้ำ

2.1.1 น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

น้ำผิวดิน คือ ทรัพยากรน้ำหรืออนุภาคของน้ำทั้งหมดในทุกสถานะที่อยู่บนผิวของเปลือกโลก ซึ่งสามารถมองและสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า เกิดจากหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) เช่น ฝน และหิมะ และเป็นผลกระทบของน้ำใต้ดิน ทั้งนี้ น้ำผิวดินแบ่งเป็นน้ำจืดและน้ำเค็ม

- น้ำเค็ม คือ น้ำที่มีเกลือละลายอยู่เกินร้อยละ 0.5 (คิดจำนวนเกลือเป็นหน่วยต่อ น้ำ 1000 ส่วน โดยน้ำหนัก) ประโยชน์ของน้ำเค็ม คือ การเป็นที่อยู่ของสัตว์น้ำและพืชน้ำบางชนิด ซึ่งถือเป็นระบบนิเวศที่สำคัญของโลก เป็นแหล่งที่มาของเกลือ และสามารถนำมาใช้อุปโภคและบริโภคได้ (แต่ต้องผ่านกรรมวิธีที่ซับซ้อน) โดยแหล่งน้ำผิวดินที่เป็นน้ำเค็ม ได้แก่ ทะเล และมหาสมุทร

- น้ำจืด คือ น้ำที่มีเกลือละลายอยู่ไม่เกินร้อยละ 0.5 ซึ่งถือว่าเป็นจำนวนที่น้อยมากหรือเรียกได้ว่าไม่มีเกลือละลายเลย ประโยชน์ของน้ำจืด คือ การเป็นแหล่งน้ำสำคัญในการใช้อุปโภคบริโภคของสัตว์บกและพืชบก ซึ่งรวมถึงการใช้อุปโภคบริโภคของมนุษย์

ทั้งในระดับครัวเรือน ตลอดจนอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยแหล่งน้ำผิวดินที่เป็นน้ำจืด ได้แก่ ทะเลสาบน้ำจืด แม่น้ำ ลำธาร ห้วย หนอง คลอง และบึง

Nace (1960) แบ่งน้ำในโลกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

- น้ำเค็ม (หรือน้ำทะเล) ร้อยละ 97.137
- น้ำจืด ร้อยละ 2.863

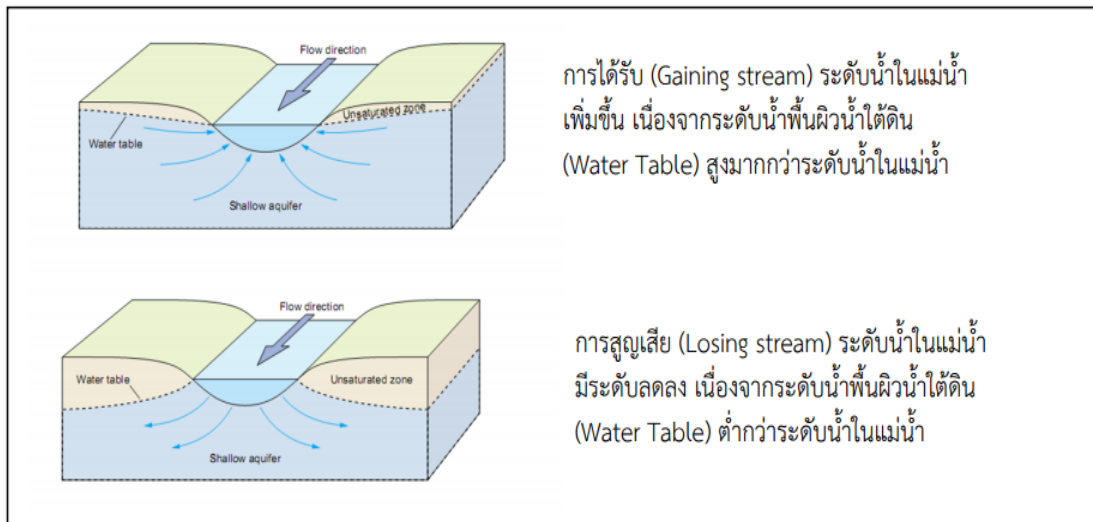
การแบ่งน้ำในลักษณะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำผิวดินที่เป็นน้ำจืด ซึ่งมีความสำคัญต่อการใช้อุปโภคบริโภคของมนุษย์ นั้น มีปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณผิวดินทั้งหมด และมีแนวโน้มที่จะลดน้อยลงอย่างต่อเนื่อง อันเป็นผลมาจากปริมาณการใช้น้ำของมนุษย์ที่สูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องด้วยการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ซึ่งต้องใช้น้ำจืดในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ดังนั้น การศึกษาการบริหารจัดการ การอนุรักษ์ และการใช้ทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดจึงเป็นสิ่งจำเป็น

น้ำใต้ดิน คือ น้ำหรืออนุภาคของน้ำทั้งหมดในทุกสถานะที่แทรกอยู่ภายในช่องว่างของดิน เม็ดดิน หรือช่องว่างของหิน ซึ่งสังเกต ทำการศึกษา หรือสำรวจได้ยาก เกิดจากการซึมของหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) จากบนผิวดินสู่ใต้ดิน และเป็นผลกระทบของน้ำผิวดินที่มีการไหลในอัตราที่ช้ากว่าน้ำผิวดินมาก ทั้งนี้ น้ำใต้ดินเป็นน้ำที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก โดยพิจารณาจากการที่มนุษย์สามารถเจาะบ่อบาดาลเพื่อสูบน้ำขึ้นมาใช้ในการอุปโภคบริโภคได้ตลอด ซึ่งรวมถึงการใช้ประกอบกิจกรรมต่าง ๆ โดยอาศัยวิธีการ 3 วิธี ได้แก่

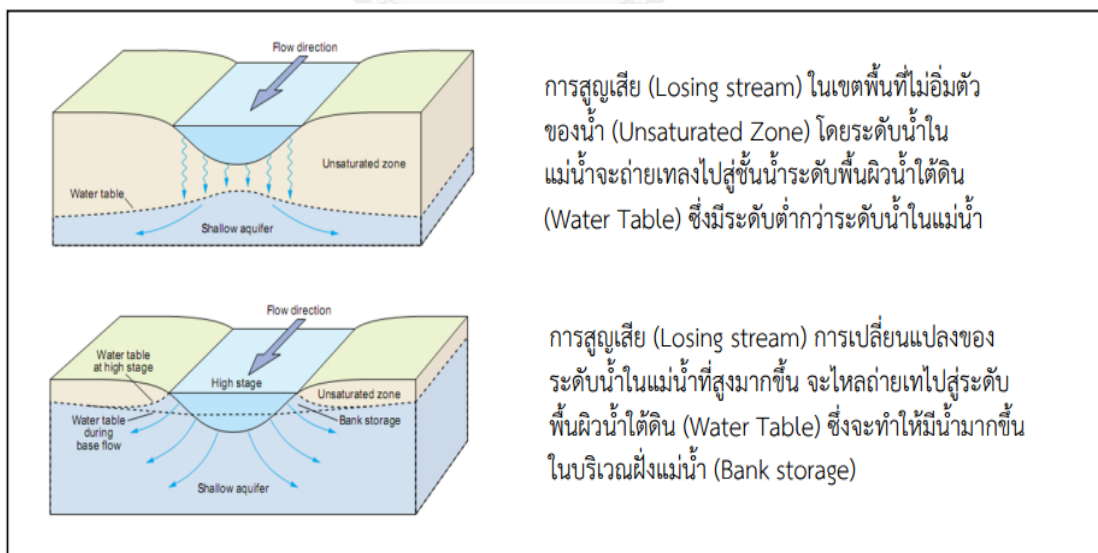
1. บ่อบาดาล (Deep Wells) เป็นบ่อที่ลึกลงไปจากผิวดินมากตามระดับความลึกของชั้นน้ำบาดาล เนื่องจากบ่อบาดาลควรมีความสามารถในการให้น้ำอย่างต่อเนื่องจากบริเวณโดยรอบ
2. บ่อน้ำตื้น (Shallow Wells) เป็นบ่อที่ขุดไม่ลึกมากและปริมาณน้ำขึ้นกับฤดูกาลและสภาพภูมิประเทศ
3. ทางน้ำซึบ (Infiltration Galleries) มีลักษณะเป็นน้ำใต้ดินที่ไหลซึมผ่านชั้นดินตามแนวตั้งไปสะสมที่ชั้นหินจนมีปริมาณมาก และเมื่อไม่สามารถซึมผ่านต่อไปได้อีก ทางน้ำซึบจะไหลไปตามแนวเทหรือลักษณะภูมิประเทศในบริเวณนั้นจนถึงจุดที่มีทางออก

แหล่งน้ำบาดาล คือ บริเวณใต้ผิวดินที่มีน้ำบาดาลสะสมอยู่ในปริมาณมาก ไม่ว่าจะอยู่ในชั้นหินหรือชั้นทราย ทั้งนี้ แหล่งน้ำบาดาลที่ดีควรเป็นชั้นที่มีความพรองตัว (Porosity) และมีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) สูง เช่น ชั้นของกรวดทรายที่มีการทับถมกัน

ในระยะเริ่มต้น โดยที่ยังไม่กลายเป็นหิน ชั้นของหินทรายซึ่งเป็นหินที่มีความโปร่งตัวและความสามารถในการซึมผ่านสูง และชั้นของหินปูนที่มีโพรงในหินและมีรอยร้าว ซึ่งเรียกว่า ชั้นหินให้น้ำ (Aquifer)



รูปที่ 2- 1 การถ่ายเทตามวัฏจักรน้ำ จากการได้รับ (Gaining Stream) และการสูญเสีย (Losing Stream) ระหว่างน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน (Reid et al., 2009)



รูปที่ 2- 2 การถ่ายเทตามวัฏจักรน้ำ การสูญเสีย (Losing Stream) ระหว่างน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน ในเขตพื้นที่ไม่อิ่มตัวของน้ำ (Unsaturated Zone) (Reid et al., 2009)

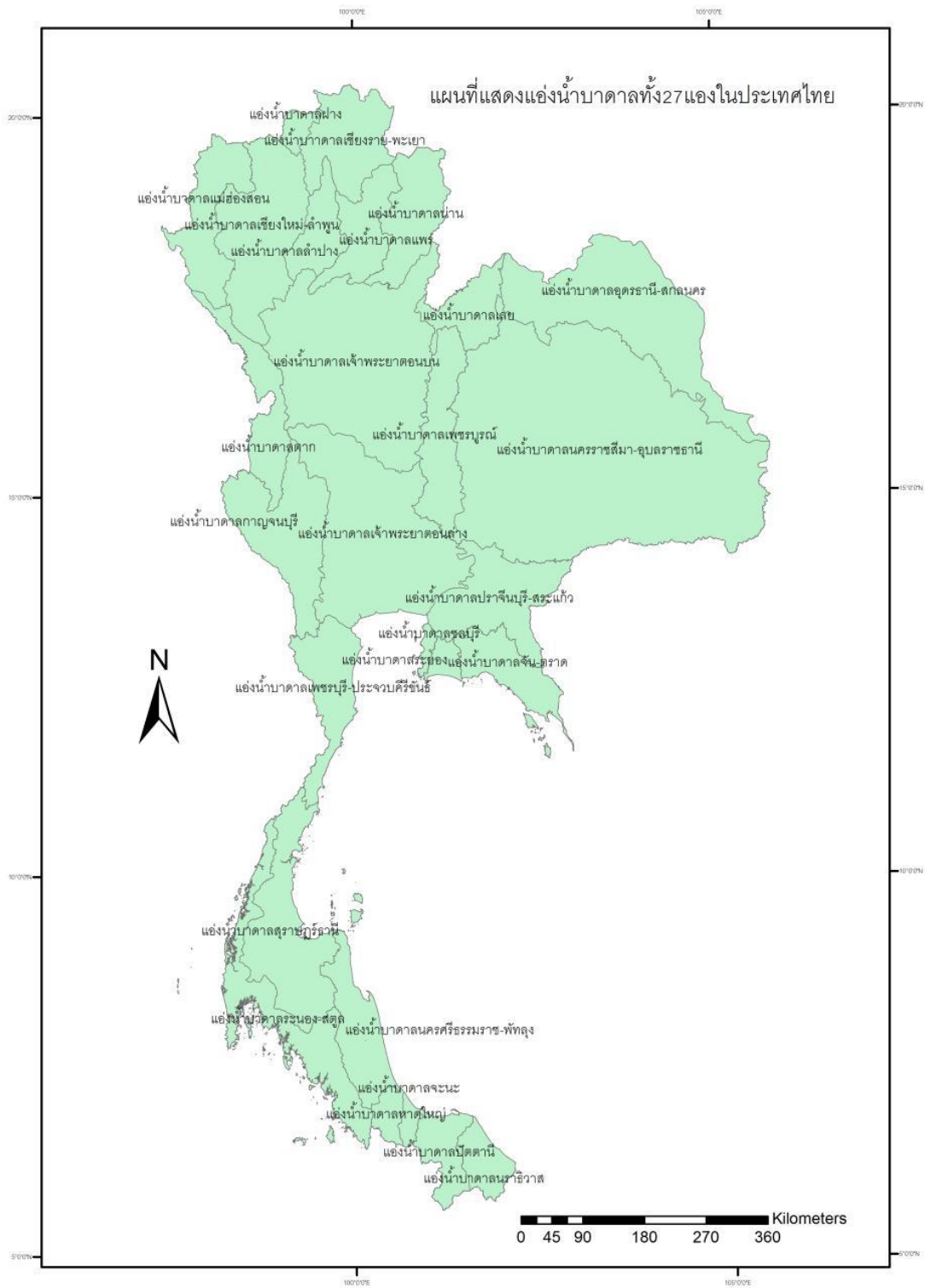
ตารางที่ 2- 1 แหล่งน้ำจืดและปริมาณน้ำจืดบนโลก (Christopherson, 2000)

แหล่งน้ำ	ปริมาณ (กม. ³)	%
น้ำผิวดิน		
- น้ำแข็งและธารน้ำแข็ง	29,180,000	77.14
- ทะเลสาบน้ำจืด	125,000	0.33
- ทะเลสาบน้ำเค็ม	104,000	0.28
- ใอน้ำในบรรยากาศ	13,000	0.03
- แม่น้ำ ลำธาร	1,250	0.003
น้ำบาดาล		
- น้ำบาดาล ลึกไม่เกิน 762 ม.	4,170,000	11.02
- น้ำบาดาล ลึกไม่เกิน 762 – 3,962 ม.	4,170,000	11.02
- ความชื้นในดิน	67,000	0.18

จากตารางที่ 2-1 แสดงให้เห็นว่า แหล่งน้ำจืดส่วนใหญ่ของโลกนั้นเป็นน้ำที่อยู่ในรูปแบบที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น ธารน้ำแข็ง ใอน้ำในบรรยากาศ และอื่น ๆ ในขณะที่น้ำที่ใช้ในการอุปโภคบริโภคได้จริง คือ น้ำจืด ซึ่งมีสารและแร่ธาตุปนเปื้อนในปริมาณที่ยอมรับได้ตามเงื่อนไขการใช้ ทั้งนี้ แหล่งที่มาของทรัพยากรน้ำจืดที่สามารถนำไปใช้ได้ทันที ได้แก่ ทะเลสาบน้ำจืด แม่น้ำลำธาร รวมถึงแหล่งน้ำบาดาลทั้งที่ระดับลึกไม่เกิน 762 เมตร และมีความลึกระหว่าง 762 ถึง 3962 เมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่า แหล่งน้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำจืดเพื่อการอุปโภคบริโภคที่มีปริมาณมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 22.2 ของปริมาณน้ำจืดทั้งหมดบนโลก และมีความสะอาดเพียงพอที่จะถือว่าแหล่งน้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญมากของโลก

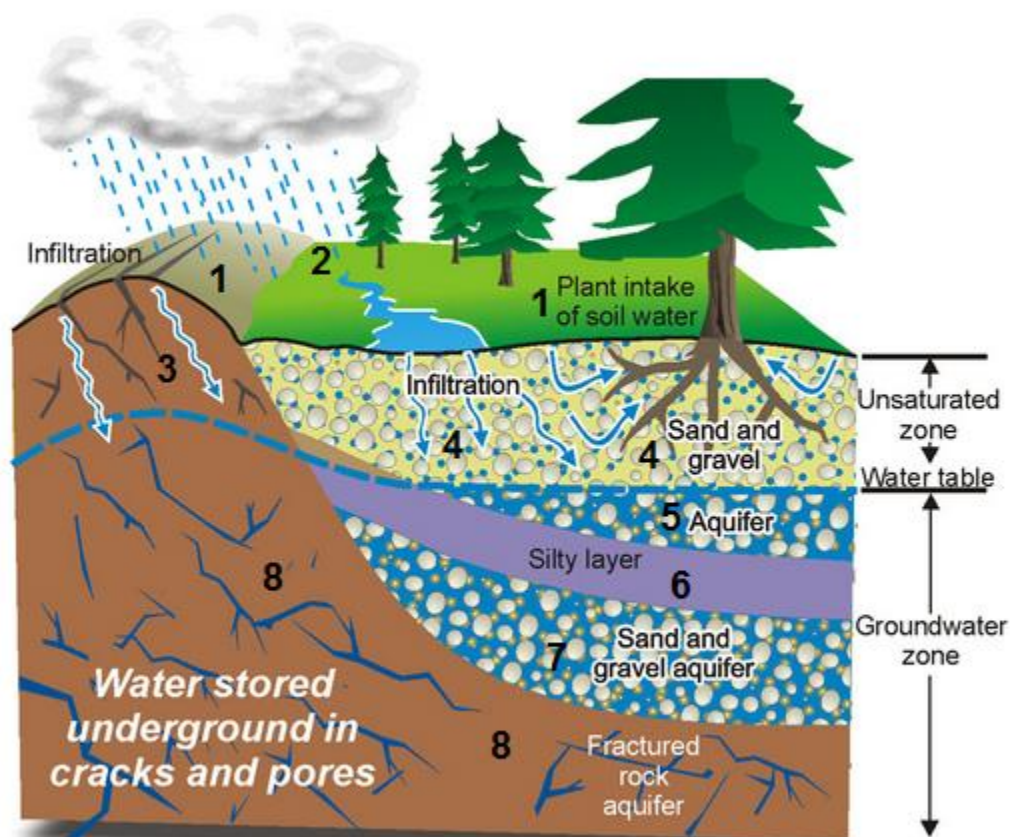


รูปที่ 2- 3 ลุ่มน้ำผิวดิน 25 ลุ่มในประเทศไทย (ศูนย์สารสนเทศทรัพยากรน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ, 2555)



รูปที่ 2- 4 อ่างน้ำบาดาล 27 แห่งในประเทศไทย (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)

น้ำบาดาล หมายถึง ทรัพยากรน้ำที่ถูกกักเก็บหรือสะสมอยู่ใต้ดิน โดยอาศัยกระบวนการซึมและแรงโน้มถ่วงของโลก แทรกอยู่ในช่องว่างของชั้นดินและชั้นหิน น้ำบาดาลแบ่งออกเป็น 2 โซน คือ ชั้นน้ำไม่อิ่มตัว (Unsaturated Zone) ซึ่งเป็นโซนที่มีทั้งน้ำและอากาศแทรกในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน และชั้นน้ำอิ่มตัว (Saturated Zone) ซึ่งเป็นโซนที่อิ่มตัวด้วยน้ำเท่านั้น โดยส่วนนี้จะเป็นส่วนของน้ำบาดาลที่แท้จริง

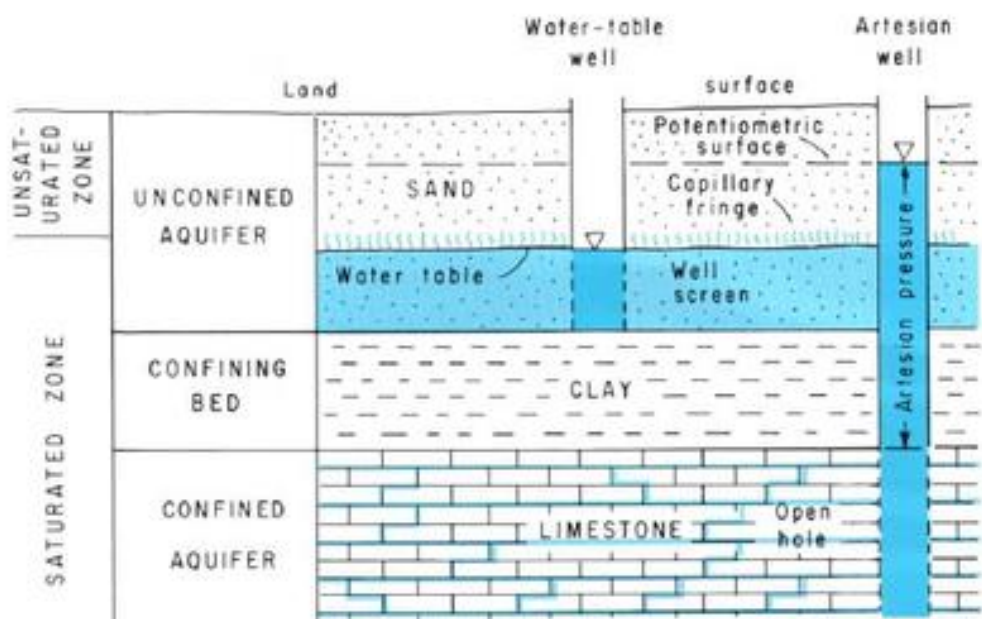


รูปที่ 2- 5 น้ำใต้ดินในพื้นที่ชนบท (Palomino, 2013)

- ชั้นน้ำไม่อิ่มตัว (Unsaturated Zone) มีความสำคัญมากสำหรับน้ำใต้ดิน ซึ่งชั้นน้ำนี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ (1) Soil Zone เริ่มจากผิวดินลึกลงไปประมาณหนึ่งถึงสองเมตร โดยพื้นที่ส่วนนี้จะมีรากต้นไม้ มีรูขนไชของพืชและสัตว์ ทำให้มีความพรองตัว (Porosity) และความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) สูง (2) Intermediate Zone มีความลึกที่ไม่แน่นอนขึ้นกับความหนาของ Soil Zone และ Capillary Fringe และ (3) Upper Part of Capillary Fringe ซึ่งเป็นโซนล่างสุดที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างหินและน้ำ เป็นผลให้น้ำมีลักษณะคล้าย

ถูกตรึงอยู่ในช่องว่างของหิน โดยน้ำในส่วนนี้และลึกลงไปจากส่วนนี้จะมีค่า Hydraulic Pressure เป็นลบ กล่าวคือ มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) หรือระดับ Water Table

- ชั้นน้ำอิ่มตัว (Saturated Zone) มีค่า Hydraulic Pressure เท่ากับความดันบรรยากาศ และค่าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นตามระดับความลึก



รูปที่ 2- 6 ภาพตัดขวางชั้นดิน (Liubov, 2015)

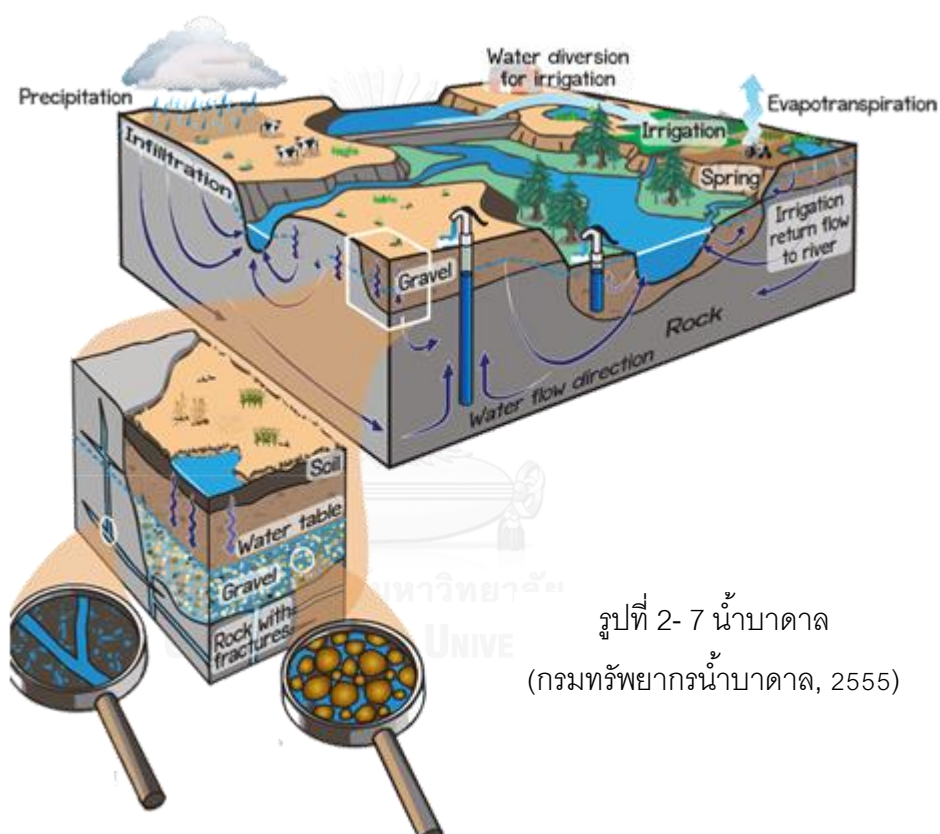
ต้นกำเนิดน้ำบาดาลมี 3 แหล่งใหญ่ ๆ ได้แก่ (ที่มา: โครงการรณรงค์เสริมสร้างความรู้ น้ำบาดาล โดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2556)

1. น้ำจากบรรยากาศ (Meteoric Water) เช่น ฝน น้ำค้าง ลูกเห็บ และหิมะ ซึ่งเมื่อตกลงสู่พื้นโลก บางส่วนจะไหลลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ทะเลสาบ หรือมหาสมุทร กลายสภาพเป็นน้ำผิวดิน ในขณะที่บางส่วนจะไหลลงไปได้ดินและถูกกักเก็บไว้ในดิน ทราวย และหิน เกิดเป็นน้ำใต้ดิน

2. น้ำบาดาลจากการเย็นตัวจากหินหลอมเหลว (Juvenile Water) วัตถุหลอมเหลวต่าง ๆ ที่อยู่ภายใต้เปลือกโลกประกอบด้วยก๊าซและไอน้ำในปริมาณมาก และเมื่อหินอัคนีเย็นตัวลง ไอน้ำ

จะรวมตัวเป็นน้ำ ในขณะที่แร่ธาตุต่าง ๆ ตกผลึก น้ำจะแทรกตัวไปตามรอยต่อ โฟรงอากาศ ตลอดจนช่องว่างของหินและแร่ธาตุเหล่านั้น

3. น้ำบาดาลที่เกิดขึ้นพร้อมกับการกำเนิดชั้นหิน (Connate Water) ในบริเวณลุ่มแม่น้ำที่กระแสน้ำพัดตะกอนไปทับถมกัน อาทิ ชั้นน้ำจากทางน้ำเก่า เป็นต้น น้ำจะถูกขังหรือแทรกตัวตามรูพรุนที่อยู่ในแร่ธาตุ ในขณะที่แร่ธาตุเหล่านี้อยู่ในขั้นตอนการตกตะกอน ซึ่งจะแข็งตัวเป็นหินในที่สุด เช่น น้ำบาดาลที่เกิดขึ้นในชั้นกรวดและทราย



รูปที่ 2- 7 น้ำบาดาล
(กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2555)

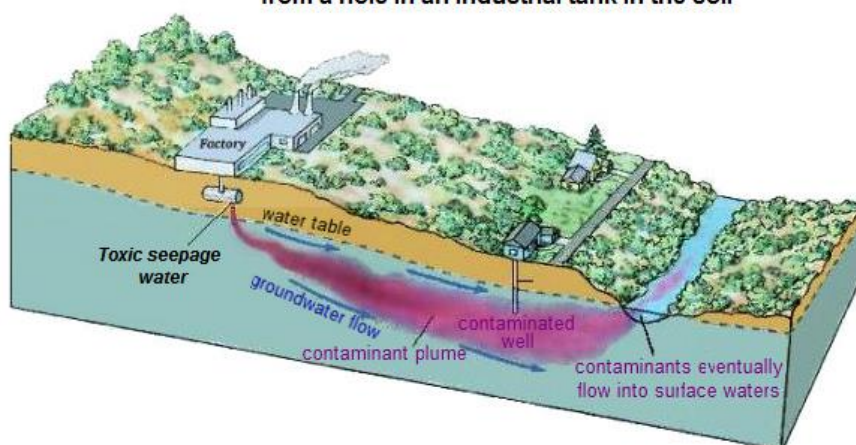
คำจำกัดความของน้ำบาดาลคุณภาพดี คือ น้ำบาดาลที่มีสารละลายเจือปนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ซึ่งโดยธรรมชาติเป็นน้ำแร่ที่พบในพื้นที่ต่าง ๆ กระจายอยู่ทั่วประเทศ อาทิ แหล่งน้ำแร่ธรรมชาติสามโคก จังหวัดปทุมธานี แหล่งน้ำแร่ธรรมชาติแมริม จังหวัดเชียงใหม่ เป็นต้น ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะมีแหล่งน้ำบาดาลอยู่ทั่วไปในหลากหลายพื้นที่ทุกภูมิภาค แต่ด้วยสภาพพื้นที่ ชั้นดิน และชั้นหินที่มีความแตกต่างกัน น้ำบาดาลในแต่ละพื้นที่จึงมีปริมาณแร่ธาตุและรสชาติที่ไม่เหมือนกัน กล่าวคือมีรสชาติตั้งแต่จืดสนิทไปจนถึงกร่อยและเค็ม ส่งผลให้บางพื้นที่มีความจำเป็นในการดำเนินการ

ปรับปรุงคุณภาพน้ำ เช่น การกรอง การต้ม การเติมคลอรีน และกระบวนการ Reverse Osmosis (RO) เป็นต้น ทั้งนี้ การเจาะน้ำบาดาลที่ได้ผลดีทั้งปริมาณและคุณภาพต้องสอดคล้องกับกฎระเบียบของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลและดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น

โดยที่น้ำบาดาลถือเป็นแหล่งน้ำสำรองที่สำคัญแหล่งหนึ่งของประเทศ ในปัจจุบัน ประเทศไทยจึงมีการพัฒนานำน้ำบาดาลมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรองรับการขยายตัวของประชากร การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และความเปลี่ยนแปลงในสังคม อันเนื่องมาจากลักษณะเด่นของน้ำบาดาลที่มีคุณภาพและอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ใช้พื้นที่และการลงทุนต่อหน่วยต่ำกว่าการใช้น้ำประปาและน้ำผิวดิน และปริมาณน้ำไม่ผันแปรตามฤดูกาล ในการนี้ สามารถจำแนกประเภทของการใช้น้ำบาดาลได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. การใช้น้ำบาดาลเพื่ออุปโภคบริโภคอุปโภค ได้แก่ การใช้น้ำเพื่อเป็นน้ำดื่มและน้ำใช้ในครัวเรือน
2. การใช้น้ำบาดาลเพื่อการทำเกษตรกรรม ได้แก่ การใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์
3. การใช้น้ำบาดาลเพื่ออุตสาหกรรมและการประกอบธุรกิจ อาทิ (1) ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง (2) ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต เช่น ห้องเย็น อาหารกระป๋อง น้ำดื่มบรรจุขวด น้ำแข็ง และน้ำอัดลม เป็นต้น และ (3) ใช้เพื่อการบริการ เช่น โรงแรม ศูนย์การค้า สวนสนุก สนามกีฬา และสถานบันเทิง เป็นต้น

Contamination of groundwater and waters by toxics from a hole in an industrial tank in the soil



รูปที่ 2- 8 ตัวอย่างการปนเปื้อนของชั้นน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม(Palomino, 2013)

แหล่งกำเนิดการปนเปื้อนแบ่งเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. น้ำจากเสียชุมชน (Domestic Wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของประชาชนที่อาศัยในชุมชนบริเวณนั้น
2. น้ำเสียจากอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการในอุตสาหกรรมตลอดทุกขั้นตอนที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ หรือพื้นที่เปิดที่ระบายสู่ดิน
3. น้ำเสียเกษตรกรรม (Agricultural Wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร ครอบคลุมถึงการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ ลักษณะของน้ำเสียประเภทนี้จะมีสิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ทั้งในรูปของสารอินทรีย์ (Organic Matters) และสารอนินทรีย์ (Inorganic Matters) ขึ้นกับลักษณะการใช้น้ำ และการใช้ปุ๋ยหรือสารเคมีต่าง ๆ
4. น้ำเสียที่ไม่ทราบแหล่งกำเนิดหรือมีจุดปล่อยไม่แน่นอน (Nonpoint Source Wastewater) ได้แก่ น้ำฝน และน้ำหลากที่ไหลผ่านและชะล้างความสกปรกต่าง ๆ

กิจกรรมของมนุษย์เป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำบาดาล โดยในที่นี้ จะยกตัวอย่างมาอธิบายจาก 4 แหล่งที่มา ได้แก่ ภาคอุตสาหกรรม พฤติกรรมกรทิ้งขยะ ภาคการเกษตร และการทำเหมืองแร่ ซึ่งสามารถแจกแจงรายละเอียดได้ ดังนี้

1. ภาคอุตสาหกรรม การดำเนินการส่วนใหญ่มีการใช้สารเคมีและน้ำในกระบวนการต่าง ๆ ของโรงงาน ซึ่งก่อให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำได้ตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้าย อาทิ (1) ขั้นตอนการเก็บสารเคมีที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งการปนเปื้อนจากขั้นตอนนี้อาจเกิดจากการรั่วซึมลงสู่พื้นดินของสารเคมีที่เก็บ และ (2) ขั้นตอนการกำจัดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการชะล้างทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ซึ่งอาจทำให้น้ำเกิดการปนเปื้อนเป็นน้ำเสียได้ และเป็นผลให้โรงงานอุตสาหกรรมต้องกำจัดน้ำเสียดังกล่าว โดยใช้วิธีการปล่อยน้ำเสียออกจากโรงงาน อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าโรงงานต่าง ๆ จะต้องบำบัดน้ำเสียให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งก่อนที่จะสามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ แต่น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดที่ได้มาตรฐานดังกล่าวยังคงสามารถก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นสาเหตุของการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลได้

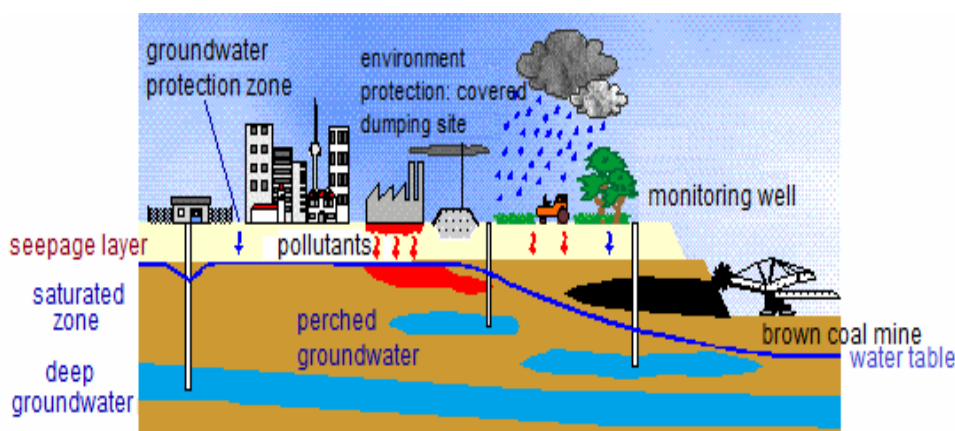
2. การทิ้งขยะมูลฝอย ขยะมูลฝอยในปัจจุบันถือเป็นผลลัพธ์หนึ่งจากการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ ไม่ว่าจะประสงค์ให้เกิดขึ้นหรือไม่ก็ตาม ซึ่งผลลัพธ์นี้สามารถก่อให้เกิดการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลได้เช่นกัน เนื่องจากขยะเหล่านี้จะถูกรวบรวมเพื่อรอการกำจัดในพื้นที่

ที่ได้จัดสรรไว้ และโดยที่พื้นที่รวบรวมขยะเป็นพื้นที่ว่างเปล่าที่ไม่มีที่กำบัง ดังนั้น เมื่อมีของเหลวที่อาจเกิดจากฝน ขยะเปียก หรือการสะสมของขยะจำนวนมากเป็นระยะเวลาอันยาวนาน ของเหลวดังกล่าวสามารถทำให้สารปนเปื้อนจากขยะไหลซึมลงสู่ดินและน้ำใต้ดิน ก่อให้เกิดการปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำบาดาลได้

3. ภาคการเกษตร โดยที่การทำเกษตรมีทั้งการใช้ปุ๋ยและสารกำจัดวัชพืช ของเสียการทำปศุสัตว์อีกทั้งในธรรมชาติมีแมลงและศัตรูพืชต่าง ๆ การสะสมของสิ่งเหล่านี้ทั้งในสถานะของเหลวและของแข็ง โดยมีน้ำที่ใช้ในการรดน้ำหรือฝนเป็นตัวละลาย สามารถก่อให้เกิดสารปนเปื้อนไหลซึมลงสู่ดินและน้ำใต้ดินได้

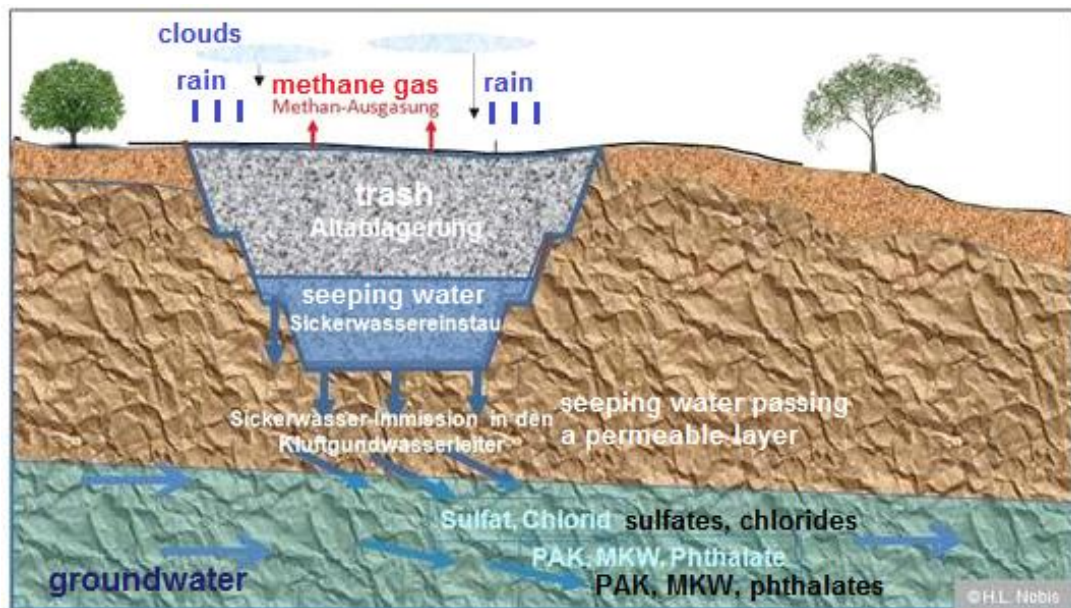
4. การทำเหมืองแร่ มีการใช้สารเคมีบางชนิดในการถลุงแร่ ซึ่งก่อให้เกิดสารปนเปื้อนซึมลงสู่ดินและน้ำใต้ดินได้

ทั้งนี้ เนื่องจากน้ำบาดาลตามธรรมชาติมีอัตราการไหลที่ช้า จึงชะลอกระบวนการสังเกตในกรณีที่เกิดการปนเปื้อน และส่งผลให้การปนเปื้อนมีผลต่อเนื่องเป็นระยะเวลาอันยาวนาน นอกจากนี้ หากสารปนเปื้อนเป็นสารที่มีความสามารถในการแพร่กระจายสูง จะทำให้การติดตาม บำบัด และฟื้นฟูให้กลับสู่สภาพเดิมยากขึ้นอีก และถึงแม้ว่าจะสามารถกำจัดแหล่งที่มาของสารปนเปื้อนได้ แต่การบำบัดแหล่งน้ำบาดาลที่ได้รับการปนเปื้อนไม่เพียงจะใช้ระยะเวลาอันยาวนานเท่านั้น ยังต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงและมีความเสี่ยงที่จะไม่สามารถฟื้นฟูให้กลับสู่สภาพเดิมได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น แนวทางการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของน้ำบาดาลที่ดีที่สุด คือ การให้ความสำคัญกับการป้องกันมิให้เกิดการปนเปื้อนและการสังเกตอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถตรวจพบการปนเปื้อนตั้งแต่ระยะแรกและสามารถติดตามสถานการณ์ได้อย่างใกล้ชิด



รูปที่ 2- 9 กระบวนการปนเปื้อนจากแหล่งต่าง ๆ (อาทิ โรงงาน พื้นที่เพาะปลูก และเหมืองแร่)

(Palomino, 2013)



Scheme about dumping site of Wuppertal and rains provoking toxic seepage waters infiltrating into groundwater

รูปที่ 2- 10 กระบวนการปนเปื้อนของพื้นที่ทิ้งขยะลงสู่น้ำบาดาล (Palomino, 2013)

ตัวอย่างผลกระทบจากการปนเปื้อนของน้ำบาดาล รวมถึงการเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค และพาหะนำโรคต่าง ๆ การเป็นมลพิษทางสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่เกิดความผิดปกติ การขาดแคลนน้ำซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีพของมนุษย์ การเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศในระยะยาว ความสูญเสียทางเศรษฐกิจ ผลเสียต่อสุขภาพ และการสูญเสียทัศนียภาพ เป็นต้น

แนวทางการแก้ไขปัญหการปนเปื้อนแบ่งตามลักษณะการจัดการได้เป็น 2 ช่วง ได้แก่ ก่อนเกิดการปนเปื้อน และหลังเกิดการปนเปื้อน

1. ก่อนเกิดการปนเปื้อน ทำได้โดยการประเมินความเปราะบางของพื้นที่ต่อการปนเปื้อน เพื่อจัดทำแผนการป้องกันการปนเปื้อนในพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูง ทำให้สามารถวางแผนการใช้พื้นที่เพื่อจำกัดโอกาสการปนเปื้อนจากกิจกรรมต่าง ๆ โดยการเฝ้าระวังและติดตามสถานการณ์คุณภาพน้ำบาดาลในทุกพื้นที่อย่างสม่ำเสมอ เช่น การเจาะสำรวจ การเก็บตัวอย่างน้ำไปทำการวิเคราะห์ และการตรวจตราการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่ที่อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนได้ ซึ่งรวมถึงการตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และพื้นที่ทิ้งขยะ

2. หลังเกิดการปนเปื้อน เมื่อแหล่งน้ำบาดาลเกิดการปนเปื้อนแล้ว การกำจัดสารปนเปื้อนออกจากแหล่งน้ำบาดาลเป็นสิ่งที่ดำเนินการได้ยาก แต่สิ่งที่ดำเนินการได้ คือ การควบคุมพื้นที่การ

แพร่กระจายสารปนเปื้อนดังกล่าว โดยจำกัดและปิดล้อมบริเวณที่เกิดการปนเปื้อน เช่น หล่อคอนกรีตปิดล้อมบริเวณที่เกิดการปนเปื้อนเพื่อหยุดการแพร่กระจาย ทั้งนี้ วิธีการในการจำกัดบริเวณขึ้นกับกรณีและลักษณะการแพร่กระจาย และคุณสมบัติของสารปนเปื้อน

2.1.2 ปัญหาทรัพยากรน้ำเชิงปริมาณ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประสบปัญหาด้านปริมาณน้ำทุกปี ยิ่งแต่ความเสียหายแบบประเมินค่ามิได้ทั้งในด้านทรัพย์สินและถึงแก่ชีวิต ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตของประชาชน การดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ในสังคม รวมถึงความเป็นอยู่และการประกอบอาชีพ เพราะประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและภาคการเกษตรต้องการการบริหารจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้มีปริมาณน้ำเพียงพอ ไม่ขาดแคลน และไม่มากเกินไป ซึ่งส่งผลถึงสถานะเศรษฐกิจของประเทศ โดยปัญหาด้านปริมาณน้ำที่ประเทศไทยประสบมีทั้งน้ำท่วมในช่วงฤดูฝนและน้ำแห้งในช่วงหน้าแล้ง

- น้ำเกิน ประเทศไทยถือเป็นประเทศที่มีช่วงฤดูฝนที่ยาวนานเฉลี่ยประมาณ 6 เดือน (ส่วนใหญ่เป็นช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) ซึ่งในช่วงดังกล่าวจะมีปริมาณน้ำฝนมาก เนื่องจากสภาพอากาศที่มีพายุและมรสุมบ่อยครั้ง อีกทั้งเครื่องมือหรือกลไกในการบริหารจัดการน้ำและพื้นที่ที่สามารถบรรเทาปัญหาปริมาณน้ำได้อย่างยั่งยืนยังมีไม่มาก จึงทำให้เกิดปัญหาอุทกภัยที่รุนแรง เช่น เหตุการณ์น้ำท่วมในปี 2554 ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อประเทศรวมกว่า 1.4 ล้านล้านบาท

- น้ำแล้ง ประเทศไทยมีช่วงฤดูแล้งที่ยาวนานเช่นกัน เฉลี่ยประมาณ 6 เดือน (ส่วนใหญ่เป็นช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน) และในลักษณะเดียวกัน ประเทศไทยมีเครื่องมือหรือกลไกในการบริหารจัดการน้ำและพื้นที่ที่สามารถกักเก็บน้ำในช่วงที่มีปริมาณน้ำมาก (ฤดูฝน) ไม่มากนัก ส่งผลให้มีน้ำในปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อการอุปโภคบริโภคในฤดูแล้ง โดยเฉพาะการใช้ของภาคการเกษตร และเกิดภัยแล้งที่ยังความเสียหายต่อประเทศเป็นอย่างมาก

จากสถิติข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่าในสถานที่ต่าง ๆ ของกรมชลประทานเมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่เกิดจากฝน พบว่า เกิดเป็นปริมาณน้ำผิวดินหรือน้ำท่าตามธรรมชาติที่กักเก็บและไหลอยู่ในลำห้วย ลำธาร และแม่น้ำ เฉลี่ยรวมทั้งประเทศประมาณ 209,251.28 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ซึ่งหากคิดเป็นสัดส่วนปริมาณน้ำฝนเป็นน้ำท่าแล้ว ประมาณร้อยละ 28.75 และเมื่อพิจารณาตามแต่ละภาคของประเทศไทย ลุ่มน้ำภาคใต้มีปริมาณสัดส่วนปริมาณน้ำฝนเป็นน้ำท่าสูงที่สุด

ประมาณร้อยละ 42.16 ลุ่มน้ำภาคตะวันออกเฉียงใต้มีส่วนในปริมาณที่รองลงมา ประมาณร้อยละ 37.06 ส่วนลุ่มน้ำภาคกลางมีส่วนน้อยที่สุด ประมาณร้อยละ 22.36 (ณัฐ มาแจ้ง, 2542)

จากข้อมูลอัตราการไหลซึมของน้ำฝนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลของกรมทรัพยากรธรณี (ปัจจุบัน ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับน้ำบาดาลจะอยู่ในความรับผิดชอบของกรมน้ำบาดาล) การวิเคราะห์จำแนก ปริมาณน้ำบาดาลตามชั้นหินประเภทต่าง ๆ และพื้นที่ของชั้นหินแต่ละชนิดในประเทศ พบว่า มี ปริมาณน้ำฝนที่ไหลซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลเฉลี่ยรวมทั้งประเทศประมาณ 38,000 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อ ปี หรือเท่ากับร้อยละ 4.75 ของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาทั้งหมดในช่วงเวลาดังกล่าว (วชิ รามณรงค์ และสมชัย วงศ์สวัสดิ์, 2542)

2.1.3 ปัญหาทรัพยากรน้ำเชิงคุณภาพ

นอกเหนือจากปัญหาปริมาณน้ำที่ไม่เพียงพอในช่วงหน้าแล้ง ซึ่งส่งผลให้เกิดภาวะการขาดแคลนน้ำในการอุปโภคบริโภคแล้ว ปัญหาคุณภาพน้ำที่เกิดจากการปนเปื้อนก็ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำใช้เช่นกัน การที่น้ำมีสิ่งเจือปนไม่ว่าจะเป็นสารเคมี หรือฝุ่นละออง รวมถึงสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่เป็นมลพิษ ถือเป็น การปนเปื้อนของน้ำที่ไม่สามารถนำไปใช้อุปโภคบริโภคหรือประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ได้ ดังนั้น ปัญหาน้ำในด้านคุณภาพจึงเป็นอีกหนึ่งปัญหาสำคัญที่ต้องจัดการทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

น้ำผิวดินได้รับความสกปรกจากสิ่งแวดล้อมและการกระทำของมนุษย์ในรูปแบบที่ต่างกัน เนื่องจากน้ำผิวดินเป็นแหล่งน้ำที่เปิดออกสู่บรรยากาศ สามารถสัมผัสกับสารต่าง ๆ และฝุ่นละอองได้โดยตรง จึงทำให้น้ำผิวดินเกิดการปนเปื้อนได้ง่าย อีกทั้งยังมีน้ำฝนที่ชะล้างสารพิษ เช่น โลหะหนัก ไนเตรดฟอสเฟต และยาฆ่าแมลง จากบริเวณการทำเกษตรกรรม หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยน้ำเสียซึ่งยังไม่ได้รับการบำบัด ให้ไหลมาปนเปื้อนอยู่ในน้ำผิวดินอีกด้วย

โดยทั่วไป คุณภาพของน้ำบาดาลจะอยู่ในเกณฑ์ดี มีความใสสะอาด ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากชั้นของดินเป็นตัวกรองที่สกัดกั้นความขุ่นของเชื้อจุลินทรีย์ไว้ในขณะที่น้ำซึมผ่านชั้นดินลงไป แต่มีปริมาณคุณสมบัติทางด้านเคมี เช่น แร่ธาตุและสารละลายต่าง ๆ ที่ไม่แน่นอน เนื่องจากน้ำเป็นตัวละลายที่ดี จึงสามารถละลายแร่ธาตุและสารต่าง ๆ ในระหว่างที่น้ำซึมผ่านชั้นดิน ด้วยเหตุผลนี้ กิจกรรมที่เกิดขึ้นบนผิวดินจึงอาจส่งผลกระทบต่อให้เกิดการปนเปื้อนในน้ำบาดาลได้เช่นกัน ดังนั้น ถึงแม้ว่าน้ำบาดาลจะใสสะอาดและปราศจากเชื้อโรค แต่ก็มีแร่ธาตุและสารละลายต่าง ๆ เจือปนอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกันไปตามพื้นที่

2.1.4 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อทรัพยากรน้ำ

ในปัจจุบัน สภาพภูมิอากาศของโลกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว อาทิ อุณหภูมิที่ปรับตัวสูงขึ้นและลดต่ำลงในระดับที่ไม่ปกติ หรือสภาพอากาศที่มีความแปรปรวนสูง โดยการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ถูกเรียกว่า สภาวะโลกร้อน ซึ่งเกิดจากเหตุปัจจัยหลายด้าน เช่น การสร้างสภาวะเรือนกระจกจากสารหรือก๊าซบางประเภทในชีวิตประจำวัน ทั้งนี้ สภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลกในรอบศตวรรษที่ผ่านมาเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 0.74 ± 0.18 องศาเซลเซียส (IPCC, 2007) เนื่องด้วยการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศจากกิจกรรมของมนุษย์ และระดับน้ำทะเลเฉลี่ยทั่วโลกในรอบศตวรรษที่ผ่านมาเพิ่มขึ้นในอัตราเฉลี่ยประมาณ 3.1 ± 0.7 มิลลิเมตรต่อปี (Cazenave A. and Nerem, 2004) โดยอุณหภูมิพื้นผิวโลกที่เพิ่มสูงขึ้นย่อมมีอิทธิพลต่อการเร่งกระบวนการหมุนเวียนภายในวัฏจักรน้ำ (Huntington, 2006)

การระเหยของน้ำขึ้นกับหลายปัจจัย ซึ่งหนึ่งในนั้น คือ อุณหภูมิที่มีผลต่อความเร็วในการระเหยของน้ำ โดยอุณหภูมิสูงทำให้น้ำระเหยได้ดีและรวดเร็วขึ้น รวมถึงปริมาณความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นและปริมาณความชื้นในดินลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น รวมถึงปริมาณและอัตราการไหลของน้ำท่าในแม่น้ำเพิ่มขึ้นด้วย (Milly et al., 2005) แสดงให้เห็นว่า ความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกเป็นปัจจัยรบกวนต่อสมดุลของวัฏจักรน้ำ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการแปรผันของปริมาณและการเกิดหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ทั้งในเชิงปริมาณ ความถี่ ความรุนแรง คาบเวลา และรูปแบบของการกระจายตัว

ในการนี้ จึงกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกส่งผลให้ปริมาณน้ำฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝน และลดลงในช่วงฤดูแล้ง ในอัตราที่สูงยิ่งขึ้นไปอีก เนื่องจากความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนดังกล่าวมีความเชื่อมโยงกับสภาพภูมิอากาศที่รุนแรง ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดภัยธรรมชาติหรือภัยพิบัติเกี่ยวกับน้ำ ทั้งที่เห็นผลได้ในระยะสั้นและระยะยาว โดยบางพื้นที่ประสบกับภาวะฝนแล้งเป็นระยะเวลานาน ในขณะที่บางพื้นที่ประสบภาวะฝนตกหนักต่อเนื่องผิดปกติ ก่อให้เกิดภาวะน้ำท่วมฉับพลันและน้ำท่วมซ้ำซาก ซึ่งทั้งสองกรณีส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน ตลอดจนความเสียหายต่อภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นรากฐานความมั่นคงทางเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก

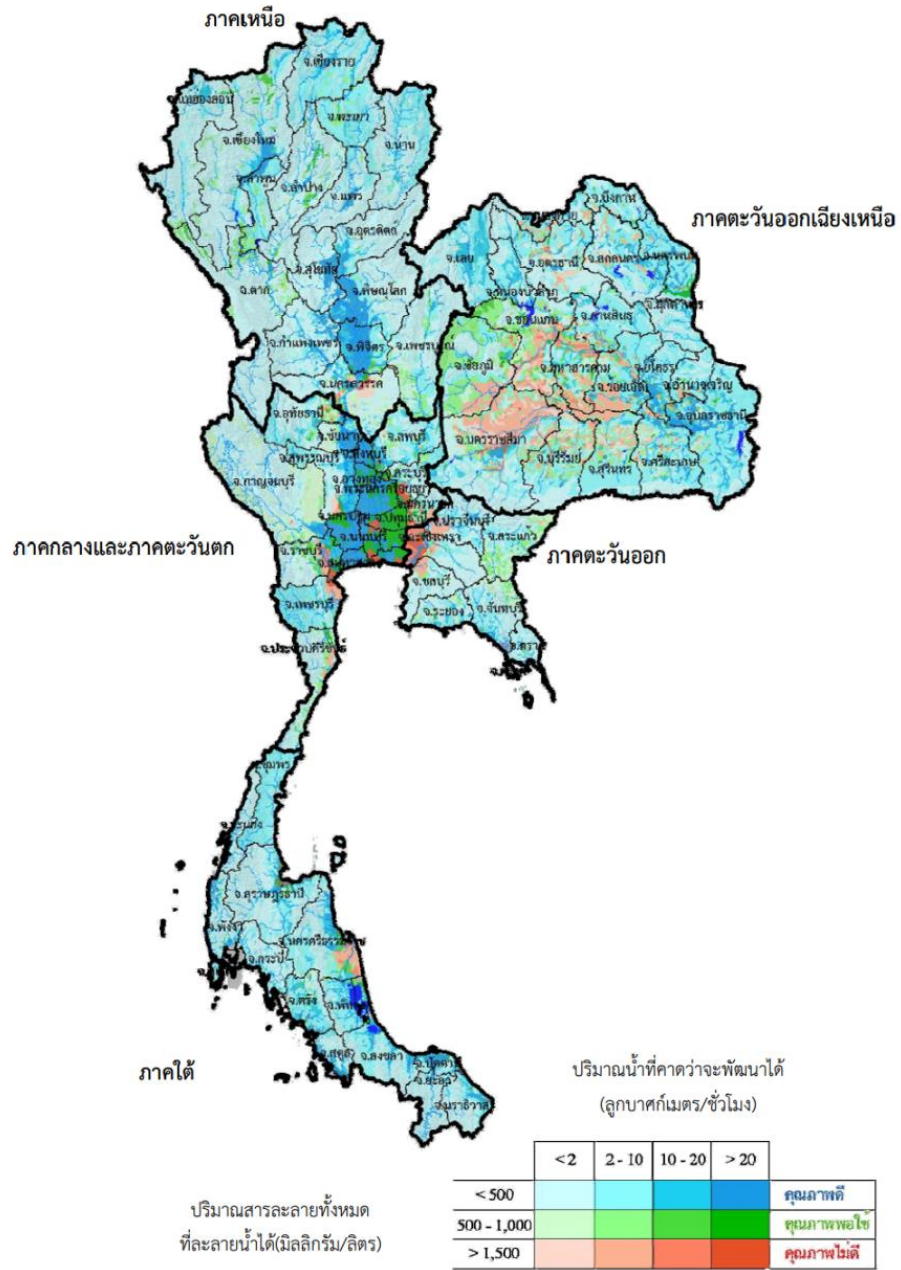
2.2 คุณภาพน้ำบาดาล (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

สถานการณ์คุณภาพน้ำบาดาลเมื่อปี 2555 จากผลการสำรวจ ติดตาม และเฝ้าระวังทรัพยากรน้ำบาดาลในเชิงปริมาณและคุณภาพทั่วประเทศ โดยเน้นน้ำในส่วนที่ใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคเป็นหลัก พบว่า ส่วนใหญ่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้อุปโภคบริโภคได้ ดังปรากฏในรูปที่ 2-11 ทั้งนี้ ในน้ำบาดาลทั่วไปจะพบการปนเปื้อนโดยธรรมชาติจากเหล็กและแมงกานีส ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเปลือกโลกในหลายพื้นที่ ตั้งแต่ปริมาณน้อยจนถึงปริมาณมาก โดยเฉพาะถ้าแหล่งน้ำบาดาลดังกล่าวอยู่ในบริเวณแหล่งแร่ นอกจากนี้ ยังพบการปนเปื้อนของฟลูออไรด์ในระดับที่สูงเกินเกณฑ์มาตรฐานในบางบริเวณของภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคตะวันตกของประเทศไทย รวมถึงพบปัญหาน้ำบาดาลเค็มในบางบริเวณของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ บริเวณชายฝั่งทะเล และปากแม่น้ำที่ไหลลงสู่ทะเล ส่วนปัญหาน้ำกระด้างของน้ำบาดาลพบที่ชั้นน้ำบาดาลบริเวณชั้นหินปูน เช่น จังหวัดสระบุรี และจังหวัดนครราชสีมา เป็นต้น

2.3 ปัญหาน้ำบาดาลเชิงพื้นที่ (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

2.3.1 ปัญหาการใช้น้ำบาดาลในปริมาณเกินเกณฑ์มาตรฐานส่งผลกระทบต่อ ดังนี้

1. ระดับน้ำบาดาลลดลง ในพื้นที่ที่ได้มีการดำเนินการประเมินผลกระทบไปแล้ว ได้แก่ พื้นที่ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น และบริเวณใกล้เคียง
2. การทรุดตัวของแผ่นดิน เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล
3. การรุกรานของน้ำเค็ม สำหรับพื้นที่ที่ได้มีการดำเนินการประเมินผลกระทบไปแล้ว ได้แก่ การรุกรานของน้ำเค็มเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลจัดในแอ่งหาดใหญ่ ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา



รูปที่ 2- 11 แผนที่คุณภาพน้ำบาดาล (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

2.3.2 ปัญหาคุณภาพน้ำบาดาลเสื่อมโทรม

1. คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมตามธรรมชาติขึ้นกับสภาพธรณีวิทยาของชั้นน้ำบาดาล ได้แก่ พื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ และอำเภออ่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งได้รับผลกระทบจากตะกั่ว และโลหะหนักในแหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง

2. คุณภาพน้ำที่เสื่อมโทรมจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ การปนเปื้อนของสารในชั้นน้ำบาดาลส่วนใหญ่กระจายอยู่ตามแหล่งกักมลพิษต่าง ๆ ในพื้นที่เกือบทุกภาคของประเทศไทย ได้แก่ พื้นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรม ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ ซึ่งสาเหตุของการปนเปื้อนส่วนใหญ่มาจากสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน ของเสียจากน้ำมัน และแหล่งฝังกลบขยะมูลฝอยของเทศบาล นอกจากนี้ ยังมีของเสียจากภาคเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรม และแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยมีตัวอย่างของแหล่งปนเปื้อนสำคัญ อาทิ (1) การปนเปื้อนของกากของเสียจากน้ำมัน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา (2) แหล่งฝังกลบขยะในพื้นที่ภาคกลางตอนบน (3) การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในพื้นที่คาบสมุทรสทิงพระและลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (4) การปนเปื้อนของน้ำบาดาลจากสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอน บริเวณนิคมอุตสาหกรรม ภาคเหนือตอนบนอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน ในพื้นที่ระยอง และจังหวัดชลบุรี (5) การปนเปื้อนของกากของเสียจากน้ำมัน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา และ (6) การปนเปื้อนของเสียภาคเกษตรกรรม ในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง และลุ่มน้ำท่าจีน (ซึ่งการศึกษาและวิจัยนี้เลือก (6) เป็นพื้นที่ศึกษา)

ทั้งนี้ ในแง่ของการฟื้นฟูและอนุรักษ์แหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่และลุ่มน้ำต่าง ๆ ของประเทศไทยสามารถขยายผลต่อจากโครงการศึกษาการปนเปื้อนเหล่านี้ได้ โดยบางโครงการได้มีการจัดทำแผนที่แสดงความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของสารพิษในชั้นน้ำบาดาล เช่น พื้นที่ภาคตะวันออก และภาคกลางตอนบน เป็นต้น ซึ่งในการดำเนินงานในระยะต่อไป ควรมีการจัดทำแผนที่แสดงความเปราะบางต่อการปนเปื้อนสารพิษในชั้นน้ำบาดาลให้ครอบคลุมพื้นที่เขตอุตสาหกรรมทั่วประเทศไทย

2.4 การประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน (Groundwater Vulnerability Assessment)

Groundwater Vulnerability Assessment คือ การประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลประกอบอื่นของพื้นที่เพื่อบ่งชี้ค่าความเปราะบางดังกล่าว ซึ่งค่าที่ได้จากการประเมินจะแบ่งระดับความเปราะบางเป็นสูง กลาง และต่ำ

โดยชั้นน้ำบาดาลที่ได้รับการประเมินว่า มีความเปราะบางสูงหมายถึงง่ายต่อการปนเปื้อน ในขณะที่ค่าความเปราะบางต่ำหมายถึงสามารถปนเปื้อนได้ยาก อย่างไรก็ตาม ยังมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ต่าง ๆ ดังนั้น การประเมิน Groundwater Vulnerability Assessment จึงถือเป็นเพียงตัวชี้วัดเท่านั้น ไม่ใช่การยืนยันความสามารถในการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ (Liggett E. Jessica and Sonia, 2009)

Groundwater Vulnerability Assessment แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. INDEX AND OVERLAY METHOD เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่มีความซับซ้อนยุ่งยากในการจัดเตรียมและดำเนินการ รวมถึงให้ผลลัพธ์ที่ชัดเจนและพิสูจน์ได้ (Focazio M.J. et al., 2001) ซึ่งอาศัยวิธีการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่บริเวณกว้าง (Over Large Regions) ที่ศึกษาโดยพิจารณาถึงคุณสมบัติและใช้ข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่เป็นเกณฑ์ในการให้คะแนน

วิธีนี้เหมาะสมที่สุดกับการประเมินในระดับภูมิภาค (Regional-Scale) แต่มีข้อจำกัดเนื่องด้วยลักษณะของการให้คะแนน กล่าวคือ เป็นวิธีวัดด้วยการให้คะแนนแต่ละตัวแปรจากลักษณะของธรณีอุทกวิทยา ซึ่งไม่สามารถระบุลักษณะดังกล่าวได้อย่างชัดเจน (Liggett E. Jessica and Sonia, 2009)

ตัวอย่างของ INDEX AND OVERLAY METHOD อาทิ

- DWSAP Vulnerability Analysis ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความเปราะบางของแหล่งน้ำดื่มในมลรัฐแคลิฟอร์เนียเป็นการเฉพาะ ซึ่งครอบคลุมทั้งแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำบาดาล โดยวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้พื้นฐานทางอุทกวิทยาและธรณีอุทกวิทยา ที่ต้องอาศัยผู้มีความรู้ความสามารถทั้งทางด้านแหล่งของการปนเปื้อนและระยะเวลาในการเดินทางของสาร วิธีนี้กำหนดให้การประเมินความเปราะบางใช้การหาสาเหตุสำคัญที่มีผลเสียต่อคุณภาพน้ำในระบบส่งน้ำจากแหล่งน้ำ รวมถึงพิจารณากิจกรรมในบริเวณใกล้เคียงที่มีสารปนเปื้อน DWSAP ประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ (1) การหา Possible Contaminating Activities (PCAs) ในพื้นที่ใกล้เคียงแหล่งน้ำ (2) การหาค่าความเป็นไปได้ที่แหล่งน้ำดังกล่าวจะเกิดการปนเปื้อนจาก PCAs ต่าง ๆ และ (3) การหาระยะเวลาในการเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดสารนั้น (PCAs) ถึงแหล่งน้ำ (Harter Thomass and Leah, 2001)

- DRASTIC Vulnerability Mapping (Aller L. et al., 1987) เป็นวิธีที่ได้รับการพัฒนาโดยสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) ภายใต้โครงการพัฒนาแบบจำลอง

สำหรับประเมินศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล เพื่อสร้างแบบจำลองประเมินศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลในรูปแบบของระบบการสร้างมาตรฐาน (Standardized System) ที่ง่ายต่อการนำไปใช้และตีความ รวมถึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในทุกสภาพอุทกธรณีวิทยาในสหรัฐอเมริกา โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญทางอุทกธรณีวิทยาหรือด้านการปนเปื้อนของน้ำบาดาล ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการประเมินสามารถรวบรวมได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรืออาจใช้วิธีประมาณค่าจากผลการศึกษาในอดีต โดยผลการประเมินศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลที่หาได้จะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผนการบริหารจัดการในการป้องกันและการติดตามการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล โดยเฉพาะการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนให้สัมพันธ์กับศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล (จิระเดช มาจันแดง, 2556)

