

การประมาณปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่
อาศัยแบบจำลอง CA-Markov โดยแบบจำลอง SWAT:
กรณีศึกษา ลุ่มน้ำย่อยห้วยตุงตุ้งในลุ่มน้ำมูล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

**ESTIMATING WATER RUNOFF FROM CA-MARKOV
PREDICTING LAND USE USING SWAT MODEL:
CASE STUDY OF HUAY TUNG LUNG WATERSHED IN
THE MUN BASIN**

Supak Koonto



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Science in Geoinformatics
Suranaree University of Technology
Academic Year 2012**

การประมาณค่าปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่อาศัย

แบบจำลอง CA-Markov โดยแบบจำลอง SWAT:

กรณีศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตุงตุงของลุ่มน้ำมูล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา สราภิรมย์)

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ อ่องสมหวัง)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงกต ทศานนท์)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.คุณฤๅ ชาญลิขิต)

กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ชูกิจ ติมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ แม่นยำ)

คณบดีสำนักวิชาวิทยาศาสตร์

สุภักดิ์ กุลโท : การประมาณค่าปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่อาศัยแบบจำลอง CA-Markov โดยแบบจำลอง SWAT: กรณีศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตุงลุงของกลุ่มน้ำมูล (ESTIMATING WATER RUNOFF FROM CA-MARKOV PREDICTING LAND USE USING SWAT MODEL: CASE STUDY OF HUAY TUNG LUNG WATERSHED IN THE MUN BASIN) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวิทธิ์ อ่องสมหวัง, 139 หน้า.

ปริมาณน้ำท่าเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญสำหรับการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในด้านต่างๆ เช่น เกษตรกรรมหรืออุตสาหกรรม ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำแบบจำลอง SWAT มาใช้ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า และแบบจำลอง CA-Markov มาใช้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ (1) เพื่อประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2543 และ 2551 สำหรับใช้ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2559 และ 2567 (2) เพื่อประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประมาณปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT และ (3) เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าของทัศนภาพ 3 แบบรูปใน พ.ศ. 2559 วิธีการศึกษาหลักประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักคือ (1) การรวบรวมและการจัดเตรียมข้อมูล (2) การประเมินและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน (3) การประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประมาณปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT และ (4) การประมาณปริมาณน้ำท่าใน พ.ศ. 2559 และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนและการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า

ผลการประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดิน ใน พ.ศ. 2543 และ 2551 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT พบว่า ใน พ.ศ. 2543 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก 3 ลำดับแรก ได้แก่ นาข้าว (ร้อยละ 51.54) ป่าผลัดใบสมบูรณ์ (ร้อยละ 38.68) และทุ่งหญ้าผสมไม้พุ่ม (ร้อยละ 4.57) และใน พ.ศ. 2551 ได้แก่ นาข้าว (ร้อยละ 46.56) ป่าผลัดใบสมบูรณ์ (ร้อยละ 23.32) และทุ่งหญ้า (ร้อยละ 9.37) จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2543-2551 พบว่า มีทุ่งหญ้าเพิ่มขึ้นมากที่สุด คิดเป็นพื้นที่ 52 ตร.กม. หรืออัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.51 ตร.กม. ต่อปี ในทางตรงกันข้าม ป่าผลัดใบสมบูรณ์ลดลงมากที่สุด คิดเป็นพื้นที่ 87.05 ตร.กม หรืออัตราการลดลงเท่ากับ 10.88 ตร.กม. ต่อปี สำหรับการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2559 พบว่า ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก 3 ลำดับแรก ได้แก่ นาข้าว (ร้อยละ 42.24) ทุ่งหญ้า (ร้อยละ 16.45) และป่าผลัดใบสมบูรณ์ (ร้อยละ 14.16) สำหรับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2551-2559 พบว่า ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินสำคัญที่เพิ่มขึ้นได้แก่ ทุ่งหญ้า (ร้อยละ 7.08) และยางพารา (ร้อยละ 2.50) ในขณะที่ ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินสำคัญที่ลดลงได้แก่ พื้นที่ป่าผลัดใบสมบูรณ์ (ร้อยละ

9.16) และนาข้าว (ร้อยละ 4.31)

สำหรับการประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ประมาณปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสัดส่วนของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชุดดินและความลาดชันในหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา เท่ากับร้อยละ 20 10 และ 20 ตามลำดับ ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อน้ำท่าผิวดิน คือค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำท่าผิวดิน มีค่าเท่ากับ 20 และค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อน้ำใต้ดินคือ ค่าสัมประสิทธิ์ของปริมาณการถอยกลับการไหลของน้ำใต้ดิน มีค่าเท่ากับ 2 และชั้นของความลาดแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ (1) ความลาดมากกว่าร้อยละ 2 (2) ความลาดระหว่างร้อยละ 2-5 และ (3) ความลาดมากกว่าร้อยละ 5

สำหรับผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2559 ของทัศนภาพ 3 แบบรูป (ปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปกติ ปริมาณน้ำฝนปกติ และ ปริมาณน้ำฝนมากกว่าปกติ) พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่ารายปีที่จะเกิดขึ้น และแบบรูปการกระจายของปริมาณน้ำฝนรายเดือนมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่ารายเดือนของแต่ละทัศนภาพ นอกจากนี้ ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า พบว่า การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่เบ็ดเตล็ดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำท่า ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.792 และ 0.9018 ตามลำดับ ในขณะที่ การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าไม้มีความสัมพันธ์ผกผันกับปริมาณน้ำท่าโดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9018 และพบว่า พื้นที่ป่าไม้และพื้นที่เบ็ดเตล็ดมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา มากกว่าพื้นที่เกษตรกรรม ดังนั้น ในการบริหารจัดการน้ำท่าควรให้ความสำคัญกับการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าผลัดใบสมบูรณ์และทุ่งหญ้า

SUPAK KOONTO : ESTIMATING WATER RUNOFF FROM CA-MARKOV PREDICTING LAND USE USING SWAT MODEL: CASE STUDY OF HUAY TUNG LUNG WATERSHED IN MUN BASIN.
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SUWIT ONGSOMWANG, Dr. rer. Nat.
139 PP.

WATER RUNOFF ESTIMATION/SWAT MODEL/CA-MARKOV MODEL

Water runoff is counted as an important basic data for water resources management in various aspects such as agriculture or industry uses. This study uses the SWAT model to estimate water runoff and the CA-Markov model to predict land use changes. The objectives are (1) to assess land use in 2000 and 2008 for land use in 2016 and 2024 prediction, (2) to identify optimum parameters for water runoff estimation using the SWAT model, and (3) to predict water runoff of 3 scenarios in 2016. The main methodology consists of 4 main steps including: (1) data collection and preparation, (2) land use assessment and prediction, (3) optimum parameters identification for water runoff estimating by the SWAT model, and (4) water runoff estimation in 2016 and rainfall and land use changes analysis on water runoff.

Results of assessment of land use based on SWAT code found that the three main land use categories in 2000 were rice (51.54%), deciduous forest (38.68%) and range brush (4.57%) and in 2008 rice (46.56%), deciduous forest (23.32%) and range grasses (9.37%). According to land use change between 2000 and 2008, the most increasing land use type was range grasses covering an area of 52 sq.km and increasing as a rate of 6.51 sq.km per year, while the decreasing land use type was

deciduous forest covering an area of 87.05 sq.km and decreasing of a rate of 10.88 sq.km per year. For land use prediction in 2016, the three dominant land use categories were rice (42.24%), range grasses (16.45%), and deciduous forest (14.16%). For land use change during 2008 to 2016, the important increasing land use types were range grasses (7.08%) and rubber (2.50%) while decreasing land use categories were deciduous forest (9.16%) and rice (4.31%).

To identify optimum parameters for water runoff estimation using the SWAT model, the most appropriate parameter values for the proportion of land use, soil and slope in hydrologic response unit were 20%, 10% and 20%, respectively. Meanwhile, parameters that affect surface runoff and ground water were surface water lag coefficient and base flow recession content of 20 and 2, respectively. The optimum slope classification was (1) slope less than 2%, (2) slope between 2 and 5%, and (3) slope more than 5%.

For water runoff estimation in 2016 of 3 scenarios (dry, normal and wet year), change of rainfall effected the annual water runoff and monthly rainfall distribution effected the monthly water runoff pattern. In addition, an analysis of land use change on water runoff revealed that agricultural and miscellaneous areas were positively related to water runoff with R^2 about 0.792 and 0.9018, respectively, while forest areas were negatively related to water runoff with R^2 about 0.9018. Forest and miscellaneous areas played an important role in controlling the quantity of water runoff in the study area than agricultural areas. Therefore, water management should pay attention on the change of deciduous forest and grass range.

School of Remote Sensing

Student's Signature _____

Academic Year 2012

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ อ่องสมหวัง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทาง พร้อมทั้งวิธีการแก้ปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนเป็นแบบอย่างที่ดี และแนะนำแนวทางที่ถูกต้องในการดำเนินชีวิตเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา สราภิรมย์ หัวหน้าสาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงกิต ทศานนท์ และอาจารย์ ดร.คุณฤ ชาญลิขิต อาจารย์ประจำสาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกล ที่ให้คำปรึกษาและปรับแก้ตั้งแต่โครงร่างวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงเป็นวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ นายประมวล แสงวงสาย ผู้อำนวยการโรงเรียน นางนราภรณ์ โคลงชัย หัวหน้ากลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ นางสมสนิท แก้วสง่า และคณะครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนเดชอุดม ที่ให้การสนับสนุนและมอบโอกาสให้กับผู้วิจัยได้พัฒนาตัวเอง ในการศึกษา และประสบการณ์ที่มีคุณค่ายิ่ง

ขอขอบคุณ คุณรัชนิกร นัตริอุทัย เลขานุการสาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกล ที่ให้การช่วยเหลือเรื่องงานเอกสารและอำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ขอขอบคุณ เพื่อน-พี่-น้อง นักศึกษาสาขาวิชาการรับรู้จากระยะไกลทุกคน โดยเฉพาะพี่ ๆ นักศึกษา พ.ศ. 2553 ที่เป็นกำลังใจ ช่วยเหลือและแนะนำเพื่อความสมบูรณ์ของงานตั้งแต่โครงร่างวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงเป็นวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย และพี่สาว ครอบครัวกุลโท ที่ให้การอบรมเลี้ยงดูและส่งเสริมในด้านการศึกษาให้แก่ลูกคนนี้เป็นอย่างดีเสมอมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต

สุภักดี กุลโท

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของเบื้องต้น.....	3
1.4 ขอบเขตการศึกษาและข้อจำกัด.....	3
1.5 พื้นที่ศึกษา.....	4
1.5.1 ตำแหน่งที่ตั้ง.....	4
1.5.2 ลักษณะภูมิประเทศ.....	4
1.5.3 สภาพภูมิอากาศ.....	7
1.5.4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	7
1.5.5 ข้อมูลดิน.....	9
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา.....	14
2 ทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1 อุทกวิทยา (Hydrology).....	15
2.1.1 วัฏจักรทางอุทกวิทยา (Hydrologic cycle).....	15
2.1.2 ลุ่มน้ำ (Watershed).....	17
2.1.3 กระบวนการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า (Process of rainfall-runoff).....	20
2.1.4 กราฟอุทก (Hydrograph).....	21
2.2 แบบจำลอง SWAT.....	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1	การคำนวณทางอุทกวิทยาของแบบจำลอง SWAT ส่วนพื้นดิน (Land phase) 24
2.2.2	การคำนวณการเคลื่อนที่ในลำน้ำ (Flood routing) ของแบบจำลอง SWAT ... 34
2.2.3	แบบจำลองอุทกวิทยาและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)..... 35
2.3	แบบจำลอง Markov..... 39
2.4	การวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนในการเปรียบเทียบแบบจำลอง..... 41
2.4.1	การสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง (Graphical comparison) 41
2.4.2	การทดสอบค่าทางสถิติ 42
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 44
2.5.1	งานวิจัยที่เกี่ยวกับแบบจำลอง SWAT 44
2.5.2	งานวิจัยที่เกี่ยวกับแบบจำลอง CA-Markov 48
3	ข้อมูล อุปกรณ์และวิธีการศึกษา..... 49
3.1	ข้อมูลและอุปกรณ์ 49
3.2	วิธีการศึกษา..... 50
3.2.1	การรวบรวมและการจัดเตรียมข้อมูล 52
3.2.2	การประเมินและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน 55
3.2.3	การประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ ใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่า 56
3.2.4	การประมาณปริมาณน้ำท่าในอนาคตโดยแบบจำลอง SWAT 57
4	ผลการศึกษาและอภิปรายผล 59
4.1	ผลการรวบรวมและการจัดเตรียมข้อมูล (Data collection and preparation) 59
4.1.1	ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 และ 2551..... 59
4.1.2	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา..... 67
4.1.3	การจัดเตรียมทัศนภาพ (Scenario)..... 72
4.1.4	ข้อมูลอุทกวิทยา 75
4.2	ผลการประเมินและการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต 76
4.2.1	ผลการประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 76

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 ผลการประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551	79
4.2.3 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่าง พ.ศ. 2543-2551.....	81
4.2.4 การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต พ.ศ. 2559 และ 2567.....	84
4.3 ผลการประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่า โดยแบบจำลอง SWAT	92
4.3.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่า โดยแบบจำลอง SWATจากการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง.....	97
4.3.2 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่า โดยแบบจำลอง SWAT จากการทดสอบความสมเหตุสมผลแบบจำลอง.....	109
4.4 ผลการประมาณปริมาณน้ำท่าในอนาคตโดยแบบจำลอง SWAT	111
4.4.1 ผลการประมาณปริมาณน้ำท่าในปี พ.ศ. 2559 ของ 3 ทศวรรษภาพ	111
4.4.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนต่อปริมาณน้ำท่า	115
4.4.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า	120
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	128
5.1 สรุปผล	128
5.1.1 การประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลง ระหว่าง พ.ศ. 2543-2551.....	128
5.1.2 การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559.....	129
5.1.3 การประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประมาณ ปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT โดยอาศัยวิธีการเทียบมาตรฐาน และตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง	129
5.1.4 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าของทศวรรษภาพ 3 แบบรูป ใน พ.ศ. 2559 โดยแบบจำลอง SWAT	131
5.1.5 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า	132
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	133
รายการอ้างอิง	134
ประวัติผู้เขียน	139

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	ข้อมูลอุตุนิยามวิทยาเฉลี่ยย้อนหลัง 30 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2504-2533..... 9
1.2	สัดส่วนของกลุ่มข้อมูลหูดินในพื้นที่ศึกษา ลุ่มน้ำห้วยตุงหลุงของกลุ่มน้ำมูล 12
2.1	ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการคำนวณน้ำท่าผิวดิน โดยวิธี SCS CN ของแบบจำลอง SWAT.... 29
2.2	ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการคำนวณศักยภาพการคายระเหยของแบบจำลอง SWAT..... 30
2.3	ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นหินอุ้มน้ำคั่นของแบบจำลอง SWAT 32
2.4	ขนาดของกริดที่นิยมใช้ในแบ่งระดับพื้นที่ลุ่มน้ำและการประยุกต์ใช้งาน 36
2.5	ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในแบบจำลอง SWAT สำหรับการคำนวณหาค่าน้ำท่า (Runoff)... 36
3.1	ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา 48
3.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา 49
3.3	เกณฑ์มาตรฐานสำหรับใช้ในการจำแนกระดับความแห้งแล้งจากค่า SPI..... 53
4.1	พื้นที่และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 61
4.2	พื้นที่และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551 61
4.3	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT 62
4.4	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT 63
4.5	รหัสการใช้ประโยชน์ที่ดินของแบบจำลอง SWAT ที่พบในพื้นที่ศึกษา..... 65
4.6	ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110 66
4.7	ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110..... 67
4.8	ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110 67
4.9	ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110..... 68
4.10	ข้อมูลแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110 68
4.11	ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110 69
4.12	ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110..... 69
4.13	ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110 70
4.14	ค่า SPI ของปริมาณน้ำฝนรายปีระหว่าง พ.ศ. 2506-2551 ของสถานีอุตุนิยามวิทยาจังหวัดอุบลราชธานี 73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.15 ปริมาณน้ำท่ารายเดือน ณ สถานีตรวจวัด M.110	74
4.16 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร ณ สถานีตรวจวัด M.110.....	75
4.17 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 ตามรหัสแบบจำลอง SWAT	76
4.18 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT	78
4.19 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2543 และ 2551	81
4.20 เมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2543 และ 2551	82
4.21 ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Transition probability matrix) ระหว่าง พ.ศ. 2543 ถึง 2551.....	84
4.22 การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2559 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT.....	85
4.23 เมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2551 และ 2559	87
4.24 ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Transition probability matrix) ระหว่าง พ.ศ. 2551 ถึง 2559.....	88
4.25 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2567 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT	89
4.26 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของข้อมูลภูมิอากาศในแบบจำลอง SWAT.....	91
4.27 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของข้อมูลดินในแบบจำลอง SWAT	92
4.28 ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละประเภทพารามิเตอร์ที่ได้จากการเทียบมาตรฐาน	97
4.29 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง.....	97
4.30 ผลการทดสอบค่าทางสถิติในแต่ละลำดับชั้นตอนจากการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง.....	98
4.31 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองและ สถานีตรวจวัด M.110 โดยชุดพารามิเตอร์ตั้งต้น (SWAT 1).....	99
4.32 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองและ สถานีตรวจวัด M.110 โดยชุดพารามิเตอร์ที่ 2 (SWAT 2).....	101
4.33 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองและ สถานีตรวจวัด M.110 โดยชุดพารามิเตอร์ที่ 3 (SWAT 3).....	103
4.34 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองและ สถานีตรวจวัด M.110 โดยชุดพารามิเตอร์ที่ 4 (SWAT 4).....	105
4.35 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองและ	

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
	สถานีตรวจวัด M.110 โดยชุดพารามิเตอร์ที่ 5 (SWAT 5)..... 107
4.36	ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองและสถานี ตรวจวัด M.110 จากการตรวจสอบความสมเหตุสมผล..... 109
4.37	ปริมาณน้ำฝนรายเดือนของ 3 ทศวรรษภาพ..... 112
4.38	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในปี พ.ศ. 2559 ของ 3 ทศวรรษภาพ..... 113
4.39	ปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของทศวรรษภาพ 3 รูปแบบ..... 115
4.40	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนหน่วยเป็นมิลลิเมตรในระหว่าง พ.ศ. 2543-2567 120
4.41	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรในระหว่าง พ.ศ. 2543-2567..... 121
4.42	การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่าง พ.ศ. 2543 ถึง 2567 123
4.43	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลักที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่าง พ.ศ. 2543 ถึง 2567 124



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1	พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำห้วยตุงลุงและขอบเขตการปกครองระดับอำเภอ..... 5
1.2	ลักษณะภูมิประเทศ..... 6
1.3	การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551 8
1.4	การกระจายของกลุ่มชุดดินในพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำห้วยตุงลุง..... 13
2.1	วัฏจักรทางอุทกวิทยา..... 16
2.2	แผนภาพวงจรอุทกวิทยา..... 18
2.3	แบบรูปของลุ่มน้ำ 18
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ลุ่มน้ำกับความยาวแม่น้ำ 19
2.5	กระบวนการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า 20
2.6	ตัวอย่างกราฟอุทกที่วัดได้ในประเทศไทย 21
2.7	แผนภาพเส้นทางการเคลื่อนที่ของน้ำในแบบจำลอง SWAT 25
2.8	สมมติฐานของวิธี SCS..... 27
2.9	ความสัมพันธ์ ของน้ำฝน และน้ำท่า ด้วยวิธี SCS curve number..... 28
2.10	การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย DEM 36
3.1	ขั้นตอนและผลลัพธ์ของการศึกษา..... 51
3.2	การประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประมาณปริมาณน้ำท่า..... 58
4.1	การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 60
4.2	การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551 61
4.3	กราฟปริมาณน้ำฝนรายปีระหว่าง พ.ศ. 2506-2551 ของสถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดอุบลราชธานี..... 73
4.4	กราฟแสดงค่า SPI ของปริมาณน้ำฝนรายปีระหว่าง พ.ศ. 2506-2551 ของสถานี อุตุนิยมวิทยาจังหวัดอุบลราชธานี 73
4.5	การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT 78
4.6	การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551 ตามรหัสแบบจำลอง SWAT 80
4.7	การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT 87
4.8	การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2567 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT 91

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.9 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์โดยปริยาย (SWAT 1).....	100
4.10 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์โดยปริยาย (SWAT 1).....	101
4.11 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 2 (SWAT 2).....	102
4.12 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 2 (SWAT 2).....	103
4.13 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 3 (SWAT 3).....	104
4.14 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 3 (SWAT 3).....	105
4.15 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 4 (SWAT 4).....	106
4.16 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 4 (SWAT 4).....	107
4.17 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 5 (SWAT 5).....	108
4.18 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 5 (SWAT 5).....	109
4.19 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2551 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากการทดสอบความสมเหตุสมผล.....	110
4.20 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2551 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากการทดสอบความสมเหตุสมผล	111
4.21 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของ 3 ทศวรรษ.....	115
4.22 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของทศวรรษแบบที่ 1.....	116
4.23 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของทศวรรษแบบที่ 2.....	117

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.24	การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของทัศนภาพแบบที่ 3..... 117
4.25	การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของ ทัศนภาพแบบที่ 1: ปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุด 118
4.26	การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของ ทัศนภาพแบบที่ 2: ปริมาณน้ำฝนปกติ..... 118
4.27	การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของ ทัศนภาพแบบที่ 3: ปริมาณน้ำฝนมากที่สุด 119
4.28	การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายปีของ 3 ทัศนภาพ 120
4.29	การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่ากับพื้นที่เกษตรกรรม 125
4.30	การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่ากับพื้นที่ป่าไม้..... 126
4.31	การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่ากับพื้นที่อื่น ๆ 126

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากรายงานการเกิดอุทกภัยและภัยแล้ง ซึ่งรวบรวมโดยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย (ปภ.) กระทรวงมหาดไทยและสถาบันทรัพยากรน้ำและการเกษตร สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตั้งแต่ พ.ศ. 2548-2553 พบว่าประเทศไทยเกิดอุทกภัยและภัยแล้งในหลายพื้นที่ของประเทศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่และสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน คิดเป็นมูลค่ามหาศาลในแต่ละปี (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2553) ทั้งนี้ การเกิดอุทกภัยและภัยแล้งมีสาเหตุมาจากปัจจัยหลายประการ เช่น การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น

นอกจากนี้ การเกิดอุทกภัยและภัยแล้งยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการระบาดของโรคต่างๆ เช่น โรคตาแดงและโรคเลปโตสไปโรซิสหรือโรคฉี่หนูในขณะเกิดอุทกภัย หรือการระบาดของโรคอหิวาตกโรคในปีที่ประสบปัญหาภัยแล้ง เป็นต้น ซึ่งปัญหาโรคระบาดเหล่านี้ หากมีความรุนแรงและขยายตัว จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนเป็นวงกว้าง ฉะนั้น หากมีการศึกษาถึงพฤติกรรมการเกิดอุทกภัยหรือภัยแล้ง เพื่อวิเคราะห์ถึงสาเหตุการเกิดหรือกระบวนการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวได้อย่างแม่นยำและถูกต้องแล้ว จะสามารถคาดการณ์หรือจัดการเกี่ยวกับน้ำที่ทำให้เกิดปัญหานั้นได้ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาทางอุทกภัยหรือภัยแล้ง (กรมทรัพยากรน้ำ, 2550)

ในปัจจุบัน นักวิจัยได้มีการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยากันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้อมูลปริมาณน้ำท่าซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานทางอุทกวิทยาที่สำคัญสำหรับนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาทางอุทกภัยหรือภัยแล้ง ดังนั้น หากเราสามารถทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าได้อย่างถูกต้อง จะช่วยให้การจัดการทรัพยากรน้ำเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจะช่วยลดปัญหาทางอุทกภัยและภัยแล้งได้ รวมทั้ง จะช่วยในการตัดสินใจล่วงหน้าในการทำการเกษตรของประเทศ

โดยทั่วไป แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยามีจำนวนมาก นิพนธ์ ตั้งธรรม (2549) กล่าวว่า ในการจัดการลุ่มน้ำจะพิจารณาแบบจำลองในแบบรูปการกระจายของทรัพยากรน้ำทั้งในพื้นที่ลุ่มน้ำและนอกพื้นที่ลุ่มน้ำ ที่มีสัมพันธ์กับทรัพยากรที่ดิน (Land resources) ทรัพยากรป่าไม้ (Forest resources) และทรัพยากรธรรมชาติอื่นๆ ที่อยู่ในดิน เช่น

ทรัพยากรแร่ (Mineral resources) ตลอดจนการพัฒนาแบบรูปต่างๆ ทั้งด้านการเกษตรและอุตสาหกรรม รวมทั้งการขยายตัวเมือง ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ (Water yield) ในสภาพต่างๆ ทั้งสิ้น ในการนำแบบจำลองทางอุทกวิทยาไปใช้ในการจัดการทรัพยากรน้ำจะใช้ขอบเขตของพื้นที่ลุ่มน้ำ ทั้งขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ของกลุ่มน้ำใดกลุ่มน้ำหนึ่งโดดๆ หรือรวมกลุ่มน้ำต่างๆ เข้าด้วยกันเป็นระบบลุ่มน้ำขนาดใหญ่สำหรับนำไปใช้เป็นภาพรวมของแบบจำลองเพื่อใช้ในการบริหารจัดการน้ำโดยอาศัยหลักดุลยภาพน้ำ (Hydrological-balance budget) ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำท่าที่ให้ความถูกต้องและแม่นยำ ผู้วิจัยได้เลือกแบบจำลองที่เหมาะสม รวมทั้ง ความสามารถในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนเป็นปริมาณน้ำท่า ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้แบบจำลอง SWAT สำหรับคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากการคาดการณ์จากแบบจำลอง CA-Markov และการกำหนดทัศนภาพ (Scenario) จากข้อมูลปริมาณน้ำฝน 3 แบบรูป คือ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีต่ำกว่าปกติ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีปกติ และข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีสูงกว่าปกติ เนื่องจากแบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองที่สามารถอธิบายลักษณะการเกิดปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและวิเคราะห์ลักษณะทางอุทกวิทยา โดยอิงลักษณะพื้นที่ทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นหลัก และเป็นแบบจำลองที่มีความสมบูรณ์ในการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่า ได้แก่ ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use data) ข้อมูลดิน (Soil data) ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ (Topographic data) และข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Meteorological data)

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

ในการประมาณปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลจากข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่อาศัยแบบจำลอง CA-Markov โดยแบบจำลอง SWAT: กรณีศึกษา ลุ่มน้ำย่อยห้วยตุงลุงในลุ่มน้ำมูล มีวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2543 และ 2551 สำหรับใช้ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2559 และ 2567

1.2.2 เพื่อประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT โดยอาศัยวิธีการเทียบมาตรฐานและตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง

1.2.3 เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าของทัศนภาพ 3 แบบรูปใน พ.ศ. 2559 โดยแบบจำลอง SWAT รวมทั้ง การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนต่อปริมาณน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

ข้อตกลงเบื้องต้นในการดำเนินงานวิจัย มีสาระสำคัญที่พอสรุปได้ว่าข้อมูลชุดดินและข้อมูลภูมิประเทศที่ใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่าใน พ.ศ. 2543 2551 และ 2559 เป็นแบบสถิต (Static) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดเกิดขึ้นในระหว่าง พ.ศ. 2543 ถึง 2567

1.4 ขอบเขตการศึกษาและข้อจำกัด

ในการประมาณปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาจากข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่อาศัยแบบจำลอง CA-Markov โดยแบบจำลอง SWAT มีขอบเขตการศึกษาและข้อจำกัด ดังต่อไปนี้

1.4.1 ในการประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2543 และ 2551 การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่าง พ.ศ. 2543-2551 และการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2559 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov จะทำการวิเคราะห์ตามรหัสการใช้ประโยชน์ที่ดินของแบบจำลอง SWAT จากฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 และ 2551 ของกรมพัฒนาที่ดิน

1.4.2 ในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในแบบจำลอง SWAT ของพื้นที่ศึกษาจะพิจารณาจากผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้รับในขั้นตอนการเทียบมาตรฐาน (Calibration) โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) จากกราฟเส้นทแยงมุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส 45 องศา ค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ (Percent of Relative difference) และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล (Coefficient of efficiency) ของ Nash and Sutcliffe (1970) ซึ่งคำนวณจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้รับจากแบบจำลอง SWAT และข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากสถานีตรวจวัดน้ำแม่ น้ำมูล ณ แก่งตุงสูง อำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี (M.110) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่รับน้ำประมาณ 566 ตารางกิโลเมตร และนำพารามิเตอร์ที่ได้รับ ไปใช้ทดสอบความสมเหตุสมผล (Validation) ของแบบจำลอง

1.4.3 ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าของทัศนภาพ 3 แบบรูปใน พ.ศ. 2559 โดยแบบจำลอง SWAT จะอาศัยการวิเคราะห์ Standardized Precipitation Index (SPI) จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีย้อน 45 ปี (พ.ศ. 2506-2551) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดอุบลราชธานี เพื่อกำหนดทัศนภาพ 3 แบบรูป คือ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีที่ต่ำกว่าปกติ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีที่ปกติ และข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีที่สูงกว่าปกติ ร่วมกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2559 ที่ได้จากการคาดการณ์โดยอาศัยแบบจำลอง CA Markov

1.4.4 ข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM) เป็นข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลขของ Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ปรับปรุงแก้ไขโดยภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4.5 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบมาตรฐานและการทดสอบความสมเหตุสมผล เป็นข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากสถานีตรวจวัดน้ำแม่ น้ำมูล ณ แก่งตุงสูง อำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี (M.110) ของกรมชลประทาน ซึ่งเริ่มจัดเก็บข้อมูลตั้งแต่ พ.ศ. 2522

1.4.6 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ แสงแดด ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง พ.ศ. 2540-2551 จากสถานีตรวจวัดน้ำแม่ น้ำมูล ณ แก่งตุงสูง อำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี (M.110) ของกรมอุตุนิยมวิทยา

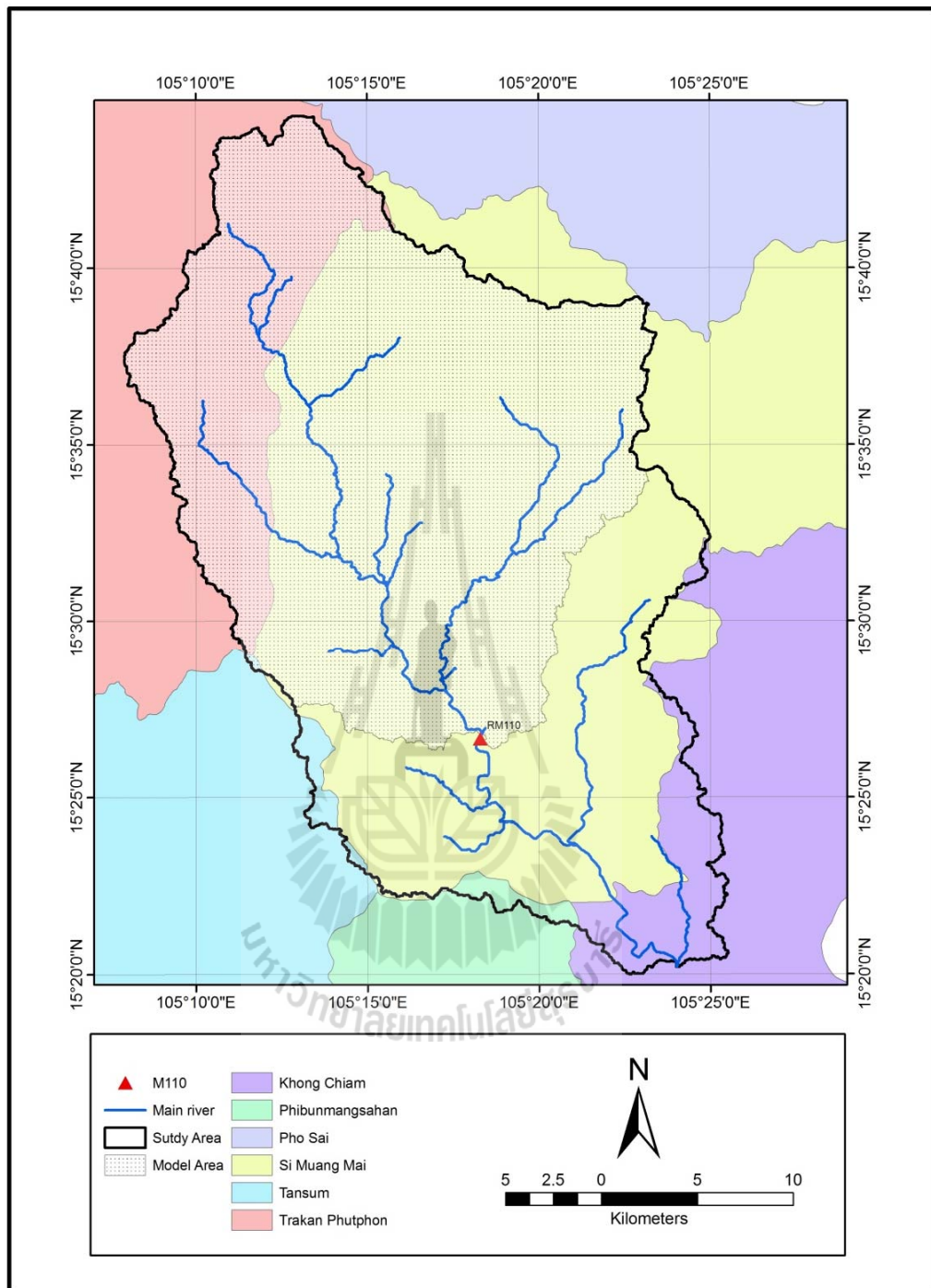
1.5 พื้นที่ศึกษา

1.5.1 ตำแหน่งที่ตั้ง

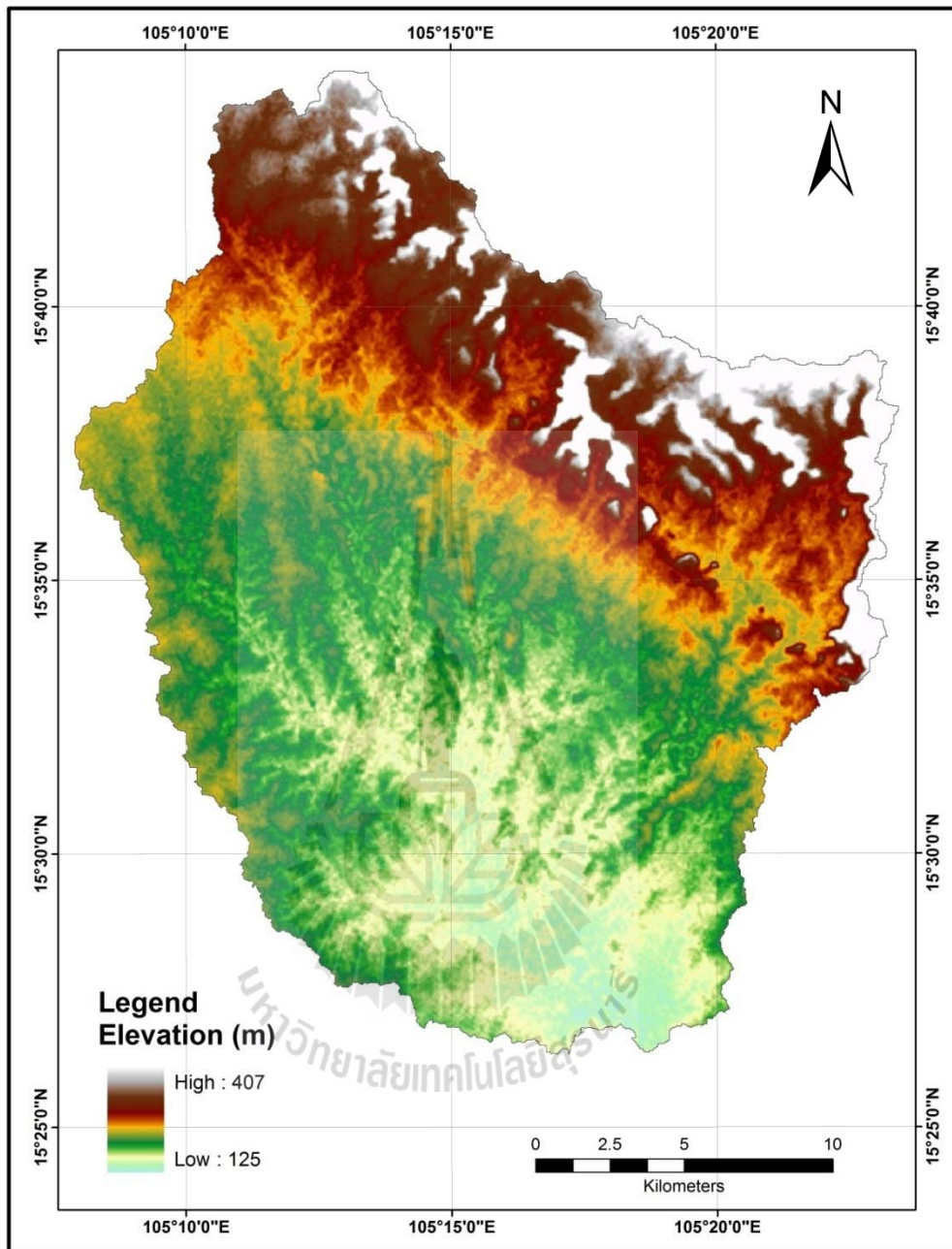
พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตุงสูงเป็นส่วนหนึ่งของลุ่มน้ำมูล ตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันออกของกลุ่มน้ำมูลและของจังหวัดอุบลราชธานี อยู่ระหว่างเส้นลองจิจูด 105 องศา 5 ลิปดา ถึง 105 องศา 23 ลิปดา ตะวันออก และเส้นละติจูด 15 องศา 27 ลิปดา ถึง 15 องศา 45 ลิปดาเหนือ ครอบคลุมเขตการปกครองซึ่งประกอบด้วย อำเภอโขงเจียม พิบูลมังสาหาร ศรีเมืองใหม่ และตระกาฬพืชผลของจังหวัดอุบลราชธานี มีเนื้อที่รวมประมาณ 566 ตร.กม. หรือ 354,000 ไร่ (ภาพที่ 1.1)