- GOD (Foster, 1998) เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นในสหราชอาณาจักร มีลักษณะคล้ายแบบจำลอง DRASTIC คือ เป็นวิธีการประเมินแบบเกณฑ์การให้คะแนน แต่ขึ้นกับพารามิเตอร์เพียง 3 ตัว คือ G (Groundwater Occurrence) O (Overall Lithology) และ D (Depth to groundwater table) (Harter and Walker, 2001)

2. STATISTICAL METHOD เป็นวิธีที่ใช้ประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลโดยอาศัยการดำเนินการทางสถิติ ซึ่งคำนวณความน่าจะเป็นจากความสัมพันธ์ของการเกิดองค์ประกอบต่าง ๆ ของน้ำบาดาลมา และนำมาเป็นตัวแปรในการอธิบายถึงศักยภาพของแหล่งที่มาขององค์ประกอบดังกล่าวต่อความสัมพันธ์กับบริเวณที่เก็บตัวอย่างน้ำบาดาล (Tesoriero J.et al., 1998)

วิธีนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีการแพร่กระจายของการปนเปื้อนจากแหล่งที่มีการปนเปื้อนอยู่เดิมแล้ว เช่น การตรวจสอบและการติดตามสารไนเตรทในพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งโดยปกติจะเริ่มจากแผนที่คุณภาพน้ำของพื้นที่หนึ่ง ๆ และวิเคราะห์ค่าการถดถอยความเข้มข้นของสารปนเปื้อน ซึ่งจะขึ้นกับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สามารถประเมินค่าความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ดังกล่าวได้อย่างละเอียด แต่ต้องอาศัยข้อมูลที่เพียงพอและศึกษาการปนเปื้อนของสารในบริเวณกว้าง (Liggett E. Jessica and Sonia, 2009)

ตัวอย่างของ STATISTICAL METHOD อาทิ

- CALVUL (Troiana et al., 1999) เป็นวิธีที่ได้รับการพัฒนาโดยหน่วยงาน Department of Pesticide Regulation (DPR) ของมลรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา เพื่อใช้ในการประเมินค่า

ความแปรปรวนของน้ำบาดาล โดยศึกษาวิเคราะห์สารพิษตกค้าง ซึ่งหน่วยงานดังกล่าวได้ศึกษาวิเคราะห์ความแปรปรวนของพื้นที่เกษตรกรรมต่าง ๆ ในแคลิฟอร์เนีย โดยถ้าพบว่า พื้นที่ใดมีความแปรปรวนก็จะจัดสรรพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่สงวน อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีข้อเสีย คือ สามารถตรวจสอบได้เมื่อเกิดการปนเปื้อนแล้วเท่านั้น โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปริมาณสารตกค้างกับคุณสมบัติของดิน (ชั้นที่ไม่อิ่มตัว) ซึ่งหมายถึงพื้นที่ที่มีสารตกค้างจำนวนมากก็จะมี ความแปรปรวนมาก (Harter Thomass and Leah, 2001)

- Texas Case Study (Evans and Maidment, 1995) เป็นวิธีนี้ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นในมลรัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา เพื่อศึกษาความแปรปรวน โดยใช้การวิเคราะห์สารไนเตรทในน้ำบาดาล คล้ายกับวิธีของ CALVUL ข้างต้น คือ พื้นที่ที่มีสารตกค้างจำนวนมากก็จะมี ความแปรปรวนมาก ทั้งนี้ วิธีดังกล่าวใช้การวัดระดับไนเตรท เนื่องจากมลรัฐเท็กซัสมีข้อมูลของระดับไนเตรทในเกือบทุกพื้นที่ จึงทำให้สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์ได้ง่าย โดยนำข้อมูลโอกาสในการพบไนเตรทในพื้นที่ศึกษาไปหาความสัมพันธ์กับคุณสมบัติต่าง ๆ ของพื้นที่และชั้นน้ำบาดาล ซึ่งจากการวิเคราะห์สรุปผลค่าความแปรปรวนของชั้นน้ำบาดาลได้ ดังนี้ (1) Deep Bedrock – ร้อยละ 14 (2) Shallow Bedrock – ร้อยละ 37 (3) Deep Unconsolidated – ร้อยละ 46 และ (4) Shallow Unconsolidated – ร้อยละ 49 (Harter Thomass and Leah, 2001)

- Logistic Regression Analysis (Heisel and Hirsch 1992) เป็นวิธีที่นำมาใช้เพื่อพยากรณ์และคำนวณโอกาสในการเกิดเหตุการณ์หนึ่งขึ้น โดยมีการกำหนดค่าตัวแปรหนึ่งหรือหลายตัวที่คาดว่า จะส่งผลกระทบต่อเหตุการณ์นั้น เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจในสาเหตุของการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวในที่สุด ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการที่ทำกรวิเคราะห์โดยอาศัยหลักของการถดถอย แต่เนื่องจากการวิเคราะห์ถดถอยแบบธรรมดาใช้ได้เฉพาะกับตัวแปรที่เป็นค่าต่อเนื่องเท่านั้น จึงต้องนำเรื่องของโลจิสติกมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงโลจิสติกสำหรับข้อมูลในรูปแบบไม่ต่อเนื่องด้วย ซึ่งวิธีนี้มีวัตถุประสงค์และแนวคิดคล้ายคลึงกับการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น คือ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ และนำเสนอการที่ได้ไปประมาณหรือพยากรณ์ตัวแปรตาม เมื่อกำหนดค่าตัวแปรอิสระ ตัวอย่างของการนำวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้ อาทิ การประเมินความแปรปรวนของน้ำบาดาลโดยใช้การถดถอยเชิงโลจิสติก (Tesoriero et al., 1998) ซึ่งผู้ศึกษาเลือกใช้ Logistic Regression มาวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทและ atrazine ในพื้นที่ โดยมีสมมุติฐานว่า ปริมาณความเข้มข้นของไนเตรทและ Atrazine ในน้ำบาดาลจะขึ้นกับความลึกของแหล่งน้ำและสภาพทางธรณีของบริเวณดังกล่าว และใช้ข้อมูลร้อยละของการใช้พื้นที่ โดยแบ่งเป็นเขตเมืองและเขตเกษตรกรรมในพื้นที่รัศมี 3.2 กิโลเมตร ดังนั้น การเลือกใช้วิธีนี้สามารถวิเคราะห์

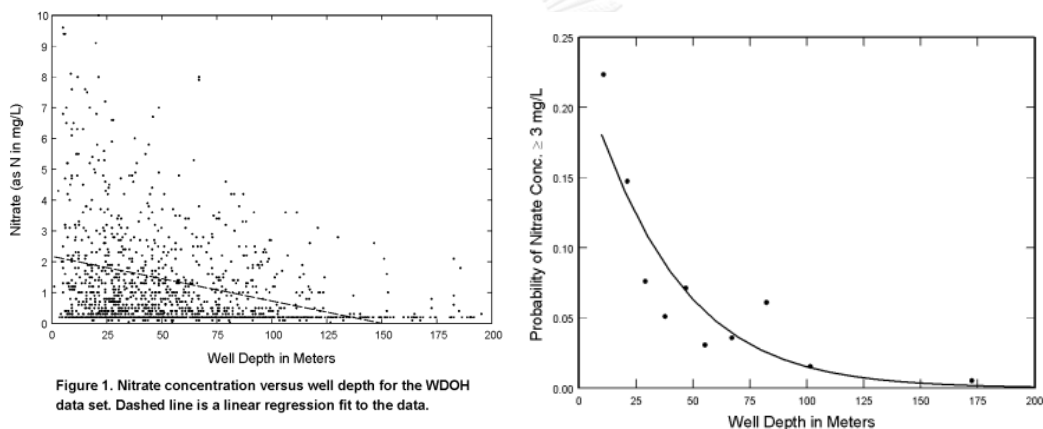
ข้อมูลจำนวนมากและระบุความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับตัวแปรต่างๆ ได้ โดยมีรูปแบบของโมเดล คือ

$$P = \frac{e^{(b_0 + bX)}}{1 + e^{(b_0 + bX)}} \quad (2-1)$$

เมื่อ P คือ ความน่าจะเป็นในรูปแบบร้อยละของระดับหรือความเข้มข้นของตัวแปรที่สนใจ

X คือ ค่าของตัวแปร b_0 คือ ค่าคงที่และ b คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของความลาดชัน

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้



รูปที่ 2- 12 รูปแสดงผลลัพธ์ของ Statistical Analysis ระหว่างการพบไนเตรทกับความลึกของบ่อ (Proceedings for the Source Water Assessment and Protection, 1998)

3. PROCESS METHOD เป็นวิธีที่ใช้ในการคาดการณ์การเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน ทั้งในแง่ของพื้นที่และเวลา โดยวิธีนี้ต้องอาศัยการวิเคราะห์หรือการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงกระบวนการการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน วิธีนี้เป็นวิธีที่มีความซับซ้อนมาก จึงเหมาะกับการศึกษาในพื้นที่ขนาดเล็ก อีกทั้งต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานเป็นข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากการสังเคราะห์ของข้อมูลอื่น ส่งผลให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนได้ง่าย (Tesoriero J. Anthony et al., 1998)

2.5 แบบจำลอง DRASTIC

ตามที่ได้กล่าวถึงไปแล้วในตัวอย่างของ INDEX AND OVERLAY METHOD ข้างต้น การสร้างแผนที่ DRASTIC Vulnerability Mapping (Aller et al., 1987) เป็นหนึ่งในการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน (Groundwater Vulnerability Assessment) โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลประกอบอื่นของพื้นที่เพื่อบ่งชี้ค่าความเปราะบางดังกล่าว ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการพัฒนาโดยสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) ภายใต้โครงการพัฒนาแบบจำลองสำหรับประเมินศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล เพื่อสร้างแบบจำลองประเมินศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลในรูปแบบของระบบการสร้างมาตรฐาน (standardized system) ที่ง่ายต่อการนำไปใช้และตีความ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในทุกสภาพอุทกธรณีวิทยาในสหรัฐอเมริกา โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญทางอุทกธรณีวิทยาหรือการปนเปื้อนของน้ำบาดาล และข้อมูลที่ใช้ในการประเมินดังกล่าวก็สามารถรวบรวมได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง หรือประมาณค่าจากผลการศึกษาในอดีต ซึ่งผลการประเมินศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลที่ได้จะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผนบริหารจัดการการป้องกันและติดตามการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล โดยเฉพาะการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เป็นแหล่งกำเนิดสารปนเปื้อนให้สัมพันธ์กับศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล(จิระเดช, 2556)

แบบจำลอง DRASTIC มีการเลือกพิจารณาตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของชั้นน้ำบาดาล ประกอบการวิเคราะห์และการประเมิน โดยชื่อ DRASTIC มาจากการนำอักษรตัวหน้าในภาษาอังกฤษของแต่ละปัจจัยมาเรียงต่อกันเพื่อให้ง่ายต่อการเรียกและการอ้างอิง ซึ่งประกอบด้วย 7 ตัวแปร ดังนี้

1. Depth to Water Table (D) ความลึกของระดับน้ำบาดาล คือ ระยะจากผิวดินไปถึงระดับน้ำบาดาล (บนสุดของเขตอิ่มน้ำ)
2. Recharge (R) อัตราการเติมน้ำสุทธิ คือ ปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงไปเพิ่มเติมในชั้นน้ำบาดาลต่อหน่วยพื้นที่
3. Aquifer Media (A) ตัวกลางของชั้นน้ำบาดาล คือ หินแข็งหรือหินร่วนที่กักเก็บน้ำบาดาลในชั้นน้ำบาดาล เช่น กรวด และทรายหินปูน เป็นต้น ซึ่งตัวกลางแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการกักเก็บน้ำที่แตกต่างกัน

4. Soil Media (S) ตัวกลางของดิน ซึ่งในการพิจารณาขอบเขตของดินในแบบจำลอง DRASTIC คือ ส่วนที่อยู่บนสุดของชั้นอิมอากาศ โดยจะพิจารณาเฉพาะส่วนบนของเขตการผุพัง (weathering zone) ที่มีความลึกเฉลี่ยจากผิวดินประมาณ 3 ฟุต หรือน้อยกว่า

5. Topography (T) ภูมิประเทศ คือ ปัจจัยเกี่ยวกับภูมิประเทศ โดยเฉพาะความลาดชันของพื้นที่ ซึ่งเป็นปัจจัยควบคุมระยะเวลาที่น้ำจะอยู่ในพื้นที่ โดยน้ำเป็นตัวกลางในการนำพาสารปนเปื้อนต่าง ๆ ให้เคลื่อนที่ลงสู่แหล่งน้ำบาดาลในแนวตั้ง จึงส่งผลต่อความเปราะบางในการเกิดการปนเปื้อน

6. Impart of Vadose Zone (I) เขตอิมอากาศ คือ เขตที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาล ซึ่งตัวกลางของเขตอิมอากาศแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติต่อการเจือจางสารปนเปื้อนที่แตกต่างกันออกไป

7. Hydraulic Conductivity (C) สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาล คือ ค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการเคลื่อนที่ไหลผ่านในตัวกลางในชั้นน้ำบาดาล ซึ่งเป็นปัจจัยในการเกิดการแพร่กระจายของการปนเปื้อนไปยังบริเวณอื่น ๆ ในชั้นน้ำบาดาล

ค่าดัชนีที่ได้จะถูกนำมาจัดกลุ่มเพื่อจำแนกศักยภาพการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในระดับต่าง ๆ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง DRASTIC สามารถประเมินได้จากทั้งปริมาณและคุณภาพข้อมูลของแต่ละปัจจัย โดยเฉพาะปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงต่อแบบจำลอง (มาจันแดง, 2556)

ทั้งนี้ เมื่อนำแบบจำลอง DRASTIC มาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จะได้ผลลัพธ์ในรูปแบบของแผนที่ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของสารในพื้นที่

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้แบบจำลอง DRASTIC เพื่อการประเมินค่าความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล อาทิ

- Siham Bataineh, Christina Curtis, and Ma'in Zaid Alghwazi ได้ทำการศึกษาและประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนในพื้นที่จอร์แดนโดยใช้แบบจำลอง DRASTIC โดยตั้งอยู่บนสมมติฐานว่า (1) การปนเปื้อนจะเกิดที่ผิวดิน (2) สารปนเปื้อนจะสามารถเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลได้เมื่อฝนตกและซึมลงสู่เขตชั้นน้ำอิมตัว (3) สารปนเปื้อนมีอัตราการเคลื่อนที่เท่ากับอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำ (4) พื้นที่ศึกษาต้องมีบริเวณไม่เกิน 100 เฮกเตอร์ (5) ชั้นน้ำบาดาลเป็นแบบ unconfined aquifer (6) สารที่มีปริมาณมากต้องไม่ใช่สารกำจัดศัตรูพืช และใช้สมการของ

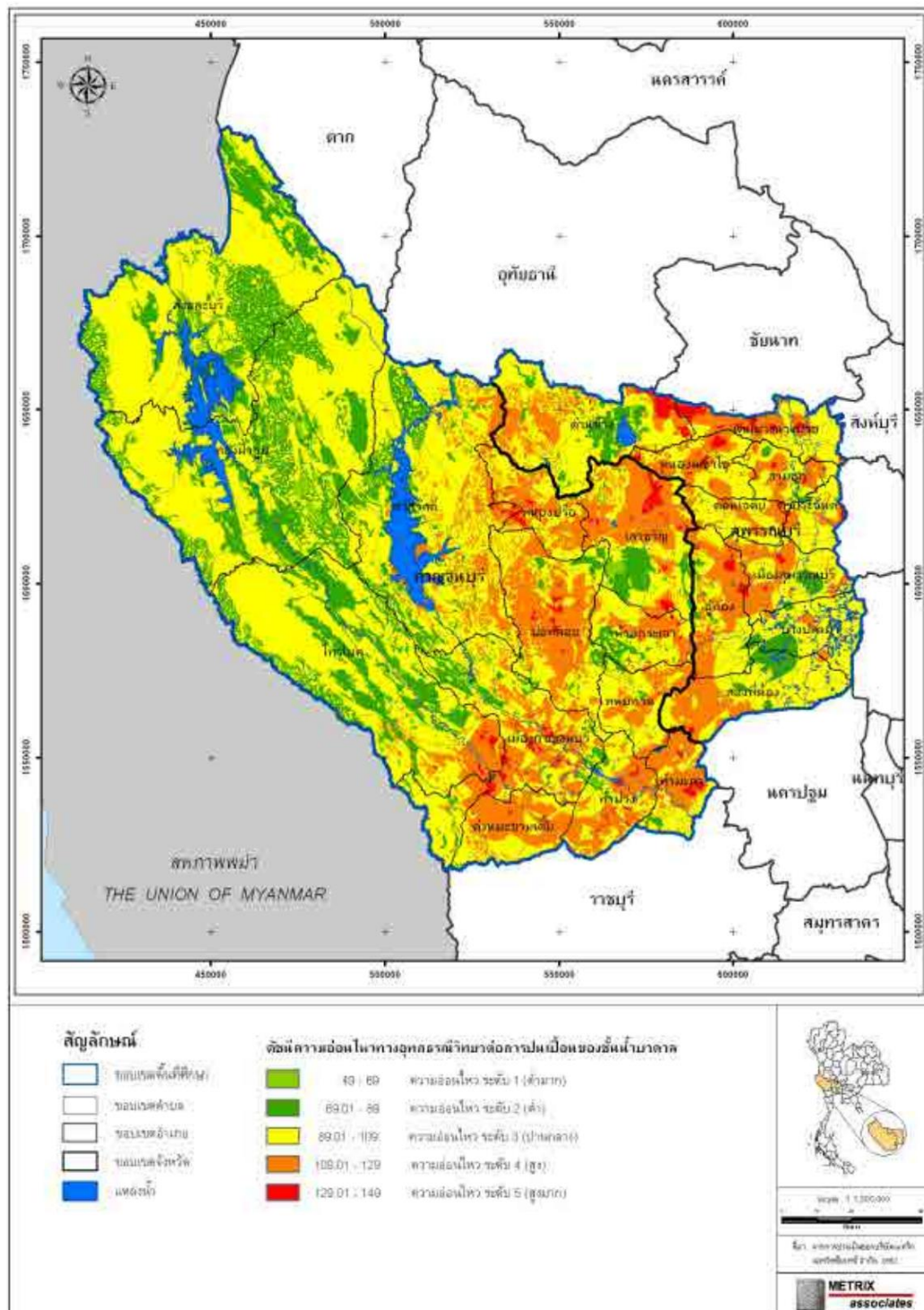
แบบจำลอง DRASTIC ในการกำหนดคะแนนของพื้นที่ โดยประยุกต์กับการใช้ GIS ทำให้ได้แผนที่ความเปราะบางของพื้นที่ต่อการปนเปื้อน ซึ่งสมการดังกล่าว คือ

$$\text{DRASTIC Index} = D_r \times D_w + R_r \times R_w + A_r \times A_w + S_r \times S_w + T_r \times T_w + I_r \times I_w + C_r \times C_w \quad (2-2)$$

เมื่อ r คือ rate และ w คือ weight

- โครงการประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนของมลสารทางการเกษตรลงสู่แหล่งน้ำบาดาลและออกแบบแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดสุพรรณบุรี ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เมื่อปี 2552 โดยที่พื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดสุพรรณบุรีเป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาด้านคุณภาพน้ำบาดาล เนื่องจากการใช้ปุ๋ยหมักของภาคเกษตรกรรมในปริมาณที่มากเกินไปจนความจำเป็น ส่งผลให้เกิดการสะสมและการสร้างมลพิษให้แก่แหล่งน้ำในพื้นที่ ดังนั้น กรมทรัพยากรน้ำบาดาลจึงจัดทำโครงการดังกล่าวขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานการณ์การปนเปื้อน วิเคราะห์กระบวนการทางเคมีของการปนเปื้อนโดยไนเตรท หาวิธีป้องกันและฟื้นฟูแหล่งน้ำ เสริมสร้างความเข้าใจและปลูกฝังแนวคิดอนุรักษ์ให้แก่บุคคลที่เกี่ยวข้อง และวางเป้าหมายในการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำบาดาล ซึ่งเป็นที่มาของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง DRASTIC ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดสุพรรณบุรี ที่พิจารณาข้อมูลทางอุทกธรณีวิทยา 7 ปัจจัยกำหนดตามวิธีการของแบบจำลองฯ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่า แต่ละปัจจัยกำหนดถูกแบ่งออกเป็นช่วง ๆ และเมื่อให้ค่าของแต่ละช่วงตั้งแต่ 1 ถึง 10 แล้ว ก็นำค่าคะแนนที่ได้มาคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 5 ทำให้ได้ผลการคูณค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละพารามิเตอร์

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์เป็นแผนที่ความเปราะบางของพื้นที่ศึกษา



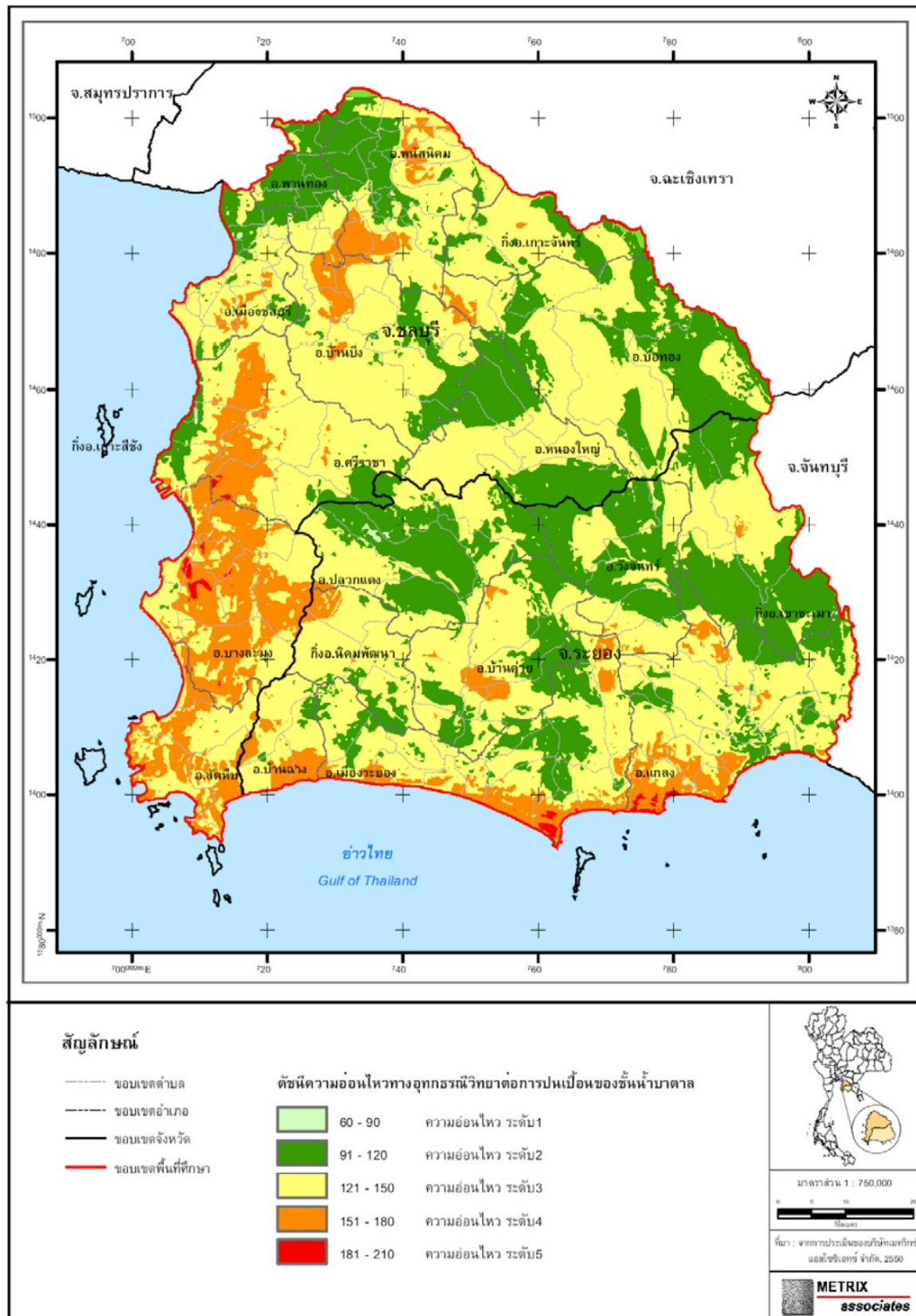
รูปที่ 2- 13 ตัวอย่างแผนที่ความเปราะบางทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ (DRASTIC Map) (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2552)

- โครงการประเมินศักยภาพน้ำบาดาลเพื่อวางระบบติดตามการปนเปื้อนและวางแผนการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลโดยละเอียด ในพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เมื่อปี 2551 ได้จำแนกแหล่งมลสารออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ (1) สถานที่กำจัดมูลฝอย (2) อุตสาหกรรม (3) สถานีบริการน้ำมัน (4) ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน (5) เหมืองแร่ และ (6) เกษตรกรรม ซึ่งผลการเปรียบเทียบแหล่งมลสารประเภทต่าง ๆ ที่ประเมินพบว่า ระดับความรุนแรงของแหล่งมลสารที่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำบาดาลสามารถแบ่งได้เป็น 5 ระดับ อีกทั้งได้ประเมินความเปราะบางทางอุทกธรณีวิทยาต่อการเกิดมลภาวะ โดยใช้แบบจำลอง DRASTIC เพื่อจัดทำแผนที่ความเปราะบาง

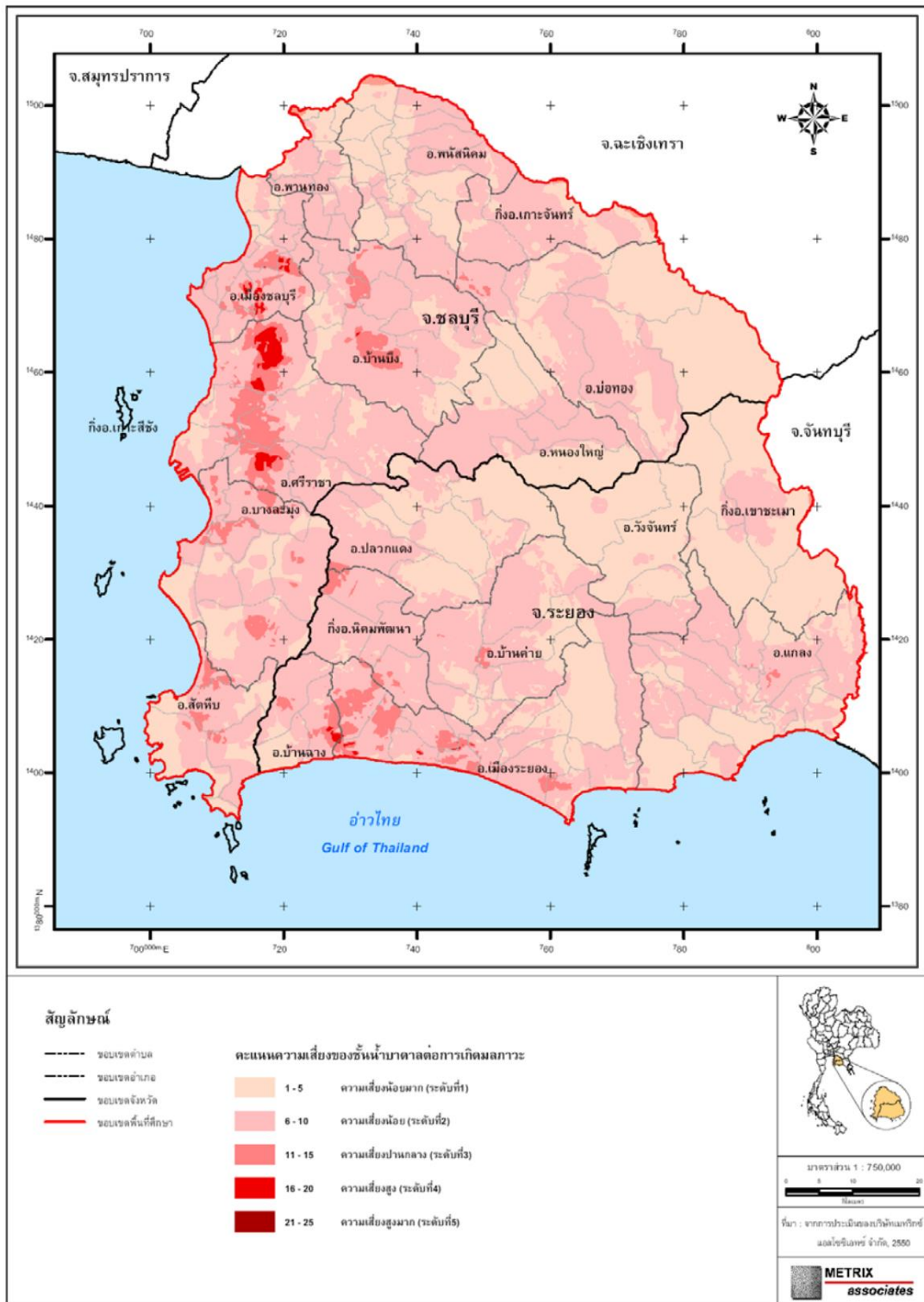
ตารางที่ 2- 2 ระดับความรุนแรงของแหล่งมลสารที่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำบาดาล (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

ระดับความรุนแรง	รายละเอียด	คะแนน(ร้อยละ)
1: น้อยมาก	ไม่มีผลกระทบต่อน้ำบาดาล อย่างมีนัยสำคัญ	0-5
2: น้อย	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลเล็กน้อย สามารถควบคุมหรือแก้ไขได้	6-10
3: ปานกลาง	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาล สามารถควบคุมหรือแก้ไขได้ในระยะเวลาดังกล่าว	11-15
4: สูง	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลรุนแรงต้องใช้เวลาในการแก้ไขระยะปานกลาง อีกทั้งมีผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ ควรจัดให้มีระบบการเฝ้าระวังการปนเปื้อน	16-20
5: สูงมาก	มีผลกระทบต่อน้ำบาดาลรุนแรงมาก ต้องใช้ทรัพยากรและเวลาในการแก้ไขระยะยาว อีกทั้งมีผลกระทบต่อชุมชนเป็นบริเวณกว้าง หรือหน่วยงานของรัฐ ต้องเข้าดำเนินการแก้ไขหรือเข้าไปฟื้นฟูอย่างเร่งด่วน ต้องมีระบบติดตามตรวจสอบการปนเปื้อน	21-25

ปัจจัยที่นำมาใช้ในการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ ได้แก่ ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะและค่าศักยภาพของมลสาร ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อชั้นน้ำบาดาล ตามสูตรการคำนวณของ Gonzalez, et al. (1997) ทั้งนี้ ผลการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ เห็นได้จากแผนที่แสดงความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะข้างต้น ซึ่งสรุปได้ว่า ในพื้นที่ศึกษา ไม่มีพื้นที่ที่มีความเปราะบางอยู่ในระดับที่สูงมากหรือความเปราะบางในระดับที่ 5



รูปที่ 2- 14 ตัวอย่างแผนที่ที่แสดงความเปราะบางทางอุทกธรณีวิทยาต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล(กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)



รูปที่ 2- 15 ตัวอย่างแผนที่แสดงความเสี่ยงของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2551)

การวิเคราะห์การปนเปื้อนของมลสารใช้วิธีการคัดเลือกแหล่งมลสารที่มีความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลสารสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยเริ่มจากการเก็บตัวอย่างน้ำและดินมาตรวจวิเคราะห์ด้วยพารามิเตอร์เพื่อบ่งชี้คุณภาพน้ำบาดาลและดินในเบื้องต้น หลังจากนั้น จึงนำผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในตัวอย่างน้ำและดินเบื้องต้นมาคัดเลือกพื้นที่ที่เปราะบางต่อการปนเปื้อนมากที่สุด ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและดินเชิงลึก แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) และกลุ่มโลหะหนัก (Heavy Metals)

- Groundwater Vulnerability Assessments and Integrated Water Resource Management (Liggett E. Jessica and Sonia, 2009) ได้ทำการศึกษาความเปราะบางของพื้นที่ British Columbia ซึ่งในพื้นที่นี้มีการทำการประเมินความเปราะบางหลายโครงการด้วยกัน ซึ่งมีจุดประสงค์หลัก คือ เพื่อการบริหารและจัดการทรัพยากรน้ำ และมีระบบการจัดหมวดหมู่ของชั้นน้ำบาดาลมีจุดประสงค์เพื่อ (1) เป็นการกำหนดขอบเขตงานเพื่อระบุการทำงานและรายละเอียดของแผนที่ชั้นน้ำบาดาลและการทำการประเมิน (2) เป็นกรรมวิธีในการกำหนดความสำคัญในการบริหารและจัดการในระดับพื้นที่ (3) เพื่อระบุระดับการจัดการสำหรับชั้นน้ำบาดาลนั้น ๆ (4) ประเมินความสามารถของชั้นน้ำบาดาล และ (5) เป็นการเพิ่มความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำบาดาล ซึ่งระบบการจัดหมวดหมู่ของชั้นน้ำบาดาล

ตารางที่ 2- 3 ตารางแสดงตัวอย่างการศึกษาคความเปราะบางของพื้นที่ต่อการปนเปื้อนของสารสู่นำใต้ดิน (Liggett E. Jessica and Sonia, 2009)

Location	Rationale	Approach (method)	Outcome (result)
Fraser Valley (Wei 1998)	Initiated from need to determine vulnerability of aquifers in province and to compare methods of assessing vulnerability in this area.	DRASTIC and AVI Indexing method of intrinsic vulnerability mapping	Use of vulnerability maps to compare nitrate concentrations in groundwater and evaluate differences between two methods. Both methods were found suitable for assessing vulnerability in the Fraser Valley.
Langley (Fraser Valley; Golder Associates 2005)	Initiated as part of regional Water Resource Management Strategy (WRMS). The WRMS was initiated to provide an established framework for managing water quality and quantity throughout the Township.	Aquifer Vulnerability Index (AVI) Indexing method of intrinsic aquifer vulnerability	Use of vulnerability map to inform future planning and development. Opportunity to couple with groundwater flow model
Gulf Islands (Denny et al. 2007)	Initiated because of history of groundwater studies on the Islands, of water scarcity in summer months, and of saltwater intrusion. Vulnerability mapping could help focus groundwater management on the Islands.	DRASTIC-Fm Indexing method of intrinsic aquifer vulnerability Fractured media parameter added to DRASTIC to account for local hydrogeological conditions (fault and fracture flow; Surette and Allen 2008)	Use of vulnerability map in Official Community Plan on North Pender Island, and collaboration with Natural Resources Canada and Islands Trust to provide tools for understanding groundwater on Gulf Islands. Map released as a GSC Open File for public access (#5333), and included in a community atlas through the Canadian Parks and Wilderness Society (http://cpaws.org/files/atlas-gulf.pdf)
Oliver (Okanagan Valley; Liggett et al. 2006)	Initiated through collaborative sustainable development planning with Smart Growth on the Ground (Smart Growth on the Ground 2006). Process involved multiple stakeholders designing community priorities for future development. Water quality was identified as a key priority.	DRASTIC Indexing method of intrinsic aquifer vulnerability	Use of vulnerability map as layer in land use allocation model to provide scenarios of future development based on the priorities outlined by the community.
Vancouver Island (Liggett and Gilchrist 2009)	Initiated by regional health authority because of need for source water protection tools.	DRASTIC Indexing method of intrinsic aquifer vulnerability Large-scale application of methodology over all of Vancouver Island.	Potential use of vulnerability map in future land-use/water planning, source water protection, and development of guidelines and responses for vulnerability categories (e.g., high, medium, low).

² Aquifer vulnerability maps for the Gulf Islands, Okanagan, and southeast Vancouver Island will soon be available on the National Groundwater Database (<http://ngwd-bdnes.ctis.nrcan.gc.ca/>).

ตารางที่ 2- 4 ตารางแสดงตัวอย่างการศึกษาคความเปราะบางของพื้นที่ต่อการปนเปื้อนของสารสู่นำใต้ดิน (แปลจาก Liggett E. Jessica and Sonia, 2009)

ตำแหน่ง	เหตุผล	วิธีดำเนินการ	ผลลัพธ์
Fraser Valley (Wei 1998)	หาความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่และเปรียบเทียบวิธีประเมิน	ใช้แบบจำลอง DRASTIC และ AVI (Aquifer Vulnerability Index) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้การพิจารณาค่าดัชนีต่าง ๆ ที่บ่งชี้ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาล	ใช้แผนที่ความเปราะบางเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารไนเตรตที่ละลายอยู่ในน้ำบาดาล ซึ่งพบว่า ทั้ง 2 วิธีเหมาะสำหรับการประเมินความเปราะบางในพื้นที่
Langley (Fraser Valley; Golder Associates 2005)	จัดตั้งขบข่ายการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในเมือง ทั้งในแง่คุณภาพและปริมาณ	ใช้วิธี AVI ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้การพิจารณาค่าดัชนีต่าง ๆ ที่บ่งชี้ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาล	ใช้แผนที่ความเปราะบางเพื่อกำหนดแผนและการพัฒนาในอนาคต
Gulf Islands (Denny et al. 2007)	ศึกษาความเป็นมาของน้ำบาดาลในพื้นที่ที่ขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูร้อนและการบุกรุกของน้ำเค็มซึ่งแผนที่ความเปราะบางจะช่วยในการบริหารจัดการน้ำบาดาลได้	ใช้แบบจำลอง DRASTIC-Fm ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้การพิจารณาค่าดัชนีที่เพิ่มเติมดัชนีบางตัวจาก DRASTIC ที่เป็นปัจจัยอุทกธรณีของพื้นที่	ใช้แผนที่ความเปราะบางเป็นเครื่องมือเพื่อทำความเข้าใจน้ำบาดาล
Oliver (Okanagan Valley; Liggett et al. 2006)	จัดทำแผนการดำเนินการพัฒนาทรัพยากรน้ำในระยะยาวอย่างยั่งยืน โดยเน้นด้านคุณภาพน้ำ	ใช้แบบจำลอง DRASTIC ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้การพิจารณาค่าดัชนีต่าง ๆ ที่บ่งชี้ความเปราะบาง	ใช้แผนที่ความเปราะบางเพื่อกำหนดการใช้งานในพื้นที่ และเป็นพื้นฐานในการวางแผนงานพัฒนาในอนาคต
Vancouver Island (Liggett and Gilchrist 2009)	หาวิธีที่ป้องกันการปนเปื้อนของแหล่งน้ำ	ใช้แบบจำลอง DRASTIC ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้การพิจารณาค่าดัชนีต่าง ๆ ที่บ่งชี้ความเปราะบาง แบบมาตราส่วนขนาดใหญ่ ทั่วพื้นที่เกาะ	ใช้แผนที่ความเปราะบางเพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนพัฒนาพื้นที่ใช้สอย

2.6 แบบจำลอง ADVANCED DRASTIC

เนื่องจากแบบจำลอง DRASTIC เป็นการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลโดยการพิจารณาการให้คะแนนจากข้อมูลทางกายภาพของชั้นน้ำบาดาลเพียงอย่างเดียว ซึ่งข้อดีคือง่ายต่อการทำประเมิน แต่มีข้อเสีย คือ การประเมินจะขึ้นกับความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลเป็นหลัก ทั้งนี้ โดยที่การเก็บข้อมูลของน้ำบาดาลมีความยุ่งยากและซับซ้อน เพราะไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและอาจเก็บข้อมูลได้เพียงบางส่วนของพื้นที่เท่านั้น จึงทำให้เกิดแนวความคิดในการพัฒนาแบบจำลอง DRASTIC ในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

- Improved DRASTIC Method for Assessment of Ground Water Vulnerability to Generic Aqueous-Phase Contaminants (Jovanovic et al., 2006) เป็นแนวความคิดในการพัฒนาแบบจำลอง DRASTIC จากการสังเกตเห็นข้อจำกัดในข้อมูลของชั้นน้ำบาดาล ตัวอย่างเช่น การมีชั้นน้ำบาดาลหลาย ๆ ชั้น ส่งผลให้น้ำบาดาลมีลักษณะการไหลแบบพิเศษ รวมถึงตัวสารที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนในชั้นน้ำบาดาลมีลักษณะเฉพาะ เช่น การดูดซับ และการย่อยสลาย ที่ต่างกัน จึงเป็นที่มาของแนวความคิดในการพัฒนาแบบจำลอง DRASTIC ให้เข้ากับลักษณะของชั้นน้ำบาดาลและสารปนเปื้อน โดยให้ความสนใจกับผลที่เกิดจากเขตอิมมอกาสด (Impact of Vadose Zone – I) ลักษณะการไหล และลักษณะเฉพาะของสารปนเปื้อน ทั้งนี้ เนื่องจากการปนเปื้อนสืบเนื่องมาจากการซึมผ่านชั้นเขตอิมมอกาสด จึงทำให้แบบจำลอง Improved DRASTIC ที่เกิดขึ้นมีการปรับเปลี่ยนลักษณะการให้คะแนนในส่วนของเขตอิมมอกาสดและเพิ่มการพิจารณาชนิดสาร กล่าวคือ บริเวณที่เป็นเขตอิมมอกาสดเป็นส่วนของชั้นดินที่ป้องกันการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลโดยตรง ซึ่งขึ้นกับความหนาของน้ำ การดูดซับ และการย่อยสลายของสาร โดยศึกษาและพิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ จากความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน รวมถึงแบ่งระดับความเปราะบางเป็นต่ำ กลาง และสูง

ตารางที่ 2- 5 ผลต่อความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ที่พิจารณาจากการไหลและคุณสมบัติทางชลศาสตร์ (N. Z. Jovanovic, S. Adams, A. Thomas et al., 2006)

Flow mechanism	Vertical hydraulic conductance ($m^2 d^{-1}$)		
Matrix	< 45	45-9000	> 9000
Preferential			> 1
	Vulnerability impact		
	Low	Medium	High

ตารางที่ 2- 6 ผลต่อความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ที่พิจารณาจากชั้นความหนาและชนิดตัวกลางของเขตไม่อิ่มน้ำ (N. Z. Jovanovic et al., 2006)

Unsaturated zone medium		Thickness (m)		
Unconsolidated material	Gravel	> 50	30-50	0-30
	Clean sand	> 50	30-50	0-30
	Silty sand	> 30	15-30	0-15
	Silt	> 15	5-15	0-5
	Clay	> 5	2.5-5	0-2.5
Consolidated fractured medium		> 30	5-30	0-5
Leaky aquifers		> 30	5-30	0-5
Vulnerability impact				
		Low	Medium	High

ตารางที่ 2- 7 ผลต่อความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ที่พิจารณาจากตัวกลางและระยะเวลาในการไหลของน้ำจนถึงระดับน้ำบาดาล (N. Z. Jovanovic et al., 2006)

Unsaturated zone medium		Travel time		
Unconsolidated material	Gravel			< 1 h
	Clean sand		1 mo	1 d
	Silty sand	> 1 a	< 1 a	< 1 mo
	Silt	> 0.5 a	< 0.5 a	< 1 mo
	Clay	>> 1 a		
Consolidated fractured medium		> 1 a	1 mo	1 h – 1 d
Vulnerability impact				
		Low	Medium	High

ตารางที่ 2- 8 ผลต่อความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ที่พิจารณาจากความหนาของเขตไม่อิ่มน้ำและอัตราการเติมน้ำ (N. Z. Jovanovic et al., 2006)

Thickness (m)	Recharge (mm a ⁻¹)		
	0-5	0-1	1-5
5-30	0-5	5-10	> 10
> 30	0-10	10-100	> 100
Vulnerability impact			
	Low	Medium	High

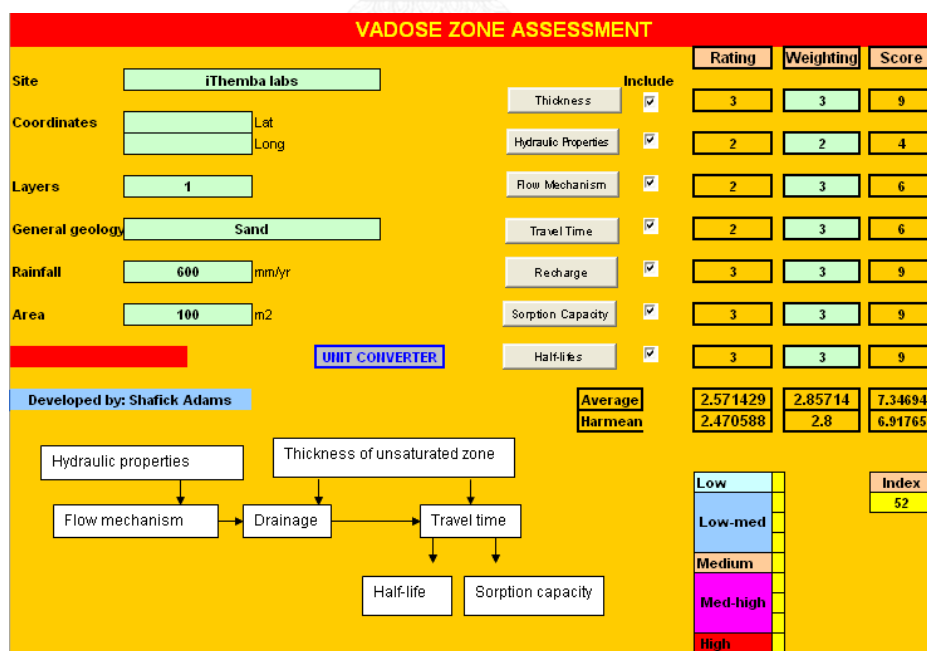
ตารางที่ 2- 9 ผลต่อความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ที่พิจารณาจากชนิดของสารปนเปื้อน และการดูดซับของตัวกลางดินชนิดต่างๆ (Jovanovic et al., 2006)

Contaminants	Soil properties		
	Cationic (inorganic and polar organic)	Thick, clayey profiles, margalitic soils; strongly calcareous clays; eutrophic peats	All other soils
Anionic (inorganic and polar organic)	Deep, dystrophic, ferrallic clays	All other soils	Eutrophic sands
Organic (non-polar)	Deep humic clays and peats	All other soils	Pure sands low in humus
Vulnerability impact			
	Low	Variable	High

ตารางที่ 2- 10 ผลต่อความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ที่พิจารณาจากปริมาณที่ดูดซับสารได้ของเขตไม่อิ่มน้ำและระยะเวลาคงอยู่ของสารปนเปื้อน (Jovanovic et al., 2006)

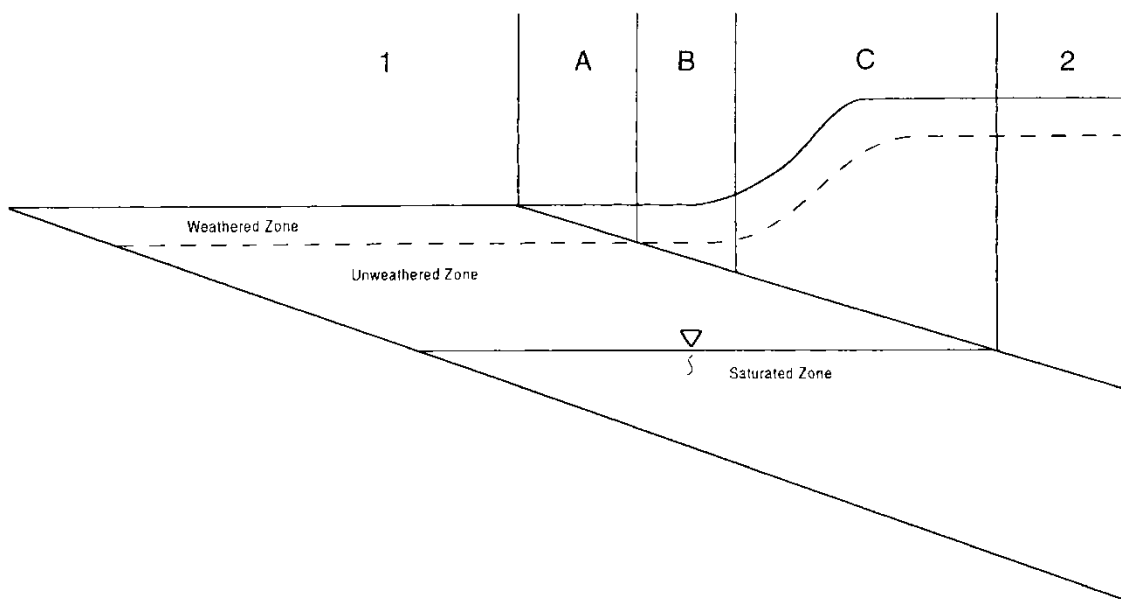
Sorpton capacity	Half-life		
	Low	< 1 h	1-24 h
Variable	< 1 d	1-15 d	> 30 d
High	< 15 d	15-50 d	> 50 d
Vulnerability impact			
	Low	Medium	High

จากลักษณะและคุณสมบัติต่าง ๆ ของเขตอิ่มอากาศและสารปนเปื้อนที่ได้มีการศึกษา ผู้ศึกษาได้นำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์และหาผลความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ซึ่งสรุปได้ในรูปแบบการประเมินความอ่อนไหวต่อชั้นน้ำบาดาลที่พัฒนาขึ้น (แบบจำลอง Improved DRASTIC) โดยเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ รวมถึงรูปแบบการให้คะแนนและอัตราความสำคัญของตัวแปรนั้น ๆ และเป็นการประเมินที่ใช้พื้นฐานบนโปรแกรม Excel ซึ่งสามารถใช้ร่วมกับโปรแกรม GIS



รูปที่ 2- 16 ตัวอย่างการนำ Improved DRASTIC มาใช้ในการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน (N. Z. Jovanovic et al., 2006)

- การประเมินความเปราะบางแบบ Aquifer Vulnerability Assessment of the Paluxy Aquifer ที่มลรัฐเท็กซัส สหรัฐอเมริกา โดยใช้ GIS และแบบจำลอง Modified DRASTIC Approach (FRITCH G. TODD, MCKNIGHT L. CLEAVY, YELDERMAN C. JOE JR. et al., 2000) เนื่องจากการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนเกิดจากการประเมินตัวแปรหลายตัวรวมกันและการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ทำให้ในบางครั้งมีความยุ่งยากในการนำผลการประเมินไปใช้ ดังนั้น การศึกษานี้จึงใช้ GRASS 4.1 (Geographic Information System: USA-CERL 1993) ในการศึกษาความเปราะบางและความสามารถในการปนเปื้อน ซึ่งขึ้นกับลักษณะและคุณสมบัติของชั้นน้ำบาดาลร่วมกับแหล่งกำเนิดการปนเปื้อน ร่วมกับการประเมินความเปราะบางที่พัฒนาขึ้น (แบบจำลอง Modified DRASTIC) จากการพิจารณาอัตราการเติมน้ำ (Net Recharge) และผลของเขตอิมมอากาศ (Impact of the Vadose Zone) เริ่มจากการวิเคราะห์แหล่งน้ำที่เติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล ซึ่งส่งผลสืบเนื่องต่อการพาสารปนเปื้อนต่าง ๆ เข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล คือ อัตราการเติมน้ำ (Net Recharge) ในระดับสูง ทำให้เกิดความสามารถในการปนเปื้อนที่สูงขึ้นตามมา ซึ่งมาจากพัฒนาการหาค่าอัตราการเติมน้ำโดยการพิจารณาและคำนวณข้อมูลการไหลของแม่น้ำ หลังจากนั้น ขั้นตอนถัดไป คือ การพิจารณาถึงผลของเขตอิมมอากาศ (Impact of the Vadose Zone) เนื่องจากมีน้ำหนักของข้อมูลในระดับที่ 5 จึงทำให้มีผลกระทบอย่างมากต่อการประเมินความเปราะบาง ทั้งนี้ สามารถแบ่งแยกเขตอิมมอากาศเป็น 2 บริเวณ คือ บริเวณที่มีความพรุนสูงและบริเวณที่มีความพรุนต่ำ ซึ่งแนวทางในการพัฒนาเกี่ยวกับเขตอิมมอากาศ คือ (1) หากบริเวณดังกล่าวมีความหนาของชั้นดินที่ปกคลุมน้อยกว่าหรือเท่ากับบริเวณที่มีความพรุนสูง จะสามารถพิจารณาค่าคะแนนจากตัวกลางของชั้นน้ำบาดาลได้ในทันที (2) หากบริเวณดังกล่าวมีความหนาของชั้นดินที่ปกคลุมมากกว่าบริเวณที่มีความพรุนสูง แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ ความหนาของเขตอิมมอากาศ การให้คะแนนจะเกิดจากการเฉลี่ยของคะแนนจากตัวกลางของชั้นน้ำบาดาลและคะแนนจากตัวกลางของชั้นดินดังกล่าว ตามสมการ [(the aquifer material media rating * its thickness) + (the overlying material media rating * its thickness)] / total thickness of the vadose zone และ (3) หากบริเวณดังกล่าวมีความหนาของชั้นดินที่ปกคลุมมากกว่าบริเวณที่มีความพรุนสูง และมากกว่าความหนาของเขตอิมมอากาศ การให้คะแนนจะสามารถพิจารณาคะแนนได้ตามแบบจำลอง DRASTIC ปกติ



รูปที่ 2- 17 บริเวณของเขตอิทธิพลอากาศเพื่อแบ่งเกณฑ์การให้คะแนนในรูปแบบใหม่ (FRITCH G. TODD et al., 2000)

2.7 การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis) คือ วิธีการที่ใช้ในการศึกษารูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น ซึ่งสามารถมีได้มากกว่า 1 ตัว และตัวแปรตาม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ตัวแปรตามด้วยค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นแต่ละตัวและค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นดังกล่าว ซึ่งเรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การวิเคราะห์ถดถอยแบบเส้นตรง (Linear Regression Analysis) คือ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยการพิจารณารูปแบบความสัมพันธ์ โดยอาศัยรูปแบบของกราฟเส้นตรงเป็นแบบอย่างในการพิจารณาอิทธิพลหรืออธิบายผลที่เกิดต่อตัวแปรตามที่เกิดขึ้น ซึ่งแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ถดถอยแบบเส้นตรงอย่างง่ายวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น 1 ตัว และการวิเคราะห์ถดถอยแบบเส้นตรงแบบพหุคูณวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น 1 ตัวขึ้นไป

2. การวิเคราะห์ถดถอยแบบเส้นโค้ง (Non-Linear Regression Analysis) คือ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยการพิจารณารูปแบบความสัมพันธ์ โดยอาศัยรูปแบบของกราฟเส้นโค้งเป็นแบบอย่างในการพิจารณาอิทธิพลหรืออธิบายผลที่เกิดต่อตัวแปรตามที่เกิดขึ้น แบ่งออกเป็นการวิเคราะห์ถดถอยแบบเส้นโค้งอย่างง่ายวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น 1 ตัว และการวิเคราะห์ถดถอยแบบเส้นโค้งแบบพหุคูณวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น 1 ตัวขึ้นไป

2.8 สหสัมพันธ์ (Correlation)

สหสัมพันธ์ (Correlation) คือ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป (หรือข้อมูล 2 ชุดขึ้นไป) โดยการพิจารณาระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) เป็นตัววัด ซึ่งตามวิธีการทางสถิติมีหลายวิธีขึ้นกับลักษณะของตัวแปรหรือระดับการวัดในตัวแปรนั้น ๆ ทั้งนี้ ต้องมีการทดสอบนัยสำคัญในการวัดระดับความสัมพันธ์แต่ละแบบก่อนที่จะสรุปได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละตัวแปร ซึ่งการแปลผลจะศึกษาในแง่ของความเกี่ยวพัน ความสอดคล้อง และการแปรผันร่วมกันหรือไปด้วยกัน แต่ไม่ได้ระบุว่าตัวแปรใดเป็นต้นเหตุ ผลลัพธ์ ตัวแปรต้น หรือตัวแปรตาม โดยทั่วไป ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นิยมใช้สัญลักษณ์ r แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง (บางการศึกษาใช้สัญลักษณ์ C , W หรืออื่น ๆ) และ ρ แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของประชากร โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ใช้อัตลักษณ์ของความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปร มี 2 ลักษณะ คือ $-1 \leq r \leq 1$ และ $0 \leq r \leq 1$

การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงระดับความสัมพันธ์ที่สูง แต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงระดับความสัมพันธ์กันที่ต่ำหรือไม่มีเลย โดยทั่วไป การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใช้เกณฑ์ ดังนี้ (Hinkle, 1998)

ค่า r	ระดับของความสัมพันธ์
0.90 - 1.00	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
0.70 - 0.90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
0.50 - 0.70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
0.30 - 0.50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
0.00 - 0.30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

เครื่องหมาย $+$, $-$ หน้าตัวเลขสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บอกทิศทางของความสัมพันธ์ โดยที่หาก

r มีเครื่องหมาย $+$ หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง อีกตัวหนึ่งจะมีค่าสูงไปด้วย)

r มีเครื่องหมาย - หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง ตัวแปรอีกตัวหนึ่งจะมีค่าต่ำ)

ยกเว้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางชนิดที่มีลักษณะ $0 \leq r \leq 1$ จะบอกได้เพียงขนาดหรือระดับของความสัมพันธ์เท่านั้น แต่ไม่สามารถบอกทิศทางของความสัมพันธ์ได้

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson product-moment correlation coefficient) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันเหมาะกับข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นเท่านั้น โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันคำนวณได้จากสูตร

$$r_{xy} = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (2-3)$$

เมื่อ r_{xy} เป็น ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

$\sum X$ เป็น ผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1 (X)

$\sum Y$ เป็น ผลรวมของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2 (Y)

$\sum XY$ เป็น ผลรวมของผลคูณระหว่างข้อมูลตัวแปรที่ 1 และ 2

$\sum X^2$ เป็น ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 1

$\sum Y^2$ เป็น ผลรวมของกำลังสองของข้อมูลที่วัดได้จากตัวแปรตัวที่ 2

N เป็น ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

การทดสอบนัยสำคัญ

สมมติฐานของการทดสอบ

$H_0 : \rho = 0$ (ตัวแปร X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กัน)

$H_1 : \rho \neq 0$ (ตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์กัน)

สถิติทดสอบ เป็นการทดสอบแบบสองทาง

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}, \text{ df} = n-2 \quad (2-4)$$

อาณาเขตวิกฤตและการสรุปผลจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า t ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า $t_{\alpha, n-2}$ ที่เปิดจากตารางหรือ t ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า $-t_{\alpha, n-2}$ หรือ นำค่า rx_y ที่ได้ไปเทียบกับค่าวิกฤต rx_y จากตารางสำเร็จรูปโดยใช้ $df = n-2$ ถ้าค่า rx_y มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ค่าวิกฤต rx_y จะปฏิเสธ H_0 (สถิติสำหรับการวิจัยทางการศึกษา, ดร.อิศรภรณ์ รินโสง, 2548)

ค่า R^2 หรือค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจเชิงซ้อน (Coefficient of Multiple Determination) คือค่าสัมประสิทธิ์ที่บ่งบอกระดับการเปลี่ยนแปลงของผลกระทบที่ตัวแปรอิสระมีต่อตัวแปรตาม กล่าวคือ เป็นตัวสถิติที่ใช้วัดระดับความสัมพันธ์กับข้อมูลของตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้ ซึ่งการวิเคราะห์ถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression) เป็นการบ่งชี้ความแปรผันของตัวแปรที่พิจารณา โดยมีสมการ คือ

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2-5)$$

เมื่อ y_i คือตัวแปรตาม

f_i คือตัวแปรต้น

ดังนั้น สมการข้างต้นจึงเป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของค่า y_i ที่เกิดขึ้น กับการเปลี่ยนแปลงของค่า f_i ซึ่งในกรณีทั่วไป สามารถพิจารณาค่า R^2 ได้จากการยกกำลัง 2 ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้กล่าวไว้ในสมการที่ (2-3) ดังนั้น ค่า R^2 จึงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 กับ 1.00 โดยหากค่า R^2 เป็น 0 แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรดังกล่าวไม่สามารถอธิบายความผันแปรหรือการเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อค่าตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรตามที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้ ในขณะที่หากค่า R^2 เป็น 1 แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรนั้นสามารถอธิบายความผันแปรหรือการเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อค่าตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรตามที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี

2.9 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System (GIS) คือ กระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้กำหนดข้อมูลและสารสนเทศที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่

2.9.1 องค์ประกอบของ GIS (Components of GIS)

องค์ประกอบหลักของโปรแกรม GIS แบ่งออกเป็น 5 ส่วนใหญ่ คือ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (Hardware) โปรแกรม (Software) ขั้นตอนการทำงาน (Methods) ข้อมูล (Data) และบุคลากร (People) โดยมีรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบ ดังนี้

1. อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ คือ เครื่องคอมพิวเตอร์รวมไปถึงอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ เช่น Digitizer, Scanner, Plotter, Printer หรืออื่น ๆ ที่ใช้ในการนำเข้าข้อมูล ประมวลผล แสดงผล และผลิตผลลัพธ์ของการทำงาน

2. โปรแกรม คือ ชุดของคำสั่งสำเร็จรูป เช่น โปรแกรม Arc/Info และ MapInfo ฯลฯ ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบการทำงานและเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับนำเข้าและปรับแต่งข้อมูล จัดการระบบฐานข้อมูล เรียกค้น วิเคราะห์ และจำลองภาพ

3. ข้อมูล คือ ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม GIS และถูกจัดเก็บในรูปแบบของฐานข้อมูล โดยได้รับการดูแลจากระบบจัดการฐานข้อมูลหรือ DBMS ซึ่งจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญรองลงมาจากบุคลากร

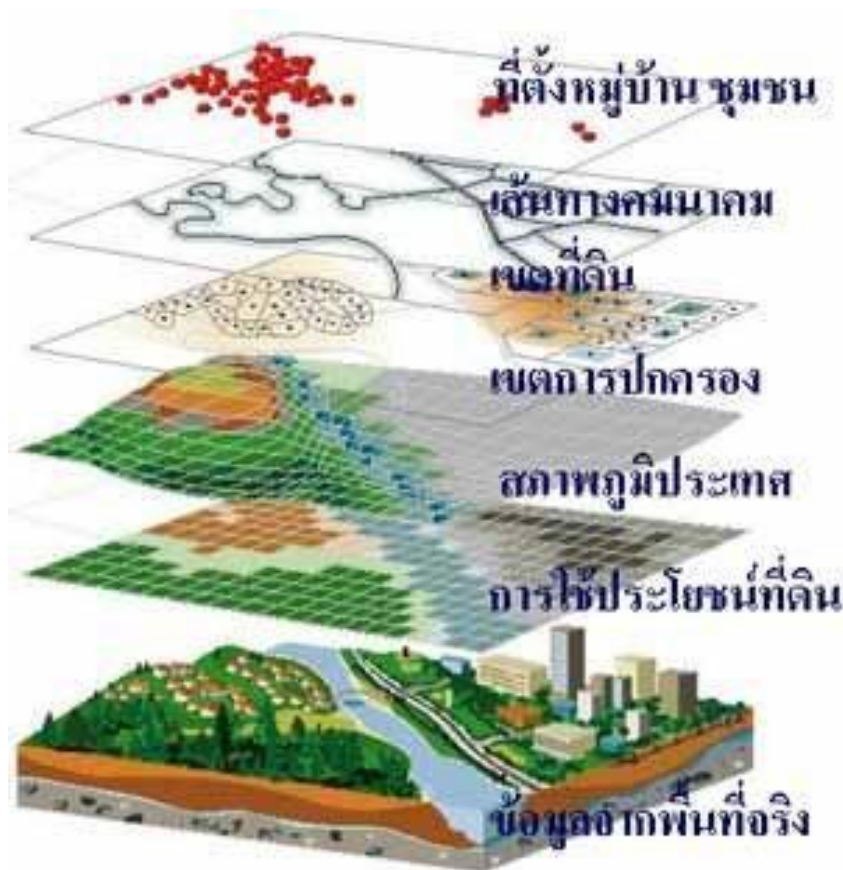
4. บุคลากร คือ ผู้ปฏิบัติงานซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น ผู้นำเข้าข้อมูล ช่างเทคนิค ผู้ดูแลระบบฐานข้อมูล ผู้เชี่ยวชาญสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล และผู้บริหาร ซึ่งต้องใช้ข้อมูลในการตัดสินใจ ทั้งนี้ บุคลากรถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในโปรแกรม GIS เนื่องจากหากขาดบุคลากรก็จะมีผู้นำข้อมูลที่มีอยู่มาใช้งานได้อย่างสิ้นเชิง

5. วิธีการหรือขั้นตอนการทำงาน คือ วิธีการที่องค์กรนำโปรแกรม GIS มาใช้งาน โดยแต่ละระบบในแต่ละองค์กรมีความแตกต่างกัน ดังนั้น ผู้ปฏิบัติงานจึงควรเลือกวิธีการจัดการกับปัญหาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับของหน่วยงาน

2.9.2 ลักษณะข้อมูลภูมิศาสตร์ (Geographic Features)

ปรากฏการณ์หรือวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวเรา ได้แก่ สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ และสภาพแวดล้อมที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งแสดงบนแผนที่ด้านล่างด้วยจุด (Point) เส้น (line) พื้นที่ (Area)

หรือ Polygon) และตัวอักษร (Text) อธิบายลักษณะสิ่งที่ปรากฏด้วยสี (Color) สัญลักษณ์ (Symbol) และข้อความบรรยาย (Annotation)



รูปที่ 2- 18 ลักษณะข้อมูลภูมิศาสตร์ (Geographic Features) (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

2.9.3 ที่ตั้ง (Location)

ลักษณะข้อมูลภูมิศาสตร์แสดงถึงที่ตั้งทางภูมิศาสตร์และที่ตั้งสัมพันธ์ของสถานที่หรือสิ่งต่าง ๆ บนโลก

2.9.4 แผนที่และข้อมูลเชิงพื้นที่

แผนที่ คือ สิ่งที่แสดงลักษณะของผิวโลก ทั้งที่เป็นอยู่ตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยแสดงบนพื้นราบด้วยการย่อส่วนให้เล็กลงตามขนาดที่ต้องการ และใช้เครื่องหมายหรือสัญลักษณ์แทนสิ่งที่ปรากฏอยู่บนผิวโลก

ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) มีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ

1. ข้อมูลเชิงภาพ (Graphic data) สามารถแทนได้ด้วย 2 รูปแบบพื้นฐาน ได้แก่

- ข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector format)

- ข้อมูลแบบแรสเตอร์ (Raster format)

2. ข้อมูลอรรถธิบาย (Attribute data) เป็นข้อความอธิบายที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงภาพ เช่น ชื่อถนน ลักษณะ พื้นผิว และจำนวนช่องทางวิ่งของเส้นถนนแต่ละเส้น

2.9.5 ลักษณะข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

เนื่องจากโลกมีความซับซ้อนเกินกว่าที่จะสามารถเก็บข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับโลกไว้ในระบบคอมพิวเตอร์ จึงต้องปรับให้มีการจัดเก็บปรากฏการณ์บนผิวโลกในรูปของตัวเลขเชิงรหัส (Digital Form) โดยแทนปรากฏการณ์ดังกล่าวด้วยลักษณะทางภูมิศาสตร์ (Feature)

2.9.6 ประเภทของ Feature

แผนที่กระดาษบันทึกตำแหน่งทางภูมิศาสตร์และแทนสิ่งต่าง ๆ บนโลกที่เป็นลายเส้นและพื้นที่ โดยเฉพาะลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่เป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ทางภูมิศาสตร์บนโลก ด้วยสัญลักษณ์แบบจุด เส้น พื้นที่และตัวอักษร ซึ่งในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะใช้ Feature ประเภทต่าง ๆ ในการแทนปรากฏการณ์ โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. จุด (Point) ลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่มีตำแหน่งที่ตั้งเฉพาะเจาะจง หรือมีเพียงอย่างเดียว สามารถแทนได้ด้วยจุด (Point Feature) ตัวอย่างลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่เป็นจุด ได้แก่ หมุดหลักเขต บ่อน้ำ จุดชมวิว จุดความสูง อาคาร และสิ่งก่อสร้าง ทั้งนี้ ข้อมูลค่าพิกัดของจุด ได้แก่ ค่าพิกัด (x, y) 1 คู่ แทนตำแหน่งของจุด หรือไม่มีความยาวหรือพื้นที่

ข้อพิจารณาเกี่ยวกับมาตราส่วน คือ มาตราส่วนแผนที่จะเป็นตัวกำหนดการแทนปรากฏการณ์บนโลกด้วยจุด ซึ่งบนแผนที่โลกมาตราส่วนเล็กจะแทนค่าที่ตั้งของเมืองด้วยจุด แม้ว่าในความเป็นจริงเมืองดังกล่าวจะครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างกว่านั้นก็ตาม ในขณะที่เดียวกันบนแผนที่โลกมาตราส่วนที่ใหญ่ขึ้น เมืองดังกล่าวอาจปรากฏเป็นพื้นที่ในวงที่กว้างขึ้นและแต่ละอาคารจะถูกแทนค่าด้วยจุด

2. เส้น (Arc) ลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่วางตัวไปตามทางระหว่างจุด 2 จุด จะแทนด้วยเส้น (Arc Feature) ตัวอย่างลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่เป็นเส้น ได้แก่ ลำน้ำ ถนน โครงข่ายสาธารณูปโภค และเส้นชั้นความสูง ทั้งนี้ ข้อมูลค่าพิกัดของ Arc ได้แก่ (1) Vertex (ค่าพิกัด x, y คู่หนึ่งบน Arc) เป็นตัวกำหนดรูปร่างของ Arc (2) Arc หนึ่งเส้นเริ่มต้นและจบลงด้าน Node (3) Arc

ที่ตัดกันจะเชื่อมต่อกันที่ Node และ (4) ความยาวของ Arc กำหนดโดยระบบค่าพิกัด(ข้อจำกัดเกี่ยวกับ Arc คือ Arc 1 เส้น มี Vertex ได้ไม่เกิน 500 Vertex โดย vertex ลำดับที่ 500 จะเปลี่ยนเป็น Node และเริ่มต้น เส้นใหม่ด้วยการ Identifier ค่าใหม่โดยอัตโนมัติ)

3. พื้นที่ (Polygon) ลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่มีพื้นที่เดียวกันจะถูกล้อมรอบด้วยเส้นเพื่อแสดงขอบเขต ตัวอย่างข้อมูลที่เป็นพื้นที่ ได้แก่ เขตตำบล อำเภอ จังหวัด ขอบเขตอุทยานแห่งชาติ และเขตนํ้าท่วม ทั้งนี้ ข้อมูลค่าพิกัดของ Polygon ได้แก่ Polygon จะประกอบด้วย Arc ตั้งแต่ 1 เส้นขึ้นไป แต่มี 1 Label point หรือมี Label point 1 point อยู่ในพื้นที่ปิดและใช้ในการแยกแยะแต่ละ polygon ออกจากกัน

**ข้อพิจารณาเกี่ยวกับมาตราส่วน คือ มาตราส่วนของแหล่งที่มาของข้อมูลจะเป็นตัวกำหนดการแทนปรากฏการณ์บนโลกแห่งความเป็นจริงด้วย point หรือ polygon ตัวอย่าง เช่น อาคารบนมาตราส่วนขนาดใหญ่ เช่น 1 ต่อ: 4,000 เป็น polygon ที่ถูกกำหนดขึ้น โดยขอบเขตอาคารบนแผนที่ 1 ต่อ 50,000 ที่มาตราส่วนเล็กกว่า อาคารจะแสดงด้วยจุด

2.9.7 เทคนิคและวิธีการนำเข้าสู่ข้อมูล

การนำเข้าสู่ข้อมูล (Input data) เป็นกระบวนการบันทึกข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ดังนั้น การสร้างฐานข้อมูลที่ละเอียดและถูกต้องจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการปฏิบัติงานด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งจำเป็นต้องมีการประเมินคุณภาพข้อมูลเพื่อคัดเลือกข้อมูลที่จะนำเข้าสู่ระบบฐานข้อมูล ทั้งในส่วนแหล่งที่มาของข้อมูล วิธีการสำรวจข้อมูลมาตราส่วนของแผนที่ ความถูกต้องและความละเอียดของข้อมูล พื้นที่ที่ข้อมูลครอบคลุมถึง และปีที่จัดทำข้อมูล

1. การนำเข้าสู่ข้อมูลเชิงพื้นที่ สามารถทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ การดิจิไทซ์ (Digitize) และการกวาดตรวจ (Scan) ซึ่งทั้ง 2 วิธีต่างก็มีข้อดีและข้อด้อยที่ต่างกัน กล่าวคือ การนำเข้าสู่ข้อมูลโดยวิธีกวาดตรวจจะมีความรวดเร็วและถูกต้องมากกว่าวิธีการเข้าสู่ข้อมูลแผนที่ โดยการดิจิไทซ์และเหมาะสำหรับงานที่มีปริมาณมาก แต่การนำเข้าสู่ข้อมูลโดยการดิจิไทซ์จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยกว่าและเหมาะสำหรับงานที่มีปริมาณน้อย

การใช้เครื่องอ่านพิกัด (Digitizer) เป็นการแปลงข้อมูลเข้าสู่ระบบโดยนำแผนที่มาตรึงบนโต๊ะ และกำหนดจุดอ้างอิง (control point) อย่างน้อยจำนวน 4 จุด แล้วนำตัวชี้ตำแหน่ง (Cursor) ลากไปตามเส้นของรายละเอียดบนแผนที่ ในขณะที่การใช้เครื่องกวาดภาพ (Scanner) เป็นเครื่องมือที่วัดความเข้มของแสงที่สะท้อนจากลายเส้นบนแผนที่ โดยมีผลลัพธ์เป็นข้อมูลในรูปแบบแรสเตอร์ (raster format) ซึ่งเก็บข้อมูลในรูปของตารางกริดสี่เหลี่ยม (pixel) ค่าความ

คมชัดหรือความละเอียดมีหน่วยวัดเป็น DPI (Dot Per Inch) แล้วทำการแปลงข้อมูลแรสเตอร์เป็นข้อมูลเวกเตอร์ ที่เรียกว่า Raster to Vector conversion ด้วยโปรแกรม GEOVEC for Micro station หรือ R2V

2. การนำเข้าข้อมูลเชิงบรรยาย ซึ่งมีการจำแนกและจัดหมวดหมู่แล้ว สามารถนำเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลด้วยแป้นพิมพ์ (Keyboard) สำหรับโปรแกรม PC ARC/Info จะจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบของ dBASE ด้วยคำสั่ง Tables ส่วนโปรแกรมจัดการฐานข้อมูลแบบ Relational data base ทั่วๆ ไปบนเครื่อง PC เช่น Foxpro, Access หรือ Excel จำเป็นต้องแปลงข้อมูลให้เข้าอยู่ในรูปของ DBF file ก่อนการนำเข้าสู่ PC ARC/Info

(ศูนย์วิจัยภูมิศาสตร์สารสนเทศเพื่อประเทศไทย คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 3/3/2014)

2.10 แบบจำลองน้ำบาดาล MODFLOW (MODFLOW Groundwater models)

ปัจจุบันมีแบบจำลองน้ำบาดาลที่จัดทำเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปอยู่จำนวนมาก ซึ่งแบบจำลองน้ำบาดาลที่ได้รับการยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ แบบจำลองในตระกูล MODFLOW ซึ่งเป็นในรูปแบบสามมิติ หรือ Three-dimensional finite-difference groundwater flow model เขียนโดย McDonald and Harbaugh (1988) สามารถประยุกต์ใช้ในชั้นน้ำบาดาลทั้งแบบมีแรงดันไม่มีแรงดัน หรือทั้งสองกรณีรวมกัน โดยแบบจำลองนี้สามารถใช้จำลองในเรื่องของปริมาณน้ำที่ลงไปเพิ่มเติม (Recharge) การคายระเหยน้ำ (Evapotranspiration) การไหลเข้าสู่บ่อบาดาล (Flow to wells) การไหลเข้าสู่ทางน้ำ (Flow to drains) และอื่น ๆ โดยแยกเป็นชุดของโปรแกรม (Modules) ซึ่งสามารถเลือกใช้แยกกันโดยอิสระ ทั้งนี้ ได้มีการพัฒนาโปรแกรมดังกล่าวหลายชุด โดยในปี ค.ศ. 1998 บริษัท Waterloo Hydrogeologic Inc. ได้พัฒนาโปรแกรม Version 2.1 พร้อมทั้งการเขียนและอุปกรณ์ความสะดวกในการป้อนข้อมูล (Preprocessing) และโปรแกรมแสดงผล (Post-processing) เพื่อให้เกิดความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ได้แก่ โปรแกรม Visual MODFLOW ในโปรแกรม Visual MODFLOW รวมถึงได้รวมโปรแกรม MODPATH (Pollock, 1989) และโปรแกรม MT3D (Zheng, 1990) เข้าด้วยกัน ซึ่งโปรแกรม MODPATH เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณความเร็วของการไหลของน้ำบาดาล แนวทิศทางการไหล (Flow path lines) และเวลาที่ใช้ในการเดินทาง (Travel times) ของน้ำบาดาล ในขณะที่โปรแกรม MT3D เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำบาดาล และสามารถจำลอง

สถานการณ์ของการนำพาสารปนเปื้อน ตลอดจนการสลายตัวของสารปนเปื้อนในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ด้วย ดังนั้น ในการสร้างแบบจำลองน้ำบาดาลแบบเบ็ดเสร็จ จะใช้แบบจำลอง MODFLOW จำลองการไหลของน้ำบาดาลสำหรับพื้นที่ศึกษา ตามด้วยการใช้โปรแกรม MODPATH เพื่อจำลองทิศทางการไหล (Flow Paths) และโปรแกรม MT3D เพื่อการคำนวณความเข้มข้นของสารปนเปื้อนต่าง ๆ ที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางการไหลของน้ำบาดาลดังกล่าว โดยสามารถดูรายละเอียดและการ Download โปรแกรมต่าง ๆ ได้ที่เว็บไซต์ <http://water.usgs.gov/software/>

แบบจำลองคณิตศาสตร์น้ำบาดาล MODFLOW เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่คำนวณการไหลของน้ำบาดาลในรูปแบบสามมิติ ที่พัฒนาขึ้นโดย USGS เมื่อปี 1988 โดยแบบจำลองนี้ใช้สมการ DARCY และ สมการ Partial Differential Equation ซึ่งเป็นสมการรูปหนึ่งของสมการความต่อเนื่องและคำนวณในรูปของ Finite Difference เพื่อพิจารณาหากน้ำบาดาลมีความหนาแน่นคงที่และมีความต่อเนื่อง ซึ่งการแบ่งเขตชั้นน้ำบาดาลออกเป็นเซลล์สามารถสรุปได้ว่า ผลรวมปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและออกจากเซลล์หนึ่ง ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลาจะต้องมีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในเซลล์นั้น ๆ โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ในรูปของสมการความต่อเนื่องได้ ดังนี้

$$\text{สมการ Partial Differential Equation} \quad \Sigma Q_i = Ss \Delta h \Delta V \quad (2-6)$$

เมื่อ Q_i คือปริมาณการไหลที่เซลล์นั้น ๆ (L^3T^{-1})

Ss เป็นเครื่องหมายอธิบายการกักเก็บจำเพาะในสมการ Finite Difference

ΔV คือปริมาตรของเซลล์นั้น ๆ (L^3)

Δh คือการเปลี่ยนแปลง head ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ

ผนวกกับ Darcy's Law โดยสมมติการไหลในเซลล์ i, j, k ได้ดังนี้

$$q_{i,j-1/2,k} = KR_{i,j-1/2,k} \Delta c_j \Delta v_k \frac{(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k})}{\Delta r_{j-1/2}} \quad (2-7)$$

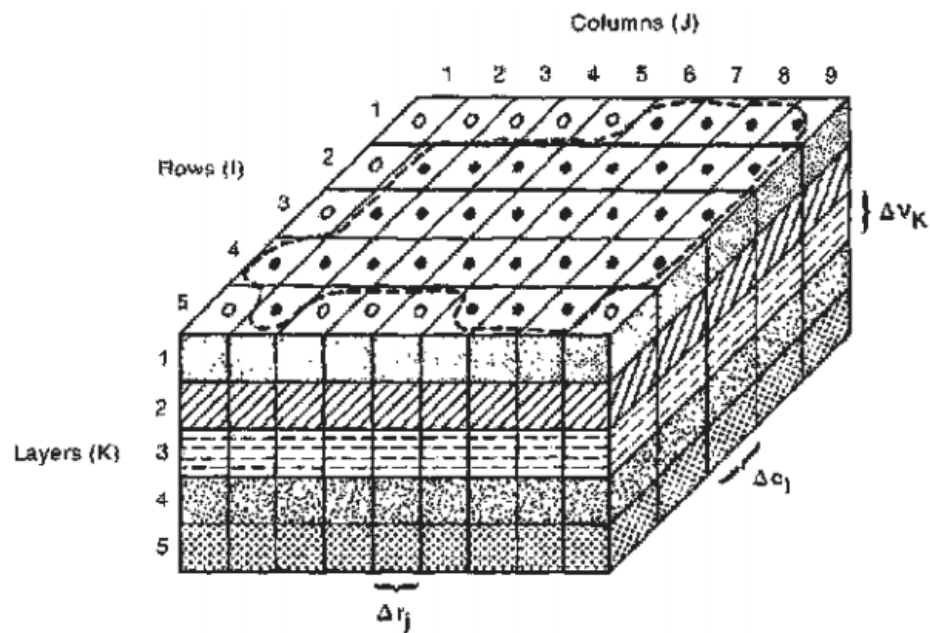
เมื่อ $h_{i,j,k}$ คือ Head ที่เซลล์ i,j,k และ $h_{i,j-1,k}$ คือ Head ที่เซลล์ $i,j-1,k$

$q_{i,j-1,k}$ คือปริมาตรการไหลที่ผ่านหน้าตัดระหว่างเซลล์ i,j,k และ $i,j-1,k$

$KR_{i,j-1/2,k}$ คือสัมประสิทธิ์ที่ความนำชลศาสตร์ตามแนวระหว่างเซลล์ i,j,k และ $i,j-1,k$

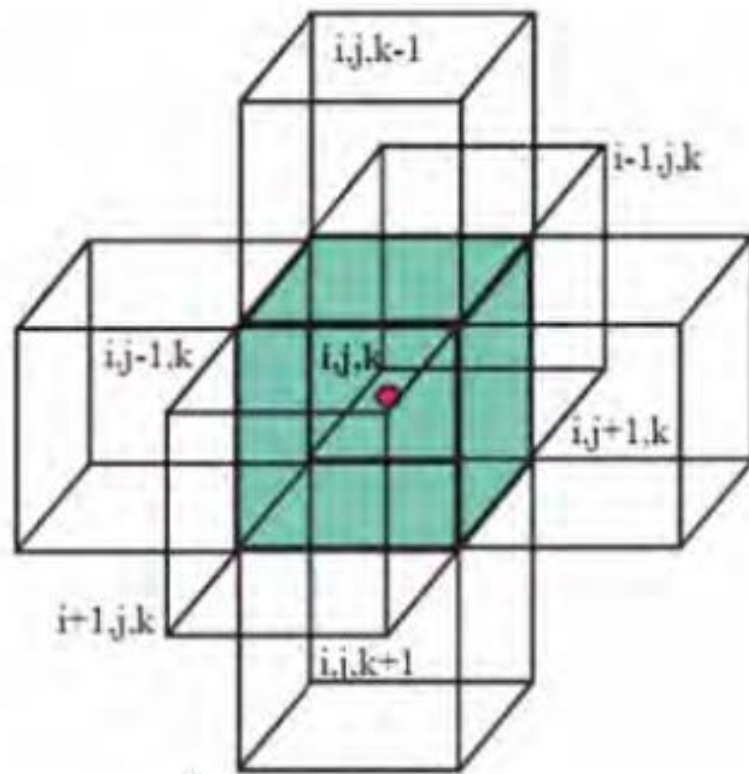
$\Delta C_i \Delta v_k$ คือพื้นที่หน้าตัดของเซลล์ที่ตั้งฉากกับทิศทางของแถว

Δr คือระยะระหว่างจุด i,j,k และ $i,j-1,k$ (L)



รูปที่ 2- 19 ระบบชั้นน้ำบาดาลที่ถูกแบ่งเป็นเซลล์ย่อย (Arlai, 2007)

ภาพข้างต้นแสดงระบบชั้นน้ำบาดาลที่ถูกแบ่งเป็นเซลล์ย่อย เพื่อใช้ในการคำนวณการไหลของน้ำบาดาล โดยมีชั้นที่เป็นเส้นประ (---) เป็นขอบเขตชั้นน้ำบาดาล ชั้นที่เป็นจุดดำตรงกลาง ● ระบุตำแหน่งเซลล์ที่ใช้ในการคำนวณ ชั้นที่เป็นวงกลมสีขาวตรงกลาง ○ ระบุตำแหน่งเซลล์ที่ไม่ใช้ในการคำนวณ Δr_j คือ ขนาดทิศทางตามแถว โดย j คือ จำนวนเซลล์ในคอลัมน์ Δc_i คือ ขนาดทิศทางตามคอลัมน์ โดย i คือ จำนวนเซลล์ในแถว และ Δv_k คือ การวัดความหนาตามทิศทางที่ตั้งฉาก โดย k คือ จำนวนเซลล์ของความหนา



รูปที่ 2- 20 เซลล์ i, j, k และ อีก 6 เซลล์ที่ต่อเนื่องจากเซลล์ i, j, k (Arlai,2007)

ตารางที่ 2- 11 ชุดการคำนวณในแบบจำลอง MODFLOW (ที่มา: ปณต, 2550)

ชื่อชุดการคำนวณ	หน้าที่
Basic	จัดการพื้นฐานของแบบจำลอง เช่น การกำหนดขอบเขตระบบกิริต ช่วงเวลาในการคำนวณ เงื่อนไขตั้งต้น และรูปแบบการนำเสนอผลลัพธ์
Block Centered Flow	กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณสมการเชิงอนุพันธ์ของการไหลในตัวกลางรูพรุนแต่ละกิริตเซลล์ เช่น ค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำ
Well	การจัดการข้อมูลการสูบน้ำ ที่ตั้งบ่อบาดาล และพจน์ที่เกี่ยวข้องในสมการเชิงอนุพันธ์
Recharge	จัดการข้อมูลการเติมน้ำและระดับน้ำ
River	จัดการข้อมูลทางน้ำและระดับในทางน้ำ ซึ่งมีผลต่อการไหลของน้ำบาดาล
Drain	จัดการข้อมูลการระบายน้ำ
Evapotranspiration	จัดการข้อมูลการระเหย
General Head Boundary	กำหนดระดับน้ำบาดาลในชั้นน้ำต่าง ๆ ในการคำนวณสมการเชิงอนุพันธ์
Strongly Implicit Procedure	ควบคุมระเบียบวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาในระบบสมการ Finite Difference โดยการคำนวณซ้ำแบบ Implicit
Slice Successive Over-relaxation	ควบคุมระเบียบวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาในระบบสมการ Finite Difference

2.11 ข้อมูลทั่วไปพื้นที่ศึกษา

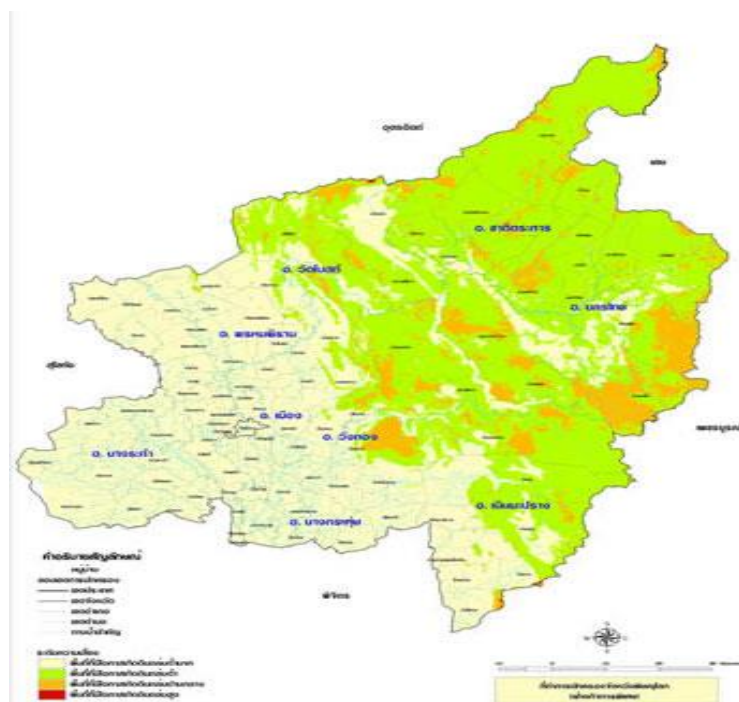
2.11.1 จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก

จังหวัดสุโขทัย

ขนาดและที่ตั้ง จังหวัดสุโขทัยตั้งอยู่ภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย ห่างจากกรุงเทพฯ ตามระยะทางหลวงแผ่นดินประมาณ 440 กิโลเมตร มีเนื้อที่ประมาณ 6,596,092 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 4,122,557 ไร่

อาณาเขต	จังหวัดสุโขทัยมีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง ดังนี้ ทิศเหนือ เขตอำเภอศรีสำราญ ติดต่อกับ อำเภอวังชิ้น อำเภอสูงเม่น จังหวัดแพร่ และอำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ทิศใต้ เขตอำเภอศรีมาศ และอำเภอกงไกรลาศ ติดต่อกับ อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร และอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ทิศตะวันออก เขตอำเภอกงไกรลาศ อำเภอศรีสำราญ และอำเภอสวรรคโลก ติดต่อกับอำเภอพรหมพิราม อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก และอำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ ทิศตะวันตก เขตอำเภอบ้านด่านลานหอย และอำเภอทุ่งเสลี่ยม ติดต่อกับอำเภอเมืองตาก อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก และอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง
สภาพภูมิประเทศ	จังหวัดสุโขทัยมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม โดยตอนเหนือเป็นที่ราบสูงมีภูเขาเป็นพืดยาวมาทางทิศตะวันตก พื้นที่ตอนกลางเป็นที่ราบและตอนใต้เป็นที่ราบสูง มีแม่น้ำไหลผ่านจากเหนือลงใต้ โดยผ่านพื้นที่อำเภอศรีสำราญ สวรรคโลก ศรีสำราญ เมืองสุโขทัย และอำเภอ กงไกรลาศ เป็นระยะทางประมาณ 170 กิโลเมตร จังหวัดสุโขทัยมีภูเขาที่สูงที่สุด คือ เขาหลวง ซึ่งยอดเขามีความสูง 1,200 เมตร จากระดับน้ำทะเล
สภาพภูมิอากาศ	โดยทั่วไปของจังหวัดสุโขทัย มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปตามอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว อุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดปี ประมาณ 27.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 33.0 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 22.2 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยทั้งปี ประมาณ 1,208.8 มิลลิเมตร บริเวณที่มีฝนตกมากที่สุดจะอยู่ตอนบนของจังหวัด บริเวณอำเภอศรีสำราญ และอำเภอศรีนคร
(สำนักงานจังหวัดสุโขทัย)	
จังหวัดพิษณุโลก	
ขนาดและที่ตั้ง	จังหวัดพิษณุโลกเป็นจังหวัดอยู่ในเขตภาคเหนือตอนล่าง ห่างจากกรุงเทพฯ โดยทางรถยนต์ประมาณ 377 กิโลเมตร มีเนื้อที่ 10,815.8

	<p>ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 6,759,909 ไร่ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 6.37 ของพื้นที่ภาคเหนือ และร้อยละ 2.1 ของพื้นที่ทั้งประเทศ</p>
<p>อาณาเขต</p>	<p>จังหวัดพิษณุโลกมีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง ดังนี้ ทิศเหนือติดกับอำเภอน้ำปาด อำเภอพิชัย อำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุตรดิตถ์และสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ทิศใต้ติดกับอำเภอเมือง อำเภอสามง่าม อำเภอวังทรายพูน อำเภอสากเหล็ก จังหวัดพิจิตร ทิศตะวันออกติดกับอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย และ อำเภอเขาค้อ อำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์ ทิศตะวันตกติดกับอำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร และอำเภอศรีมาศ อำเภอกงไกรลาส จังหวัดสุโขทัย</p>
<p>สภาพภูมิประเทศ</p>	<p>จังหวัดพิษณุโลก ทางตอนเหนือและตอนกลางเป็นเขตที่เอิกเขาสสูง และที่ราบสูง โดยมีเขตภูเขาสูงด้าน ตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งอยู่ในเขตอำเภอวังทอง วัดโบสถ์ เนินมะปราง นครไทย และชาติตระการ พื้นที่ตอนกลางมาทางใต้เป็นที่ราบ และตอนใต้เป็นที่ราบลุ่มโดยเฉพาะบริเวณลุ่มแม่น้ำน่าน และแม่น้ำยม ซึ่งเป็นแหล่งการเกษตรที่สำคัญที่สุดของจังหวัดพิษณุโลกอยู่ในเขตอำเภอบางระกำ อำเภอเมืองพิษณุโลก อำเภอพรหมพิราม อำเภอเนินมะปราง และบางส่วนของอำเภอวังทอง แบ่งได้เป็น 3 เขต คือ</p> <ul style="list-style-type: none"> - เขตภูเขาสูง ได้แก่ พื้นที่ทางด้านตะวันออก ซึ่งมีลักษณะเป็นเทือกเขาสูง แนวกันเขตแดนไทย-ลาว เป็นรอยต่อของจังหวัดพิษณุโลก เพชรบูรณ์ และเลย - เขตที่ราบลุ่มแม่น้ำ ได้แก่ พื้นที่ในบริเวณด้านทิศเหนือและด้านทิศ ตะวันออก มีแม่น้ำสายสำคัญไหลผ่าน คือ แม่น้ำน่าน แม่น้ำแควน้อย แม่น้ำเข็กหรือแม่น้ำวัง - เขตที่ราบเชิงเขา ได้แก่ พื้นที่บริเวณ ตอนกลางของจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเกิดจากแนวเขาที่ไม่สูงมาก เชิงเขาสมอแครง เขาฟ้า เขาช่องลม และเขาผาทำพล



รูปที่ 2- 21 ภูมิประเทศจังหวัดพิษณุโลก (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพิษณุโลก, 2553)

สภาพภูมิอากาศ

จังหวัดพิษณุโลกมีลมมรสุมพัดผ่านจากมหาสมุทรแปซิฟิก และมหาสมุทรอินเดีย โดยเป็นลมที่เกิดจากความแตกต่างทางด้านอุณหภูมิและความกดอากาศระหว่างพื้นดินทวีปเอเชีย โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ฤดูกาล

- ฤดูฝน ลมมรสุมทิศใต้เริ่มประมาณเดือนพฤษภาคม – ตุลาคม ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยโดยประมาณปีละ 1,375 มิลลิเมตร
- ฤดูหนาว ลมมรสุมทิศเหนือ ระยะยาวประมาณ 2-3 เดือน ประมาณเดือนพฤศจิกายน – มกราคม ซึ่งจะหนาวจัดประมาณปลายเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคม อุณหภูมิโดยเฉลี่ยประมาณ 19 องศาเซลเซียส
- ฤดูร้อน ลมมรสุมทิศเหนือประมาณเดือนกุมภาพันธ์ – เมษายน โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของฤดูร้อนประมาณ 32-35 องศาเซลเซียส

(สำนักงานจังหวัดพิษณุโลก, สำนักงานจังหวัดสุโขทัย, สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพิษณุโลก, 2553)

2.11.2 จังหวัดสุพรรณบุรี

ขนาดและที่ตั้ง	<p>จังหวัดสุพรรณบุรีตั้งอยู่ในภาคกลางด้านตะวันตกของประเทศไทย มีแม่น้ำสุพรรณบุรีหรือแม่น้ำท่าจีนไหลผ่านตามแนวยาวของจังหวัดจากเหนือจรดใต้ จังหวัดสุพรรณบุรีตั้งอยู่ ระหว่างเส้นรุ้งที่ 14 องศา 4 ลิปดา ถึง 15 องศา 5 ลิปดาเหนือ และระหว่างเส้นแวงที่ 99 องศา 17 ลิปดา ถึง 100 องศา 16 ลิปดาตะวันออก อยู่สูงจากระดับน้ำมีพื้นที่ประมาณ 5,358 ตารางกิโลเมตร หรือ 3,348,755 ไร่ อยู่ห่างจากกรุงเทพมหานคร ทางรถยนต์ 107 กิโลเมตร และทางรถไฟ 142 กิโลเมตร แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 10 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอบางปลาม้า อำเภอศรีประจันต์ อำเภอดอนเจดีย์ อำเภอเดิมบางนางบวช อำเภออู่ทอง อำเภอสามชุก อำเภอหนองหญ้าไซ อำเภอสองพี่น้อง และอำเภอด่านช้าง อาณาเขตทิศเหนือ ติดต่อกับจังหวัดชัยนาท และจังหวัดอุทัยธานีทิศใต้ ติดต่อกับจังหวัดนครปฐมทิศตะวันออก ติดต่อกับจังหวัดอ่างทอง พระนครศรีอยุธยา และสิงห์บุรีทิศตะวันตก ติดต่อกับจังหวัดกาญจนบุรี</p>
สภาพภูมิประเทศ	<p>จังหวัดสุพรรณบุรีมีลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม มีพื้นที่บางส่วนเป็นที่ราบสูง โดยมีความลาดเทระหว่างร้อยละ 0-3 อยู่ทางด้านตะวันออกของจังหวัด ตลอดแนวเหนือจรดใต้ พื้นที่ต่ำสุดอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้สูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง 3 เมตร ส่วนทางเหนือของจังหวัดอยู่สูงจากระดับน้ำทะเล ปานกลางเฉลี่ยประมาณ 10 เมตร โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดสุพรรณบุรีใช้ทำนาข้าวมีแม่น้ำลำคลองหนองบึงอยู่ ทั่วไป แม่น้ำสายสำคัญที่ไหลผ่านจากเหนือสุดถึงใต้สุด ได้แก่ แม่น้ำท่าจีน หรือแม่น้ำสุพรรณบุรี ในฤดูน้ำหลากจะมีน้ำท่วมขังในเขตอำเภอเมืองสุพรรณบุรี อำเภอบางปลาม้า และอำเภอสองพี่น้องพื้นที่ทางตอนเหนือและตะวันตกของจังหวัดมี สภาพเป็นภูเขาและที่ราบสูง โดยเฉพาะในเขตพื้นที่อำเภอเดิมบางนางบวช อำเภอด่านช้าง รวมทั้งในบางพื้นที่ของอำเภอดอนเจดีย์ และอำเภอหนองหญ้าไซ</p>
สภาพภูมิอากาศ	<p>โดยทั่วไปมีลักษณะร้อนชื้น กล่าวคือ ฤดูร้อน ได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือและลมฝ่ายใต้ พัดผ่านตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึง</p>

กลางเดือนพฤษภาคม ฤดูฝนได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ตั้งแต่ กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม และฤดูหนาวได้รับ อิทธิพลจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือตั้งแต่ กลางเดือนตุลาคมถึง กลางเดือนกุมภาพันธ์

(สำนักงานจังหวัดสุพรรณบุรี, 2556)

2.11.3 จังหวัดฉะเชิงเทรา

ขนาดและที่ตั้ง	จังหวัดฉะเชิงเทรา ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของประเทศ ประมาณเส้นรุ้งที่ 13 องศาเหนือ และเส้นแวงที่ 100 องศาตะวันออก มีเนื้อที่ประมาณ 5,351 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 3,344,375 ไร่ อยู่ห่างจากกรุงเทพฯ ทางทิศตะวันออกประมาณ 75 กิโลเมตร ตามทางหลวงรถยนต์หมายเลข 304 และประมาณ 100 กิโลเมตร ตามทางหลวงหมายเลข 3 หรือ ประมาณ 90 กิโลเมตร ตามทางหลวงรถยนต์หมายเลข 34 แยกเข้า หมายเลข 314 และประมาณ 61 กิโลเมตร ตามทางรถไฟสายตะวันออก
อาณาเขต	ทิศเหนือติดกับจังหวัดปราจีนบุรีและนครนายก ทิศใต้ติดกับจังหวัดชลบุรี และจันทบุรี ทิศตะวันออกติดกับจังหวัดสระแก้ว ทิศตะวันตกติดกับ จังหวัดสมุทรปราการและกรุงเทพฯ
สภาพภูมิประเทศ	ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดฉะเชิงเทราเป็นที่ราบชายฝั่งทะเล ทางด้านตะวันตกเฉียงใต้สูงกว่าระดับน้ำทะเลประมาณ 2 เมตร และมี ที่ดินบางส่วนโดยเฉพาะในเขตอำเภอสนามชัยเขตและอำเภอท่าตะเกียบ ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นที่ดอนซึ่งบริเวณที่อยู่ถัดเข้าไปในพื้นที่แผ่นดิน ด้านตะวันออกเฉียงเหนือมีสภาพพื้นที่ราบ ซึ่งเกิดจากการทับถมของ ตะกอนลำน้ำ พื้นที่จะค่อย ๆ ลาดสูงขึ้นไปทางทิศตะวันออกและทิศเหนือ โดยที่ประมาณครึ่งหนึ่งของจังหวัดจะมีสภาพเป็นลูกคลื่นและสูงชัน เป็น พื้นที่ภูเขา ซึ่งอยู่ในพื้นที่อำเภอพนมสารคามและอำเภอสนามชัยเขตมี ความสูงจากระดับน้ำทะเล 30-80 เมตร จังหวัดฉะเชิงเทรา มีแม่น้ำ บางปะกงไหลผ่านพื้นที่อำเภอต่าง ๆ คือ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว อำเภอบาง คล้าย อำเภอเมือง อำเภอบ้านโพธิ์ และออกสู่อ่าวไทยที่อำเภอบางปะกง

รวมความยาวชายฝั่งทะเลประมาณ 12 กิโลเมตร ทั้งนี้ สามารถจำแนก ลักษณะภูมิประเทศ ออกได้ 3 เขตใหญ่ ๆ คือ

- เขตที่ราบลุ่มแม่น้ำ เป็นบริเวณที่มีความสำคัญมากที่สุดของจังหวัด ฉะเชิงเทรา เพราะเป็นพื้นที่ราบเรียบ ดินอุดมสมบูรณ์ และมีน้ำเพื่อการ ชลประทานอย่างเพียงพอ เขตพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำจะครอบคลุมพื้นที่ ประมาณร้อยละ 37.7 ของพื้นที่จังหวัด หรือประมาณ 2,042.7 ตาราง กิโลเมตร ซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอบางปะกง อำเภอบ้านโพธิ์ อำเภอเมือง ฉะเชิงเทรา อำเภอบางน้ำเปรี้ยว อำเภอบางคล้า อำเภอราชสาส์น อำเภอ คลองเขื่อน และบางส่วนของอำเภอแปลงยาวและอำเภอพนม สารคาม ที่ราบลุ่มแม่น้ำบางปะกงและสาขานี้จะมีชื่อเรียก อีกอย่างว่า “ที่ราบฉนวนไทย” ซึ่งถือได้ว่าเป็นเขตเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัด ฉะเชิงเทรา เพราะที่ราบลุ่มผืนนี้ เป็นแหล่งผลิตข้าวเพื่อการค้าที่สำคัญ ของภาคตะวันออกของประเทศไทย

- เขตที่ดอนหรือที่ราบลูกฟูก เขตพื้นที่นี้อยู่ในบริเวณตอนกลางค่อนข้างไป ทางตะวันตกและทางเหนือที่ติดต่อกับจังหวัดปราจีนบุรี โดยครอบคลุม พื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัด คือ ประมาณร้อยละ 51.21 หรือประมาณ 2,205.6 ตารางกิโลเมตร ซึ่งกระจัดกระจายอยู่ในเขตอำเภอสนามชัยเขต อำเภอกำแพงแสน และบางส่วนของอำเภอพนมสารคามและอำเภอ แปลงยาว ความสูงเฉลี่ยระดับเหนือน้ำทะเลเฉลี่ย 4.20 เมตร ไม่เหมาะ แก่การทำนา พื้นที่ส่วนใหญ่ใช้ในการทำไร่ ได้แก่ มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพด เลี้ยงสัตว์ และสับปะรด

- เขตที่ราบสูงและภูเขาเทือกเขาที่ปรากฏทางตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งไป สิ้นสุดลง ในเขต ท้องที่ของจังหวัดชลบุรี ครอบคลุมพื้นที่ประมาณร้อยละ 11.2 หรือประมาณ 1,174.7 ตารางกิโลเมตร ซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่ของ อำเภอสนามชัยเขต อำเภอพนมสารคาม อำเภอกำแพงแสน และบางส่วนของ อำเภอแปลงยาว

สภาพภูมิอากาศ

จังหวัดฉะเชิงเทรามีลักษณะอากาศร้อนชื้นเขตร้อนชื้น โดยมียุคฤดูร้อน โดยมีลมมรสุมพัดปกคลุมเกือบตลอดปี แบ่งออกตามฤดูกาลได้ 3 ฤดู ดังนี้

- ฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม โดยมีลมตะวันออกเฉียงใต้พัดปกคลุม ทำให้มีอากาศร้อนอบอ้าวและอากาศร้อนจัดเป็นบางวัน บางครั้งอาจมีพายุฤดูร้อน ลักษณะเป็นฝนฟ้าคะนองและลมกระโชกแรงอุณหภูมิอากาศสูงสุดเฉลี่ย 35-38 องศาเซลเซียส ปริมาณฝนรวมเฉลี่ย 200-300 มิลลิเมตร เป็นช่วงที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชไร่ อายุการเก็บเกี่ยวสั้น เช่น ข้าวโพดและถั่วต่างๆ

- ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม โดยมีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุม ประกอบกับมีร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้มี ฝนฟ้าคะนองเกือบทั่วไป และตกหนักบางพื้นที่ อาจก่อให้เกิดน้ำท่วมฉับพลันในที่ราบลุ่มแม่น้ำบางปะกง โดยมีปริมาณฝนเฉลี่ย 1,000-1,200 มิลลิเมตร เป็นช่วงที่เหมาะสมแก่การทำนาและปลูกไม้ผล ฝนส่วนใหญ่ที่ตกลงมาเป็นฝนที่ตกในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะตกในพื้นที่อำเภอสนามชัยเขต และอำเภอท่าตะเกียบ ซึ่งจังหวัดฉะเชิงเทราจะได้รับอิทธิพลจากลมบก ลมทะเล ประกอบกับการตั้งอยู่ในเขตรมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ดังนั้นจึงมีปริมาณฝนตกเพียงพอตามฤดูกาล ความชื้นใกล้เคียงกับจังหวัดชายฝั่งทะเลตะวันออก

- ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยมีลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พัดปกคลุม ประกอบกับบริเวณความกดอากาศสูงพัดผ่านทำให้ท้องฟ้าโปร่ง อากาศเย็นกับมีหมอกในตอนเช้า และมีฟ้าหลัวในตอนกลางวัน อุณหภูมิอากาศต่ำสุดเฉลี่ย 18-21 องศาเซลเซียส ปริมาณฝนรวมเฉลี่ย 50-100 มิลลิเมตร เป็นช่วงที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชผักสวนครัว ไม้ดอกและไม้ประดับ

สถิติข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศชลบุรี (ซึ่งเป็นสถานีที่ใกล้เคียงจังหวัดฉะเชิงเทรามากที่สุด เนื่องจากจังหวัดฉะเชิงเทราไม่มีสถานีตรวจวัดอากาศ) ของกรมอุตุนิยมวิทยาในคาบ 10 ปี (ระหว่างปี

2538-2547) พบว่า จังหวัดฉะเชิงเทรามีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน
สูงสุด 150.0 มิลลิเมตร ในเดือนกรกฎาคม จำนวนฝนตกเฉลี่ย 117.4 วัน
และมีค่าการระเหยเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดในเดือนเมษายน วัดได้ 172.1
มิลลิเมตร

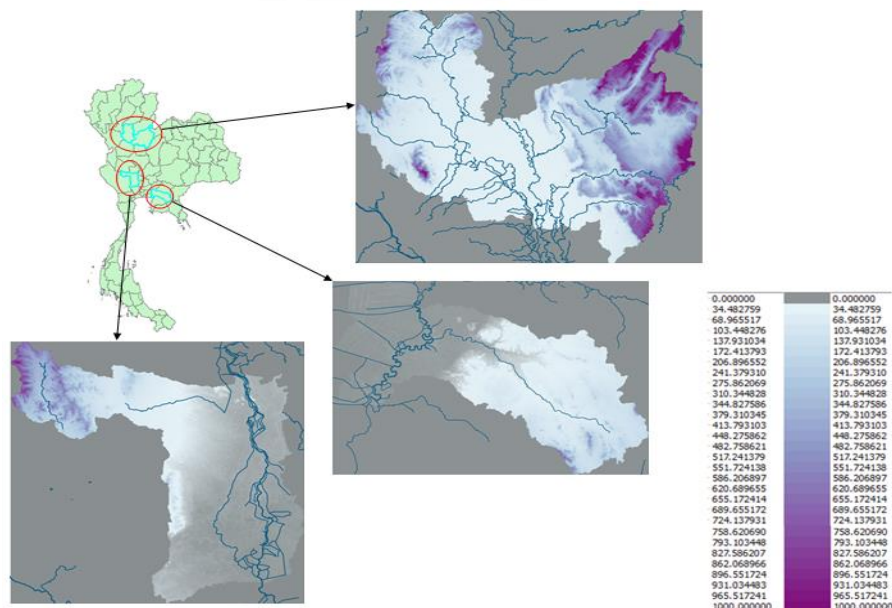
(ที่มา แผนปฏิบัติการประจำปีของจังหวัดฉะเชิงเทรา, 2556)



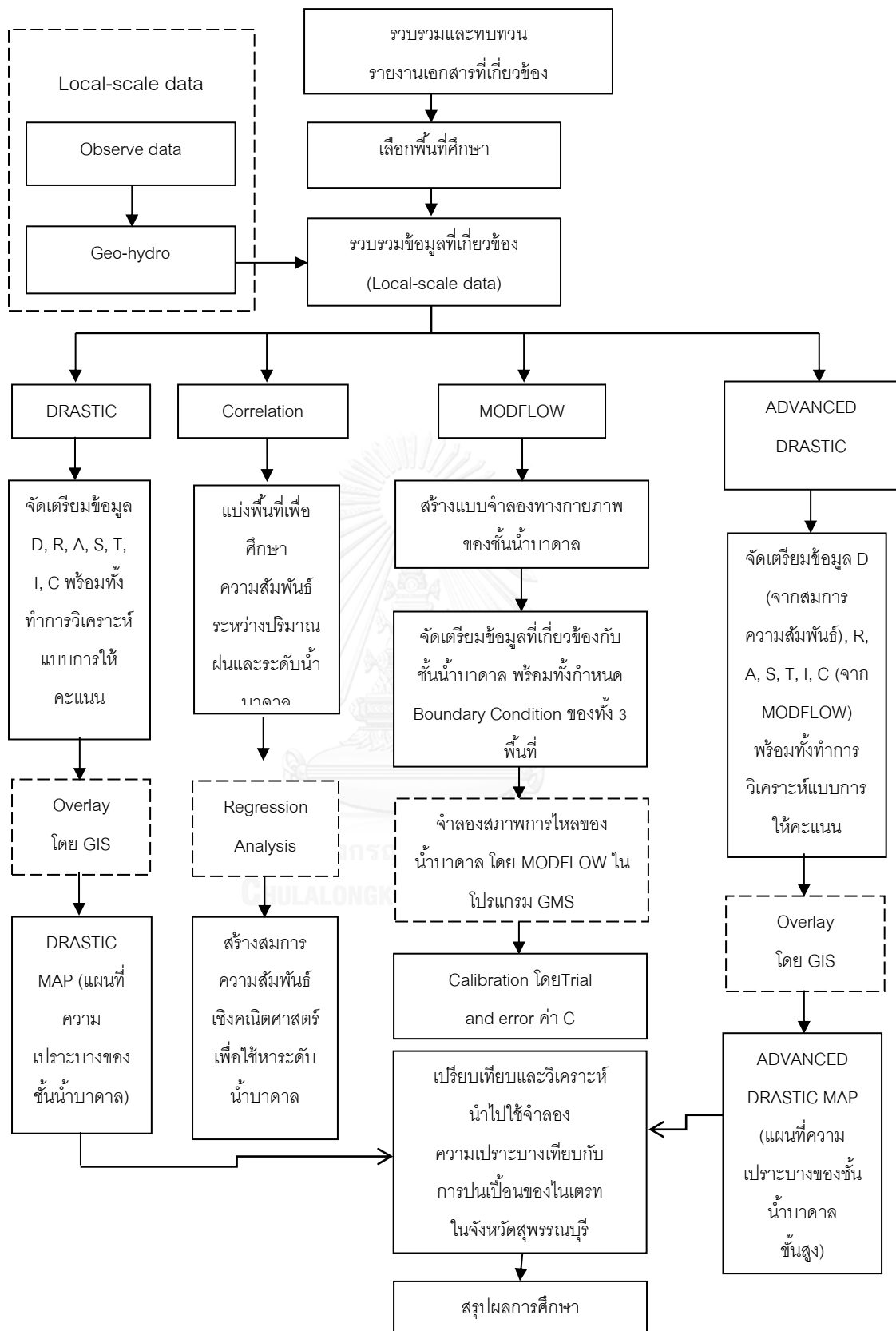
บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและประเมินขั้นสูงเพื่อหาความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนของพื้นที่ศึกษา และจัดทำแผนที่ความเปราะบางโดยใช้การศึกษา วิเคราะห์ และประเมิน ซึ่งมีพื้นฐานมาจากแนวความคิดการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนโดยแบบจำลอง DRASTIC ที่เป็นการประเมินโดยอาศัยกระบวนการพิจารณาและวิเคราะห์โดยการให้คะแนน (Index and overlay Method) ที่ใช้หลักการให้คะแนนโดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพของพื้นที่ทั้ง 7 ตัวแปร คือ ระดับน้ำบาดาล (D) อัตราการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ (R) ตัวกลางชั้นหินให้น้ำ (A) ตัวกลางดิน (S) สภาพภูมิประเทศ (T) เขตอิมมอกาส (I) และค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (C) ร่วมกับกระบวนการวิเคราะห์เชิงสถิติโดยการพิจารณาสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) และการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ด้วยแบบจำลอง MODFLOW เพื่อพัฒนาแบบจำลองในการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับกรณีศึกษา โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาเป็น 3 พื้นที่คือ (1) ลุ่มน้ำเจ้าพระยา พื้นที่ตัวแทน คือ จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก (2) ลุ่มน้ำท่าจีน พื้นที่ตัวแทน คือ จังหวัดสุพรรณบุรี (3) ลุ่มน้ำบางปะกง พื้นที่ตัวแทน คือ จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3- 1 พื้นที่ศึกษาทั้ง 3 แห่ง พร้อมทั้งลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่



รูปที่ 3- 2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (Local-Scale Data)

ในการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนด้วยแบบจำลอง DRASTIC และแบบจำลอง ADVANCED DRASTIC ที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักสถิติเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับระดับน้ำบาดาล และแบบจำลองสภาพการไหล MODFLOW ควรจะมีการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและระดับน้ำบาดาล ที่ใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นแบบพหุนามของข้อมูลความลึกจากผิวดินถึงระดับน้ำบาดาลและข้อมูลปริมาณฝน ทั้งนี้ เนื่องจากการสร้างสมการความสัมพันธ์จากข้อมูลชุดเดียวไม่เพียงพอ จึงควรจัดเตรียมข้อมูลระดับน้ำบาดาลและปริมาณฝนย้อนหลังรายเดือน เพื่อให้ได้สมการที่แม่นยำ ถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งข้อมูลความลึกจากผิวดินถึงระดับน้ำบาดาลจะถูกนำไปใช้เป็นตัวแปรความลึกระดับน้ำบาดาล (D) โดยในการประเมินความเปราะบางจากแบบจำลอง DRASTIC ต้องใช้ข้อมูลปริมาณฝนร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (C) เพื่อหาค่าอัตราการเติมน้ำ (R) ข้อมูลตัวกลางชั้นน้ำบาดาล (A) ข้อมูลชนิดตัวกลางดิน (S) ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ (T) และข้อมูลเขตอิมอากาศ (I) นอกจากนั้น ข้อมูลเหล่านี้ยังเป็นข้อมูลนำเข้า (Input) เพื่อสร้างแบบจำลองสภาพน้ำบาดาล MODFLOW โดยเพิ่มข้อมูลในส่วน of ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำ (Storativity, Storage Coefficient – S) และค่าความพรุน (Porosity ใช้ค่า 0.3)

ตารางที่ 3- 1 ตัวอย่างข้อมูลความลึกน้ำบาดาลรายเดือนย้อนหลังตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007-2008 ของจังหวัดฉะเชิงเทรา (ข้อมูลความลึกระดับน้ำบาดาลรายเดือนย้อนหลัง กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)

Piezo metric station	year	month											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
EAT 85/1	2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2008	8.89	9	9.1	9.1	6.53	6.1	5.89	5.85	5.78	-	-	5.65
EAT 74	2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2008	2.47	2.49	3.15	3.1	3.13	2.86	2.88	2.83	2.86	-	-	2.91
EAT 78/2	2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2008	19.19	19.2	19.76	19.78	19.65	19.35	19.4	19.4	19.3	-	-	19.5
EAT 2/3	2007	10.1	10.12	10.39	10.65	10.92	10.78	10.6	10.4	10.3	10.1	10.22	-
	2008	10.2	10.29	10.35	10.42	10.36	10.4	11.1	10.97	10.7	-	-	10.5
EAT 2/4	2007	7.96	7.94	7.95	8.1	7.95	7.9	7.88	7.84	7.78	7.62	7.76	-
	2008	7.65	7.72	7.76	7.88	7.8	7.85	5.83	5.96	4.37	-	-	4.4

ตารางที่ 3- 2 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนย้อนหลังตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007-2009 ของจังหวัด
ฉะเชิงเทรา (ข้อมูลฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา 1969 – 2011)

Raingage station	year	month											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	2007	0.01	0.84	222	828	8.38	384	631	1.88	686	248	0.76	0.00
	2008	0.20	1.50	222	7.84	4.75	7.34	9.09	7.14	12.72	8.02	1.12	0.02
	2009	0.00	0.00	5.37	4.32	5.96	3.55	3.42	3.79	6.36	4.36	1.32	0.03
423301	2010	1.32	0.99	206	5.25	4.49	5.86	12.00	8.86	9.82	6.85	0.18	0.02

ตารางที่ 3- 3 ตัวอย่างข้อมูลความลึกน้ำบาดาลรายเดือนย้อนหลังตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007-2008 ของ
จังหวัดสุพรรณบุรี (ข้อมูลความลึกระดับน้ำบาดาลรายเดือนย้อนหลัง กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)

Piezo metric station	year	month											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
106/1	2009	13.75	13.51	13.49	13.6	14.3	15.1	14	13.7	-	-	-	-
	2005	7.88	-	7.88	7.55	9.65	10.3	9.43	7.76	7.12	5.68	5.66	5.65
CWE	2008	2.47	2.49	3.15	3.1	3.13	2.86	2.88	2.83	2.86	-	-	2.91
10/1	2009	2.88	2.95	2.99	2.53	3.03	3	2.95	3.47	-	-	-	-
	2005	21	-	21.1	21.3	21.7	22.2	22.3	22.3	22.2	21.94	21.90	21.91
CWE	2008	22.04	22.00	22.29	22.2	22.2	23.5	23.4	23.4	23.4	-	-	22
19/1	2009	21.96	21.99	22.06	22.2	24	23.4	24	22.4	-	-	-	-
	2005	29.9	-	29.9	31	31.3	31.5	31.2	31.3	31.2	30.74	30.64	30.65
CWE	2008	31.74	31.70	31.71	31.3	31.5	30.8	30.9	38.9	30.9	-	-	30.9
28/1	2009	30.83	30.76	30.93	30.5	31.3	31.5	30.9	29.5	-	-	-	-
	2005	16	-	16.2	16.2	16.2	16	16	15.8	15.7	15.60	15.55	15.51
CWE	2008	22.05	22.01	22.51	22.5	22.5	22.4	22.4	22.4	23.4	-	-	22.4
22/1	2009	22.37	22.42	22.31	21.1	24.1	24.2	25.2	24.4	-	-	-	-
	2005	12.4	-	12.5	12.8	12.6	12.8	12.7	12.4	11.9	12.09	12.07	12.09
CWE	2008	14.18	14.15	14.39	14.4	14.4	14.5	14.5	14.5	14.5	-	-	14.7
14/1	2009	14.53	14.43	14.81	14.7	16.7	15.6	14.5	15.4	-	-	-	-
	2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CWE	2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120/1	2009	3.15	3.11	3.18	3.05	2.95	4.29	4.31	3.96	-	-	-	-

ตารางที่ 3- 5 ตัวอย่างข้อมูลความลึกน้ำบาดาลรายเดือนย้อนหลังตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007-2008 ของจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก (ข้อมูลความลึกระดับน้ำบาดาลรายเดือนย้อนหลัง กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)

Piezo metric station	year	month											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
NT	2007	13.09	-	12.85	-	13.18	-	12.9	-	13.09	-	13.22	-
53/1	2008	12.32	-	12.22	-	12	-	12.08	-	-	-	13.44	13.29
NT	2007	8.32	-	8.5	-	8.26	-	8.2	-	8.41	-	8.5	-
54/1	2008	7.38	-	11.4	-	11	-	9.78	-	-	-	-	-
NT	2007	22.44	-	22.59	-	8.54	-	20.42	-	21	-	22.07	-
48/1	2008	22.11	-	7.24	-	7.21	-	8	-	-	-	-	-
NT	2007	15.02	-	18.69	-	17.8	-	16.08	-	16.52	-	16.85	-
96/1	2008	18.01	-	17.89	-	17.81	-	17.6	-	-	-	-	-
NT	2007	13.4	-	13.06	-	13	-	13.02	-	13.11	-	13.26	-
93	2008	13.78	-	13.35	-	13.3	-	13.22	-	-	-	-	-
NT	2007	15.32	-	15.43	-	13.66	-	13.6	-	14.12	-	14.78	-
50/1	2008	12.6	-	16.4	-	15.69	-	16	-	-	-	-	-

ตารางที่ 3- 6 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนย้อนหลังตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007 ของจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก (ข้อมูลฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา 1969 – 2011)

Raingage station	year	month											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
39161	2007	0	0	0	28	12	9.3	36	72	102	6	0	0
	2008	0	0.3	0.8	2.7	4.1	5	4.4	-	-	-	-	-
39062	2007	0	0.5	0.1	3.5	8.7	8.7	4.5	6.6	7	5.4	0.4	0.1
	2008	0	0	0.4	0	3.3	2.3	6.8	-	-	-	-	-
39042	2007	0.2	1.5	0.4	1	8.2	5.1	2.3	-	7.4	6.7	0	0
	2008	0	0	2.7	2.8	3.2	5.2	8.1	-	-	-	-	-
59082	2007	0.2	1.1	0.5	0	10.1	7.7	1.9	7.5	12.3	3.8	0	0
	2008	0	0	2.8	2.7	3.4	5.7	3.5	-	-	-	-	-
59032	2007	0.1	1.4	0.1	0	-	-	-	-	0	0	0	0
	2008	0	0	2.1	3.6	4	5.3	4.4	-	-	-	-	-
39013	2007	0	1.4	0.2	4	11.1	4.1	9.9	4.9	11.3	6.7	0.1	0.1
	2008	0	0.2	0.7	1.4	5.2	3.1	4.4	-	-	-	-	-

ตารางที่ 3- 7 ตัวอย่างข้อมูลคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล T, K, S ของจังหวัด
ฉะเชิงเทรา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550)

ที่	พิกัด		สถานที่	จังหวัด	คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล		
	E	N			บ้าน	T (m ² /d)	K (m/d)
1	736980	1519386	บ้านคู้งราษฎร์	ฉะเชิงเทรา	4.40E-01	7.33E-02	2.05E-01
5	791568	1483576	บ้านกรอกสะแก(บ่อ2)	ฉะเชิงเทรา	2.23E+00	1.86E-01	1.01E-01
2	781784	1479568	ศรีเจริญทอง	ฉะเชิงเทรา	6.92E+00	1.15E+00	
6	780978	1480480	บ้านผู้ใหญ่ศรีเจริญทอง	ฉะเชิงเทรา	8.74E+02	1.45E+02	5.05E-03
7	780337	1479907	ศรีเจริญทอง (วัดป่า)	ฉะเชิงเทรา	4.32E+00	7.21E-01	7.35E-01
8	778476	1480515	ชุมชนเขาช่องแคบ	ฉะเชิงเทรา	6.33E+00	1.05E+00	
9	797505	1494569	หนองปลาชิว	ฉะเชิงเทรา	4.16E-01	6.94E-02	8.20E-02
10	759429	1507368	วัดบ้านน้อยนาคี	ฉะเชิงเทรา	1.33E+01	2.22E+00	
3	797568	1490016	เขตลาด (คุ่มบ้านน้อย)	ฉะเชิงเทรา	2.70E+00	4.50E-01	2.46E-01
4	784079	1490393	คลองสี่แยก	ฉะเชิงเทรา	2.06E+00	3.44E-01	7.03E-01
11	788803	1494247	บ้านเนินน้อย(บ่อ2)	ฉะเชิงเทรา	1.41E+00	2.36E-01	
12	738790	1530636	บ้านบางต้นไทร	ฉะเชิงเทรา	9.98E-01	1.67E-01	6.24E-01
13	735403	1529971	บางกระเจ็ด (บ่อ1)	ฉะเชิงเทรา	3.30E+02	2.75E+01	
14	738045	1514668	วัดใหม่บางคล้า	ฉะเชิงเทรา	3.95E+01	6.56E+00	1.11E-03
15	741678	1522751	หนองชุมพร (บ่อ1)	ฉะเชิงเทรา	9.08E+00	4.54E-01	
16	739201	1508149	บ้านวังสีทอง	ฉะเชิงเทรา	9.01E+00	4.47E-01	8.20E-03
17	759255	1523755	วัดบางกระพ้อ	ฉะเชิงเทรา	6.03E-01	1.01E-01	6.62E-02
18	737861	1528466	ลาดโคก	ฉะเชิงเทรา	3.43E+00	5.27E-01	
19	719802	1539895	คลองทาก (บ่อ2)	ฉะเชิงเทรา	5.43E+00	4.53E-01	3.65E-01
20	721700	1545063	อนามย์เฉลิมพระเกียรติ	ฉะเชิงเทรา	8.75E+01	1.45E+01	7.28E-02
21	709183	1543262	คลองทาก	ฉะเชิงเทรา	5.52E+01	4.60E+00	
22	711328	1492697	คลองหมีขูด	ฉะเชิงเทรา	1.32E+00	2.21E-01	2.15E-02
23	710605	1493622	คลองหมีขูด (นิคม 1)	ฉะเชิงเทรา	5.46E+01	9.09E+00	
24	710542	1491924	คลองหมีขูด (บ้านปากคลอง บุญประกอบ)	ฉะเชิงเทรา	5.21E+01	8.72E+00	
25	709583	1492731	บ้านคลองแปดสิบ	ฉะเชิงเทรา	7.51E+01	8.72E+00	
26	711300	1492400	บ้านคลองหมีขูด	ฉะเชิงเทรา	2.10E+01	3.51E+00	4.55E-04

ตารางที่ 3-7 (ต่อ)

27	712464	1492948	คลองยายใหม่	ฉะเชิงเทรา	1.52E+01	2.18E+00	
28	722920	1506450	บ้านเกาะชัน	ฉะเชิงเทรา	7.59E+00	4.61E-01	4.05E-01
29	726677	1503317	ตลาดทด	ฉะเชิงเทรา	1.01E+01	8.47E-01	9.20E-01
30	729868	1502586	หนองหน้าบ้าน	ฉะเชิงเทรา	9.75E+00	1.08E+00	4.15E-01
31	742106	1504631	วังนกกาไฟแก้ว	ฉะเชิงเทรา	1.62E+01	2.02E+00	2.13E-04
32	742878	1504148	คลองโรงเลื่อย	ฉะเชิงเทรา	1.47E+01	1.22E+00	
33	753843	1501774	คลองสอง	ฉะเชิงเทรา	5.65E+00	9.41E-01	
34	754918	1499779	บ้านคลองสอง	ฉะเชิงเทรา	1.29E+00	2.14E-01	3.90E-01
35	744400	1502590	ร.ร.บ้านวังเย็น	ฉะเชิงเทรา	8.20E+00	1.36E+00	9.44E-04
36	746790	1500400	ร.ร.วังกะจะ	ฉะเชิงเทรา	3.08E+00	5.14E-01	5.56E-03
37	745252	1501294	วังกะจะ	ฉะเชิงเทรา	3.08E+00	5.14E-01	5.56E-03
38	744362	1501706	วังกระจะ(เป็ยบายกี)	ฉะเชิงเทรา	1.54E+01	4.49E+00	4.34E-01
39	743875	1502964	โรงเรียนวัดวังเย็น	ฉะเชิงเทรา	8.20E+00	1.36E+00	9.44E-04
40	750811	1498273	บ้านหนองปรือไม้แก้ว	ฉะเชิงเทรา	1.35E+01	4.52E+00	
41	750998	1494422	บ้านโกรกแก้ว วงพระจันทร์	ฉะเชิงเทรา	1.27E+01	2.12E+00	
42	748354	1504629	หนองครก	ฉะเชิงเทรา	1.62E+01	4.05E+00	7.43E-03
43	756012	1497450	ไทรทอง	ฉะเชิงเทรา	1.03E+00	1.71E-01	5.23E-01
44	757601	1490997	บ้านหนองปลาไหล	ฉะเชิงเทรา	3.86E+00	6.43E-01	
45	755851	1490730	หนองปลาไหล	ฉะเชิงเทรา	1.94E+00	3.24E-01	7.59E-01
46	756164	1491828	หนองปลาไหล	ฉะเชิงเทรา	1.72E+00	2.86E-01	2.34E-01
47	760733	1491520	หนองไม้แก่น (หนองปลาตุ๊ก)	ฉะเชิงเทรา	2.48E+00	1.18E-01	1.05E-01
48	759168	1494295	ร.ร.หนองขาว	ฉะเชิงเทรา	1.23E+01	3.07E+00	6.24E-04
49	757986	1494576	บ้านหนองน้ำขาว	ฉะเชิงเทรา	5.25E+01	7.15E+00	
50	759006	1494111	บ้านหนองน้ำขาว	ฉะเชิงเทรา	5.95E+01	9.92E+00	
51	764502	1494656	เขาสะทอนบน	ฉะเชิงเทรา	4.88E-01	8.14E-02	3.24E-02
52	740546	1508756	บ้านกลาง	ฉะเชิงเทรา	1.06E+01	1.33E+00	
53	747826	1507523	บ้านสวน	ฉะเชิงเทรา	7.00E-01	1.16E-01	2.91E-01
54	747121	1507843	วัดอ่าวข้างไร่	ฉะเชิงเทรา	7.12E+00	1.18E+00	1.23E-01

ตารางที่ 3-7 (ต่อ)