1.5.2 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นแนวลูกเนิน (Foothill) ที่เกิดจากการทับถมของตะกอนแม่น้ำและมีเทือกเขาสูงวางตัวในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือมาทางทิศใต้ของพื้นที่ศึกษา โดยมีระดับความสูงอยู่ระหว่าง 125-407 เมตร จากระดับทะเลปานกลาง (Mean sea level) (ภาพที่ 1.2)



ภาพที่ 1.1 พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำห้วยตุงลุงและขอบเขตการปกครองระดับอำเภอ



ภาพที่ 1.2 ลักษณะภูมิประเทศ

1.5.3 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษาซึ่งตั้งอยู่ในจังหวัดอุบลราชธานี อยู่ในเขตที่มีปริมาณน้ำฝนค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของจังหวัดอื่นๆ ที่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ฤดูฝนจะเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมเรื่อยไปจนถึงปลายเดือนตุลาคม และพบว่ามักจะเกิดปรากฏการณ์ฝนทิ้งช่วงในเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม แต่ระยะเวลาการทิ้งช่วงมักจะไม่เหมือนกันในแต่ละปี และในช่วงปลายฤดูฝนมักจะมีพายุดีเปรสชันฝนตกชุก บางปีอาจมีภาวะน้ำท่วมแต่ภาวะการไม่รุนแรงนัก

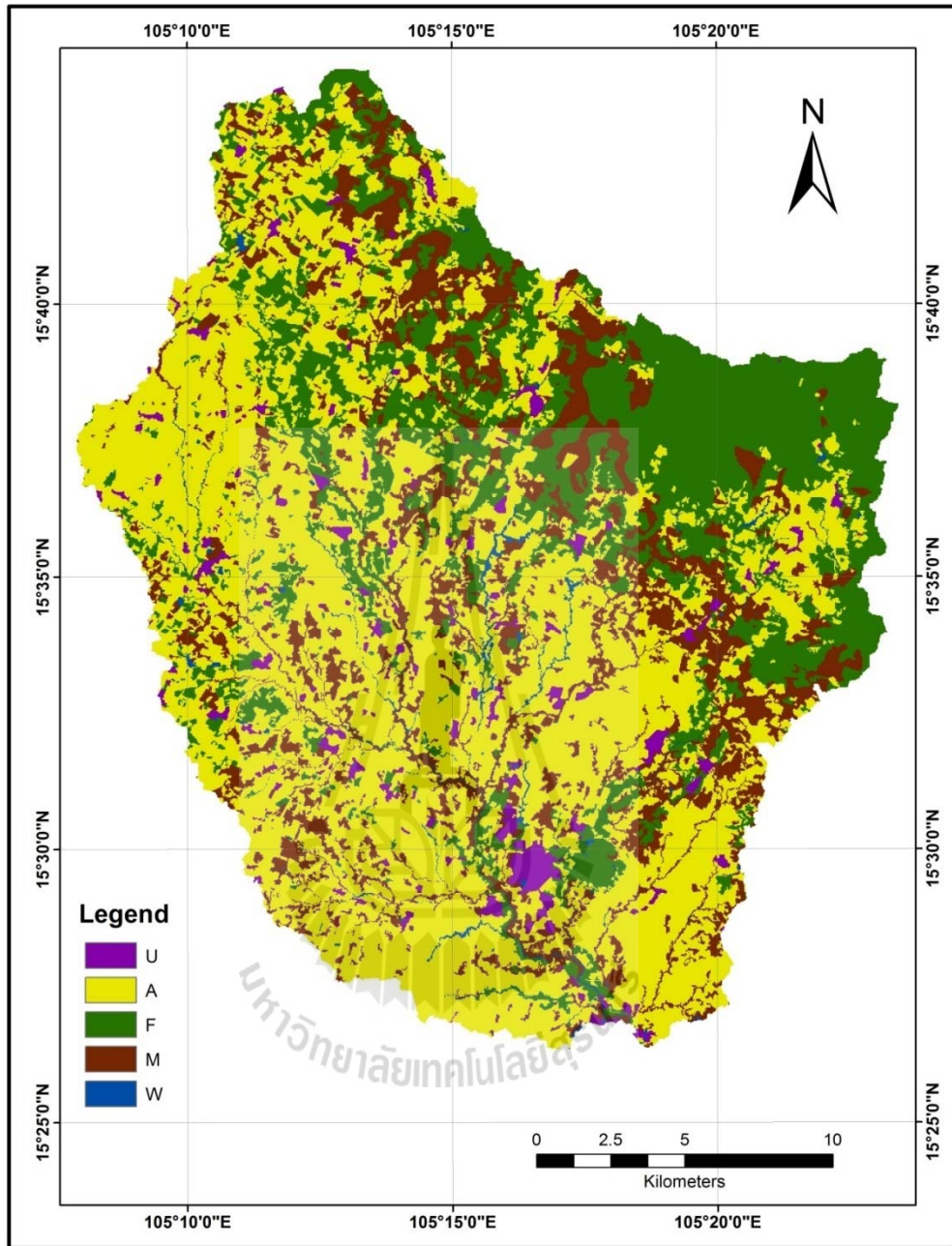
ฤดูหนาว เนื่องจากเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงสุดของประเทศ ทำให้ได้รับอิทธิพลลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือก่อนภูมิภาคอื่น อุณหภูมิจะเริ่มลดต่ำลงตั้งแต่เดือนตุลาคม และสิ้นสุดปลายเดือนมกราคม

ฤดูร้อน อากาศจะเริ่มอบอ้าวในเดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงประมาณต้นเดือนพฤษภาคม ซึ่งอาจจะมีฝนตกอยู่บ้างในปลายเดือนเมษายน แต่ปริมาณน้ำฝนจะไม่เพียงพอสำหรับการเพาะปลูก

ข้อมูลอุตุวิทยามาตรฐานเฉลี่ยย้อนหลัง 30 ปี (พ.ศ. 2504-2533) ของจังหวัดอุบลราชธานี เกี่ยวกับอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ปริมาณน้ำฝน และจำนวนวันที่มีฝนตก แสดงไว้ในตารางที่ 1.1

1.5.4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ใน พ.ศ. 2551 พบว่าประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลักในพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่เกษตรกรรม คิดเป็นร้อยละ 80 และมีพื้นที่ป่าไม้กับพื้นที่อื่นๆ (เมืองและสิ่งปลูกสร้าง แหล่งน้ำและพื้นที่เบ็ดเตล็ด) คิดเป็นร้อยละ 15 และ 5 ตามลำดับ (ภาพที่ 1.3)



ภาพที่ 1.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยขอนแก่นหลัง 30 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2504-2533

เดือน	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ปริมาณน้ำฝน (มม.)	จำนวนวันที่มีฝน
มกราคม	17.0	31.0	0.7	1
กุมภาพันธ์	19.4	33.3	11.4	1
มีนาคม	22.3	35.4	30.6	3
เมษายน	24.3	35.9	86.6	8
พฤษภาคม	24.5	34.3	214.7	15
มิถุนายน	24.3	32.6	267.0	19
กรกฎาคม	24.0	32.0	273.2	19
สิงหาคม	23.8	31.4	328.0	22
กันยายน	23.5	31.3	297.4	20
ตุลาคม	22.5	31.3	98.5	11
พฤศจิกายน	20.0	30.7	24.0	4
ธันวาคม	17.4	30.0	1.9	1

ที่มา: กรมอุตุนิยมหาวิทยาลัย (2554)

1.5.5 ข้อมูลดิน

ข้อมูลการจำแนกกลุ่มดิน (Soil group data) ของกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2525 ในพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำย่อยห้วยตุงสูง ประกอบด้วย 9 กลุ่มดิน ดังต่อไปนี้

(1) กลุ่มชุดดินที่ 17 ลักษณะทั่วไป มีเนื้อดินบนเป็นพวกดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนสีน้ำตาล น้ำตาลปนเทา ดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายหรือดินร่วนเหนียว มีสีน้ำตาลอ่อน สีเทาอ่อน สีเทาปนชมพู พบจุดประพวงสีน้ำตาลปนเหลือง สีแดงปนเหลืองหรือสีแดงปะปน บางแห่งอาจพบศิลาแลงอ่อน หรือก้อนสารเคมีพวกเหล็กและแมงกานีสในดินชั้นล่างซึ่งเกิดจากพวกตะกอนลำน้ำ ดินชุดนี้มักพบตามพื้นที่ราบเรียบหรือค่อนข้างราบเรียบบริเวณลานตะพักลำน้ำระดับต่ำ มีน้ำแช่ขังลึก 30-50 ซม. นาน 2-4 เดือน เป็นดินลึกมาก ดินมีการระบายน้ำค่อนข้างเร็ว มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 4.5-5.5 โดยทั่วไปแล้วกลุ่มชุดดินที่ 17 มีศักยภาพเหมาะสมที่จะใช้ในการทำนามากกว่าการปลูกพืชไร่ ไม้ผล และพืชผักในช่วงฤดูฝน แต่สามารถปลูกพืชไร่หรือพืชผักที่มีอายุสั้นได้ในช่วงฤดูแล้ง ถ้ามีแหล่งน้ำธรรมชาติหรือน้ำชลประทานเข้าถึง

(2) กลุ่มชุดดินที่ 22 ลักษณะโดยทั่วไป มีเนื้อดินเป็นพวกดินร่วนปนทราย ดินทรายเป็นดินร่วน สีพื้นเป็นสีเทาหรือน้ำตาลปนเทา มีจุดประพวงสีน้ำตาลปนเหลืองหรือสีเหลืองปนน้ำตาลอ่อน และอาจพบศิลาแลงอ่อนในดินชั้นล่าง มีสภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ เป็นดินลึก มีการระบาย

น้ำค่อนข้างเลว ดินมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดถึงเป็นกรดแก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 4.5-5.5 ดินชนิดนี้ส่วนใหญ่ในฤดูฝนใช้ปลูกข้าว บางแห่งยังคงสภาพเป็นป่าอยู่หรือใช้ปลูกไม้ยืนต้น แต่มีปัญหาเรื่องการแข่งขันของน้ำในช่วงฤดูฝน โดยทั่วไปศักยภาพของกลุ่มชุดดินที่ 22 เหมาะที่จะใช้ในการทำนา เนื่องจากสภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบมีน้ำขังแช่ในช่วงฤดูฝน แต่สามารถปลูกพืชไร่หรือพืชผัก เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ข้าว โปด ยาสูบ กระเทียม มะเขือเทศ ฯลฯ ก่อนและหลังการปลูกข้าว ถ้ามีน้ำชลประทานหรือมีแหล่งน้ำธรรมชาติในเขตฝนตกชุก เช่น ภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงใต้ ใช้ปลูกยางพาราและไม้ผล

(3) กลุ่มชุดดินที่ 24 ลักษณะโดยทั่วไป มีเนื้อดินเป็นพวกดินทราย มีสีน้ำตาลปนเทา หรือสีเทาปนชมพู พบจุดประสีน้ำตาล สีเหลืองหรือสีเทาในชั้นดินล่าง บางแห่งจะพบชั้นที่มีการสะสมอินทรีย์วัตถุเป็นชั้นบางๆ มีสภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบหรือราบเรียบ เป็นดินลึก มีการระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงคิปานกลาง มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำมาก ปฏิกริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงเป็นกรดเล็กน้อย มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5.5-6.5 ปัจจุบันดินชนิดนี้ใช้ทำนาหรือปลูกพืชไร่บางชนิด เช่น มันสำปะหลัง อ้อยและปอ บางแห่งเป็นทุ่งหญ้าธรรมชาติ ความเหมาะสมสำหรับการปลูกพืชของกลุ่มชุดดินที่ 24 ค่อนข้างไม่เหมาะสมหรือไม่เหมาะสมในการปลูกพืชทั้งพืชไร่ ไม้ผลและพืชผัก เนื่องจากเนื้อดินเป็นทรายจัดและความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ แต่มีศักยภาพเหมาะที่จะใช้ในการปลูกหญ้าเลี้ยงสัตว์หรือพัฒนาเป็นทุ่งหญ้า อย่างไรก็ตาม ในสภาพปัจจุบันได้มีการใช้ประโยชน์ในการทำนา ปลูกพืชไร่ และไม้ผลบางชนิด แต่ให้ผลผลิตต่ำหรือค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะใช้ทำนามักได้รับผลกระทบจากการขาดแคลนน้ำ เนื่องจากดินเก็บกักน้ำไม่ค่อยอยู่

(4) กลุ่มชุดดินที่ 25 ลักษณะโดยทั่วไป มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ส่วนดินล่างเป็นดินเหนียวหรือดินร่วนปนดินเหนียวที่เป็นกรวดหรือลูกรังปะปนเป็นปริมาณมาก มีจุดประสีน้ำตาลปนเหลือง สีเทาอ่อน หรือสีน้ำตาลปนเทา ใต้ชั้นดินลูกรังอาจพบชั้นดินเหนียวที่มีสีคลาแลงอ่อนปะปน เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกตะกอนลำน้ำที่บอบอยู่บนชั้นหินผุ ดินชนิดนี้มักจะพบบริเวณพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบตามลานตะพักลำน้ำระดับต่ำและระดับกลาง น้ำแช่ขังลึก 30 ซม. นาน 3-4 เดือน เป็นดินตื้น ส่วนใหญ่มีการระบายน้ำค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 4.5-6.0 ในปัจจุบันดินชนิดนี้ใช้ทำนา บางแห่งเป็นป่าละเมาะหรือป่าเต็งรัง และไม่มี ความเหมาะสมสำหรับใช้ในการปลูกพืช เนื่องจากกลุ่มชุดดินที่ 25 เป็นดินตื้น เพราะมีชั้นกรวดหรือลูกรังปะปนในเนื้อดินอยู่มาก ดินมีการระบายน้ำเลว มักมีน้ำท่วมขังในฤดูฝน จึงมีศักยภาพเหมาะที่จะใช้ทำนา ส่วนฤดูแล้งสามารถปลูกพืชไร่ที่มีระบบรากสั้น รวมทั้ง พืชผักบางชนิดได้ สำหรับการปลูกไม้ผลและพืชไร่เศรษฐกิจในกลุ่มชุดดินนี้ไม่เหมาะสม เนื่องจากดินมีศักยภาพทางการเกษตรต่ำ มีปัญหาเรื่องดินตื้นและการระบายน้ำเลว การจะเพิ่มศักยภาพของดินนี้

กระทำได้ดีลำบากและต้องลงทุนสูง การเปลี่ยนสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินอาจพัฒนาเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์หรือปลูกป่าไม้โตเร็วทดแทน

(5) กลุ่มชุดดินที่ 35 ลักษณะโดยทั่วไป มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ส่วนดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย สีน้ำตาล สีเหลืองหรือสีแดง เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกตะกอนลำน้ำหรือเกิดจากการสลายตัวผุพังของหินเนื้อหยาบ พบบริเวณพื้นที่ดินที่มีลักษณะเป็นลูกคลื่นจนถึงที่ลาดเชิงเขา ส่วนใหญ่มีความลาดประมาณร้อยละ 3-20 และบางส่วนมีความลาดประมาณร้อยละ 20-35 เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี ระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 1.50 เมตรตลอดปี มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 4.5-5.5 ปัจจุบันบริเวณดังกล่าวใช้ปลูกพืชไร่ต่างๆ เช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย ปอ งาและถั่ว บางแห่งใช้ปลูกไม้ผลและไม้ยืนต้นบางชนิด โดยทั่วไป กลุ่มชุดดินที่ 35 มีศักยภาพในการปลูกพืชไร่ ไม้ผล และไม้ยืนต้น ตลอดทั้งการพัฒนาเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์มากกว่าที่จะนำมาใช้ทำนาหรือปลูกข้าวที่ต้องการน้ำขัง เนื่องจากเป็นที่ดอน สภาพพื้นที่เป็นลูกคลื่นลอนลาดถึงลูกคลื่นลอนชันเป็นส่วนใหญ่ ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนเหนียวปนทราย การระบายน้ำดี เนื้อดินมีความพรุนมาก เก็บกักน้ำไม่ค่อยอยู่

(6) กลุ่มชุดดินที่ 44 ลักษณะโดยทั่วไป เนื้อดินเป็นพวกดินทราย สีเทาหรือสีน้ำตาลอ่อน เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดิน พวกตะกอนลำน้ำ หรือเกิดจากการสลายตัวผุพังของหินเนื้อหยาบ พบบริเวณพื้นที่ดินที่มีลักษณะเป็นลูกคลื่นจนถึงเชิงเขา มีความลาดประมาณร้อยละ 3-20 เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดีมากเกินไป มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำมาก ค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5.5-7.0 ปัจจุบันดินชุดนี้ใช้ปลูกพืชไร่ต่างๆ เช่น มันสำปะหลัง อ้อย สับปะรด ปอ ส่วนไม้ยืนต้นได้แก่ มะพร้าว มะม่วงหิมพานต์ บางแห่งเป็นป่าเต็งรัง หรือทุ่งหญ้าธรรมชาติ โดยทั่วไป กลุ่มชุดดินที่ 44 มีศักยภาพค่อนข้างไม่เหมาะสมในการปลูกพืชไร่และไม้ผล และไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทำนา แต่มีศักยภาพพอที่จะใช้ในการปลูกหญ้าเลี้ยงสัตว์และปลูกไม้โตเร็วบางชนิด

(7) กลุ่มชุดดินที่ 49 ลักษณะโดยทั่วไป มีเนื้อดินบนเป็นดินร่วนปนทราย ดินล่างเป็นดินเหนียวปนลูกรังหรือเศษหินทราย ดินมีสีน้ำตาลหรือเหลือง ใต้ลงไปเป็นดินเหนียวสีเทา มีจุดประสีน้ำตาล สีแดงและสีลาแสงอ่อนปะปนอยู่ด้วยเป็นจำนวนมาก อาจพบชั้นหินทรายหรือหินดินดานที่ผุพังสลายตัวในชั้นถัดไป พบบริเวณพื้นที่ดอน มีลักษณะเป็นลูกคลื่น มีความลาดร้อยละ 3-20 เป็นดินตื้นถึงตื้นมาก มีการระบายน้ำดี ระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกกว่า 2 เมตร มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 5.0-6.5 การใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มชุดดินนี้ ได้แก่ การปลูกพืชไร่ ทุ่งหญ้าธรรมชาติ ที่รกร้างว่างเปล่า ป่าเต็งรัง หรือการปลูกไม้โตเร็ว กลุ่มชุดดินที่ 49 มีศักยภาพค่อนข้างไม่เหมาะสมถึงไม่เหมาะสมในการปลูกพืช เนื่องจากเป็นดินตื้น

ถึงดินมาก ถ้าจะใช้ปลูกพืชไร่ต้องมีหน้าดินบนหนาไม่ต่ำกว่า 15 ซม.และจะต้องเลือกปลูกพืชที่มีระบบรากตื้นมาก

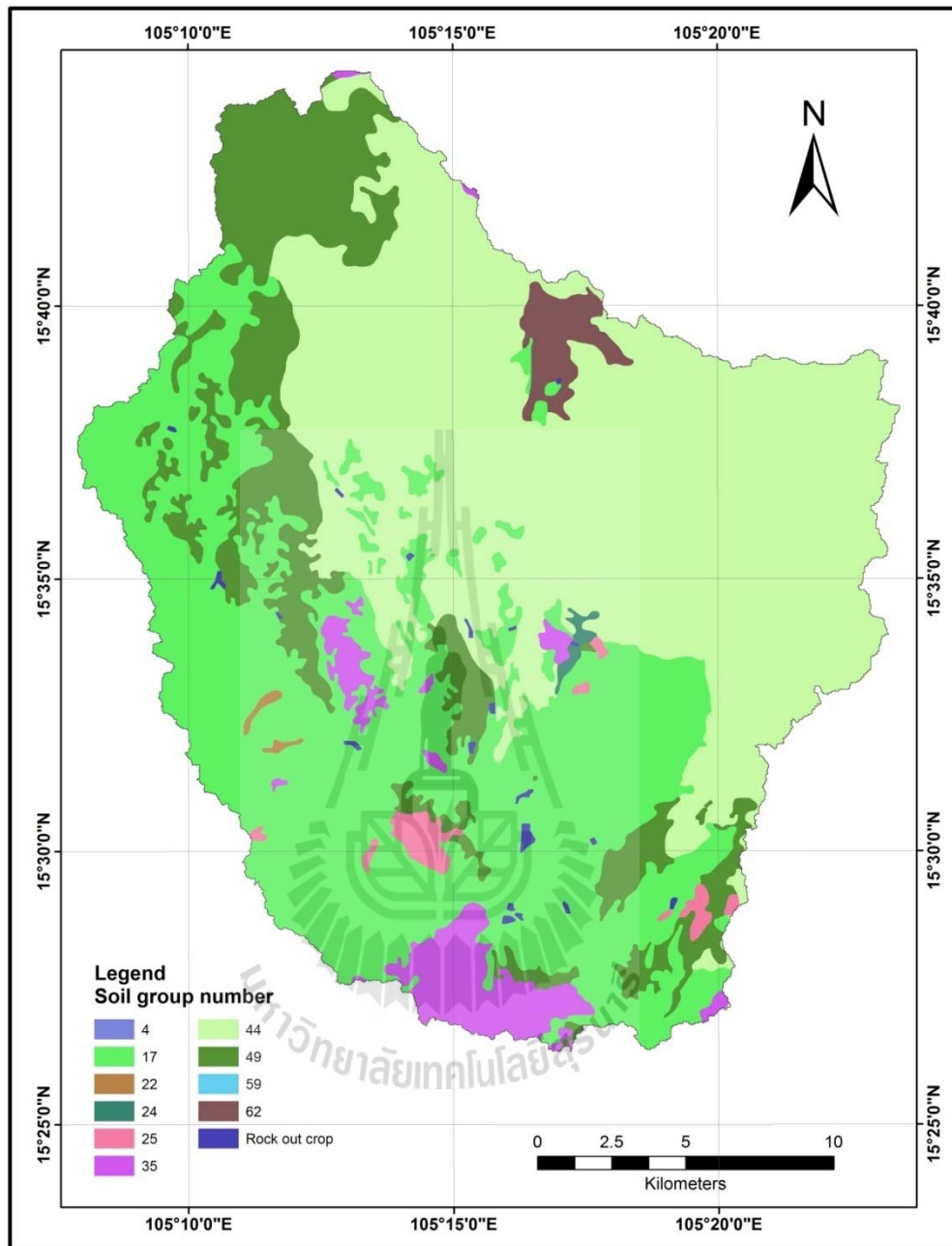
(8) กลุ่มชุดดินที่ 62 ลักษณะโดยทั่วไป ประกอบด้วยพื้นที่ภูเขา ซึ่งมีความลาดมากกว่าร้อยละ 35 ดินที่พบมีทั้งดินลึกและดินตื้น ลักษณะของเนื้อดินและความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติแตกต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของหินต้นกำเนิดในบริเวณนั้น มักมีเศษหิน ก้อนหินหรือหินโผล่ กระจายกระจายทั่วไป ส่วนใหญ่ยังปกคลุมด้วยป่าไม้ประเภทต่างๆ เช่น ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง หรือป่าดิบชื้น หลายแห่งมีการทำไร่เลื่อนลอย โดยปราศจากมาตรการในการอนุรักษ์ดินและน้ำ ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของดิน จนบางแห่งเหลือแต่หินพื้นโผล่ กลุ่มชุดดินนี้ไม่ควรนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เนื่องจากมีปัญหาหลายประการที่มีผลกระทบต่อระบบนิเวศ ควรสงวนไว้เป็นป่าตามธรรมชาติ เพื่อรักษาแหล่งต้นน้ำลำธาร

(9) หินโผล่ (Rock outcrop) ลักษณะโดยทั่วไปเป็นพื้นที่ที่มีหินโผล่ กระจายกระจายซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

สำหรับสัดส่วนเนื้อที่ของกลุ่มชุดดินในพื้นที่ศึกษาสรุปไว้ในตารางที่ 1.2 และการกระจายของกลุ่มชุดดินแสดงไว้ในภาพที่ 1.4

ตารางที่ 1.2 สัดส่วนของกลุ่มข้อมูลชุดดินในพื้นที่ศึกษา กลุ่มน้ำห้วยตุงหลูของกลุ่มน้ำมูล

ลำดับที่	กลุ่มชุดดิน ที่	พื้นที่ (ตร.กม.)	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละของพื้นที่
1	17	205.957	128,723.063	36.362
2	22	0.772	482.625	0.136
3	24	1.187	741.938	0.210
4	25	5.056	3,160.125	0.893
5	35	20.753	12,970.688	3.664
6	44	245.252	153,282.375	43.300
7	49	77.823	48,639.375	13.740
8	62	8.059	5,036.625	1.423
9	หินโผล่	1.541	963.000	0.272
	รวม	566	354,000	100.000



ภาพที่ 1.4 การกระจายของกลุ่มชุดดินในพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำห้วยตุงลุง

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1.6.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษากระบวนการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ศึกษาที่มีประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่หลากหลาย

1.6.2 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าที่ถูกต้องและแม่นยำสำหรับใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อแก้ไขปัญหาอุทกภัยและภัยแล้ง รวมทั้งการจัดสรรทรัพยากรน้ำอย่างเหมาะสมในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตุงหลุง

1.6.3 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่า

1.6.4 แบบรูปของปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามทัศนภาพของปริมาณน้ำฝนที่กำหนดขึ้น



บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการประมาณปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลจากข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่อาศัยแบบจำลอง CA-Markov โดยแบบจำลอง SWAT: กรณีศึกษา ลุ่มน้ำย่อยห้วยตุงสูง ผู้วิจัยได้ค้นคว้าและศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับอุทกวิทยาแบบจำลอง SWAT แบบจำลอง Markov การวิเคราะห์ค่าตลาดเคลื่อนในการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง และการประยุกต์แบบจำลอง SWAT และ CA-Markov เพื่อใช้เป็นแหล่งอ้างอิงในการดำเนินงานวิจัย ดังต่อไปนี้

2.1 อุทกวิทยา (Hydrology)

จากน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นดิน จะไหลรวมตัวกันเป็นลำน้ำขนาดเล็ก ไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำในบริเวณต้นน้ำลำธาร ลำน้ำขนาดต่างๆ จะรวมตัวกันเป็นเครือข่ายภายในพื้นที่รับน้ำสายหลักขนาดเล็กลงกระทั่งไหลมารวมกันเป็นลำน้ำสายใหญ่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าหน้าที่ของแม่น้ำ (Function of river) คือ การรวบรวมน้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมจากแหล่งกำเนิดแล้วลำเลียงน้ำเหล่านี้จากที่สูงลงสู่ที่ต่ำในขณะเดียวกันก็ลำเลียงตะกอนที่ถูกพัดพามาพร้อมกับกระแสน้ำด้วยเช่นกัน สุดท้ายทั้งปริมาณน้ำและตะกอนจะไหลลงสู่ทะเลหรือมหาสมุทร ดังนั้นความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการไหลของน้ำและการลำเลียงตะกอน จึงเป็นสิ่งทีวิศวกรแม่น้ำต้องเข้าใจเป็นอย่างดี (วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530)

2.1.1 วัฏจักรทางอุทกวิทยา (Hydrologic cycle)

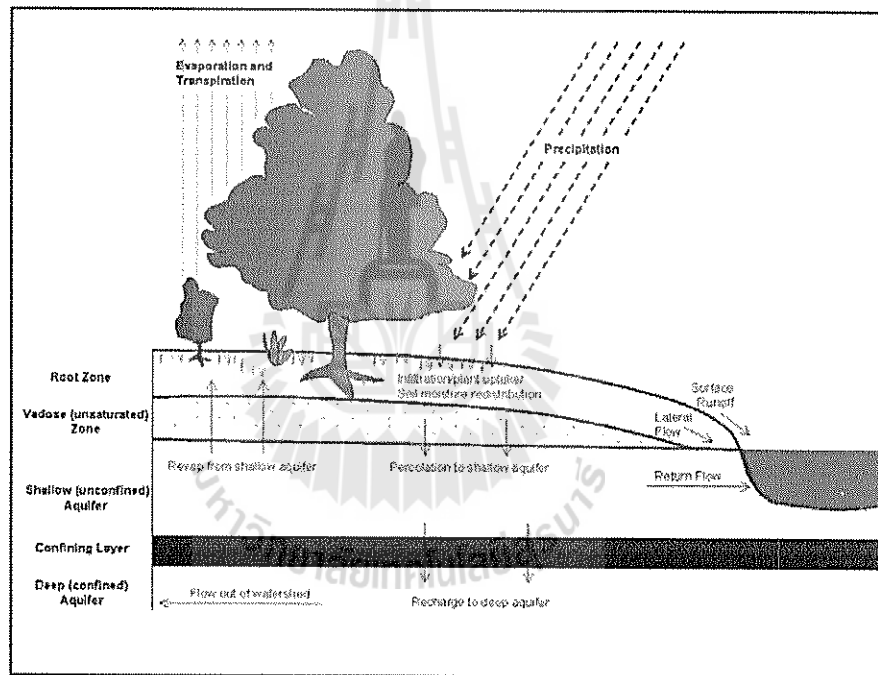
วิโรจน์ ชัยธรรม (2530) กล่าวว่า การมีน้ำไหลในแม่น้ำ ลำคลองสามารถอธิบายได้จาก “วัฏจักรทางอุทกวิทยา” โดยเริ่มอธิบายจากความชื้นในบรรยากาศ (Atmospheric moisture) ที่อาจมองเห็นในรูปของเมฆหมอกที่เกิดมาจากการระเหยของน้ำจากแหล่งต่างๆ บนผิวโลก ที่มีความชื้นที่เหมาะสมกลั่นตัวเป็นละอองน้ำตกลงสู่พื้นดิน เรียกว่าน้ำจากอากาศหรือหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) โดยอาจอยู่ในรูปแบบของฝน (Rain) ลูกเห็บ (Hail) หิมะ (Snow) เป็นต้น น้ำที่ตกลงมานี้บางส่วนถูกดักเอาไว้ด้วยสิ่งปกคลุม (Interception) เช่น ใบไม้ เศษวัสดุ สิ่งก่อสร้าง ปริมาณน้ำที่กักเก็บได้ในพื้นที่รับน้ำจะไหลรวมลงสู่แม่น้ำ ลำธาร บางส่วนไหลแทรกซึมลงใต้ผิวดิน (Infiltration) ทำให้เกิดการไหลใต้ผิวดิน (Subsurface flow) และบางส่วนไหลซึมลงลึกกลายเป็นน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล (Ground water) และบางส่วนไหลออกสู่ระบบน้ำผิวดิน (Surface runoff) และแม่น้ำ น้ำในแม่น้ำในที่สุดไหลลงสู่ทะเลและมหาสมุทร ในขณะที่น้ำบางส่วนรวมถึงน้ำจากการคายน้ำของพืชทางใบ (Transpiration) เปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำคือการระเหย (Evaporation) กลับขึ้นสู่

บรรยากาศตลอดเวลาเนื่องจากความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าวัฏจักรของน้ำหมุนเวียนไปไม่มีที่สิ้นสุด (ภาพที่ 2.1) และสามารถแสดงได้ด้วยสมการความสมดุลของน้ำ (Water balance) ดังนี้

$$R = P - E - A \quad (2.1)$$

- เมื่อ
- R คือ ปริมาณน้ำท่า (น้ำที่ไหลบนผิวดิน)
 - P คือ ปริมาณน้ำฝน โดยรวมน้ำทุกชนิดที่ตกมาจากฟ้า
 - E คือ ปริมาณการสูญเสียน้ำ ได้แก่ การระเหยการคายน้ำและการซึมลงดิน
 - A คือ ปริมาณการกักเก็บน้ำสะสมในลุ่มน้ำ

โดยหน่วยของทุกตัวแปรต้องเป็นหน่วยเดียวกันจึงสามารถบวกลบกันได้ เช่น มิลลิเมตร เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 วัฏจักรทางอุทกวิทยา (Neitsch, Arnold, Kiniry, and Williams, 2005)

ในจำนวนน้ำทั้งหมดที่มีอยู่บนโลกสามารถแบ่งออกโดยประมาณได้ว่า น้ำในทะเลและมหาสมุทร มีประมาณร้อยละ 97 น้ำแข็งขั้วโลกเหนือและใต้ประมาณร้อยละ 2 น้ำใต้ดินประมาณร้อยละ 0.3 ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 0.7 หรือเทียบกับ 4×10^{15} ลบ.ม. เป็นแหล่งน้ำจืดผิวดิน จากผลการศึกษาของอัตราการไหลของน้ำและตะกอนจากแม่น้ำลงสู่มหาสมุทรทั่วโลกพบว่าปริมาณน้ำจืดทั่วโลกที่ไหลลงสู่มหาสมุทรมีปริมาณ 1.2×10^6 ลบ.ม.ต่อวินาที ความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกอนที่ไหลลงสู่มหาสมุทรคือ 360 มก.ต่อลิตร และอัตราการปล่อยตะกอนแขวนลอยลงสู่มหาสมุทรสูงถึง 13.5×10^9 ลบ.ต.ต่อปี (วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530)