55	760293	1518760	ปากกง	ฉะเชิงเทรา	1.46E+00	2.45E-01	2.28E-01
56	759166	1521058	บ้านไร่ดอน	ฉะเชิงเทรา	3.29E+00	5.49E-01	1.78E-01
57	759428	1507368	บ้านหินลาด	ฉะเชิงเทรา	4.70E+00	7.84E-01	2.71E-01
58	757797	1510206	บ้านขาคิน	ฉะเชิงเทรา	1.04E+00	1.73E-01	7.20E-02
59	762441	1517819	รร.ดอนขี้เหล็ก	ฉะเชิงเทรา	2.12E+00	3.53E-01	1.98E-01
60	759008	1521477	ห้วยสาม	ฉะเชิงเทรา	4.18E+00	7.02E-01	9.66E-01
61	776430	1523393	ปรีอภย	ฉะเชิงเทรา	5.31E-01	8.85E-02	1.75E-01
62	765367	1521435	บ้านหนองยายแอนด์	ฉะเชิงเทรา	1.98E+00	3.30E-01	
63	762930	1526861	หนองปรือ	ฉะเชิงเทรา	3.14E+00	5.24E-01	2.11E-01
67	752144	1528483	อบต.บ้านช่อง	ฉะเชิงเทรา	8.89E-01	1.47E-01	1.01E-01
64	797215	1518800	ที่สาธารณะบ้านหนองหญ้า	ฉะเชิงเทรา	2.32E+00	3.87E-01	1.49E-01
65	761033	1527145	บ้านหัวกระสังข์	ฉะเชิงเทรา	3.09E+00	5.15E-01	6.59E-02
68	752546	1527415	บ้านหัวกะสัง	ฉะเชิงเทรา	2.39E+00	3.99E-01	1.72E-03
69	797215	1518800	บ้านธารพุด	ฉะเชิงเทรา	1.94E+00	3.24E-01	1.46E-01
66	751942	1526374	บ้านเกาะสุวรรณ	ฉะเชิงเทรา	4.04E+00	6.74E-01	
70	792600	1512309	บ้านหนองปลิง	ฉะเชิงเทรา	2.45E+00	4.09E-01	1.59E-02
71	755411	1509047	บ้านหนองแถม (บ่อ1)	ฉะเชิงเทรา	8.47E-01	1.41E-01	3.31E-01
72	755353	1509097	บ้านหนองแถม (บ่อ2)	ฉะเชิงเทรา	4.47E-01	7.56E-02	5.15E-01
73	730578	1513827	บ้านดอน	ฉะเชิงเทรา	9.00E+01	4.88E-01	3.00E-01
74	703506	1518192	บ้านคลองหลวงแพ่ง	ฉะเชิงเทรา	3.45E+00	5.75E-01	1.34E-01
75	747128	1521676	บ้านไผ่ขวาง	ฉะเชิงเทรา	2.81E+00	4.68E-01	3.39E-02
76	705930	1519540	บ้านหนองข้างคย	ฉะเชิงเทรา	4.81E+01	8.01E+00	3.54E-04
78	764761	1512004	บ้านบางมะเฟือง	ฉะเชิงเทรา	3.38E+00	5.63E-01	5.24E-02
79	764631	1511604	รร.วัดบางมะเฟือง	ฉะเชิงเทรา	4.49E+00	7.49E-01	1.93E-02
80	797087	1494505	วัดบางมะเฟือง	ฉะเชิงเทรา	2.68E+00	2.23E-01	8.44E-03
81	774751	1504710	บ้านป่าอีแถม	ฉะเชิงเทรา	1.92E+00	3.21E-01	3.45E-01
82	764924	1513914	ดอนพนา	ฉะเชิงเทรา	1.25E+01	2.07E+00	
86	765123	1512870	บ้านเกาะขามเงิน	ฉะเชิงเทรา	2.45E+01	3.06E+00	3.59E-04

ตารางที่ 3-7 (ต่อ)

83	769107	1509221	สำนักสงฆ์พระอิฐ บ้านวังไทร	ฉะเชิงเทรา	3.08E+00	5.14E-01	1.05E-01
84	768635	1508991	วังไทร	ฉะเชิงเทรา	1.44E+00	2.41E-01	
77	779576	1515086	ห้วยกบ	ฉะเชิงเทรา	1.80E+00	4.51E-01	2.72E-02
85	773664	1506753	ดอนทราย	ฉะเชิงเทรา	1.74E+00	2.90E-01	3.39E-01
88	778628	1513999	ร.ร.บ้านท่ากระดาน	ฉะเชิงเทรา	6.53E+01	1.09E+01	4.42E-03
89	782989	1509370	ร.ร.บ้านท่าเรือ	ฉะเชิงเทรา	2.70E+00	8.19E-02	5.35E-01
90	786026	1510033	ร.ร.บ้านนา	ฉะเชิงเทรา	9.47E+00	1.58E+00	4.72E-02
91	773518	1513945	ร.ร.บ้านกระบกเตี้ย	ฉะเชิงเทรา	1.50E+00	2.50E-01	5.90E-01
92	793007	1515493	กระบกหวาน	ฉะเชิงเทรา	1.96E+00	3.27E-01	8.47E-01
93	745484	1500469	โคกตะเคียนงาม	ฉะเชิงเทรา	2.25E-01	3.76E-02	6.24E-02
94	745484	1500469	มาบนดี	ฉะเชิงเทรา	2.32E+00	3.87E-01	5.33E-02

ตารางที่ 3- 8 ข้อมูลคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล T, K, S ของจังหวัดสุพรรณบุรี
(ข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550)

ที่	สถานที่		คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล		
	บ้าน	จังหวัด	T (m ² /d)	K (m/d)	S
1	ร.ร.วัดเขากำแพง	สุพรรณบุรี	1.37E+01	1.08E+01	4.77E+00
2	บ้านเขากำแพง	สุพรรณบุรี	4.56E+01	2.42E+01	2.16E+01
3	วัดเขาศิลัก	สุพรรณบุรี	4.22E+02	4.30E+01	5.36E+01
4	วัดห้วยคู	สุพรรณบุรี	3.30E+01	3.83E+01	2.82E+01
5	บ้านหนองโป่ง	สุพรรณบุรี	1.25E+02	3.83E+01	8.73E+01
6	บ้านไผ่ขวาง	สุพรรณบุรี	1.08E+02	7.24E+01	2.20E+01
7	บ้านหนองน้ำ แดง	สุพรรณบุรี	4.94E+01	3.04E+01	4.02E+01
8	บ้านหนองศาลา	สุพรรณบุรี	3.98E-01	4.20E-01	5.32E-01
9	ร.ร.ตลิ่งชันวิทยา	สุพรรณบุรี	9.47E-01	8.38E-01	1.25E+00
10	วัดเขากุฎี	สุพรรณบุรี	3.49E+01	1.71E+01	1.06E+01
11	บ้านลูกแก	สุพรรณบุรี	3.17E+01	3.04E+01	2.17E+01
12	บ้านเขาวงศ์	สุพรรณบุรี	1.23E+01	2.15E+01	3.79E+01
13	บ้านจรัลใหม่	สุพรรณบุรี	1.10E+01	1.08E+01	1.04E+01
14	วัดกม่วาง	สุพรรณบุรี	6.54E-01	7.47E-01	7.84E-01
15	บ้านทุ่งดินดำ	สุพรรณบุรี	6.86E-01	8.38E-01	8.67E-01
16	บ้านรางพยอม	สุพรรณบุรี	5.79E+02	2.15E+01	1.44E+01

ตารางที่ 3- 9 ข้อมูลคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล T, K, S ของจังหวัดสุโขทัยและ
จังหวัดพิษณุโลก (ข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2550)

ที่	พิกัด		สถานที่		คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล		
	E	N	บ้าน	จังหวัด	T(m ² /d)	K(m/d)	S
1	595460	1860062	วัดหนองบัวเก่า	สุโขทัย	1.42E+01	2.37E+00	2.08E-01
2	608648	1872197	หนองบัวมูล	สุโขทัย	1.15E+01	1.92E+00	4.87E-01
3	594714	1866443	อบต. ท่าฉนวน	สุโขทัย	3.59E+01	5.97E+00	1.14E+00
4	601834	1870169	อบต.กง	สุโขทัย	6.74E+00	1.12E+00	7.01E-01
5	581138	1852123	ทุ่งอีป่า	สุโขทัย	1.06E+01	1.77E+00	5.65E-01
6	593011	1852004	ทุ่งยางเมือง	สุโขทัย	1.16E+00	1.93E-01	2.70E-01
7	587866	1852294	ยางแหลม	สุโขทัย	5.54E+00	9.23E-01	7.22E-01
8	595449	1860060	วัดวังกร่าง	สุโขทัย	1.03E+00	1.73E-01	2.56E-01
9	564539	1859293	วัดโพธิ์ทองสังฆาราม	สุโขทัย	3.01E+00	5.54E-01	3.06E-01
10	580725	1852837	วัดมุจลินทราราม	สุโขทัย	7.58E+00	1.26E+00	5.56E-01
11	585015	1861538	ป่าตะแบก	สุโขทัย	4.11E+00	6.84E-01	1.22E-01
12	560199	1887656	นาตาคาต	สุโขทัย	4.18E+01	6.95E+00	1.94E-01
13	578231	1891502	คลองยง	สุโขทัย	1.19E+01	1.99E+00	1.76E-02
14	582033	1940047	วัดสุทธาราม	สุโขทัย	2.86E+02	4.77E+01	1.09E-02
15	579615	1925210	แสนตอ	สุโขทัย	3.78E+02	6.29E+01	6.10E-02
16	585503	1940435	บ้านป่ายางน้อย	สุโขทัย	1.29E+02	2.14E+01	3.87E-03
17	573433	1926949	ใหม่ไทยพัฒนา	สุโขทัย	4.64E+02	7.77E+01	3.87E-03
18	588758	1939743	ห้วยแม่ตะเคียนทอง	สุโขทัย	1.08E+01	1.80E+00	2.20E-02
19	582512	1940244	วัดค้อยท่าด่าน	สุโขทัย	8.19E+01	1.36E+01	3.07E-03
20	579608	1925198	ไร่บัวงาม	สุโขทัย	1.98E+01	3.31E+00	5.45E-03
21	580218	1940943	วัดวังค่า	สุโขทัย	3.07E+02	5.10E+01	2.17E-01
22	574642	1897316	ดอนโกล	สุโขทัย	3.08E+00	5.13E-01	1.26E-01
23	593504	1895375	วังลึก	สุโขทัย	2.24E+00	3.74E-01	3.44E-01
24	588325	1897741	อบต.บ้านนา	สุโขทัย	2.17E+00	3.62E-01	3.67E-01
25	588803	1897438	บ้านนา (นางวีรัตน์ พะทะทรัพย์)	สุโขทัย	2.34E+00	3.90E-01	2.93E-01
26	588166	1895778	คลองตาโถม (นายรัตน์ เลื้อจันท์)	สุโขทัย	3.45E+00	5.75E-01	9.87E-02
27	573790	1900283	อบต.บ้านราวต้นจันทร์	สุโขทัย	2.13E+00	3.55E-01	4.82E-01

ตารางที่ 3-9 (ต่อ)

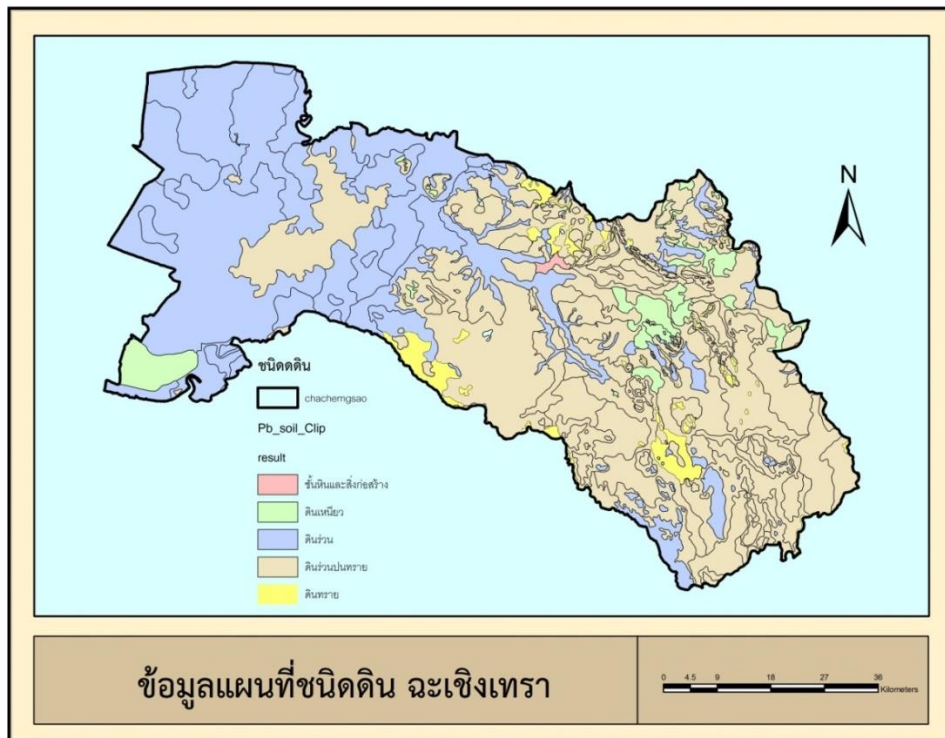
28	588575	1897159	วังทอง	สุโขทัย	1.81E+00	3.01E-01	3.71E-01
29	572952	1901801	ท่ากระสังข์	สุโขทัย	7.35E+00	1.22E+00	7.56E-01
30	588368	1896083	คลองตาเพชร	สุโขทัย	4.78E+01	7.98E+00	2.45E+00
31	580862	1899853	ร.ร.บ้านไร่พิทยาคมจุด 2	สุโขทัย	1.57E+00	2.56E-01	2.76E-01
32	579734	1901712	วัดบ้านปากคลองแดน	สุโขทัย	5.49E+01	9.15E+00	1.91E-01
33	587576	1894318	วังทอง	สุโขทัย	1.42E+00	2.37E-01	2.39E-01
34	565255	1896378	หนองสะแก	สุโขทัย	1.48E+00	2.47E-01	4.12E-01
35	588332	1913717	เรือนจำสวรรคโลก	สุโขทัย	3.15E+01	5.25E+00	1.15E-01
36	595335	1905197	เหนือ	สุโขทัย	6.72E+00	1.12E+00	9.35E-02
37	592480	1902674	อบต.เมืองบางยม	สุโขทัย	1.30E+02	2.17E+01	8.65E-02
38	592750	1903535	เมืองบางยม	สุโขทัย	6.06E+01	1.01E+01	8.87E-01
39	589982	1916250	ตลาดพัฒนาการเกษตร	สุโขทัย	6.62E+01	1.11E+01	1.73E-02
40	587639	1912992	วังไม้ขอน	สุโขทัย	2.08E+01	3.46E+00	9.71E-01
41	595831	1903671	ตะวันขึ้น	สุโขทัย	9.77E+00	1.63E+00	1.00E+00
42	554462	1912139	จันทโรภาส	สุโขทัย	1.64E+01	2.73E+00	5.47E-01
43	584931	1921505	ป่ากุมเกาะ	สุโขทัย	2.28E+01	3.80E+00	1.23E+00
44	587658	1914363	ไร่	สุโขทัย	1.94E+02	3.24E+01	3.87E-02
45	596171	1911019	เนินจันทร์	สุโขทัย	1.30E+01	2.17E+00	8.22E-01
46	585970	1902803	หนองชุมแสง	สุโขทัย	1.92E+01	3.20E+00	2.18E-01
47	617140	1875582	ดงไทย	สุโขทัย	3.01E+01	5.04E+00	3.74E-01
48	593109	1917836	คลองแค	สุโขทัย	1.21E+01	2.03E+00	1.68E+00
49	593650	1910518	วัดเวฬุวนาราม	สุโขทัย	2.30E+01	3.84E+00	1.89E+00
50	591129	1906573	วัดคลองกระจง	สุโขทัย	2.43E+02	4.05E+01	9.70E-04
51	595832	1903673	ต้นนพทลง	สุโขทัย	4.05E+00	6.77E-01	1.23E-01
52	584463	1912138	หนองข้าง	สุโขทัย	1.84E+01	3.06E+00	1.13E+00
53	595712	1908413	น้ำโจน	สุโขทัย	3.17E+01	5.26E+00	1.16E+00
54	594343	1912006	บ่อแปดร้อย	สุโขทัย	9.91E+01	1.65E+01	5.67E-01
55	590003	1907590	วัดไทยย้อย	สุโขทัย	8.07E+01	1.35E+01	2.17E-02
56	584923	1921506	แม่น้ำเก่า	สุโขทัย	3.52E+01	5.86E+00	1.26E+00
57	602073	1906420	หนองวงกัียน	สุโขทัย	1.26E+01	2.11E+00	5.64E-01

ตารางที่ 3-9 (ต่อ)

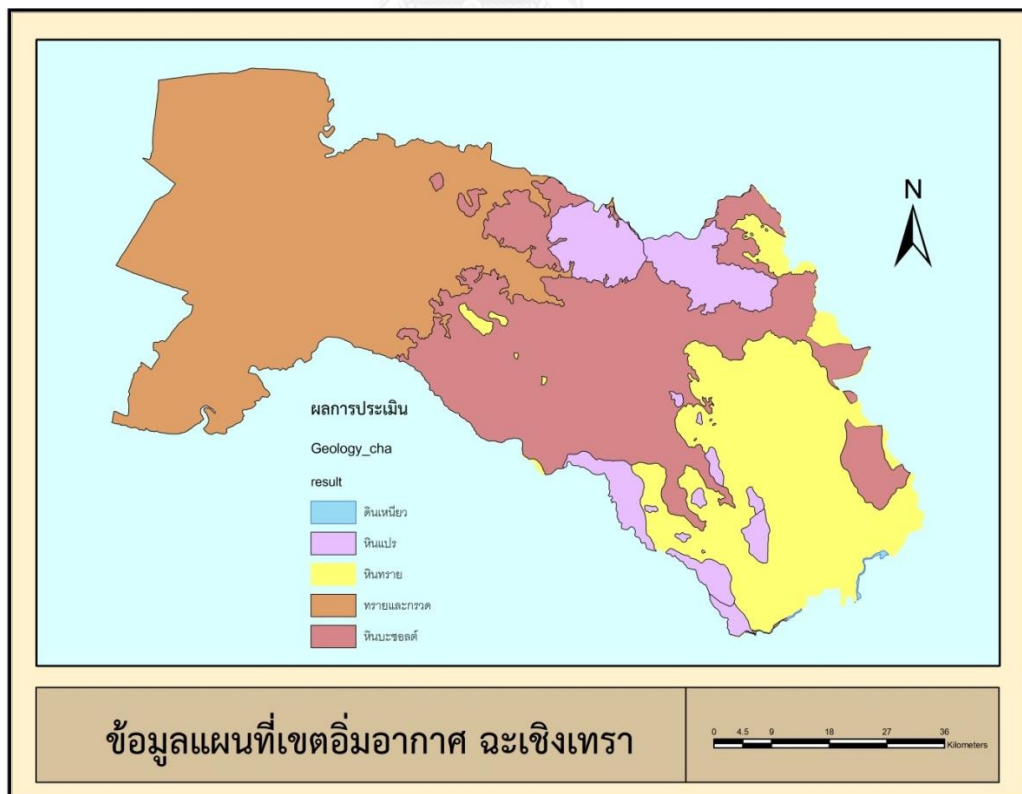
58	598312	1910254	อัมลอบ	สุโขทัย	3.19E+01	5.32E+00	1.91E+00
59	588990	1909651	หนองปลาหมอ	สุโขทัย	2.12E+01	3.53E+00	1.13E+00
60	584923	1921506	ศรีสังวร	สุโขทัย	2.11E+01	3.53E+00	4.50E-01
61	584923	1921506	จี่งาม	สุโขทัย	9.94E+00	1.65E+00	1.92E+00



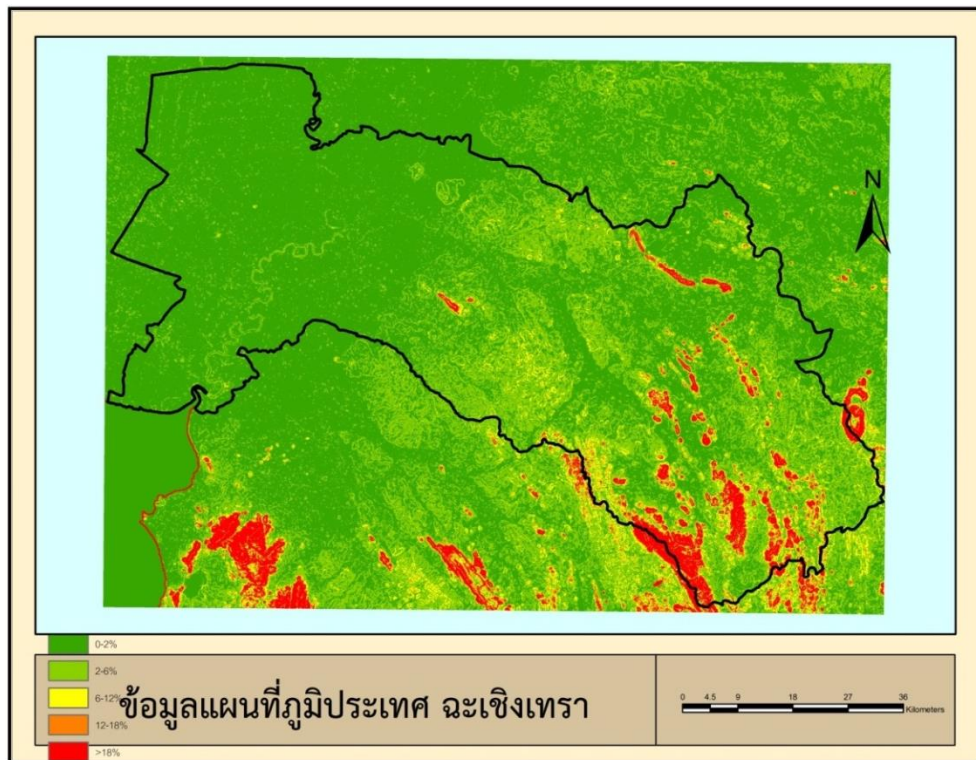
รูปที่ 3- 3 ข้อมูลแผนที่ชั้นน้ำบาดาล จังหวัดฉะเชิงเทรา (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)



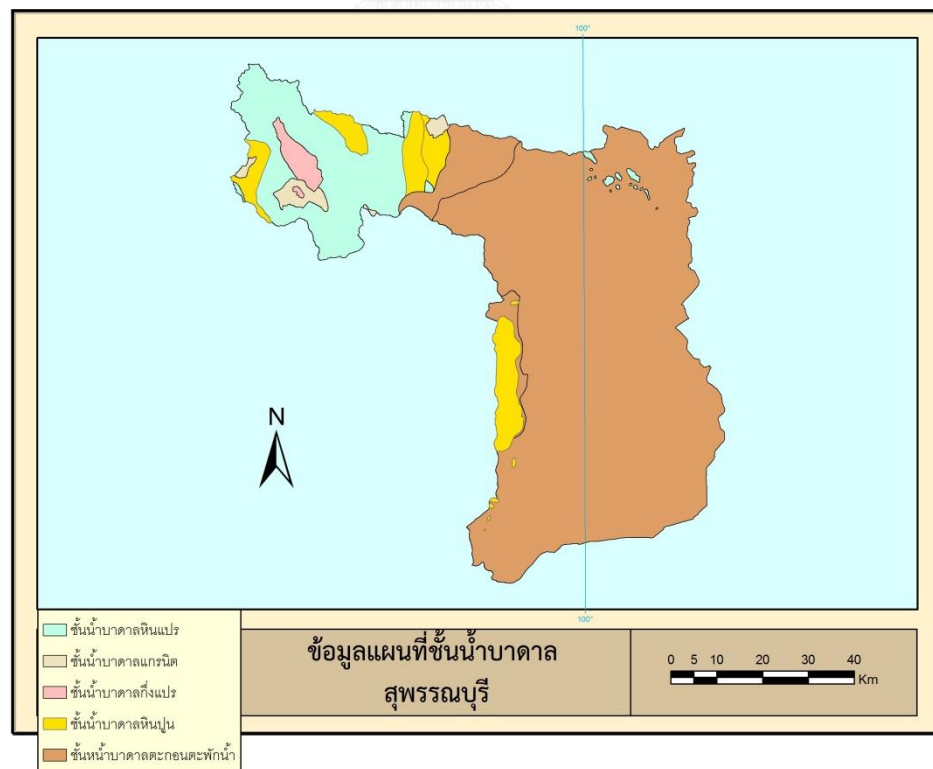
รูปที่ 3- 4 ข้อมูลแผนที่ชนิดดิน จังหวัดฉะเชิงเทรา (กรมพัฒนาที่ดิน)



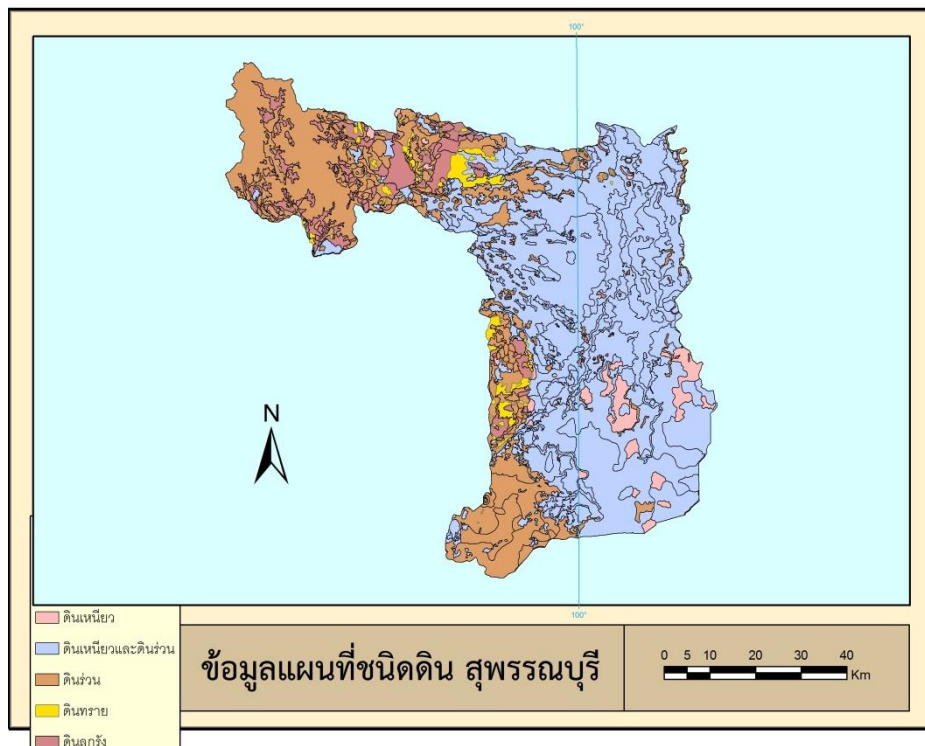
รูปที่ 3- 5 ข้อมูลแผนที่เขตอิ้มอากาศ จังหวัดฉะเชิงเทรา (กรมพัฒนาที่ดิน)



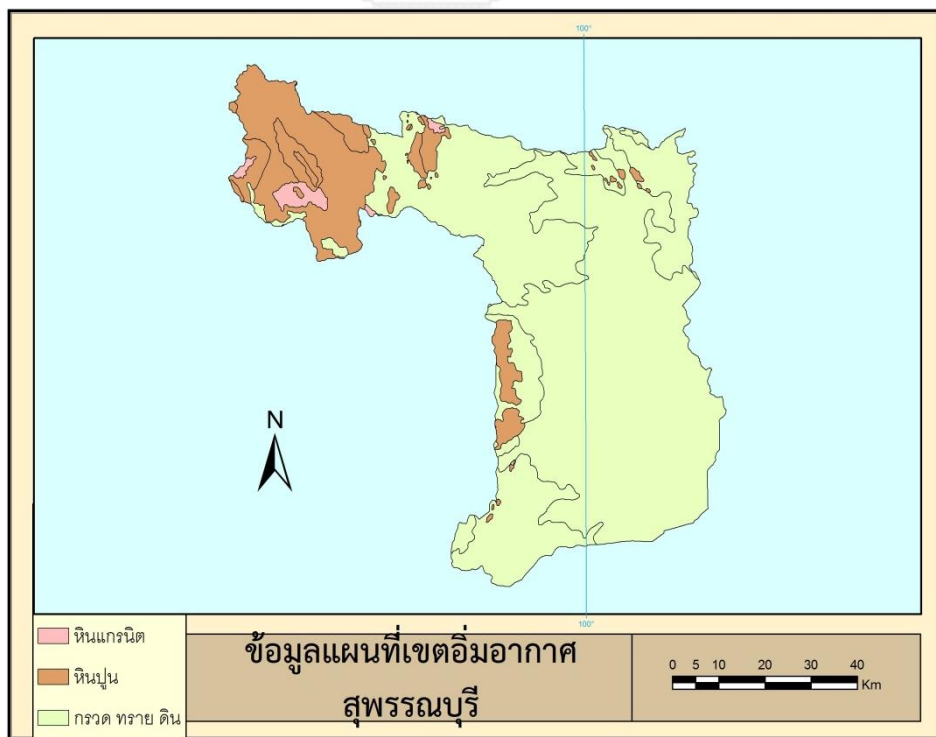
รูปที่ 3- 6 ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ จังหวัดฉะเชิงเทรา (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ NASA)



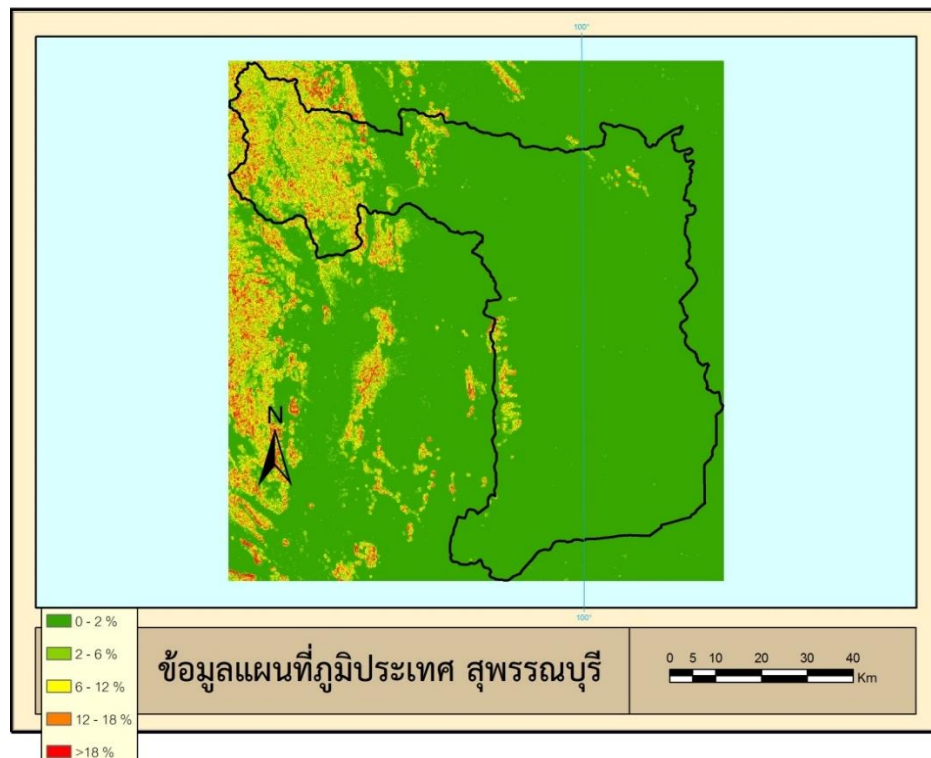
รูปที่ 3- 7 ข้อมูลแผนที่ชั้นน้ำบาดาล จังหวัดสุพรรณบุรี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)



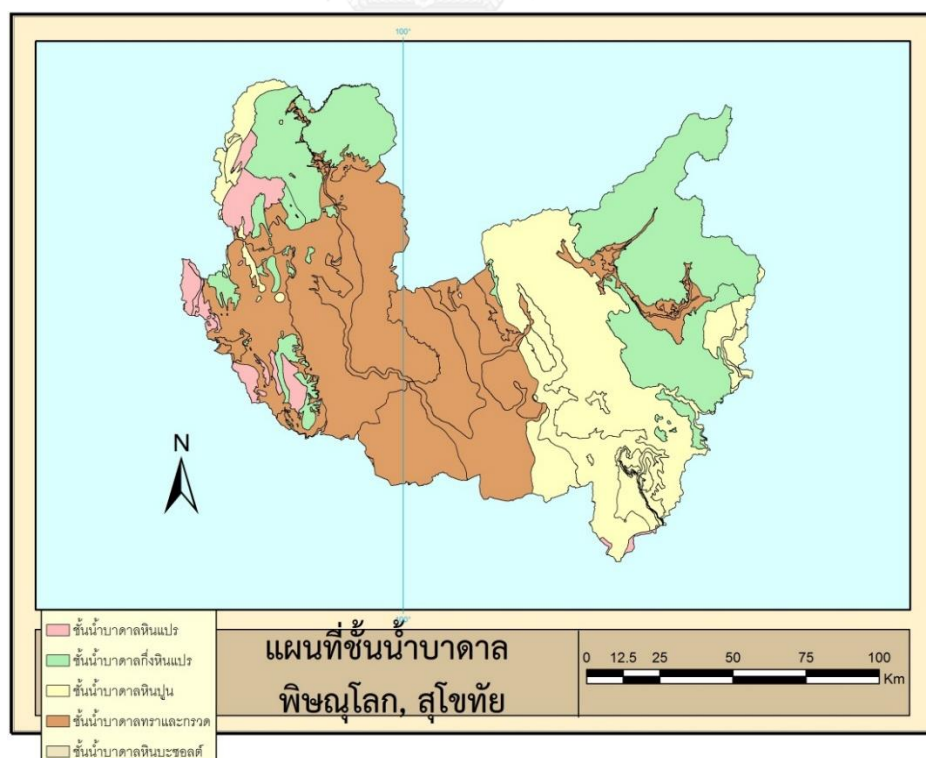
รูปที่ 3- 8 ข้อมูลแผนที่ชนิดดิน จังหวัดสุพรรณบุรี (กรมพัฒนาที่ดิน)



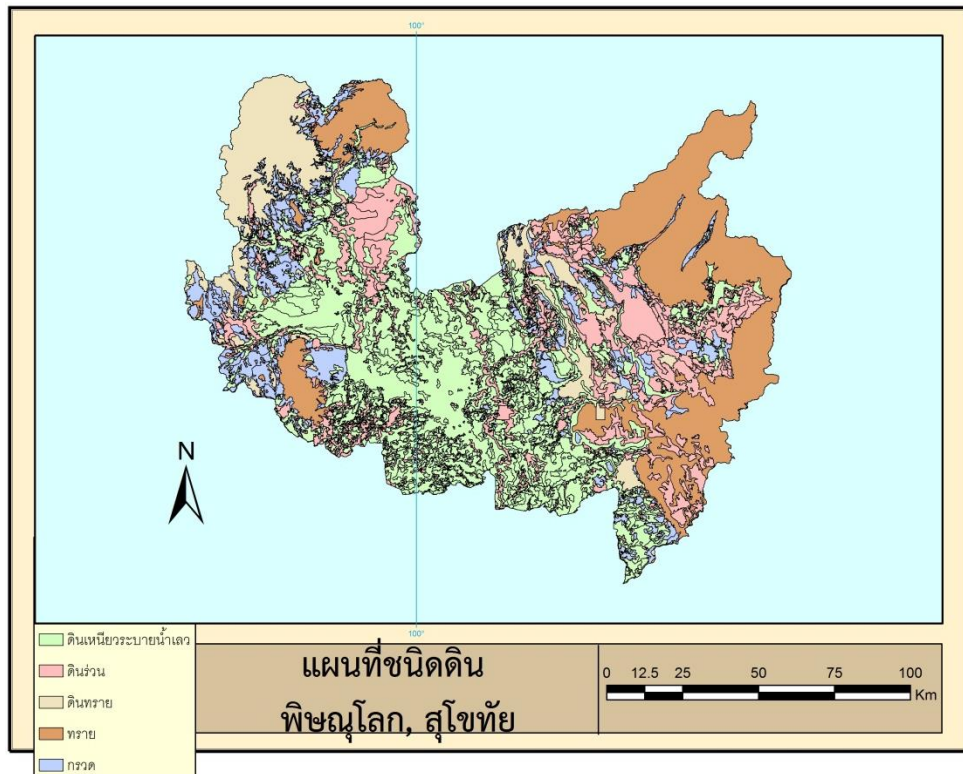
รูปที่ 3- 9 ข้อมูลแผนที่เขตอิมอากาศ จังหวัดสุพรรณบุรี (กรมพัฒนาที่ดิน)



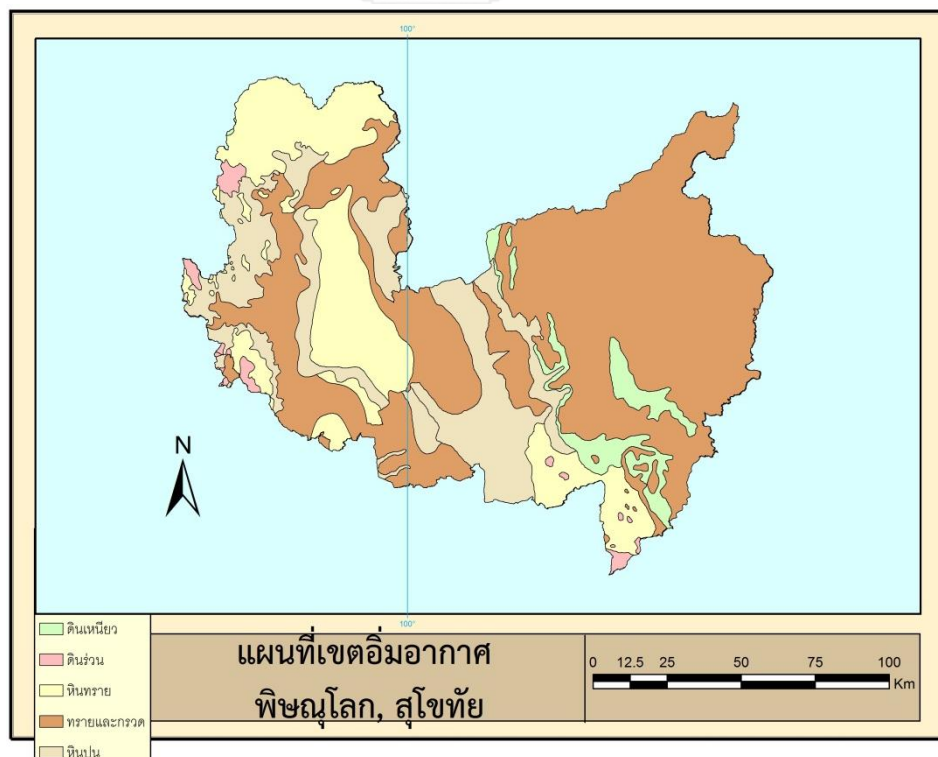
รูปที่ 3- 10 ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ จังหวัดสุพรรณบุรี (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ NASA)



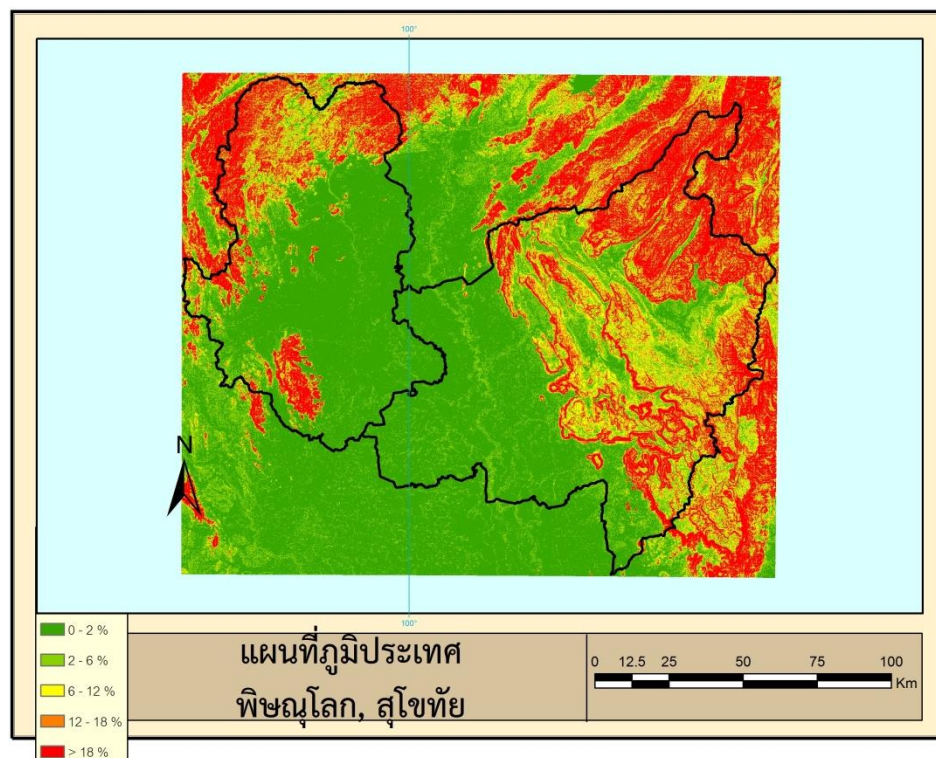
รูปที่ 3- 11 ข้อมูลแผนที่ชั้นน้ำบาดาล จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิชญ์โลก (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)



รูปที่ 3- 12 ข้อมูลแผนที่ชนิดดิน จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก (กรมพัฒนาที่ดิน)



รูปที่ 3- 13 ข้อมูลแผนที่เขตอ้อมอากาศ จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก (กรมพัฒนาที่ดิน)



รูปที่ 3- 14 ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ NASA)

ตารางที่ 3- 10 ข้อมูลตำแหน่งพื้นที่ปนเปื้อนด้วยไนเตรท

Station	N	E	NO ₃ (mg/kg)
1	1557779	590259	57
2	1566505	589029	69
3	1570161	604231	58
4	1572557	605575	57
5	1572286	602556	57
6	1570645	600078	66
7	1560952	588321	54
8	1592176	606555	74
9	1641458	606173	47

ตารางที่ 3-10 (ต่อ)

Station	N	E	NO3(mg/kg)
15	1608232	593740	61
16	1607202	591644	85
17	1607684	590127	70
18	1608884	590641	55
19	1544700	588161	53
20	1544789	586332	54
21	1546126	566467	53
22	1552580	558512	128
23	1551020	550267	46
24	1530168	537354	151
25	1529180	533047	49
26	1529275	534147	65
27	1529984	535312	90
28	1530199	537400	102
29	1563521	582793	62
30	1576957	569926	48
31	1608660	555676	55

3.2 การนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนโดยใช้แบบจำลอง DRASTIC

3.2.1 การวิเคราะห์ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยใช้แบบจำลอง DRASTIC

ในการวิเคราะห์ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของมลสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยใช้แบบจำลอง DRASTIC ทำได้โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้คะแนนโดยพิจารณาระดับค่าคะแนน

(rating) ของข้อมูลดังกล่าว และนำค่าคะแนนไปคูณกับเกณฑ์การให้คะแนนที่เหมาะสมกับพื้นที่ รวมทั้งค่าน้ำหนัก (Weight) ของตัวแปรดังกล่าว และใช้ผลลัพธ์ที่ได้รวมทุกตัวแปรในการประเมิน และสร้างแผนที่ความเปราะบาง โดยมีสมการ คือ

$$\text{DRASTIC Index} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w \quad (3-1)$$

เมื่อ D, R, A, S, T, I, C คือตัวแปร

r คือ ระดับค่าคะแนน (Rating) ของข้อมูล

w คือ ค่าน้ำหนัก (Weight) ของตัวแปร

โดยในการวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นไร้แรงดัน (Unconfined Aquifer) เนื่องจากชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นไร้แรงดัน คือ ชั้นน้ำบาดาลที่อยู่ลึกจากผิวดินลงไปโดยไม่มีชั้นดินหรือชั้นหินปิดกั้น ทำให้ได้รับผลจากการซึมของน้ำบนผิวดินโดยตรง ซึ่งเป็นปัจจัยต่อการเกิดการปนเปื้อนของพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 3- 11 ตารางแสดงค่าน้ำหนัก (Weight) ของแต่ละปัจจัยในแบบจำลอง DRASTIC (Aller et al., 1987)

ปัจจัยตัวแปร DRASTIC	ค่าถ่วงน้ำหนัก
1. ค่าระดับน้ำบาดาล (D)	5
2. อัตราการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ (R)	4
3. ตัวกลางชั้นน้ำบาดาล (A)	3
4. ตัวกลางดิน (S)	2
5. ภูมิประเทศ (T)	1
6. เขตอิทธิพลอากาศ (I)	5
7. ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (C)	3

- ความลึกของระดับน้ำบาดาล วิเคราะห์จากข้อมูลความลึกของระดับน้ำบาดาล ในบ่อบาดาลหลังการเจาะพัฒนาบ่อในตารางที่ 3-1 ตารางที่ 3-3 และตารางที่ 3-5 หรือข้อมูลจากการติดตามระดับน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ที่ได้จากการวัดระยะจากปากบ่อจนถึงบริเวณระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ เนื่องจากการในงานวิจัยนี้ศึกษาชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นไร้แรงดัน ดังนั้น ค่าความลึกระดับน้ำบาดาลจึงได้จากการนำข้อมูลความลึกระดับน้ำบาดาลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล มาหักลบด้วยความสูงของปากบ่อจากพื้นดิน เมื่อมีข้อมูลความลึกของน้ำบาดาลจากผิวดิน ในขั้นถัดไป จะเป็นการวิเคราะห์ค่าคะแนนจากข้อมูลความลึกที่ได้โดยทำการแปลงเป็นค่าคะแนนด้วยการเทียบจากตารางการให้คะแนนของความลึกระดับน้ำบาดาล ดังที่แสดงในตารางที่ 3-12 และที่มีการแปลงหน่วยในตารางที่ 3-13 เนื่องจากประเทศไทยใช้หน่วย SI Unit จึงวิเคราะห์ผลเทียบกับตารางที่ 3-13 และเมื่อได้ค่าคะแนนในตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ดังกล่าว ก็จะนำข้อมูลทั้งหมดมาเข้าระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยนำเข้าข้อมูลรายตำแหน่ง (รูปที่ 3-7) และแปลงผลเป็นพื้นที่โดยใช้รูปแบบการทำงาน Kriging ในโปรแกรม GIS จึงได้แผนที่คะแนนความลึกของระดับน้ำบาดาลดังแสดงในรูปที่ 3-8

ตารางที่ 3- 12 ช่วงค่าของความลึกของระดับน้ำบาดาลและค่าคะแนนที่กำหนดให้ (Aller et al., 1987)

ช่วงค่า (ฟุต)	ค่าคะแนน	ช่วงค่า (ฟุต)	ค่าคะแนน
0-5	10	50-75	3
5-15	9	75-100	2
15-30	7	> 100	1
30-50	5		

ตารางที่ 3- 13 ช่วงค่าของความลึกของระดับน้ำบาดาลและค่าคะแนนที่กำหนดให้ (ดัดแปลงจาก Aller et al., 1987)

ช่วงค่า (เมตร)	ค่าคะแนน
0.0 - 1.5	10
1.5 - 5.0	9
5.0 - 10.0	7
10.0 - 16.7	5
16.7 - 25.0	3
25.0 - 33.3	2
>33.33	1

- อัตราการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ วิเคราะห์จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา ดังแสดงในตารางที่ 3-2, 3-4 และ 3-6 รวมกับข้อมูลของดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ใช้สมการ

$$R = p * r \quad (3-2)$$

เมื่อ R คือ อัตราการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ (Recharge) (มิลลิเมตรต่อชม.)

p คือ ปริมาณน้ำฝน (Precipitation) (มิลลิเมตรต่อปี)

r คือ อัตราการซึม (ร้อยละ) ซึ่งสามารถคิดได้จากสมการ

$$r = 0.24i + 3.2 \quad (3-3)$$

เมื่อ i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (เซนติเมตรต่อชั่วโมง)

(ที่มา โครงการประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนของมลสารทางเกษตรลงสู่แหล่งน้ำบาดาลและออกแบบแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดสุพรรณบุรี)

ขั้นตอนถัดไปเป็นการวิเคราะห์ค่าคะแนนจากข้อมูลอัตราการเติมน้ำ ที่ใช้การแปลค่าคะแนนโดยการเทียบจากตารางการให้คะแนนของอัตราการเติมน้ำสุทธิ ตามตารางที่ 3-14 และตามที่มีการแปลงหน่วยในตารางที่ 3-15 เนื่องจากประเทศไทยใช้หน่วย SI Unit จึงวิเคราะห์ผลเทียบกับตารางที่ 3-15 และเมื่อได้ค่าคะแนนในพื้นที่แล้ว จะนำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่โปรแกรม GIS โดยนำเข้าข้อมูล

รายตำแหน่ง (รูปที่ 3-9) และแปลงผลเป็นพื้นที่โดยรูปแบบการทำงาน Kriging ในโปรแกรม GIS ก็จะได้แผนที่คะแนนอัตราการเพิ่มเติมน้ำดังแสดงในรูปที่ 3-18

ตารางที่ 3- 14 ช่วงค่าของอัตราการเพิ่มเติมน้ำสุทธิและค่าคะแนนที่กำหนดให้ (Aller et al., 1987)

ช่วงค่า (นิ้ว)	ค่าคะแนน
0-2	1
2-4	3
4-7	6
7-10	8
> 10	9

ตารางที่ 3- 15 ช่วงค่าของอัตราการเพิ่มเติมน้ำสุทธิและค่าคะแนนที่กำหนดให้ (ดัดแปลงจาก Aller et al., 1987)

ช่วงค่า (มิลลิเมตรต่อปี)	ค่าคะแนน
0.0 - 50.0	1
50.0 - 100.0	3
100.0 - 175.0	6
175.0 - 250.0	8
>250.0	9

- ตัวกลางของชั้นน้ำบาดาลเป็นข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจจากผิวดินลงไปทีละระยะต่าง ๆ (การหยั่งธรณีหรือ Bore logs) ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล และวิเคราะห์ลักษณะของตัวกลางดังกล่าวว่า เป็นตะกอนร่วนหรือหินแข็ง (1) หากเป็นหินแข็ง ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำจะแปรผันตรงกับรอยแยก รอยเลื่อน หรือรอยแตก ซึ่งจะส่งผลต่อความเปราะบาง และ (2) ส่วนชั้นน้ำบาดาลที่เป็นตะกอนร่วน อัตราการผ่านซึมของน้ำจะขึ้นกับการเรียงตัวของเม็ดตะกอน ทั้งนี้ การนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ค่าคะแนนจากแผนที่ตัวกลางชั้นน้ำบาดาลดังแสดงในรูปที่ 3-3, 3-7 และ 3-11 จะแปลเป็นค่าคะแนนโดยเทียบจากตารางการให้คะแนนตัวกลางของชั้นน้ำบาดาล โดยวิเคราะห์ผลเทียบกับตารางที่ 3-16 ก่อนที่จะนำเข้าสู่ข้อมูลทั้งหมดสู่โปรแกรม GIS เพื่อให้ได้แผนที่คะแนนอัตราการเพิ่มเติมน้ำดังแสดงในรูปที่ 3-19

ตารางที่ 3- 16 กลุ่มตัวกลางของชั้นน้ำบาดาลและช่วงค่าคะแนนที่กำหนดให้ (Aller et al., 1987)

กลุ่ม	ค่าคะแนน	ค่าคะแนนแนะนำ
Massive Shale	1-3	2
Metamorphic/Igneous	2-5	3
Weathered Metamorphic/Igneous	3-5	4
Glacial Till	4-6	5
Bedded Sandstone, Limestone and Shale Sequences	5-9	6
Massive Sandstone	4-9	6
Massive Limestone	4-9	6
Sand and Gravel	4-9	8
Basalt	2-10	9
Karst Limestone	9-10	10

- ตัวกลางของดินวิเคราะห์ได้จากข้อมูลคุณสมบัติของดิน ซึ่งเป็นข้อมูลแผนที่ชนิดดินของกรมพัฒนาที่ดิน (2550) ดังแสดงในรูปที่ 3-4, 3-8 และ 3-12 โดยแผนที่ได้จากการเจาะสำรวจตัวอย่างชั้นบนสุดของผิวดินลึกไม่เกิน 1.8 เมตร (Osborn et al., 1998) ทั้งนี้ การจัดกลุ่มคุณสมบัติตามข้อมูลที่ได้ตามองค์ประกอบหลักทางกายภาพของชุดดิน และทำการแปลเป็นค่าคะแนนโดยเทียบจากตารางการให้คะแนนของตัวกลางดิน สามารถวิเคราะห์ผลเทียบกับตารางที่ 3-17 ก่อนที่จะนำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่โปรแกรม GIS เพื่อให้ได้แผนที่คะแนนตัวกลางของดินดังแสดงในรูปที่ 3-20

ตารางที่ 3- 17 กลุ่มตัวกลางของดินและค่าคะแนนที่กำหนดให้ (Aller et al., 1987)

กลุ่ม	ค่าคะแนน	กลุ่ม	ค่าคะแนน
Thin or Absent	10	Loam	5
Gravel	10	Silty Loam	4
Sand	9	Clay Loam	3
Peat	8	Muck	2
Shrinking and/or Aggregated Clay	7	Nonshrink and Nonaggregated Clay	1
Sandy Loam	6		

- ภูมิประเทศ คือ ข้อมูลที่แสดงความลาดชันของพื้นที่เป็นร้อยละ โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากแผนที่ภูมิประเทศ SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM (digital elevation model) ver.4 ของ NASA ซึ่งเปิดให้ใช้บริการโดยไม่มีค่าใช้จ่ายได้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2003 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวครอบคลุมพื้นที่ประมาณร้อยละ 80 ของพื้นที่โลก ขนาด pixel ของ DEM คือ 3 พิลิปดา (ค่า 1 พิลิปดา เท่ากับประมาณ 30 เมตร) หรือขนาดประมาณ 90 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3-6, 3-10 และ 3-14 ซึ่งเป็นแผนที่แสดงความสูงของพื้นที่ที่ได้จากดาวเทียม ส่งผลต่อความแปรปรวนในแง่ของระยะเวลา โดยหากความลาดชันของระยะเวลาที่สารปนเปื้อนหรือน้ำที่เกิดการปนเปื้อนจะสามารถลงสู่ชั้นน้ำบาดาลในบริเวณดังกล่าวมีน้อย จะส่งผลให้ความแปรปรวนของบริเวณนั้นต่ำ หมายความว่าความลาดชันแปรผกผันกับความแปรปรวนของพื้นที่ ซึ่งสามารถแปลเป็นค่าคะแนนโดยเทียบจากตารางการให้คะแนนของความลาดชันของพื้นที่ และวิเคราะห์ผลเทียบกับตารางที่ 3-18 ก่อนที่จะนำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่โปรแกรม GIS เพื่อให้ได้แผนที่คะแนนภูมิประเทศดังแสดงในรูปที่ 3-21

ตารางที่ 3- 18 ช่วงค่าของความลาดชันของพื้นที่และค่าคะแนนที่กำหนดให้ (Aller et al., 1987)

ช่วงค่า (%)	ค่าคะแนน
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
> 18	1

- เขตอิมมูนาส คือ บริเวณที่อยู่เหนือระดับน้ำบาดาลและใต้ระดับของดิน ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำหรือมีความไม่ต่อเนื่องของการอิ่มตัวด้วยน้ำ ในส่วนของ การให้คะแนนจะพิจารณาจากตัวกลางของบริเวณที่เป็นเขตอิมมูนาสในพื้นที่ศึกษา โดยวิเคราะห์จากข้อมูลแผนที่ของกรมพัฒนาที่ดินที่ได้จากการเจาะสำรวจพื้นที่ หรือแปลค่าจากข้อมูล Bore logs และแปลเป็นค่าคะแนนโดยเทียบจาก ตารางการให้คะแนนของเขตอิมมูนาส ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลเทียบกับตารางที่

3-19 ก่อนที่จะนำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่โปรแกรม GIS เพื่อให้ได้แผนที่คะแนนเขต
อิมอากาศดังแสดงในรูปที่ 3-22

ตารางที่ 3- 19 กลุ่มตัวกลางของเขตอิมอากาศและช่วงค่าคะแนนที่กำหนดให้ (Aller et al., 1987)

กลุ่ม	ค่าคะแนน	ค่าคะแนนแนะนำ
Confining Layer	1	1
Silt/Clay	2-6	3
Shale	2-5	3
Limestone	2-7	6
Sandstone	4-8	6
Bedded Limestone, Sandstone, Shale	4-8	6
Sand and Gravel with significant Silt and Clay	4-8	6
Metamorphic/Igneous	2-8	4
Sand and Gravel	6-9	8
Basalt	2-10	9
Karst Limestone	8-10	10

- สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาลแปรผันตรงกับปริมาณของ
ช่องว่างภายในชั้นน้ำบาดาล ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการยอมให้น้ำไหลผ่าน
วัตถุดังกล่าวในแนวราบ โดยเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของน้ำบาดาลที่ส่งผล
ต่อการแพร่กระจายของมลสารที่ปนเปื้อนไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของชั้นน้ำบาดาล ทั้งนี้
สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านจากข้อมูลที่ได้ โดยวิธีการ
สุบทดสอบของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล จากสมการ (U.S.EPA, 1994)

$$K = \frac{T}{b} = 2000 \times \frac{\text{specific capacity}}{b} \quad (3-4)$$

เมื่อ K (คือตัวแปร C ในแบบจำลอง DRASTIC) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอม
ให้น้ำซึมผ่าน (m/d)

T คือ สัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (transmissivity) (m²/d)

b คือ ความหนาของชั้นน้ำบาดาล (m)

ส่วนค่า specific capacity สามารถคำนวณได้จากสมการ (U.S. EPA, 1994)

$$\text{specific capacity} = \frac{Q}{wd} \quad (3-5)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณน้ำที่สูบออก (แกลลอนต่อนาที)

wd คือ ระยะน้ำลด (drawdown) หรือการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลก่อนและหลังการสูบ (ฟุต)

- การแปลผลข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาลเป็นคะแนน โดยวิเคราะห์เทียบกับตารางที่ 3-20 หรือที่มีการแปลงหน่วยในตารางที่ 3-21 เนื่องจากประเทศไทยใช้หน่วย SI Unit จึงวิเคราะห์ผลเทียบกับตารางที่ 3-21 เมื่อได้ค่าคะแนนในพื้นที่นำข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่โปรแกรม GIS โดยนำเข้าข้อมูลรายตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 3-23 และแปลงผลเป็นพื้นที่โดยรูปแบบการทำงาน Kriging ในโปรแกรม GIS เพื่อให้ได้แผนที่คะแนนอัตราการเพิ่มเติมน้ำดังแสดงในรูปที่ 3-24

ตารางที่ 3- 20 ช่วงค่าของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาลและค่าคะแนนที่กำหนดให้ (Aller et al., 1987)

ช่วงค่า (แกลลอน/วัน/ฟุต)	ค่าคะแนน
1-100	1
100-300	2
300-700	4
700-1000	6
1000-2000	8
> 2000	10

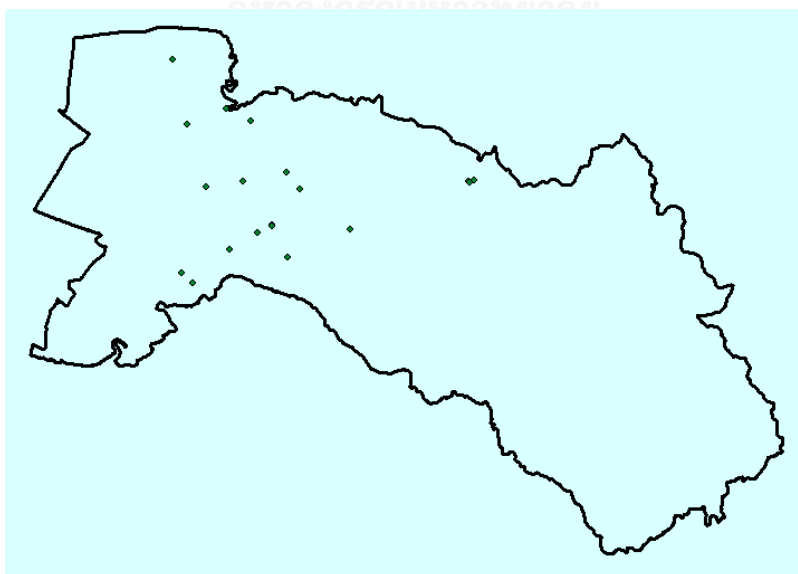
ตารางที่ 3- 21 ช่วงค่าของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาลและค่าคะแนนที่กำหนดให้ที่ได้รับการดัดแปลง (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2552)

ช่วงค่าคะแนนของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ (Hydraulic Conductivity of the Aquifer: C) (เมตร/วัน)	ค่าคะแนน (C _r)
0.00 – 5.00	1
5.01 – 15.00	2
15.01 – 35.00	3
35.01 – 75.00	4
75.01 – 155.00	6
155.01 – 315.00	8
> 315.01	10
ค่าถ่วงน้ำหนัก (C _w) DRASTIC / PDRASTIC : 3 / 2	

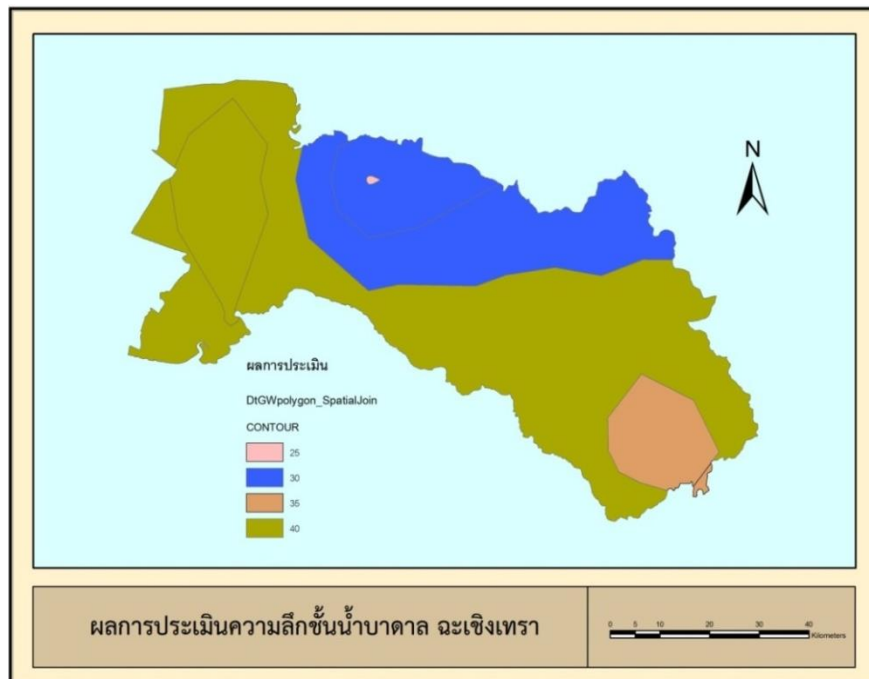
3.2.2 นำเข้าข้อมูลการวิเคราะห์ค่าคะแนนโดยเกณฑ์การให้คะแนน DRASTIC

จากตำแหน่งที่มีข้อมูลได้ทำการประเมินโดยการให้คะแนนจากการพิจารณาค่าของตัวแปร โดยเทียบกับเกณฑ์การให้คะแนนของ DRASTIC by Aller et al.,(1987) ซึ่งนำค่าคะแนนที่ได้จากการประเมินไปสร้างแผนที่

- ความลึกของระดับน้ำบาดาล

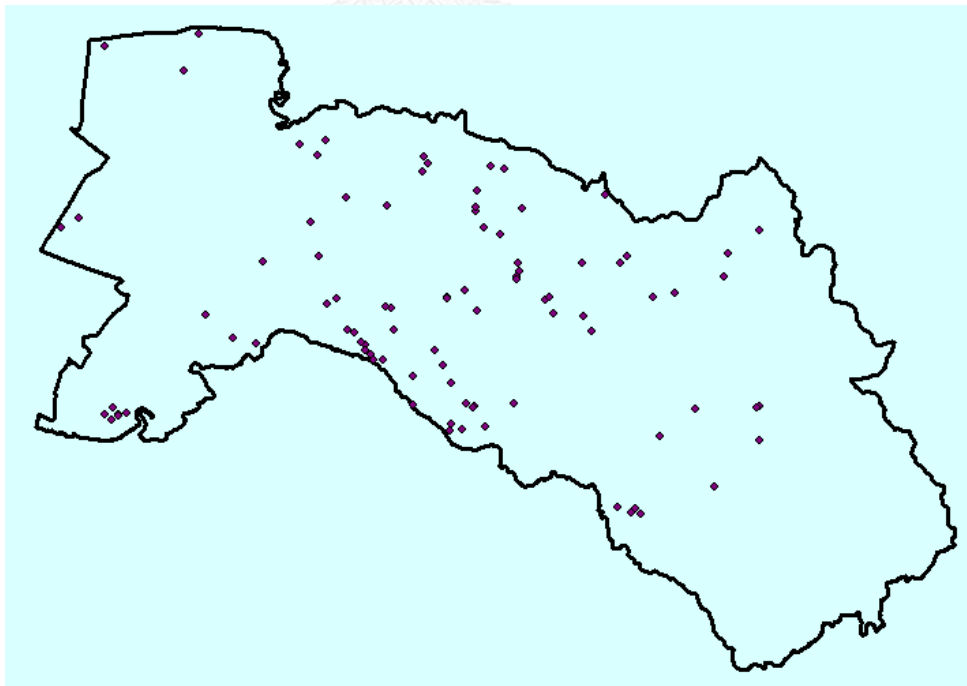


รูปที่ 3- 15 ตัวอย่างตำแหน่งข้อมูลความลึกระดับน้ำบาดาล

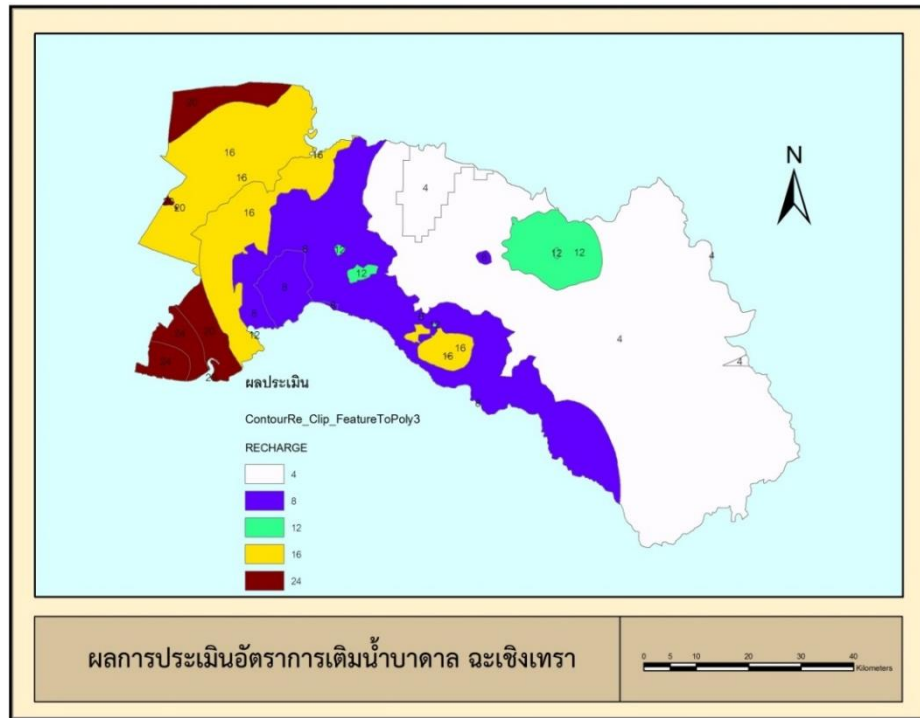


รูปที่ 3- 16 ตัวอย่างผลการประเมินจากข้อมูลความลึกระดับน้ำบาดาล จังหวัดฉะเชิงเทรา

- อัตราการเพิ่มเติมน้ำสุทธิ



รูปที่ 3- 17 ตัวอย่างตำแหน่งข้อมูลอัตราการเติมน้ำบาดาล จังหวัดฉะเชิงเทรา



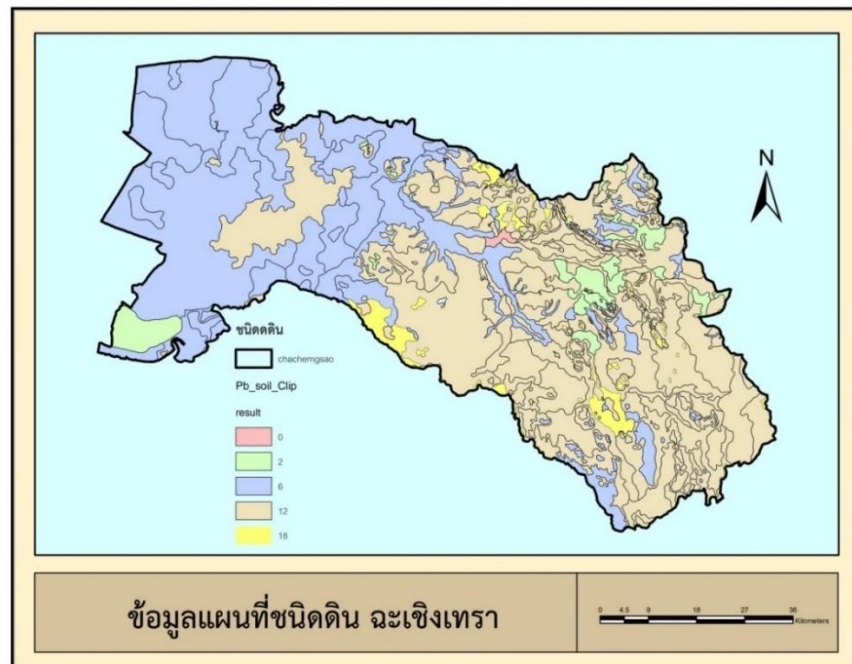
รูปที่ 3- 18 ตัวอย่างผลการประเมินข้อมูลอัตราการเติมน้ำบาดาล จังหวัดฉะเชิงเทรา