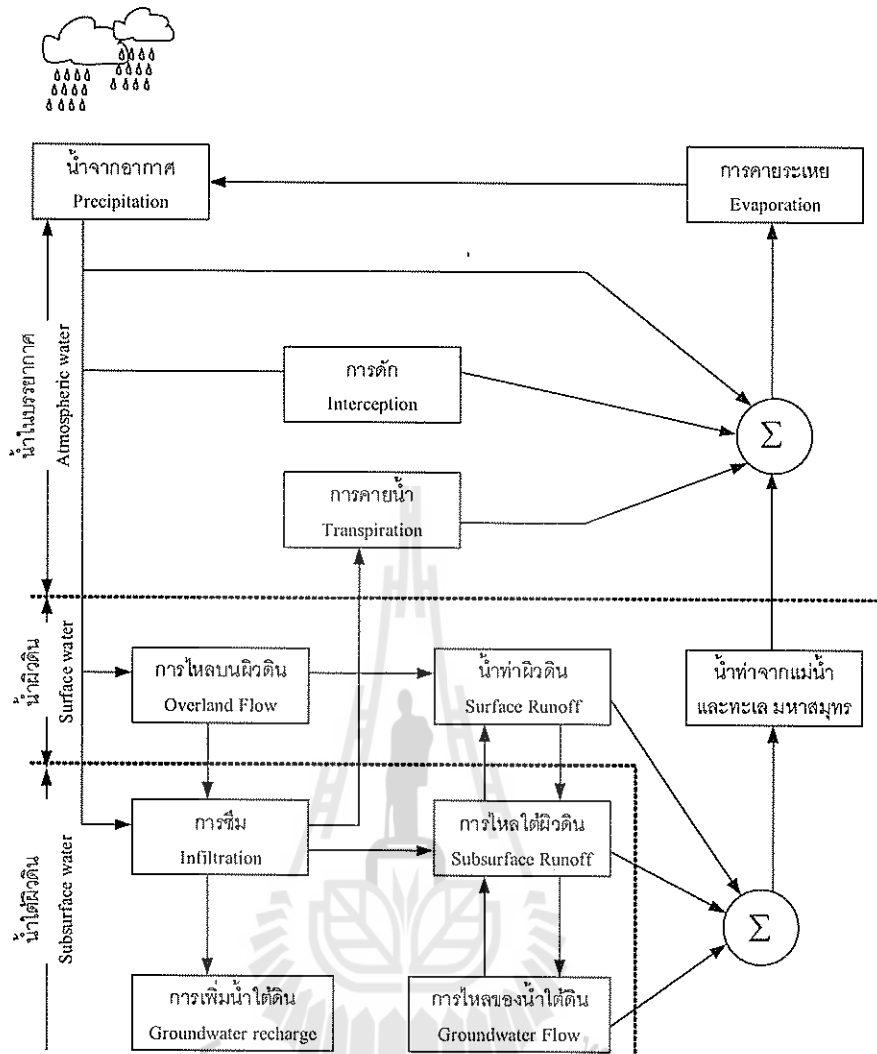
จากปริมาณฝนที่ตกในประเทศไทยจำนวน 800,000 ลบ.ม. ส่วนใหญ่ระเหยกลับขึ้นสู่บรรยากาศ บางส่วนถูกพืชนำไปใช้และซึมลงสู่ใต้ดิน จึงเหลือปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ลำธาร แม่น้ำ และทะเลเพียงร้อยละ 25 หรือประมาณ 200,000 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี หรือเท่ากับ 6,340 ลบ.ม. ต่อวินาที คิดเป็นร้อยละ 0.5 ของปริมาณน้ำทั่วโลกที่ไหลลงสู่ทะเลและมหาสมุทร (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2549) ดังแสดงเป็นแผนภาพวงจรอุทกวิทยาในภาพที่ 2.2

2.1.2 ลุ่มน้ำ (Watershed)

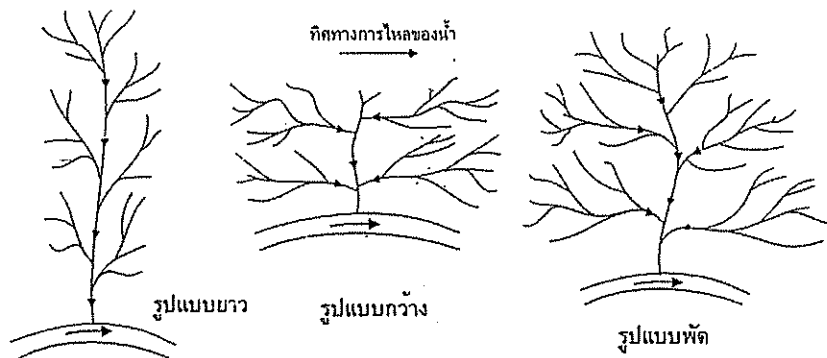
การวิเคราะห์ทางกายภาพของกลศาสตร์ของแม่น้ำตั้งอยู่บนพื้นฐานของหลักการขนส่งน้ำและตะกอนจากพื้นที่สูงลงสู่มหาสมุทร โดยไหลมาตามแม่น้ำลำธารด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกพื้นที่ผิวของดินแดนภายในขอบเขตของสันปันน้ำที่รวบรวมน้ำฝนและระบายน้ำลงสู่แม่น้ำในช่วงหนึ่งๆ จะทำหน้าที่เป็นพื้นที่รับน้ำเรียกว่าลุ่มน้ำ (Watershed) อาจเรียกเป็นแอ่งระบายน้ำ (Drainage basin) หรือพื้นที่รับน้ำ (Catchment area) ก็ได้ พื้นที่ลุ่มน้ำหนึ่งๆ จะมีขนาดรูปร่าง สัณฐานและลักษณะทางภูมิศาสตร์ ธรณีวิทยา ชนิดของพืชและแบบรูป (Pattern) การระบายน้ำแตกต่างกันออกไปและมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนในการระบายน้ำลงสู่แม่น้ำ แบบรูปของลุ่มน้ำแบ่งออกเป็นรูปทรงตามยาว รูปทรงตามกว้างและรูปทรงบานออกเหมือนพัด (วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530) ดังแสดงในภาพที่ 2.3

ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) หน่วยเป็นตารางกิโลเมตรกับความยาวของลำน้ำหลัก (L) หน่วยเป็นกิโลเมตร สำหรับแม่น้ำขนาดใหญ่และสำคัญสามารถแสดงความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง ตามที่ Eagleson (1970, อ้างถึงใน วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530) โดยที่ความยาวของลำน้ำหลักเพิ่มขึ้นประมาณเท่ากับรากที่สองของพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$L = 1.31A^{0.568} \quad (2.2)$$

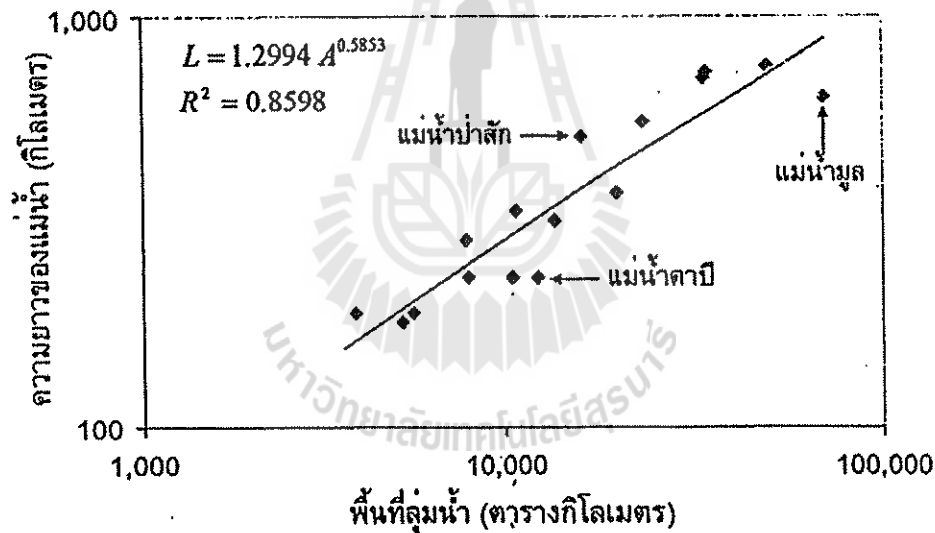


ภาพที่ 2.2 แผนภาพวงจรอุทกวิทยา (เกียรติ ลีวัจนกุล, มปป)



ภาพที่ 2.3 แบบรูปของตม่น้ำ (วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530)

ในประเทศไทยได้มีการแบ่งพื้นที่ออกเป็น 25 กลุ่มน้ำหลัก รวมมีพื้นที่ทั้งสิ้น 511,365 ตร.กม. ปริมาณน้ำในแม่น้ำในประเทศไทยประมาณร้อยละ 57 ระบายลงสู่อ่าวไทย โดยไหลมาจากแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำบางปะกงและแม่น้ำในภาคใต้ฝั่งตะวันออก แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแม่น้ำสายสำคัญของประเทศไทย เนื่องจากเมื่อพิจารณารวมกับกลุ่มน้ำที่เป็นสาขาทั้งหมดจะมีพื้นที่ระบายน้ำรวมประมาณ 1 ใน 3 ของพื้นที่ทั้งประเทศ ส่วนแม่น้ำชีและมูลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ลุ่มน้ำรวมประมาณร้อยละ 20 ของเนื้อที่ทั้งประเทศ โดยระบายน้ำลงสู่มหาสมุทรอินเดีย อันเป็นแม่น้ำนานาชาติที่ประเทศไทยไม่สามารถดึงน้ำที่ระบายไปกลับมาใช้ประโยชน์ได้โดยตรง เมื่อพิจารณาในแง่ของความยาวจะพบว่าแม่น้ำชีมีความยาวมากที่สุดคือ 765 กม. แม่น้ำที่มีความยาวรองลงมาได้แก่แม่น้ำน่าน ปิง มูล ยมและป่าสัก มีความยาวเท่ากับ 740 715 641 555 และ 510 กม. ตามลำดับ (วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530) เมื่อนำเอาพื้นที่ลุ่มน้ำกับความยาวแม่น้ำสายหลักในกลุ่มน้ำนั้นมาสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้น (ภาพที่ 2.4) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.860



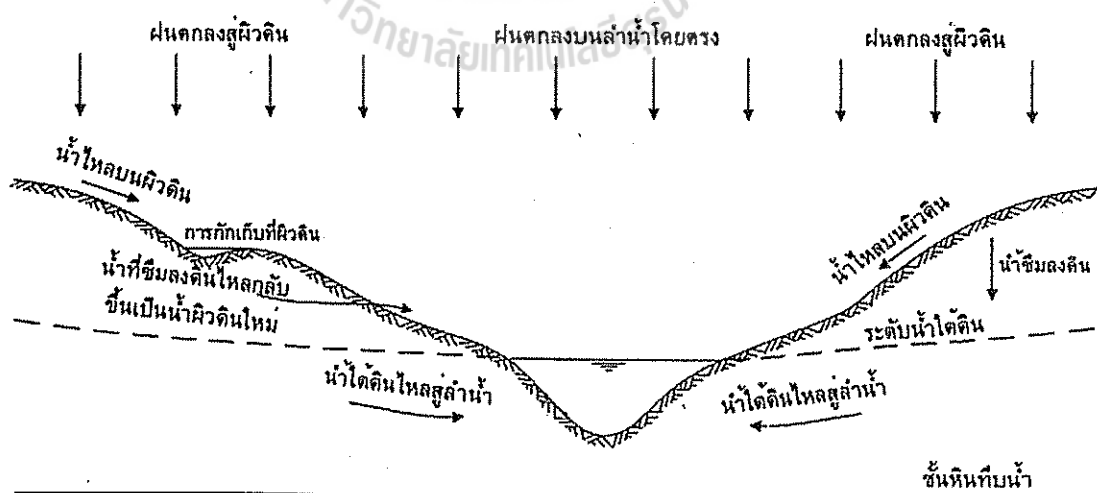
ภาพที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ลุ่มน้ำกับความยาวแม่น้ำ (วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530)

จากความสัมพันธ์ในภาพที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ลุ่มน้ำกับความยาวของแม่น้ำสายหลักในกลุ่มน้ำในประเทศไทยมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับที่ Eagleson (1970, อ้างถึงใน วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530) เสนอไว้ อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตคือ แม่น้ำมูลและแม่น้ำตาปีมีพื้นที่ลุ่มน้ำใหญ่แต่ความยาวค่อนข้างสั้น ในขณะที่แม่น้ำป่าสักมีความยาวค่อนข้างมากแต่พื้นที่ลุ่มน้ำเล็ก

2.1.3 กระบวนการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า (Process of rainfall-runoff)

น้ำฝนที่ตกลงในลุ่มน้ำหนึ่งๆ บางส่วนเกิดการสูญเสียบไปเนื่องจากการระเหยกลับสู่บรรยากาศ บางส่วนแทรกซึมลงใต้ผิวดิน (Infiltration) หรือไหลลึกซึมผ่านลงสู่ใต้ดิน (Percolation) บางส่วนถูกกักเก็บบนผิวดินหรือบนวัตถุผิวดิน น้ำฝนส่วนเกินจากนี้จะสะสมรวมกันแล้วขังอยู่ชั่วขณะหนึ่ง (Surface runoff) และไหลด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกไปสู่ลำน้ำขนาดเล็กจากลำน้ำขนาดเล็กจึงเป็นลำน้ำขนาดใหญ่ในลุ่มน้ำขนาดใหญ่และเป็นแม่น้ำในที่สุด น้ำที่ไหลส่วนนี้เรียกว่าน้ำท่า (Runoff) น้ำฝนบางส่วนตกลงสู่แม่น้ำโดยตรง น้ำบางส่วนที่ไหลซึมลงดินอาจไหลกลับสู่ผิวดินที่มีระดับต่ำกว่าได้ กลายเป็นน้ำผิวดินอีกครั้ง ซึ่งน้ำผิวดินก็อาจไหลซึมลงดินได้อีกเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในดินแต่ละแห่งที่น้ำผิวดินไหลไปในขณะที่น้ำที่ซึมลงใต้ดินในระดับที่ลึกๆ บางส่วนก็อาจไหลเข้าสู่แม่น้ำได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามอัตราเร็วในการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินจะช้ามากเมื่อเทียบกับน้ำที่ไหลบนผิวดิน (วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530)

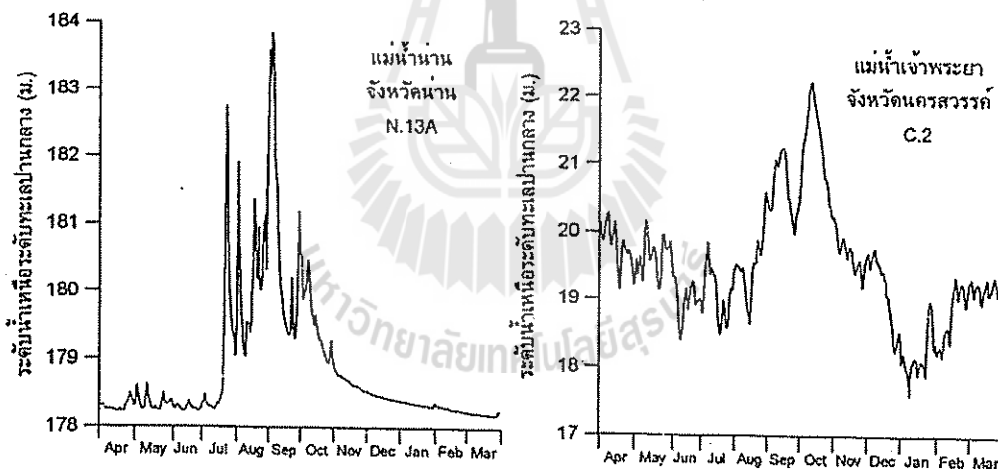
กระบวนการไหลของน้ำ (Runoff process) สามารถแสดงในภาพที่ 2.5 โดยแบ่งองค์ประกอบออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนประกอบที่ไหล (Flow component) กับส่วนประกอบที่กักเก็บ (Storage component) สำหรับส่วนประกอบของน้ำส่วนที่ไหลนี้ ยังแบ่งย่อยออกเป็น ส่วนที่ไหลอย่างช้าๆ ผ่านไปตามช่องว่างระหว่างอนุภาคของดิน กับส่วนที่ไหลอย่างรวดเร็วไปตามผิวดิน เนื่องจากกระบวนการไหลของน้ำมีความซับซ้อนและมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมากดังนั้นการชี้ให้เห็นถึงภาพรวมของปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำต่างๆ จึงเป็นเรื่องสำคัญ (วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530)



ภาพที่ 2.5 กระบวนการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า (วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530)

2.1.4 กราฟอุทก (Hydrograph)

ลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งของแม่น้ำคือความสามารถในการลำเลียงน้ำซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยกราฟอุทก ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลระดับน้ำ (Water level) ที่วัดได้หรืออัตราไหล (Discharge) กับอนุกรมเวลา รูปร่างของกราฟอุทกขึ้นอยู่กับลักษณะทางอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น ลักษณะกักเก็บน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำมีความสัมพันธ์กับการปล่อยน้ำลงสู่แม่น้ำ เช่น พื้นที่ลุ่มน้ำที่ค่อนข้างราบและมีพืชปกคลุมอย่างดี มีการกักเก็บน้ำสูงทำให้การปล่อยน้ำฝนลงสู่แม่น้ำเป็นไปอย่างช้าๆ ใช้เวลานานหลังจากที่ฝนหยุดตก ลักษณะของเส้นกราฟอุทกจะค่อนข้างราบเรียบและมีการหน่วงเวลาสูง ลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำแบบนี้จะอยู่ที่บริเวณส่วนปลายของแม่น้ำ สำหรับแม่น้ำที่มีลำน้ำสาขามากและอยู่ในพื้นที่สูงชันจะมีลักษณะเส้นกราฟอุทกไม่ราบเรียบและมีการหน่วงเวลาต่ำตัวอย่าง ของกราฟอุทกที่บันทึกไว้ในประเทศไทย เช่น ที่แม่น้ำน่าน จังหวัดน่าน (สถานี N. 13A) ใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำขนาดเล็ก และมีพื้นที่ลาดชัน และที่แม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดนครสวรรค์ ใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำขนาดใหญ่และมีพื้นที่ค่อนข้างราบ ที่บันทึกในช่วง เมษายน 2540 ถึง มีนาคม 2541 (วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530) ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างกราฟอุทกที่วัดได้ในประเทศไทย (วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530)

จากการเปรียบเทียบกราฟอุทกจะเห็นได้ว่าที่แม่น้ำน่านซึ่งเป็นสาขาต้นน้ำหนึ่งของแม่น้ำเจ้าพระยา ลักษณะพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นภูเขาสูง ระดับน้ำอยู่เหนือกว่าระดับทะเลปานกลางเกือบสองร้อยเมตร เส้นกราฟอุทกมีการขึ้นเร็วลงเร็วและมีความผันแปรสูง เนื่องจากเป็นพื้นที่ต้นน้ำขนาดเล็กและเป็นพื้นที่ลาด เมื่อมีฝนตกในลุ่มน้ำ น้ำผิวดินจะไหลลงสู่แม่น้ำได้เร็ว ระดับน้ำในแม่น้ำจึงสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและลดลงอย่างรวดเร็วด้วยเช่นกันหลังจากที่ฝนหยุดตก ระดับน้ำสูงสุดจะอยู่ในช่วงปลายเดือนสิงหาคมถึงต้นเดือนกันยายน นอกจากนี้ยังพบว่ามีการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้งที่จังหวัดนครสวรรค์ เนื่องจากเป็นจุดรวบรวมน้ำจากแม่น้ำปิง วัง ยม และน่าน ดังนั้นปริมาณน้ำจึงมาก พื้นที่ลุ่มน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นจากการรวมตัวกันของลุ่มน้ำย่อยๆ หลายลุ่มมีปริมาตรการกักเก็บน้ำสูง การปล่อยน้ำจากส่วนกักเก็บลงสู่แม่น้ำจึงเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป การเพิ่มหรือลดระดับน้ำจากเหตุการณ์ฝนตกที่ต้นน้ำที่ใดที่หนึ่ง จึงไม่ส่งผลกระทบต่อมากนักกับระดับน้ำที่นี่ และเนื่องจากน้ำต้องใช้เวลาดำเนินทาง ดังนั้นระดับน้ำสูงสุดพบว่าล่าช้ากว่ากรณีที่พบในสถานีต้นน้ำคืออยู่ในช่วงสัปดาห์ที่สองของเดือนตุลาคม จากการที่ลุ่มน้ำมีขนาดใหญ่จึงสามารถกักเก็บน้ำไว้ได้เป็นจำนวนมาก และมีน้ำไหลในแม่น้ำตลอดเวลาแม้ในฤดูแล้ง

ถ้าพิจารณาถึงส่วนปลายของแม่น้ำเจ้าพระยา ปริมาณน้ำได้จากการรวมกันหลายๆ สาขาลำน้ำย่อย มีพื้นที่รับน้ำเป็นที่ราบลุ่มแบบน้ำท่วมถึง ความลาดของพื้นที่น้อยมาก การเดินทางของน้ำช้า จึงมีเส้นกราฟอุทกแบบขึ้นช้าลงช้า มีการหน่วงของปริมาณน้ำสูงจึงไม่เห็นเส้นหยักของระดับน้ำ ในช่วงฤดูแล้งปริมาณน้ำในแม่น้ำมีน้อย ระดับน้ำในแม่น้ำต่ำจึงได้รับอิทธิพลของการขึ้นลงจากน้ำทะเลด้วย

จากการที่ข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่ามีลักษณะของความไม่แน่นอน ผันแปรสูง ตัวแปรและคำตอบที่เกี่ยวข้องจึงหาได้จากกระบวนการสโตแคสติก (Stochastic process) แตกต่างจากข้อมูลที่เก็บวัดในห้องปฏิบัติการซึ่งสามารถควบคุมได้จึงได้คำตอบในเชิงกำหนด (Deterministic) ดังนั้นการเก็บข้อมูลที่ยาวนานและต่อเนื่องจึงมีความจำเป็นเพื่อใช้ในการตอบคำถามถึงปริมาณน้ำที่ต่ำสุดหรือสูงสุด เนื่องจากการเก็บวัดข้อมูลน้ำฝนทำได้ง่าย มีการเก็บวัดกระจายทั่วทุกพื้นที่และถูกจัดเก็บไว้ในช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน ในขณะที่การเก็บวัดข้อมูลน้ำท่ามีความยุ่งยาก ข้อมูลมีเฉพาะแม่น้ำสายสำคัญ รวมถึงการเก็บวัดข้อมูลทำได้ไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงมีความพยายามในการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนกับน้ำท่า อย่างไรก็ตามข้อดีของกระบวนการเปลี่ยนน้ำฝนไปเป็นน้ำท่านี้ไม่ค่อยแม่นยำนัก ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติของลุ่มน้ำมีความซับซ้อน เช่น ชนิดของดิน การปลูกพืช ความลาดเอียงของพื้นที่ ขนาดและรูปร่างของพื้นที่รับน้ำ ปริมาณความชื้นในดิน เป็นต้น ทำให้การอธิบายถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนไปเป็นน้ำท่าขาดความแม่นยำ (วิโรจน์ ชัยธรรม, 2530)

2.2 แบบจำลอง SWAT

แบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool) ถูกพัฒนาขึ้น โดย Blackland Research Center, TAES (Texas Agriculture Experiment Station) และ United States Department of Agriculture-Agriculture Research Service (USDA-ARS) เพื่อใช้ในการทำนายผลกระทบของการใช้ที่ดินต่อทรัพยากรน้ำ ได้แก่ น้ำท่า ตะกอนและสารเคมีจากการเกษตรของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน ที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพดิน การใช้ที่ดินและการจัดการ แบบจำลอง SWAT สามารถจำลองกระบวนการทางกายภาพต่างๆ ที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำ โดยแบ่งลุ่มน้ำที่ต้องการศึกษา ออกเป็นลุ่มน้ำย่อย ข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องกำหนดให้แต่ละลุ่มน้ำย่อยประกอบด้วย ภูมิอากาศ หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Response Unit, HRUs) หนอง บึง น้ำใต้ดิน ลำน้ำสายหลัก ลำน้ำสาขา เป็นต้น (Neitsch et al., 2005)

การวิเคราะห์และการคำนวณด้วยแบบจำลอง SWAT แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนพื้นดิน (Land phase) และส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำ (Routing phase) ในการวิเคราะห์ส่วนพื้นดินจะจำลองกระบวนการวัฏจักรอุทกวิทยา เพื่อประเมินหาปริมาณน้ำท่า และการวิเคราะห์ของส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำจะคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำตลอดทั้งโครงข่ายระบบลำน้ำของลุ่มน้ำที่ศึกษา

ขั้นตอนการจำลองกระบวนการวัฏจักรทางอุทกวิทยา จะกำหนดให้ปริมาณฝนที่ตกลงสู่พื้นดินถูกพืชกักไว้เป็นบางส่วน ปริมาณฝนส่วนที่เหลือที่ไหลลงสู่ผิวดินก็จะไหลซึมลงสู่ผิวดินหรือซังนองอยู่ตามผิวดินแล้วรวมตัวกัน ไหลลงสู่ที่ต่ำ จนกระทั่ง ไปเป็นน้ำท่าอยู่ในแม่น้ำลำธาร สำหรับปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงสู่ผิวดินส่วนหนึ่งจะถูกเก็บกักไว้ในเนื้อดิน ซึ่งต่อมาจะระเหยคืนสู่บรรยากาศโดยพืชและอีกส่วนหนึ่งจะไหลซึมต่อไปยังชั้นน้ำใต้ดินกลายเป็นน้ำใต้ดินและไหลกลับลงสู่แม่น้ำลำธารเมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง โดยการไหลไปทางด้านข้างของชั้นน้ำใต้ดิน

แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่จำลองลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ เป็นแบบการกระจายพารามิเตอร์ตามสภาพทางกายภาพของพื้นที่จริง แบบจำลองนี้สามารถใช้ทำนายผลกระทบของการใช้ที่ดินต่อทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนที่มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพดิน การใช้ที่ดินและการจัดการคุณสมบัติสำคัญของแบบจำลอง SWAT สรุปได้ดังนี้

(1) เป็นแบบจำลองบนพื้นฐานของลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำที่อาศัยข้อมูลนำเข้าจำเพาะเกี่ยวกับภูมิอากาศ คุณสมบัติของดิน ลักษณะภูมิประเทศ พืชพรรณ และการจัดการการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ เพื่อจำลองกระบวนการทางกายภาพเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของน้ำ การเคลื่อนที่ของตะกอน การเจริญเติบโตของพืช วัฏจักรของธาตุอาหาร และอื่นๆ

(2) สามารถคำนวณหรือปฏิบัติการในระดับการเปลี่ยนแปลงรายวัน รายเดือนและรายปี ในช่วงระยะเวลาที่ยาวนาน (100 ปีขึ้นไป) เพื่อประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

(3) เป็นแบบจำลองทางเลือกในการคำนวณฝนส่วนเกิน โดยวิธี SCS Curve Number และ Green-Amplitude ซึ่งถูกยอมรับอย่างกว้างขวาง กระบวนการจัดการไม่ซับซ้อน การนำพารามิเตอร์มาใช้ในแบบจำลองมีความสมเหตุสมผล

นอกจากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น แบบจำลอง SWAT ยังเป็นแบบจำลองที่สามารถดาวน์โหลดได้ฟรีจากทางเว็บไซต์ <http://www.swatmodel.tamu.edu>

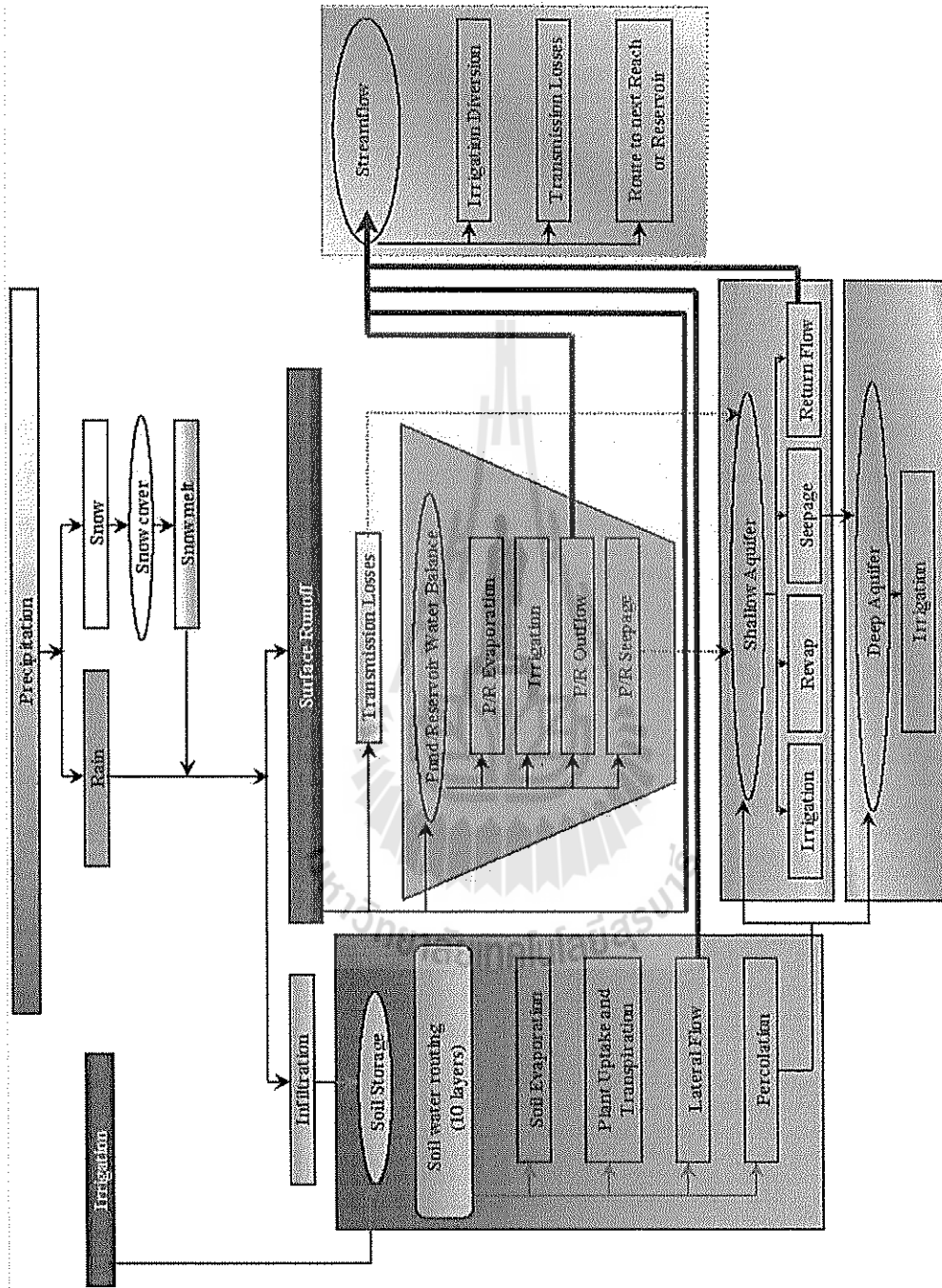
2.2.1 การคำนวณทางอุทกวิทยาของแบบจำลอง SWAT ส่วนพื้นดิน (Land Phase)

ในการคำนวณวัฏจักรอุทกวิทยาในส่วนพื้นดินจะอาศัยสมการสมดุลน้ำ ดังนี้

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{secp} - Q_{gw}) \quad (2.3)$$

เมื่อ	SW_t	คือ ปริมาณน้ำในดินสุดท้าย (มม.)
	SW_o	คือ ปริมาณน้ำในดินเริ่มต้นในวันที่ i (มม.)
	t	คือ เวลา (วัน)
	R_{day}	คือ ปริมาณฝนในวันที่ i (มม.)
	Q_{surf}	คือ ปริมาณน้ำผิวดินในวันที่ i (มม.)
	E_a	คือ ปริมาณการคายระเหยในวันที่ i (มม.)
	W_{secp}	คือ ปริมาณการไหลซึมลงสู่ชั้นใต้ดินในวันที่ i (มม.)
	Q_{gw}	คือ ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลกลับสู่ลำน้ำในวันที่ i (มม.)

ในขั้นตอนการจำลองกระบวนการของวัฏจักรทางอุทกวิทยาจะกำหนดให้ปริมาณฝนที่จะตกลงสู่พื้นดินถูกพืชกักไว้เป็นบางส่วน ปริมาณฝนส่วนที่เหลือที่ไหลลงสู่ผิวดินจะไหลซึมลงสู่ผิวดินหรือขังนองอยู่ตามผิวดินแล้วรวมตัวกันไหลลงสู่ที่ต่ำ จนกระทั่งไปอยู่ในแม่น้ำลำธาร กลายเป็นน้ำท่าสำหรับปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงสู่ผิวดินส่วนหนึ่งก็จะไหลซึมต่อไปยังชั้นน้ำใต้ดิน กลายเป็นน้ำใต้ดินซึ่งจะไหลกลับลงสู่แม่น้ำลำธารเมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งด้วยการไหลไปทางด้านข้างของน้ำใต้ดิน ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 แผนภาพเส้นทาง การเคลื่อนที่ของน้ำในแบบจำลอง SWAT (Neitsch et al., 2005)

2.2.1.1 การคำนวณปริมาณน้ำท่าผิวดิน

น้ำท่าผิวดินเกิดขึ้นเมื่ออัตราเข้าของน้ำในพื้นที่รับน้ำสู่พื้นดินมีอัตราเกินกว่าอัตราการซึม โดยที่อัตราการซึมจะเริ่มลดลงเมื่อดินมีความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำที่เข้าสูงกว่าอัตราการซึมมากจะเกิดการดักที่ผิวดิน และเมื่อเต็มพื้นที่เก็บกักของการดักที่ผิวดินแล้วน้ำที่ไหลต่อมาจะเป็นน้ำท่าผิวดิน ในแบบจำลอง SWAT ผู้ใช้สามารถเลือกคำนวณปริมาณของน้ำท่าผิวดินและค่าอัตราการไหลของน้ำท่าสูงสุดจำแนกได้ 2 วิธี ได้แก่ SCS Curve Number และวิธี Green & Ampt infiltration ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกการคำนวณค่าน้ำท่าผิวดินด้วยวิธี SCS Curve Number

The Soil Conservation Service (1972, อ้างถึงใน Neitschet al., 2005) ได้พัฒนาวิธีนี้ขึ้นสำหรับการคำนวณหาค่าการดักน้ำจากน้ำฝนเป็นค่าของความสูงของฝนส่วนเกิน (Excess precipitation) หรือน้ำท่าตรง (Direct runoff P_c) ดังแสดงในภาพที่ 2.8 กล่าวคือ หลังจากฝนเริ่มตกจะค่อยๆ มีการเพิ่มความลึกน้ำในลุ่มน้ำ ค่าการดักซึม (F_a) ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับศักยภาพสูงสุดของการกักน้ำ (Retention, S) จะมีปริมาณของน้ำฝนเริ่มดักซึม I_a (Initial abstraction before ponding) สำหรับการที่ไม่มีน้ำท่าเกิดขึ้น ดังนั้นค่าศักยภาพของน้ำท่านั้นคือ $P - I_a$ สมมติฐานของวิธี SCS คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณของศักยภาพทั้งสองส่วนนั้นเท่ากัน ดังนี้

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_c}{P - I_a} \quad (2.4)$$

และจากสมการ (2.4) สามารถคำนวณหาค่า P

$$P = P_c + I_a + F_a \quad (2.5)$$

เมื่อ	P	คือ น้ำท่ารวม (Total rainfall) (มม.)
	P_c	คือ น้ำท่าตรง (Direct runoff) (มม.)
	I_a	คือ ปริมาณน้ำฝนเริ่มดักซึม (Initial abstraction) (มม.)
	F_a	คือ ค่าการดักซึม (Continuing abstraction) (มม.)