- ตัวอย่างของชั้นน้ำบาดาล



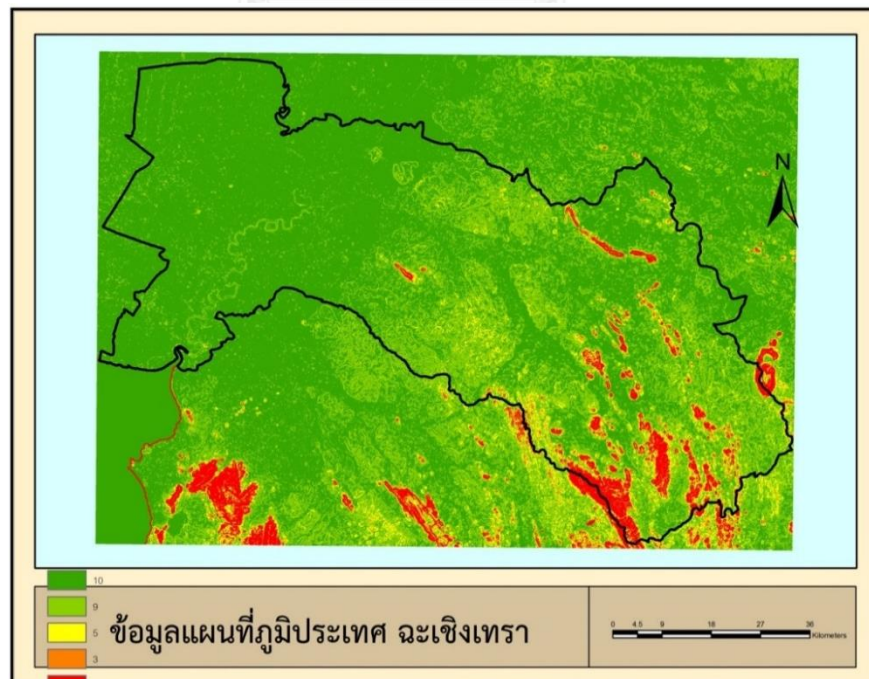
รูปที่ 3- 19 ตัวอย่างผลการประเมินข้อมูลตัวกลางชั้นน้ำบาดาล จังหวัดฉะเชิงเทรา

- ตัวกลางของดิน วิเคราะห์จากแผนที่ ดินของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล



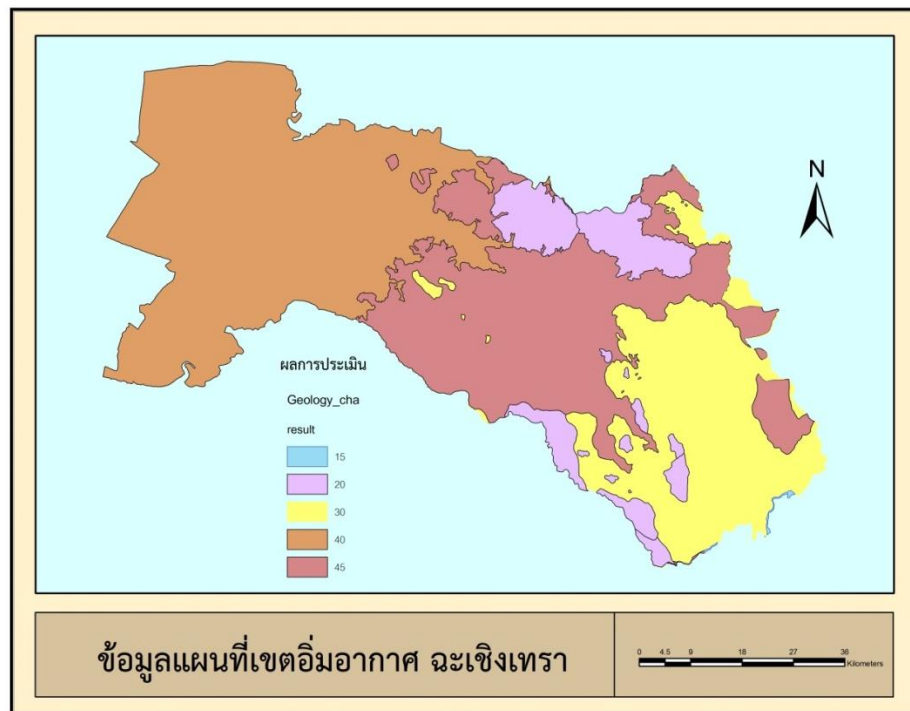
รูปที่ 3- 20 ตัวอย่างผลการประเมินข้อมูลตัวกลางชั้นดิน จังหวัดฉะเชิงเทรา

- ภูมิประเทศ



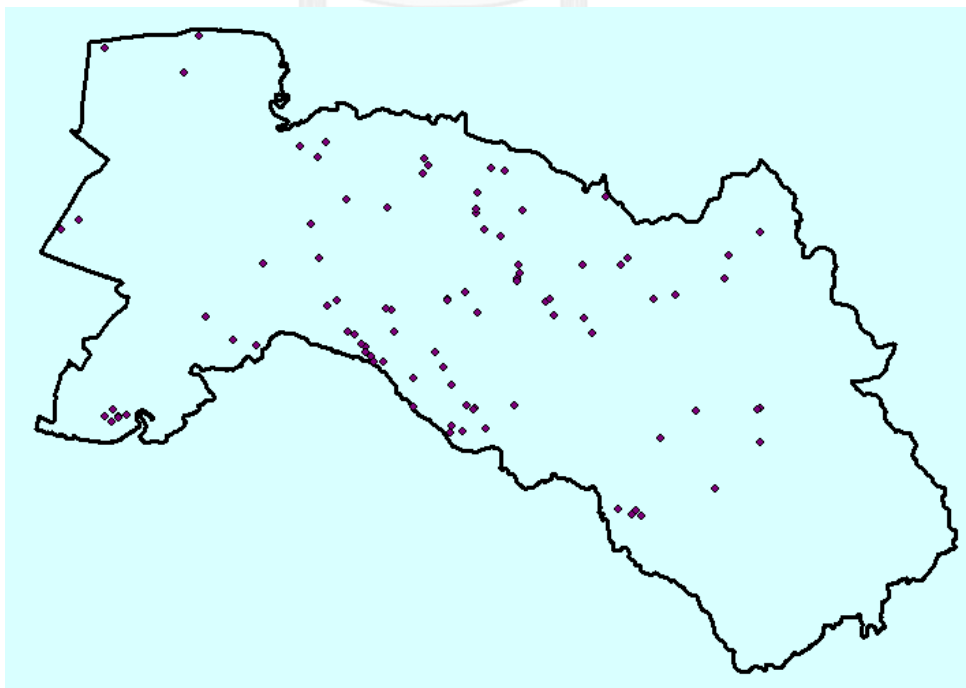
รูปที่ 3- 21 ตัวอย่างผลการประเมินข้อมูลภูมิประเทศ จังหวัดฉะเชิงเทรา

- เขตอ้อมอากาศ

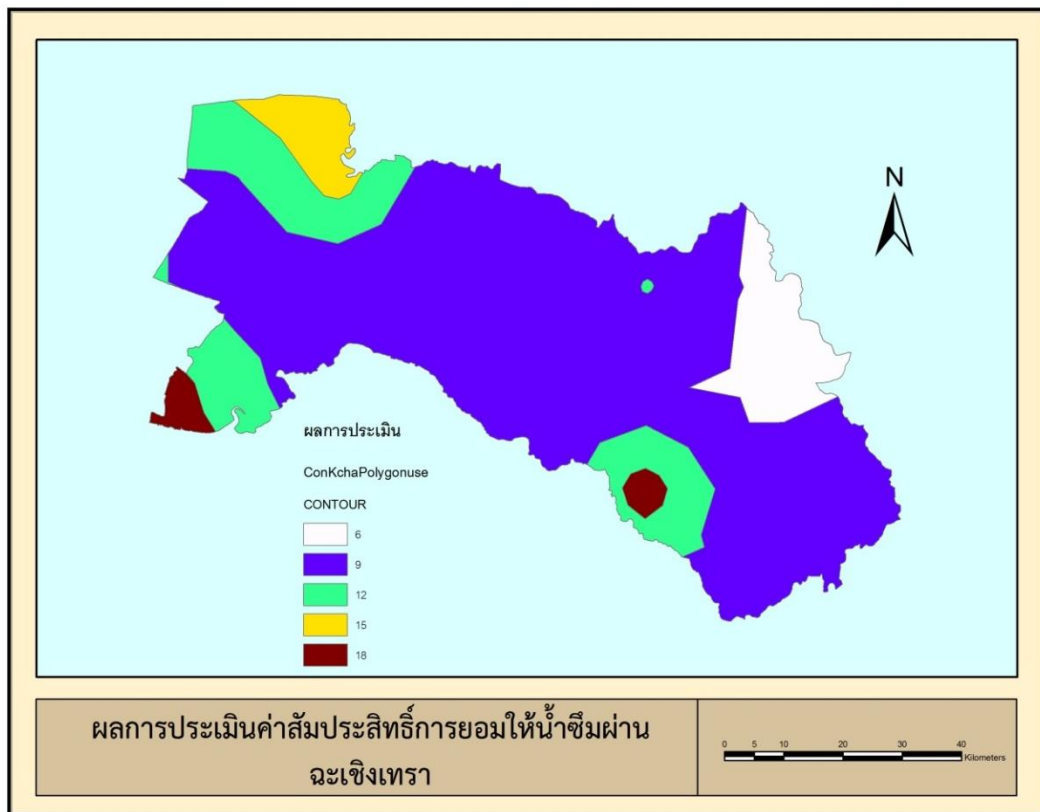


รูปที่ 3- 22 ตัวอย่างผลการประเมินข้อมูลเขตอ้อมอากาศ จังหวัดฉะเชิงเทรา

- สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำบาดาล

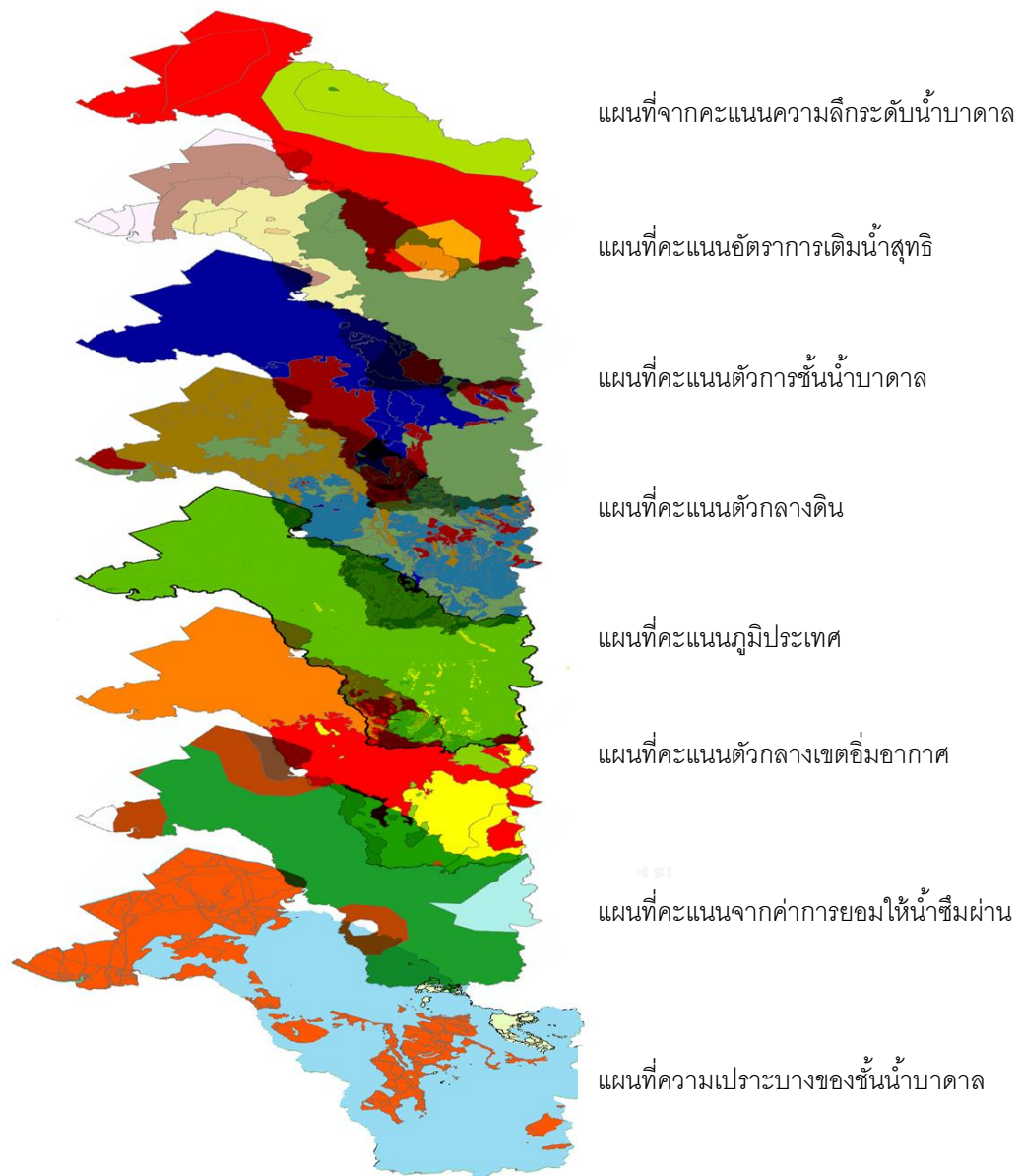


รูปที่ 3- 23 ตัวอย่างตำแหน่งข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน จังหวัดฉะเชิงเทรา



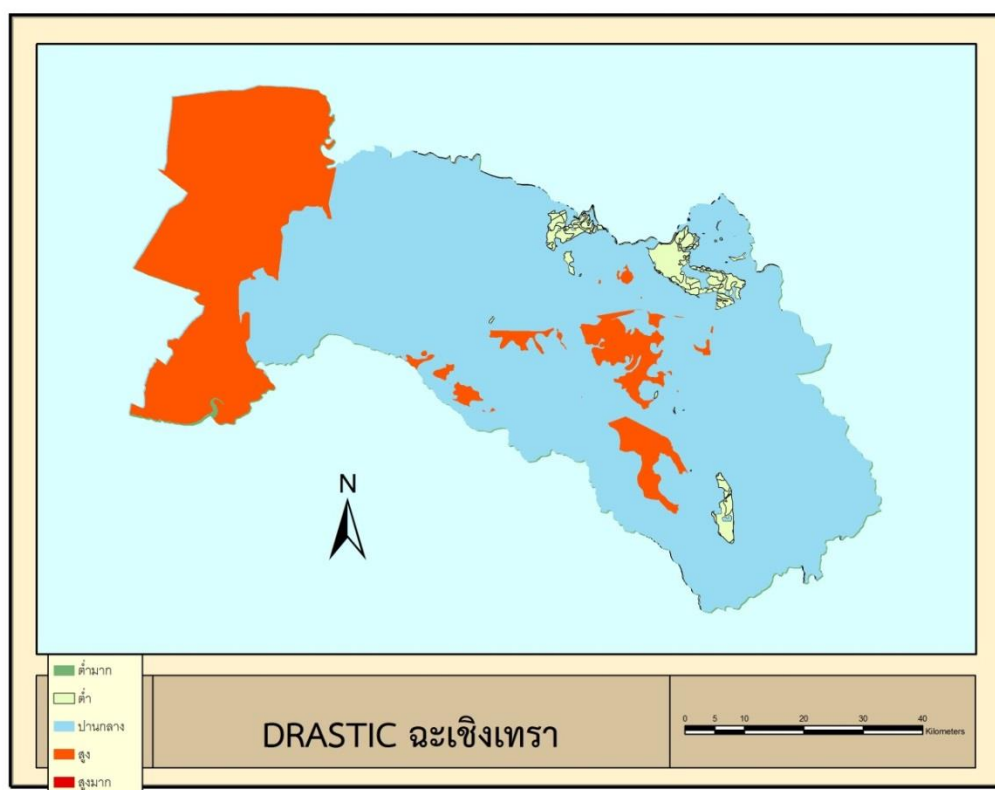
รูปที่ 3- 24 ตัวอย่างผลการประเมินข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน จังหวัดฉะเชิงเทรา

3.2.3 การจัดทำแผนที่ความเปราะบางของพื้นที่ศึกษา โดยการนำแผนที่ของทั้ง 7 ตัวแปรมาซ้อนทับ โดยใช้โปรแกรม GIS ในการทำ Overlay เพื่อรวมค่าคะแนน



รูปที่ 3- 25 ตัวอย่างการ Overlay แผนที่ตัวแปรทั้ง 7 เพื่อการสร้างแผนที่ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน ในจังหวัดฉะเชิงเทรา

โดยแผนที่ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนที่เกิดจากการการวิเคราะห์ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาล โดยใช้แบบจำลอง DRASTIC ทำให้สามารถระบุพื้นที่ที่มีความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่ำมาก ต่ำ ปานกลาง สูง สูงมาก (ระดับความเปราะบาง 5 ระดับ แบ่งตามโครงการประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนของมลสารทางเกษตรลงสู่แหล่งน้ำบาดาลและออกแบบแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดสุพรรณบุรี)



รูปที่ 3- 26 ตัวอย่างแผนที่ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนต่อการเกิดมลภาวะ
โดยวิธี DRASTIC

3.3 การนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ความแปรปรวนของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน โดยการใช้แบบจำลอง ADVANCED DRASTIC

3.3.1 การศึกษาความสัมพันธ์และวิเคราะห์เชิงสถิติระหว่างปริมาณน้ำฝนและระดับน้ำบาดาล เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา 3 แห่ง ได้แก่

- จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก
- จังหวัดสุพรรณบุรี
- จังหวัดฉะเชิงเทรา

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) คือ วิธีการที่ใช้ในการศึกษารูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น ซึ่งสามารถมีได้มากกว่า 1 ตัว และตัวแปรตาม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ตัวแปรตามด้วยค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นแต่ละตัวและค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นนั้น ๆ ซึ่งเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย โดยแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรง (Linear Regression Analysis) และการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นโค้ง (Non-Linear Regression Analysis) ในการศึกษาเลือกใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรง (Linear Regression Analysis) ในรูปแบบการวิเคราะห์พหุคูณ เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์เพื่อการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวใช้ค่า R^2 หรือรู้จักกันในอีกความหมายหนึ่งว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) ซึ่งบ่งบอกผลของตัวแปรอิสระต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม หรือกล่าวได้ว่า เป็นสถิติที่ใช้วัดระดับของความสมรูปร่างระหว่างตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้จากการคำนวณกับข้อมูล ทั้งนี้ การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression) เป็นการบ่งบอกถึงความแปรผันของตัวแปรที่พิจารณา โดยมีสมการ คือ

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3-5)$$

เมื่อ y_i คือตัวแปรตาม

f_i คือตัวแปรต้น

สมการนี้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของค่า y_i กับการเปลี่ยนแปลงของค่า f_i ซึ่งในกรณีทั่วไปสามารถพิจารณาค่า R^2 ได้จากการยกกำลัง 2 ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (r - ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร 2 ตัว และจะทำให้ค่า R^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 โดยหากค่า R^2 เป็น 0 แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรดังกล่าวไม่สามารถอธิบายความผันแปร หรือการเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อค่าตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรตามที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เลย ในขณะที่หากค่า R^2 เป็น 100 แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรดังกล่าวสามารถอธิบายความผันแปร หรือการเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อค่าตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรตามที่กระจายรอบค่าเฉลี่ยได้เป็นอย่างดี โดยคำนวณได้จากสูตร

$$r_{xy} = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (3-6)$$

เมื่อ r คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และ Y

X คือ ตัวแปรที่ 1

Y คือ ตัวแปรที่ 2

N คือ จำนวนตัวอย่าง

โดยในที่นี้เราจะศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำบาดาล ดังนั้น ตัวแปร X และตัวแปร Y จึงเป็นค่าปริมาณน้ำฝนรายเดือนและค่าปริมาณน้ำบาดาลรายเดือนตามลำดับ (ปิยะพิมลสิทธิ์, 2554)

ทิศทางของความสัมพันธ์ (Direction of the Relationship)

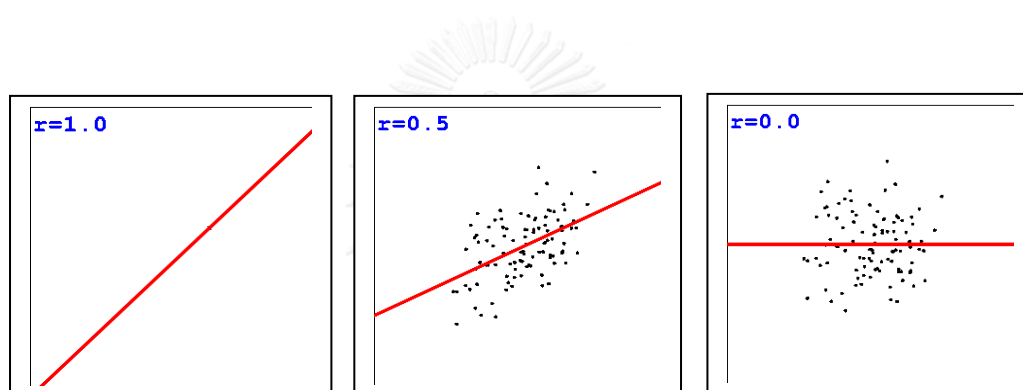
ในการหาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้น เราสามารถสร้างแผนภาพกระจาย (Scatterplot) เพื่อดูทิศทางของความสัมพันธ์ได้ โดยมีลักษณะความสัมพันธ์ 3 แบบ ได้แก่

1. สหสัมพันธ์ทางบวก (Positive Correlations) ซึ่งหมายความว่าตัวแปรทั้ง 2 นั้นมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นแบบแปรผกผัน คือเมื่อตัวแปรตัวหนึ่งเพิ่มหรือลดลงอีกตัวแปรหนึ่งก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปด้วย

2. สหสัมพันธ์ทางลบ (Negative Correlations) หมายถึงตัวแปรทั้ง 2 นั้นมีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นแบบแปรผกผัน คือเมื่อตัวแปรตัวหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงอีกตัวหนึ่งจะมีค่าเพิ่มหรือลดลงตรงข้ามเสมอ

3. สหสัมพันธ์เป็นศูนย์ (Zero Correlations) หมายถึงตัวแปรสองตัวไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นซึ่งกันและกัน

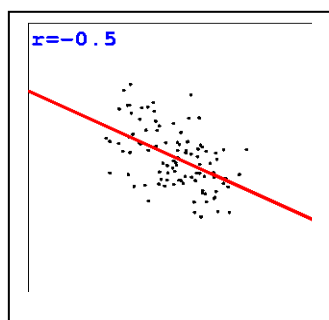
ค่า r	ระดับของความสัมพันธ์
0.90 - 1.00	มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
0.70 - 0.90	มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
0.50 - 0.70	มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
0.30 - 0.50	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
0.00 - 0.30	มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก



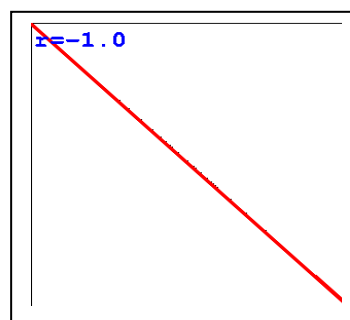
(1)

(2)

(3)

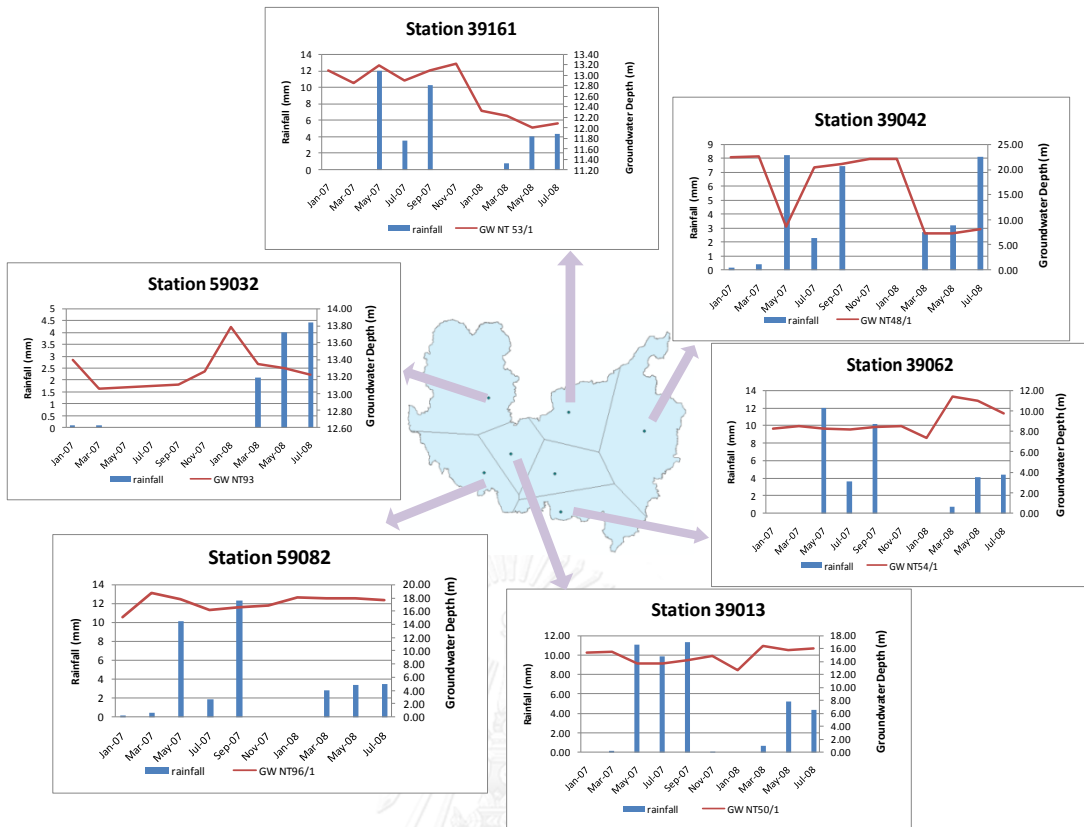


(4)



(5)

รูปที่ 3-27 ลักษณะของกราฟที่ค่า $r = 1, .5, 0, -.5$ และ -1 (ดร.อิศรภรณ์ รินไธสง, 2548)



รูปที่ 3- 28 การแบ่งพื้นที่ศึกษาในการหาค่าความสัมพันธ์เป็นส่วน ๆ ตามพิกัดของสถานีวัดน้ำฝน เพื่อกำหนดข้อมูลของสถานีวัดปริมาณน้ำฝนและข้อมูลระดับน้ำบาดาลที่จะใช้ในการจะศึกษาความสัมพันธ์และวิเคราะห์เชิงสถิติ

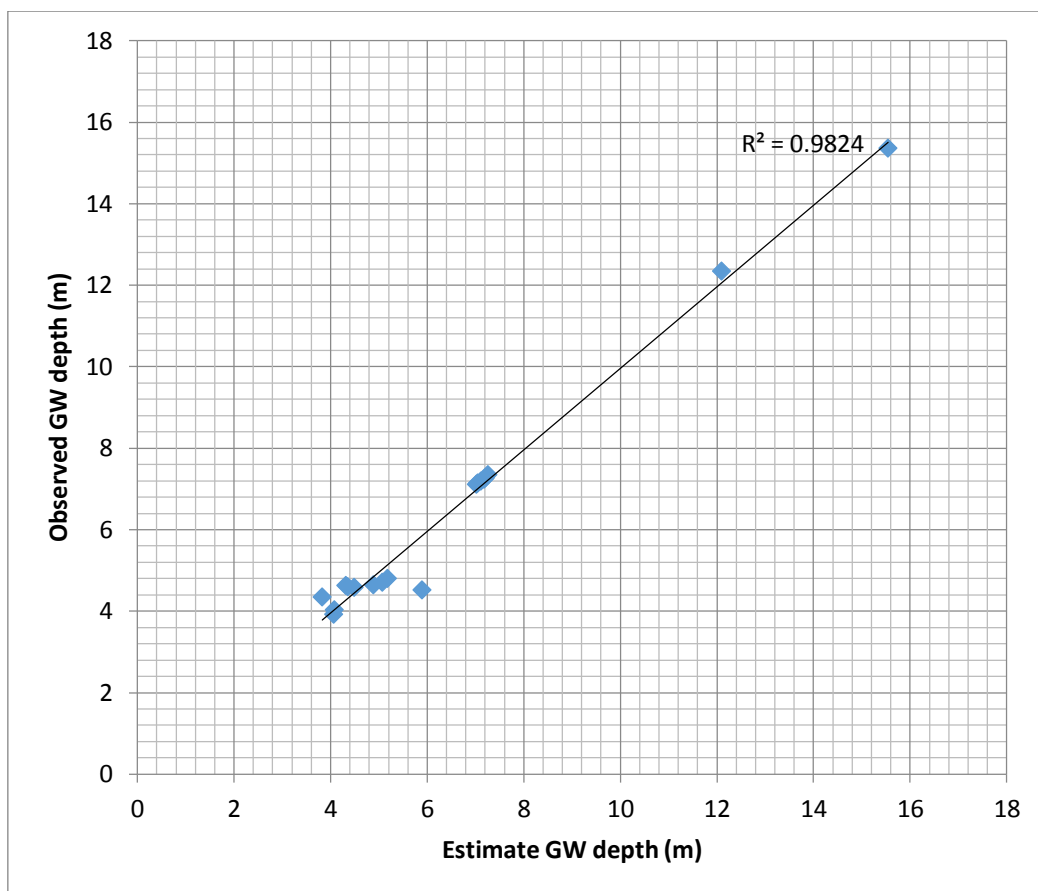
ตารางที่ 3- 22 ตารางแสดงตัวอย่างสมการสมการทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณฝน และระดับน้ำบาดาล

ข้อสังเกตการณ์	สมการความสัมพันธ์
EAT 85/1	$Gw = 8.85 - 0.08545R_t + 0.267R_{t-1} + 0.22R_{t-2} + 0.093R_{t-3}$
EAT 74	$Gw = 15.38 - 0.012R_t + 0.001632R_{t-1} + 0.01R_{t-2} + 0.0069R_{t-3}$
EAT 78/2	$Gw = 4.636 - 0.055R_t - 0.0425R_{t-1} + 0.0615R_{t-2} + 0.06444R_{t-3}$
EAT 2/4	$Gw = 5.17 - 0.068R_t - 0.05648R_{t-1} - 0.03053R_{t-2} + 0.020153R_{t-3}$
EAT 2/3	$Gw = 7.24 - 0.02725R_t - 0.001R_{t-1} - 0.0015R_{t-2} + 0.01236R_{t-3}$

การตรวจสอบ (Verify) ตัวแบบหรือสมการพยากรณ์ทางคณิตศาสตร์ที่สร้างจากความสัมพันธ์เพื่อให้ทราบศักยภาพและความถูกต้องในการพยากรณ์ สามารถพิจารณาได้จากผลของตัวแปรต้นต่อความแปรผันของตัวแปรตาม ในการนี้ จึงใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination – R²) พิจารณาความสามารถในการพยากรณ์ดังกล่าว เพื่อป้องกันค่าผันแปรของผลที่ได้จากสมการเมื่อเทียบกับค่าระดับน้ำบาดาลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริง รวมถึงหาค่าร้อยละความผิดพลาด (%error) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE

ตารางที่ 3- 23 ตัวอย่างการverifyสมการที่ได้ ในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา หาค่าร้อยละความผิดพลาด (% error) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)

Station	real	model	%error	RMSE
EAT 2/4	4.8	5.184521	8.010863	0.156298
	4.71	5.073143	7.710044	
	4.65	4.889441	5.149279	
	4.58	4.489653	1.972638	
	4.64	4.323685	6.817137	
	4.6	4.354371	5.339768	
	3.92	4.062725	3.640948	
	4.03	4.078416	1.2014	
	4.35	3.829351	11.96895	
EAT 2/3	7.35	7.265554	1.148922	
	7.28	7.209688	0.965819	
	7.24	7.179241	0.839211	
	7.12	7.025821	1.322741	
	7.2	7.11961	1.116521	
	7.15	7.052462	1.364168	
EAT 85/1	12.35	12.09324	2.079014	
EAT 74	15.37	15.54788	1.157317	
EAT 78/2	4.53	5.899593	30.23383	



รูปที่ 3- 29 ตัวอย่างการหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination – R^2) เพื่อพิจารณาความสามารถในการพยากรณ์ ของจังหวัดะเชิงเทรา

3.3.2 การจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการสร้างรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล ด้วยแบบจำลอง MODFLOW

แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการศึกษานี้ได้จำลองภาพการไหลของน้ำบาดาลและสร้างรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล ด้วยแบบจำลอง MODFLOW ในโปรแกรม GMS 9.1 ซึ่งจำลองจากหลัก Finite Difference และมีสมการหลักที่ใช้ในการคำนวณ คือ

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right] + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3-7)$$

เมื่อ K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) ในแนวแกน x, y, z [LT⁻¹]

H คือ ระดับแรงดันของน้ำบาดาล

W คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ โดยเติมน้ำ (+) สูบออก (-) ต่อหน่วยปริมาตร
[L^3T^{-1}/L^3]

S_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะของชั้นน้ำบาดาล (Specific Storage)
[L^{-1}]

T คือ เวลา [T]

และเมื่อพิจารณาเป็นการไหลต่อเนื่อง จะได้สมการในรูปแบบ Partial Differential Equation ซึ่งเป็นหนึ่งในสมการความต่อเนื่อง โดยคำนวณในรูปแบบของ Finite Difference

$$\Sigma Q_i = S_s \Delta h \Delta V \quad (3-8)$$

เมื่อ Q_i คือ ปริมาณการไหลที่เซลล์นั้นๆ (L^3T^{-1})

S_s คือ เครื่องหมายอธิบายการกักเก็บจำเพาะในสมการ Finite Difference

ΔV คือ ปริมาตรของเซลล์นั้นๆ (L^3)

Δh คือ การเปลี่ยนแปลง head ในช่วงเวลาหนึ่งๆ

ผนวกกับ Darcy's Law โดยสมมติการไหลในเซลล์ i,j,k ได้ดังนี้

$$q_{i,j-1/2,k} = KR_{i,j-1/2,k} \Delta c_j \Delta v_k \frac{(h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k})}{\Delta r_{j-1/2}} \quad (3-9)$$

เมื่อ $h_{i,j,k}$ คือ Head ที่เซลล์ i,j,k และ $h_{i,j-1,k}$ คือ Head ที่เซลล์ $i,j-1,k$

$q_{i,j-1,k}$ คือ ปริมาณการไหลที่ผ่านหน้าตัดระหว่างเซลล์ i,j,k และ $i,j-1,k$

$KR_{i,j-1/2,k}$ คือ สัมประสิทธิ์ความนำชลศาสตร์ตามแนวระหว่างเซลล์ i,j,k และ $i,j-1,k$

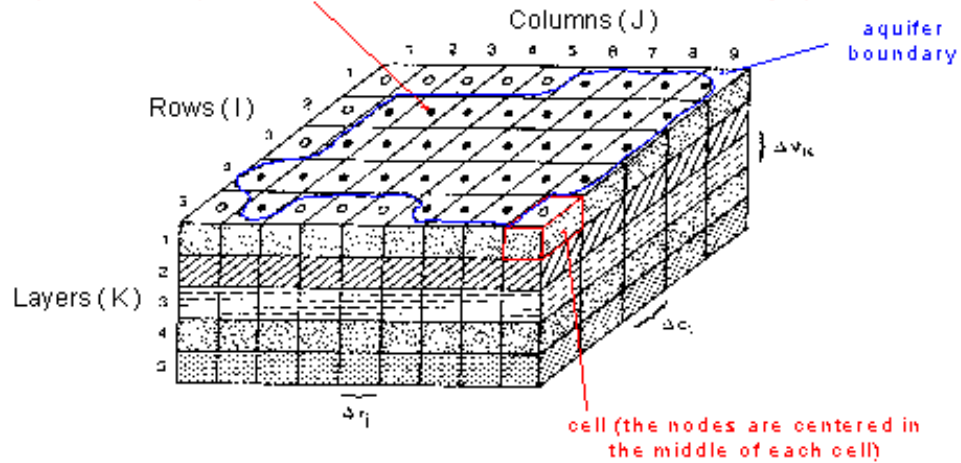
$\Delta c_j \Delta v_k$ คือ พื้นที่หน้าตัดของเซลล์ที่ตั้งฉากกับทิศทางของแถว

Δr คือ ระยะระหว่างจุด i,j,k และ $i,j-1,k$ (L)

บนสมมติฐานที่ว่า การไหลของน้ำบาดาลที่พิจารณาหรือการวิเคราะห์ดังกล่าวมีความต่อเนื่องเป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีอุณหภูมิ ความหนืด และความหนาแน่นคงที่ (ยงค์ประวัติ, 2552)

MODFLOW finite-difference model

node (head, h , computed here, at each node, for each cell in each layer)



Explanation

- Aquifer boundary
- Active cell
- Inactive cell
- Δr_j Dimension of Cell Along the Row Direction. Subscript (j) Indicates the Number of the Column
- Δc_i Dimension of Cell Along the Column Direction. Subscript (i) Indicates the Number of the Row
- Δv_k Dimension of the Cell Along the Vertical Direction. Subscript (k) Indicates the Number of the Layer

รูปที่ 3- 30 การแบ่งการไหลของน้ำบาดาลเป็นหน่วยลูกบาศก์ เพื่อใช้ในการพิจารณาการไหล
ในรูปแบบสามมิติ (Arlai, 2007)

โดยมี --- เป็นขอบเขตชั้นน้ำบาดาล ● ระบุตำแหน่งเซลล์ที่ใช้ในการคำนวณ (Active cells) ○ ระบุตำแหน่งเซลล์ที่ไม่ใช้ในการคำนวณ (Un-Active Cells) Δr_j คือขนาดทิศทางการไหลโดย j คือจำนวนเซลล์ในคอลัมน์ Δc_i คือขนาดทิศทางการไหลโดย i คือจำนวนเซลล์ในแถว และ Δv_k คือการวัดความหนาตามทิศทางที่ตั้งฉาก โดย k คือจำนวนเซลล์ของความหนา

การสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลพื้นฐานของสภาพบริเวณนั้น ๆ ได้แก่ ข้อมูลอุทกธรณีวิทยา อุทกวิทยา สภาพอุทกธรณีวิทยา ค่าระดับน้ำบาดาล และสภาพภูมิประเทศ โดยนำข้อมูลมาจำลองในแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในรูปแบบกริด และปรับเทียบ(Calibration) อีกทั้งจำเป็นต้องรู้สภาพพื้นที่เพื่อกำหนดขอบเขตของแหล่งน้ำบาดาลที่จะจำลองในพื้นที่ศึกษา (Boundary Condition) ซึ่งถือเป็นขอบเขตที่สร้างขึ้นเพื่อกำหนดลักษณะการไหลและจุดสิ้นสุดการพิจารณาของแบบจำลอง หลังจากนั้น จึงนำข้อมูลที่ได้มาจำลองการไหล และสร้างรูปแบบการกระจายตัวในพื้นที่เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาด้วยแบบจำลอง MODFLOW

- ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อการจำลองสภาพการไหล ซึ่งสามารถกำหนดได้จากการสูบทดสอบและการประมวลผลทางคณิตศาสตร์หลายวิธี เช่น Theis, Cooper-Jacob และ Recovery โดยใช้สมการ

$$k = \frac{T}{b} = 2000 \times \frac{\text{Specific capacity}}{b} \quad (3-10)$$

เมื่อ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน

T คือ สัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ

b คือ ความหนาของชั้นน้ำบาดาล

$$\text{Specific capacity} = Q/wd \quad (3-11)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณน้ำที่สูบออก

Wd คือ ระย่น้ำลด (drawdown) จากการสูบ

$$K = \frac{Q}{A(dh/dL)} \quad (3-12)$$

หรือ

เมื่อ k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน

Q คือ ปริมาณน้ำที่สูบออก

A คือ พื้นที่

dh/dL คือ ความลาดชลศาสตร์

จากข้อมูลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล พื้นที่ของจังหวัดฉะเชิงเทรามีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน 0.44-90 ตารางเมตรต่อวัน จังหวัดสุพรรณบุรีมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน 0.979-99.4 ตารางเมตรต่อวัน ในขณะที่จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน 0.924-99.8 ตารางเมตรต่อวัน โดยค่าพารามิเตอร์จะถูกปรับให้การไหลสอดคล้องกับสภาพการไหลในพื้นที่

- ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บน้ำ (Storativity หรือ Storage Coefficient – S) คือ ปริมาตรของน้ำบาดาลในชั้นน้ำบาดาลที่ถูกกักเก็บหรือปล่อยออกมาได้ต่อหน่วยพื้นที่ ที่จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ

- อัตราการเติมน้ำ (Recharge) คือ อัตราการเพิ่มเติมน้ำในชั้นน้ำบาดาลจากแหล่งที่มาของน้ำต่าง ๆ เช่น น้ำผิวดิน ฝน ฯลฯ โดยจากข้อมูลของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล พื้นที่ของจังหวัดฉะเชิงเทรามีค่าอัตราการเติมน้ำ 1527.46 ลูกบาศก์เมตรต่อปี (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล) และจากการคำนวณโดยใช้สมการที่ (3-2) ได้ค่าอัตราการเติมน้ำของจังหวัดสุพรรณบุรีเป็น 1876.025 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ส่วนจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีค่า 60-2460 ลูกบาศก์เมตรต่อวันต่อตารางเมตร (โครงการศึกษาทดลองการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินผ่านระบบสระน้ำ สรุปโครงการพื้นที่ลุ่มนาภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และพิจิตร)

- ค่าความพรุน คือ ปริมาณของช่องว่างในหิน โดยคิดเป็นร้อยละของปริมาณทั้งหมดของหิน ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$P = V_v \cdot 100 / V \quad (3-13)$$

เมื่อ P คือ ค่าความพรุน (%)

V_v คือ ปริมาตรของช่องว่างในหินหนึ่งหน่วย (L^3 ; cm^3 or m^3)

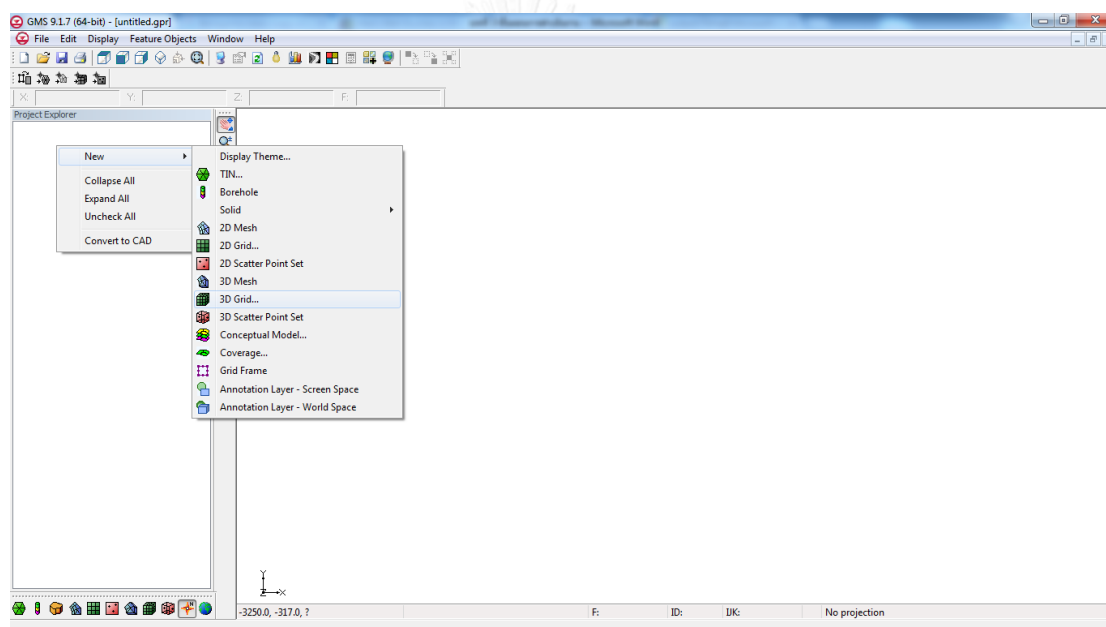
V คือ ปริมาตรทั้งหมดของหินซึ่งรวมทั้งส่วนที่เป็นช่องว่างและของแข็ง (L^3 ; cm^3 or m^3)

การหาค่าความพรุนในห้องปฏิบัติการสามารถทำได้ โดยการนำหินตัวอย่าง ซึ่งทราบปริมาตร V มาทำให้แห้ง ด้วยวิธีการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักของหินคงที่ หมายความว่า น้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในช่องว่างถูกกำจัดไปหมด หลังจากนั้น นำหินตัวอย่างไปแช่ในภาชนะที่ปิดแน่น (Sealed Chamber) ซึ่งมีน้ำในปริมาตรที่กำหนดไว้ และแช่หิน

ตัวอย่างจนกระทั่งอิมิตัวด้วยน้ำ ปริมาตรของช่องว่าง V_v คือ ปริมาตรของน้ำในภาชนะเมื่อเริ่มต้น
 ลบด้วยปริมาตรของน้ำที่เหลือในภาชนะ ซึ่งโดยปกติจะใช้ค่าความพรุนที่ 0.3

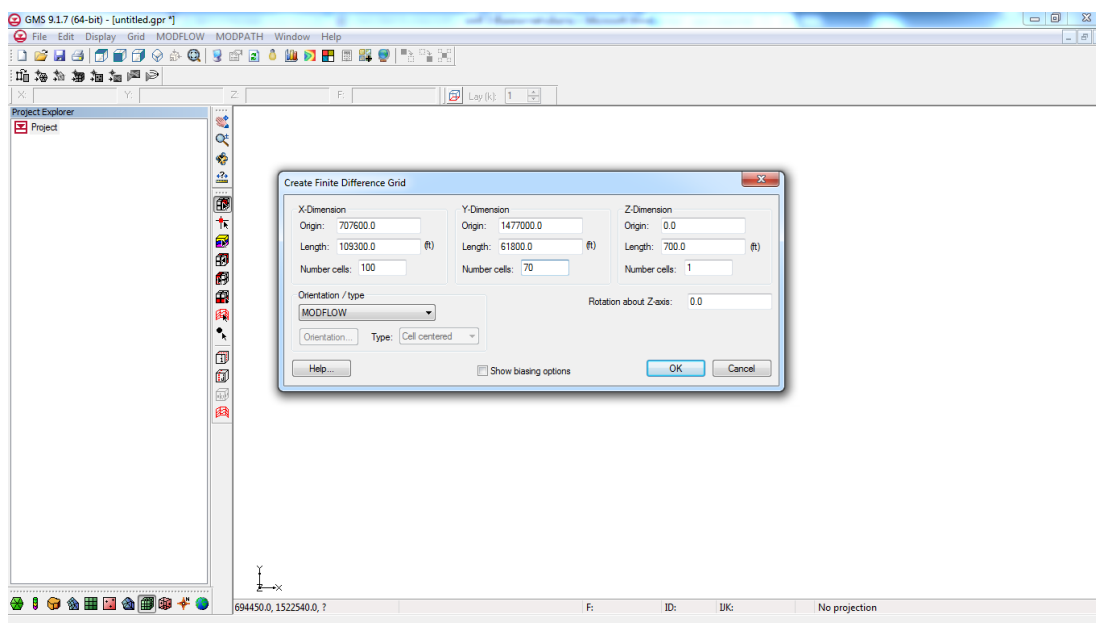
การสร้างแบบจำลองสภาพชั้นน้ำบาดาลโดย MODFLOW Model จากโปรแกรม GMS
 เพื่อศึกษารูปแบบการไหลของน้ำมีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างพื้นที่ศึกษาในรูปแบบสามมิติ (3D Grid) ในโปรแกรมGMS โดยคลิก
 ขวาที่ช่องว่างด้านซ้ายมือของโปรแกรม เลือกคำสั่ง New และ 3D Grid ดังแสดงในรูปที่ 3-31

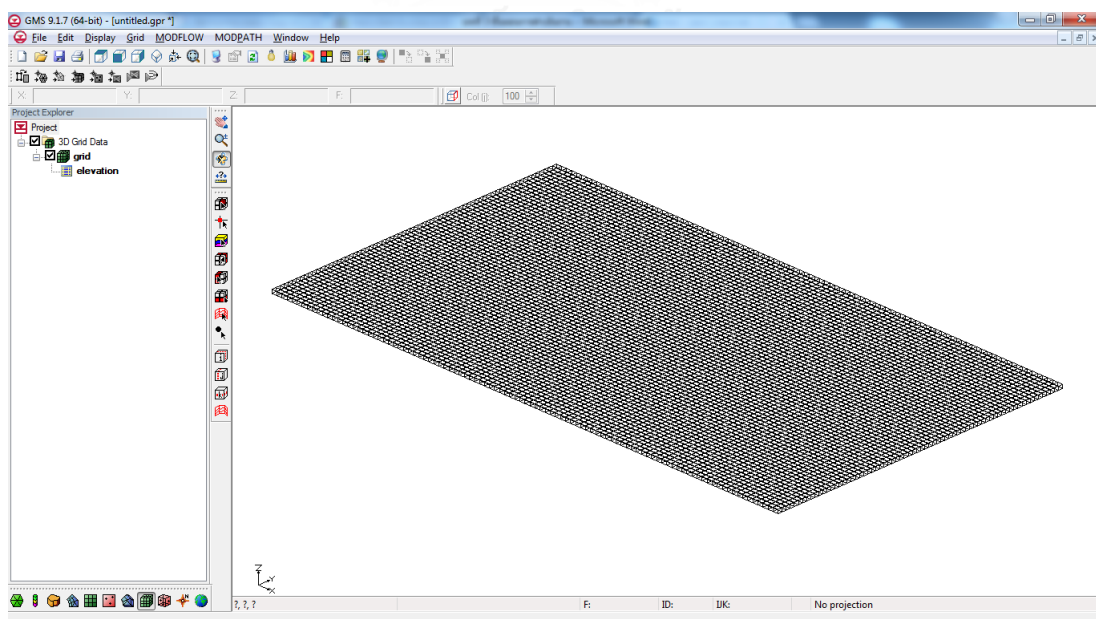


รูปที่ 3- 31 สร้างพื้นที่ศึกษาในรูปแบบสามมิติ (3D Grid) ในโปรแกรมGMS

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดพิกัดของพื้นที่ในรูปแบบสามมิติ โดยใส่ค่าพิกัดเริ่มต้นของพื้นที่ศึกษาที่ต้องการใน แกน X แกน Y และแกน Z พร้อมกำหนดความกว้างยาวสูงและจำนวนเซลล์ของกริดที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3-32 ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของพื้นที่ศึกษาแบบสามมิติ ดังแสดงในรูปที่ 3-33

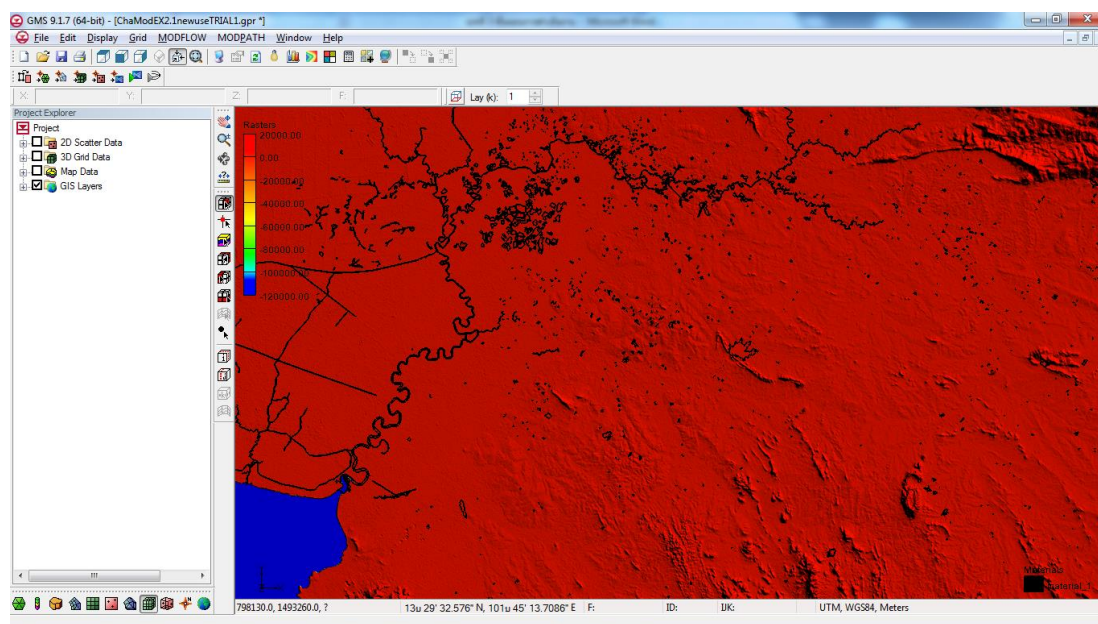


รูปที่ 3- 32 การกำหนดพิกัดของพื้นที่ศึกษาในโปรแกรม GMS



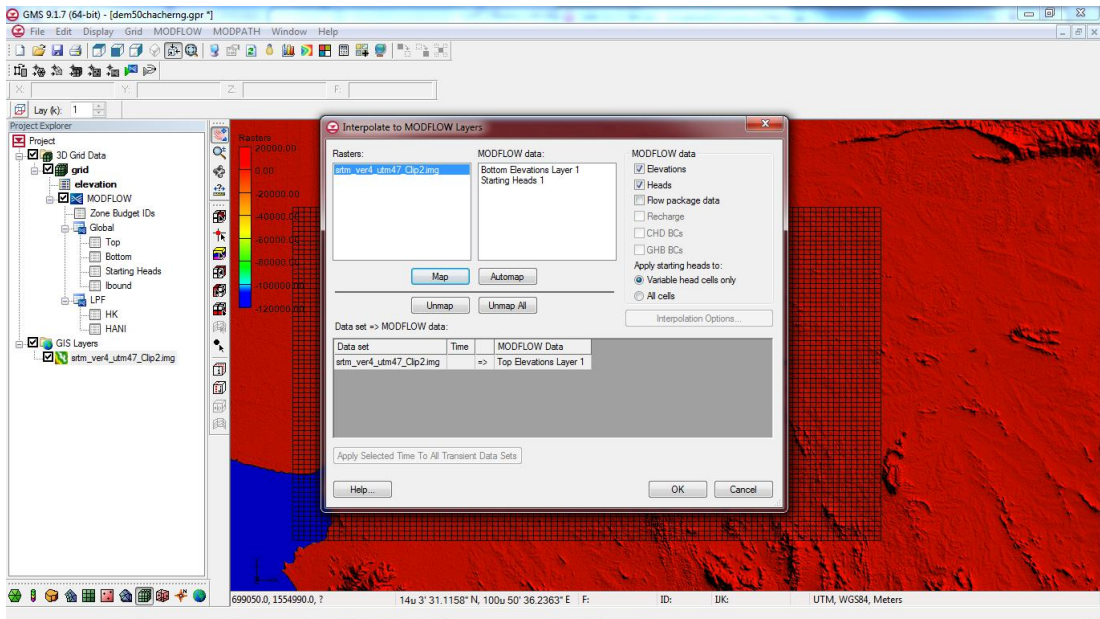
รูปที่ 3- 33 ผลลัพธ์จากการสร้างพื้นที่ศึกษาในรูปแบบสามมิติ

ขั้นตอนที่ 3 การนำเข้าข้อมูล (Input) ความสูงของพื้นที่ศึกษา สามารถทำได้โดยนำเข้าแผนที่ข้อมูลภูมิประเทศ SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) DEM ของ NASA และข้อมูลแม่น้ำหรือแหล่งน้ำของพื้นที่ศึกษา เพื่อสร้างระดับความสูง ซึ่งเป็นสิ่งกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา (Boundary Condition) ลงในโปรแกรม GMS จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 3-34

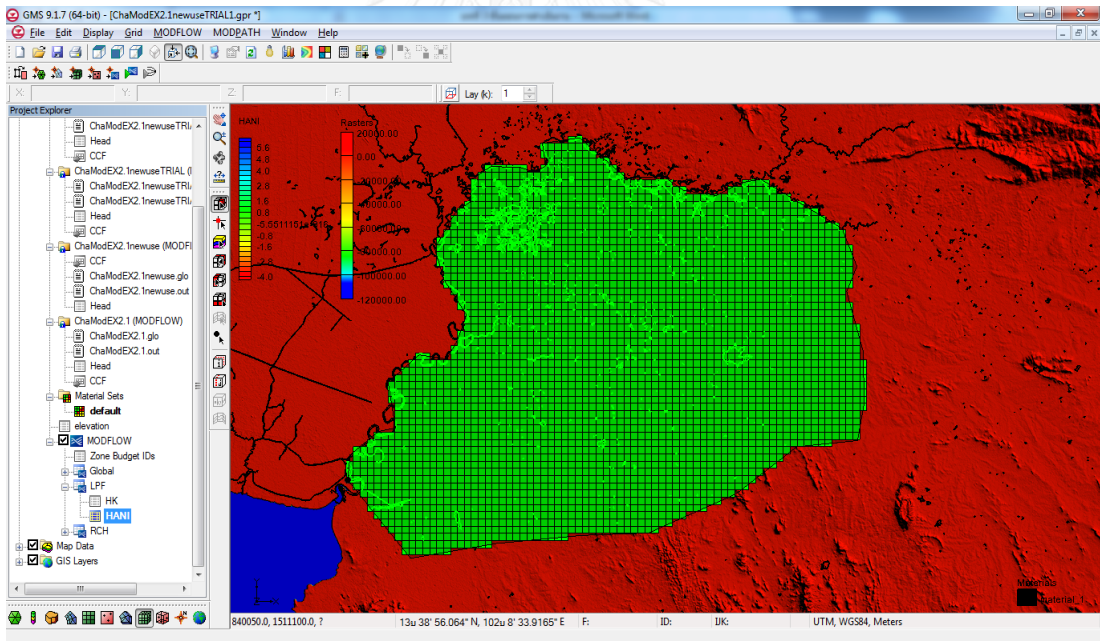


รูปที่ 3- 34 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการนำเข้าข้อมูลความสูงของพื้นที่ศึกษา จังหวัดฉะเชิงเทรา

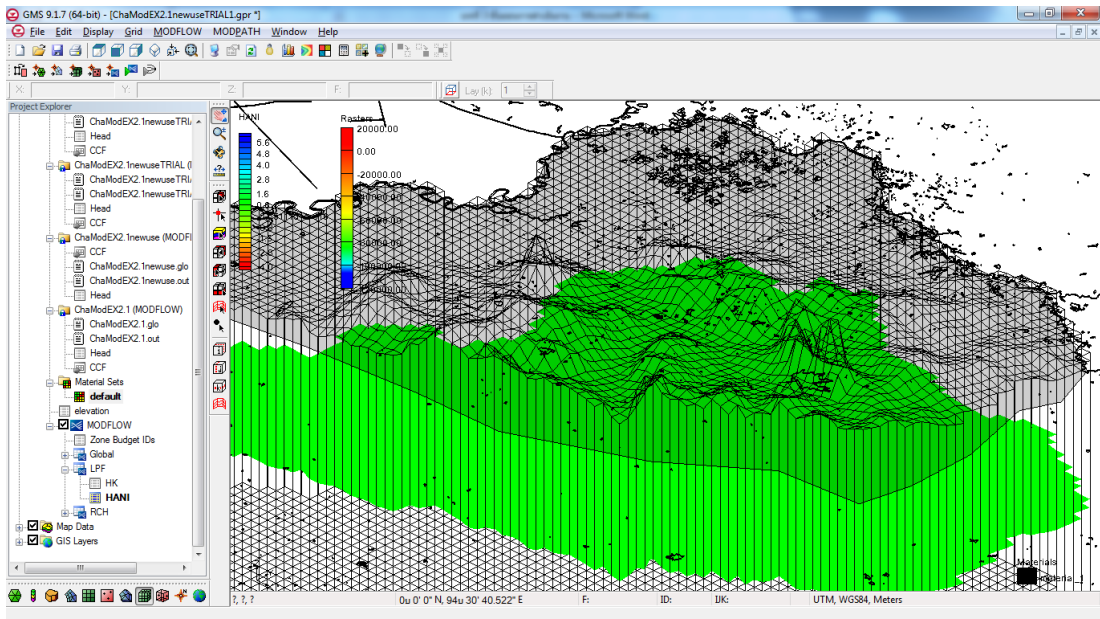
ขั้นตอนที่ 4 กำหนดค่าความสูงของพื้นที่สามมิติที่สร้างขึ้นจากแผนที่ข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่โดยอาศัยฟังก์ชัน Interpolation ในโปรแกรม GMS (ดังแสดงในรูปที่ 3-35) และกำหนด Boundary Condition ซึ่งมีเงื่อนไข คือ พื้นที่ภูเขาเป็นบริเวณที่ไม่มีการไหลของน้ำบาดาล หรือ No flow Boundary Condition และแม่น้ำ คือ บริเวณที่มีการไหลของน้ำเพื่อเติมน้ำบาดาลหรือ Recharge Condition นอกเหนือจากเงื่อนไข Boundary Condition ที่กำหนด ให้กำหนดเป็น Inactive cell หรือพื้นที่ที่ไม่มีการศึกษาจำลองสภาพการไหล (ดังแสดงในรูปที่ 3-36) จะได้ผลลัพธ์แสดงในโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 3-37 และรูปที่ 3-38 ซึ่งแสดงตัวเลขแทน Boundary Condition ของแต่ละกริดในพื้นที่ศึกษา โดยเลข 0 แทน Inactive Cell เลข 1 แทน Active Cell และเลข -1 แทนกริดที่มีระดับน้ำคงที่ (Specific Head) เช่น พื้นที่แม่น้ำ และบ่อสังเกตการณ์ที่ทราบค่าระดับน้ำ



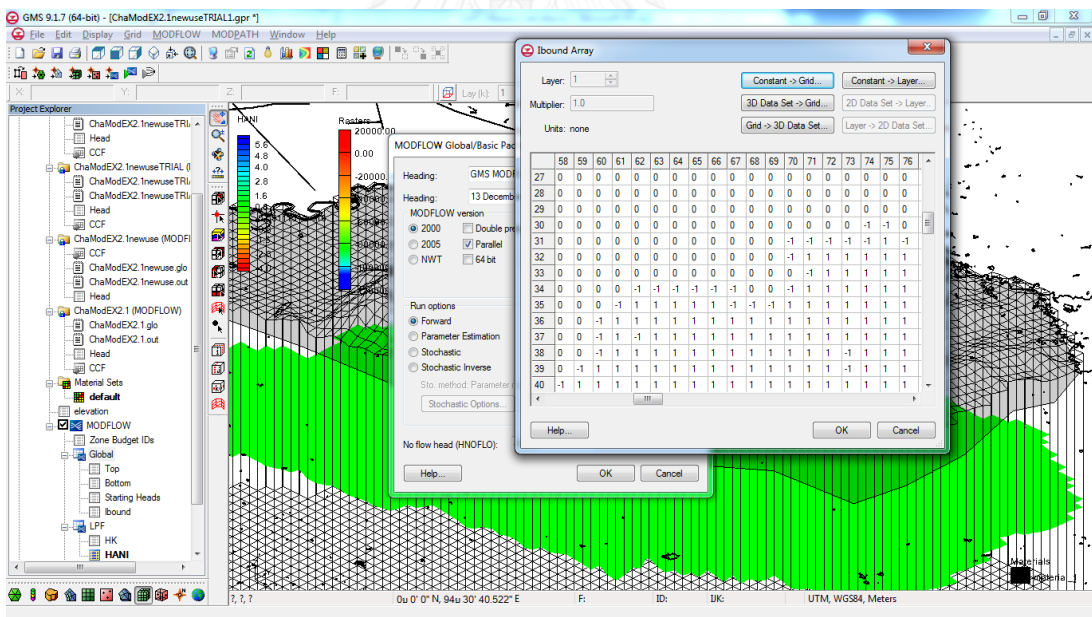
รูปที่ 3- 35 การใส่ค่าความสูงของพื้นที่สามมิติที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3- 36 ตัวอย่างพื้นที่ที่ได้หลังจากกำหนดขอบเขตเงื่อนไขการจำลองสภาพการไหล (Boundary Condition) จังหวัดฉะเชิงเทรา