จะได้

$$P_c = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (2.6)$$

ซึ่งเป็นสมการพื้นฐานสำหรับการคำนวณค่าความลึกของฝนส่วนเกิน (Excess rainfall) หรือน้ำท่าจากพายุฝนโดยวิธี SCS Curve Number

จากการศึกษาที่ผ่านมาของแบบการทดลองลุ่มน้ำ จะได้ความสัมพันธ์ $I_a = 0.2S$ ดังนั้นจะได้

$$P_c = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (2.7)$$

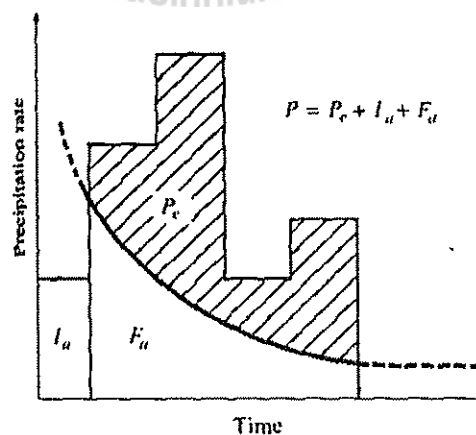
เมื่อพล็อตค่าข้อมูลสำหรับ P และ P_c จากหลายลุ่มน้ำ SCS ได้โค้งสำหรับแต่ละชนิดดังแสดงในภาพที่ 2.8 และภาพที่ 2.9 เพื่อเป็นการหามาตรฐานของโค้งนี้ จะได้ค่ามิติของ Curve number CN มีค่าระหว่าง 0 ถึง 100 สำหรับพื้นที่ที่เปียก ค่า CN เท่ากับ 100 ในขณะที่พื้นที่สภาพธรรมชาติ ค่า CN จะน้อยกว่า 100

ค่า Curve number และ ศักยภาพสูงสุดของการกักน้ำ (S) มีความสัมพันธ์ดังนี้

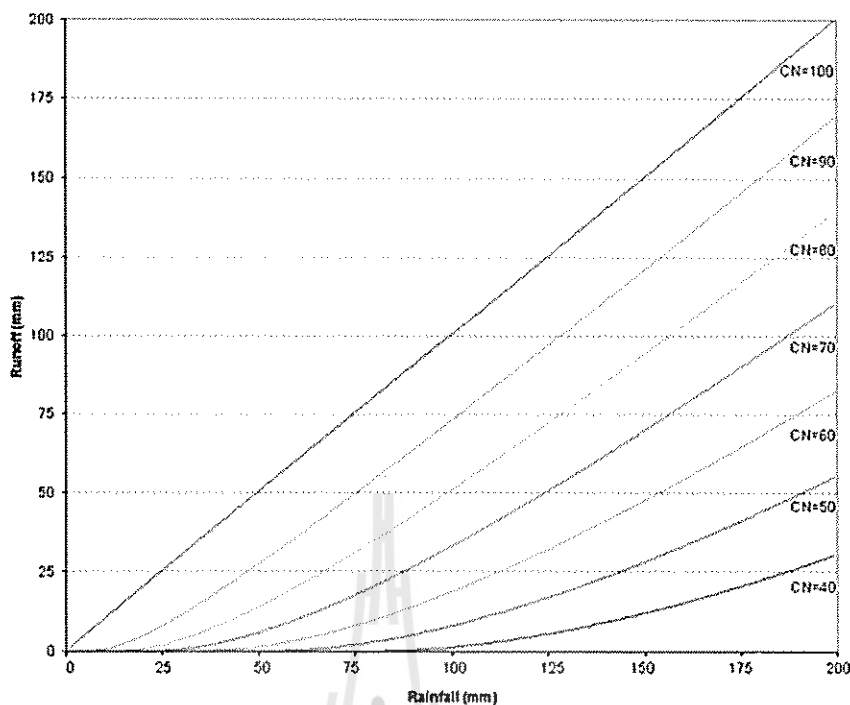
$$S = \frac{100}{CN} - 10 \quad (2.8)$$

โดยที่ ศักยภาพสูงสุดของการกักน้ำ (S) มีหน่วยเป็นนิ้วและค่า Curve number แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือเงื่อนไขความชื้นในดินก่อนหน้า (Antecedent moisture condition) ปกติ (AMC II) เงื่อนไขความชื้นในดินก่อนหน้า สำหรับสภาวะแห้งแล้ง (AMC I) และเงื่อนไขความชื้นในดินก่อนหน้า สภาวะเปียก (AMC III) โดยมีการเทียบการคำนวณดังต่อไปนี้

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad \text{และ} \quad CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$



ภาพที่ 2.8 สมมติฐานของวิธี SCS (Neitschet al., 2005)



ภาพที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของน้ำฝนและน้ำท่าด้วยวิธี SCS curve number (Neitschet al., 2005)

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่า CN มีดังต่อไปนี้

(1)คุณสมบัติทางอุทกวิทยาของดิน (Hydrologic soil group) ที่แบ่งกลุ่มดินออกเป็น 4 กลุ่ม คือ A B C และ D โดยแต่ละกลุ่มดินจะขึ้นอยู่กับอัตราการซึมน้ำของดิน ดังต่อไปนี้

กลุ่ม A (Low runoff potential) ดินในกลุ่มนี้จะมีอัตราการซึมน้ำสูงถึงแม้ว่าจะเปียกชุ่มแล้วก็ตาม ส่วนมากประกอบด้วยทรายและกรวด มีความลึกจากผิวดินลงไปมากและมีความสามารถระบายน้ำได้ดี ดินประเภทนี้จะมีอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำผ่าน (Water transmission) สูงด้วยเหตุดังกล่าวจึงมีศักยภาพน้ำท่า (Runoff potential) ต่ำมาก

กลุ่ม B ดินในกลุ่มนี้มีอัตราการซึมน้ำปานกลางเมื่อเปียกชุ่ม มีความลึกปานกลางถึงลึกมาก การระบายน้ำดีปานกลางและดี ดินประเภทนี้มีเนื้อตั้งแต่ละเอียดปานกลางจนถึงหยาบปานกลาง นอกจากนั้นยังมีอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านดินปานกลาง

กลุ่ม C ดินในกลุ่มนี้มีอัตราการซึมน้ำของน้ำลงดินต่ำเมื่อเปียกชุ่ม ส่วนใหญ่ประกอบด้วยชั้นดินซึ่งขัดขวางต่อการเคลื่อนตัวลึกของน้ำ ดินประเภทนี้มีเนื้อละเอียดปานกลางจนถึงละเอียดและมีอัตราการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านดินต่ำ

กลุ่ม D (High runoff potential) ดินในกลุ่มนี้มีอัตราการซึมน้ำลงดินต่ำมากเมื่อเปียกชุ่ม ส่วนใหญ่จะเป็นพวกดินเหนียวที่มีศักยภาพในการบวมตัวสูง เป็นพวกดินที่มีระดับน้ำใต้

ดินอยู่สูงตลอดเวลา เป็นดินที่มีชั้นดินเหนียวอยู่ใกล้ๆ กับผิวดินหรือเป็นพวกดินที่มีชั้นดินซึ่งน้ำซึมผ่าน ได้ยากอยู่ใกล้กับผิวดิน เป็นต้น อัตราการเคลื่อนตัวของน้ำผ่านดินประเภทนี้จะต่ำมาก

(2) สิ่งปกคลุมดิน (Land cover) คือ ลักษณะสิ่งปกคลุมดินซึ่งป้องกันการกระแทกของเม็ดฝนที่ตกลงมาสู่ดิน ประกอบด้วย ลักษณะการใช้ที่ดิน (Land use) และการรักษาหน้าดิน (Land treatment) จะเกี่ยวข้องกับลักษณะและวิธีการปลูกพืช การเตรียมแปลง โดยแบ่งออกเป็นการทำการเพาะปลูกเป็นแถว (Straight-row) การทำการเพาะปลูกเป็นแถวตามระดับพื้นที่ (Contoured) และการทำการเพาะปลูกเป็นขั้นบันได (Terraced)

(3) สภาพทางอุทกวิทยา (Hydrologic condition) โดยแบ่งออกเป็น

- สภาพเลว (Poor) มีพืชคลุมดินพื้นที่น้อยกว่าร้อยละ 50
- สภาพปานกลาง (Fair) มีพืชคลุมดินพื้นที่ระหว่างร้อยละ 50-75
- สภาพดี (Good) มีพืชคลุมดินพื้นที่มากกว่าร้อยละ 75

(4) การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use classification) จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน 4 ประเภทหลัก คือ พื้นที่ป่า (Wood, Forest) พื้นที่เกษตรกรรม (Agriculture) พื้นที่โล่งเตียนและพื้นที่อยู่อาศัย (Bare-land & residential) และพื้นที่ที่เป็นน้ำ (Water body)

(5) เจือไนความชื้นในดินเริ่มต้น (Antecedent moisture content: AMC) แบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ AMC-I-แห้ง (Wilting point) AMC-II-ชื้นเฉลี่ย และ AMC-III-เปียก (Field capacity)

ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการคำนวณน้ำท่าผิวดิน โดยวิธี SCS CN ของแบบจำลอง SWAT สรุปไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการคำนวณน้ำท่าผิวดิน โดยวิธี SCS CN ของแบบจำลอง SWAT

Variable Name	Definition	Input File
IEVENT	Rainfall, runoff, routing option.	.bsn
ICN	Daily curve number calculation method: 0 calculate daily CN value as a function of soil moisture; 1 calculate daily CN value as a function plant evapotranspiration	.bsn
CNCOEF	cnccoef: Weighting coefficient used to calculate the retention coefficient for daily curve number calculations dependent on plant evapotranspiration	.bsn
PRECIPITATION	R _{day} : Daily precipitation (mm H ₂ O)	.pcp
CN2	CN ₂ : Moisture condition II curve number	.mgt
CNOP	CN ₂ : Moisture condition II curve number	.mgt

ที่มา: Neitschet al. (2005)

2.2.1.3 การคำนวณศักยภาพการคายระเหย(Potential Evapotranspiration)

ในการคำนวณศักยภาพการคายระเหย (Potential Evapotranspiration) ในแบบจำลอง SWAT มี 3 วิธี ประกอบด้วย (1)วิธี Penman-Monteith (2)วิธี Priestley-Taylor และ (3)วิธี Hargreaves

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้วิธี Penman-Monteith ซึ่งพิจารณาถึงพลังงานที่ใช้ในการคายระเหย กลไกที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำ อากาศพลศาสตร์ และความต้านทานของพื้นผิว สมการ Penman-Monteith แสดงได้ดังนี้

$$\lambda E_t = \frac{\Delta \times (H_{net} - G) + \gamma \times K_1 (0.622 \times \lambda \times \rho_{air} / P) \times [e_z^0 - e_z] / r_a}{(\Delta + \gamma) \times (1 + r_c / r_a)} \quad (2.9)$$

เมื่อ λE_t ความหนาแน่นของฟลักซ์ความร้อนแฝง (เมกกะจูล/ตร.ม./วัน)

E อัตราการระเหย (มม./วัน)

Δ ความชันของเส้นโค้งกราฟระหว่างอุณหภูมิและความดันไออิ่มตัว (กิโลปาสกาล/องศาเซลเซียส)

H_{net} การแผ่รังสีสุทธิ (เมกกะจูล/ตร.ม./วัน)

G ความหนาแน่นของฟลักซ์ความร้อนทางภาคพื้นดิน (เมกกะจูล/ตร.ม./วัน)

ρ_{air} ความหนาแน่นอากาศ (กก./ลบ.ม.)

c_p	ค่าความร้อนจำเพาะ ณ ความดันคงที่ (เมกกะจูล/กก./องศาเซลเซียส)
e_z^0	ความดันไออิ่มตัวของอากาศ ณ ความสูง เท่ากับ z (กิโลปาสกาล)
e_z	ความดันไอน้ำของอากาศ ณ ความสูง เท่ากับ z (กิโลปาสกาล)
γ	ค่าคงที่ไซโครเมตริก(กิโลปาสกาล/องศาเซลเซียส)
r_c	ค่าความต้านทานทรงพุ่มของพืชพรรณ (วินาที/ม.)
r_a	ค่าความต้านทานแบบฟังก์กระจายของชั้นอากาศ (ความต้านทานอากาศพลศาสตร์) (วินาที/ม.)

ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการคำนวณศักยภาพการคายระเหยโดยวิธี Penman-Monteith ของแบบจำลอง SWAT สรุปไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการคำนวณศักยภาพการคายระเหยของแบบจำลอง SWAT

Variable Name	Definition	Input File
IPET	Potential evapotranspiration method	.bsn
WND_SP	U_z : Daily wind speed (m/s)	.wnd
CO2	CO_2 : Carbon dioxide concentration (ppmv)	.sub
MAX TEMP	T_{mx} : Daily maximum temperature (C)	.tmp
MIN TEMP	T_{mn} : Daily minimum temperature (C)	.tmp
GSI	$g_{l,mx}$: Maximum leaf conductance (ms^{-1})	Crop.dat
FRGMAX	$fr_{g,mx}$: Fraction of maximum leaf conductance achieved at the vapor pressure deficit specified by vdp_{fr}	Crop.dat
VPDFR	vdp_{fr} : Vapor pressure deficit corresponding to value given for $fr_{g,mx}$ (kPa)	Crop.dat

ที่มา: Neitschet al. (2005)

2.2.1.3 การคำนวณค่าของน้ำในดิน

น้ำที่เข้ามาในดินสามารถเคลื่อนย้ายผ่านดินได้หลายทาง เช่น สามารถย้ายออกจากดินได้โดยการควบไปใช้ของพืชการระเหยการซึมลงไปดินในชั้นที่ต่ำกว่าหรือไหลไปทางด้านข้างตามลำน้ำ ซึ่งกระบวนการต่างๆ เหล่านี้ ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของดิน เช่น ค่าความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) ชนิดของดิน สัดส่วนของดินเหนียว ทรายแป้ง ทราย ค่าสภาพนำน้ำ (Hydraulic conductivity) (ซึ่งค่าการนำน้ำของดินทรายมักจะมีค่ามากกว่าดินเหนียว) รวมทั้งปริมาณน้ำที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Available water content) เป็นอีกค่าหนึ่งที่น่ามาใช้ในการคำนวณด้วย ซึ่งปริมาณน้ำที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้ ของทรายแป้งจะมีค่ามากกว่าดินเหนียวและดินทรายตามลำดับ

ในแบบจำลอง SWAT มีการคำนวณปริมาณการไหลด้านข้างใต้ผิวดิน โดยแบบจำลองการกักเก็บจลนศาสตร์ (Kinematics storage model) ที่พัฒนาโดย Sloan and More (1984) โดยอาศัยสมการความต่อเนื่องของมวล (Mass continuity equation) ดังแสดงในรูปสมการต่อไปนี้

$$Q_{lat} = 0.024 \times \left(\frac{2 \times SW_{ly,excess} \times K_{sat} \times slp}{\phi_d \times L_{hill}} \right) \quad (2.10)$$

เมื่อ	Q_{lat}	คือ ปริมาณการไหลด้านข้างใต้ผิวดินที่จุดออก (มม./วัน)
	$SW_{ly,excess}$	คือ ปริมาณน้ำที่สามารถระบายได้ในชั้นดินอิ่มตัว (มม.)
	K_{sat}	คือ ค่าสภาพนำน้ำอิ่มตัวของดิน (มม.)
	slp	คือ ความลาดเฉลี่ยของกลุ่มน้ำย่อย (ร้อยละ หรือ ม./ม.)
	ϕ_d	คือ ความพรุนของดิน (มม./มม.)
	L_{hill}	คือ ความยาวของความลาดเนินเขา (ม.)

2.2.1.4 การคำนวณปริมาณการไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow)

การไหลของน้ำใต้ดินสามารถจำลองตามลักษณะของชั้นหินอุ้มน้ำ 2 ประเภทคือ ชั้นหินอุ้มน้ำตื้น (Shallow aquifer) ซึ่งเป็นชั้นน้ำที่ไม่มีแรงดัน (Unconfined aquifer) และ ชั้นหินอุ้มน้ำลึก (Deep aquifer) ที่เป็นชั้นน้ำที่มีแรงดัน (Confined aquifer) ในแบบจำลอง SWAT จะพิจารณาเฉพาะการไหลของน้ำใต้ดินจากชั้นน้ำที่ไม่มีแรงดัน เนื่องจากน้ำจะไหลเข้าสู่พื้นที่รับน้ำโดยตรง ในขณะที่ การไหลของน้ำใต้ดินจากชั้นน้ำที่มีแรงดันจะไหลออกจากพื้นที่รับน้ำไปสู่แหล่งน้ำอื่น

สมการสมดุลน้ำการไหลของน้ำใต้ดินจากชั้นหินอุ้มน้ำตื้น (Shallow aquifer) แสดงได้ดังนี้

$$aq_{sh,i} = aq_{sh,i-1} + w_{rchrg,sh} - Q_{gw} - w_{revap} - w_{pump,sh} \quad (2.11)$$

- เมื่อ $aq_{sh,i}$ คือ ปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำตื้นในวันที่ i (มม.)
- $aq_{sh,i-1}$ คือ ปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำตื้นในวันที่ $i-1$ (มม.)
- $W_{rchrg,sh}$ คือ ปริมาณน้ำที่เติมเข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำตื้นในวันที่ i (มม.)
- Q_{gw} คือ ปริมาณการไหลของน้ำใต้ดินเข้าสู่แม่น้ำลำธาร ในวันที่ i (มม.)
- W_{revap} คือ ปริมาณการไหลของน้ำใต้ดินเข้าสู่เขตรากพืช ในวันที่ i (มม.)
- $W_{pump,sh}$ คือ ปริมาณของน้ำที่ถูกสูบออกจากชั้นหินอุ้มน้ำตื้นในวันที่ i (มม.)
- ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นหินอุ้มน้ำตื้นของแบบจำลอง SWAT สรุปไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในการคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นหินอุ้มน้ำตื้นของแบบจำลอง SWAT

Variable Name	Definition	Input File
GW_DELAY	δ_{gw} : Delay time for aquifer recharge (days)	.gw
GWQMN	$aq_{shthr,q}$: Threshold water level in shallow aquifer for base flow (mm H ₂ O)	.gw
ALPHA_BF	α_{gw} : Baseflow recession constant	.gw
REVAPMN	$aq_{shthr,rvp}$: Threshold water level in shallow aquifer for revap (mm H ₂ O)	.gw
GW_REVAP	β_{rev} : Revap coefficient	.gw
RCHG_DP	β_{deep} : Aquifer percolation coefficient	.gw
GW_SPYLD	μ : Specific yield of the shallow aquifer (m/m)	.gw

ที่มา: Neitschet al. (2005)

สมการสมดุลน้ำการไหลของน้ำใต้ดินจากชั้นหินอุ้มน้ำลึก (Deep aquifer) แสดงได้ดังนี้

$$aq_{dp,i} = aq_{dp,i-1} + W_{deep} - W_{pump, dp} \quad (2.12)$$

- เมื่อ $aq_{dp,i}$ คือ ปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำลึกในวันที่ i (มม.)
 $aq_{dp,i-1}$ คือ ปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำลึกในวันที่ $i-1$ (มม.)
 W_{deep} คือ ปริมาณของน้ำที่ไหลจากชั้นหินอุ้มน้ำตื้นไปสู่ชั้นหินอุ้มน้ำลึกในวันที่ i (มม.)
 $W_{pump, dp}$ คือ ปริมาณน้ำที่ถูกสูบออกจากชั้นหินอุ้มน้ำลึกในวันที่ i (มม.)

2.2.2 การคำนวณการเคลื่อนที่ในลำน้ำ (Flood Routing) ของแบบจำลอง SWAT

ในการจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำในลำน้ำของแบบจำลอง SWAT เริ่มจากการคำนวณหาอัตราและความเร็วในการไหลของน้ำจากสมการของ Manning จากนั้น จะกำหนดวิธีการไหลของน้ำใน โครงข่ายลำน้ำ โดยวิธี Variable storage หรือ Maskingum ซึ่งเป็นวิธีการหลักที่นิยมใช้ในแบบจำลองคลื่นจลนศาสตร์ (Kinematic wave model) ของการไหลของน้ำ เพื่อคำนวณหาสมดุลของน้ำในลำน้ำ (Channel water balance)

$$V_{stored,2} = V_{stored,1} + V_{in} - V_{out} - t_{loss} - E_{ch} + div + V_{bnk} \quad (2.13)$$

- เมื่อ
- $V_{stored,2}$ คือ ปริมาณน้ำ ณ เวลาสุดท้ายของช่วงเวลา (Time step) ที่ใช้ (ลบ.ม.)
 - $V_{stored,1}$ คือ ปริมาณน้ำ ณ เวลาเริ่มต้นของช่วงเวลา (Time step) ที่ใช้ (ลบ.ม.)
 - V_{in} คือ ปริมาณน้ำไหลเข้าในระหว่างช่วงเวลา (ลบ.ม.)
 - V_{out} คือ ปริมาณน้ำไหลออกในระหว่างช่วงเวลา (ลบ.ม.)
 - t_{loss} คือ ปริมาณการสูญเสียของน้ำระหว่างการเคลื่อนผ่านท้องน้ำ (ลบ.ม.)
 - E_{ch} คือ การคายระเหยจากผิวน้ำในแต่ละวัน (ลบ.ม.)
 - div คือ ปริมาณของน้ำที่ถูกเติม หรือถูกดึงออกจากลำน้ำในแต่ละวัน (ลบ.ม.)
 - V_{bnk} คือ ปริมาณของน้ำที่ถูกเติม เข้ามาจากสองฝั่งลำน้ำ (ลบ.ม.)

2.2.3 แบบจำลองอุทกวิทยาและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

ในปัจจุบันนักอุทกวิทยาให้ความสนใจกับการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) มาใช้ในการศึกษาสถานการณ์ทางธรรมชาติหรือสถานการณ์ที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น การหมุนเวียนของน้ำในวัฏจักรทางอุทกวิทยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจำลองแบบทางอุทกวิทยาที่มีลักษณะการกระจายทางธรรมชาติจะเกี่ยวข้องกับการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ลุ่มน้ำและฝน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือสำคัญที่นำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์เชิงพื้นที่

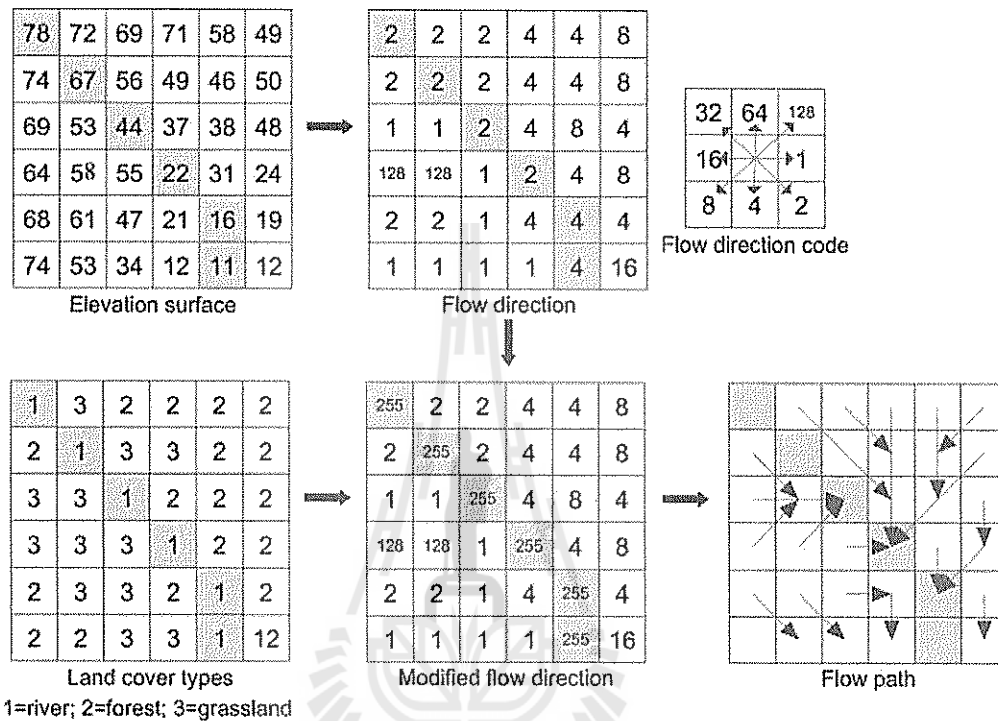
โดยทั่วไปในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะมีแบบจำลองสำหรับใช้ในการคาดการณ์ข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรแกรมสำเร็จรูปที่รองรับรูปแบบ (Format) ข้อมูลแบบแรสเตอร์ (Raster data) ดังโปรแกรมสำเร็จรูปต่อไปนี้ ArcGrid ArcView Spatial Analysis ArcMap Intergraph ERMA IDRISI GRASS ERDAS เป็นต้น ซึ่งในการรวมกันระหว่างแบบจำลองกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จำเป็นต้องใช้คำสั่งของฟังก์ชันที่สร้างมาเฉพาะเพื่อใช้กับแบบจำลองที่มีความซับซ้อน เช่น การสร้างคำสั่งขึ้นเพื่อใช้ในส่วนของคุณสมบัติที่ผันแปรตามเวลา (Temporal data) ข้อมูล 3 มิติหรือ 4 มิติและตารางสำหรับการคำนวณด้วยวิธี Finite element จึงสามารถกล่าวได้ว่ารูปแบบของข้อมูลที่หลากหลายและการพัฒนาเครื่องมือที่ทันสมัยจะเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เกิดการรวมกันของแบบจำลองกับโปรแกรมสำเร็จรูปในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการศึกษาลักษณะทางอุทกวิทยาด้วยแบบจำลอง SWAT ผู้ใช้งานจำเป็นต้องจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ผลภายใต้แบบจำลอง SWAT ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ดังต่อไปนี้

(1) ข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM)

แบบจำลองระดับสูงเชิงเลขหรือ DEM ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย The United States Geological Survey (USGS) ให้เป็นฐานข้อมูลที่บอกถึงลักษณะของพื้นผิวของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยข้อมูล DEM สามารถใช้ในการสร้างเส้นแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำได้

การลากเส้นแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำจากข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข ได้กลายมาเป็นแบบมาตรฐานเพื่อใช้ในการกำหนดทิศทางการไหลของน้ำทั้ง 8 ทิศ (ภาพที่ 2.10) ซึ่งในแต่ละหน่วยข้อมูลจะทำการเชื่อมต่อกับอีกหน่วยข้อมูลที่เป็นตำแหน่งใกล้เคียงที่ลาดที่สุด โดยกำหนดค่าของทิศทางการไหลในแนวแกนตั้งฉากเป็น 1 4 16 และ 64 สำหรับทิศตะวันออก ทิศใต้ ทิศตะวันตกและทิศเหนือ ส่วนค่าของทิศทางการไหลในแนวแกนเอียง 45 องศาเป็น 2 8 32 และ 128 สำหรับทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงเหนือตามลำดับ โดยมีกระบวนการในการลากเส้นพื้นที่ลุ่มน้ำเริ่มจากข้อมูลกริด (Grid) ของระดับความสูง ในส่วนการคำนวณข้อมูลกริดของทิศทางการไหลจะทำการคำนวณผลรวมหน่วยการไหลสะสมของจำนวนหน่วยข้อมูลที่ไหลจากพื้นที่ที่อยู่สูงกว่า ในขณะเดียวกัน

การลากเส้นแนวแม่น้ำจะกำหนดจากผลรวมของหน่วยการไหลสะสมที่มากที่สุดแต่ไม่น้อยกว่าค่าขอบเขตการไหลสะสมและเส้นแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำจะกำหนดจากหน่วยข้อมูลที่ทำกระบายน้ำผ่านหน่วยข้อมูลดังกล่าว ตารางที่ 2.4 แสดงขนาดของกริดที่นิยมใช้ในการแบ่งระดับของพื้นที่ลุ่มน้ำและการประยุกต์ใช้งานตามคำแนะนำของโปรแกรม SWAT GIS



ภาพที่ 2.10 การวิเคราะห์ห้ข้อมูลด้วย DEM (Yang, Li, Hua, and Hea, 2012)

ตารางที่ 2.4 ขนาดของกริดที่นิยมใช้ในแบ่งระดับพื้นที่ลุ่มน้ำและการประยุกต์ใช้งาน

Geographic	Linear cell	Watershed area	Region area	Typical
Cell size	Size	(km ²)	(km ²)	Application
1"	30m	5	1000	Urban watersheds
3"	90m	40	8000	Rural watersheds
15"	460m	1000	200,000	River basins
30"	930m	4000	900,000	Nations
3'	5.6km	150,000	30,000,000	Continents
5'	9,3km	400,000	90,000,000	Global

ที่มา: โอพาร เวศอุไร (2548)

(2) ข้อมูลทางชีวกายภาพ (Bio-physical Data)

ค่าพารามิเตอร์ข้อมูลทางชีวกายภาพ (ดิน ภูมิอากาศ ลุ่มน้ำ หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา ลำน้ำ น้ำใต้ดินและการจัดการที่ดิน) และวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับใช้ในแบบจำลอง SWAT สรุปไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในแบบจำลอง SWAT สำหรับการคำนวณปริมาณน้ำท่า (Runoff)

ประเภทของพารามิเตอร์	วิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์		
	เก็บข้อมูล	ตามคู่มือ	ปรับเทียบ
1. ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับดิน (.SOL file)			
- คุณสมบัติทางอุทกวิทยาของดิน	✓		
- ค่าความลึกของดิน (SOL_Z)	✓		
- ค่าปริมาณน้ำที่ดินสามารถเก็บไว้ได้ (SOL_AWC)	✓		
- ค่าความสามารถการนำน้ำของดิน (Ksat)		✓	
2. ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศ	✓		
3. ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับลุ่มน้ำ (.SUB file)			

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

ประเภทของพารามิเตอร์	วิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์		
	เก็บข้อมูล	ตามคู่มือ	ปรับเทียบ
- ค่าความสามารถการนำน้ำแท้จริง (CH_K)		✓	✓
- ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน		✓	✓
4. ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับหน่วยตอบสนองทาง			
- ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานบน พื้นดิน (OV_N)		✓	✓
- ค่าพื้นที่ปกคลุมสูงสุดของพุ่มไม้ (CANMX)			✓
5. ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับลำน้ำ (.RTE file)			
- ค่าความสามารถการนำน้ำแท้จริง (CH_K)		✓	✓
- ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (CH_N)		✓	✓
6. ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับน้ำใต้ดิน (.GW file)			
- ค่าความลึกต่ำสุดของน้ำในแหล่งน้ำ ต้นที่ต้องการสำหรับไหลกลับสู่ลำน้ำ (GWQMN)			✓
- ค่าสัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำใต้ ดิน (GW_REVAP)			✓
- ค่าความลึกต่ำสุดของน้ำในแหล่งน้ำ ต้นที่ต้องการสำหรับไหลลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน (REVAPMN)			✓
7. ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับการจัดการที่ดิน (.MGT file)			
- ค่า Curve Number (CN)		✓	✓

ที่มา: โอฟาร์ เวศอุไร (2548)

2.3 แบบจำลอง Markov

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมร่วมกับคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลกล่าวว่าแบบจำลอง Markov เป็นทฤษฎีที่นิยมใช้ในการศึกษาเพื่อคาดการณ์ การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยอาศัยข้อมูลที่เกิดขึ้นหรือค่าความถี่ (Frequency) ในช่วงเวลาที่ผ่านมาเป็นฐานในการคำนวณความน่าจะเป็น (Probability) ซึ่งกำหนดค่า เป็น 0 และ 1 และมีความน่าจะเป็นได้ 4 ลักษณะคือ P_{00} , P_{01} , P_{10} และ P_{11}

จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง (Transition Probability) ในช่วงแรกหรือปีแรก ซึ่งจะได้รูปแบบของการคำนวณ ดังนี้

$$P = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} \\ P_{10} & P_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-a & a \\ b & 1-b \end{bmatrix} \quad 0 \leq a, b \leq 1 \quad (2.14)$$

เมื่อ $a = P_{01}$ และ $b = P_{10}$

โดยอ้างอิงจากรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงดังนี้

$$P(0 \rightarrow 1) = \frac{\text{จำนวนของการเปลี่ยนแปลง (Transitions) จาก 0 ถึง 1}}{\text{จำนวนการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดที่เริ่มจาก 0}}$$

$$P(1 \rightarrow 1) = \frac{\text{จำนวนของการเปลี่ยนแปลง (Transitions) จาก 1 ถึง 0}}{\text{จำนวนการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดที่เริ่มจาก 1}}$$

$$\text{และ } P(0 \rightarrow 1) = 1 - P(0 \rightarrow 0)$$

$$P(1 \rightarrow 1) = 1 - P(1 \rightarrow 0)$$

เมื่อได้ค่าของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแล้ว นำมาหาค่าของจำนวนช่วงเวลาหรือจำนวนปีที่ ต้องการคาดการณ์ (Expected Duration, E) ค่าความแปรปรวน (Variances, V) และค่าช่วงของความ เชื่อมั่น (Confidential Interval, CI) ดังสมการต่อไปนี้

$$E(\alpha_0) = \frac{1-a}{a} \quad (2.15)$$

$$E(\alpha_1) = \frac{1-b}{b} \quad (2.16)$$

$$V(\alpha_0) = \frac{1-a}{a^2} \quad (2.17)$$

$$V(\alpha_1) = \frac{1-b}{b^2} \quad (2.18)$$

$$95\% \text{ CI} = \frac{1.96 \times \delta}{\sqrt{n}} \quad (2.19)$$

จากนั้นนำมาคำนวณค่าของความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง (Transition probability) ของข้อมูลที่เกิดขึ้นในอนาคต

$$P_{00}^n = P_{00}^{(n-1)} P_{00} + P_{01}^{(n-1)} P_{10} \quad (2.20)$$

$$P_{01}^n = P_{00}^{(n-1)} P_{01} + P_{01}^{(n-1)} P_{11} \quad (2.21)$$

$$P_{10}^n = P_{10}^{(n-1)} P_{00} + P_{11}^{(n-1)} P_{10} \quad (2.22)$$

$$P_{11}^n = P_{10}^{(n-1)} P_{01} + P_{11}^{(n-1)} P_{11} \quad (2.23)$$

ขั้นตอนสุดท้ายจะคำนวณค่าของข้อมูลที่จะเป็นไปได้ในอนาคตจากสมการดังนี้

$$\mu_{00}^n = \sum_{k=1}^n \frac{b}{a+b} + \frac{a(1-a-b)^k}{a+b} \quad (2.24)$$

$$\mu_{01}^n = \sum_{k=1}^n \frac{a}{a+b} + \frac{a(1-a-b)^k}{a+b} \quad (2.25)$$

$$\mu_{10}^n = \sum_{k=1}^n \frac{b}{a+b} + \frac{b(1-a-b)^k}{a+b} \quad (2.26)$$

$$\mu_{11}^n = \sum_{k=1}^n \frac{a}{a+b} + \frac{b(1-a-b)^k}{a+b} \quad (2.27)$$

และค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงของทุกกรณีเท่ากับ $\left(\frac{1}{n}\right) \mu_{ij}^n$

ในการศึกษาครั้งนี้ จะนำแบบจำลอง CA-Markov ซึ่งเป็นแบบจำลองที่นำการวิเคราะห์ Cellular Automata และ Markov chain มาใช้ในคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยนำการวิเคราะห์ Markov chain มาคำนวณเมทริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง (Transition probability matrix) เมทริกซ์พื้นที่การเปลี่ยนแปลง (Transition areas matrix) และชุดข้อมูลภาพความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (Conditional probability images) ที่เกิดขึ้นในอดีต จากนั้น นำข้อมูลเมทริกซ์พื้นที่การเปลี่ยนแปลงและชุดข้อมูลภาพความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข ไปใช้กำหนดรูปลักษณะเชิงพื้นที่ของพื้นที่คาดการณ์ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่จะเกิดขึ้นในอนาคตโดยการวิเคราะห์ Cellular Automata (Eastman, 2003)

2.4 การวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนในการเปรียบเทียบแบบจำลอง

การเปรียบเทียบแบบจำลองเป็นการพิจารณาหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้เกิดความถูกต้องในการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนเทียบกับข้อมูลจากการวัดจริง พิจารณาความถูกต้องโดยอาศัยค่าคลาดเคลื่อนด้วยวิธีต่างๆ มีวัตถุประสงค์หรือหลักการของการเปรียบเทียบคือ การลดค่าคลาดเคลื่อน (Error) ให้เหลือน้อยที่สุดและการประมาณค่าพารามิเตอร์มีค่าสมเหตุสมผลกับคุณลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำ ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ เช่น อัตราการไหลของระดับน้ำผิวดินและระดับน้ำใต้ดิน ค่าความเข้มของตะกอน ค่าความเข้มข้นของสารเคมี เป็นต้น (นิพนธ์, 2549)

นิพนธ์ (2549) กล่าวว่าโดยทั่วไปแล้วในการเทียบมาตรฐานแบบจำลองนั้นจะมีการทำงานใน 2 ลักษณะ คือ (1) การเทียบมาตรฐานแบบธรรมดา (Manual calibration) และ (2) การเทียบมาตรฐานแบบอัตโนมัติ (Automatic calibration) ปัจจุบันหลายอย่างที่นำมาใช้ในการพิจารณาและเลือกแบบจำลองที่จะนำมาใช้ในการพยากรณ์นั้น นอกจากพิจารณาวัตถุประสงค์ความต้องการของการศึกษาวิจัยแล้ว สิ่งที่จะต้องพิจารณาร่วมด้วยคือ ความถูกต้องและความแม่นยำของการพยากรณ์ (Forecasting) ของแบบจำลองซึ่งเป็นขบวนการที่ทำต่อเนื่องจากการเทียบมาตรฐาน (Calibration) แบบจำลอง ความถูกต้องหรือความแม่นยำของแบบจำลองขึ้นอยู่กับข้อมูลที่นำเข้าไปในแบบจำลองและผลที่ได้จากแบบจำลอง ดังนั้นขั้นตอนในการเตรียมข้อมูล การเทียบมาตรฐานก็มีผลต่อผลการพยากรณ์ของแบบจำลองนั้นๆ ด้วยเช่นกัน ในการตรวจสอบผลแบบจำลองต้องมีวิธีการที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของข้อมูลที่จะทำการตรวจสอบ ซึ่งวิธีการในการตรวจสอบแบบจำลองนั้นได้แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ (1) การสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง (Graphical comparison) และ (2) การทดสอบค่าทางสถิติ (Statistical test)

2.4.1 การสร้างกราฟเชิงเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง (Graphical Comparison) แบ่งออกได้ 3 รูปแบบ คือ

(1) พล็อตอนุกรมเวลา (Time series plots) ของค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองกับค่าตรวจวัดของพารามิเตอร์ตัวเดียวกันในเวลาเดียวกัน เช่น การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของปริมาณการไหลของน้ำท่าการเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากร การเปลี่ยนแปลงพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น

(2) ใช้กราฟเส้นทแยงมุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส 45 องศา หรือเส้นทแยงมุม 1:1 ตัดดินความสอดคล้องระหว่างค่าตรวจวัดกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง (45° Linear regression line displayed)

(3) ใช้กราฟค่าแจกกระจายสะสม (Cumulative frequency distribution) ของค่าที่ตรวจวัดได้จริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองตามอนุกรมเวลาที่กำหนดเป็นตัวเปรียบเทียบ เช่น Flow duration curve เป็นต้น

2.4.2 การทดสอบค่าทางสถิติ (Statistical test))เกณฑ์ทางสถิติที่นิยมใช้ในเทียบมาตรฐานมีดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ (%R) เป็นการดูค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีจากค่าที่วัดจากสถานีวัดน้ำ (R_f) กับค่าที่ได้จากการคำนวณ (R_m)

$$\text{ร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์} = \frac{(R_f - R_m)}{R_f} \times 100 \quad (2.28)$$

(2) ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Error; ME)คือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่าที่วัดจากสถานีน้ำ (q_f) และค่าที่ได้จากแบบจำลอง (q_m) โดยที่ n คือจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการเทียบมาตรฐาน (เท่ากับจำนวนข้อมูลจากสถานีตรวจวัดน้ำที่มี) ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยนี้ทำการคำนวณได้ง่ายแต่มีจุดอ่อนเนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนที่เป็นบวกและลบจะถูกคำนวณรวมกัน และอาจชดเชยกันไป ดังนั้น ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่มีค่าต่ำอาจมิได้หมายถึงผลการเทียบมาตรฐานที่ดีเสมอไป

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_f - q_m)_i \quad (2.29)$$

(3) ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error; MAE)คือค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างค่าที่วัดจากสถานีวัดน้ำ (q_f) และค่าที่ได้จากแบบจำลอง (q_m) โดย n คือจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการเทียบมาตรฐาน (เท่ากับจำนวนข้อมูลจากสถานีตรวจวัดน้ำที่มี)

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |q_f - q_m|_i \quad (2.30)$$

(4) ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error; RMSE)หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)ของค่าที่วัดจากสถานีวัดน้ำ (q_f) และค่าที่ได้จากแบบจำลอง (q_m) โดยที่ n คือจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการเทียบมาตรฐาน (เท่ากับจำนวนข้อมูลจากสถานีตรวจวัดน้ำที่มี)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_f - q_m)_i^2} \quad (2.31)$$

(5) ค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์กำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Relative Error; ER)จากค่าที่วัดจากสถานีวัดน้ำ (q_f)และค่าที่ได้จากแบบจำลอง (q_m) โดยที่ n คือจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการเทียบมาตรฐาน (จำนวนข้อมูลจากสถานีตรวจวัดน้ำที่มี)

$$ER = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_r - q_m)_i^2}{\sum_{i=1}^n q_r^2}} \quad (2.32)$$

(6) ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลของ Nashand Sutcliffe(1970) (Coefficient of Efficiency Nashand Sutcliffe, E)เป็นการประเมินผลการเทียบมาตรฐานของข้อมูลสองกลุ่มเพื่อยอมรับข้อมูลทั้งสองกลุ่มเข้าด้วยกันได้และเป็นในแนวทางเดียวกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล (E) กำหนดได้ดังนี้

$$E = 1 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n (Q_m - Q_p)_i^2 \right]}{\left[\sum_{i=1}^n (Q_m - Q_{avg})_i^2 \right]} \quad (2.33)$$

เมื่อ E คือค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล (Coefficient of Efficiency) โดยที่ R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลุ่มข้อมูลทั้งสองเข้ากันได้ดี มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อยมากและถ้ามีค่าเป็นลบแสดงว่าข้อมูลเป็นปฏิภาคต่อกัน

- Q_m คือ ค่าจากการวัด
- Q_p คือ ค่าจากแบบจำลอง
- Q_{avg} คือ ค่าเฉลี่ยค่าจากการวัด

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 งานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลอง SWAT

จากการรวบรวมข้อมูลหรืองานวิจัยที่ได้ใช้แบบจำลอง SWAT ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าหรือการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อทำการศึกษานำเข้าข้อมูลและการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่างๆ พร้อมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้แบบจำลอง CA-Markov ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

Guo,Xiaoand Sheng (2002) ทำการศึกษาในหัวข้อ Runoff simulation in Donghe Basin using SWAT model เพื่อทำการจำลองปริมาณน้ำท่าแบบรายวันด้วยโปรแกรม ArcSWAT ในพื้นที่ลุ่มน้ำคองของประเทศจีน ในการศึกษาได้การแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดตามช่วงเวลาสำหรับใช้ในการเทียบมาตรฐานและการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง พร้อมทั้งทำการรวบรวมข้อมูลทางอุทกวิทยา สภาพภูมิอากาศ ปริมาณแสงอาทิตย์ในเดือนกันยายน ในระหว่างวันที่ 1-15 สำหรับการเทียบมาตรฐานของแบบจำลอง (Model calibration) และระหว่างวันที่ 16-30 สำหรับการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง (Model validation) ผลการศึกษาพบว่าในการเทียบมาตรฐานของแบบจำลองที่อาศัยการปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาเพื่อจำลองลักษณะทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำคองแบบรายวัน ให้ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลของ Nash-Sutcliffe (E) เท่ากับ 0.98 ค่าร้อยละของค่าคลาดเคลื่อน (Re) เท่ากับ -9.3 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.99 ในขณะที่เดียวกันการทดสอบความสมเหตุสมผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลของ Nash-Sutcliffe (E) เท่ากับ 0.91 ค่าร้อยละของค่าคลาดเคลื่อน (Re) เท่ากับ -13.6 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.98 จากการศึกษาผู้วิจัยได้สรุปว่า แบบจำลอง SWAT สามารถนำมาใช้จำลองปริมาณน้ำท่าแบบรายวัน ได้อย่างเหมาะสมและมีความถูกต้องสูง

Kang,Park,Leand Yoo (2005) ทำการศึกษาเรื่อง Applying SWAT for TMDL programs to a small watershed containing rice paddy fields เพื่อประเมินปริมาณการรองรับมลภาวะรายวัน (Total maximum daily load) ของลุ่มน้ำ โดยจัดเตรียมข้อมูลสำหรับนำเข้าในแบบจำลอง SWAT ประกอบด้วย (1) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากการจำแนกข้อมูลดาวเทียม Landsat TM โดยวิธี ANN (2) ข้อมูล GIS ในโปรแกรม Arc View (3) ข้อมูลปริมาณการรองรับมลภาวะรายวัน วิธีการศึกษาแบ่งออกเป็นสองช่วงคือ ใน ค.ศ.1998-1997 เพื่อทำการเทียบมาตรฐานของแบบจำลองและใน ค.ศ.1999-2000 สำหรับใช้ในการทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลองในรูปตะกอนที่อยู่ในลำน้ำ (Sediment yield) ปริมาณ ไนโตรเจนสูงสุด (TN) และปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุด (TP) สำหรับประเภทของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย (1) ข้อมูลสภาพอากาศ (Weather data) (2) ข้อมูลแหล่งมลภาวะ (Pollution sources data) (3) ข้อมูล GIS (4) ข้อมูล

การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing data) ในขั้นตอนการวิเคราะห์แบ่งพื้นที่ศึกษาเป็นลุ่มน้ำย่อยจำนวน 23 ลุ่มน้ำ และวิเคราะห์หามลภาวะทางน้ำและสิ่งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ (SS) พร้อมทั้งสารอาหาร (TN, TP) ของแต่ละลุ่มน้ำ ผลการศึกษาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ในการเทียบมาตรฐานและการทดสอบความสมเหตุสมผลในพื้นที่ลุ่มน้ำทั้ง 23 แห่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.79-0.93 และค่าประสิทธิภาพ EI ได้ค่าไปในทางบวก (positive EI values) สำหรับพารามิเตอร์ทุกตัว จากการศึกษาผู้วิจัยได้สรุปว่า ผลที่ได้รับจากแบบจำลอง SWAT สามารถยอมรับได้ กล่าวคือ ค่าที่ได้จากการประเมินมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงที่ตรวจวัดได้และสามารถนำแบบจำลองนี้ไปใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำอื่นๆ ในเกาหลีใต้ได้

Prachayasittikul (2006) ได้นำแบบจำลอง SWAT มาใช้ในการศึกษาสมดุลของน้ำในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา สำหรับใช้ในการจำลองเหตุการณ์ในการจัดการทรัพยากรน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยอาศัยหลักการความสมดุลของน้ำ (Water Balance) เพื่อประเมินศักยภาพของปริมาณน้ำต้นทุนและวิเคราะห์ภาวะความขาดแคลนน้ำหรือความพอเพียงของปริมาณน้ำต้นทุนกับความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ในการศึกษาใช้ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลของ Nash and Sutcliffe ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ (Relative Difference in Percentages) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้รับจากแบบจำลองกับข้อมูลสถานีวัดน้ำในลุ่มน้ำย่อย 3 สถานี ประกอบด้วย คลองนาท่อม ท่าเขียดและอู่ตะเภา ผลการศึกษาพบว่าค่าความแตกต่างสัมพัทธ์มีค่า 17.292.18 และ -4.51% ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 0.70 0.56 และ 0.73 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลของ Nash-Sutcliffe มีค่าเท่ากับ 0.68 0.50 และ 0.65 ตามลำดับและพบว่า แบบจำลองสามารถจำลองปริมาณน้ำทำได้ดี ผลการศึกษาสมดุลน้ำพบว่า ปริมาณน้ำต้นทุนในช่วงเวลาที่พิจารณาระหว่าง พ.ศ. 2518-2547 มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีประมาณ 6,051.16 ล้าน ลบ.ม. มีค่าผันแปรระหว่าง 3,104.88 ถึง 10,524.93 ล้าน ลบ.ม. และพบว่าในปีที่ทำการศึกษา พ.ศ. 2547 มีการขาดแคลนน้ำเพื่อการชลประทานในทุกโครงการ โดยมีความต้องการน้ำ 1,005.74 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี และมีปริมาณน้ำที่ขาดแคลน 281.64 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี หรือร้อยละ 28 ของความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานทั้งหมด มีปริมาณน้ำที่เหลือเป็นปริมาณน้ำท่าที่ระบายลงสู่ทะเลสาบสงขลาเฉลี่ยปีละ 5,345.34 ล้าน ลบ.ม. ส่วนในอนาคต พ.ศ. 2557 มีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 1,225.86 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี มีปริมาณน้ำที่จะขาดแคลนในอนาคต 326.02 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี หรือร้อยละ 26.59 ของความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานทั้งหมด และมีปริมาณน้ำที่เหลือเป็นปริมาณน้ำท่าที่ระบายลงสู่ทะเลสาบสงขลาเฉลี่ยปีละ 5,198.01 ล้าน ลบ.ม.

Margaret and Indrajeet (2010) ได้ทำการศึกษาลักษณะทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าซึ่งเป็นลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่โดยแบบจำลอง SWAT อย่างไรก็ตามลุ่มน้ำนี้มีลุ่ม

น้ำย่อยจำนวนมากแต่การติดตามหรือข้อมูลมีไม่ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำการศึกษาจึงเป็นการศึกษา การพัฒนาค่าพารามิเตอร์สำหรับลุ่มน้ำที่มีขนาดใหญ่โดยใช้วิธีการศึกษา 2 วิธีคือ พิจารณาค่าเฉลี่ย ทั้งภูมิภาค (Global averaging) และค่าพารามิเตอร์ของสมการถดถอย (Regression-based parameters) ผลการศึกษาค่าพารามิเตอร์ของพื้นที่ลุ่มที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าบริเวณต้นน้ำใน Arkansas พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลของ Nash-Sutcliffe จากสมการถดถอยของ ค่าพารามิเตอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.53-0.83 เมื่อทำการเทียบมาตรฐานของแบบจำลองให้ค่า สัมประสิทธิ์อยู่ระหว่าง 0.45-0.90 และเมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์แบบค่าเฉลี่ยทั้งภูมิภาคให้ค่า สัมประสิทธิ์อยู่ระหว่าง 0.4-0.75 จากผลการศึกษา จะเห็นได้ว่าการกำหนดค่าพารามิเตอร์ระดับ อนุภาค (Regionalization) ให้กับแบบจำลอง SWAT ให้ค่าผลลัพธ์ดีกว่าการกำหนดค่าพารามิเตอร์ ระดับภูมิภาค

กิตติพงษ์ ธานีศรียะกุล (2546) ได้ทำการศึกษาการประเมินสัมพันธภาพลำน้ำย่อย ของประเทศไทยด้วยข้อมูลภูมิสารสนเทศและแบบจำลองสาธารณสิทธิ์ SWAT/GIS: กรณีศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำแม่ต้นตอนบน อ. อมก๋อย จ. เชียงใหม่ สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย (1) ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ (2) ข้อมูลแผนที่จุดดิน (3) ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (4) เส้นแนว ลำน้ำ (5) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (6) ข้อมูลน้ำท่า สถานีวัดน้ำและตำแหน่งทางออกของน้ำซึ่งจัดเก็บ ในรูปแบบของ GIS สำหรับใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลอง SWAT ภายใต้โปรแกรม ArcView ผล การศึกษาพบว่าแบบจำลอง SWAT/GIS สามารถรองรับปริมาณข้อมูลนำเข้าที่มีจำนวนมากได้อย่าง ดีและสามารถใช้งาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ผู้ใช้งานต้องมีความเข้าใจในกระบวนการทำงาน ของแบบจำลองอย่างถูกต้อง ซึ่งผลของแบบจำลองจะรายงานอยู่ในรูปของความสัมพันธ์เพื่อใช้ลด ค่าความไม่แน่นอนของการพยากรณ์สภาพทางธรรมชาติ ผลการเปรียบเทียบค่าความแตกต่าง สัมพัทธ์ของลำน้ำท่าวม (Total flow) น้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) และการไหลของน้ำใต้ดิน (Base flow) ที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลจากสถานีวัดน้ำบ้านหลวง (P64) มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.67 -1.66 และ 1.14 ตามลำดับและสถานีวัดน้ำ PN8 มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.77 0.58 และ -4.33 ตามลำดับ

โอพาร เวศอุไร (2548) ได้ทำการศึกษาเรื่องผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบน โดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT ในการศึกษาได้แบ่งขั้นตอนของการศึกษาออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ (1) ทำการศึกษาแบบจำลองน้ำฝน น้ำท่าที่ให้ค่าความสัมพันธ์เกี่ยวกับปริมาณน้ำท่ากับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินพร้อม ทั้งทำการเตรียมข้อมูลต่างๆ ที่ให้นำเข้าในแบบจำลอง (2) ทำการเทียบมาตรฐานแบบจำลองโดย พิจารณาจากผลการคำนวณน้ำท่าจากแบบจำลองเทียบกับข้อมูลใน พ.ศ. 2520 2537 และ 2544 แล้ว ทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าในแต่ละปี เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ศึกษา

(3) ประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาต่อปริมาณน้ำท่า
คือ นำแบบจำลองมาใช้ในการคาดการณ์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ผลการศึกษาพบว่า (1) ค่าร้อยละของความแตกต่างของผลรวมปริมาณน้ำท่ารายปี
เฉลี่ย ของการเทียบมาตรฐานในแต่ละช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงมีความใกล้เคียงกันมาก ไม่เกินร้อยละ
10 (2) ค่าคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์รากกำลังสองเฉลี่ย (ER) ของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยในแต่ละ
ช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 0.2 ถือว่าค่าคลาดเคลื่อนยอมรับได้ (3) ค่าสัมประสิทธิ์การ
ตัดสินใจ (R^2) ระหว่างความสัมพันธ์ของค่าอัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูลการบันทึกจริงกับ
แบบจำลองในแต่ละช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 0.8-0.85 (4) จากการเปรียบเทียบกราฟ
การเข้ากัน ได้ดีของรูปร่างกราฟอุทก โดยพิจารณาจากการดูรูปร่างกราฟอุทกของข้อมูลการบันทึก
จริงกับการจำลองพบว่ารูปร่างของกราฟใกล้เคียงกันและไปในทิศทางเดียวกัน



2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับแบบจำลอง CA-Markov

Azócar, Romero, Sanhueza, Vega, Aguayo and Muños (2007) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (Land Use/Cover) ในระหว่างสองช่วงเวลา คือ ระหว่าง ค.ศ. 1955-1978 และ 1978-1998 ในเขตตัวเมือง Los Angeles ซึ่งตั้งอยู่ในภาคกลางของประเทศชิลี (Chile) โดยคณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากแบบจำลอง CA-Markov พร้อมทั้งวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวกับการเจริญเติบโตของประชากร พบว่าให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.95

Lingling,Chao, Jianyu,Dehai and Wenju (2011) ได้ทำการศึกษาเรื่องการจำลองแบบรูปการใช้ประโยชน์ที่ดินในเมืองและหมู่บ้านของเมือง Fangshan โดยแบบจำลอง CA-Markovในการศึกษาใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากค.ศ. 2001 2006 และ 2008 เพื่อคาดการณ์ปริมาณการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินใน ค.ศ. 2015 โดยแบบจำลอง Markov และการกำหนดแบบรูปการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเชิงพื้นที่ โดยแบบจำลอง Cellular Automata ภายใต้โปรแกรมประมวลผลภาพ IDRISI

Tong,Sun,Ranatunga,HeandYang(2012) ได้ทำการศึกษาเรื่องการคาดการณ์ผลกระทบที่มีผลต่อทรัพยากรน้ำจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและแบบรูปการใช้ประโยชน์ที่ดิน ค.ศ. 2050 โดยเลือกกลุ่มน้ำ Little Miami River (LMR) เป็นพื้นที่ศึกษาใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงทรัพยากรน้ำ คุณภาพน้ำจากผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา HSPF (Hydrologic Simulation ProgramFortranModel)และใช้แบบจำลอง CA-Markov ทำนายแบบรูปการใช้ประโยชน์ที่ดินในค.ศ. 2050 จากผลการศึกษาพบว่าจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงแบบรูป การใช้ประโยชน์ที่ดินส่งผลให้ลักษณะของลำน้ำในกลุ่มน้ำพร้อมทั้งอัตราการไหลและสารอาหารที่อยู่เกิดขึ้นจากน้ำท่าที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลง และยังพบว่าหากมีการจัดแบบรูปการใช้ประโยชน์ที่ดินให้เหมาะสมสามารถที่จะบรรเทาการขาดแคลนน้ำในปีที่มีน้ำน้อย ซึ่งการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากแบบจำลองทางอุทกวิทยา HSPF จะช่วยในการวางแผนจัดการบริหารน้ำได้อย่างถูกต้องในอนาคต

บทที่ 3

ข้อมูล อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

3.1 ข้อมูลและอุปกรณ์

ข้อมูลและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา สรุปไว้ในตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ประเภทข้อมูล	การใช้งาน	แหล่งที่มา
การใช้ประโยชน์ที่ดิน 2543	ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง SWAT/CA-Markov	กรมพัฒนาที่ดิน
การใช้ประโยชน์ที่ดิน 2551	ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง SWAT/CA-Markov	กรมพัฒนาที่ดิน
แบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM)	ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง SWAT	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ข้อมูลอุตุณิยวิทยา	ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง SWAT	กรมอุตุณิยวิทยา
- ปริมาณน้ำฝน		
- แสงแดด		
- อุณหภูมิ		
- ความชื้น		
- ความเร็วลม		
ข้อมูลปริมาณน้ำท่า	ข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง SWAT	กรมชลประทาน
ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน	ข้อมูลนำเข้าในการวิเคราะห์ SPI	กรมอุตุณิยวิทยา

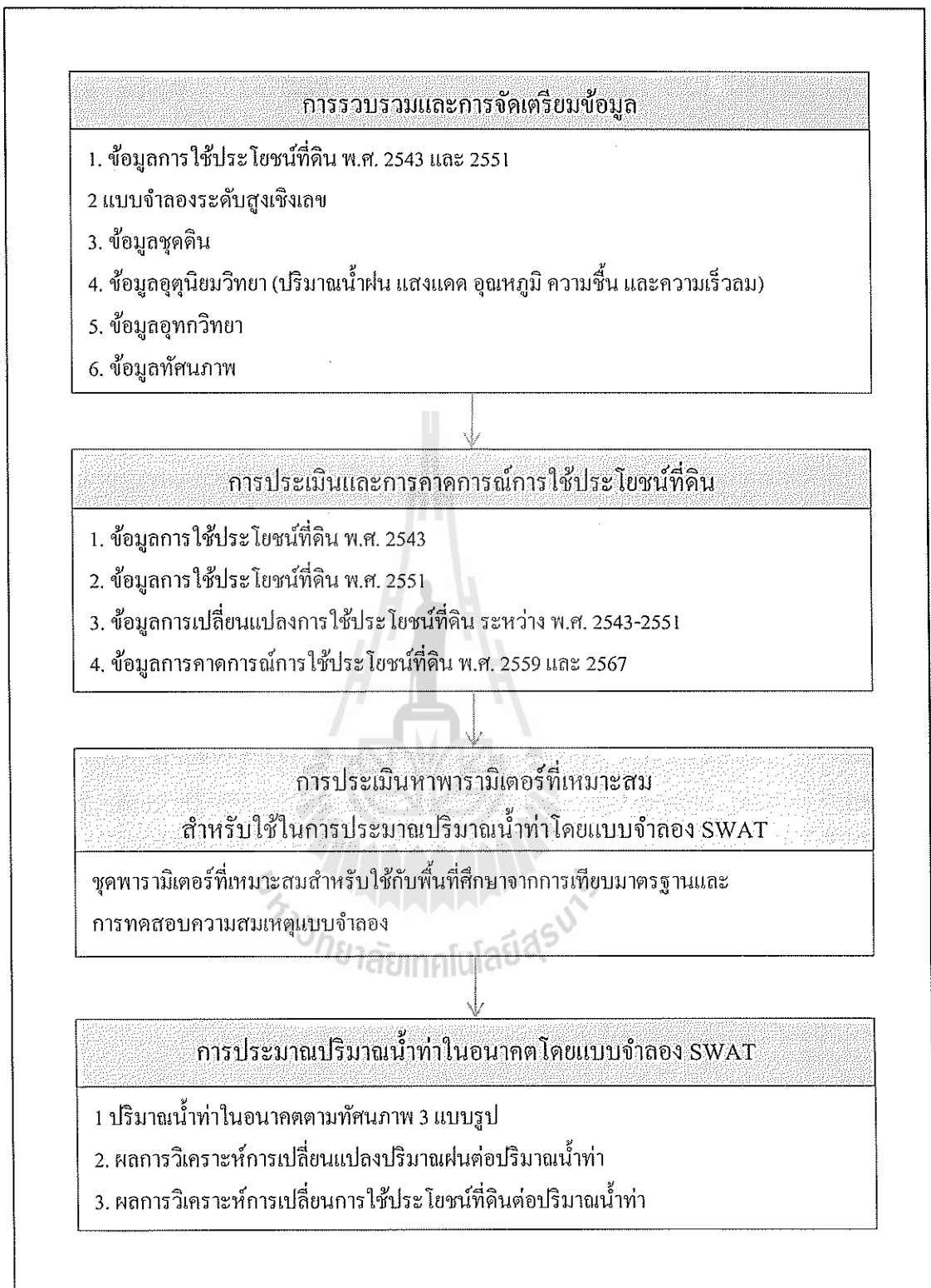
ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

อุปกรณ์	การใช้งาน	แหล่งที่มา
ArcGIS Desktop 9.3	จัดเตรียมข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง SWAT	ห้องปฏิบัติการการรับรู้จากระยะไกล
ArcSWAT ArcGIS Desktop 9.3	การประมาณปริมาณน้ำท่า	เว็บไซต์ SWAT
IDRISI Taiga	ใช้คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยแบบจำลอง CA-MARKOV	ห้องปฏิบัติการการรับรู้จากระยะไกล
SPI	ใช้วิเคราะห์ SPI	เว็บไซต์
PCP Stat	ใช้วิเคราะห์ข้อมูลทางอุตุณิยวิทยา	เว็บไซต์ SWAT

3.2 วิธีการศึกษา

ในการประมาณค่าปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่อาศัยแบบจำลอง CA Markov โดยแบบจำลอง SWAT: กรณีศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตุงตุงของกลุ่มน้ำมูล เป็นการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT และนำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่า โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพในอดีตและปัจจุบันและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในอนาคตภายใต้ทัศนภาพ 3 แบบรูป มีขั้นตอนการศึกษา 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย (1) การรวบรวมและการจัดเตรียมข้อมูล (2) การประเมินและการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน (3) การประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่า โดยแบบจำลอง SWAT และ (4) การประมาณปริมาณน้ำท่าใน พ.ศ. 2559 โดยแบบจำลอง SWAT ดังแสดงในภาพที่ 3.1 พร้อมผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละขั้นตอน





ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนและผลลัพธ์ของการศึกษา

3.2.1 การรวบรวมและการจัดเตรียมข้อมูล

ในการรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT และคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตโดยแบบจำลอง CA-Markov ดำเนินการภายใต้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ArcGIS Desktop 9.3 รวมทั้ง ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันสำหรับการใช้ในการกำหนดทัศนภาพ 3 แบบรูป โดยการวิเคราะห์ SPI ได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 4 ชุดข้อมูล โดยมีรายละเอียดของแต่ละชุดข้อมูลดังนี้

(1) ชุดข้อมูลสำหรับการใช้ในการเทียบมาตรฐาน (Calibration) ของแบบจำลอง SWAT ประกอบด้วย

- ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT
- ข้อมูลชุดดิน
- ข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM)
- ข้อมูลน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2543
- ข้อมูลน้ำฝนรายเดือน พ.ศ. 2543
- ข้อมูลอุตุนิยวิทยา (ข้อมูลแสงแดด อุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วลม) พ.ศ.

2543

(2) ชุดข้อมูลสำหรับการใช้ทดสอบความสมเหตุสมผล ประกอบด้วย

- ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT
- ข้อมูลชุดดิน
- ข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM)
- ข้อมูลน้ำท่ารายเดือน ใน พ.ศ. 2551
- ข้อมูลน้ำฝนรายเดือน ใน พ.ศ. 2551
- ข้อมูลอุตุนิยวิทยา (ข้อมูลแสงแดด อุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วลม) พ.ศ.

2551

(3) ชุดข้อมูลสำหรับการใช้คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2559 และ 2567 โดยแบบจำลอง CA-Markov ประกอบด้วย

- ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT
- ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT

(4) ชุดข้อมูลสำหรับการใช้ในการกำหนดทัศนภาพของปริมาณน้ำฝนใน พ.ศ. 2559 โดยอาศัยค่า SPI 3 แบบรูป (ทัศนภาพแบบที่ 1 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าปกติ ทัศนภาพแบบที่ 2 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนปกติ และ ทัศนภาพแบบที่ 3 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนมากกว่าปกติ) ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันย้อนหลัง 45 ปี (พ.ศ. 2506-2551)

ในการคำนวณดัชนีวัดความแห้งแล้งของฝน (Standardized Precipitation Index: SPI) ซึ่งถูกพัฒนาโดย McKee, Doesken and Kleist (1993) เพื่อเฝ้าดูสภาวะแห้งแล้งในช่วงเวลาที่กำหนด โดยพิจารณาจากปริมาณน้ำฝนสะสม ตั้งแต่ 1 เดือน 2 เดือน 3 เดือน จนถึง 12 เดือน โดยปกติ ปริมาณน้ำฝนจะมีการกระจายตัวในรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงแบบแกมมา (Gamma distribution function) ซึ่งค่าปริมาณน้ำฝนจะมีค่าเท่ากับศูนย์ไม่ได้ แต่ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่รายงานโดยสถานีอุตุนิยมวิทยารายงานปริมาณน้ำฝนที่น้อยกว่า 0.01 มม. เป็นวันที่ฝนไม่ตก ซึ่งค่าข้อมูลเท่ากับศูนย์ ฉะนั้น ในการศึกษาดัชนีวัดความแห้งแล้งของฝนจึงใช้ปริมาณน้ำฝนรวม โดยนำฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative probability density function) มาคำนวณร่วมกับฟังก์ชันการแจกแจงแบบแกมมาของปริมาณน้ำฝนรวม พร้อมทำการแปลงข้อมูลให้เป็นค่าปกติมาตรฐาน Z ซึ่งจะได้เป็นค่าดัชนีวัดความแห้งแล้งของฝน (SPI) ที่ต้องการ

ในการคำนวณดัชนีวัดความแห้งแล้งของฝนอาศัยฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสะสม, $H(x)$ ดังต่อไปนี้

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (3.1)$$

โดยที่ q คือ ความน่าจะเป็นของวันที่ฝนไม่ตก ซึ่งมีค่าเท่ากับ m/n เมื่อ m เป็นจำนวนวันที่ไม่มีฝนตก n หมายถึงจำนวนวันที่สนใจ และ $G(x)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงแบบแกมมา

จากนั้นทำการแปลงค่า $H(x)$ ให้เป็นค่ามาตรฐาน Z ปกติ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ 1 ซึ่งค่าที่ได้รับคือค่าดัชนีวัดความแห้งแล้งของฝน (SPI) นั่นเอง

ในการประมาณค่าดัชนีวัดความแห้งแล้งของฝน (SPI) อาศัยสมการดังต่อไปนี้ สูตรสำหรับคำนวณค่า SPI (Z) คือ

$$Z = \text{SPI} = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{เมื่อ } 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (3.2)$$

$$Z = \text{SPI} = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{เมื่อ } 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (3.3)$$

โดยที่

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad \text{เมื่อ } 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1-H(x))^2}\right)} \quad \text{เมื่อ } 0.5 < H(x) \leq 1$$

$$c_0 = 2.515517$$

$$c_1 = 0.802853$$

$$c_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432788$$

$$d_2 = 0.189269$$

$$d_3 = 0.001308$$

จากนั้น นำค่าที่ได้รับมาแบ่งระดับชั้นความรุนแรงที่บ่งชี้ถึงความชุ่มชื้นและความแห้งแล้งของปริมาณฝนในแต่ละพื้นที่ตามเกณฑ์มาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการจำแนกระดับความแห้งแล้งจากค่า SPI

ค่า SPI	การแปลความหมาย
+2.00 and above)	ปริมาณน้ำฝนมากผิดปกติ (Extremely wet)
+1.50 to +1.99	ปริมาณน้ำฝนมาก (Very wet)
+1.00 to +1.49	ปริมาณน้ำฝนค่อนข้างมาก (Moderately wet)
-0.99 to +0.99	ปริมาณน้ำฝนปกติ (Near normal)
-1.00 to -1.49	ปริมาณน้ำฝนค่อนข้างน้อย (Moderately dry)
-1.50 to -1.99	ปริมาณน้ำฝนน้อยมาก (Severely dry)
-2.00 and less	ปริมาณน้ำฝนน้อยผิดปกติ (Extremely dry)

ในการศึกษาครั้งนี้ ค่าดัชนีวัดความแห้งแล้งของฝน (SPI) จะประมวลผลโดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป SPI และกำหนดทัศนภาพ 3 แบบรูป โดยพิจารณาจากค่า SPI ดังต่อไปนี้

- (1) ทัศนภาพแบบที่ 1 มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปกติ ค่า SPI น้อยกว่า -1
- (2) ทัศนภาพแบบที่ 2 มีปริมาณน้ำฝนปกติ ค่า SPI อยู่ระหว่าง -0.99 ถึง +0.99
- (3) ทัศนภาพแบบที่ 3 มีปริมาณน้ำฝนมากกว่าปกติ ค่า SPI มากกว่า 1

นอกจากนี้ ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่รวบรวมจากสถานีตรวจวัด M.110 ที่บันทึกค่าเป็นหน่วยล้านลูกบาศก์เมตรจะแปลงให้เป็นค่าความสูงของปริมาณน้ำท่า หน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยอาศัยสมการ ดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณน้ำท่า (มม.)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำท่า (ล้าน ลบ. ม.)}}{\text{พื้นที่รับน้ำ (ตร. ม.)}} \times 1000 \quad (3.4)$$

3.2.2 การประเมินและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ในขั้นตอนนี้แบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อย ประกอบด้วย (1) การประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 และ 2551 และ (2) การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 และ 2567

(1) การประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 และ 2551

ในการประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 และ 2551 เริ่มจากทำการแปลรหัสการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระดับที่ 3 ของกรมพัฒนาที่ดินให้เป็นรหัสของแบบจำลอง SWAT จากนั้นทำการคำนวณหาพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ArcGIS Desktop 9.3 พร้อมทั้งประเมินการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่าง พ.ศ. 2543 ถึง 2551

(2) การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 และ 2567

ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 อาศัยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ใน พ.ศ. 2543 และ 2551 มาใช้ในการคำนวณหาเมทริกซ์ของพื้นที่การเปลี่ยนแปลงและความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่าง พ.ศ. 2543 ถึง 2551 เพื่อนำมาใช้คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2559 โดยอาศัยแบบจำลอง CA Markov ของโปรแกรมสำเร็จรูป IDRISI Taiga และนำผลลัพธ์ที่ได้รับ ไปใช้ในขั้นตอนการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าใน พ.ศ. 2559 ของทัศนภาพ 3 แบบรูป

ในขณะเดียวกัน ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2567 อาศัยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2551 และข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 มาใช้ในการคำนวณหาเมทริกซ์ของพื้นที่การเปลี่ยนแปลงและความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่าง พ.ศ. 2551 ถึง 2559 เพื่อนำมาใช้คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2567 โดยอาศัยแบบจำลอง CA Markov ของโปรแกรมสำเร็จรูป IDRISI Taiga เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้รับไปใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า

3.2.3 การประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่า

ในการประมาณปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาห้วยตุงลุม โดยแบบจำลอง SWAT จำเป็นต้องประเมินหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าประมาณปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองที่มีความถูกต้องสูงหรือใกล้เคียงกับค่าปริมาณน้ำท่าจริงที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา ซึ่งในการประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เริ่มจากการคัดเลือกประเภทของพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่า ซึ่งจากการศึกษาคู่มือการใช้งานแบบจำลอง SWAT และทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Schmalz and Fohrer (2009), Winchell, Srinivasan and Di Luzio (2010), Gitau and

Chaubey (2010), Baskaran, Jager, Schweizer and Srinivasan (2010) และ Margaret and Indrajeet (2010)) ประกอบไปด้วย

- ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU) (สัดส่วนการไหล
ประโยชน์ที่ดิน ชุดดินและความลาด)
- ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับน้ำใต้ดิน (ปริมาณการถอยกลับการไหลของน้ำใต้ดิน)
และค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำท่าผิวดิน
- ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวข้องกับลุ่มน้ำ (ระดับความลาด)

จากนั้น เริ่มทำการประมวลผลแบบจำลองจากพารามิเตอร์โดยปริยาย (Default parameters) และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้รับกับปริมาณน้ำท่าจริงจากสถานีตรวจวัด พร้อมทำการทดสอบผลด้วยการเปรียบเทียบเชิงกราฟ (Graphical comparison) และการทดสอบทางสถิติ (Statistical tests) ว่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ หากผลลัพธ์ที่ได้รับไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดจะทำการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ของพารามิเตอร์ประเภทต่างๆ ที่ได้ทำการคัดเลือก พร้อมทำการทดสอบจนกว่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