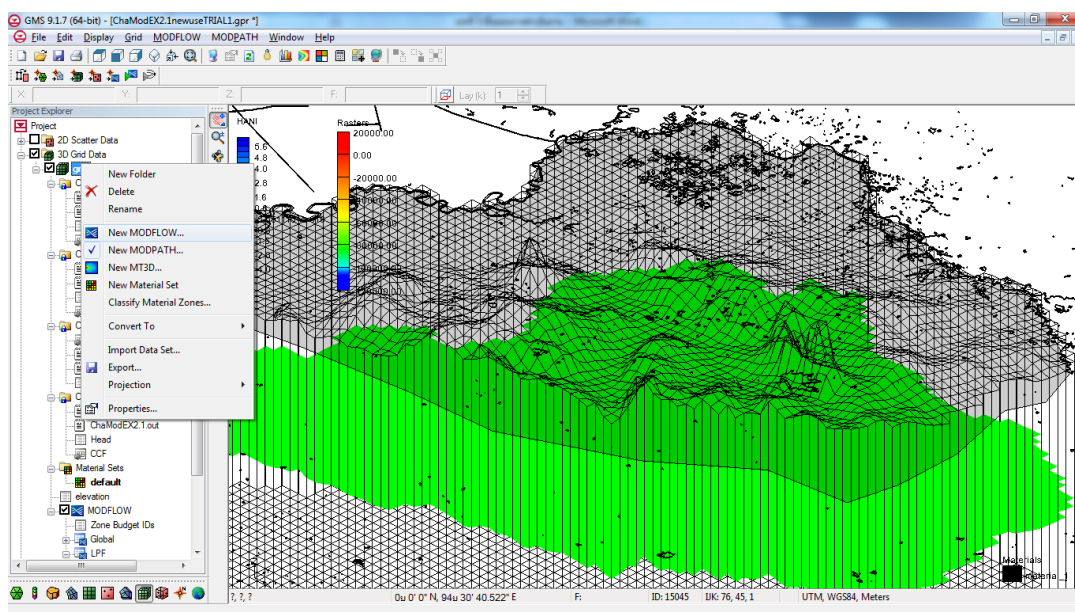


รูปที่ 3- 37 ตัวอย่างพื้นที่ศึกษาหลังการใส่ค่าความสูงและการกำหนดขอบเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา



รูปที่ 3- 38 ตัวอย่างตัวเลขแทน Boundary Condition ของแต่ละกริดในพื้นที่ศึกษา จังหวัดฉะเชิงเทรา

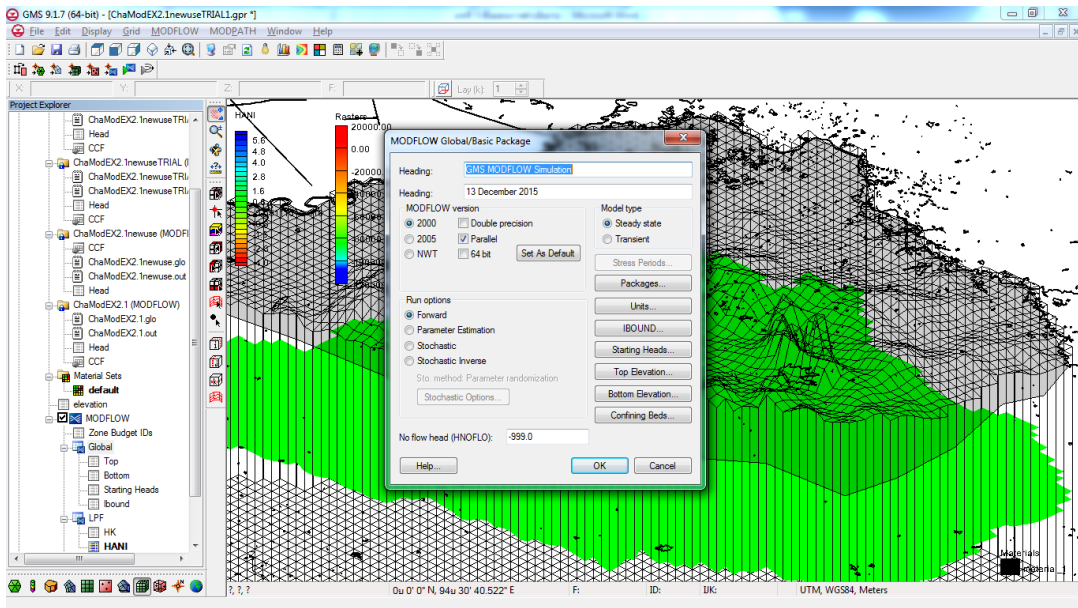
ขั้นตอนที่ 5 สร้างการจำลองรูปแบบการไหลของชั้นน้ำบาดาล โดยคลิกขวาที่ 3D Grid เลือก New MODFLOW ดังแสดงในรูปที่ 3-39 เพื่อเพิ่มรูปแบบการทำงานในการคำนวณสภาพชั้นน้ำบาดาล และการไหลของน้ำบาดาล โดยนำเข้าข้อมูลลักษณะของชั้นน้ำบาดาลและข้อมูลทางกายภาพต่าง ๆ ของพื้นที่ศึกษา



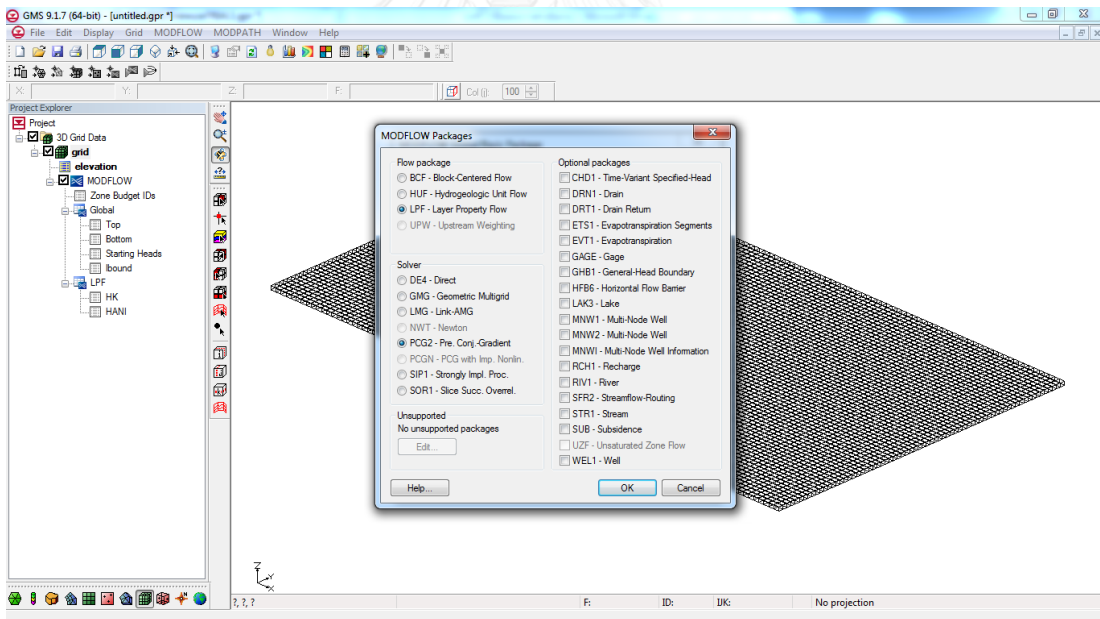
รูปที่ 3- 39 ตัวอย่างการจำลองพื้นที่ศึกษา จังหวัดฉะเชิงเทรา

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขั้นตอนที่ 6 การกำหนดรูปแบบของแบบจำลอง MODFLOW Model (Global Basic Package ในรูปที่ 3-40) เพื่อกำหนดค่าต่าง ๆ ในการจำลองรูปแบบการไหล (Package ในรูปที่ 3-41) ซึ่งจะส่งผลถึงค่าผลลัพธ์หรือรูปแบบการคำนวณในแบบจำลองที่สร้างขึ้น

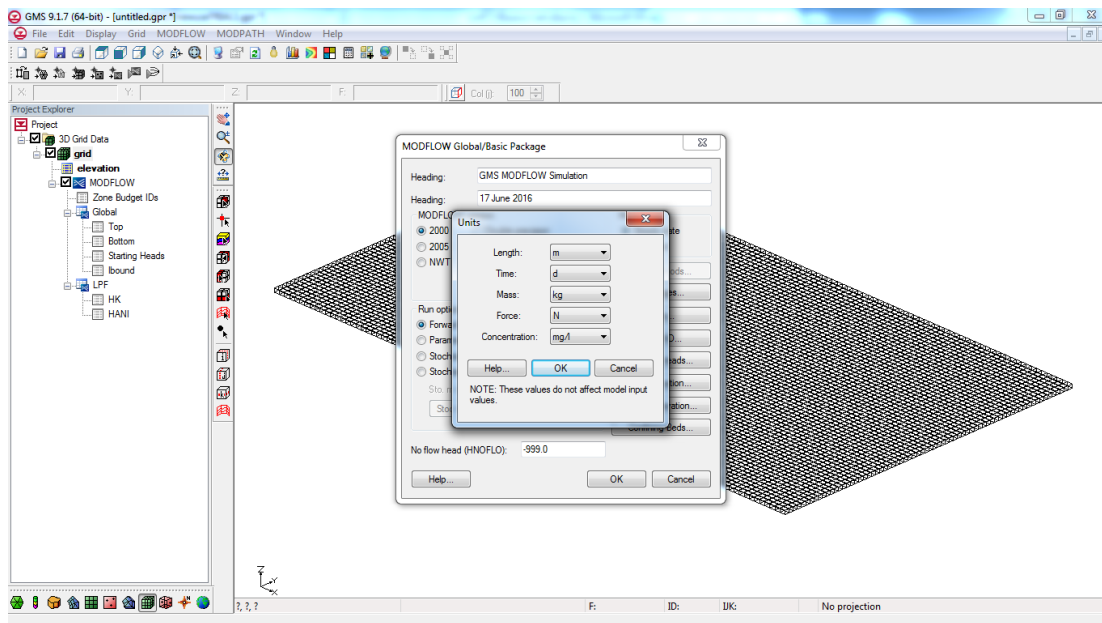


รูปที่ 3- 40 Global Basic Package ของ MODFLOW Model ในโปรแกรม GMS



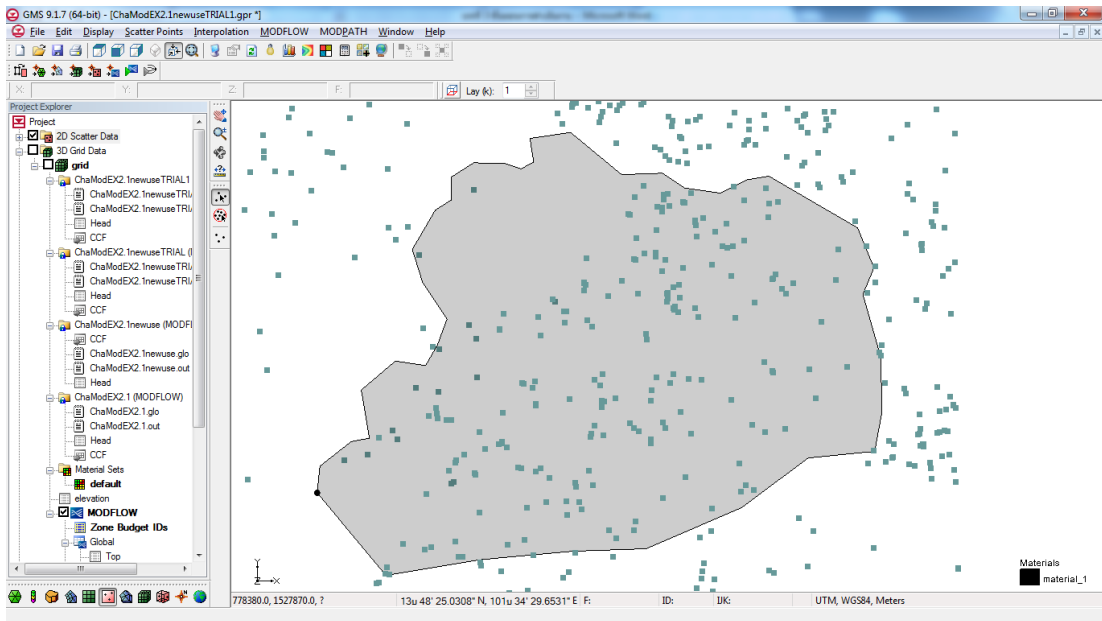
รูปที่ 3- 41 Package ของ MODFLOW Model ในโปรแกรม GMS

ขั้นตอนที่ 7 กำหนดหน่วยที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งจะส่งผลต่อตัวเลขที่กำหนดและค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสภาพการไหลด้วย MODFLOW Model โดยกำหนดหน่วยของแบบจำลองตามระบบหน่วย SI ดังแสดงในรูปที่ 3-42

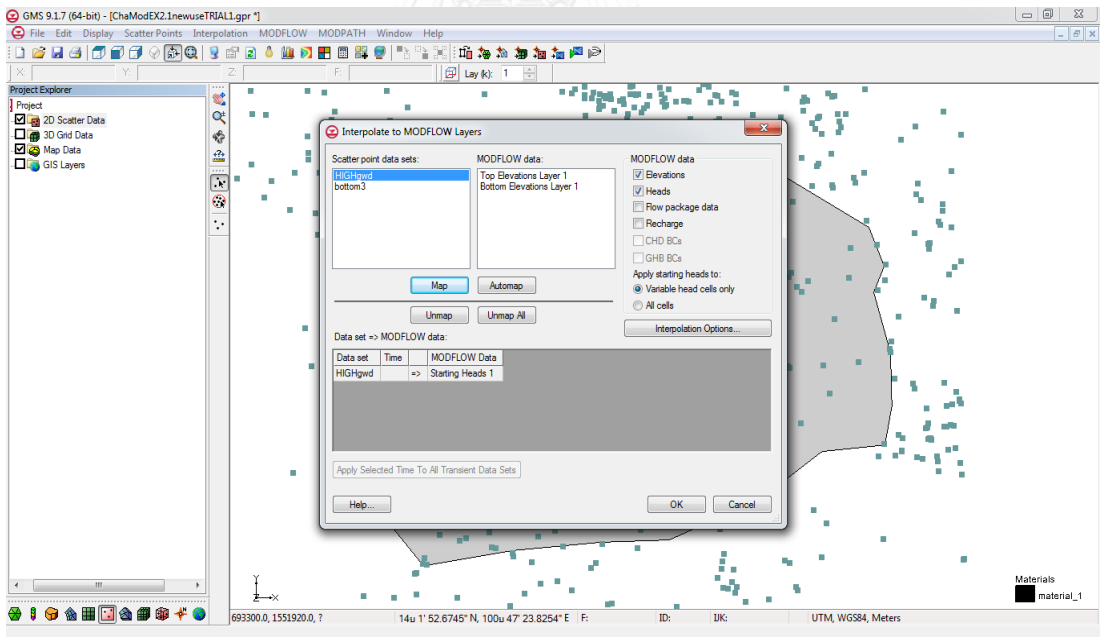


รูปที่ 3- 42 การกำหนดหน่วยที่ในแบบจำลองสภาพการไหลด้วย MODFLOW Model

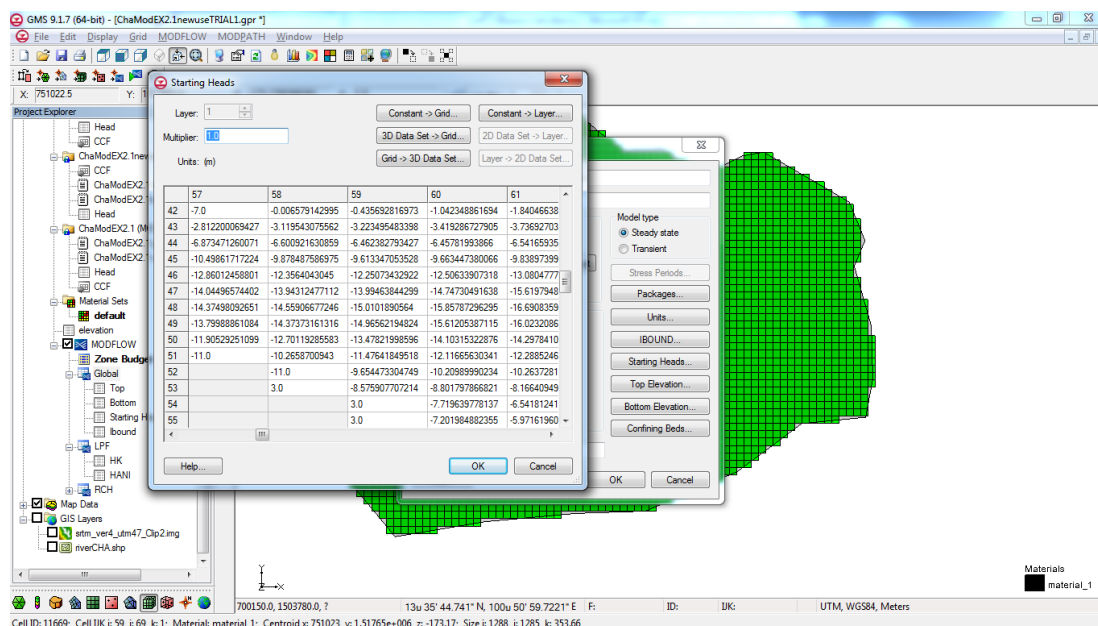
ขั้นตอนที่ 8 การใส่ตำแหน่งและระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ที่รู้ระดับน้ำบาดาล โดนการใส่ตำแหน่งในโปรแกรม GMS นั้นจะต้องใส่ตำแหน่งโดยการใช้ไฟล์ Text เช่น ไฟล์จากโปรแกรม Notepad จะได้ผลลัพธ์ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ดังแสดงในรูปที่ 3-43 และทำการ Interpolation ระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ให้เป็นค่าระดับน้ำเริ่มต้น (Starting Head) ดังแสดงในรูปที่ 3-44 และได้ผลลัพธ์การ Interpolation ระดับน้ำบาดาลเริ่มต้นในแต่ละกริดดังแสดงในรูปที่ 3-45



รูปที่ 3- 43 ตัวอย่างตำแหน่งและระดับน้ำของบ่อสังเกตการณ์ที่รู้ระดับน้ำบาดาล จังหวัด ฉะเชิงเทรา

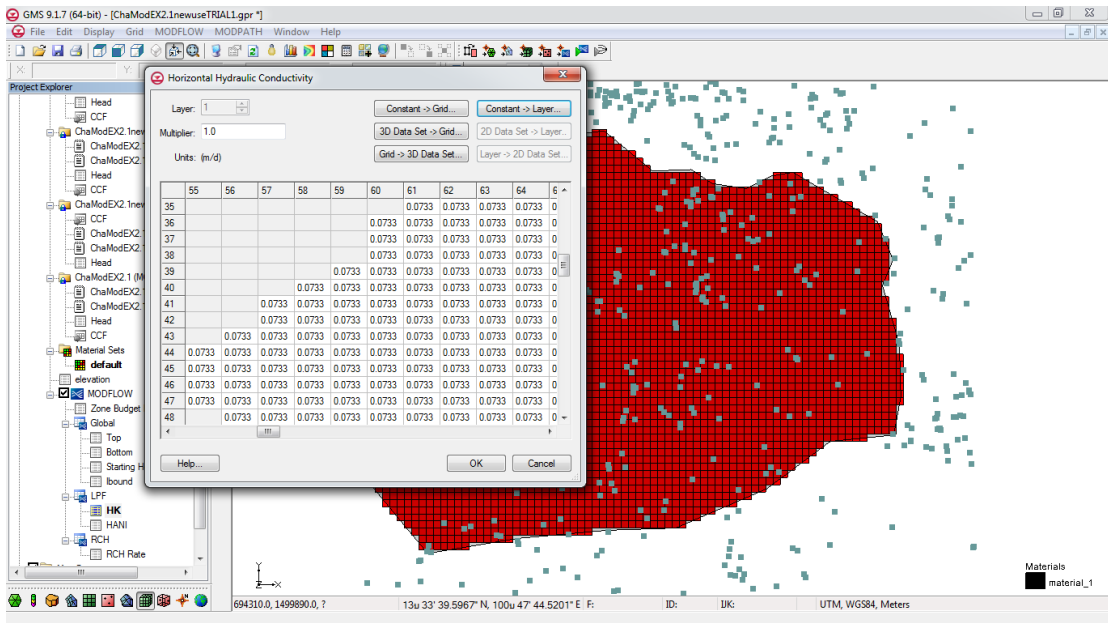


รูปที่ 3- 44 การ Interpolation ระดับน้ำเริ่มต้น (Starting Head) ของแบบจำลองสภาพการไหล (MODFLOW Model)



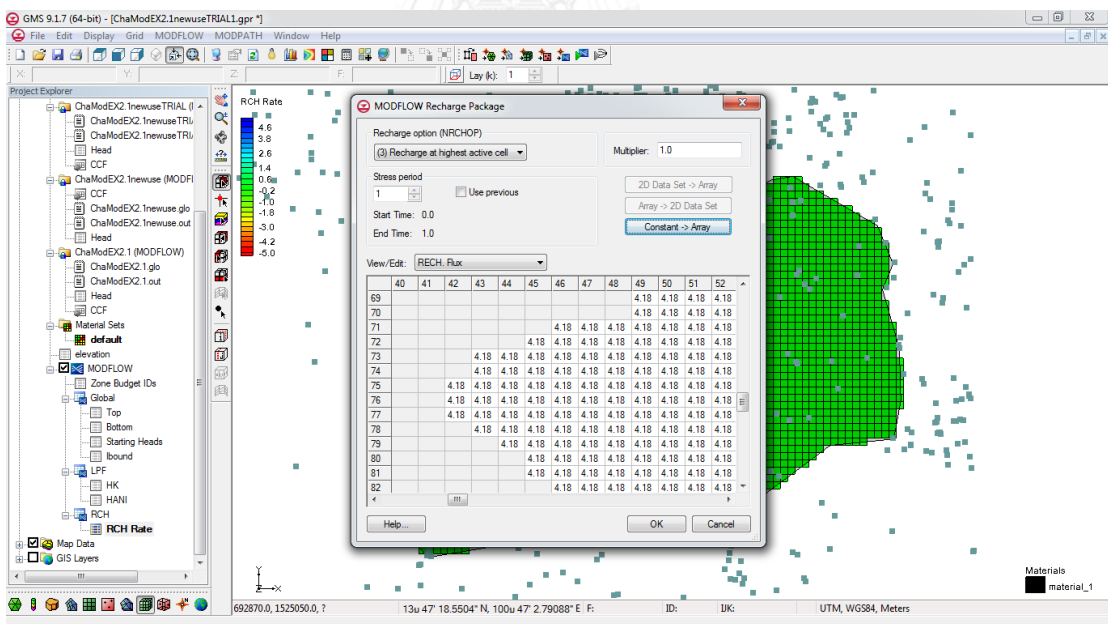
รูปที่ 3- 45 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการ Interpolation ระดับน้ำบาดาลเริ่มต้นในแต่ละกริด จังหวัด ฉะเชิงเทรา

ขั้นตอนที่ 9 นำเข้าข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) และอัตราการเติมน้ำ (Recharge) สู่มอดูลจำลองสภาพการไหล (MODFLOW Model) เนื่องจากข้อมูลที่มีได้จากการสุบทดสอบและการคำนวณรายบ่อ จึงเป็นข้อมูลในรูปแบบตำแหน่งเพื่อทำเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ ดังนั้น จึงนำเข้าข้อมูลสู่โปรแกรม GIS เพื่อสร้างข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) และอัตราการเติมน้ำ (Recharge) เชิงพื้นที่ โดยวิธี Thiessen Polygon ซึ่งเป็นฟังก์ชันการคำนวณและแสดงผลในโปรแกรม GIS ทั้งนี้ หลังจากที่ได้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในรูปแบบพื้นที่ ขั้นตอนต่อไป คือ นำเข้าข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านและอัตราการเติมน้ำสู่โปรแกรม GMS โดยการแบ่งพื้นที่และใส่ค่าผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 3-46 และรูปที่ 3-47 ตามลำดับ และใส่ค่าความพรุน (Porosity) ซึ่งโดยปกติใช้ค่า 0.3 โดยเลือกทุกกริดและใส่ค่าพร้อมกันดังแสดงในรูปที่ 3-48

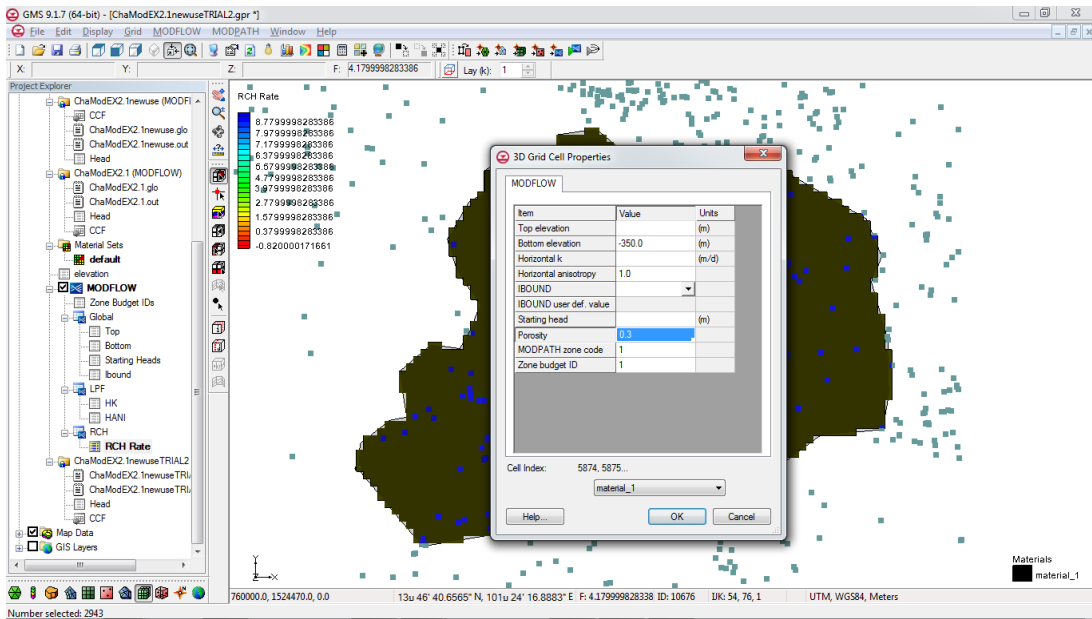


รูปที่ 3- 46 ตัวอย่างผลลัพธ์การใส่ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity)

จังหวัดฉะเชิงเทรา

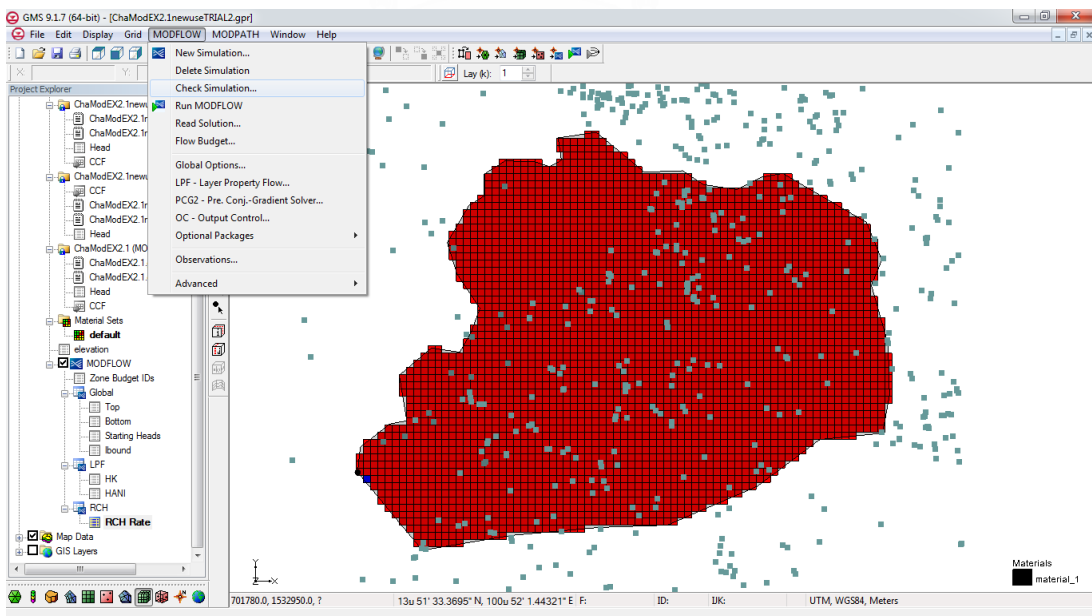


รูปที่ 3- 47 ตัวอย่างผลลัพธ์การใส่อัตราการเติมน้ำ (Recharge) จังหวัดฉะเชิงเทรา

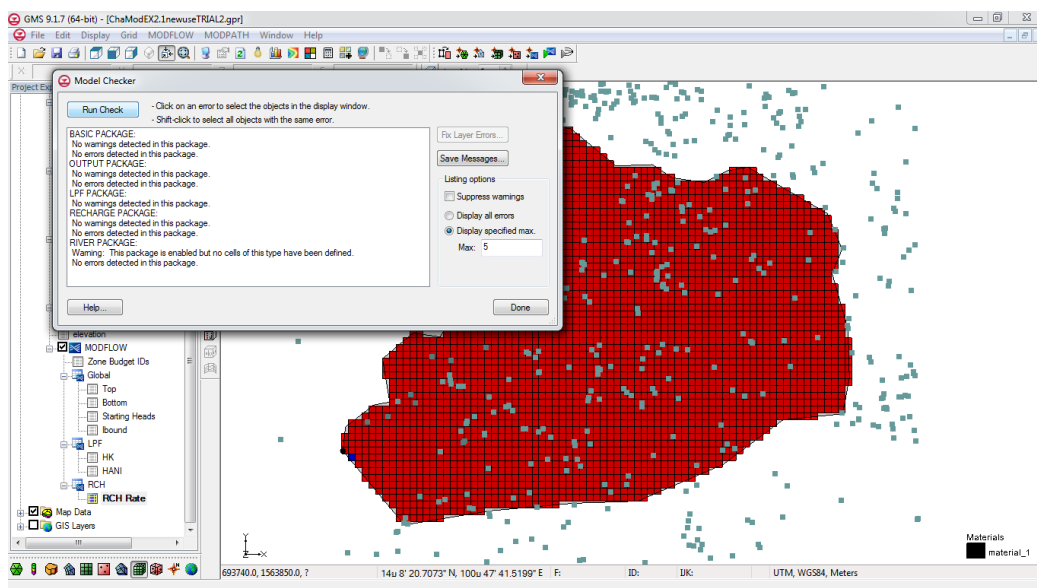


รูปที่ 3- 48 ตัวอย่างการใส่ค่าความพรุน (Porosity) จังหวัดฉะเชิงเทรา

ขั้นตอนที่ 10 ตรวจสอบการใส่ข้อมูลพื้นฐานต่าง ๆ เพื่อทำการจำลองสภาพการไหลของพื้นที่ศึกษา โดยเลือกแถบ MODFLOW เลือก Check Simulations (รูปที่ 3-49) และ Run Check จะได้ผลลัพธ์จากการตรวจสอบดังแสดงในรูปที่ 3-50

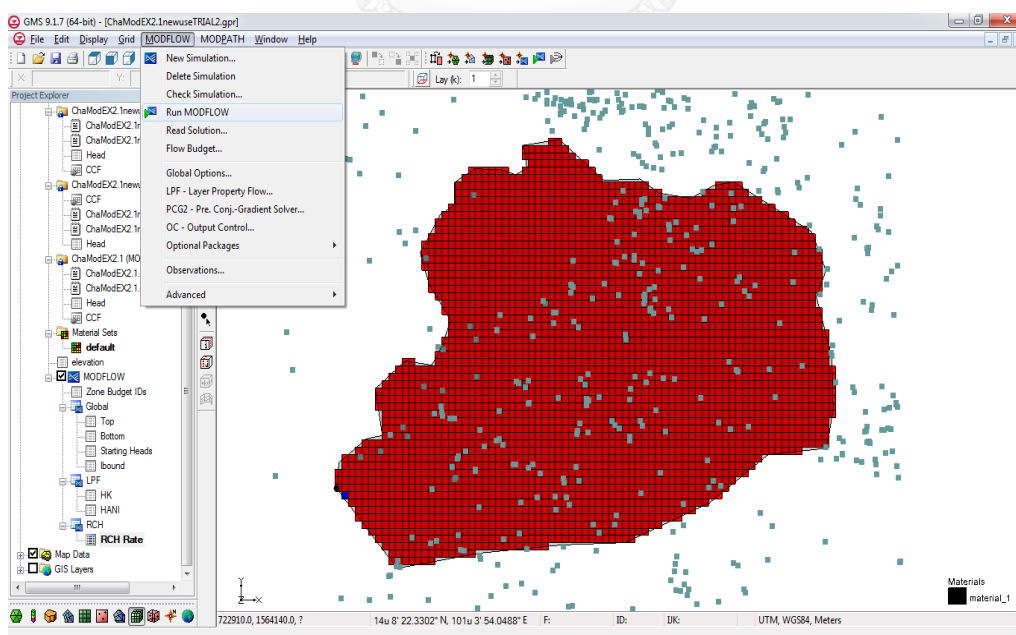


รูปที่ 3- 49 ตัวอย่างการตรวจสอบการใส่ข้อมูลพื้นฐาน จังหวัดฉะเชิงเทรา

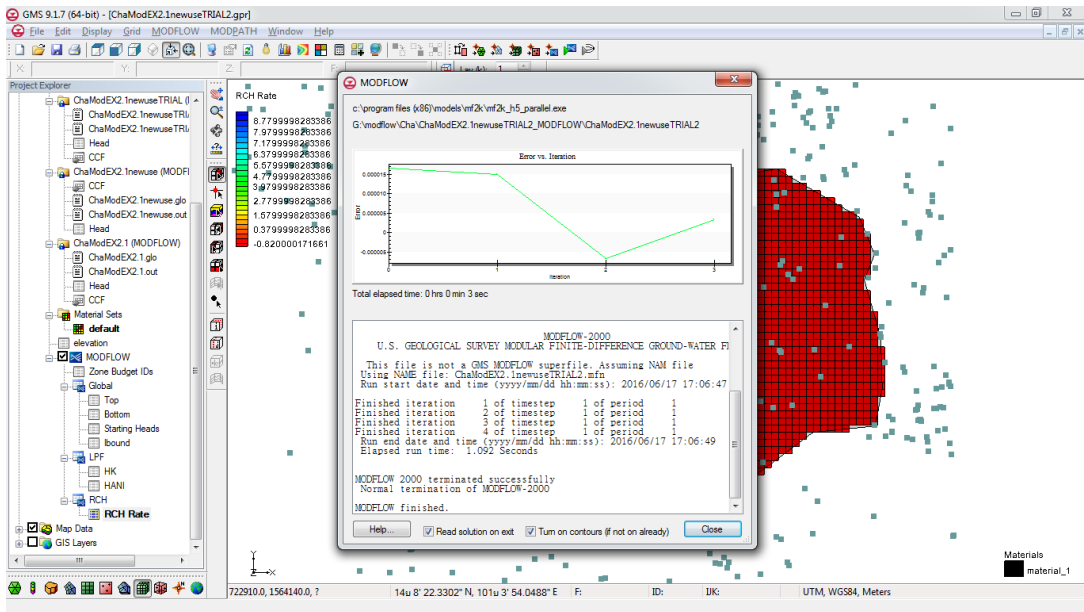


รูปที่ 3- 50 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการตรวจสอบการใส่ข้อมูล จังหวัดฉะเชิงเทรา

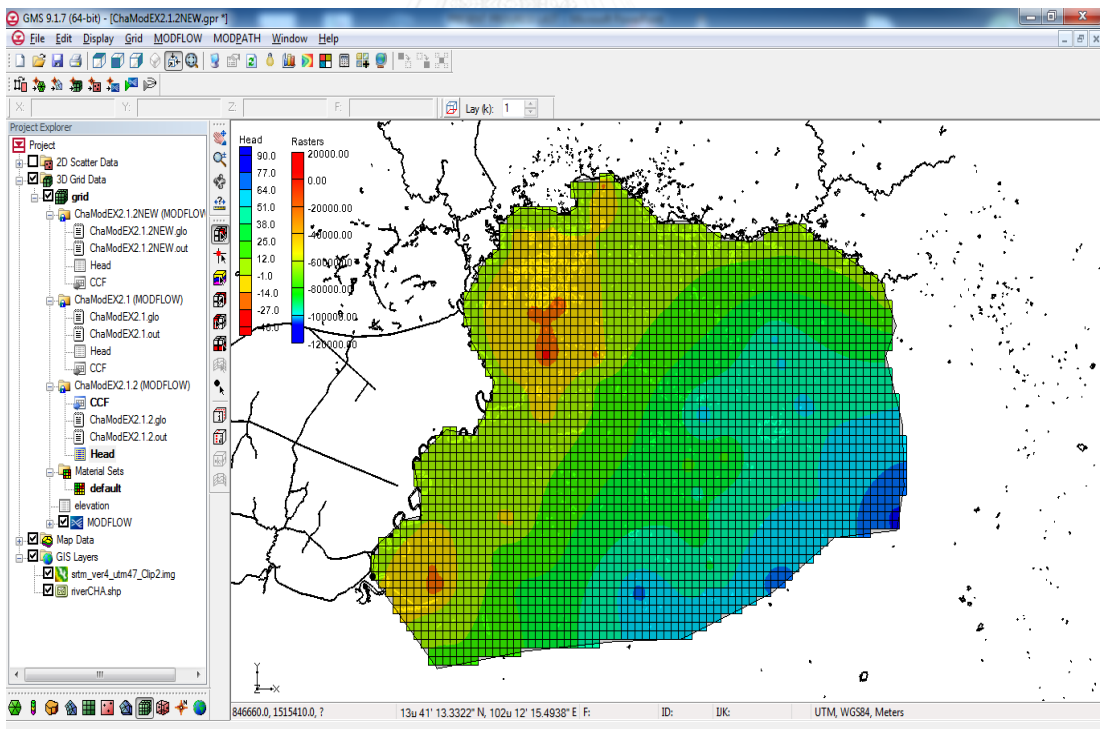
ขั้นตอนที่ 11 จำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาเพื่อศึกษาลักษณะและรูปแบบการไหลโดยแบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยเลือกแถบ MODFLOW (รูปที่ 3-51) และ Run MODFLOW จะได้ผลลัพธ์จากการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3-52 และระดับน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษาที่แสดงบนแบบจำลองที่สร้างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3-53



รูปที่ 3- 51 ตัวอย่างการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาเพื่อศึกษา จังหวัดฉะเชิงเทรา



รูปที่ 3- 52 ตัวอย่างผลลัพธ์การจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา จังหวัด
ฉะเชิงเทรา



รูปที่ 3- 53 ตัวอย่างระดับน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษาที่แสดงบนแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยใช้
MODFLOW Model ในโปรแกรม GMS จังหวัดฉะเชิงเทรา

ขั้นตอนที่ 11 จำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาเพื่อศึกษาลักษณะและรูปแบบการไหลโดยแบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยเลือกแถบ MODFLOW (รูปที่ 3-51) และ Run MODFLOW จะได้ผลลัพธ์จากการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3-52 และระดับน้ำบาดาลของพื้นที่ศึกษาที่แสดงบนแบบจำลองที่สร้างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3-53

E	N	ชั้น	K (m/d)	K Trial and error 1	K Trial and error 2	K Trial and error 3	K Trial and error 4
745484	1500469	โคกตะเคียนงาม	3.76E-02	3.76E-02	0.08	4.82E-02	5.52E-02
755353	1509097	บ้านหนองแหน (บ่อ2)	7.56E-02	7.56E-02	0.1	8.17E-02	8.58E-02
764502	1494656	เขาสระทอนบน	8.14E-02	8.14E-02	0.1	8.61E-02	8.92E-02
797505	1494569	หนองปลาชิว	6.94E-02	6.94E-02	0.15	8.95E-02	1.03E-01
736980	1519386	บ้านคู้กร่าง	7.33E-02	2.00E-01	0.15	9.25E-02	1.05E-01
755411	1509047	บ้านหนองแหน (บ่อ1)	1.41E-01	1.41E-01	0.08	1.26E-01	1.16E-01
782989	1509370	ร.ร.บ้านท่าเรือ	8.19E-02	8.19E-02	0.2	1.11E-01	1.31E-01
776430	1523393	ปรีอวาย	8.85E-02	8.85E-02	0.2	1.16E-01	1.35E-01
738790	1530636	บ้านบางต้นไทร	1.67E-01	1.67E-01	0.2	1.75E-01	1.81E-01
768635	1508991	วังไทร	2.41E-01	2.41E-01	0.1	2.06E-01	1.82E-01
791568	1483576	บ้านกรอกสะแก (บ่อ2)	1.86E-01	2.00E+00	0.2	1.90E-01	1.92E-01
788803	1494247	บ้านเนินน้อย(บ่อ2)	2.36E-01	2.36E-01	0.15	2.15E-01	2.00E-01
756164	1491828	หนองปลาไหล	2.86E-01	2.86E-01	0.1	2.39E-01	2.08E-01
755851	1490730	หนองปลาไหล	3.24E-01	3.24E-01	0.1	2.68E-01	2.31E-01
765367	1521435	บ้านหนองยายอ่อน	3.30E-01	3.30E-01	0.1	2.73E-01	2.34E-01
760733	1491520	หนองไม้แก่น (หนองปลาคุก)	1.18E-01	1.18E-01	0.4	1.88E-01	2.35E-01
759255	1523755	วัดบางกระพ้อ	1.01E-01	1.01E-01	0.5	2.00E-01	2.67E-01

รูปที่ 3- 54 ตัวอย่างการ Trial and Error เพื่อปรับเทียบ การจำลองสภาพน้ำบาดาล จังหวัด

ฉะเชิงเทรา

บ้าน	K (m/d)	K Trial and error 1	K Trial and error 2	K Trial and error 3	K Trial and error 4
บ้านทุกร่าง	2.75E-01	4.00E-01	2.70E-01	3.15E-01	3.15E-01
บ้านหนองอุโลก	3.88E-01	3.00E-01	3.59E-01	3.49E-01	3.49E-01
บ้านเขาใหญ่	4.68E-01	5.50E-01	4.75E-01	3.79E-01	3.79E-01
บ้านโป่งขา	4.36E-01	4.00E-01	3.96E-01	3.96E-01	3.96E-01
บ้านพุช้อย	7.16E-01	6.00E-01	6.96E-01	5.76E-01	5.76E-01
บ้านหนองอีนาถ	5.89E-01	7.00E-01	5.63E-01	6.17E-01	6.17E-01
บ้านดงโมกข์	8.13E-01	7.96E-01	7.96E-01	7.51E-01	7.51E-01
บ้านหนองแจ้ง	1.23E+00	2.00E+00	1.14E+00	1.46E+00	1.46E+00
บ้านกรอง	1.90E+00	2.50E+00	1.70E+00	2.02E+00	2.02E+00
บ้านกกจาน	2.34E+00	3.00E+00	2.06E+00	2.19E+00	2.19E+00
วัดเทพสุธาवासบ้านดี	2.82E+00	2.00E+00	2.68E+00	2.49E+00	2.49E+00
บ้านน้ำตกไทรทอง	2.47E+00	3.50E+00	2.27E+00	2.75E+00	2.75E+00
วัดโพธิ์สุวรรณ	2.92E+00	2.96E+00	2.96E+00	2.95E+00	2.95E+00
บ้านโป่งค้าง	2.70E+00	4.00E+00	2.51E+00	2.96E+00	2.96E+00
บ้านวังทราย	2.27E+00	4.50E+00	2.09E+00	2.12E+00	2.12E+00

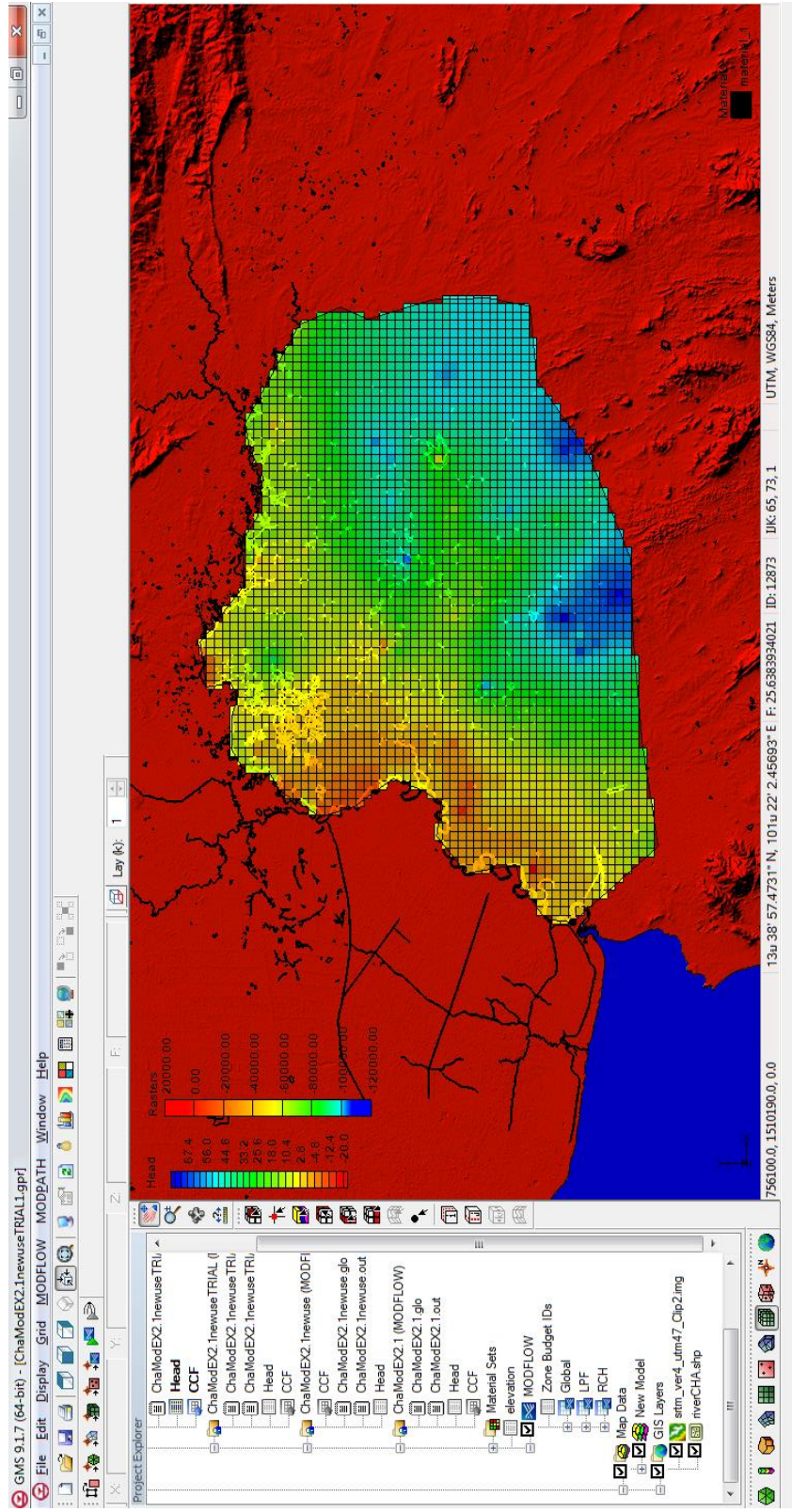
รูปที่ 3- 55 ตัวอย่างการ Trial and Error เพื่อปรับเทียบ การจำลองสภาพน้ำบาดาล จังหวัด

สุพรรณบุรี

E	N	บ้าน	Hydraulic conductivity (m/d)	K Trial and error 1	K Trial and error 2	K Trial and error 3
595449	1860060	วัดวังกร่าง	1.81E-01	1.68E-01	1.69E-01	1.73E-01
593011	1852004	ทุ่งยางเมือง	1.62E-01	1.85E-01	2.31E-01	1.93E-01
587576	1894318	วังทอง	2.04E-01	2.38E-01	2.69E-01	2.37E-01
565255	1896378	หนองสะแก	2.04E-01	2.05E-01	3.32E-01	2.47E-01
580862	1899853	ร.ร.บ้านไร่พิทยาคมจุด 2	1.62E-01	1.87E-01	4.20E-01	2.56E-01
588575	1897159	วังทอง	2.88E-01	3.10E-01	3.06E-01	3.01E-01
573790	1900283	อบต.บ้านราวต้นจันทร์	1.62E-01	1.54E-01	7.48E-01	3.55E-01
588325	1897741	อบต.บ้านนา	3.51E-01	3.85E-01	3.50E-01	3.62E-01
593504	1895375	วังลึก	3.62E-01	4.28E-01	3.32E-01	3.74E-01
588803	1897438	บ้านนา (นางวิรัตน์ พลทรัพย์)	3.23E-01	3.69E-01	4.78E-01	3.90E-01
574642	1897316	ดอนโก	5.75E-01	4.68E-01	4.96E-01	5.13E-01
564539	1859293	วัดโพธิ์ทองสังฆาราม	2.88E-01	3.54E-01	1.02E+00	5.54E-01
588166	1895778	คลองตาโถม (นายรัตน์ เลือจันท์)	4.56E-01	8.56E-01	4.13E-01	5.75E-01
595832	1903673	ต้นนาหลวง	3.69E-01	1.18E+00	4.81E-01	6.77E-01
585015	1861538	ป่าตะแบก	4.07E-01	2.76E-01	1.37E+00	6.84E-01
587866	1852294	ยางแหลม	8.09E-01	8.59E-01	1.10E+00	9.23E-01
595335	1905197	เขื่อน	1.02E+00	1.69E+00	6.54E-01	1.12E+00

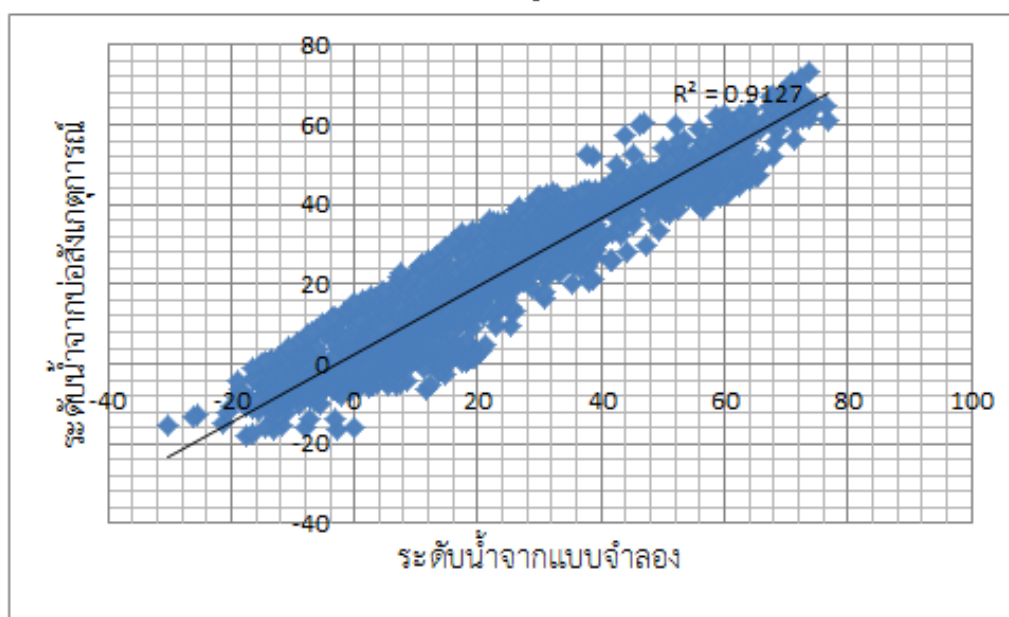
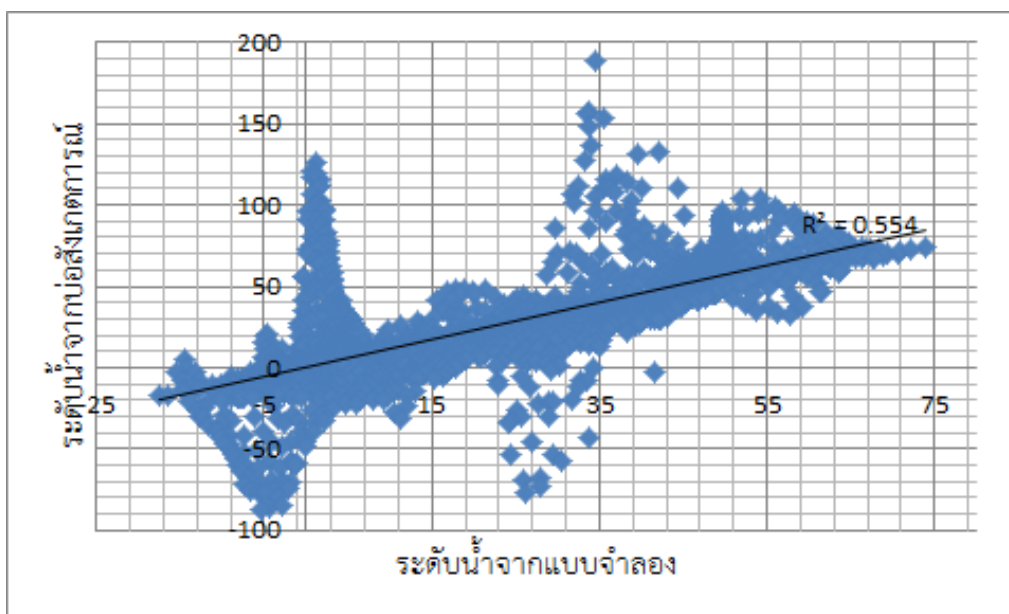
รูปที่ 3- 56 ตัวอย่างการ Trial and Error เพื่อปรับเทียบ การจำลองสภาพน้ำบาดาล จังหวัด

จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก

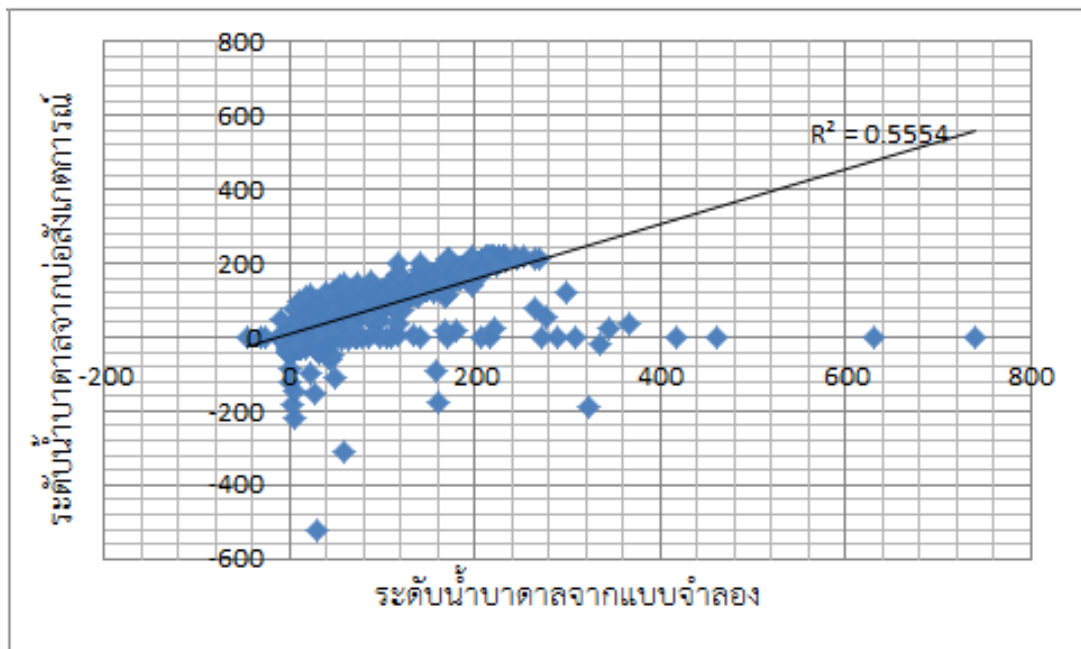
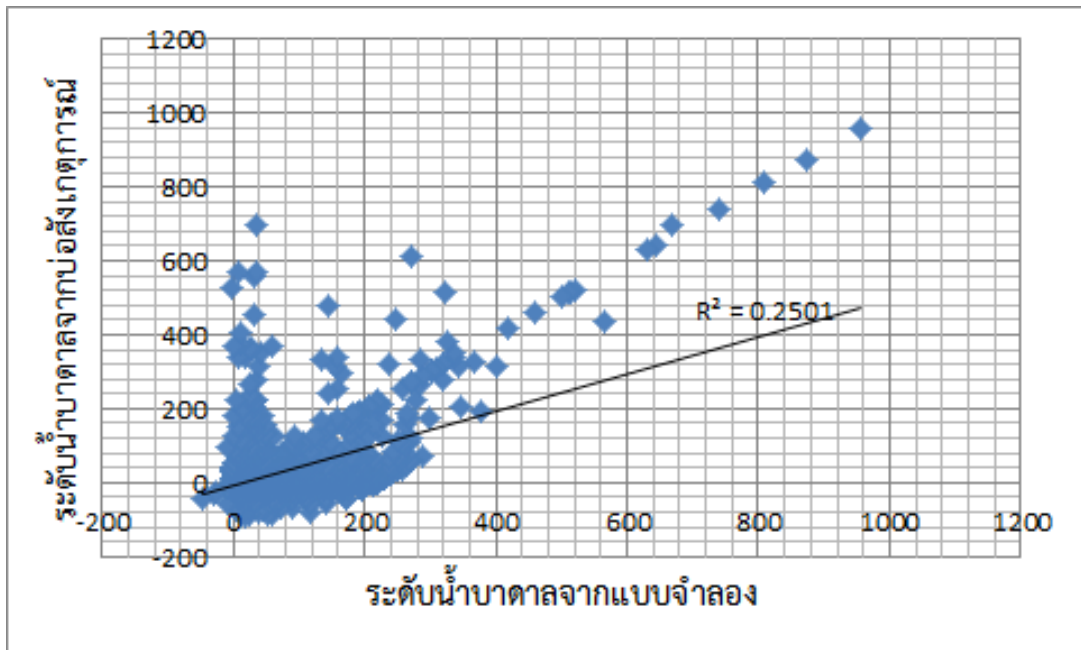


รูปที่ 3-57 ตัวอย่างการจัดการจำลองพื้นที่ป่าตาลหลังจากได้รับการปรับเทียบข้อมูล จังหวัดพะเยา

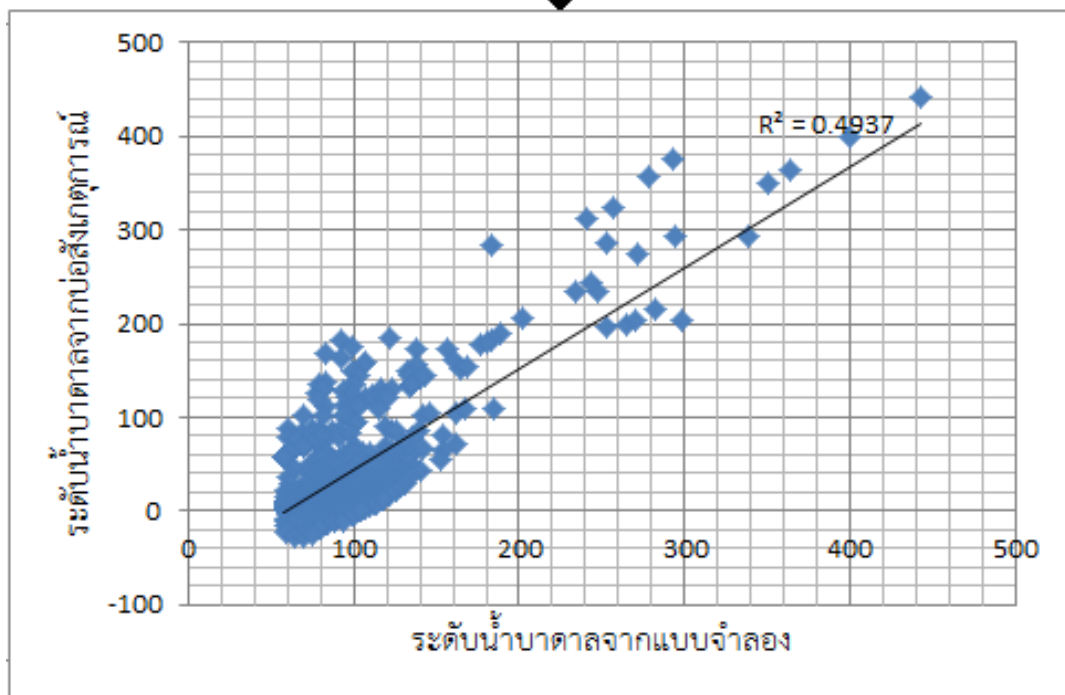
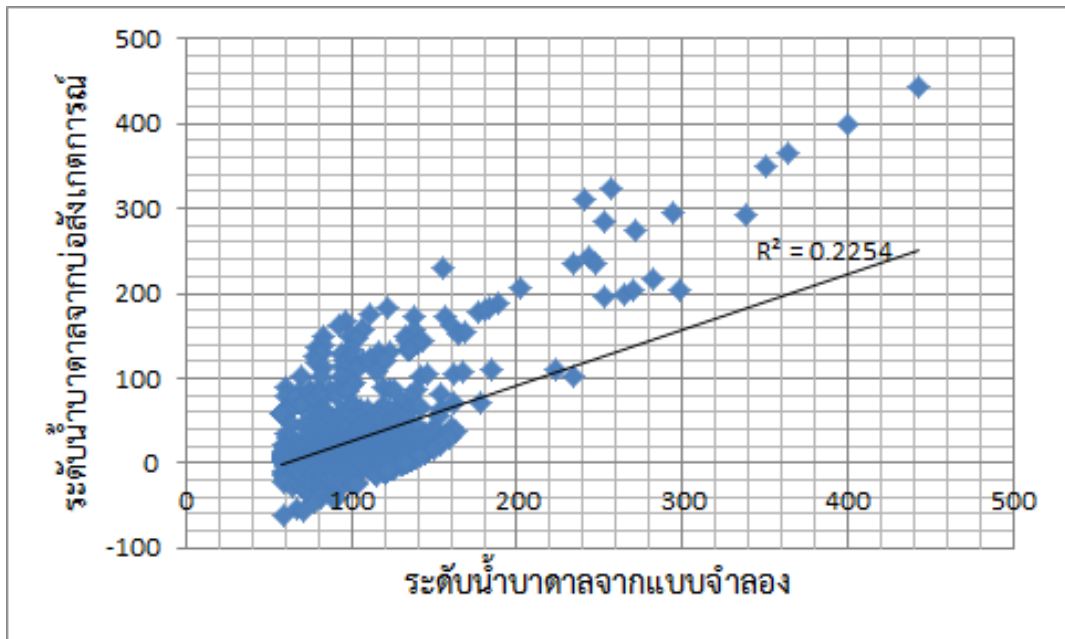
ผลจากการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination – R-square) จังหวัดฉะเชิงเทราจาก 0.55 เป็น 0.91 จังหวัดสุพรรณบุรีจาก 0.25 เป็น 0.56 และจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกจาก 0.23 เป็น 0.49 ดังแสดงในรูปที่ 3-58 รูปที่ 3-59 และรูปที่ 3-60 ตามลำดับ โดยมีค่า RMSEจากการจำลองหลังทำการปรับเทียบดังแสดงในตารางที่ 3-24



รูปที่ 3- 58 ค่า R^2 การจำลองชั้นน้ำบาดาลก่อนและหลังจากได้รับการปรับเทียบข้อมูล (Calibration) จังหวัดฉะเชิงเทรา



รูปที่ 3- 59 ค่า R^2 การจำลองชั้นน้ำบาดาลก่อนและหลังจากได้รับการปรับเทียบข้อมูล (Calibration) จังหวัดสุพรรณบุรี



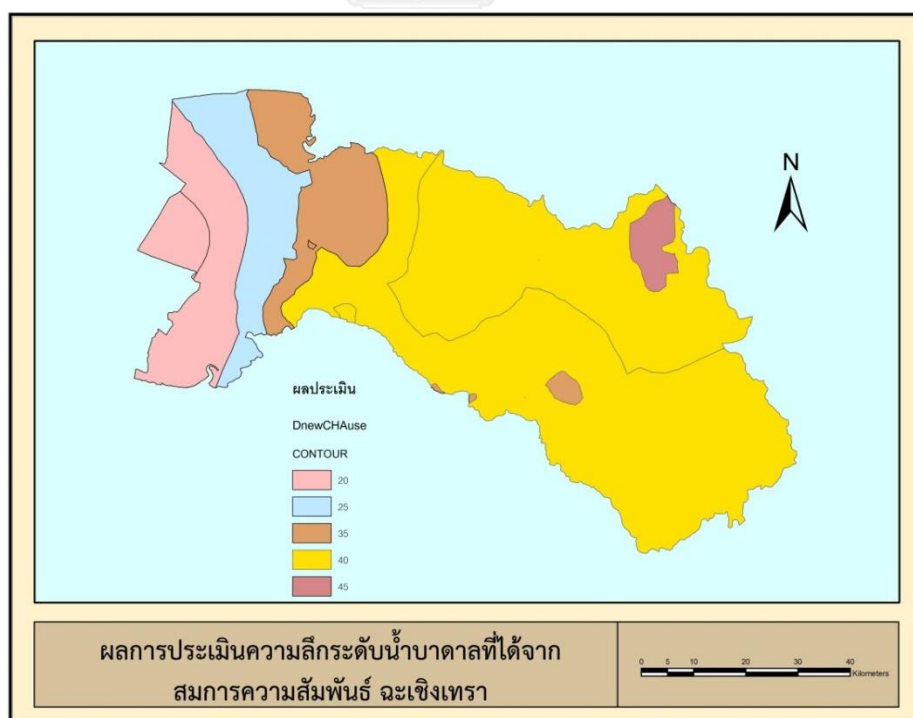
รูปที่ 3- 60 ค่า R^2 การจำลองชั้นน้ำบาดาลก่อนและหลังจากได้รับการปรับเทียบข้อมูล (Calibration) จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก

ตารางที่ 3- 24 ค่า RMSE ที่ได้จากการปรับเทียบ MODFLOW Model

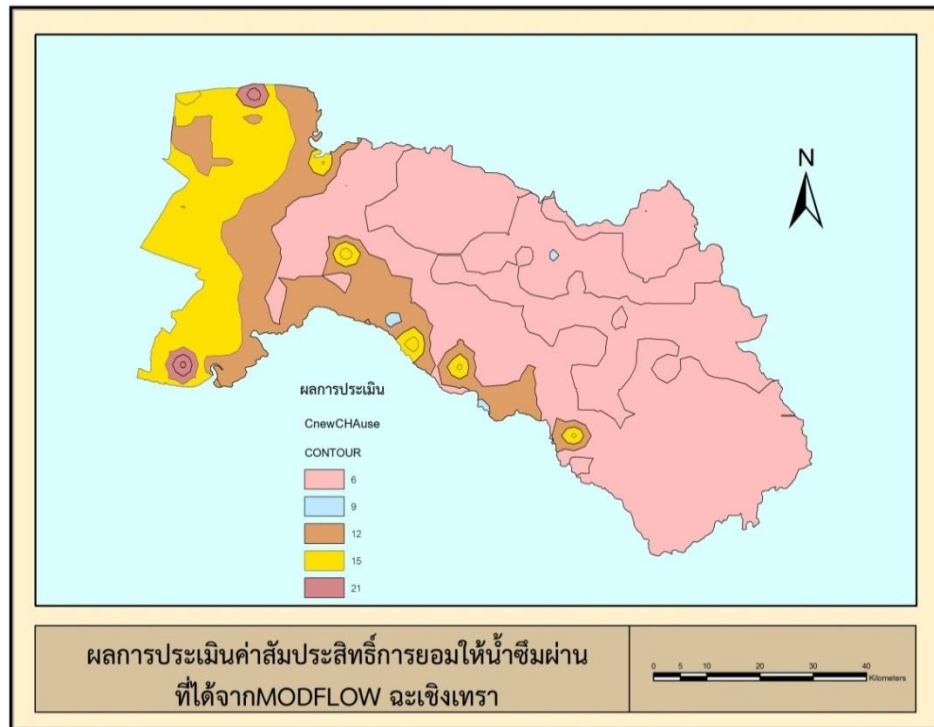
ผลจากการปรับเทียบ(calibration)	RMSE
ฉะเชิงเทรา	2.486
สุพรรณบุรี	8.809
สุโขทัย/ พิษณุโลก	11.727

3.3.3 การพัฒนาแบบจำลองขั้นเพื่อประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของระบบน้ำบาดาล (ADVANCED DRASTIC)

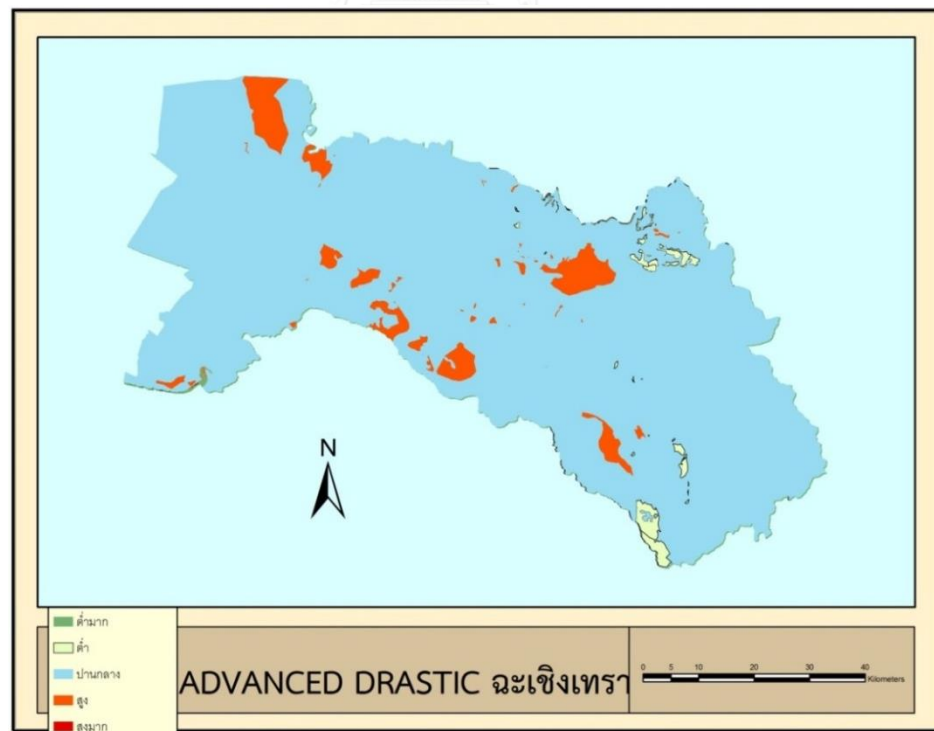
การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของระบบน้ำบาดาล (ADVANCED DRASTIC) โดยใช้ความสัมพันธ์เชิงสถิติของตัวแปรอิทธิพล ด้วยการนำสมการความสัมพันธ์ที่ได้ข้างต้น (สมการที่ 3.2) มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าระดับน้ำบาดาลใหม่และค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านใหม่จากการจำลองสภาพชั้นน้ำบาดาล (สมการที่ 3.3) และเพิ่มตัวแปรความลึกของระดับน้ำบาดาล (Depth to Groundwater – D) และสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity – C) ในสมการคำนวณของแบบจำลอง DRASTIC



รูปที่ 3- 61 ผลการประเมินความลึกระดับน้ำบาดาลที่ได้จากสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างระดับน้ำบาดาลและปริมาณน้ำฝน จังหวัดฉะเชิงเทรา



รูปที่ 3- 62 ผลการประเมินค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านที่ได้จากการจำลองสภาพชั้นน้ำบาดาลโดย MODFLOW Model จังหวัดฉะเชิงเทรา

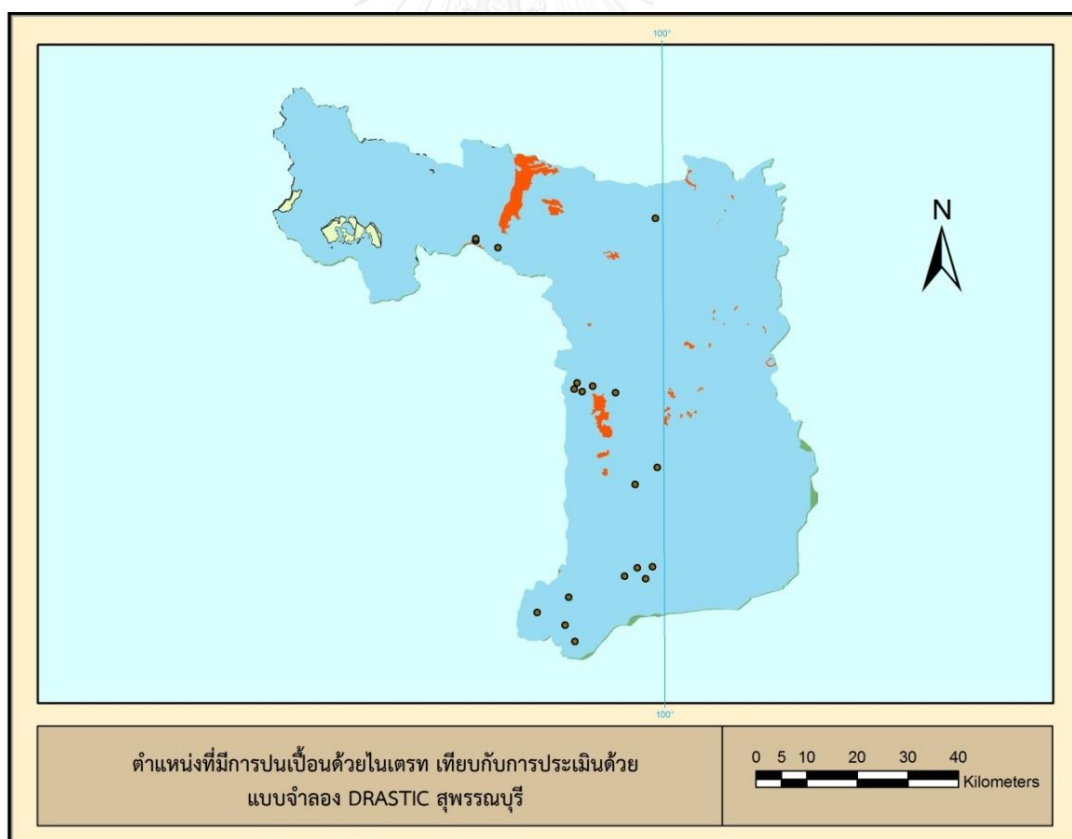


รูปที่ 3- 63 ผลการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน จังหวัดฉะเชิงเทรา

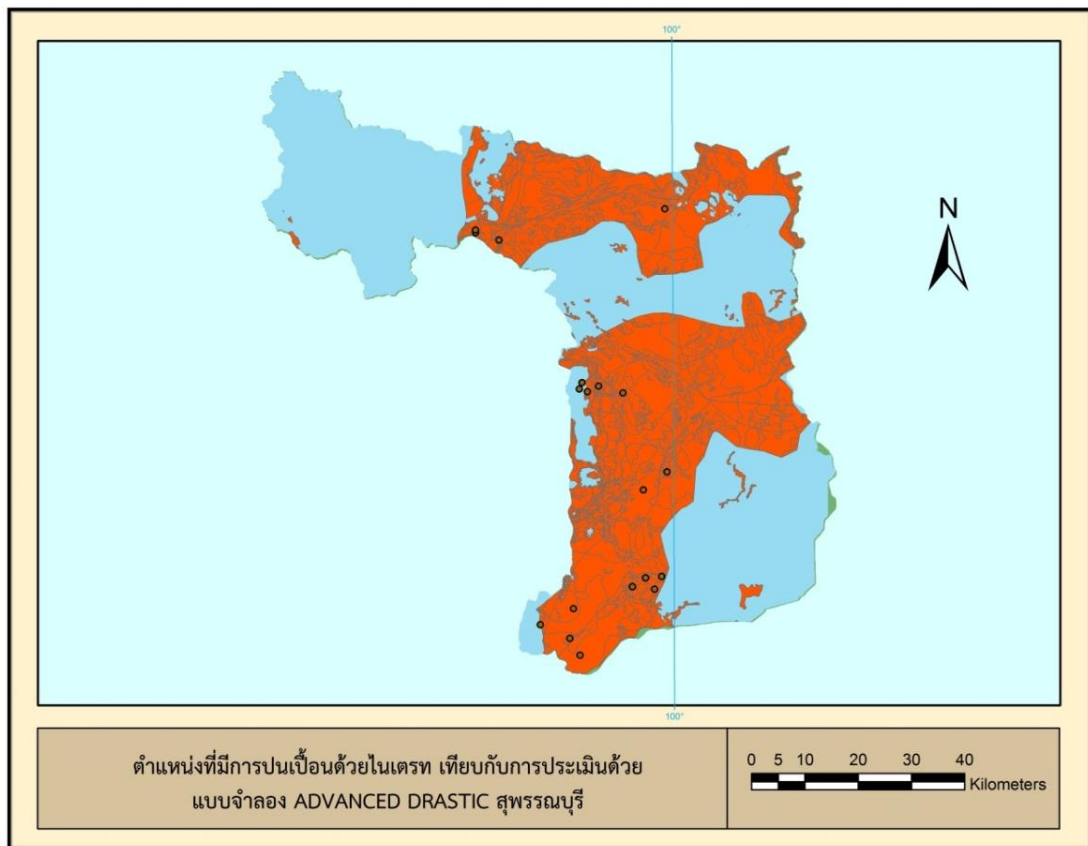
3.4 การนำวิธีการประเมินความเปราะบางไปใช้เพื่อวิเคราะห์ถึงพื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อน

เนื่องจากข้อจำกัดต่าง ๆ ของวิธีการประเมินความเปราะบางแบบ DRASTIC เมื่อประยุกต์ใช้กับพื้นที่ศึกษา การนำวิธีการประเมินความเปราะบางไปใช้เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อน จึงควรมีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการประเมินความเปราะบางขั้นสูงที่พัฒนาขึ้น (ADVANCED DRASTIC)

คุณภาพน้ำในจังหวัดสุพรรณบุรีมีการปนเปื้อนหลายพื้นที่ของจังหวัด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการปนเปื้อนด้วยไนเตรทจากกระบวนการเกษตรในพื้นที่ ดังนั้น ในการตรวจสอบวิธีการประเมินความเปราะบางที่ได้พัฒนาขึ้นให้สะท้อนการเกิดการปนเปื้อนในพื้นที่ศึกษา จำเป็นต้องนำเข้าข้อมูลพิกัดที่มีการตรวจสอบน้ำบาดาลถึงสภาพการปนเปื้อนสู่โปรแกรม GIS เพื่อซ้อนกับแผนที่ความเปราะบางที่สร้างขึ้นทั้งแบบ DRASTIC Map และ ADVANCED DRASTIC Map จะได้พิกัดบริเวณที่มีการปนเปื้อนของน้ำบาดาลบนแผนที่ ดังแสดงในรูปที่ 3-64 และรูปที่ 3-65



รูปที่ 3- 64 การประยุกต์ใช้แผนที่ DRASTIC Map เทียบกับพื้นที่ปนเปื้อนจังหวัดสุพรรณบุรี



รูปที่ 3- 65 การประยุกต์ใช้แผนที่ ADVANCED DRASTIC Map เทียบเขตพื้นที่ปนเปื้อนจังหวัด
สุพรรณบุรี

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน โดยการใช้แบบจำลอง DRASTIC ขั้นสูง (ADVANCED DRASTIC) ที่พัฒนาบนพื้นฐานของแบบจำลอง MODFLOW มีการดำเนินการสร้างแผนที่ความเปราะบางของพื้นที่ศึกษา ศึกษาและวิเคราะห์เชิงสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล จำลองสภาพการไหลและการกระจายตัวของน้ำบาดาล และพัฒนาแบบจำลองเพื่อประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล ซึ่งสามารถแบ่งผลการศึกษาดังกล่าวออกเป็น 3 ส่วน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลโดยวิธี DRASTIC

การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลโดยใช้แบบจำลอง DRASTIC คือ การประเมินความเปราะบางที่อาศัยหลักการให้คะแนน ด้วยการพิจารณาและวิเคราะห์การให้คะแนนจากข้อมูลของค่าตัวแปร 7 ตัว โดยมีการให้คะแนนระหว่าง 1-10 ในแต่ละตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักที่ต่างกัน ขึ้นกับอัตราส่วนผลกระทบต่อความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล ซึ่งมีค่าถ่วงน้ำหนักระหว่าง 1-5 โดยค่าถ่วงน้ำหนัก 5 คือ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเปราะบางมากที่สุด ได้แก่ ความลึกระดับน้ำบาดาล (Depth to Groundwater table – D) และเขตอิมมอกาต (Impact of Vadose Zone Media – I) ค่าถ่วงน้ำหนัก 4 ได้แก่ อัตราการเติมน้ำ (Recharge – R) ค่าถ่วงน้ำหนัก 3 ได้แก่ ตัวกลางชั้นน้ำบาดาล (Aquifer Media – A) และสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity – C) ค่าถ่วงน้ำหนัก 2 ได้แก่ ชนิดตัวกลางดิน (Soil Media – S) และค่าถ่วงน้ำหนัก 1 คือ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความเปราะบางน้อยที่สุด ได้แก่ ภูมิประเทศ (Topography – T) ทั้งนี้ เมื่อรวมคะแนนของทุกตัวแปรจะได้ช่วงคะแนนระหว่าง 23-230 โดยแบ่งระดับความเปราะบางเป็น 5 ระดับ คือ ต่ำมาก (ช่วงคะแนน 0-46) ต่ำ (ช่วงคะแนน 46-92) ปานกลาง (ช่วงคะแนน 92-138) สูง (ช่วงคะแนน 138-184) และสูงมาก (ช่วงคะแนน 184-230) ซึ่งระดับเหล่านี้บ่งชี้ถึงคุณสมบัติของพื้นที่ที่มีผลต่อการเกิดการปนเปื้อนจากมลสารต่าง ๆ ลงสู่ชั้นน้ำบาดาล

4.1.1 จังหวัดฉะเชิงเทรา

- ความลึกของระดับน้ำบาดาล (Depth to Groundwater) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 5 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษามากที่สุด ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อการประเมินมากที่สุด โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรความลึกของระดับน้ำบาดาลในจังหวัดฉะเชิงเทรา มีค่าอยู่ระหว่าง 25-40 จากค่าคะแนนสูงสุด 50 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดฉะเชิงเทรา มีความลึกของระดับน้ำบาดาลในแต่ละพื้นที่ไม่มากนัก ทำให้คะแนนจากการประเมินอยู่ในช่วงกลางถึงสูง ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่ที่มีแนวโน้มจะมีความเปราะบางในระดับกลางและสูงเป็นส่วนมากของพื้นที่

- อัตราการเติมน้ำสุทธิ (Recharge) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 4 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา รองจากตัวแปรความลึกของระดับน้ำบาดาลและเขตภูมิอากาศ ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อการประเมินมาก โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรอัตราการเติมน้ำสุทธิในจังหวัดฉะเชิงเทรา มีค่าอยู่ระหว่าง 4-24 จากคะแนนสูงสุด 40 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดฉะเชิงเทรา มีอัตราการเติมน้ำสุทธิในแต่ละพื้นที่ไม่มากนัก ทำให้คะแนนจากการประเมินอยู่ในช่วงค่อนข้างต่ำเป็นส่วนมากของพื้นที่มีระดับคะแนนปานกลางเพียงเล็กน้อย ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่ทำให้ความเปราะบางของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่ความเปราะบางระดับต่ำเป็นส่วนใหญ่มากของพื้นที่

- ตัวกลางของชั้นน้ำบาดาล (Aquifer Media) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 3 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาในระดับปานกลาง ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อการประเมินในระดับปานกลาง โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรตัวกลางของชั้นน้ำบาดาลในจังหวัดฉะเชิงเทรา มีค่าอยู่ระหว่าง 9-18 จากคะแนนสูงสุด 30 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดฉะเชิงเทรา มีตัวกลางของชั้นน้ำบาดาลที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำและดูดซึมน้ำในระดับที่ใกล้เคียงกันเกือบทุกพื้นที่ ทำให้ได้คะแนนจากการประเมินอยู่ในช่วงที่ต่ำถึงปานกลาง ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่ความเปราะบางระดับต่ำจนถึงระดับปานกลางเป็นส่วนใหญ่มากของพื้นที่

- ชนิดตัวกลางดิน (Soil Media) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 2 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่

ศึกษาน้อย ซึ่งถือว่ามีผลต่อการประเมินน้อย โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรชนิดตัวกลางดินในจังหวัดฉะเชิงเทรามีค่าอยู่ระหว่าง 4-12 เป็นส่วนใหญ่ และที่ 20 เป็นส่วนน้อยมาก จากคะแนนสูงสุด 20 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดฉะเชิงเทรามีชนิดตัวกลางดินที่มีความสามารถในการซึมในระดับที่ใกล้เคียงกันเป็นบริเวณกว้าง ทำให้คะแนนจากการประเมินอยู่ในช่วงที่ต่ำและปานกลางและมีค่าสูงในพื้นที่ส่วนน้อยมาก ซึ่งส่งผลต่อความแปรปรวนของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความแปรปรวนระดับต่ำจนถึงระดับปานกลางเป็นส่วนมากของพื้นที่

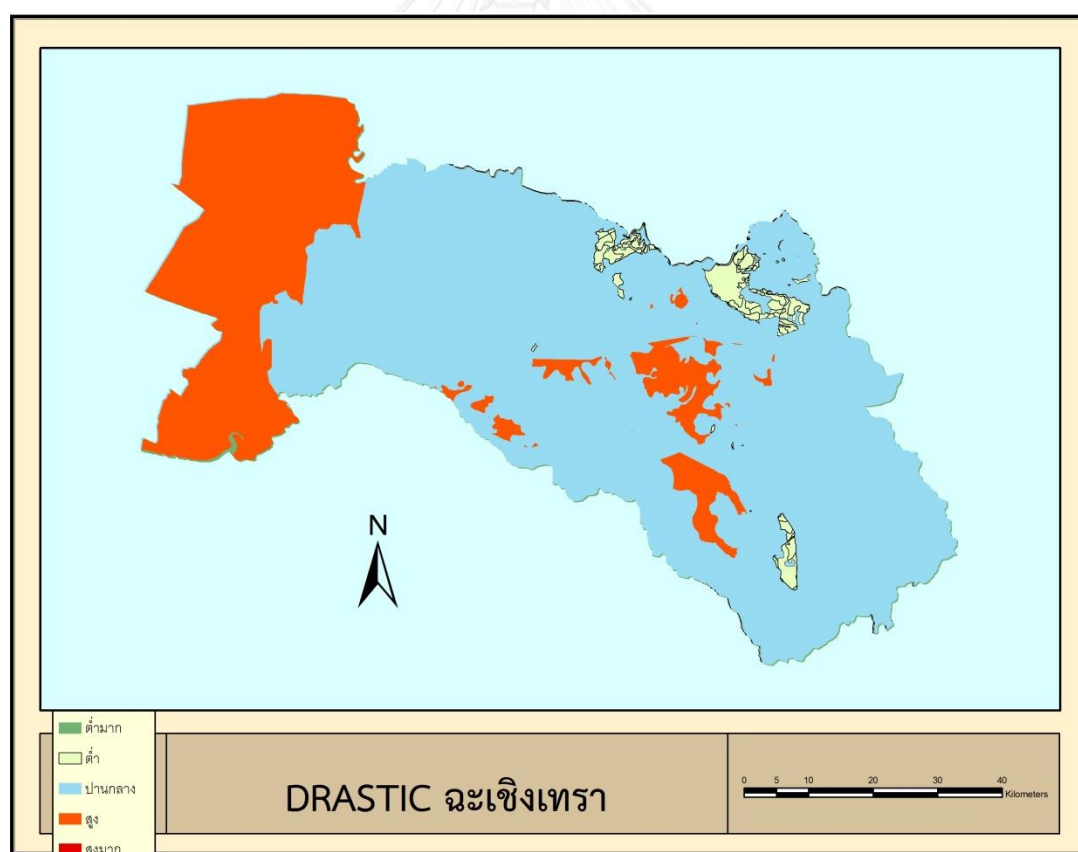
- ภูมิประเทศ (Topography) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 1 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาน้อยมาก ซึ่งถือว่ามีผลต่อการประเมินน้อยมาก โดยที่จังหวัดฉะเชิงเทรามีค่าความลาดชันของพื้นที่อยู่ระหว่างร้อยละ 0-2 เป็นส่วนใหญ่ของพื้นที่ทั้งหมด และมีค่าความลาดชันระหว่างร้อยละ 2-18 ทางตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ซึ่งส่วนมากอยู่ในช่วงร้อยละ 2-6 ในขณะที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรภูมิประเทศในจังหวัดฉะเชิงเทรามีค่าของพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ที่ 10 และมีพื้นที่เพียงส่วนน้อยที่มีค่าอยู่ที่ 9 จากคะแนนสูงสุด 10 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดฉะเชิงเทรามีพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำเป็นบริเวณกว้าง ทำให้คะแนนจากการประเมินภูมิประเทศอยู่ในช่วงที่สูง ซึ่งส่งผลต่อความแปรปรวนของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความแปรปรวนระดับสูงเป็นส่วนมากของพื้นที่

- เขตอิมมูนาทอส (Impact of Vadose Zone) เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนนคือ 5 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษามากที่สุด ซึ่งถือว่ามีผลต่อการประเมินมากที่สุด โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรเขตอิมมูนาทอสในจังหวัดฉะเชิงเทรามีค่าอยู่ระหว่าง 20-45 จากคะแนนสูงสุด 50 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดฉะเชิงเทรามีพื้นที่ที่มีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในเขตอิมมูนาทอสในระดับปานกลางถึงสูงครอบคลุมทุกพื้นที่ ทำให้คะแนนจากการประเมินอยู่ในช่วงกลางและสูง ซึ่งส่งผลต่อความแปรปรวนของพื้นที่ทำให้ความแปรปรวนของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความแปรปรวนระดับกลางและสูงเป็นส่วนมากของพื้นที่

- สมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 3 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาในระดับปานกลาง ซึ่งถือว่ามีผลต่อการประเมินปานกลาง โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรสมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในจังหวัดฉะเชิงเทรามีค่าอยู่ระหว่าง 6-18 จากคะแนนสูงสุด 30 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดฉะเชิงเทรามี

ความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านในระดับที่ไม่สูงมากเกือบทุกพื้นที่ ทำให้คะแนนจากการประเมินสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านอยู่ในช่วงที่ต่ำและปานกลาง ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความเปราะบางระดับต่ำจนถึงระดับปานกลางกระจายโดยรอบพื้นที่

- แผนที่ประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลด้วยวิธีประเมินแบบ DRASTIC (DRASTIC Map) เมื่อนำค่าคะแนนจากตัวแปรต่าง ๆ มารวมหรือซ้อนทับกันในแบบจำลอง DRASTIC และสร้างแผนที่ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนในรูปแบบที่ 4-1 จะแสดงให้เห็นว่า ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลของจังหวัดฉะเชิงเทรา มี 4 ระดับ ได้แก่ (1).ระดับความเปราะบางต่ำมาก (2).ระดับความเปราะบางต่ำ (3).ระดับความเปราะบางปานกลาง และ (4).ระดับความเปราะบางสูง โดยมีพื้นที่ที่มีระดับความเปราะบางต่ำเป็นบริเวณน้อยมากจนแทบไม่สามารถสังเกตเห็นได้จากแผนที่ ในขณะที่มีพื้นที่ที่มีระดับความเปราะบางปานกลางเป็นบริเวณมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4-1



รูปที่ 4- 1 แผนที่ประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลด้วยวิธีประเมินแบบ DRASTIC (DRASTIC Map) จังหวัดฉะเชิงเทรา

ตารางที่ 4- 1 ขนาดพื้นที่ตามระดับความเปราะบางของจังหวัดฉะเชิงเทรา

	ระดับความเปราะบาง				
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
พื้นที่ (Km ²)	42.3823	141.1425	3783.057	1301.626	0
ร้อยละของพื้นที่	0.804492	2.679138	71.80918	24.70719	0

4.1.2 จังหวัดสุพรรณบุรี

- ความลึกของระดับน้ำบาดาล (Depth to Groundwater) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 5 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษามากที่สุด ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อการประเมินมากที่สุด โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรความลึกของระดับน้ำบาดาลในจังหวัดสุพรรณบุรีมีค่าอยู่ระหว่าง 20-25 จากค่าคะแนนสูงสุด 50 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดสุพรรณบุรีมีความลึกของระดับน้ำบาดาลในแต่ละพื้นที่ไม่มากนัก ทำให้คะแนนจากการประเมินอยู่ในช่วงกลาง ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่มีแนวโน้มจะมีความเปราะบางในระดับกลางเป็นส่วนมากของพื้นที่

- อัตราการเติมน้ำสู่ทิว (Recharge) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 4 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษารองจากตัวแปรความลึกของระดับน้ำบาดาลและเขตอิมอากาศ ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อการประเมินมาก โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรอัตราการเติมน้ำสู่ทิวในจังหวัดสุพรรณบุรีมีค่าอยู่ระหว่าง 16-20 จากคะแนนสูงสุด 40 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดสุพรรณบุรีมีอัตราการเติมน้ำสู่ทิวในแต่ละพื้นที่ในระดับกลาง ๆ ทำให้คะแนนจากการประเมินอยู่ในช่วงระดับคะแนนปานกลางเป็นส่วนมากของพื้นที่ ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่ทำให้ความเปราะบางของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่ความเปราะบางระดับปานกลางเป็นส่วนใหญ่ของพื้นที่

- ตัวกลางของชั้นน้ำบาดาล (Aquifer Media) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 3 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาในระดับปานกลาง ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อการประเมินในระดับปานกลาง โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรตัวกลางของชั้นน้ำบาดาลในจังหวัด

สุพรรณบุรีมีค่าอยู่ระหว่าง 6-24 จากคะแนนสูงสุด 30 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดสุพรรณบุรีมีตัวกลางของชั้นน้ำบาดาลที่มีความสามารถในการกักน้ำและดูดซึมน้ำในทุกระดับ ทำให้ได้คะแนนจากการประเมินอยู่ในระดับทั้งต่ำ ปานกลาง และสูง โดยคะแนนช่วงที่สูงครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดและรองลงมาเป็นช่วงคะแนนต่ำ ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความเปราะบางสูงครอบคลุมบริเวณมากที่สุด ในขณะที่พื้นที่ส่วนอื่นเป็นบริเวณที่มีความเปราะบางต่ำ และพื้นที่ในส่วนน้อยเป็นบริเวณที่มีความเปราะบางปานกลาง

- ชนิดตัวกลางดิน (Soil Media) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 2 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาน้อย ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อการประเมินน้อย โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรชนิดตัวกลางดินในจังหวัดสุพรรณบุรีมีค่าอยู่ระหว่าง 2-20 เป็นส่วนใหญ่ และที่ 20 เป็นส่วนน้อยมาก จากคะแนนสูงสุด 20 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดสุพรรณบุรีมีชนิดตัวกลางดินที่มีความสามารถในการซึมในทุกระดับ ทำให้คะแนนจากการประเมินอยู่ในช่วงระดับคะแนนต่ำไปจนถึงสูง ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่ทำให้ความเปราะบางของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความเปราะบางในทุกระดับกระจายทั่วพื้นที่

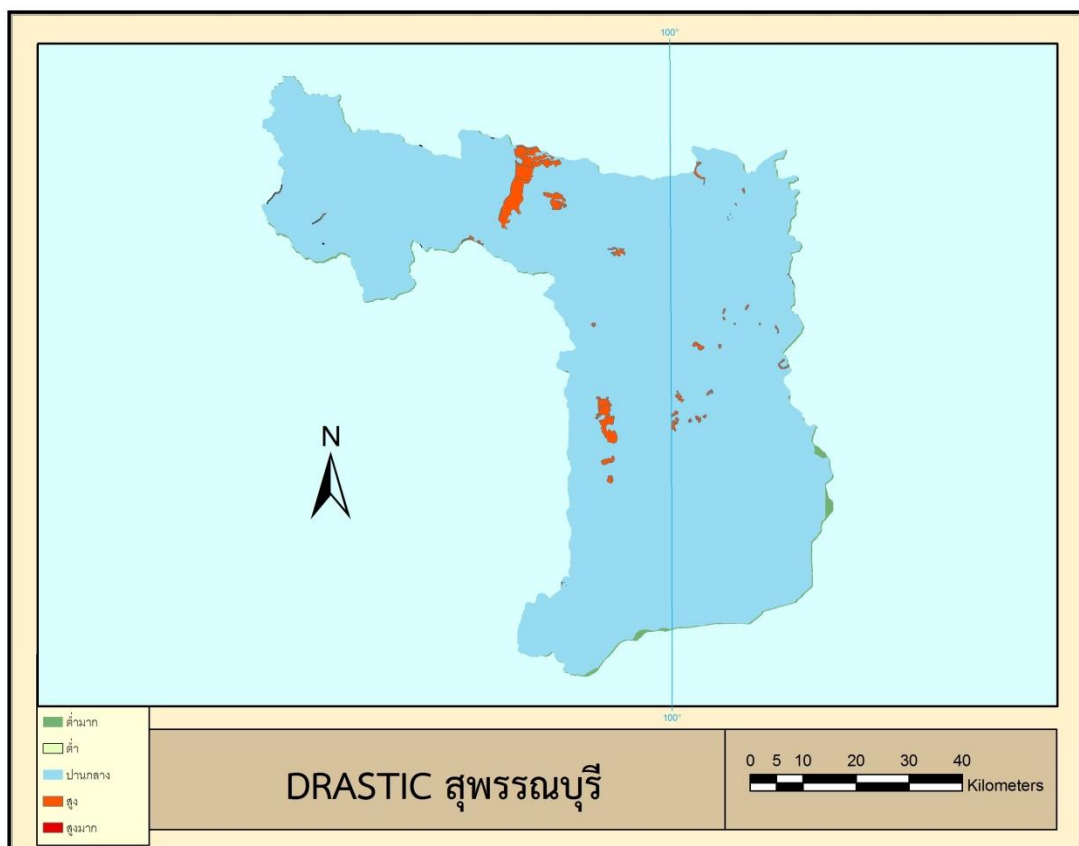
- ภูมิประเทศ (Topography) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 1 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาน้อยมาก ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อการประเมินน้อยมาก โดยที่จังหวัดฉะเชิงเทรามีค่าความลาดชันของพื้นที่อยู่ระหว่างร้อยละ 0-2 เป็นส่วนใหญ่ของพื้นที่ทั้งหมด และมีค่าความลาดชันระหว่างร้อยละ 2-18 ทางตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ซึ่งส่วนมากอยู่ในช่วงร้อยละ 2-6 ในขณะที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรภูมิประเทศในจังหวัดสุพรรณบุรีมีค่าของพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ที่ 10 และมีพื้นที่เพียงส่วนน้อยมากที่มีค่าอยู่ที่ 9 จากคะแนนสูงสุด 10 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดสุพรรณบุรีมีพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำเป็นบริเวณกว้าง ทำให้คะแนนจากการประเมินภูมิประเทศอยู่ในช่วงที่สูง ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความเปราะบางระดับสูงเป็นส่วนใหญ่ของพื้นที่

- เขตอิทธิมาอากาศ (Impact of Vadose Zone) เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนนคือ 5 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษามากที่สุด ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อการประเมินมากที่สุด โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรเขตอิทธิมาอากาศในจังหวัดสุพรรณบุรีมีค่าอยู่ระหว่าง 20-40 จากคะแนนสูงสุด 50 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดสุพรรณบุรีมีพื้นที่ที่มีความสามารถในการซึมผ่านของ

น้ำในเขตอ้อมอากาศในระดับปานกลางถึงสูงครอบคลุมทุกพื้นที่ ทำให้คะแนนจากการประเมินอยู่ในช่วงกลางและสูง ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่ทำให้ความเปราะบางของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความเปราะบางระดับกลางและสูงเป็นส่วนมากของพื้นที่

- สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 3 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาในระดับปานกลาง ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อการประเมินปานกลาง โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในจังหวัดสุพรรณบุรีมีค่าอยู่ระหว่าง 9 จากคะแนนสูงสุด 30 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดสุพรรณบุรีมีความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านในระดับต่ำเกือบทุกพื้นที่ ทำให้คะแนนจากการประเมินสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านอยู่ในช่วงที่ต่ำ ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความเปราะบางระดับต่ำกระจายโดยรอบพื้นที่

- แผนที่ประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลด้วยวิธีประเมินแบบ DRASTIC (DRASTIC Map) เมื่อนำค่าคะแนนจากตัวแปรต่าง ๆ มารวมหรือซ้อนทับกันในแบบจำลอง DRASTIC และสร้างแผนที่ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนในรูปที่ 4-2 จะแสดงให้เห็นว่า ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลของจังหวัดสุพรรณบุรีมี 4 ระดับ ได้แก่ (1).ระดับความเปราะบางต่ำมาก (2).ระดับความเปราะบางต่ำ (3).ระดับความเปราะบางปานกลาง และ (4).ระดับความเปราะบางสูง โดยมีพื้นที่ที่มีระดับความเปราะบางต่ำเป็นบริเวณน้อยมากจนแทบไม่สามารถสังเกตเห็นได้จากแผนที่ ในขณะที่มีพื้นที่ที่มีระดับความเปราะบางปานกลางเป็นบริเวณมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4-2



รูปที่ 4- 2 แผนที่ประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลด้วยวิธีประเมิน DRASTIC (DRASTIC Map) จังหวัดสุพรรณบุรี

ตารางที่ 4- 2 ขนาดพื้นที่ตามระดับความเปราะบางของจังหวัดสุพรรณบุรี

	ระดับความเปราะบาง				
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
พื้นที่ (Km ²)	60.686	45.7205	5275.308	94.1008	0
ร้อยละของพื้นที่	1.1082	0.83350	96.3383	1.7185	0

4.1.3 จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก

- ความลึกของระดับน้ำบาดาล (Depth to Groundwater) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 5 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการ

ปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษามากที่สุด ซึ่งถือว่ามีค่าสำคัญต่อการประเมินมากที่สุด โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรความลึกของระดับน้ำบาดาลในจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีค่าอยู่ระหว่าง 20-30 จากค่าคะแนนสูงสุด 50 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีความลึกของระดับน้ำบาดาลในแต่ละพื้นที่ไม่มากนัก ทำให้คะแนนจากการประเมินอยู่ในช่วงกลาง ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่ที่มีแนวโน้มจะมีความเปราะบางในระดับกลางเป็นส่วนมากของพื้นที่

- อัตราการเติมน้ำสุทธิ (Recharge) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 4 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา รองจากตัวแปรความลึกของระดับน้ำบาดาลและเขตภูมิอากาศ ซึ่งถือว่ามีค่าสำคัญต่อการประเมินมาก โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรอัตราการเติมน้ำสุทธิในจังหวัดฉะเชิงเทรามีค่าอยู่ระหว่าง 8-32 จากคะแนนสูงสุด 40 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดฉะเชิงเทรามีอัตราการเติมน้ำสุทธิในทุกระดับ ทำให้คะแนนจากการประเมินอยู่ในช่วงระดับคะแนนต่ำไปจนถึงสูง ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่ทำให้ความเปราะบางของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความเปราะบางในทุกระดับกระจายทั่วพื้นที่

- ตัวกลางของชั้นน้ำบาดาล (Aquifer Media) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 3 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาในระดับปานกลาง ซึ่งถือว่ามีค่าสำคัญต่อการประเมินในระดับปานกลาง โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรตัวกลางของชั้นน้ำบาดาลในจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีค่าอยู่ระหว่าง 9-24 จากคะแนนสูงสุด 30 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีตัวกลางของชั้นน้ำบาดาลที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำและดูดซึมน้ำในทุกระดับ ทำให้ได้คะแนนจากการประเมินอยู่ในช่วงระดับคะแนนต่ำไปจนถึงสูง โดยคะแนนช่วง 12-18 หรือระดับปานกลาง ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความเปราะบางระดับปานกลางเป็นส่วนใหญ่ของพื้นที่

- ชนิดตัวกลางดิน (Soil Media) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 2 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาน้อย ซึ่งถือว่ามีค่าสำคัญต่อการประเมินน้อย โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรชนิดตัวกลางดินในจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีค่าอยู่ระหว่าง 4-12 เป็นส่วนใหญ่ และที่ 2-20 เป็นส่วนน้อยมาก จากคะแนนสูงสุด 20 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีชนิดตัวกลางดินที่มีความสามารถในการซึมน้ำในทุกระดับ ทำให้คะแนนจากการประเมิน

อยู่ในช่วงระดับคะแนนต่ำไปจนถึงสูง ซึ่งส่งผลต่อความแปรปรวนของพื้นที่ทำให้ความแปรปรวนของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความแปรปรวนในทุกระดับกระจายทั่วพื้นที่

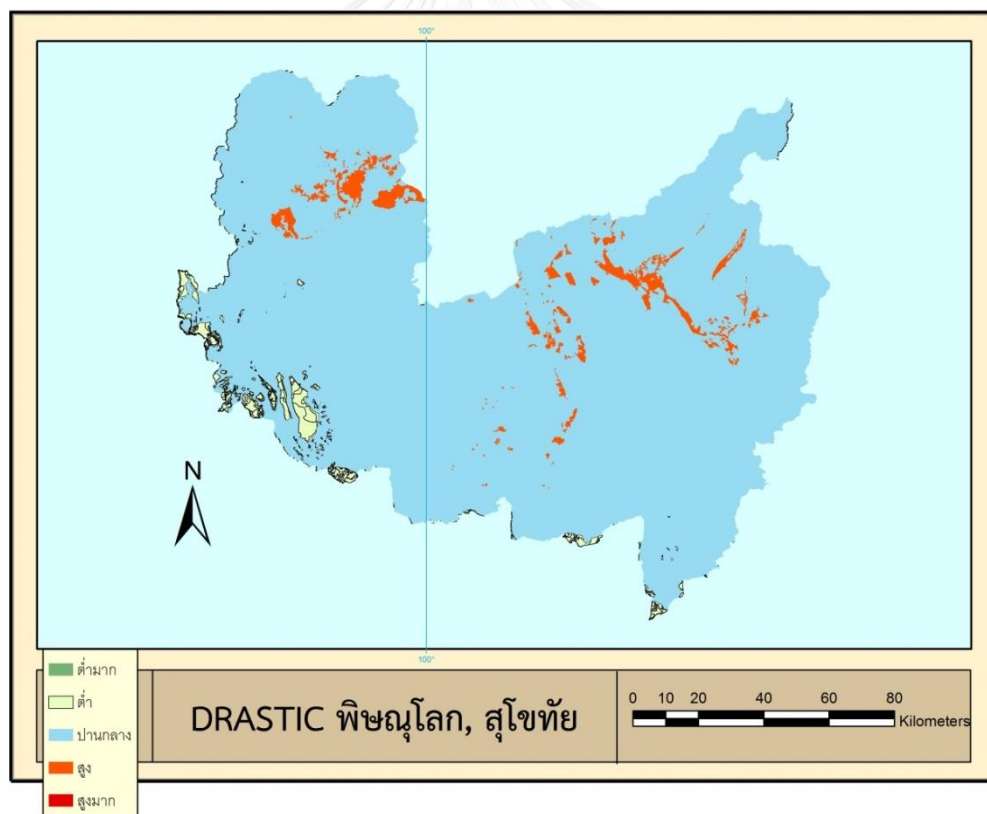
- ภูมิประเทศ (Topography) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 1 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาน้อยมาก ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อการประเมินน้อยมาก โดยที่จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีค่าความลาดชันของพื้นที่อยู่ระหว่างร้อยละ 0-2 เป็นส่วนใหญ่ของพื้นที่ทั้งหมด และมีค่าความลาดชันระหว่างร้อยละ 2-18 ทางเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ และตะวันตกของพื้นที่ซึ่งส่วนมากอยู่ในช่วงร้อยละ 2-6 ในขณะที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรภูมิประเทศในจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีค่าของพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ที่ 10 และมีพื้นที่เพียงส่วนน้อยที่มีค่าอยู่ที่ 9 จากคะแนนสูงสุด 10 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำเป็นบริเวณกว้าง ทำให้คะแนนจากการประเมินภูมิประเทศอยู่ในช่วงที่สูง ซึ่งส่งผลต่อความแปรปรวนของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความแปรปรวนระดับสูงเป็นส่วนใหญ่ของพื้นที่

- เขตอิมมอากาศ (Impact of Vadose Zone) เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนนคือ 5 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษามากที่สุด ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อการประเมินมากที่สุด โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรเขตอิมมอากาศในจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีค่าอยู่ระหว่าง 15-45 จากคะแนนสูงสุด 50 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีพื้นที่ที่มีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในเขตอิมมอากาศในระดับปานกลางถึงสูงครอบคลุมทุกพื้นที่ ทำให้คะแนนจากการประเมินอยู่ในช่วงกลางและสูง ซึ่งส่งผลต่อความแปรปรวนของพื้นที่ทำให้ความแปรปรวนของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความแปรปรวนระดับกลางและสูงเป็นส่วนมากของพื้นที่

- สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) เป็นตัวแปรที่มีค่าถ่วงน้ำหนักของการให้คะแนน คือ 3 ทำให้เป็นตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อการประเมินความแปรปรวนต่อการปนเปื้อนของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาในระดับปานกลาง ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อการประเมินปานกลาง โดยที่การประเมินโดยการให้คะแนนของตัวแปรสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านในจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีค่าอยู่ระหว่าง 6-18 จากคะแนนสูงสุด 30 แสดงให้เห็นว่า จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านในระดับที่ไม่สูงมากเกือบทุกพื้นที่ ทำให้คะแนนจากการประเมินสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านอยู่ในช่วงที่ต่ำและ

ปานกลาง ซึ่งส่งผลต่อความเปราะบางของพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่มีความเปราะบางระดับต่ำจนถึงระดับปานกลางกระจายโดยรอบพื้นที่

- แผนที่ประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลด้วยวิธีประเมินแบบ DRASTIC (DRASTIC Map) เมื่อนำค่าคะแนนจากตัวแปรต่าง ๆ มารวมหรือซ้อนทับกันในแบบจำลอง DRASTIC และสร้างแผนที่ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนในรูปที่ 4-3 จะแสดงให้เห็นว่า ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลของจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมี 4 ระดับ ได้แก่ (1).ระดับความเปราะบางต่ำมาก (2).ระดับความเปราะบางต่ำ (3).ระดับความเปราะบางปานกลาง และ (4).ระดับความเปราะบางสูง โดยมีพื้นที่ที่มีระดับความเปราะบางต่ำเป็นบริเวณน้อยมากจนแทบไม่สามารถสังเกตเห็นได้จากแผนที่ ในขณะที่พื้นที่ที่มีระดับความเปราะบางปานกลางเป็นบริเวณมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4-3



รูปที่ 4- 3 แผนที่ประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลด้วยวิธีประเมิน DRASTIC (DRASTIC Map) จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก

ตารางที่ 4- 3 ขนาดพื้นที่ตามระดับความเปราะบางของจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก

	ระดับความเปราะบาง				
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
พื้นที่ (Km ²)	0.0520	377.0165	16387.75	526.4767	0
ร้อยละของพื้นที่	0.0003	2.1804	94.7746	3.0448	0

ค่าของดัชนีหรือค่าการประเมินของการรวมหรือซ้อนทับค่าคะแนนจากตัวแปรต่าง ๆ ในแบบจำลอง DRASTIC แสดงถึงการตรวจวัดความเปราะบางของพื้นที่ศึกษาในเชิงเปรียบเทียบ ซึ่งหมายถึงพื้นที่ที่มีค่าดัชนีมากกว่าจะมีความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการเกิดมลภาวะมากกว่าอีกพื้นที่หนึ่ง โดยสามารถวิเคราะห์คะแนนจากการรวมหรือการซ้อนทับของค่าคะแนนจากตัวแปรต่าง ๆ ได้ระหว่างช่วงคะแนน 23-230 จึงแบ่งระดับความเปราะบางของพื้นที่ออกเป็น 5 ระดับ คือ ต่ำมาก (ช่วงคะแนน 0-46) ต่ำ (ช่วงคะแนน 46-92) ปานกลาง (ช่วงคะแนน 92-138) สูง (ช่วงคะแนน 138-184) และสูงมาก (ช่วงคะแนน 184-230) อย่างไรก็ตาม พื้นที่ที่มีค่าดัชนีต่ำไม่ได้หมายความว่าพื้นที่ดังกล่าวไม่มีความเปราะบางหรือไม่สามารถเกิดการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ ในขณะเดียวกัน พื้นที่ที่มีค่าดัชนีสูงก็ไม่ได้หมายความว่าพื้นที่ดังกล่าวจะมีการปนเปื้อนลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ง่ายมาก เนื่องจากนอกเหนือจากค่าของความเปราะบางจากการประเมินตัวแปรทางกายภาพทั้ง 7 ตัวแปรของแต่ละพื้นที่แล้ว ความสามารถในการปนเปื้อนยังขึ้นกับกิจกรรมที่เกิดขึ้นบนพื้นที่หรือการใช้พื้นที่ในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงคุณสมบัติของสารด้วย

จากการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล โดยใช้แบบจำลอง DRASTIC และการสร้างแผนที่ความเปราะบาง DRASTIC Map ทำให้ทราบว่า ในจังหวัดฉะเชิงเทรา มีพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงเป็นพื้นที่ 1301.626 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 24.71 โดยพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงมีบริเวณเป็นสัดส่วนที่สูง ส่วนมากอยู่ในบริเวณภาคตะวันตกของจังหวัด ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ในอำเภอบางน้ำเปรี้ยว อำเภอเมืองฉะเชิงเทรา อำเภอบ้านโพธิ์ และอำเภอบางปะกง และส่วนน้อยอยู่ในบริเวณอำเภอแปลงยาว อำเภอสนามชัยเขต และอำเภอท่าตะเกียบ ส่วนในจังหวัดสุพรรณบุรีมีพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงเป็นพื้นที่ 94.11 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1.72 โดยพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงถือเป็นส่วนน้อยของพื้นที่ทั้งจังหวัดอยู่ในบริเวณอำเภอด่านช้าง อำเภอเดิมบางนางบวช อำเภอหนองหญ้าไซ อำเภออุทุมพร

และประปรายในอำเภออื่น ๆ เล็กน้อย ในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงเป็นพื้นที่ 526.48 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 3.04 โดยพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงถือเป็นส่วนน้อยของพื้นที่ทั้งจังหวัดอยู่ในบริเวณอำเภอชาติตระการ อำเภอนครไทย อำเภอวัดโบสถ์ และอำเภอเมืองในจังหวัดพิษณุโลก รวมถึงอำเภอศรีนคร อำเภอศรีสัชชนาลัย และอำเภอทุ่งเสลี่ยมในจังหวัดสุโขทัย ทั้งนี้ เนื่องจากพื้นที่ในบริเวณดังกล่าวมีความสามารถที่จะเกิดการปนเปื้อนของสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้มากกว่าบริเวณอื่น ดังนั้น หากมีการดำเนินกิจกรรมที่มีการใช้สารปนเปื้อน จึงควรมีการเฝ้าระวังไม่ให้เกิดกิจกรรมที่เสี่ยงจะทำให้เกิดการปนเปื้อนหรือวางแผนให้กิจกรรมดังกล่าวมีการจัดการระบบบำบัดที่ดี

4.2 การวิเคราะห์ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนโดยวิธี ADVANCED DRASTIC

4.2.1 ผลจากการศึกษาความสัมพันธ์และวิเคราะห์เชิงสถิติระหว่างปริมาณน้ำฝนและระดับน้ำบาดาล เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระดับน้ำบาดาล ในพื้นที่ศึกษา 3 แห่ง ได้แก่

- จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก
- จังหวัดสุพรรณบุรี
- จังหวัดฉะเชิงเทรา

การวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยวิธีถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ ในจังหวัดฉะเชิงเทรา ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4- 4 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล วิเคราะห์โดยวิธีถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis)

EAT 2/4	Coefficients
Intercept	5.17118
X Variable 1	-0.068
X Variable 2	-0.05648
X Variable 3	-0.03053
X Variable 4	0.020153

EAT 74	Coefficients
Intercept	15.37896
X Variable 1	-0.01209
X Variable 2	0.001632
X Variable 3	0.009957
X Variable 4	0.006881

EAT 85/1	Coefficients
Intercept	8.847532
X Variable 1	-0.08545
X Variable 2	0.266855
X Variable 3	0.220595
X Variable 4	0.092875

EAT 78/2	Coefficients
Intercept	4.635997
X Variable 1	-0.0547
X Variable 2	-0.0425
X Variable 3	0.061459
X Variable 4	0.064439

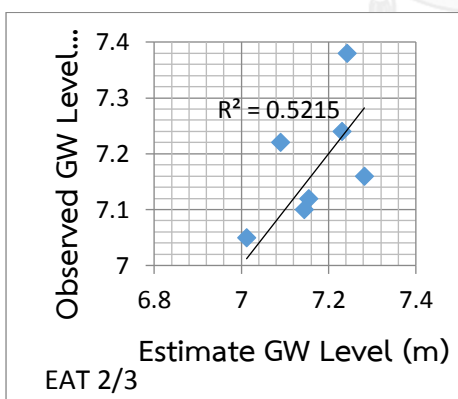
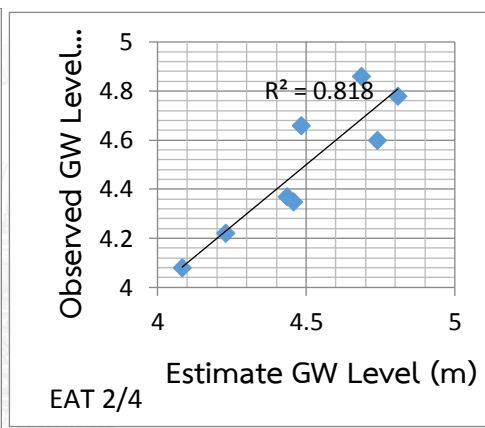
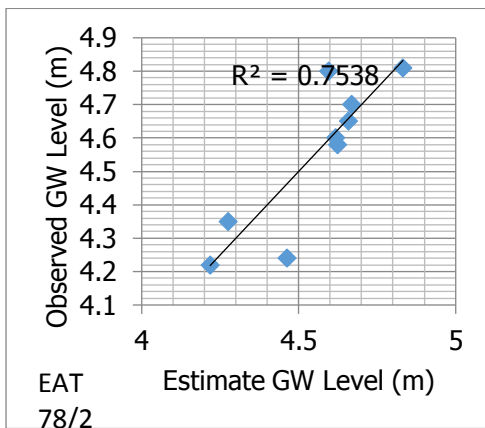
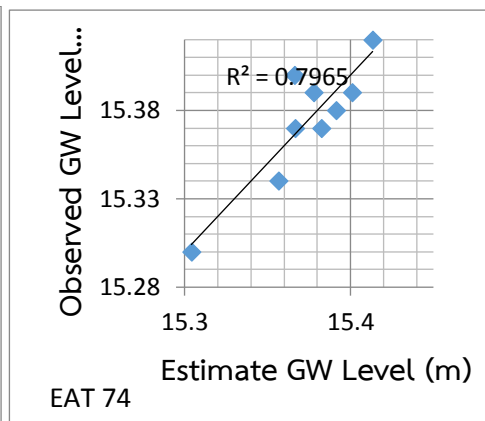
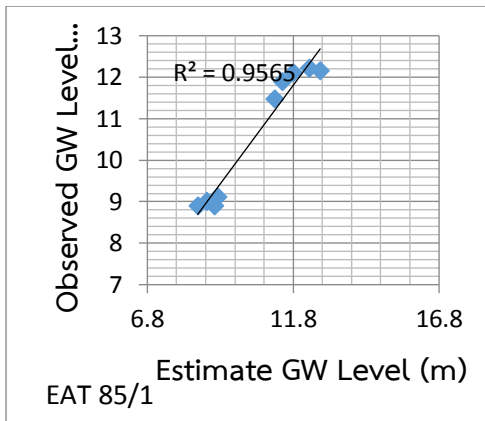
EAT 2/3	Coefficients
Intercept	7.241456
X Variable 1	-0.02725
X Variable 2	-0.00095
X Variable 3	-0.00152
X Variable 4	0.01236

ตารางที่ 4- 5 สมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล
จังหวัดฉะเชิงเทรา

บ่อสังเกตการณ์	สมการความสัมพันธ์
EAT 85/1	$Gw = 8.85 - 0.0855R_t + 0.267R_{t-1} + 0.22R_{t-2} + 0.093R_{t-3}$
EAT 74	$Gw = 15.38 - 0.012R_t + 0.001632R_{t-1} + 0.01R_{t-2} + 0.0069R_{t-3}$
EAT 78/2	$Gw = 4.636 - 0.055R_t - 0.0425R_{t-1} + 0.0615R_{t-2} + 0.06444R_{t-3}$
EAT 2/4	$Gw = 5.17 - 0.068R_t - 0.05648R_{t-1} - 0.03053R_{t-2} + 0.020153R_{t-3}$
EAT 2/3	$Gw = 7.24 - 0.0273R_t - 0.001R_{t-1} - 0.0015R_{t-2} + 0.01236R_{t-3}$

ตารางที่ 4- 6 การ verify สมการที่ได้เพื่อตรวจสอบการนำไปใช้ของสมการในจังหวัดฉะเชิงเทรา

station	real	model	%error	RMSE
EAT 2/4	4.8	5.184521	8.010863	0.156298
	4.71	5.073143	7.710044	
	4.65	4.889441	5.149279	
	4.58	4.489653	1.972638	
	4.64	4.323685	6.817137	
	4.6	4.354371	5.339768	
	3.92	4.062725	3.640948	
	4.03	4.078416	1.2014	
	4.35	3.829351	11.96895	
EAT 2/3	7.35	7.265554	1.148922	
	7.28	7.209688	0.965819	
	7.24	7.179241	0.839211	
	7.12	7.025821	1.322741	
	7.2	7.11961	1.116521	
	7.15	7.052462	1.364168	
EAT 85/1	12.35	12.09324	2.079014	
EAT 74	15.37	15.54788	1.157317	
EAT 78/2	4.53	5.899593	30.23383	



รูปที่ 4-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์และระดับน้ำบาดาลที่ได้จากสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ พร้อมค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) จังหวัดฉะเชิงเทรา

การวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยวิธีถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ ในจังหวัดสุพรรณบุรี ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4- 7 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล วิเคราะห์โดยวิธีถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis)

CWE10/1	Coefficients
Intercept	104.2565
X Variable 1	-0.03398
X Variable 2	-0.02058
X Variable 3	-0.00553
X Variable 4	-0.06353

CWE 14/1	Coefficients
Intercept	71.98598
X Variable 1	-0.00561
X Variable 2	-0.00449
X Variable 3	-0.00722
X Variable 4	-0.00508

CWE 106/1	Coefficients
Intercept	65.74191
X Variable 1	-0.20831
X Variable 2	-0.0724
X Variable 3	0.112456
X Variable 4	-0.00672

CWE 22/1	Coefficients
Intercept	168.7058
X Variable 1	-0.03095
X Variable 2	-0.44317
X Variable 3	-0.11391
X Variable 4	0.120532

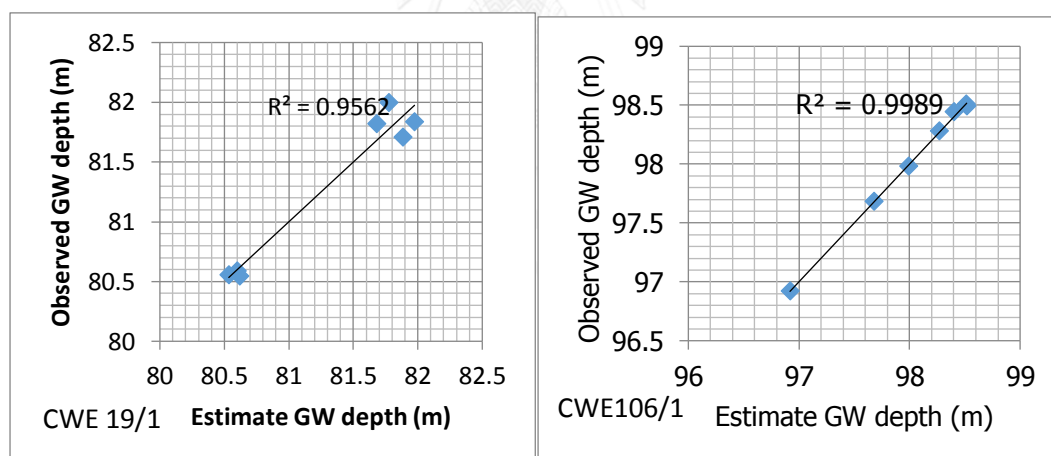
CWE 120/1	Coefficients
Intercept	87.09903
X Variable 1	0.081238
X Variable 2	-0.29258
X Variable 3	0.038684
X Variable 4	-0.1003

CWE 28/1	Coefficients
Intercept	30.76742
X Variable 1	-0.37437
X Variable 2	0.557145
X Variable 3	0.016185
X Variable 4	-0.02896

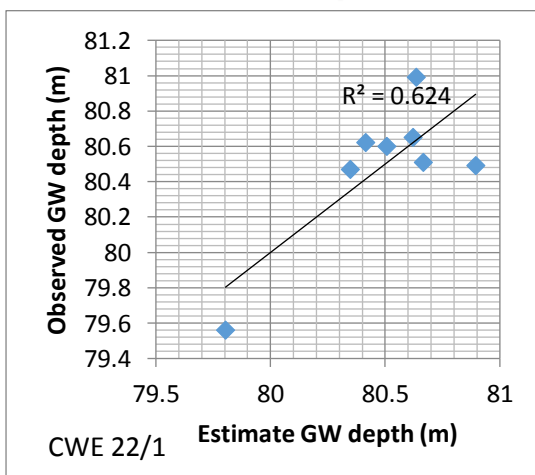
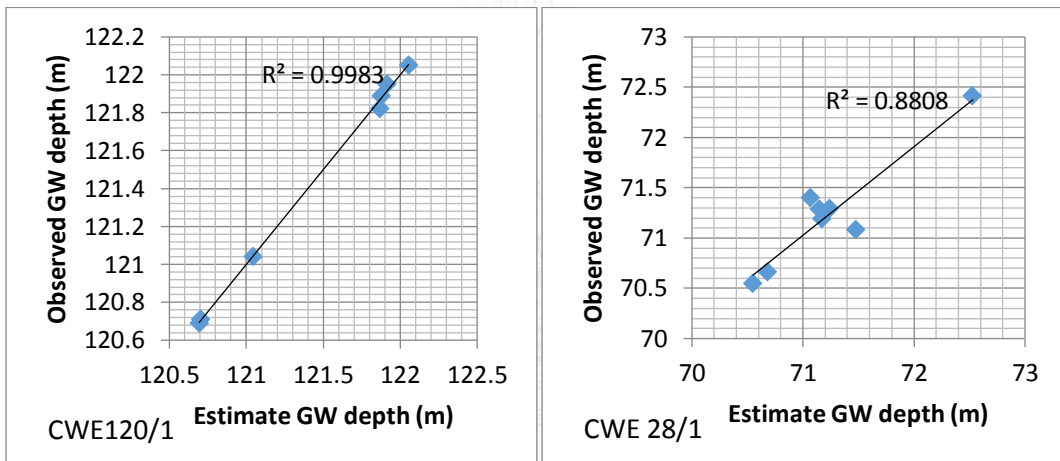
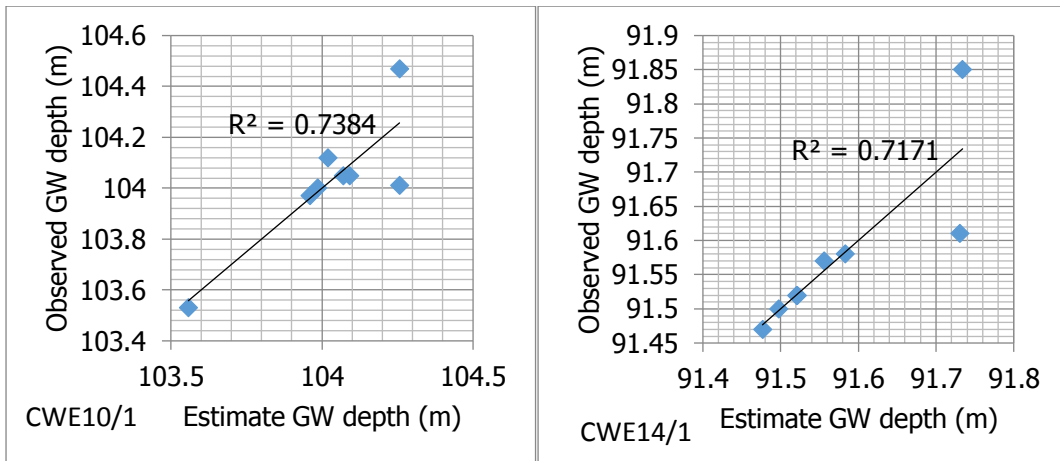
CWE 19/1	Coefficients
Intercept	82.11587
X Variable 1	0.128231
X Variable 2	-0.27296
X Variable 3	0.001682
X Variable 4	-0.21906

ตารางที่ 4- 8 สมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล
จังหวัดสุพรรณบุรี

บ่อสังเกตการณ์	สมการความสัมพันธ์
CWE 10/1	$Gw=104.2565-0.03398R_t-0.02058R_{t-1}-0.00553R_{t-2}-0.06353R_{t-3}$
CWE 14/1	$Gw=71.98598-0.00561R_t+0.00449R_{t-1}-0.00722R_{t-2}-0.00508R_{t-3}$
CWE 106/1	$Gw=65.74191-0.20831R_t-0.0724R_{t-1}+0.112456R_{t-2}-0.00672R_{t-3}$
CWE 120/1	$Gw=87.09903+0.081238R_t-0.29258R_{t-1}+0.038684R_{t-2}-0.1003R_{t-3}$
CWE 28/1	$Gw=30.76742-0.37437R_t+0.557145R_{t-1}+0.016185R_{t-2}-0.02896R_{t-3}$
CWE 19/1	$Gw=82.11587+0.128231R_t-0.27296R_{t-1}+0.001682R_{t-2}-0.21906R_{t-3}$
CWE 22/1	$Gw=168.7058-0.03095R_t-0.44317R_{t-1}-0.11391R_{t-2}+0.120532R_{t-3}$



รูปที่ 4- 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์และระดับน้ำบาดาล
ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ พร้อมค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) จังหวัด
สุพรรณบุรี



รูปที่ 4-5 (ต่อ) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์ และระดับน้ำบาดาลที่จากสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ พร้อมค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

ตารางที่ 4- 9 การ verify สมการที่ได้เพื่อตรวจสอบการนำไปใช้ของสมการในจังหวัดสุพรรณบุรี

station	real	model	%error	RMSE
CWE 22/1	86.84	77.33229	10.94854	4.771826
	86.97	78.1864	10.09957	
	87.04	79.54999	8.605251	
	87.22	79.69722	8.62506	
	87.34	79.47232	9.008109	
CWE19/1	82.28	81.70448	0.699465	
	81.76	81.89486	0.164951	
	81.75	81.1505	0.733328	
	81.73	81.62683	0.12623	
	81.83	82.21472	0.470141	
CWE28/1	70.66	71.65851	1.413126	
	70.49	72.29581	2.5618	
	70.79	72.365	2.224895	
	70.75	71.78793	1.467038	
	70.79	70.0421	1.056502	
CWE 14/1	93.47	90.71209	2.950583	
	93.18	90.76939	2.587047	
	93.42	90.36973	3.26511	
	93.23	90.22844	3.219518	
	93.31	90.3788	3.141359	
CWE 10/1	97.35	104.1853	7.021349	
	96.7	104.0097	7.559193	
	97.57	103.9957	6.585728	
	99.24	104.0518	4.848605	
	99.88	103.4794	3.603733	

การวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยวิธีถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ ในจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4- 10 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล วิเคราะห์โดยวิธีถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis)

NT 50/1	Coefficients
Intercept	305.6145
X Variable 1	0.1131
X Variable 2	0.013898
X Variable 3	-0.11596
X Variable 4	0.383567

NT 93	Coefficients
Intercept	132.3993
X Variable 1	0.123634
X Variable 2	0.437527
X Variable 3	-0.84237
X Variable 4	0.246457

NT 48/1	Coefficients
Intercept	499.4369
X Variable 1	1.758558
X Variable 2	-3.44921
X Variable 3	1.222468
X Variable 4	-1.13146