วิธีการเปรียบเทียบเชิงกราฟ และการทดสอบทางสถิติค่าที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย (1) กราฟเส้นทแยงมุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส 45 องศา เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) (2) ค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ (%R) และ (3) ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของ Nash and Sutcliffe (E) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ (\%R)} = \frac{(R_f - R_m)}{R_f} \times 100 \quad (3.5)$$

โดยที่ R_f คือ ปริมาณน้ำท่ารายปีจากสถานีวัดน้ำ
 R_m คือ ปริมาณน้ำท่ารายปีจากแบบจำลอง

$$E = 1 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n (q_f - q_m)_i^2 \right]}{\left[\sum_{i=1}^n (q_f - q_{avg})_i^2 \right]} \quad (3.6)$$

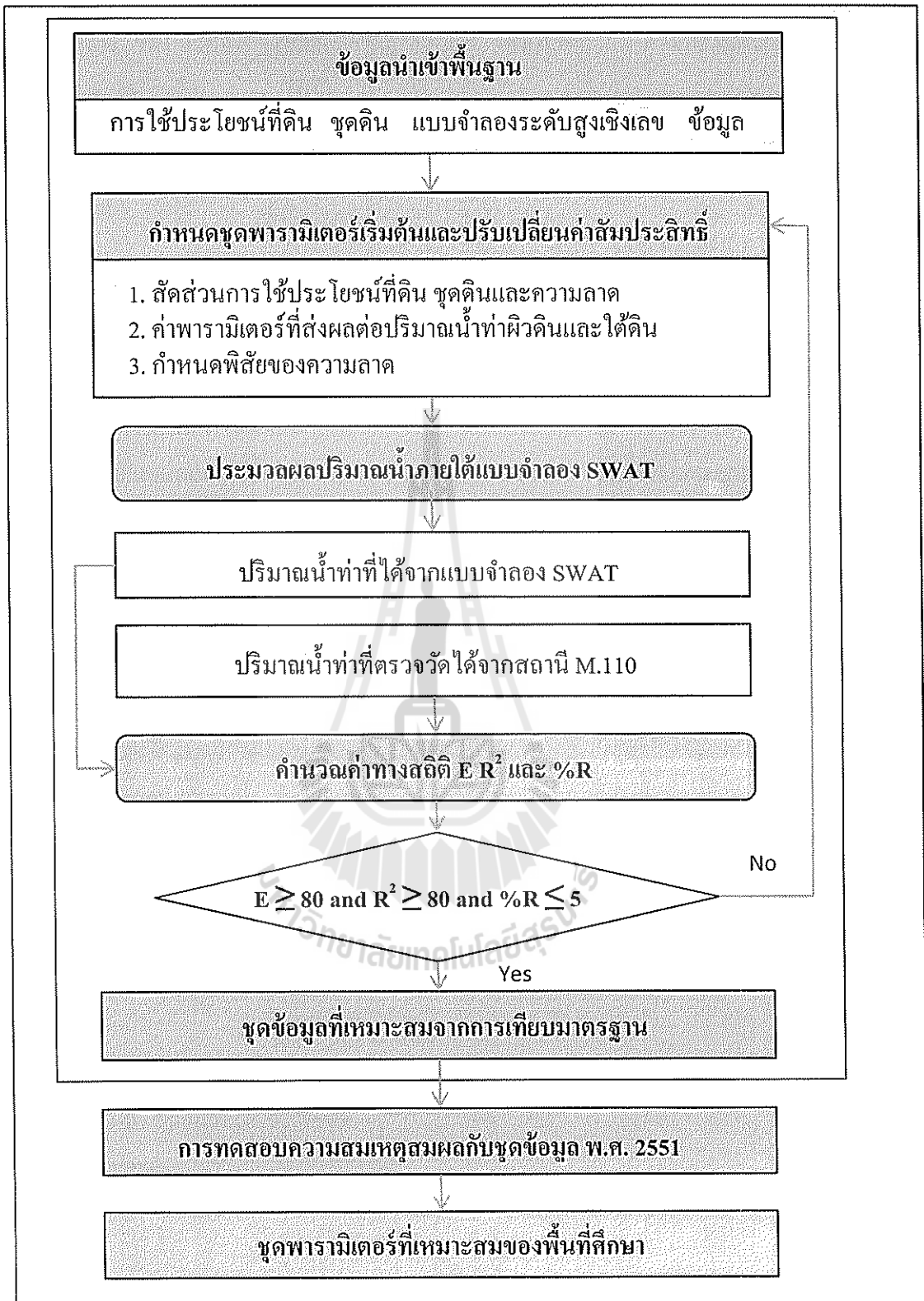
โดยที่ q_f คือ ปริมาณน้ำท่ารายเดือนจากสถานีวัดน้ำ
 q_m คือ ปริมาณน้ำท่ารายปีจากแบบจำลอง
 q_{avg} คือ ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำ
 n คือ จำนวนเดือน (12 เดือน)

สำหรับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ (%R) มีค่าไม่มากกว่าร้อยละ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลของ Nash and Sutcliffe (E) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 และนำชุดพารามิเตอร์ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานไปใช้ทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง (Model validation) กับชุดข้อมูล พ.ศ. 2551 พร้อมคำนวณค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลของ Nash and Sutcliffe (E) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) พร้อมสรุปผลการประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของพื้นที่ศึกษาสำหรับใช้ในประมาณปริมาณน้ำท่าใน พ.ศ. 2559 และ 2567 (ภาพที่ 3.2)

3.2.4 การประมาณปริมาณน้ำท่าในอนาคตโดยแบบจำลอง SWAT

ในขั้นตอนนี้จะนำชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสูงสุดของพื้นที่ศึกษาที่ได้จากการประเมินชุดพารามิเตอร์ในการเทียบมาตรฐานแบบจำลองและการทดสอบความสมเหตุสมผลแบบจำลองมาทำการประมาณปริมาณน้ำท่าใน พ.ศ. 2559 ตามทัศนภาพของปริมาณน้ำฝนใน พ.ศ. 2559 3 แบบรูป (ข้อมูลปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าปกติ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนปกติ และข้อมูลปริมาณน้ำฝนมากกว่าปกติ) ซึ่งได้จัดเตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 3.2.1 ร่วมกับข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 และข้อมูลพื้นฐาน (ข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข และข้อมูลชุดดิน) พร้อมทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนต่อปริมาณน้ำท่า

นอกจากนี้ ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า โดยนำปริมาณน้ำฝนรายเดือน พ.ศ. 2543 สถานีอุทกวิทยา M.110 มาใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่า ร่วมกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 และ 2551 ของกรมพัฒนาที่ดิน และข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 และ 2567 เพื่ออธิบายผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 3.2 การประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประมาณปริมาณน้ำท่า

บทที่ 4

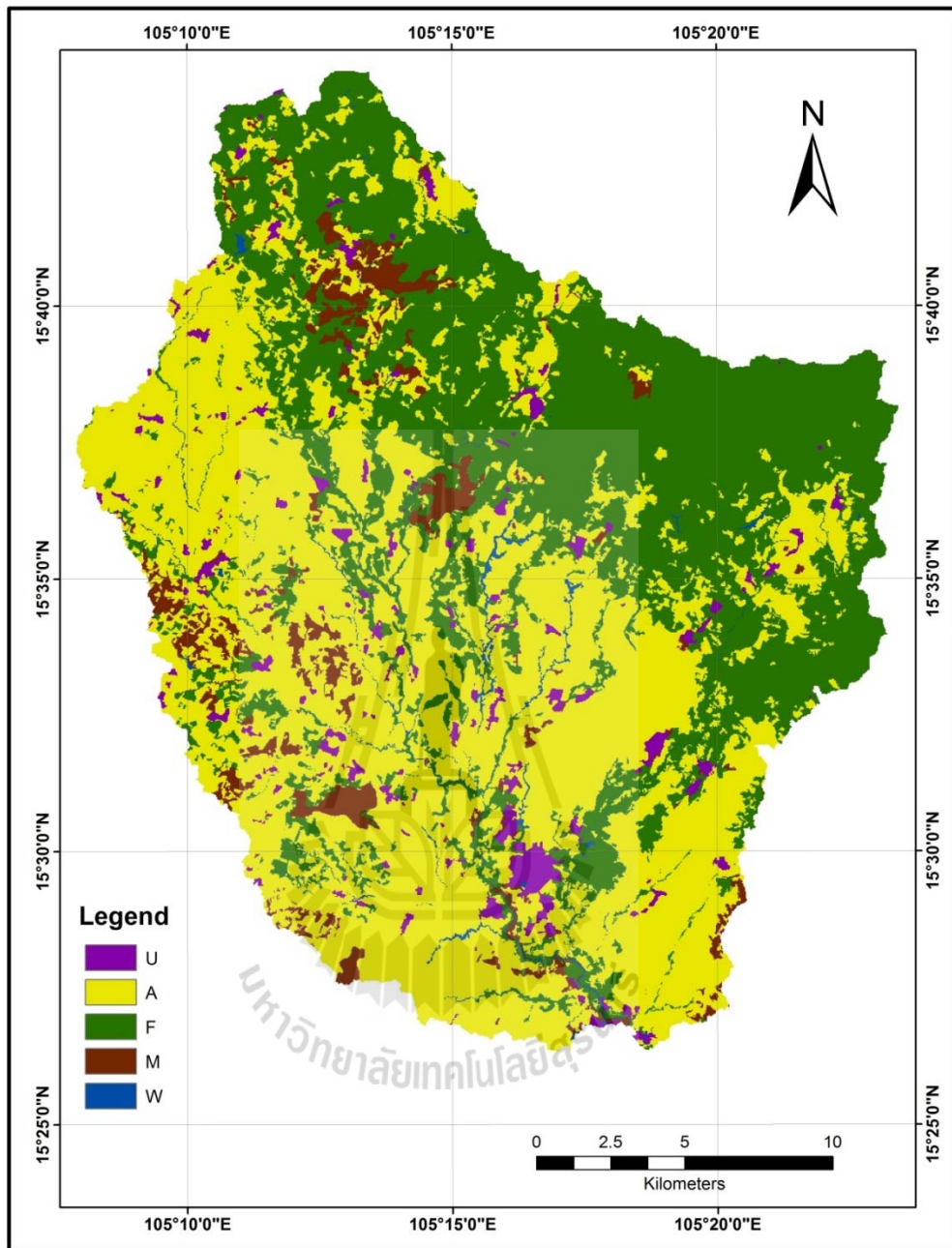
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ในการประมาณปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลจากข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่อาศัยแบบจำลอง CA-Markov โดยแบบจำลอง SWAT: กรณีศึกษา ลุ่มน้ำย่อยห้วยคองในลุ่มน้ำมูล ที่มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2543 และ 2551 สำหรับใช้ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2559 และ 2567 (2) เพื่อประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประมาณปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT โดยอาศัยวิธีการเทียบมาตรฐานและการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง และ (3) เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าของทัศนภาพ 3 แบบรูปใน พ.ศ. 2559 โดยแบบจำลอง SWAT รวมทั้ง การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนต่อปริมาณน้ำท่าและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า มีผลการศึกษาอธิบายตามวิธีการศึกษาประกอบด้วย (1) การรวบรวมและการจัดเตรียมข้อมูล (2) การประเมินและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต (3) การประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประมาณปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT และ (4) การประมาณปริมาณน้ำท่าในอนาคตโดยแบบจำลอง SWAT

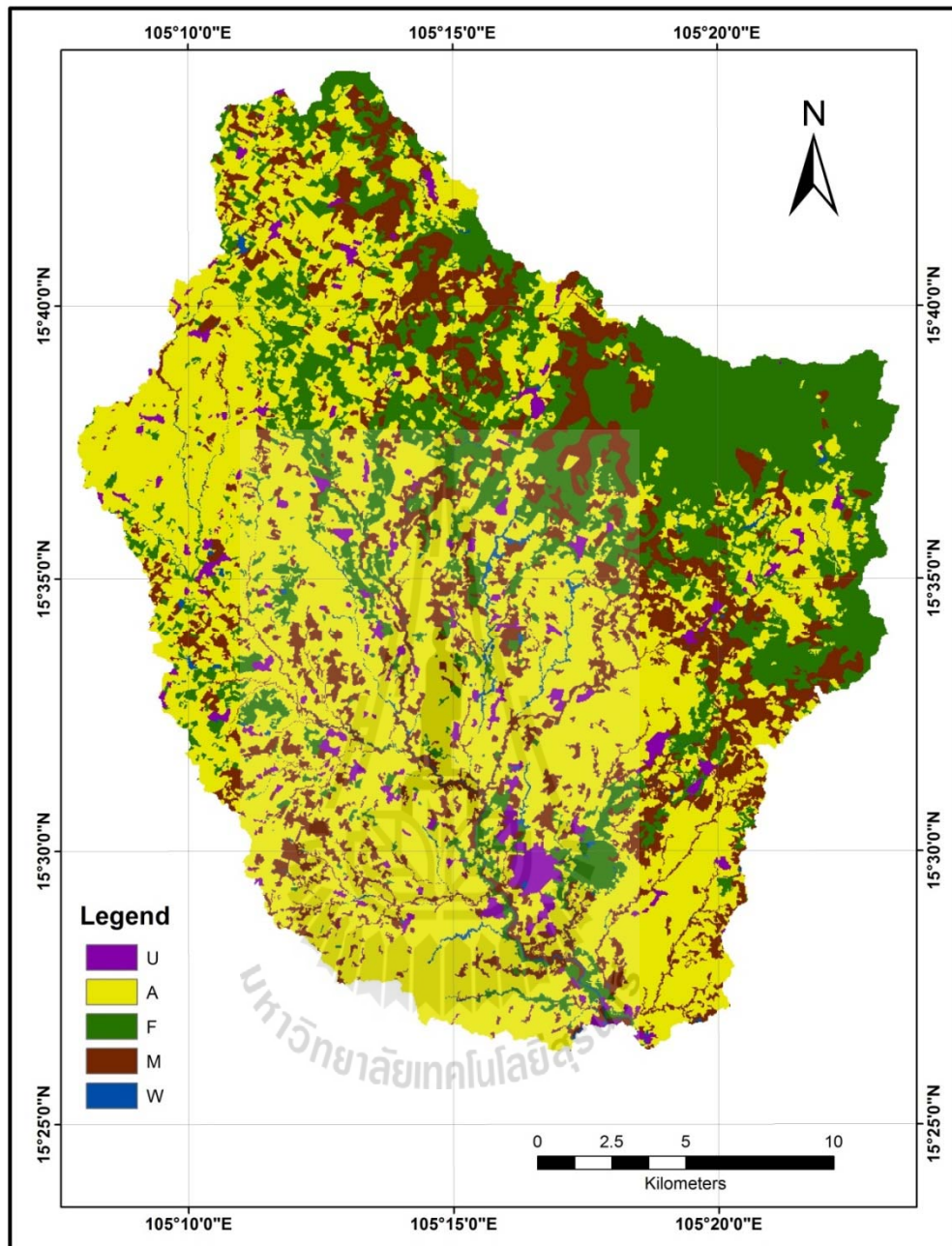
4.1 ผลการรวบรวมและการจัดเตรียมข้อมูล (Data collection and preparation)

4.1.1 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 และ 2551

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 และ 2551 จากกรมพัฒนาที่ดิน ประกอบด้วยประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินระดับที่ 1 ได้แก่ เมืองและสิ่งปลูกสร้าง (U) พื้นที่เกษตรกรรม (A) พื้นที่ป่าไม้ (F) แหล่งน้ำ (W) และพื้นที่เบ็ดเตล็ด (M) ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ และรายละเอียดการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2543 และ 2551 ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ ในการศึกษาครั้งนี้ ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระดับที่ 3 ใน พ.ศ. 2543 และ 2551 ของกรมพัฒนาที่ดินจะถูกแปลงเป็นรหัสการใช้ประโยชน์ที่ดินของแบบจำลอง SWAT ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.3 และ 4.4 สำหรับคำอธิบายของรหัสการใช้ประโยชน์ที่ดินของแบบจำลอง SWAT สรุปไว้ในตารางที่ 4.5



ภาพที่ 4.1 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543



ภาพที่ 4.2 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551

ตารางที่ 4.1 พื้นที่และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543

ลำดับ	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	รหัส	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
1	เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	U	16.75	2.96
2	พื้นที่เกษตรกรรม	A	297.89	52.60
3	พื้นที่ป่าไม้	F	219.19	38.69
4	แหล่งน้ำ	W	5.24	0.93
5	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	M	27.33	4.83
รวม			566.40	100.00

ตารางที่ 4.2 พื้นที่และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551

ลำดับ	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	รหัส	พื้นที่ (ตร.กม.)	ร้อยละ
1	เมืองและสิ่งปลูกสร้าง	U	16.99	2.99
2	พื้นที่เกษตรกรรม	A	305.99	54.03
3	พื้นที่ป่าไม้	F	136.22	24.05
4	แหล่งน้ำ	W	6.29	1.11
5	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	M	100.89	17.82
รวม			566.40	100.00

ตารางที่ 4.3 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT

LDD CODE	THAI NAME	ENGLISH NAME	SWAT CODE
พื้นที่เกษตรกรรม (A)	นาข้าว	Rice paddy	RICE
	พืชไร่ผสม	Mixed field crop	AGRL
	มันสำปะหลัง	Cassava	AGRR
	ยางพารา	Rubber tree	RUBR
	ยูคาลิปตัส	Eucalyptus	ORCD
	ไม้ผลผสม	Mixed orchard	ORCD
	มะม่วง	Mango	ORCD
	มะม่วงหิมพานต์	Cashew	ORCD
	มะขาม	Tamarind	ORCD
	ไม้ยืนต้นผสม	Mixed perennial	FRST
พื้นที่ป่าไม้ (F)	สัก	Teak	FRST
	ป่าผลัดใบสมบูรณ์	Dense deciduous forest	FRSD
	สวนป่าสมบูรณ์	Dense forest plantation	FRST
	ป่าดิบพรอสภาพพื้นที่	Disturbed evergreen forest	RNGB
	ป่าผลัดใบพรอสภาพพื้นที่	Disturbed deciduous forest	RNGB
พื้นที่เบ็ดเตล็ด (M)	ทุ่งหญ้า	Grass	RNGE
	ไม้ละเมาะ	Scrub	RNGB
	พื้นที่ลุ่ม	Marsh and Swamp	WETL
	หาดทราย	Beach	WETL
	หินโผล่	Rock outcrop	WETL
	พื้นที่ถม	Landfill	WETL
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (U)	ตัวเมืองและย่านการค้า	City, Town, Commercial	URHD
	หมู่บ้าน	Village	URML
	สถานที่ราชการและสถาบันต่างๆ	Institutional land	UINS
	ลานตากและแหล่งรับซื้อทางการเกษตร	Agricultural product trading center	UINS
	สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ	Recreation area	UINS
พื้นที่น้ำ (W)	แม่น้ำลำคลอง	River, Canal	WATR
	หนอง บึง ทะเลสาบ	Natural water resource	WATR
	อ่างเก็บน้ำ	Reservoir	WATR
	บ่อน้ำในไร่นา	Farm pond	WATR

ตารางที่ 4.4 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT

LDD CODE	THAI NAME	ENGLISH NAME	SWAT CODE
พื้นที่	นาข้าว	Rice paddy	RICE
เกษตรกรรม	พืชไร่ผสม	Mixed field crop	AGRL
(A)	มันสำปะหลัง	Cassava	AGRR
	มันสำปะหลัง/ยางพารา	Cassava/ Para rubber	AGRR
	มันสำปะหลัง/มะม่วงหิมพานต์	Cassava/ Cashew	AGRR
	ปอแก้ว ปอกระเจา	Kenaf, Jute	AGRR
	ข้าวไร่	Upland rice	AGRL
	ยางพารา	Para rubber	RUBR
	ยูคาลิปตัส	Eucalyptus	ORCD
	สัก	Teak	ORCD
	กระถิน	Acacia	ORCD
	ประดู่	Pterocarpus sp.	ORCD
	กฤษณา	Agalloch	ORCD
	ไม้ผลผสม	Mixed orchard	ORCD
	ส้ม	Orange	ORCD
	มะพร้าว	Coconut	ORCD
	มะม่วง	Mango	ORCD
	มะม่วงหิมพานต์	Cashew	ORCD
	มะขาม	Tamarind	ORCD
	มะละกอ	Papaya	AGRL
	แก้วมังกร	Dragon fruit	AGRL
	ไม้ยืนต้นผสม	Mixed perennial	FRST
	โรงเรือนเลี้ยงโค กระบือ และม้า	Cattle farm house	URML
	โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ปีก	Poultry farm house	URML
	โรงเรือนเลี้ยงสุกร	Swine farm house	URML
	ลานตาก และแหล่งรับซื้อทางการเกษตร	Agricultural product trading centers	URML
	บัว	Lotus	WETR
	สถานที่เพาะเลี้ยงปลา	Fish farm	WATR
	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์	Pasture	PAST
พื้นที่ป่าไม้	ป่าผลัดใบสมบูรณ์	Dense deciduous forest	FRSD
(F)	สวนป่าสมบูรณ์ หรือพื้นที่ปลูกป่าร่วมกับการเกษตร	Dense forest plantation	FRST
	ป่าดิบรอสภาพฟื้นฟู	Disturbed evergreen forest	RNGB
	ป่าผลัดใบรอสภาพฟื้นฟู	Disturbed deciduous forest	RNGB
	สวนป่ารอสภาพฟื้นฟู	Disturbed forest plantation	RNGB

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

LDD CODE	THAI NAME	ENGLISH NAME	SWAT CODE
พื้นที่	ทุ่งหญ้า	Grass	PAST
เบ็ดเตล็ด(M)	ไม้ละเมาะ	Scrub	RNGB
	ไผ่	Bamboo	FRSD
	พื้นที่ลุ่ม	Marsh and Swamp	WETL
	หาดทราย	Beach	WETL
	ที่หินโผล่	Rock outcrop	WETL
	ที่ทิ้งขยะ	Garbage dump	WETL
	พื้นที่ถม	Landfill	WETL
พื้นที่ชุมชน	ตัวเมืองและย่านการค้า	City, Town , Commercial	URHD
และสิ่งปลูก	หมู่บ้าน	Village	URML
สร้าง (U)	สถานที่ราชการ และสถาบันต่างๆ	Institutional land	UINS
	โรงงานอุตสาหกรรม	Factory	URHD
	สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ	Recreation area	UINS
	สนามกอล์ฟ	Golf course	FESC
	สถานีบริการน้ำมัน	Gassoline Station	URML
พื้นที่น้ำ (W)	แม่น้ำลำคลอง	River, Canal	WATR
	หนอง บึง ทะเลสาบ	Natural water resource	WATR
	อ่างเก็บน้ำ	Reservoir	WATR
	บ่อน้ำในไร่นา	Farm pond	WATR
	คลองชลประทาน	Irrigation canal	WATR

ตารางที่ 4.5 รหัสการใช้ประโยชน์ที่ดินของแบบจำลอง SWAT ที่พบในพื้นที่ศึกษา

SWAT Code	English Name	Land Use of LDD
AGRL	Agricultural land generic	พืชไร่ผสม ข้าวไร่ แก้วมังกร มะละกอ
AGRR	Agricultural land row crops	มันสำปะหลัง มันสำปะหลัง/ยางพารา มันสำปะหลัง/มะม่วง หิมพานต์ ปอแก้ว ปอกระเจา
FESC	Tall fescue	สนามกอล์ฟ
FRSD	Forest deciduous	ป่าผลัดใบสมบูรณ์ ไม้
FRST	Forest mixed	ไม้ยืนต้นผสม สวนป่าสมบูรณ์ หรือพื้นที่ปลูกป่าร่วมกับ การเกษตร
ORCD	Orchard	ยูคาลิปตัส ไม้ผลผสม มะม่วง มะม่วงหิมพานต์ มะขาม ลัก กระถิน ประดู่ กฤษณา ส้ม มะพร้าว
PAST	Pasture	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์
RICE	Rice	นาข้าว
RNGB	Range bush	ป่าดิบรอสภาพพื้นที่ป่าผลัดใบรอสภาพพื้นที่ สวนป่ารอสภาพ พื้นที่ ไม้ละเมาะ
RNGE	Range grasses	ทุ่งหญ้า
RUBR	Rubber tree	ยางพารา
UIDU	Industrial	โรงงานอุตสาหกรรม
UINS	Institutional	สถานที่ราชการและสถาบันต่างๆ สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ
URHD	Residential high density	ตัวเมืองและย่านการค้า
URML	Residential med/low density	หมู่บ้าน โรงเรียนเลี้ยงสัตว์ปีก โรงเรียนเลี้ยงโค กระบือ และม้า โรงเรียนเลี้ยงสุกร ลานตากและแหล่งรับซื้อทางการเกษตร, สถานีบริการน้ำมัน
WATR	Water	แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ บ่อน้ำในไร้ นาคลองชลประทาน สถานที่เพาะเลี้ยงปลา บัว
WETL	Wetland mixed	พื้นที่ลุ่ม หาดทราย ที่หินโผล่ พื้นที่ถล่ม ที่ทิ้งขยะ

4.1.2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ได้รวบรวมและจัดเตรียมสำหรับการวิเคราะห์ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวัน อุณหภูมิสูงสุดรายวัน อุณหภูมิต่ำสุดรายวัน อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน ข้อมูล แสงแดดเฉลี่ยรายวัน ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวัน และอุณหภูมิจุด น้ำค้าง (Dew point) ซึ่งสรุปแสดงเป็นข้อมูลรายเดือนในตารางที่ 4.6 ถึง ตารางที่ 4.13 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110

พ.ศ.	ปริมาณน้ำฝนรายเดือน (มม.)												รวม
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
254					216.	127.	155.	241.	201.		117.		1,228.
1	0.0	58.4	0.0	66.0	9	2	4	4	0	42.3	1	2.6	3
254			95.	116.	305.	179.	261.		165.	201.			1,447.
2	0.2	23.1	8	4	0	0	4	92.5	5	0	6.3	1.3	5
245				242.	356.	199.	295.	313.	193.				1,673.
3	0.0	4.2	0.8	3	1	5	6	1	5	68.2	0.3	0.0	6
254			95.			227.	253.	260.	351.	269.			1,628.
4	0.7	15.4	3	13.0	44.5	6	5	8	2	7	96.5	0.2	4
254						166.	336.	317.	346.	112.		12.	1,443.
5	0.0	0.0	0.9	56.4	86.3	8	2	3	1	5	8.6	2	3
254			41.	125.	342.	204.	139.	292.	305.				1,497.
6	0.0	5.8	2	6	5	0	0	9	2	40.8	0.4	0.0	4
254					112.	332.	334.	190.	261.				1,327.
7	7.7	18.8	2.6	65.0	2	1	9	8	5	1.1	0.4	0.0	1
254					216.	127.	155.	241.	201.		117.		1,228.
8	0.0	58.4	0.0	66.0	9	2	4	4	0	42.3	1	2.6	3
254				151.		157.	298.	344.	198.	105.			1,391.
9	0.0	6.8	1.7	1	85.0	8	5	8	4	2	42.4	0.0	7
255			85.		310.	152.	388.	498.	316.	213.			1,999.
0	0.0	2.7	4	20.0	1	1	6	1	4	5	12.6	0.0	5
255			40.		294.	231.		196.	267.				1,243.
1	0.0	1.1	9	15.3	7	8	88.7	4	5	75.6	31.1	0.0	1

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110

พ.ศ.	อุณหภูมิรายเดือน (°C)												เฉลี่ย
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2541	34.04	34.51	35.27	35.67	35.85	35.65	35.44	35.16	34.82	34.58	34.27	33.93	34.93
2542	33.75	33.73	33.84	33.86	33.78	33.71	33.62	33.54	33.47	33.39	33.29	33.07	33.59
2453	33.03	33.02	33.13	33.17	33.18	33.15	33.10	33.08	33.03	32.98	32.95	32.91	33.06
2544	32.92	32.96	33.00	33.12	33.16	33.16	33.16	33.13	33.11	33.11	33.04	32.99	33.07
2545	32.97	32.99	33.06	33.14	33.17	33.18	33.18	33.15	33.12	33.12	33.11	33.11	33.11
2546	33.08	33.10	33.14	33.18	33.22	33.23	33.23	33.22	33.19	33.18	33.19	33.16	33.18
2547	33.14	33.13	33.17	33.23	33.25	33.25	33.24	33.23	33.22	33.22	33.22	33.20	33.21
2548	33.20	33.23	33.26	33.30	33.34	33.34	33.34	33.32	33.30	33.28	33.29	33.26	33.29
2549	33.26	33.27	33.30	33.32	33.34	33.35	33.34	33.32	33.32	33.31	33.31	33.30	33.31
2550	33.28	33.30	33.32	33.34	33.35	33.35	33.17	33.34	33.34	33.32	33.29	33.29	33.31
2551	32.17	33.26	33.28	33.30	33.30	33.30	33.30	33.30	33.28	33.28	33.27	33.25	33.19
เฉลี่ย	33.17	33.32	33.43	33.51	33.54	33.52	33.47	33.43	33.38	33.34	33.29	33.22	

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110

พ.ศ.	อุณหภูมิรายเดือน (°C)												เฉลี่ย
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2541	19.51	20.47	21.28	22.04	22.69	23.03	23.22	23.33	23.38	23.28	23.07	22.73	22.34
2542	22.43	22.23	22.28	22.35	22.45	22.54	22.66	22.75	22.81	22.82	22.76	22.51	22.55
2453	22.39	22.26	22.28	22.34	22.41	22.47	22.53	22.60	22.64	22.66	22.58	22.51	22.47
2544	22.45	22.39	22.39	22.47	22.52	22.56	22.61	22.65	22.68	22.69	22.62	22.54	22.55
2545	22.44	22.40	22.42	22.46	22.51	22.55	22.59	22.61	22.64	22.65	22.63	22.60	22.54
2546	22.51	22.49	22.49	22.53	22.57	22.61	22.65	22.68	22.70	22.70	22.68	22.61	22.60
2547	22.55	22.51	22.53	22.56	22.59	22.61	22.63	22.66	22.67	22.66	22.63	22.57	22.60
2548	22.52	22.51	22.49	22.51	22.53	22.55	22.55	22.56	22.57	22.52	22.55	22.50	22.53
2549	22.45	22.43	22.44	22.46	22.48	22.51	22.53	22.54	22.55	22.55	22.55	22.51	22.50
2550	22.46	22.45	22.46	22.47	22.48	22.49	23.42	22.50	22.51	22.51	22.48	22.48	22.56
2551	17.89	22.37	22.36	22.37	22.38	22.40	22.42	22.43	22.44	22.45	22.44	22.41	22.03
เฉลี่ย	21.78	22.23	22.31	22.41	22.51	22.57	22.71	22.67	22.69	22.68	22.63	22.54	

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110

พ.ศ.	อุณหภูมิรายเดือน (°C)												เฉลี่ย
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2541	26.15	26.82	27.80	28.40	28.73	28.81	28.83	28.76	28.64	28.48	28.24	27.90	28.13
2542	27.90	27.55	27.65	27.70	27.68	27.69	27.70	27.71	27.69	27.66	27.57	27.32	27.65
2453	27.24	27.17	27.23	27.29	27.32	27.33	27.34	27.36	27.36	27.35	27.28	27.22	27.29
2544	27.22	27.18	27.20	27.30	27.33	27.34	27.36	27.36	27.37	27.38	27.31	27.24	27.30
2545	27.18	27.17	27.21	27.27	27.30	27.32	27.34	27.34	27.33	27.34	27.32	27.31	27.29
2546	27.25	27.24	27.26	27.31	27.34	27.36	27.38	27.39	27.38	27.38	27.37	27.32	27.33
2547	27.28	27.26	27.29	27.33	27.35	27.36	27.37	27.37	27.37	27.37	27.36	27.32	27.34
2548	27.29	27.31	27.31	27.34	27.37	27.38	27.39	27.39	27.39	27.38	27.38	27.34	27.36
2549	27.32	27.32	27.34	27.36	27.37	27.39	27.40	27.40	27.40	27.40	27.40	27.37	27.37
2550	27.34	27.34	27.36	27.38	27.39	27.41	28.30	27.41	27.42	27.41	27.38	27.38	27.46
2551	24.43	27.31	27.32	27.34	27.34	27.35	27.36	27.36	27.36	27.36	27.35	27.32	27.10
เฉลี่ย	26.96	27.24	27.36	27.45	27.50	27.52	27.61	27.53	27.52	27.50	27.45	27.37	

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลแสงแดดเฉลี่ยรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110

พ.ศ.	ปริมาณแสงแดดรายเดือน (เมกะจูล/ตร.ม.·วัน)												เฉลี่ย
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2541	9.225	8.965	9.137	8.797	8.607	8.293	8.220	7.885	7.520	7.404	7.295	7.318	8.222
2542	7.331	7.481	7.454	7.373	7.373	7.234	7.101	6.957	6.828	6.743	6.729	6.729	7.111
2453	6.754	6.790	6.823	6.788	6.759	6.682	6.627	6.581	6.581	6.545	6.597	6.597	6.677
2544	6.635	6.674	6.655	6.707	6.687	6.621	6.576	6.516	6.477	6.492	6.517	6.540	6.591
2545	6.597	6.656	6.666	6.692	6.688	6.660	6.625	6.571	6.514	6.526	6.564	6.592	6.613
2546	6.638	6.662	6.662	6.683	6.702	6.666	6.641	6.620	6.569	6.574	6.603	6.600	6.635
2547	6.620	6.630	6.635	6.662	6.665	6.648	6.606	6.588	6.566	6.592	6.623	6.635	6.622
2548	6.661	6.686	6.685	6.688	6.693	6.672	6.640	6.605	6.579	6.612	6.574	6.580	6.640
2549	6.610	6.626	6.624	6.629	6.634	6.639	6.613	6.585	6.576	6.578	6.602	6.623	6.612
2550	6.648	6.669	6.680	6.693	6.689	6.688	5.800	6.654	6.645	6.629	6.631	6.631	6.588
2551	9.019	6.675	6.689	6.698	6.683	6.678	6.679	6.665	6.641	6.637	6.624	6.612	6.858
เฉลี่ย	7.158	6.956	6.974	6.946	6.925	6.862	6.739	6.748	6.682	6.667	6.669	6.678	

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110

พ.ศ.	ความเร็วลม (กม./ชม.)												เฉลี่ย
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2541	20.67	14.53	12.69	11.78	10.08	11.97	11.25	5.89	8.64	22.06	24.14	37.94	15.97
2542	15.39	12.28	15.89	9.58	9.78	9.86	12.08	10.28	8.97	11.42	18.81	18.14	12.71
2453	16.25	12.78	13.42	8.72	7.50	8.03	7.44	10.33	7.72	15.08	20.64	29.81	13.14
2544	14.56	23.39	11.83	11.75	7.83	7.92	10.08	9.08	8.94	16.00	20.64	24.31	13.86
2545	13.36	15.44	11.86	9.94	9.56	10.19	9.39	10.14	8.33	11.17	8.69	15.69	11.15
2546	11.14	11.08	10.47	10.50	9.53	11.83	10.14	7.44	9.61	12.67	22.11	26.00	12.71
2547	20.81	20.14	10.25	9.64	6.64	8.92	9.97	7.64	7.25	11.44	21.44	36.17	14.19
2548	17.92	17.06	14.78	11.47	9.06	9.44	11.83	12.11	8.89	14.06	25.17	25.36	14.76
2549	13.75	16.81	13.58	11.03	12.25	10.42	11.50	10.06	7.44	12.42	23.11	21.83	13.68
2550	16.08	13.03	13.53	10.97	11.42	11.42	12.58	10.11	7.78	12.00	22.00	15.31	13.02
2551	17.36	12.94	13.25	8.67	11.17	8.83	8.69	9.14	6.25	17.47	18.39	24.11	13.02
เฉลี่ย	16.12	15.41	12.87	10.37	9.53	9.89	10.45	9.29	8.17	14.16	20.47	24.97	

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110

พ.ศ.	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)												เฉลี่ย
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2541	69.02	68.67	67.05	67.44	68.11	69.30	70.24	71.41	72.56	72.94	73.02	72.62	70.20
2542	72.18	71.59	71.34	71.50	72.15	72.50	72.89	73.24	73.63	73.86	73.90	73.60	72.70
2453	73.38	73.15	72.79	72.79	73.01	73.22	73.42	73.62	73.85	73.96	73.79	73.66	73.39
2544	73.47	73.26	73.14	72.94	72.98	73.14	73.32	73.53	73.69	73.79	73.73	73.61	73.38
2545	73.44	73.21	72.97	72.80	72.82	72.90	73.00	73.16	73.33	73.36	73.31	73.27	73.13
2546	73.14	73.04	72.93	72.88	72.89	72.99	73.08	73.19	73.35	73.36	73.27	73.15	73.11
2547	73.06	72.97	72.80	72.68	72.67	72.73	72.81	72.90	72.98	72.92	72.84	72.73	72.84
2548	72.64	72.51	72.38	72.34	72.34	72.39	72.49	72.60	72.71	72.87	72.73	72.66	72.56
2549	72.57	72.49	72.39	72.37	72.36	72.37	72.46	72.56	72.62	72.67	72.66	72.61	72.51
2550	72.53	72.43	72.37	72.30	72.34	72.38	78.26	72.52	72.58	72.64	72.62	72.62	72.97
2551	65.29	72.45	72.36	72.31	72.37	72.42	72.43	72.49	72.57	72.61	72.62	72.59	71.88
เฉลี่ย	71.88	72.34	72.05	72.03	72.18	72.40	73.13	72.84	73.08	73.18	73.14	73.01	

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลอุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยรายเดือน ณ สถานีอุทกวิทยา M.110

พ.ศ.	อุณหภูมิจุดน้ำค้างเฉลี่ยรายเดือน (°C)												เฉลี่ย
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
2541	18.29	17.86	20.71	23.25	23.84	23.73	23.62	24.10	23.49	22.45	18.03	18.63	21.50
2542	18.86	18.62	21.03	23.22	23.34	24.00	24.27	24.13	24.13	23.22	17.98	17.22	21.67
2453	16.46	17.64	20.36	21.95	23.35	23.97	23.86	23.85	23.93	22.36	20.24	20.15	21.51
2544	15.84	19.50	20.88	23.51	23.99	24.73	23.99	24.04	24.03	21.88	19.24	15.92	21.46
2545	17.56	17.76	20.14	22.25	23.45	23.46	23.69	23.92	23.37	20.07	19.28	16.03	20.92
2546	16.86	19.55	19.24	23.03	23.87	23.92	24.23	23.92	24.15	22.16	20.83	16.27	21.50
2547	16.72	19.19	21.43	23.05	22.69	23.95	23.87	24.15	23.48	22.85	21.55	17.05	21.67
2548	16.19	18.19	22.09	21.88	23.79	24.58	24.02	24.22	23.88	22.38	17.83	18.66	21.48
2549	16.73	15.41	18.95	22.46	23.63	23.99	23.34	23.72	23.90	23.43	19.79	16.57	20.99
2550	14.36	19.68	21.08	22.68	23.20	23.70	24.00	24.66	24.05	22.87	19.35	18.15	21.48
2551	18.88	21.48	19.30	23.09	24.17	24.25	23.76	24.14	24.34	21.89	18.77	17.79	21.82
เฉลี่ย	16.98	18.63	20.47	22.76	23.57	24.03	23.88	24.08	23.89	22.32	19.35	17.49	

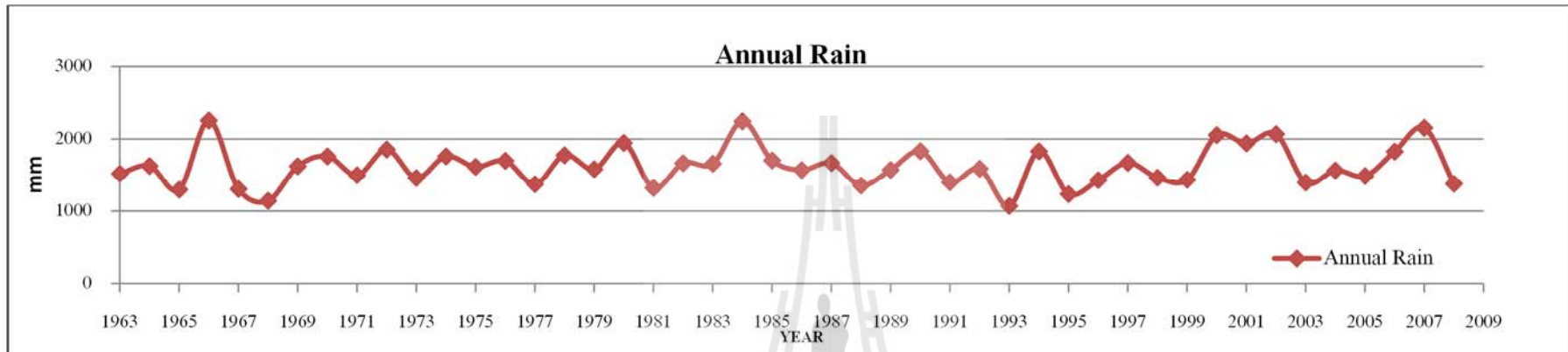


4.1.3 ผลการจัดเตรียมทัศนภาพ (Scenario)

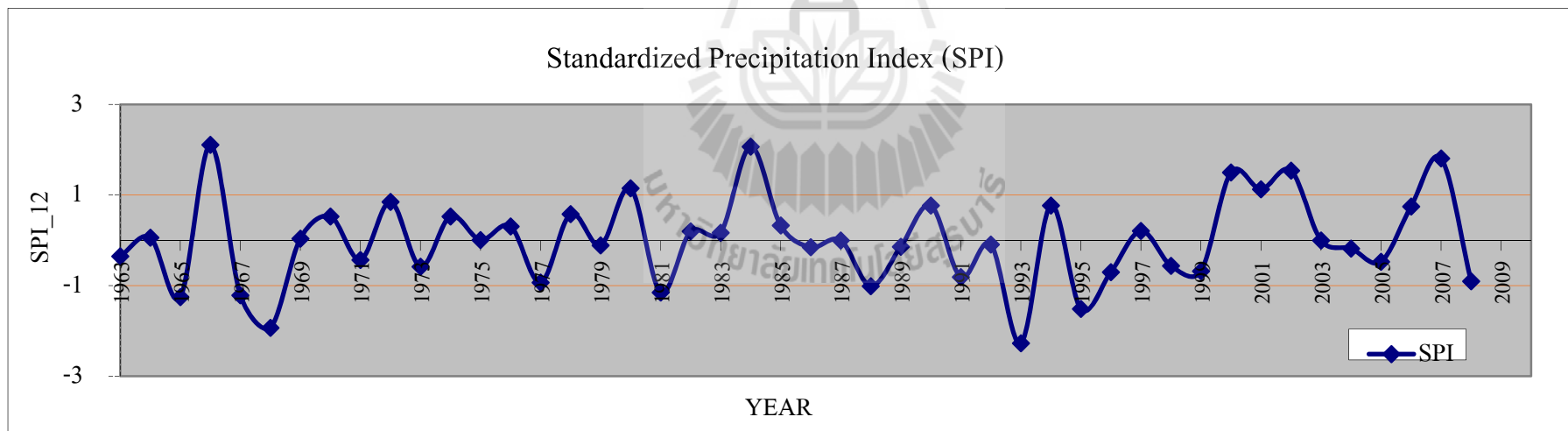
ในการกำหนดทัศนภาพที่อาศัยการวิเคราะห์ค่าดัชนีวัดความแห้งแล้งของฝน (SPI) ในคาบ 12 เดือน (SPI-12) จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนย้อนหลัง 45 ปี (พ.ศ. 2506-2551) ของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดอุบลราชธานี (ภาพที่ 4.3) ได้ถูกเลือกนำมาใช้กำหนดทัศนภาพ 3 แบบรูปตามเกณฑ์มาตรฐานของดัชนีวัดความแห้งแล้งของฝน (SPI) (ตารางที่ 3.3) พบว่า ค่า SPI ของปริมาณน้ำฝนรายเดือนในระหว่าง พ.ศ. 2506-2551 มีค่าอยู่ระหว่าง -2.27 และ 2.11 ดังรายละเอียดในภาพที่ 4.4 และตารางที่ 4.14

จากภาพที่ 4.4 และตารางที่ 4.14 พบว่า ใน พ.ศ. 2536 ค่า SPI มีค่าต่ำสุด คือ -2.27 จึงกำหนดให้ปริมาณน้ำฝนใน พ.ศ. 2536 เป็นทัศนภาพแบบที่ 1 ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยผิดปกติ (Extremely dry) ในทางตรงกันข้าม ใน พ.ศ. 2509 ค่า SPI มีค่าสูงสุด เท่ากับ +2.11 จึงกำหนดให้ปริมาณน้ำฝนในปีนี้เป็นทัศนภาพแบบที่ 3 ที่มีปริมาณน้ำฝนมากผิดปกติ (Extremely wet) ในขณะเดียวกัน ใน พ.ศ. 2543 ค่า SPI มีค่าเท่ากับ 0 จึงกำหนดให้ปริมาณน้ำฝนในปีนี้เป็น ทัศนภาพแบบ ที่ 2 ที่มีปริมาณน้ำฝนปกติ (Normal year)





ภาพที่ 4.3 กราฟปริมาณน้ำฝนรายปีระหว่าง พ.ศ. 2506–2551 ของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดอุบลราชธานี



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่า SPI ของปริมาณน้ำฝนรายปีระหว่าง พ.ศ. 2506-2551 ของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดอุบลราชธานี

ตารางที่ 4.14 ค่า SPI ของปริมาณน้ำฝนรายปีระหว่าง พ.ศ. 2506-2551 ของสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดอุบลราชธานี

พ.ศ.	2506	2507	2508	2509	2510	2511	2512	2513	2514	2515	2516	2517
SPI	-0.35	0.06	-1.25	2.11	-1.21	-1.93	0.04	0.53	-0.43	0.85	-0.58	0.53
พ.ศ.	2518	2519	2520	2521	2522	2523	2524	2525	2526	2527	2528	2529
SPI	0.01	0.31	-0.93	0.58	-0.11	1.15	-1.15	0.2	0.17	2.07	0.33	-0.15
พ.ศ.	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541
SPI	0	-1.01	-0.14	0.77	-0.81	-0.09	-2.27	0.77	-1.51	-0.7	0.21	-0.56
พ.ศ.	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551		
SPI	-0.68	1.5	1.13	1.54	0	-0.18	-0.47	0.75	1.81	-0.9		



4.1.4 ข้อมูลอุทกวิทยา

ข้อมูลอุทกวิทยาที่ได้ทำการรวบรวม ได้แก่ ปริมาณน้ำท่ารายเดือน ณ สถานีตรวจวัด M.110 ห้วยตุงสูง บ้านกุดสมบุรณ์ ตำบลคอนใหญ่ อำเภอศรีเมืองใหม่ จังหวัดอุบลราชธานี พื้นที่รับน้ำมีเนื้อที่ประมาณ 570 ตร.กม. และความสูงจากระดับทะเลปานกลางมีค่าเท่ากับ 120.7 ม. (MSL) ซึ่งบันทึกค่าเป็นหน่วยล้านลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 4.15)

ตารางที่ 4.15 ปริมาณน้ำท่ารายเดือน ณ สถานีตรวจวัด M.110

ปีน้ำ	ปริมาณน้ำรายเดือน (ล้าน ลบ.ม.)												ปริมาณน้ำท่ารายปี ล้าน ลบ.ม.	ปริมาณน้ำเฉลี่ย ลบ.ม./วินาที
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.		
2539	1.71	8.59	35.50	50.49	64.78	183.21	34.44	14.37	3.27	1.97	1.09	0.83	400.25	12.69
2540	2.48	5.56	27.03	172.05	189.40	63.98	53.40	3.66	1.21	0.53	0.32	0.24	519.86	16.48
2541	ปีปิดสำรวจ													
2542	2.87	22.29	74.65	172.77	64.87	142.48	45.34	11.69	4.37	2.07	1.28	0.83	545.51	17.25
2543	1.07	38.74	102.25	142.63	178.57	95.85	24.19	3.14	1.03	0.54	0.19	0.20	588.40	18.66
2544	2.58	5.11	48.53	84.74	305.33	225.28	78.77	16.87	7.84	5.87	3.83	3.33	788.06	24.99
2545	0.51	16.54	30.43	121.83	165.05	128.59	21.34	8.90	4.19	1.93	1.26	1.48	502.04	15.92
2546	0.90	8.51	29.25	14.84	131.35	221.06	23.01	5.21	2.00	1.05	0.89	0.46	438.53	13.87
2547	1.27	7.35	48.05	108.14	123.98	86.89	8.15	2.41	0.48	0.00	0.00	0.00	386.72	12.26
2548	0.00	0.41	9.54	128.09	109.99	82.64	15.35	8.76	1.57	0.55	0.11	0.06	357.07	11.32
2549	0.54	0.48	0.97	146.17	207.81	103.72	106.83	3.97	1.81	0.80	0.07	0.02	573.20	18.18
2550	0.38	2.33	2.65	12.54	116.36	130.46	104.92	5.95	2.61	1.38	1.00	3.58	384.17	12.15
2551	3.71	10.61	42.59	60.23	96.54	235.40	19.60	13.85	2.19	0.94	0.39	0.24	486.29	15.42
2552	2.27	2.63	13.60	91.88	99.11	119.38	36.37	2.71	0.00	0.00	0.00	0.00	367.97	11.67
2553	0.00	0.00	47.78	54.86	108.63	120.22	139.53	35.12	5.88	0.00	0.00	0.00	512.02	16.24
สูงสุด	3.71	38.74	102.25	172.77	305.33	235.40	139.53	35.12	7.84	5.87	3.83	3.58	788.06	24.99
เฉลี่ย	1.45	9.22	36.63	97.23	140.13	138.51	50.80	9.76	2.75	1.26	0.74	0.81	489.29	15.51
ต่ำสุด	0.00	0.00	0.97	12.54	64.78	63.98	8.15	2.41	0.00	0.00	0.00	0.00	357.07	11.32

ที่มา: ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการแปลงหน่วยของปริมาณน้ำท่าให้เป็นระดับความสูง โดยการนำเอาปริมาณน้ำทั้งหมดเทียบกับพื้นที่รับน้ำทั้งหมด จะได้ค่าความสูงของปริมาณน้ำท่า หน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยอาศัยสมการ 3.4 ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 4.16 ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้รับจะนำไปใช้ในเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง SWAT ต่อไป

ตารางที่ 4.16 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร ณ สถานีตรวจวัด M.110

ปีน้ำ	ปริมาณน้ำรายเดือน (มม.)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2539	3.515	1.945	1.481	3.051	15.327	63.343	90.090	115.588	326.904	61.452	25.641	5.835
2540	0.946	0.571	0.428	4.425	9.921	48.230	306.991	337.949	114.160	95.282	6.531	2.159
2541	ปีปิดการสำรวจ											
2452	3.701	2.282	1.488	5.117	39.767	133.199	308.267	115.747	254.232	80.906	20.851	7.801
2543	0.964	0.339	0.357	1.909	69.124	182.446	254.496	318.625	171.026	43.163	5.603	1.838
2544	10.469	6.830	5.935	4.595	9.111	86.594	151.204	544.802	401.968	140.552	30.108	13.982
2545	3.440	2.241	2.644	0.915	29.505	54.289	217.388	294.501	229.441	38.079	15.879	7.467
2546	1.874	1.588	0.821	1.606	15.184	52.191	26.479	234.369	394.440	41.057	9.296	3.569
2547	0.000	0.000	0.000	2.266	13.109	85.743	192.948	221.221	155.030	14.533	4.307	0.864
2548	0.987	0.198	0.107	0.000	0.728	17.024	228.556	196.264	147.456	27.382	15.631	2.796
2549	1.435	0.116	0.039	0.956	0.864	1.734	260.817	370.796	185.074	190.625	7.077	3.237
2550	2.466	1.788	6.390	0.685	4.154	4.725	22.377	207.630	232.772	187.217	10.622	4.648
2551	1.677	0.703	0.422	6.623	18.936	75.988	107.474	172.264	420.021	34.972	24.709	3.910
2552	0.000	0.000	0.000	4.058	4.690	24.273	163.948	176.851	213.009	64.894	4.844	0.000
2553	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	85.253	97.879	193.831	214.505	248.960	62.668	10.499

4.2 ผลการประเมินและการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

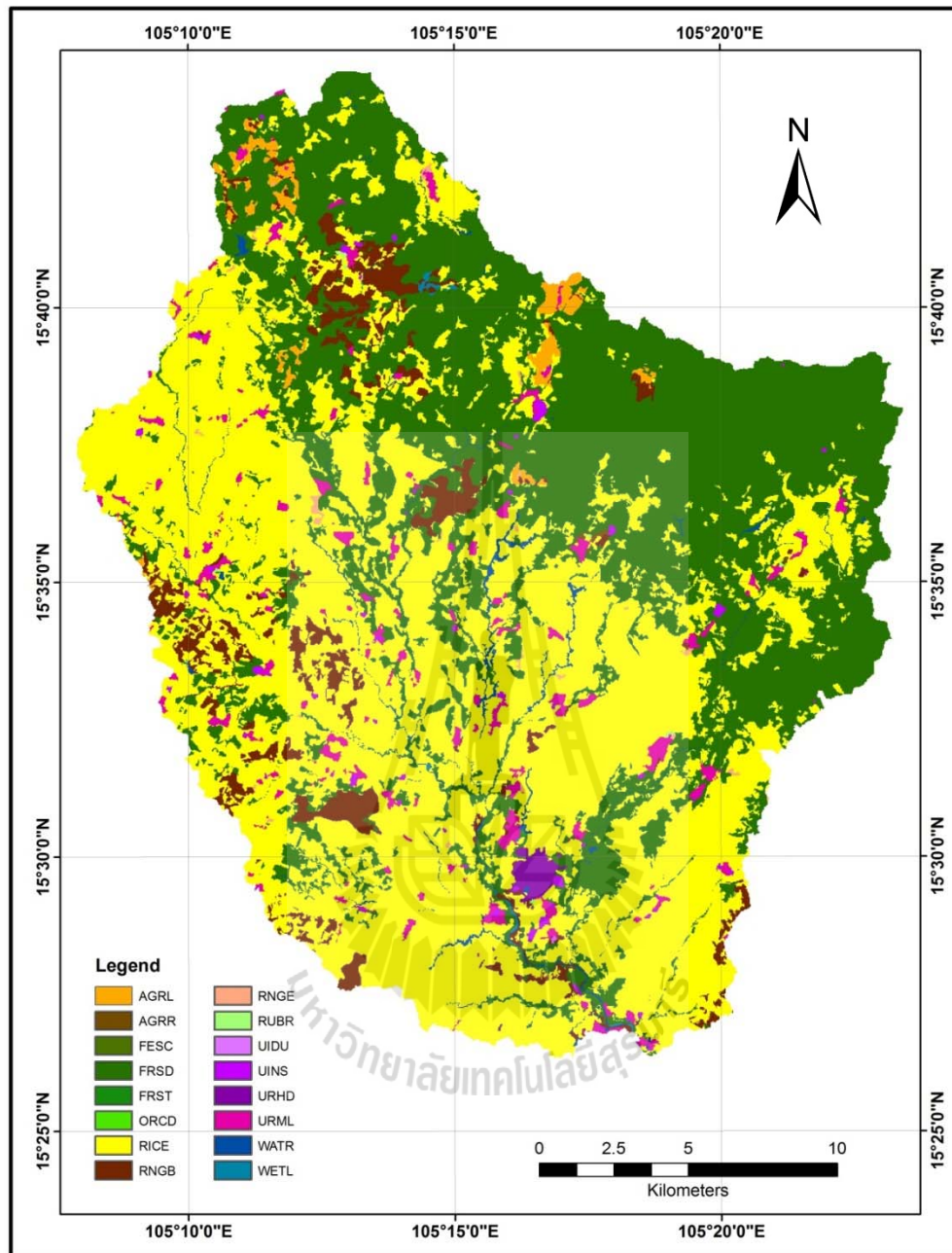
ในการประเมินและการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ที่นำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ระดับที่ 3 มาแปลงให้เป็นรหัสการใช้ประโยชน์ที่ดินของแบบจำลอง SWAT และทำการวิเคราะห์โดยโปรแกรมสำเร็จรูป ArcGIS และ แบบจำลอง CA-Markov ของโปรแกรม IDRISI ตามลำดับ

4.2.1 ผลการประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543

ผลการประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดินตามรหัสของแบบจำลอง SWAT ใน พ.ศ. 2543 พบว่า ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก 3 ลำดับแรก ได้แก่ นาข้าว (RICE) ป่าผลัดใบสมบูรณ์ (FRSD) และทุ่งหญ้าผสมไม้พุ่ม (RNGB) มีเนื้อที่ประมาณ 292 219 และ 26 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 51.54 38.68 และ 4.57 ตามลำดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.17 และการกระจายของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินแสดงไว้ในภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.17 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 ตามรหัสแบบจำลอง SWAT

ลำดับที่	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	รหัสของSWAT	พื้นที่ (ตร.กม.)	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละ
1	Agricultural Land Generic	AGRL	5.43	3,395.00	0.96
2	Agricultural Land Row crops	AGRR	0.24	148.13	0.04
3	Tall Fescue	FESC	0.01	5.00	0.00
4	Forest Deciduous	FRSD	219.11	136,946.25	38.69
5	Forest Mixed	FRST	0.08	49.38	0.01
6	Orchard	ORCD	0.04	22.50	0.01
7	Rice	RICE	291.94	182,465.00	51.54
8	Range Bush	RNGB	25.86	16,161.88	4.57
9	Range Grasses	RNGE	1.00	627.50	0.18
10	Rubber Tree	RUBR	0.24	149.38	0.04
11	Industrial	UIDU	0.03	18.75	0.01
12	Institutional	UINS	2.26	1,415.00	0.40
13	Residential High density	URHD	1.9	1,186.88	0.34
14	Residential Med/Low density	URML	12.54	7,840.00	2.21
15	Water	WATR	5.24	3,276.88	0.93
16	Wetland Mixed	WETL	0.47	291.88	0.08
รวม			566.4	566.4	100.00



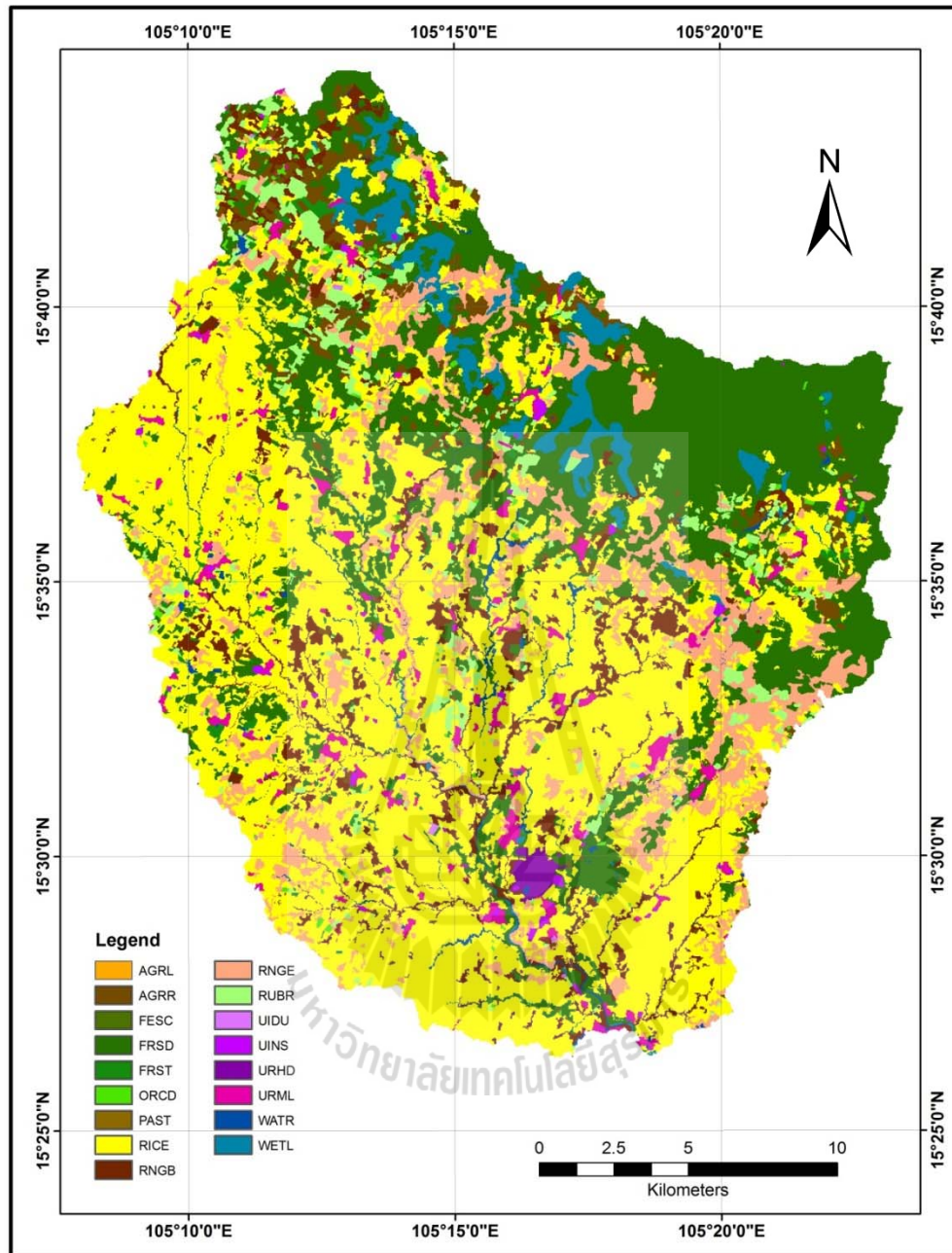
ภาพที่ 4.5 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT

4.2.2 ผลการประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551

ผลการประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดินตามรหัสของแบบจำลอง SWAT ใน พ.ศ. 2551 พบว่าประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก 3 ลำดับแรก ได้แก่ นาข้าว (RICE) ป่าผลัดใบสมบูรณ์ (FRSD) และทุ่งหญ้า (RNGB) มีเนื้อที่ประมาณ 264 132 และ 53 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 46.56 23.32 และ 9.37 ตามลำดับ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.18 และการกระจายของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินแสดงไว้ในภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.18 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT

ลำดับที่	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	รหัสของSWAT	พื้นที่ (ตร.กม.)	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละ
1	Agricultural Land Generic	AGRL	0.06	36.25	0.01
2	Agricultural Land Row crops	AGRR	19.94	12,460.63	3.52
3	Tall Fescue	FESC	0.02	14.38	0.00
4	Forest Deciduous	FRSD	132.07	82,541.88	23.32
5	Forest Mixed	FRST	4.16	2,600.63	0.73
6	Orchard	ORCD	2.44	1,521.88	0.43
7	Pasture	PAST	0.05	30.00	0.01
8	Rice	RICE	263.71	164,816.25	46.56
9	Range Bush	RNGB	31.17	19,481.88	5.50
10	Range Grasses	RNGE	53.05	33,156.25	9.37
11	Rubber Tree	RUBR	19.86	12,413.75	3.51
12	Industrial	UIDU	0.26	160.63	0.05
13	Institutional	UINS	2.26	1,415.00	0.40
14	Residential High density	URHD	1.90	1,186.88	0.34
15	Residential Med/Low density	URML	12.54	7,840.00	2.21
16	Water	WATR	6.30	3,935.63	1.11
17	Wetland Mixed	WETL	16.62	10,388.13	2.93
รวม			566.40	354,000.00	100.00



ภาพที่ 4.6 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2551 ตามรหัสแบบจำลอง SWAT

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2543 และ 2551

จากผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2543 ถึง 2551 พบว่าประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นประกอบด้วย Agricultural Land Row crops (AGRR), Tall Fescue (FESC), Forest Mixed (FRST), Orchard (ORCD), Pasture (PAST), Range Bush (RNGB), Range Grasses (RNGE), Rubber Tree (RUBR), Industrial (UIDU), Water (WATR) และ Wetland Mixed (WETL) โดยมี Range Grasses (RNGE) เพิ่มขึ้นมากที่สุด คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 52 ตร.กม คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.51 ตร.กม. ต่อปี และประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เพิ่มขึ้นอันดับที่สองและสาม ได้แก่ Agricultural Land Row crops (AGRR) และ Rubber Tree (RUBR) คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 19.70 และ 19.62 ตร.กม. หรือคิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.46 และ 2.45 ตร.กม. ต่อปี ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกัน ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงลดลงประกอบด้วย Agricultural Land Generic (AGRL) Forest Deciduous (FRSD) Rice (RICE) โดยมี Forest Deciduous (FRSD) ลดลงมากที่สุด คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 87.05 ตร.กม. หรือคิดเป็นอัตราการลดลงเท่ากับ 10.88 ตร.กม. ต่อปี และประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ลดลงมากอันดับที่สองและสาม ได้แก่ Rice (RICE) และ Agricultural Land Generic (AGRL) คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 28.24 และ 5.37 ตร.กม หรือคิดเป็นอัตราการลดลงเท่ากับ 3.53 และ 0.67 ตร.กม. ต่อปี ตามลำดับ ส่วนประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ประกอบด้วย Institutional (UINS) Residential High density (URHD) และ Residential Med/Low density (URML) และพบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดิน ประเภท Pasture (PAST) เพิ่มขึ้นมาจาก Forest Deciduous (FRSD) และ Rice (RICE) ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.19 และเมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงระหว่าง พ.ศ. 2543 และ 2551 (ตารางที่ 4.20)

ตารางที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2543 และ 2551

ลำดับ	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	พ.ศ. 2543 (ตร.กม.)	พ.ศ. 2551 (ตร.กม.)	การเปลี่ยนแปลง	อัตราการ เปลี่ยนแปลง
1	Agricultural Land Generic (AGRL)	5.43	0.06	-5.3740	-0.6718
2	Agricultural Land Row crops (AGRR)	0.24	19.94	19.7000	2.4625
3	Tall Fescue (FESC)	0.01	0.02	0.0150	0.0019
4	Forest Deciduous (FRSD)	219.11	132.07	-87.0470	-10.8809
5	Forest Mixed (FRST)	0.08	4.16	4.0820	0.5103
6	Orchard (ORCD)	0.04	2.44	2.3990	0.2999
7	Pasture (PAST)	0.00	0.05	0.0480	0.0060
8	Rice (RICE)	291.94	263.71	-28.2380	-3.5298
9	Range Bush (RNGB)	25.86	31.17	5.3120	0.6640
10	Range Grasses (RNGE)	1.00	53.05	52.0460	6.5058
11	Rubber Tree (RUBR)	0.24	19.86	19.6230	2.4529
12	Industrial (UIDU)	0.03	0.26	0.2270	0.0284
13	Institutional (UINS)	2.26	2.26	0.0000	0.0000
14	Residential High density (URHD)	1.90	1.90	0.0000	0.0000
15	Residential Med/Low density (URML)	12.54	12.54	0.0000	0.0000
16	Water (WATR)	5.24	6.30	1.0540	0.1318
17	Wetland Mixed (WETL)	0.47	16.62	16.1540	2.0193
	รวม	566.40	566.40	0.0000	0.0000

ตารางที่ 4.20 เมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2543 และ 2551

(หน่วย: ตร.กม.)