NT 96/1	Coefficients
Intercept	159.6062
X Variable 1	0.066272
X Variable 2	0.110411
X Variable 3	0.09933
X Variable 4	-0.00499

NT 53/1	Coefficients
Intercept	127.7442
X Variable 1	-0.16493
X Variable 2	0.360588
X Variable 3	-0.26658
X Variable 4	-0.05626

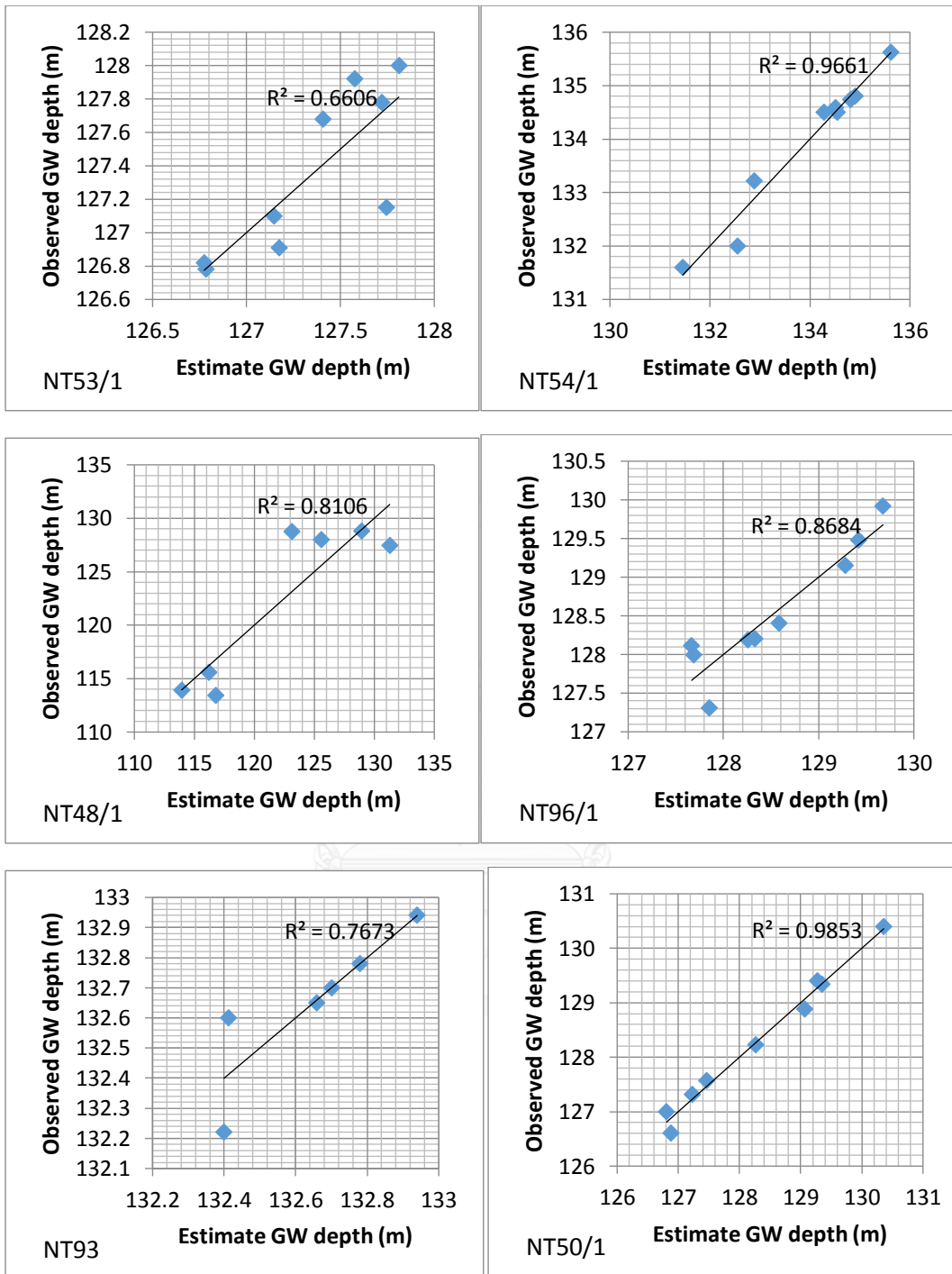
NT 54/1	Coefficients
Intercept	690.9339
X Variable 1	0.456393
X Variable 2	-0.81002
X Variable 3	0.538317
X Variable 4	0.049278

ตารางที่ 4- 11 สมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างปริมาณฝนและระดับน้ำบาดาล
จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก

บ่อสังเกตการณ์	สมการความสัมพันธ์
NT53/1	$G_t = 127.74 - 0.16 * R_1 + 0.36 * R_2 + 0.36 * R_3 - 0.06 * R_4$
NT54/1	$G_t = 690.93 + 0.46 * R_1 - 0.81 * R_2 + 0.54 * R_3 + 0.05 * R_4$
NT48/1	$G_t = 499.44 + 1.76 * R_1 - 3.45 * R_2 + 1.22 * R_3 - 1.13 * R_4$
NT96/1	$G_t = 159.61 + 0.07 * R_1 + 0.07 * R_2 + 0.10 * R_3 - 0.005 * R_4$
NT93	$G_t = 132.40 + 0.12 * R_1 + 0.44 * R_2 - 0.84 * R_3 + 0.25 * R_4$
NT50/1	$G_t = 305.61 + 0.11 * R_1 + 0.014 * R_2 - 0.12 * R_3 + 0.38 * R_4$

ตารางที่ 4- 12 การ verify สมการที่ได้เพื่อตรวจสอบการนำไปใช้ของสมการในจังหวัดสุโขทัยและ
จังหวัดพิษณุโลก

station	real	model	%error	RMSE
NT53/1	126.56	134.7933	6.505442	6.091866
	126.71	131.4173	3.715056	
	126.91	127.5626	0.514227	
	126.91	128.249	1.055095	
NT54/1	134.67	142.2533	5.631055	
	134.9	134.341	0.414395	
NT48/1	134.16	135.7224	1.164596	
	126.78	121.7696	3.952058	
	126.81	112.9531	10.92728	
NT96/1	126.1	121.7453	3.45339	
	122.65	128.8314	5.039881	
	117.96	127.7739	8.319706	
NT93	133.88	128.6012	3.942947	
	133.9	130.0074	2.907124	
	133.89	131.3885	1.868329	
NT50/1	137.36	131.4952	4.269643	
	137.36	132.4424	3.580052	



รูปที่ 4- 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์ และระดับน้ำบาดาลที่จากสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ พร้อมค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) จังหวัดสุโขทัย

เนื่องจากทรัพยากรน้ำบาดาลเป็นแหล่งที่มาสำคัญของทรัพยากรน้ำที่ใช้ในการอุปโภคบริโภค ดังนั้น การศึกษาและการพิจารณาความเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลถึงความลึกเบื้องหรือความสัมพันธ์กับปริมาณฝนในเขตพื้นที่ศึกษา เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำบาดาลและปริมาณฝน ซึ่งกำหนดตัวแปรต้นเป็นปริมาณฝน ปริมาณฝนย้อนหลัง 1 เดือน ปริมาณฝนย้อนหลัง 2 เดือน และปริมาณฝนย้อนหลัง 3 เดือน เพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่า ปริมาณน้ำฝนเป็นที่มาของปริมาณน้ำที่เติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น โดยการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ และวิเคราะห์ด้วยหลักการเชิงสถิติ ทั้งนี้ จากการสร้างสมการความสัมพันธ์และวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ของจังหวัดฉะเชิงเทรามีค่าอยู่ในช่วง 0.5215-0.9565 จาก 5 ความสัมพันธ์ จังหวัดสุพรรณบุรีมีค่าอยู่ในช่วง 0.7171-0.9989 และจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีค่าอยู่ในช่วง 0.6606-0.9853 (ตารางที่ 4-13) ซึ่งส่วนมากของข้อมูล (16 จาก 18 บ่อ) มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) อยู่ในระดับสูง แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลระดับน้ำบาดาลที่ได้จากสมการความสัมพันธ์อยู่ในระดับที่มีความสัมพันธ์กันสูง (0.7-0.9 ระดับความสัมพันธ์สูงและ 0.9-1 ระดับความสัมพันธ์สูงมาก) แต่ในบางบ่อที่มีค่าความสัมพันธ์ต่ำกว่าบ่ออื่น อาจเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ช่วงเวลาฝนตกและกลายเป็นน้ำผิวดิน โดยยังไม่เกิดการซึมลงสู่ชั้นดินได้มากพอ หรือในพื้นที่ของบ่อสังเกตการณ์ที่มีชั้นน้ำบาดาลสูง ทำให้การเติมน้ำจากฝนไม่เพียงพอ

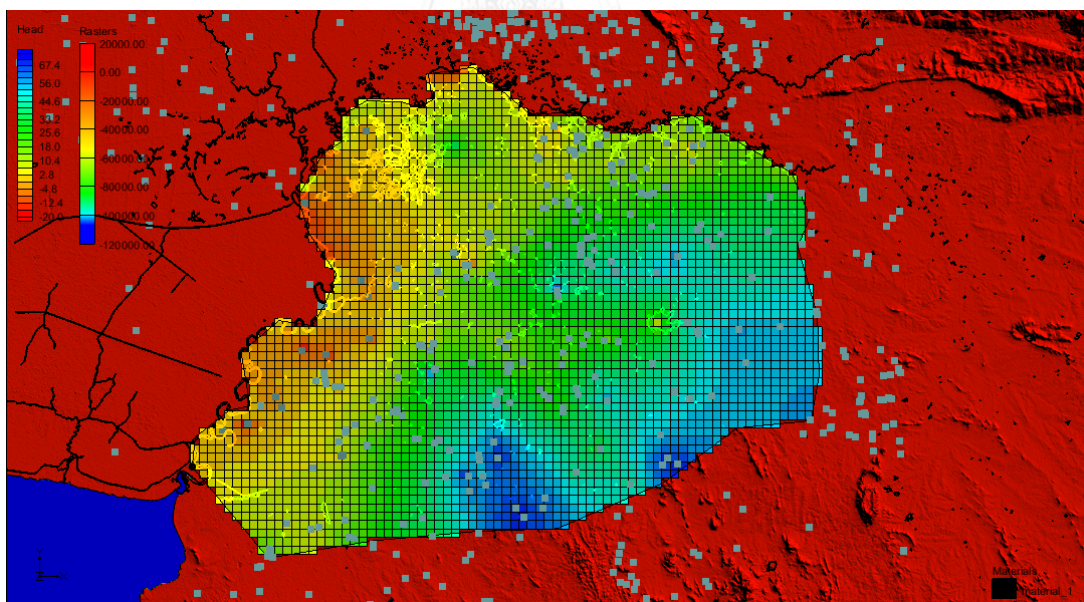
ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า ระดับน้ำบาดาลมีผลจากปริมาณฝนโดยตรงและปริมาณฝนที่ตกในบริเวณดังกล่าวเป็นปริมาณน้ำที่สามารถเติมลงสู่ชั้นน้ำบาดาลระดับตื้นได้โดยตรงจากการซึม ซึ่งสมการความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำบาดาลและปริมาณฝนจะศึกษาความเกี่ยวเนื่องระหว่างระดับน้ำบาดาลกับปริมาณฝน ในรูปแบบสมการความสัมพันธ์ของระดับน้ำบาดาล ที่จะทำให้สามารถวิเคราะห์ พิจารณา และวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืนได้ต่อไปในอนาคต

ตารางที่ 4- 13 ค่า R² ที่ได้จากการตรวจสอบการนำไปใช้ของสมการ

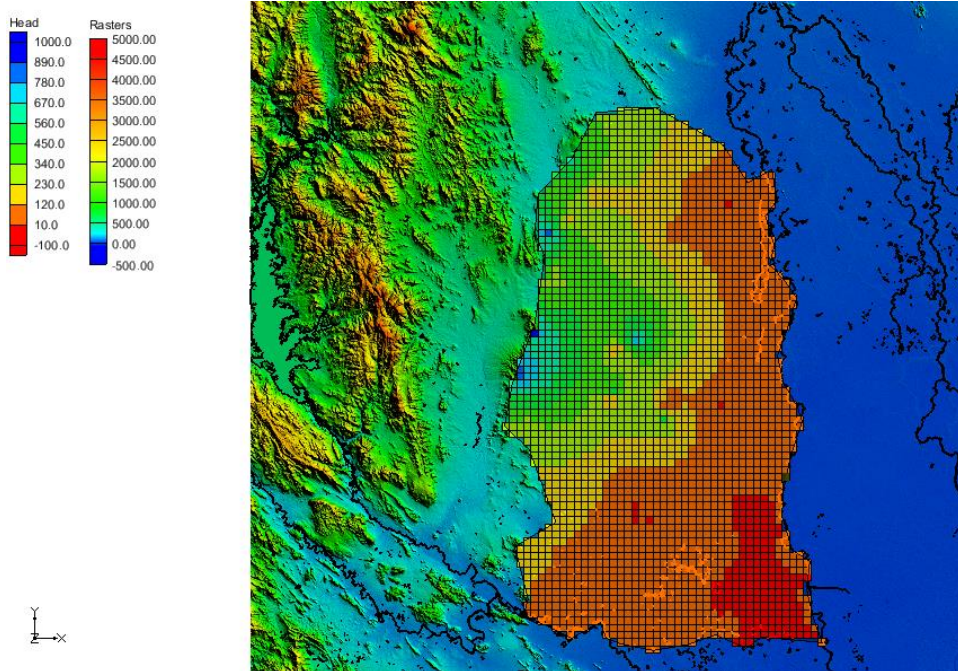
จังหวัด	สถานี	R ²
ฉะเชิงเทรา	EAT 85/1	0.9565
	EAT74	0.7965
	EAT 78/2	0.7538
	EAT 2/4	0.818
	EAT 2/3	0.5215
สุพรรณบุรี	CWE 19/1	0.9562
	CWE 106/1	0.9989
	CWE 10/1	0.7384
	CWE 14/1	0.7171
	CWE 120/1	0.9983
	CWE 28/1	0.8808
	CWE 22/1	0.624
สุโขทัย, พิษณุโลก	NT 53/1	0.6606
	NT 54/1	0.9661
	NT 48/1	0.8106
	NT 96/1	0.8684
	NT 93	0.7673
	NT50/1	0.9853

4.2.2 ผลจากการจำลองการไหลของน้ำบาดาลและการสร้างรูปแบบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW

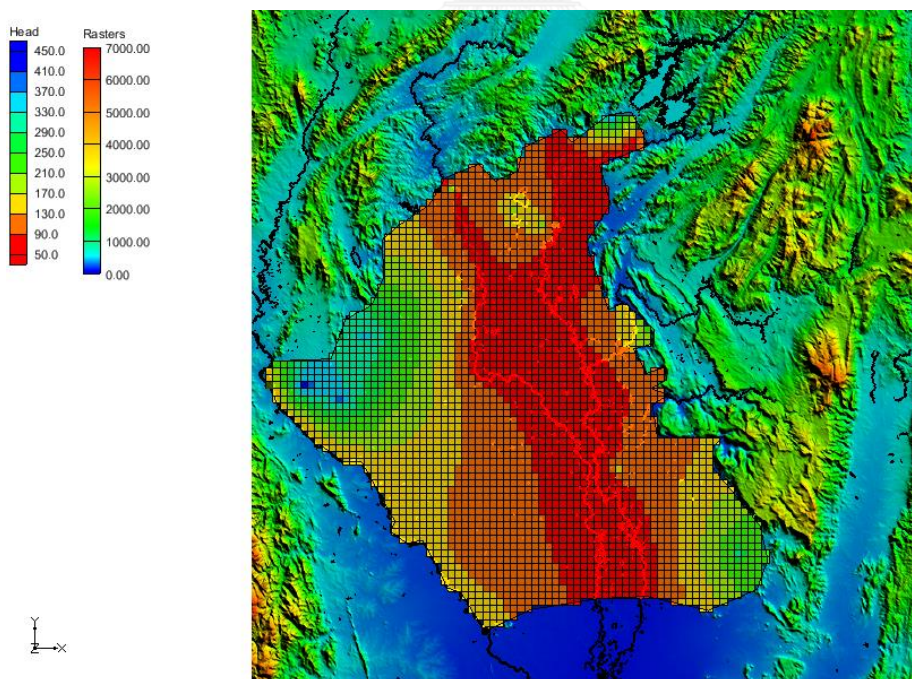
การศึกษาหรือการพิจารณาลักษณะการไหลของน้ำบาดาลมีจุดประสงค์เพื่อสังเกตและนำไปข้อมูลไปประยุกต์ใช้ เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล ซึ่งเป็นเครื่องมือในการวางแผนการดำเนินงานและบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ สำหรับชั้นน้ำบาดาล การศึกษาหรือพิจารณาการไหลสามารถทำได้ยาก เนื่องจากการไหลของน้ำบาดาลเกิดขึ้นใต้ผิวดิน จึงทำให้ไม่สามารถสังเกตการไหลของน้ำบาดาลได้ด้วยตาเปล่า ในขณะที่การเก็บข้อมูลก็ทำได้เพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น ดังนั้น จึงต้องอาศัยเครื่องมือ MODFLOW Model เพื่อจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลและศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของชั้นน้ำบาดาลทั่วพื้นที่ศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4-7 รูปที่ 4-8 และรูปที่ 4-9 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาที่ได้จากการจำลองสภาพการไหลด้วย MODFLOW Model และได้มีการเปรียบเทียบแบบจำลองของพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก ตามลำดับ



รูปที่ 4- 7 ระดับความสูงของชั้นน้ำบาดาลที่ได้จากการจำลองสภาพการไหลและการกระจายตัวของน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา



รูปที่ 4- 8 ระดับความสูงของชั้นน้ำบาดาลที่ได้จากการจำลองสภาพการไหลและการกระจายตัวของน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี



รูปที่ 4- 9 ระดับความสูงของชั้นน้ำบาดาลที่ได้จากการจำลองสภาพการไหลและการกระจายตัวของน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก

ตารางที่ 4- 14 ค่า RMSE และ R^2 ที่ได้จากแบบจำลองหลังการปรับเทียบเพื่อความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูล

ผลจากการปรับเทียบ(calibration)	RMSE	R^2
ฉะเชิงเทรา	2.486	0.91
สุพรรณบุรี	8.809	0.55
สุโขทัย, พิษณุโลก	11.727	0.49

ตารางที่ 4- 15 ตัวอย่างชนิดตัวกลางเมื่อเทียบค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านก่อนและหลังการปรับเทียบโมเดล

K (m/d)	Soil Material	K Trail and error	Soil Material
3.76E-02	Silt,loess/Glacial till/Sandstone/Limestone and Dolomite	0.055247222	Silt,loess/Glacial till/Sandstone/Limestone and Dolomite
6.94E-02	Silt,loess/Glacial till/Sandstone/Limestone and Dolomite	0.085786111	Silt,loess/Glacial till/Sandstone/Limestone and Dolomite
7.33E-02	Silt,loess/Glacial till/Sandstone/Limestone and Dolomite	0.08915	Silt,loess/Glacial till/Sandstone/Limestone and Dolomite
7.56E-02	Silt,loess/Glacial till/Sandstone/Limestone and Dolomite	0.102963889	Silt,loess/Glacial till/Sandstone/Fractured metamorphic and igneous rocks/Limestone and Dolomite
8.14E-02	Silt,loess/Glacial till/Sandstone/Limestone and Dolomite	0.105258333	Silt,loess/Glacial till/Sandstone/Fractured metamorphic and igneous rocks/Limestone and Dolomite
8.19E-02	Silt,loess/Glacial till/Sandstone/Limestone and Dolomite	0.115583333	Silt,loess/Glacial till/Sandstone/Fractured metamorphic and igneous rocks/Limestone and Dolomite

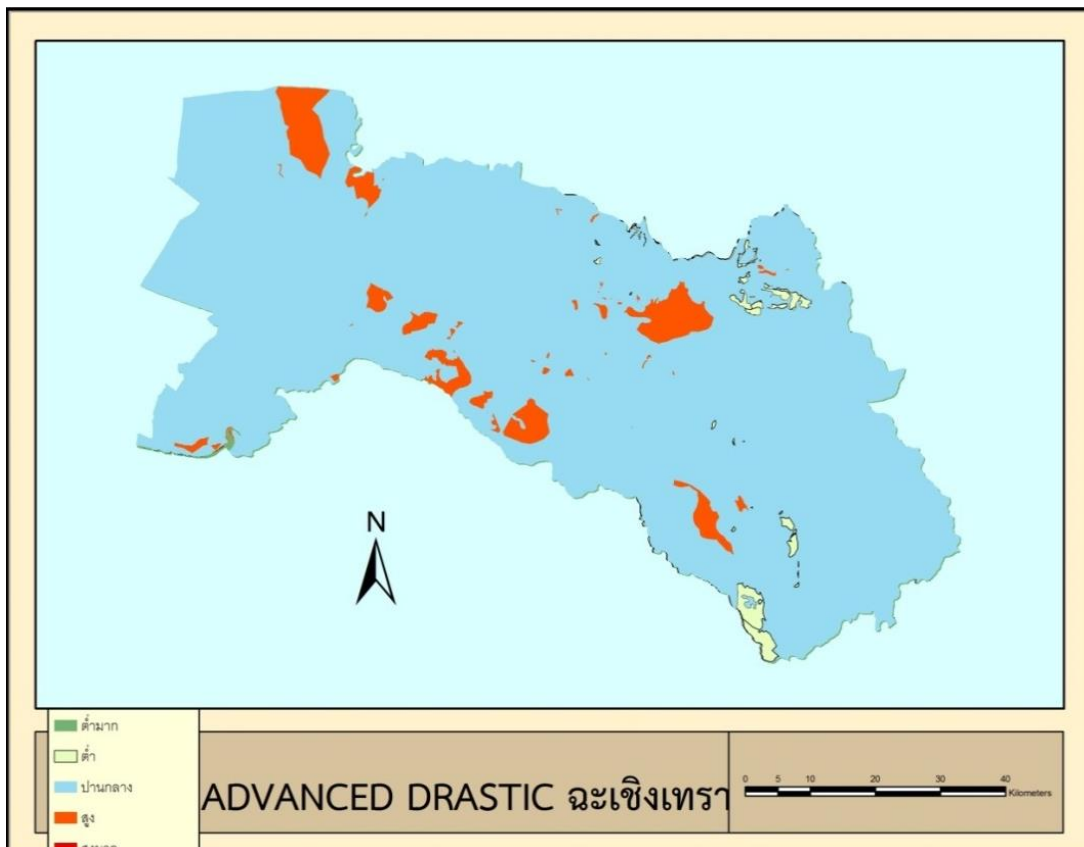
จากการจำลองสภาพการไหลและการกระจายตัวของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 พื้นที่ และการปรับเทียบ (calibration) เพื่อเพิ่มความถูกต้องและแม่นยำของแบบจำลอง รวมถึงเป็นการตรวจสอบค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของพื้นที่ โดยทำการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity - C) โดยวิธีการลองผิดลองถูก (trial and error) ทำให้ได้แบบจำลองที่มีความน่าเชื่อถือจากการหาค่า RMSE และ R^2 เพื่อประเมินความแม่นยำของการพยากรณ์ด้วยแบบจำลอง หลังจากที่ได้มีการคำนวณข้อมูลของทั้ง 3 พื้นที่ สามารถสรุปค่า RMSE และ R^2 ของพื้นที่ต่าง ๆ ที่บ่งบอกความน่าเชื่อถือในระดับดีและดีมาก ได้แก่ พื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรามีค่า RMSE 2.486 และ R^2 0.91 พื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีมีค่า RMSE 8.809 และ R^2 0.55 พื้นที่จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีค่า RMSE 11.727 และ R^2 0.49 ซึ่งจากการปรับเทียบ (calibration) และเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity - C) โดยใช้วิธี Trial and Error สรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่านหลังการปรับเทียบมีชุดตัวกลางที่เป็นชนิดเดียวกันกับก่อนปรับเทียบ จึงระบุได้ถึงความสามารถในการนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการปรับเทียบไปใช้ในการประเมินความแปรปรวนของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนในส่วนถัดไปได้

ผลที่ได้จากการจำลองการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา ทำให้ทราบว่า น้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาไหลจากบริเวณเชิงเขาด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ (ระดับความสูงของน้ำบาดาล 60 เมตร โดยประมาณ) ไปทางทิศตะวันตกและตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ ซึ่งเป็นบริเวณที่เป็นแม่น้ำบางปะกง และไหลลงสู่ทะเลหลังจากนั้น ในขณะที่ผลที่ได้จากการจำลองการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรี ทำให้ทราบว่า น้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาไหลจากบริเวณเชิงเขาทางด้านทิศตะวันตกและทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (ระดับความสูงของน้ำบาดาล 600 เมตร โดยประมาณ เนื่องจากเป็นพื้นที่เทือกเขาที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมาก) ไปทางทิศตะวันออกและตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ ซึ่งเป็นบริเวณที่เป็นแม่น้ำท่าจีน และผลที่ได้จากการจำลองการไหลของน้ำบาดาลในจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก ทำให้ทราบว่า น้ำบาดาลในพื้นที่ไหลจากบริเวณกลางพื้นที่ด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (ระดับความสูงของน้ำบาดาล 350 เมตร โดยประมาณ เนื่องจากเป็นพื้นที่เทือกเขาที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมาก) ไปทางซ้ายสู่แม่น้ำปิง และทางขวาสู่แม่น้ำยม ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนกลางของแบบจำลองและมีการไหลของน้ำบาดาลจากเชิงเขาทางด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ (ระดับความสูงของน้ำบาดาล 300 เมตร โดยประมาณ เนื่องจากเป็นพื้นที่เทือกเขาที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมาก) ไปทางซ้ายสู่แม่น้ำน่าน ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนกลางของแบบจำลองด้วย

4.2.3 ผลการพัฒนารูปแบบการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลชั้นสูง (ADVANCED DRASTIC) บนพื้นฐานการวิเคราะห์เชิงสถิติและแบบจำลองสภาพการไหล (MODFLOW Model) และนำไปใช้เพื่อประเมินความเปราะบางของพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 แห่ง

การประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ต่อการปนเปื้อนโดยวิธี DRASTIC เป็นวิธีการประเมินแบบ Index and Overlay Method เป็นวิธีการประเมินที่อาศัยการให้คะแนนของพื้นที่โดยการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพทั้ง 7 ตัวแปร จึงง่ายต่อการนำไปใช้และมีผู้นำไปใช้อย่างกว้างขวาง แต่เนื่องจากการประเมินอาศัยข้อมูลเพียงอย่างเดียว ในบางพื้นที่อาจไม่สามารถประเมินได้หรือขั้นตอนการประเมินยุ่งยาก เนื่องจากปริมาณของข้อมูลที่จำกัดและความยากในการสำรวจ ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดความคลาดเคลื่อนของผลการประเมินจากข้อมูลที่ไม่เพียงพอ จึงเป็นที่มาของแนวความคิดในการพัฒนารูปแบบการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลชั้นสูง (ADVANCED DRASTIC) บนพื้นฐานของการวิเคราะห์เชิงสถิติและแบบจำลองสภาพการไหล (MODFLOW Model) โดยมีการวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคาดการณ์หรือพยากรณ์ระดับน้ำจากปริมาณน้ำฝน เนื่องจากข้อมูลเกี่ยวกับระดับน้ำบาดาลในประเทศไทยไม่มีการเก็บข้อมูลที่ต่อเนื่อง มีความขาดแคลนของข้อมูลและสมการดังกล่าวเป็นสมการความสัมพันธ์เฉพาะพื้นที่ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นในการสร้างแบบจำลองการไหลเพื่อให้สามารถสังเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity – C) ในการพัฒนาการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลชั้นสูง (ADVANCED DRASTIC) เพื่อลดปัญหาที่เกิดจากการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ ในพื้นที่ รวมไปถึงการเพิ่มความแม่นยำได้ในการประยุกต์ใช้ผลการประเมินในพื้นที่อื่น

การพัฒนารูปแบบการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลชั้นสูง (ADVANCED DRASTIC)
ในจังหวัดฉะเชิงเทรา

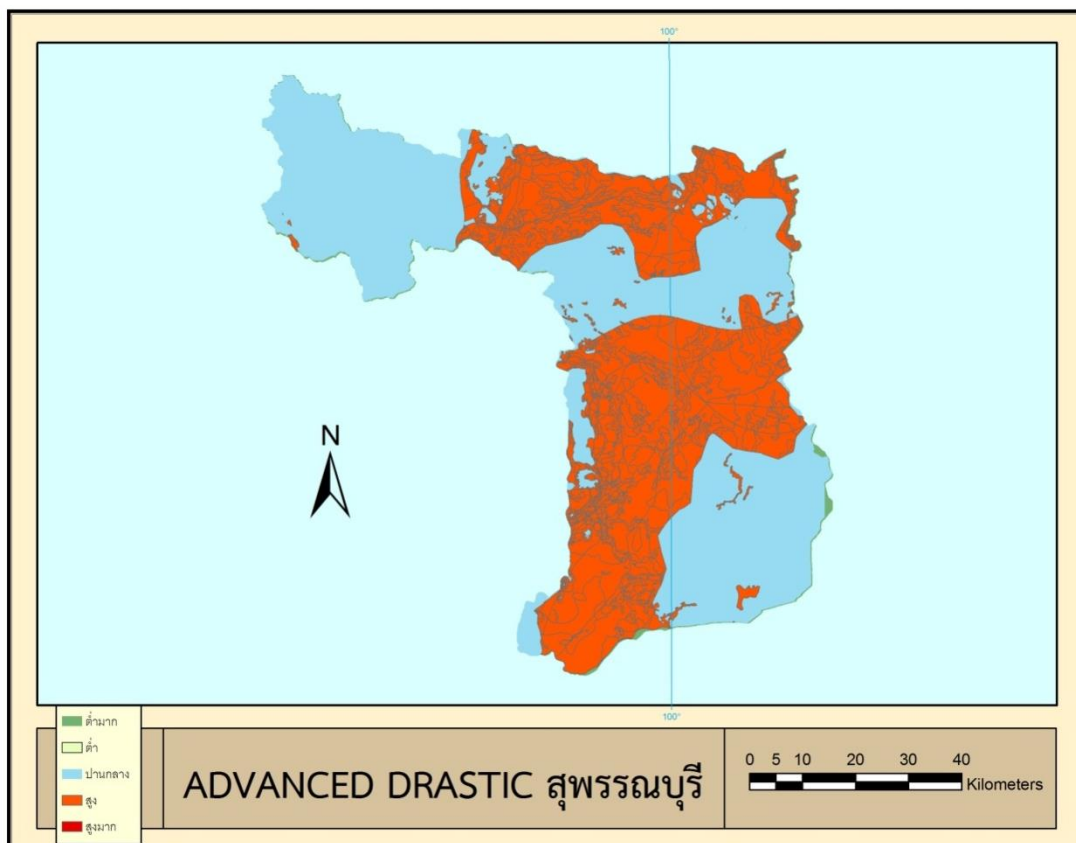


รูปที่ 4- 10 แผนที่การประเมินการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนชั้นสูง
ที่พัฒนาขึ้น ในจังหวัดฉะเชิงเทรา

ตารางที่ 4- 16 ขนาดพื้นที่ตามระดับความเปราะบางจากการประเมินด้วยแบบจำลองการประเมิน
ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนชั้นสูงที่พัฒนาขึ้นของจังหวัดฉะเชิงเทรา

	ระดับความเปราะบาง				
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
พื้นที่ (Km ²)	42.3823	67.222	4888.3811	270.2223	0
ร้อยละของพื้นที่	270.2223	1.276	92.7902	5.1293	0

การพัฒนารูปแบบการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลชั้นสูง (ADVANCED DRASTIC)
ในจังหวัดสุพรรณบุรี

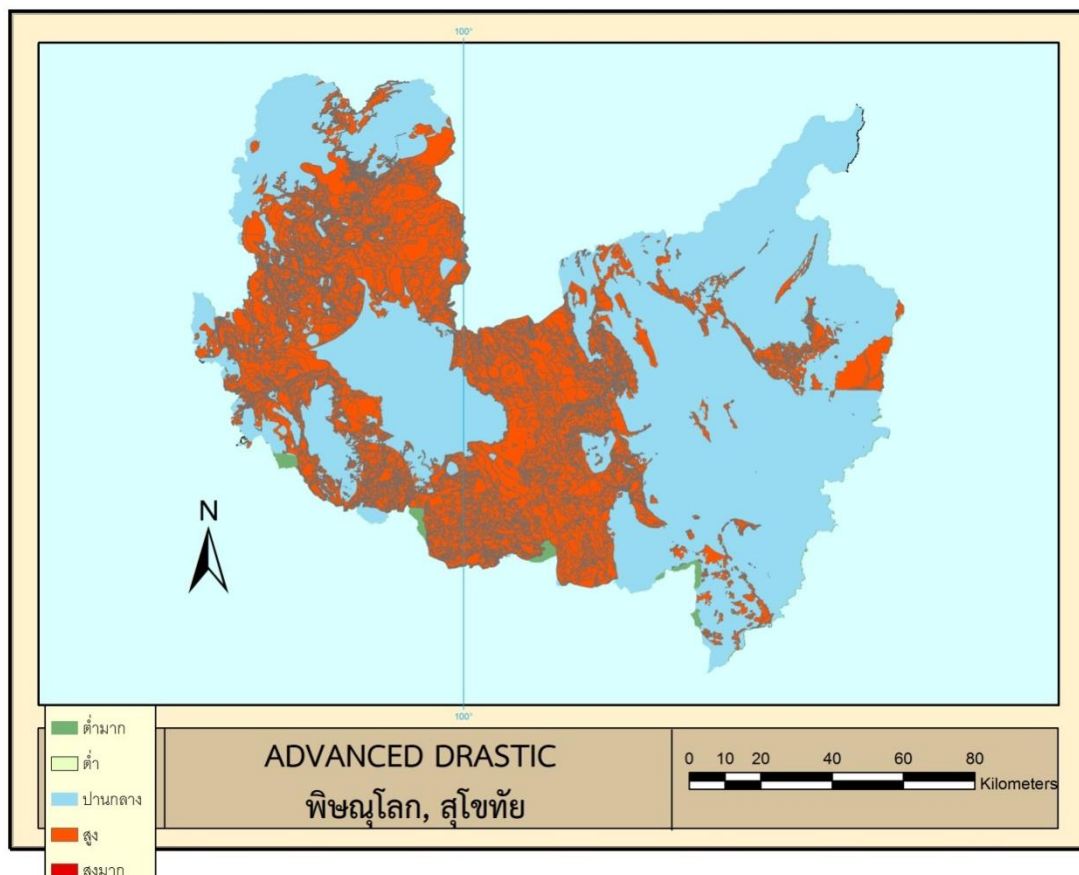


รูปที่ 4- 11 แผนที่การประเมินการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนชั้นสูง
ที่พัฒนาขึ้น ในจังหวัดสุพรรณบุรี

ตารางที่ 4- 17 ขนาดพื้นที่ตามระดับความเปราะบางจากการประเมินด้วยแบบจำลองการประเมิน
ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนชั้นสูงที่พัฒนาขึ้นของจังหวัดสุพรรณบุรี

	ระดับความเปราะบาง				
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
พื้นที่ (Km ²)	60.6855	0	2774.5196	2640.6093	0
ร้อยละของพื้นที่	1.1082	0	50.6686	48.2231	0

การพัฒนาแบบการประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลชั้นสูง (ADVANCED DRASTIC)
ในจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก



รูปที่ 4- 12 แผนที่การประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนชั้นสูงที่พัฒนาขึ้น
ในจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก

ตารางที่ 4- 18 ขนาดพื้นที่ตามระดับความเปราะบางจากการประเมินด้วยแบบจำลองการประเมิน
ความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อนชั้นสูงที่พัฒนาขึ้นของจังหวัดสุโขทัยและจังหวัด
พิษณุโลก

	ระดับความเปราะบาง				
	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
พื้นที่ (Km ²)	154.4225	5.4021	9783.6804	7518.261	0
ร้อยละของพื้นที่	0.8843	0.0309	56.0292	43.0556	0

การพัฒนาวิธีการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล (ADVANCED DRASTIC) และการนำไปใช้จริงในพื้นที่ศึกษา ส่งผลให้เห็นความแตกต่างในด้านของปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน คือ เมื่อใช้สมการความสัมพันธ์เพื่อหาระดับน้ำบาดาล จะสามารถหาค่าระดับน้ำบาดาลของบ่อสังเกตการณ์ดังกล่าวในช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลได้ จากข้อมูลปริมาณฝนที่มีอยู่ จึงสามารถสร้างชุดข้อมูลความลึกระดับน้ำบาดาลจากผิวดินที่ต้องนำไปใช้ในการหาความลึกเฉลี่ยของทั้ง 12 เดือนในระยะเวลา 1 ปี ก่อนที่จะนำไปใช้วิเคราะห์ค่าคะแนนในตัวแปรความลึกน้ำบาดาลที่มีความแม่นยำและถูกต้องมากขึ้น เพื่อให้ค่าคะแนนที่ได้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับความเป็นจริงของพื้นที่มากกว่าชุดข้อมูลเดิม ซึ่งขาดแคลนความต่อเนื่องของข้อมูล ทั้งนี้ ชุดข้อมูลที่สามารถสร้างขึ้นมาได้ใหม่จะมีผลในทางบวกต่อแผนที่ประเมินความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลต่อการปนเปื้อน และค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านจากการจำลองสภาพน้ำบาดาลด้วย MODFLOW Model โดยสามารถสังเกตได้จากแผนที่ประเมินค่าคะแนนของระดับน้ำบาดาลและค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านของทั้ง 3 พื้นที่ ซึ่งมีการกระจายและมีช่วงคะแนนของข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น ส่งผลให้แผนที่จากการประเมินความเปราะบางมีความแม่นยำและสะท้อนสภาพความจริงในพื้นที่ได้ใกล้เคียงมากขึ้น เนื่องด้วยข้อมูลที่สามารถหาค่าได้เพิ่มเติมจากข้อมูลที่ได้จากการเก็บสำรวจเดิม

จากการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลขั้นสูง (ADVANCED DRASTIC) และการสร้างแผนที่ความเปราะบาง ADVANCED DRASTIC Map ทำให้ทราบว่าในจังหวัดฉะเชิงเทรา มีพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงเป็นพื้นที่ 270.22 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 5.13 โดยพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงถือเป็นส่วนน้อย ซึ่งอยู่ในบริเวณอำเภอบางน้ำเปรี้ยว อำเภอเมืองคลองเขื่อน อำเภอบางคล้า อำเภอบางปะกง อำเภอแปลงยาว อำเภอสนามชัยเขต และอำเภอท่าตะเกียบ ซึ่งกระจายเป็นส่วน ๆ ส่วนในจังหวัดสุพรรณบุรี มีพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงเป็นพื้นที่ 2640.61 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 48.22 โดยพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงถือเป็นส่วนใหญ่ของพื้นที่ทั้งจังหวัดอยู่ในบริเวณอำเภอเดิมบางนางบวช อำเภออู่ทอง อำเภอศรีประจันต์ อำเภอดอนเจดีย์ และประปรายในอำเภอด่านช้าง อำเภอหนองหญ้าไซ และอำเภออื่นเล็กน้อย ในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก มีพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงเป็นพื้นที่ 7518.26 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 43.06 โดยพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงถือเป็นส่วนมากของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ซึ่งอยู่ในบริเวณส่วนใหญ่ของพื้นที่อำเภอพรหมพิราม อำเภอบางระกำ อำเภอบางกระทุ่ม อำเภอวังทอง อำเภอวัดโบสถ์ อำเภอเมือง และกระจายตัวเป็นส่วนน้อยในบริเวณอำเภอชาติตระการ อำเภอนครไทย อำเภอเนินมะปราง ในจังหวัดพิษณุโลก รวมถึงส่วน

ใหญ่ของอำเภอศรีนคร อำเภอศรีสัชนาลัย และอำเภอทุ่งเสลี่ยม และบางส่วนของอำเภอบ้านด่าน ลานหอย อำเภอศรีมาศ และอำเภอกงไกรลาศในจังหวัดสุโขทัย ทั้งนี้ เนื่องจากพื้นที่ในบริเวณดังกล่าวมีความสามารถที่จะเกิดการปนเปื้อนของสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้มากกว่าบริเวณอื่น ดังนั้น หากมีการดำเนินกิจกรรมที่มีการใช้สารปนเปื้อน จึงควรมีการเฝ้าระวังไม่ให้มีกิจกรรมที่สุ่มเสี่ยงจะทำให้เกิดการปนเปื้อนหรือวางแผนให้กิจกรรมดังกล่าวมีการจัดการระบบบำบัดที่ดี

คำกล่าวที่ว่า “การแก้ไขย่อมยากกว่าการป้องกันเสมอ” สามารถนำมาใช้กับการย้ำให้เห็นถึงความสำคัญของการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับแหล่งน้ำบาดาล ซึ่งอยู่ลึกลงไปจากผิวดินทำให้ไม่สามารถมองเห็นการแพร่กระจายของการปนเปื้อนของแหล่งน้ำได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้น การแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลจึงมีความเป็นไปได้ในระดับที่ต่ำมาก และอาจทำได้เพียงรอเวลาให้สารปนเปื้อนสลายตัวไปเองตามธรรมชาติ ซึ่งในระหว่างนั้น จำเป็นต้องหาวิธีจำกัดขอบเขตของการปนเปื้อนดังกล่าวเพื่อไม่ให้สารต่าง ๆ สามารถแพร่กระจายไปสู่พื้นที่บริเวณอื่นได้ หรือมีการเติมสารเพื่อให้ทำปฏิกิริยากับสารปนเปื้อนดังกล่าวในการเปลี่ยนเป็นสารอื่นที่ไม่เป็นสารให้โทษต่อการอุปโภคบริโภค อย่างไรก็ตาม การดำเนินการของกระบวนการเหล่านี้เป็นไปได้ยาก เนื่องจากกระบวนการทั้งหมดจะเกิดขึ้นใต้ดิน และเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด อาจมีความจำเป็นที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

ดังนั้น การทำการศึกษาวิจัยมุ่งดำเนินการป้องกันการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล โดยอาศัยการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลและการสร้างแผนที่ความเปราะบาง ซึ่งผู้ศึกษาถือว่าเป็นแนวทางในการหาวิธีป้องกัน บำบัด และบริหารจัดการการใช้พื้นที่เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดการปนเปื้อนที่ดีที่สุด และหากมีความจำเป็นในการดำเนินกิจกรรมที่อาจส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำบาดาลได้ในพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูง ผู้ที่รับผิดชอบและดำเนินกิจกรรมควรได้รับแจ้งล่วงหน้าให้หาวิธีป้องกันการปนเปื้อน อาทิ การก่อสร้างพื้นที่กันซึมเพื่อยับยั้งการซึมของสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาล การก่อสร้างพื้นที่จัดเก็บน้ำที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงการจัดการฝักอบรมเพื่อให้ความรู้และแนะแนวทางปฏิบัติ ในกรณีที่เกิดการรั่วซึมของสารระหว่างการดำเนินงาน เป็นต้น

4.3 ผลจากการประยุกต์ใช้แผนที่ความเปราะบางในการวิเคราะห์พื้นที่ที่เกิดการปนเปื้อน

การนำแผนที่ความเปราะบาง (DRASTIC Map) และแผนที่ความเปราะบางขั้นสูง (ADVANCED DRASTIC Map) ไปประยุกต์ใช้จริงในพื้นที่ที่เกิดปัญหาปนเปื้อนของน้ำบาดาล

เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของวิธีการประเมินความเปราะบางที่พัฒนาขึ้น (ADVANCED DRASTIC) เนื่องจากวิธีการประเมินความเปราะบางแบบเดิม (DRASTIC) ยังคงมีข้อจำกัดในด้านต่าง ๆ เมื่อประยุกต์ใช้จริงกับพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาถึงความเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนจริงกับพื้นที่ที่ได้รับการประเมินความเปราะบางในระดับสูง จากทั้งวิธีการประเมินโดยแบบจำลอง DRASTIC และวิธีการประเมินโดยแบบจำลอง ADVANCED DRASTIC ดังนี้

ตารางที่ 4- 19 ผลการประยุกต์ใช้แผนที่ความเปราะบาง

ผลการนำไป ประยุกต์ใช้ในพื้นที่ สุพรรณบุรี	ตำแหน่งการ ปนเปื้อนด้วย ไนเตรท	ตำแหน่งการ ปนเปื้อนที่ตรงกับ พื้นที่ความ เปราะบางระดับสูง	ตำแหน่งการปนเปื้อน ที่ตรงกับพื้นที่ความ เปราะบางระดับปาน กลาง
DRASTIC	19	0(0%)	19(100%)
ADVANCED DRASTIC	19	17(89.5%)	2(11.5%)

จากตารางข้างต้น สรุปได้ว่า แผนที่ความเปราะบางที่ประเมินโดยแบบจำลอง ADVANCED DRASTIC ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นจากการวิเคราะห์เชิงสถิติและการจำลองสภาพชั้นน้ำบาดาลด้วยแบบจำลอง MODFLOW สะท้อนถึงพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนจริงได้มากกว่าแผนที่ความเปราะบางที่ประเมินโดยแบบจำลอง DRASTIC

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษาจากการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล

จากการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล โดยใช้แบบจำลอง DRASTIC และแบบจำลอง ADVANCED DRASTIC ที่ได้มีการพัฒนาขึ้น รวมถึงการจัดทำแผนที่ความเปราะบาง (DRASTIC Map) และแผนที่ความเปราะบางขั้นสูง (ADVANCED DRASTIC Map) ของพื้นที่ศึกษา พบความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงในพื้นที่ศึกษา โดยในจังหวัดฉะเชิงเทรามีพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงลดลงร้อยละ 19.5579 ของพื้นที่ หรือคิดเป็น 1031.4 ตารางกิโลเมตร ในจังหวัดสุพรรณบุรีมีพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงเพิ่มขึ้นร้อยละ 46.5046 ของพื้นที่ หรือคิดเป็น 2546.51 ตารางกิโลเมตร และในจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงเพิ่มขึ้นร้อยละ 40.0108 ของพื้นที่ หรือคิดเป็น 6991.78 ตารางกิโลเมตร

ตารางที่ 5- 1 การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงที่ได้จากการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาล โดยใช้แบบจำลอง DRASTIC และแบบจำลอง ADVANCED DRASTIC

	DRASTIC	ADVANCED DRASTIC	การเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
ฉะเชิงเทรา	1301.6262 (24.7072)	270.2223 (5.1293)	ลดลง 19.5579 ของพื้นที่
สุพรรณบุรี	94.1008 (1.7185)	2640.6093 (48.2231)	เพิ่มขึ้น 46.5046 ของพื้นที่
สุโขทัย/พิษณุโลก	526.4767 (3.0448)	7518.2608 (43.0556)	เพิ่มขึ้น 40.0108 ของพื้นที่

จากผลการศึกษา พื้นที่ในจังหวัดฉะเชิงเทรามีพื้นที่ที่มีความเปราะบางระดับสูงลดลง ในขณะที่พื้นที่ในจังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก มีพื้นที่ที่มีความเปราะบางระดับสูงเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่มาของตัวแปร D และตัวแปร C ซึ่งมีค่าถ่วงน้ำหนัก 5 และ 3 ตามลำดับ ส่งผลต่อการประเมินเป็นอย่างมาก ซึ่งสำหรับพื้นที่ในจังหวัดฉะเชิงเทรา ตัวแปร D ในการประเมินโดยใช้แบบจำลอง DRASTIC มีค่าคะแนนส่วนมากอยู่ที่ 40 แต่ในการประเมินโดยใช้แบบจำลอง ADVANCED DRASTIC มีข้อมูลในตำแหน่งต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความลึกของระดับน้ำบาดาลมากขึ้น ส่งผลให้พื้นที่ที่เคยมีค่าคะแนนอยู่ที่ 40 มีสัดส่วนลดลง ในขณะที่ตัวแปร C จากเดิมที่มีสัดส่วนของพื้นที่ที่มีค่าคะแนนอยู่ที่ 12 เป็นส่วนใหญ่

เมื่อได้ข้อมูลจากการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา ทำให้ข้อมูลในส่วนนี้มีพื้นที่ที่มีค่าคะแนนอยู่ที่ 12 ลดลง ซึ่งเป็นผลที่ตรงข้ามกับจังหวัดสุพรรณบุรี และจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลก

แผนที่ความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลเป็นแผนที่ในเชิงเปรียบเทียบสำหรับพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีการพิจารณาถึงคุณสมบัติของพื้นที่ในส่วนของความสามารถในการยอมให้มลสารต่าง ๆ จากผิวดินซึมลงสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยอาศัยการวิเคราะห์หัตถ์แปรในพื้นที่ทั้ง 7 ตัวแปร ทั้งนี้ จากผลการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ พบว่า ปัจจัยหลักที่มีนัยสำคัญที่สุดและเป็นตัวกำหนดสภาพความเปราะบางของชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา คือ ตัวแปร D (ความลึกของระดับน้ำบาดาล) และ I (สมบัติของชั้นที่อยู่เหนือชั้นน้ำบาดาล) รองลงมา คือ R (อัตราการซึมของน้ำลงสู่ชั้นน้ำบาดาล) A (สมบัติของวัสดุชั้นน้ำ) C (ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ) S (สมบัติของดิน) และ T (ลักษณะภูมิประเทศ) ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของพื้นที่ประเมิน โดยใช้แบบจำลอง DRASTIC และแบบจำลอง ADVANCED DRASTIC เกิดจากการเปลี่ยนที่มาจากตัวแปร D โดยอาศัยสมการในการคำนวณเนื่องจากเมื่อใช้สมการหาค่าระดับน้ำในช่วงที่ขาดข้อมูล ทำให้ส่งผลถึงการวิเคราะห์คะแนนเพราะข้อมูลจากการสำรวจมีไม่มากและไม่เพียงพอ ในขณะที่ตัวแปร C ใช้ผลการศึกษาจากแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน จึงมีปริมาณข้อมูลที่ครอบคลุมมากกว่าการเจาะสำรวจเนื่องจากแบบจำลองสามารถศึกษาได้ทุกตำแหน่งของพื้นที่ที่ต้องการ ในขณะที่การเจาะสำรวจต้องใช้ระยะเวลาและเงินทุนเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ที่ผ่านมาสามารถเจาะสำรวจได้เพียงไม่กี่ตำแหน่งของพื้นที่ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการเปลี่ยนแปลงของแผนที่ความเปราะบางดังกล่าว

จากการประยุกต์ใช้แผนที่ความเปราะบางที่ได้จัดทำขึ้นเทียบกับพื้นที่ปนเปื้อนด้วยไนเตรทในจังหวัดสุพรรณบุรี โดยอาศัยการประเมินของแบบจำลอง DRASTIC และแบบจำลอง ADVANCED DRASTIC จะเห็นได้ว่า การประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลโดยใช้แบบจำลอง ADVANCED DRASTIC มีความถูกต้องและแม่นยำกว่า เมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขของข้อมูลและตัวแปรต่าง ๆ เหมือนกัน อาทิ ที่มาของข้อมูล และจำนวนข้อมูล เป็นต้น ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ในสถานการณ์เดียวกัน การประเมินความเปราะบางโดยใช้แบบจำลอง ADVANCED DRASTIC เป็นทางเลือกที่ดีกว่า เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างระดับน้ำบาดาลกับปริมาณฝนในพื้นที่ศึกษา ร่วมกับการวิเคราะห์สภาพชั้นน้ำบาดาลโดยการจำลองชั้นน้ำบาดาลและลักษณะการไหลโดยใช้แบบจำลอง MODFLOW สามารถชดเชยการขาดแคลนข้อมูลทางกายภาพบางส่วนของชั้นน้ำบาดาลได้เป็น

อย่างดี เนื่องด้วยการศึกษาและสำรวจชั้นน้ำบาดาลในสถานที่จริงเป็นไปได้ยาก ทำให้แผนที่
 คะแนนของค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านใกล้เคียงความจริงยิ่งขึ้น นอกจากนี้ การศึกษา
 ด้วยวิธีดังกล่าวยังได้ผลจากการวิเคราะห์เชิงสถิติรายบ่อ (โดยใช้ข้อมูลจากบ่อสังเกตการณ์) เพื่อ
 ใช้ในการคำนวณระดับน้ำบาดาล ซึ่งเป็นความสัมพันธ์โดยตรงที่ขึ้นกับแต่ละพื้นที่ โดยลักษณะ
 ทางกายภาพของพื้นที่จะส่งผลถึงลักษณะหรือสมการความสัมพันธ์ที่ได้ในพื้นที่เช่นกัน รวมถึง
 สามารถแปลเป็นค่าความลึกจากผิวดินของระดับน้ำบาดาลและปริมาณน้ำบาดาลจากปริมาณฝน
 เพื่อเป็นการลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากข้อมูลที่ขาดหายในบางช่วง ในกรณีนี้ ค่าเฉลี่ยของ
 ระดับน้ำบาดาลรายเดือนในแต่ละปีเปลี่ยนแปลงไปส่งผลอย่างมากต่อแผนที่ความเปราะบาง
 เนื่องจากค่าความลึกระดับน้ำบาดาลมีค่าถ่วงคะแนนสูงที่สุด

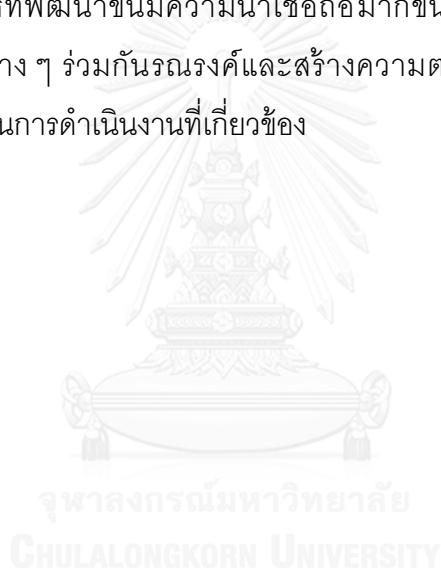
โดยที่การประเมินความเปราะบางโดยใช้แบบจำลอง ADVANCED DRASTIC ซึ่งให้เห็นว่า
 ในจังหวัดฉะเชิงเทราที่มีพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงเป็นพื้นที่ 270.2223 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็น
 ร้อยละ 5.1293 ถือเป็นพื้นที่ส่วนน้อยมาก ซึ่งอยู่ในบริเวณอำเภอบางน้ำเปรี้ยว อำเภอเมืองคลอง
 เขื่อน อำเภอบางคล้า อำเภอบางปะกง อำเภอแปลงยาว อำเภอสนามชัยเขต และอำเภอท่า
 ตะเกียบ โดยกระจายกระจายเป็นส่วน ๆ ในจังหวัดสุพรรณบุรีมีพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงเป็นพื้นที่
 2640.61 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 48.22 โดยพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงถือเป็นส่วนใหญ่
 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ซึ่งอยู่ในบริเวณอำเภอเดิมบางนางบวช อำเภออู่ทอง อำเภอศรีประจันต์
 และอำเภอดอนเจดีย์ อีกทั้งกระจายอยู่ในอำเภอด่านช้าง อำเภอหนองหญ้าไซ และอำเภออื่น ๆ
 เล็กน้อย ในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดพิษณุโลกมีพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงเป็นพื้นที่
 7518.26 ตารางกิโลเมตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 43.06 โดยพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงถือเป็นส่วนใหญ่
 ของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ซึ่งอยู่ในบริเวณอำเภอพรหมพิราม อำเภอบางระกำ อำเภอบางกระทุ่ม
 อำเภอวังทอง อำเภอวัดโบสถ์ และอำเภอเมือง อีกทั้งกระจายตัวเป็นส่วนน้อยในบริเวณอำเภอชาติ
 ตระการ อำเภอนครไทย และอำเภอเนินมะปรางในจังหวัดพิษณุโลก รวมถึงส่วนใหญ่ของอำเภอศรี
 นคร อำเภอศรีสัชชนาลัย และอำเภอทุ่งเสลี่ยม และบางส่วนของอำเภอบ้านด่านลานหอย อำเภอศรี
 มาส และอำเภอกงไกรลาศในจังหวัดสุโขทัย ทั้งนี้ จากผลการศึกษาดังกล่าว ทำให้ทราบว่า พื้นที่ที่
 มีความเปราะบางสูงมีความสามารถที่จะเกิดการปนเปื้อนของสารลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้มากกว่า
 บริเวณอื่น จึงควรมีการวางแผนดำเนินงานและการบริหารจัดการของพื้นที่เพื่อใช้ประโยชน์ รวมถึง
 การตรวจตราและเฝ้าระวังการปนเปื้อนเป็นพิเศษ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ที่ผ่านมา ประเทศไทยประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำมาเป็นระยะเวลาอันยาวนาน ซึ่งถือเป็นปัญหาใหญ่ระดับประเทศ และหนึ่งในแนวทางแก้ไขเมื่อเกิดภัยแล้ง คือ การสำรวจและการมีทางเลือกในการใช้แหล่งทรัพยากรน้ำอื่นนอกเหนือจากแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งการศึกษานี้เสนอการใช้แหล่งน้ำบาดาล ซึ่งเป็นที่รับรู้กันอย่างกว้างขวางว่า แหล่งน้ำบาดาลมีความสำคัญต่อหลายพื้นที่ในประเทศไทย และน้ำบาดาลมีความสะอาดกว่าแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งสามารถใช้ในการอุปโภคบริโภคได้ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่แหล่งน้ำบาดาลเกิดการปนเปื้อน การบำบัดและฟื้นฟูให้กลับมาเป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดีเป็นสิ่งที่มีความยุ่งยากและซับซ้อน ดังนั้น การศึกษาโดยการจำลองแผนที่มีการประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลจึงเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่สำคัญ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ เพื่อเป็นแนวทางป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำบาดาลตามพื้นที่สำคัญต่าง ๆ นอกจากนี้ โดยที่การให้ความสำคัญและความสนใจเกี่ยวกับทรัพยากรธรรมชาติในประเทศไทยของทุกภาคส่วนยังไม่ทั่วถึงเท่าที่ควร จึงทำให้เกิดความขาดแคลนของข้อมูลทั้งในเชิงปริมาณและเชิงความต่อเนื่อง และส่งผลให้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่ายต่อการสร้างแผนที่ความเปราะบางโดยใช้แบบจำลอง DRASTIC และ ADVANCED DRASTIC เพื่อประเมินความเปราะบางต่อการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลในการศึกษานี้ เนื่องจากเป็นวิธีการประเมินที่อาศัยข้อมูลเป็นหลัก ดังนั้น หากในอนาคตมีการเพิ่มลำดับความสำคัญต่อการศึกษาในส่วนนี้มากขึ้น ควรมีการรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลอย่างครอบคลุม เป็นระบบ และมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ประเทศไทยสามารถวางแผนการบริหารจัดการแหล่งทรัพยากรน้ำบาดาลให้ดียิ่งขึ้นไปอีก

จากการพิจารณาถึงสาเหตุหลักของการปนเปื้อนของชั้นน้ำบาดาลในประเทศไทย สรุปได้ว่า ในปัจจุบัน การจัดการขยะของภาคการเกษตรและภาคอุตสาหกรรมยังไม่มีระบบการบริหารจัดการที่ดี ส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำบาดาลได้ง่าย ดังนั้น จึงควรมีการประสานงานและสร้างเสริมความร่วมมือระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในเชิงบูรณาการให้มากขึ้น อาทิ กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมวิชาการเกษตร กรมชลประทาน กรมส่งเสริมการเกษตร กรมอุตุนิยมวิทยา และกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อให้สามารถรวบรวมและเผยแพร่ข้อมูลแก่ภาคเกษตรและภาคอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการใช้ปุ๋ยและสารเคมีที่ไม่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำ การเจาะบ่อบาดาลอย่างถูกวิธี วิธีการบำบัดและฟื้นฟูแหล่งน้ำที่เหมาะสม การตรวจสอบธาตุอาหารในดิน และการตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาล เป็นต้น อีกทั้งควรมีการติดตามผลของการดำเนินการเฝ้าระวังและการสำรวจคุณภาพน้ำบาดาลในบริเวณที่มีความสามารถในการปนเปื้อนสูง เพื่อไม่ให้เกิดการ

แพร่กระจายไปสู่ชั้นน้ำบาดาลอื่น โดยหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลแผนที่ความเปราะบางและวิธีการที่การศึกษานี้ได้พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่น ๆ เพื่อศึกษาความเปราะบางของพื้นที่ที่สนใจและใช้วางแผนระยะยาวในการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาลอย่างจริงจังให้ครอบคลุมทั่วประเทศ ซึ่งในอนาคตหากมีการตระหนักถึงความสำคัญของปัญหานี้มากขึ้น ผู้ศึกษาหวังว่า จะส่งผลให้มีการสำรวจ รวบรวม และจัดเก็บข้อมูลในบริเวณที่กว้างขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณข้อมูลที่ได้จากการสำรวจให้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาที่จะมีผลถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ และการจำลองรูปแบบการไหลของน้ำบาดาลเพื่อพัฒนาวิธีการประเมินความเปราะบางมีความใกล้เคียงและสะท้อนสภาพพื้นที่จริงยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในส่วนที่จะทำให้การดำเนินการประเมินความเปราะบางด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นอีก ในการนี้ ผู้ศึกษาจึงมีความประสงค์ให้หน่วยงานต่าง ๆ ร่วมกันรณรงค์และสร้างความตระหนักรู้ในความสำคัญของการจัดเก็บข้อมูลและกระบวนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้อง



รายการอ้างอิง



IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*: 987.

Aller L., et al. (1987). DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. USA, USEPA.

Cazenave A. and R. S. Nerem (2004). Present-day sea level change: observations and causes. Reviews of Geophysics. **42**: 20.

Focazio M.J., et al. (2001). Occurrence of selected radionuclides in ground water used for drinking water in the United States. U. G. S. Water-Resour., US Geol. Surv. Water-Resour.

FRITCH G. TODD, et al. (2000). "An Aquifer Vulnerability Assessment of the Paluxy Aquifer, Central Texas, USA, Using GIS and a Modified DRASTIC Approach." Environmental Management **25**(3): 9.

Harter Thomass and W. G. Leah (2001). Assessing Vulnerability of groundwater. USA, University of California Agricultural Extension Service and the California Department of Health Service.

Liggett E. Jessica and T. Sonia (2009). "Groundwater Vulnerability Assessments and Integrated Water Resource Management." Streamline Watershed Management Bulletin, **13**(1): 12.

Liubov, O. (2015). GROUNDWATER PROTECTION IN RUSSIA, FINLAND AND EU. Civil Engineering, Oulu University of Applied Sciences. **Bachelor's**: 51.

N. Z. Jovanovic, et al. (2006). "Improved DRASTIC method for assessment of groundwater vulnerability to generic aqueous phase contaminants." WIT Transactions on Ecology and the Environment 92: 10.

Palomino, M. (2013). "Groundwater 02: pollution and contamination." Retrieved 01/25, 2014, from <http://www.geschichteinchronologie.ch/welt/wasser-u-grundwasser02-groundwater-pollution-contamination-ENGL.html>.

Tesoriero J. Anthony, et al. (1998). Assessing Ground-Water Vulnerability Using Logistic Regression in Proceedings for the Source Water Assessment and Protection, Dallas, TX.

กรมควบคุมมลพิษ (2556). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2556. Thailand, กรมควบคุมมลพิษ: 119.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2551). โครงการประเมินศักยภาพด้านคุณภาพน้ำบาดาล วางระบบติดตามการปนเปื้อนและวางแผนรายละเอียดการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดระยอง และจังหวัดชลบุรี. Thailand, กรมทรัพยากรน้ำบาดาล.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2552). โครงการประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนของมลสารทางเกษตรลงสู่แหล่งน้ำบาดาลและออกแบบแนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาลในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดสุพรรณบุรี. Thailand, กรมทรัพยากรน้ำบาดาล: 559.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2555). "น้ำบาดาลมีต้นกำเนิดมาจาก 3 แหล่ง." 2556, from <http://www.pr-gwaterfund.com/content/source>.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ค. "ศูนย์วิจัยภูมิศาสตร์สารสนเทศเพื่อประเทศไทย". 2014, from <http://www.gisthai.org/about-gis/input-gis.html>.

ณัฐ มาแจ้ง and ว. แต่สมบัติ (2542). การจัดการทรัพยากรน้ำในประเทศไทย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะอักษรศาสตร์ ภาควิชาภูมิศาสตร์.

ปิยะพิมลสิทธิ์, ฉ. (2554). การวัดความสัมพันธ์: Pearson's Sample Correlation Coefficient.

มาจันแดง, จ. (2556). "DRASTIC: แบบจำลองระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับประเมินศักยภาพการปนเปื้อนของแหล่งน้ำบาดาล DRASTIC: Geographic Information System Model for Evaluating Groundwater Pollution Potential." วารสารวิทยาศาสตร์ มช. 41(3): 17.

ยงค์ประวัติ, น. (2552). ความเป็นไปได้ในการใช้แก้มลิงเพื่อเติมน้ำเข้าสู่ระบบชั้นน้ำบาดาลกรุงเทพโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์. ไทย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดพิษณุโลก (2553). "ข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรจังหวัดพิษณุโลก." 2557.

สำนักงานจังหวัดพิษณุโลก, ก. "จังหวัดพิษณุโลก." Retrieved 25, 2014, from <http://www.phitsanulok.go.th/data.html>.

สำนักงานจังหวัดสุโขทัย. "จังหวัดสุโขทัย." Retrieved 01/25, 2014, from http://www.sukhothai.go.th/3584/data/data_01.html.

สำนักงานจังหวัดสุพรรณบุรี (2556). "บรรยายสรุปจังหวัดสุพรรณบุรี ประจำปี 2556." 2557.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นายศศินท์ จิระศิริรักษ์

เกิด 15 กันยายน พ.ศ.2532

สถานที่เกิด จ.นครปฐม

การศึกษา

พ.ศ.2555 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.)

สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ.2559 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.)

สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานทางวิชาการ

Sasin Jirasirilak, Aksara Putthividhya, Chayamon Phongsinabhichart. GIS-Based Statistical Analyses of Rainfall and Groundwater Depth Correlations in Thailand, WORLD ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES CONGRESS 2015 FLOODS, DROUGHTS, AND ECOSYSTEMS: 565 – 575

Sasin Jirasirilak, Aksara Putthividhya. Multiple linear regression models of monthly groundwater tables for Sukhothai and Pitsanulok provinces (Thailand), การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20