2543 \ 2551	AGRL	AGRR	FESC	FRSD	FRET	ORCD	RICE	RNGB	RNGE	RUBR	UIDU	UINS	URHD	URML	WATR	WETL	PAST	Total
AGRL	0.0099	1.5813	0	0	0.1026	0.2007	2.2869	0	0	0.9666	0.0108	0	0	0	0.0027	0.27	0	5.4315
AGRR	0	0.2367	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2367
FESC	0	0	0.0081	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0081
FRSD	0.0342	11.9574	0	132.0669	1.8819	1.1961	0	12.6405	31.3992	12.2715	0.045	0	0	0	0.2628	15.3576	0.0009	219.114
FRET	0	0	0	0	0.0792	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0792
ORCD	0	0	0	0	0	0.036	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.036
RICE	0	3.4236	0.0153	0	1.0908	0.5922	258.1668	12.3336	12.2319	3.0789	0.1026	0	0	0	0.5454	0.3159	0.0468	291.9438
RNGB	0.0135	2.7378	0	0	1.0062	0.4095	3.2526	6.1965	8.4141	3.3057	0.0693	0	0	0	0.243	0.2106	0	25.8588
RNGE	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0044	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0044
RUBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2394	0	0	0	0	0	0	0	0.2394
UIDU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0297	0	0	0	0	0	0	0.0297
UINS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.2644	0	0	0	0	0	2.2644
URHD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.899	0	0	0	0	1.899
URML	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5442	0	0	0	12.5442
WATR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.2434	0	0	5.2434
WETL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4671	0	0.4671
PAST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0.0576	19.9368	0.0234	132.0669	4.1607	2.4345	263.7063	31.1706	53.0496	19.8621	0.2574	2.2644	1.899	12.5442	6.2973	16.6212	0.0477	566.3997

4.2.4 การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตระหว่าง พ.ศ. 2559 และ 2567

จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 และ 2551 นำมาคำนวณหาพื้นที่การเปลี่ยนแปลงระหว่าง พ.ศ. 2543 ถึง 2551 (ตารางที่ 4.20) และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2543 ถึง 2551 (ตารางที่ 4.21) เพื่อนำไปใช้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 โดยแบบจำลอง CA-Markov ดังผลที่ได้รับแสดงในตารางที่ 4.22 และภาพที่ 4.7 โดยพบว่า ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินสำคัญในพื้นที่ศึกษา 3 ลำดับแรก ได้แก่ นาข้าว (RICE) ทุ่งหญ้า (RNGE) และป่าผลัดใบสมบูรณ์ (FRSD) มีเนื้อที่ประมาณ 239 93 และ 80 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 42.24 16.45 และ 14.16 ตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้รับนำไปใช้ในการศึกษาผลกระทบของปริมาณน้ำฝนของ 3 ทัศนภาพต่อปริมาณน้ำใน พ.ศ. 2559

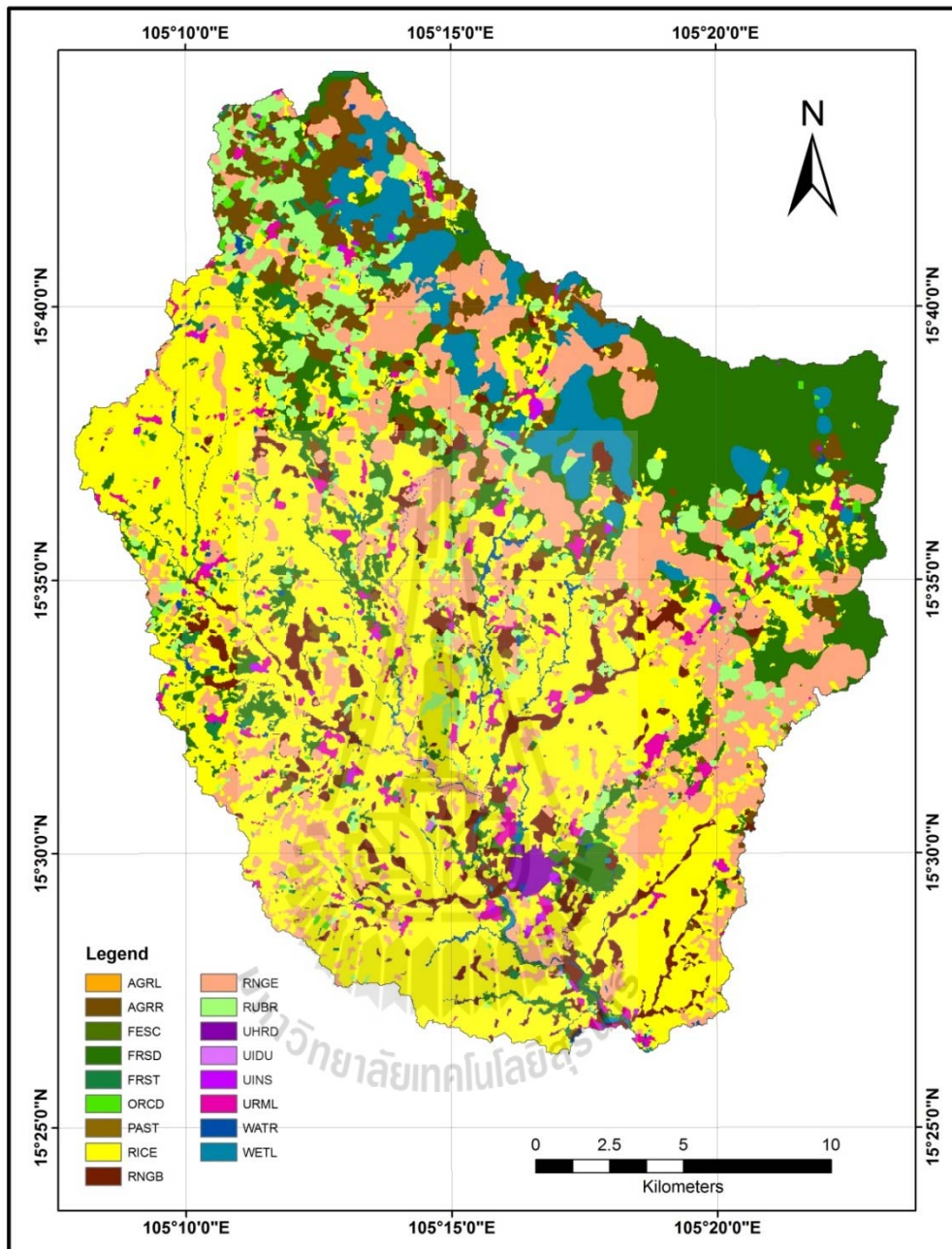
นอกจากนี้ ผลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 ที่ได้รับนำไปคำนวณหาพื้นที่การเปลี่ยนแปลงระหว่าง พ.ศ. 2551 ถึง 2559 (ตารางที่ 4.23) และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2551 ถึง 2559 (ตารางที่ 4.24) เพื่อนำไปใช้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2567 โดยแบบจำลอง CA-Markov ดังผลที่ได้รับแสดงในตารางที่ 4.25 และภาพที่ 4.8 โดยพบว่า ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินสำคัญในพื้นที่ศึกษา 3 ลำดับแรก ได้แก่ นาข้าว (RICE) ทุ่งหญ้า (RNGE) และป่าผลัดใบสมบูรณ์ (FRSD) มีเนื้อที่ประมาณ 217 122 และ 49 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 38.34 21.69 และ 8.63 ตามลำดับ ซึ่งผลลัพธ์การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2567 นำไปใช้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าต่อไป

ตารางที่ 4.21 ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Transition probability matrix) ระหว่าง พ.ศ. 2543 และ 2551

2543 \ 2551	AGRL	AGRR	FESC	FRSD	FRET	ORCD	RICE	RNGB	RNGE	RUBR	UIDU	UINS	URHD	URML	WATR	WETL	PAST	Total
AGRL	0.0018	0.2911	0	0	0.0189	0.037	0.421	0	0	0.178	0.002	0	0	0	0.0005	0.0497	0	1
AGRR	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
FESC	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
FRSD	0.0002	0.0546	0	0.6027	0.0086	0.0055	0	0.0577	0.1433	0.056	0.0002	0	0	0	0.0012	0.0701	0	1.0001
FRET	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
ORCD	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
RICE	0	0.0117	0.0001	0	0.0037	0.002	0.8843	0.0422	0.0419	0.0105	0.0004	0	0	0	0.0019	0.0011	0.0002	1
RNGB	0.0005	0.1059	0	0	0.0389	0.0158	0.1258	0.2396	0.3254	0.1278	0.0027	0	0	0	0.0094	0.0081	0	0.9999
RNGE	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
RUBR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
UIDU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
UINS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
URHD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
URML	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
WATR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
WETL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
PAST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0.0025	1.4633	1.0001	0.6027	1.0701	1.0603	1.4311	0.3395	1.5106	1.3723	1.0053	1	1	1	1.013	1.129	0.0002	16

ตารางที่ 4.22 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT

ลำดับที่	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	รหัสของ SWAT	พื้นที่ (ตร.กม.)	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละ
1	Agricultural Land Generic	AGRL	0.05	31.25	0.0088
2	Agricultural Land Row crops	AGRR	33.55	20,970.00	5.9237
3	Tall Fescue	FESC	0.02	14.38	0.0041
4	Forest Deciduous	FRSD	80.20	50,121.88	14.1587
5	Forest Mixed	FRST	6.80	4,246.88	1.1997
6	Orchard	ORCD	3.22	2,011.25	0.5681
7	Pasture	PAST	0.09	56.88	0.0161
8	Rice	RICE	239.28	149,546.88	42.2449
9	Range Bush	RNGB	26.33	16,453.13	4.6478
10	Range Grasses	RNGE	93.16	58,225.63	16.4479
11	Rubber Tree	RUBR	34.03	21,265.63	6.0072
12	Industrial	UIDU	0.26	160.63	0.0454
13	Institutional	UINS	2.26	1,415.00	0.3997
14	Residential High density	URHD	1.90	1,186.88	0.3353
15	Residential Med/Low density	URML	12.54	7,840.00	2.2147
16	Water	WATR	6.59	4,120.63	1.1640
17	Wetland Mixed	WETL	26.13	16,332.50	4.6137
รวม			566.40	354,000.00	100.0000



ภาพที่ 4.7 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT

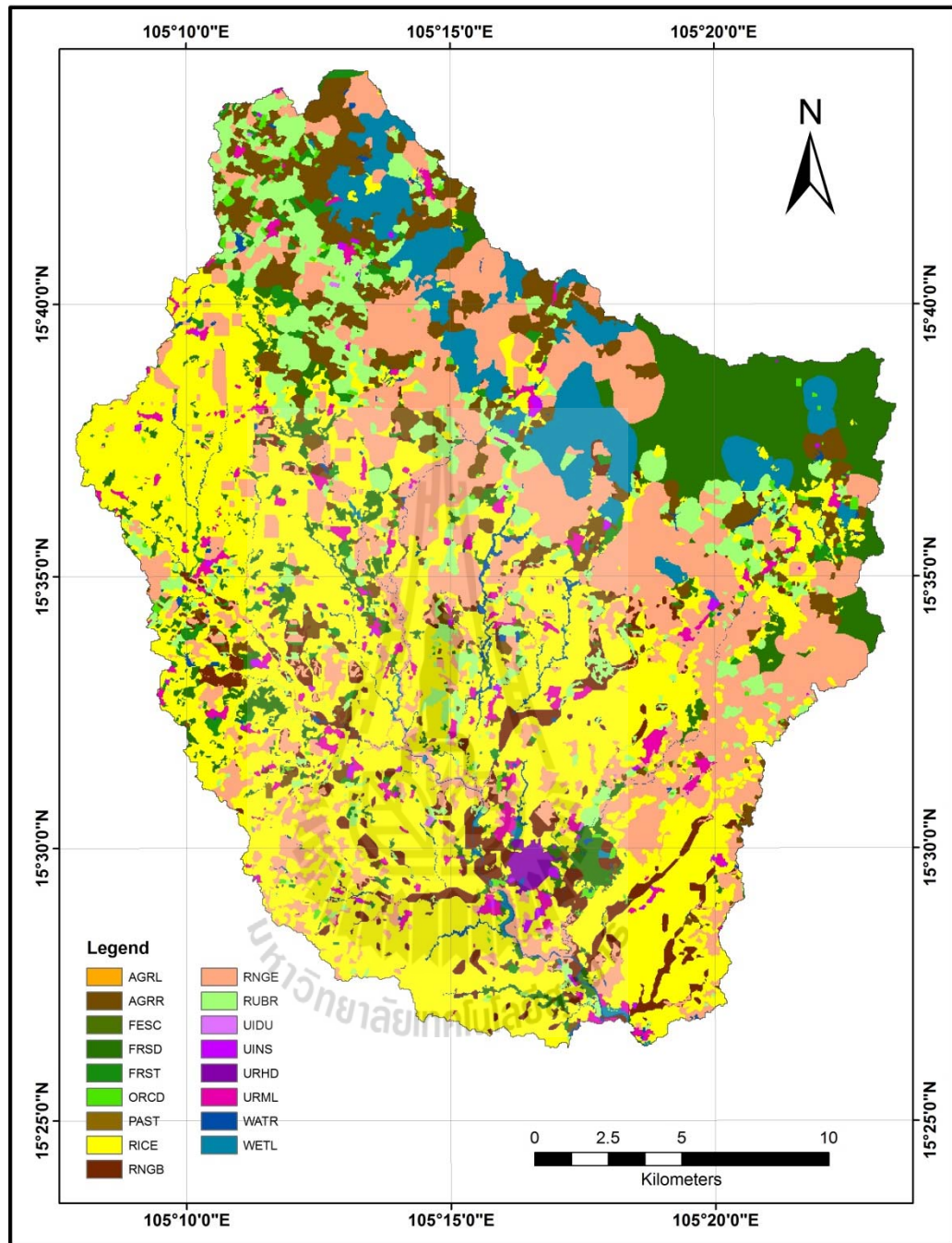
ตารางที่ 4.23 เมทริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2551 และ 2559

(หน่วย: ตร.กม.)

2551 \ 2559	AGRL	AGRR	FESC	FRSD	FRST	ORCD	PAST	RICE	RNGB	RNGE	RUBR	UIDU	UINS	UHRD	URML	WATR	WETL	sum
AGRL	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
AGRR	0.00	33.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.55
FESC	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
FRSD	0.01	4.69	0.00	48.70	0.71	0.19	0.00	0.00	2.83	12.52	4.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.76	80.19
FRST	0.00	0.00	0.00	0.00	6.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.80
ORCD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.22
PAST	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
RICE	0.00	2.80	0.00	0.00	0.14	0.00	0.04	217.10	6.51	10.26	2.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	239.28
RNGB	0.01	2.35	0.00	0.00	1.10	0.40	0.00	0.00	12.24	6.90	3.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.03	26.33
RNGE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93.16
RUBR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.02
UIDU	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
UINS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.26	0.00	0.00	0.00	0.00	2.26
UHRD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90	0.00	0.00	0.00	1.90
URML	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.54	0.00	0.00	12.54
WATR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.59	0.00	6.59
WETL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.13	26.13
sum	0.04	43.41	0.02	48.70	8.75	3.81	0.13	217.11	21.58	122.85	44.28	0.26	2.26	1.90	12.54	6.84	31.92	566.40

ตารางที่ 4.25 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2567 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT

ลำดับที่	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	รหัสของ SWAT	พื้นที่ (ตร.กม.)	พื้นที่ (ไร่)	ร้อยละ
1	Agricultural Land Generic	AGRL	0.04	22.50	0.0064
2	Agricultural Land Row crops	AGRR	43.42	27,135.00	7.6653
3	Tall Fescue	FESC	0.02	14.38	0.0041
4	Forest Deciduous	FRSD	48.88	30,551.88	8.6305
5	Forest Mixed	FRST	8.69	5,430.00	1.5339
6	Orchard	ORCD	3.59	2,246.25	0.6345
7	Pasture	PAST	0.13	83.75	0.0237
8	Rice	RICE	217.16	135,723.13	38.3399
9	Range Bush	RNGB	21.60	13,500.00	3.8136
10	Range Grasses	RNGE	122.85	76,783.75	21.6903
11	Rubber Tree	RUBR	44.29	27,678.13	7.8187
12	Industrial	UIDU	0.26	160.63	0.0454
13	Institutional	UINS	2.26	1,415.00	0.3997
14	Residential High density	URHD	1.90	1,186.88	0.3353
15	Residential Med/Low density	URML	12.54	7,840.00	2.2147
16	Water	WATR	6.85	4,278.13	1.2085
17	Wetland Mixed	WETL	31.92	19,950.63	5.6358
รวม			566.40	354,000.00	100.0000



ภาพที่ 4.8 การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2567 ตามรหัสของแบบจำลอง SWAT

4.3 ผลการประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่า โดยแบบจำลอง SWAT

ในการประมาณปริมาณน้ำท่าในแบบจำลอง SWAT นักวิจัยต้องจัดเตรียมค่าพารามิเตอร์ตั้งต้นสำหรับการประมวลผลในแบบจำลอง SWAT ประกอบด้วย ค่าพารามิเตอร์ทางด้านภูมิอากาศและดิน ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.26 และ ตารางที่ 4.27 ตามลำดับ และนำพารามิเตอร์ตั้งต้นไปใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่า พร้อมทั้งการคำนวณค่าทางสถิติก่อนทำการเทียบมาตรฐานและทดสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ

- (1) ร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ (%R) มีค่าไม่มากกว่าร้อยละ 5
- (2) ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (E) ของ Nash and Sutcliffe มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 80
- (3) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

ตารางที่ 4.26 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของข้อมูลภูมิอากาศในแบบจำลอง SWAT

Field name	Field type	Definition
1. SUBBASIN	Integer	Sub basin number
2. STATION	Text	Name of weather station
3. WLATITUDE	Float	Latitude of weather station
4. WLONGITUDE	Float	Longitude of weather station
5. WELEV	Float	Elevation of weather station
6. RAIN_YRS	Float	Number of years of data used to determine value of RAIN_HHMX
7. TMPMX1-12	Float	Average maximum temperature for January – December (°C)
8. TMPMN1-12	Float	Average minimum temperature for January – December (°C)
9. TMPSTDMX1-12	Float	Standard deviation of maximum air temperature for January – December (°C)
10. TMPSTDMN	Float	Standard deviation of minimum air temperature for January – December (°C)
11. PCPMM 1-12	Float	Average precipitation in January – December (mm/day)
12. PCPSTD 1-12	Float	Standard deviation of daily precipitation in January – December
13. PCPSKW 1-12	Float	Skew coefficient of daily precipitation in January – December
14. PR_W1_1 -12	Float	Probability of wet day following dry day in January - December
15. PR_W2_1-12	Float	Probability of wet day following wet day in January - December
16. PCPD1-12	Float	Average number of days of precipitation in January – December
17. RAINHHMX1-12	Float	Maximum 0.5 hr rainfall in January – December for entire period of record (mm)
18. SOLARAV1-12	Float	Average daily solar radiation for January – December (MJ/m ² /day)
19. DEWPT 1-12	Float	Average dew point in January – December (°C)
20. WNDVAV 1-12	Float	Average wind speed in January – December (m/s)

ตารางที่ 4.27 ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของข้อมูลดินในแบบจำลอง SWAT

Field Name	Field Type	Definition
OBJECTID	Integer	Subbasin number
MUID	Integer	HRU number
SEQN	Text	Land cover simulated in HRU
SNAM	Text	Name of soil simulated in HRU
S5ID	Character	Name of slope class simulated in HRU
CMPPCT	Integer	Soil series name
NLAYERS	Character	Number of layers in soil profile
HYDGRP	Float	Soil hydrologic group
SOL_ZMX	Float	Maximum rooting depth of soil profile (mm)
ANION_EXCL	Float	Fraction of porosity from which anions are excluded
SOL_CRK	Float	Potential or maximum crack volume of the soil profile expressed as a fraction of total soil volume
TEXTURE	Text	Texture of soil layers (optional)
SOL_Z1	Float	Depth to bottom of first soil layer (mm)
SOL_BD1	Float	Moist bulk density of first soil layer (Mg/m ³)
SOL_AWC1	Float	Available water capacity of first soil layer (mm/mm)
SOL_K1	Float	Saturated hydraulic conductivity of first soil layer (mm/hr)
SOL_CBN1	Float	Organic carbon content of first soil layer (%)
CLAY1	Float	Clay content of first soil layer (%)
SILT1	Float	Silt content of first soil layer (%)
SAND1	Float	Sand content of first soil layer (%)
ROCK1	Float	Rock content of first soil layer (%)
SOL_ALB1	Float	Moist soil albedo of first soil layer (%)
USLE_K1	Float	USLE equation soil erodibility (K) factor
SOL_EC1	Float	Electrical conductivity of first soil layer (dS/m)
SOL_Z2	Float	Depth to bottom of second soil layer (mm)
SOL_BD2	Float	Moist bulk density of second soil layer (Mg/m ³)
SOL_AWC2	Float	Available water capacity of second soil layer (mm/mm)
SOL_K2	Float	Saturated hydraulic conductivity of second soil layer (mm/hr)
SOL_CBN2	Float	Organic carbon content of second soil layer (%)
CLAY2	Float	Clay content of second soil layer (%)
SILT2	Float	Silt content of second soil layer (%)
SAND2	Float	Sand content of second soil layer (%)
ROCK2	Float	Rock content of second soil layer (%)
SOL_ALB2	Float	Moist soil albedo of second soil layer (%)

ตารางที่ 4.27 (ต่อ)

Field Name	Field Type	Definition
USLE_K2	Float	USLE equation soil erodibility (K) factor
SOL_EC2	Float	Electrical conductivity of second soil layer (dS/m)
SOL_Z3	Float	Depth to bottom of third soil layer (mm)
SOL_BD3	Float	Moist bulk density of third soil layer (Mg/m ³)
SOL_AWC3	Float	Available water capacity of third soil layer (mm/mm)
SOL_K3	Float	Saturated hydraulic conductivity of third soil layer (mm/hr)
SOL_CBN3	Float	Organic carbon content of third soil layer (%)
CLAY3	Float	Clay content of third soil layer (%)
SILT3	Float	Silt content of third soil layer (%)
SAND3	Float	Sand content of third soil layer (%)
ROCK3	Float	Rock content of third soil layer (%)
SOL_ALB3	Float	Moist soil albedo of third soil layer (%)
USLE_K3	Float	USLE equation soil erodibility (K) factor
SOL_EC3	Float	Electrical conductivity of third soil layer (dS/m)
SOL_Z4	Float	Depth to bottom of fourth soil layer (mm)
SOL_BD4	Float	Moist bulk density of fourth soil layer (Mg/m ³)
SOL_AWC4	Float	Available water capacity of fourth soil layer (mm/mm)
SOL_K4	Float	Saturated hydraulic conductivity of fourth soil layer (mm/hr)
SOL_CBN4	Float	Organic carbon content of fourth soil layer (%)
CLAY4	Float	Clay content of fourth soil layer (%)
SILT4	Float	Silt content of fourth soil layer (%)
SAND4	Float	Sand content of fourth soil layer (%)
ROCK4	Float	Rock content of fourth soil layer (%)
SOL_ALB4	Float	Moist soil albedo of fourth soil layer
USLE_K4	Float	USLE equation soil erodibility (K) factor
SOL_EC4	Float	Electrical conductivity of fourth soil layer (dS/m)
SOL_Z5	Float	Depth to bottom of fifth soil layer (mm)
SOL_BD5	Float	Moist bulk density of fifth soil layer (Mg/m ³)
SOL_AWC5	Float	Available water capacity of fifth soil layer (mm/mm)
SOL_K5	Float	Saturated hydraulic conductivity of fifth soil layer (mm/hr)
SOL_CBN5	Float	Organic carbon content of fourth soil layer (%)
CLAY5	Float	Clay content of fifth soil layer (%)
SILT5	Float	Silt content of fifth soil layer (%)
SAND5	Float	Sand content of fifth soil layer (%)
ROCK5	Float	Rock content of fifth soil layer (%)

ตารางที่ 4.27 (ต่อ)

Field Name	Field Type	Definition
SOL_ALB5	Float	Moist soil albedo of fifth soil layer
USLE_K5	Float	USLE equation soil erodibility (K) factor
SOL_EC5	Float	Electrical conductivity of fourth soil layer (dS/m)
SOL_Z6	Float	Depth to bottom of sixth soil layer (mm)
SOL_BD6	Float	Moist bulk density of sixth soil layer (Mg/m ³)
SOL_AWC6	Float	Available water capacity of sixth soil layer (mm/mm)
SOL_K6	Float	Saturated hydraulic conductivity of sixth soil layer (mm/hr)
SOL_CBN6	Float	Organic carbon content of sixth soil layer (%)
CLAY6	Float	Clay content of sixth soil layer (%)
SILT6	Float	Silt content of sixth soil layer (%)
SAND6	Float	Sand content of sixth soil layer (%)
ROCK6	Float	Rock content of sixth soil layer (%)
SOL_ALB6	Float	Moist soil albedo of sixth soil layer
USLE_K6	Float	USLE equation soil erodibility (K) factor
SOL_EC6	Float	Electrical conductivity of sixth soil layer (dS/m)
SOL_Z7	Float	Depth to bottom of seventh soil layer (mm)
SOL_BD7	Float	Moist bulk density of seventh soil layer (Mg/m ³)
SOL_AWC7	Float	Available water capacity of seventh soil layer (mm/mm)
SOL_K7	Float	Saturated hydraulic conductivity of seventh soil layer (mm/hr)
SOL_CBN7	Float	Organic carbon content of seventh soil layer (%)
CLAY7	Float	Clay content of seventh soil layer (%)
SILT7	Float	Silt content of seventh soil layer (%)
SAND7	Float	Sand content of seventh soil layer (%)
ROCK7	Float	Rock content of seventh soil layer (%)
SOL_ALB7	Float	Moist soil albedo of seventh soil layer
USLE_K7	Float	USLE equation soil erodibility (K) factor
SOL_EC7	Float	Electrical conductivity of seventh soil layer (dS/m)
SOL_Z8	Float	Depth to bottom of eighth soil layer (mm)
SOL_BD8	Float	Moist bulk density of eighth soil layer (Mg/m ³)
SOL_AWC8	Float	Available water capacity of eighth soil layer (mm/mm)
SOL_K8	Float	Saturated hydraulic conductivity of eighth soil layer (mm/hr)
SOL_CBN8	Float	Organic carbon content of eighth soil layer (%)
CLAY8	Float	Clay content of eighth soil layer (%)
SILT8	Float	Silt content of eighth soil layer (%)
SAND8	Float	Sand content of eighth soil layer (%)

ตารางที่ 4.27 (ต่อ)

Field Name	Field Type	Definition
ROCK8	Float	Rock content of s eighth soil layer (%)
SOL_ALB8	Float	Moist soil albedo of eighth soil layer
USLE_K8	Float	USLE equation soil erodibility (K) factor
SOL_EC8	Float	Electrical conductivity of eighth soil layer (dS/m)
SOL_Z9	Float	Depth to bottom of ninth soil layer (mm)
SOL_BD9	Float	Moist bulk density of ninth soil layer (Mg/m3)
SOL_AWC9	Float	Available water capacity of ninth soil layer (mm/mm)
SOL_K9	Float	Saturated hydraulic conductivity of ninth soil layer (mm/hr)
SOL_CBN9	Float	Organic carbon content of ninth soil layer (%)
CLAY9	Float	Clay content of ninth soil layer (%)
SILT9	Float	Silt content of ninth soil layer (%)
SAND9	Float	Sand content of ninth soil layer (%)
ROCK9	Float	Rock content of s ninth soil layer (%)
SOL_ALB9	Float	Moist soil albedo of ninth oil layer
USLE_K9	Float	USLE equation soil erodibility (K) factor
SOL_EC9	Float	Electrical conductivity of ninth soil layer (dS/m)
SOL_Z10	Float	Depth to bottom of tenth soil layer (mm)
SOL_BD10	Float	Moist bulk density of tenth soil layer (Mg/m3)
SOL_AWC10	Float	Available water capacity of tenth soil layer (mm/mm)
SOL_K10	Float	Saturated hydraulic conductivity of tenth soil layer (mm/hr)
SOL_CBN10	Float	Organic carbon content of tenth soil layer (%)
CLAY10	Float	Clay content of tenth soil layer (%)
SILT10	Float	Silt content of tenth soil layer (%)
SAND10	Float	Sand content of tenth soil layer (%)
ROCK10	Float	Rock content of s tenth soil layer (%)
SOL_ALB10	Float	Moist soil albedo of tenth oil layer
USLE_K10	Float	USLE equation soil erodibility (K) factor
SOL_EC10	Float	Electrical conductivity of tenth soil layer (dS/m)

ลาด 3 ระดับ ตามมาตรฐานของ SWAT คือ (1) ความลาดน้อยกว่าร้อยละ 3 (2) ความลาดระหว่าง ร้อยละ 3-8 และ (3) ความลาดมากกว่าร้อยละ 8 โดยพบว่า การแบ่งค่าพิสัยของความลาด 3 ระดับ ที่ แนะนำโดย Baskaran et al. (2010) มีความเหมาะสมสูงสุด

ตารางที่ 4.28 สรุปค่าสัมประสิทธิ์ของชุดพารามิเตอร์ที่ได้จากการเทียบมาตรฐาน แบบจำลอง และผลการประมาณปริมาณน้ำท่าในแต่ละชุดพารามิเตอร์ (SWAT 1 SWAT 2 SWAT 3 SWAT 4 และ SWAT 5) สรุปไว้ในตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.28 ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละประเภทพารามิเตอร์ที่ได้จากการเทียบมาตรฐาน

ชุดพารามิเตอร์	HRU (%area)			Surlag	Alpha_bf	Slope class
	Land use	Soil	Slope			
SWAT 1	Default (0%)	Default (0%)	Default (0%)	Default (0)	Default (0)	1 class
SWAT 2	20	10	20	Default (0)	Default (0)	1 class
SWAT 3	20	10	20	20	2	1 class
SWAT 4	20	10	20	20	2	3 class <2%, 2-5%, >5%
SWAT 5	20	10	20	20	2	3 class <3%, 3-8%, >8%

ตารางที่ 4.29 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง

เดือน	ปริมาณน้ำท่า (มม.)					
	สถานี M.110	SWAT 1	SWAT 2	SWAT 3	SWAT 4	SWAT 5
มกราคม	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
กุมภาพันธ์	0.34	0.04	0.04	0.04	0.09	0.08
มีนาคม	0.35	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
เมษายน	1.89	14.09	14.08	16.65	21.62	16.83
พฤษภาคม	68.39	115.36	115.9	149.01	153.58	119.11
มิถุนายน	180.53	119.94	119.62	143.12	141.62	119.5
กรกฎาคม	251.82	179.42	180.07	193.96	196.02	181.6
สิงหาคม	315.27	228.00	230.42	228.27	228.68	230.09
กันยายน	169.23	144.80	144.65	142.32	140.87	143.59
ตุลาคม	42.71	113.78	113.75	85.54	83.1	111.83
พฤศจิกายน	5.54	61.46	61.61	30.69	29.37	60.21
ธันวาคม	1.82	17.11	16.78	12.78	12.24	17.35
รวม	1,038.84	994.01	996.93	1,002.39	1,007.19	1,000.20

ในขณะเดียวกัน ผลการทดสอบค่าทางสถิติของแบบจำลองในแต่ละชุดพารามิเตอร์ (SWAT 1 SWAT 2 SWAT 3 SWAT 4 และ SWAT 5) สรุปไว้ในตารางที่ 4.30 และเปรียบเทียบเชิงกราฟและการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นในรูปกราฟเส้นทแยงมุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส 45 องศา ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 กับปริมาณน้ำที่ได้จากแบบจำลอง SWAT จากแต่ละลำดับขั้นตอน แสดงไว้ในภาพที่ 4.9 ถึง ภาพที่ 4.18 ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

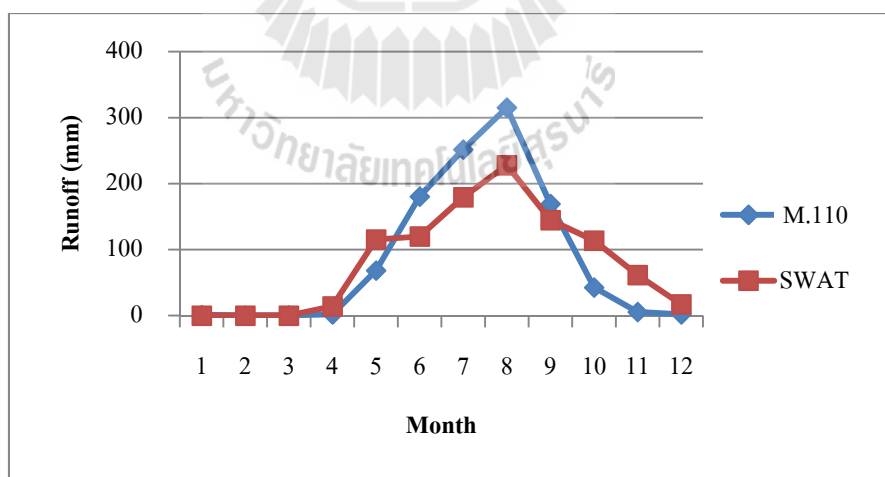
ตารางที่ 4.30 ผลการทดสอบค่าทางสถิติในแต่ละลำดับขั้นตอนจากการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง

ค่าทางสถิติ	SWAT 1	SWAT 2	SWAT 3	SWAT 4	SWAT 5
1. ค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ (%)	-4.316	-4.034	-3.509	-3.047	-3.720
2. ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล (E) ของ Nash and Sutcliffe	0.589	0.827	0.712	0.865	0.828
3. ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) จากกราฟเส้นทแยงมุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส 45 องศา	0.857	0.857	0.88	0.873	0.859

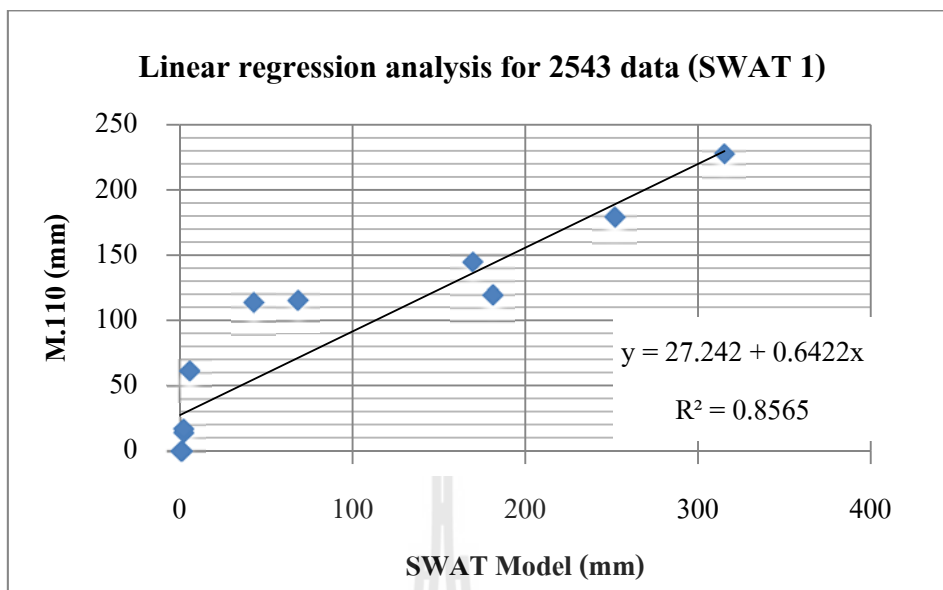
ในการประมาณปริมาณน้ำท่าใน พ.ศ. 2543 ของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตุงหลุง ที่สถานีวัดน้ำ อุทกวิทยา M.110 ณ แก่งตุงหลุง ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำ เท่ากับ 566 ตร.กม. จากชุดพารามิเตอร์โดยปริยาย (SWAT 1) พบว่า ปริมาณน้ำรวมตลอดปีเท่ากับ 994.010 มม. ในขณะที่ ปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จริง เท่ากับ 1,038.842 มม. มีค่าความแตกต่างเท่ากับ -44.832 มม. หรือมีค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ เท่ากับ -4.316 โดยพบว่า ค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระหว่างเดือนมิถุนายนถึงกันยายนซึ่งเป็นฤดูฝน ดังรายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 4.31 และภาพที่ 4.9 และ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง และปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จริงมีค่าเท่ากับร้อยละ 85.65 (ภาพที่ 4.10) ในขณะที่ ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล (E) ของ Nash and Sutcliffe มีค่าเท่ากับร้อยละ 58.90 (ตารางที่ 4.30)

ตารางที่ 4.31 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองและสถานีตรวจวัด M.110 โดยชุดพารามิเตอร์โดยปริยาย (SWAT 1)

เดือน	ปริมาณน้ำท่า (มม.)		ค่าความแตกต่าง	ร้อยละความแตกต่าง
	สถานี M.110	แบบจำลอง SWAT		
มกราคม	0.953	0.000	-0.953	-100.000
กุมภาพันธ์	0.335	0.040	-0.295	-88.076
มีนาคม	0.353	0.010	-0.343	-97.168
เมษายน	1.889	14.090	12.201	645.848
พฤษภาคม	68.397	115.360	46.963	68.663
มิถุนายน	180.526	119.940	-60.586	-33.561
กรกฎาคม	251.819	179.420	-72.399	-28.750
สิงหาคม	315.272	228.000	-87.272	-27.681
กันยายน	169.227	144.800	-24.427	-14.434
ตุลาคม	42.708	113.780	71.072	166.412
พฤศจิกายน	5.544	61.460	55.916	1008.629
ธันวาคม	1.819	17.110	15.291	840.884
รวม	1038.842	994.010	-44.832	-4.316



ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M1.10 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์โดยปริยาย (SWAT 1)

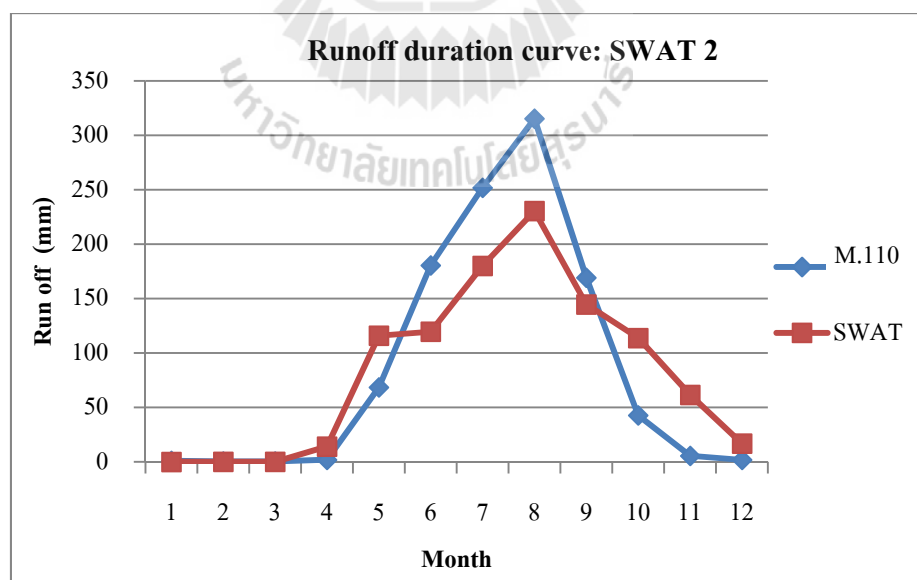


ภาพที่ 4.10 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นตรงระหว่างปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์โดยปริยาย (SWAT 1)

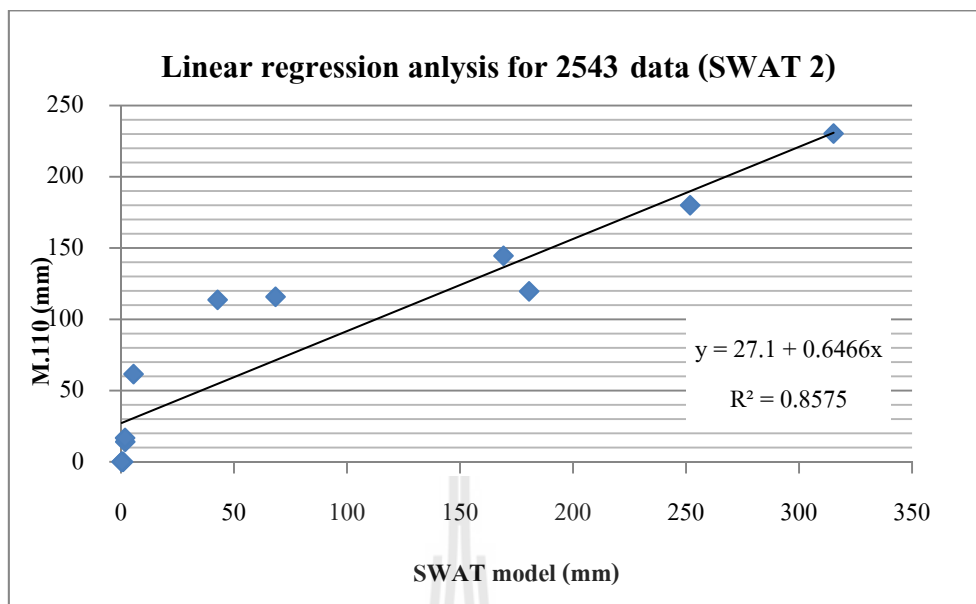
จากค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล (E) ของ Nash and Sutcliffe ที่ได้รับจากชุดพารามิเตอร์โดยปริยาย (SWAT 1) พบว่า ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดมากหรือเท่ากับร้อยละ 80 ฉะนั้น จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชุดดินและความลาดที่เกี่ยวข้องกับหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU) ในชุดพารามิเตอร์ที่ 2 (SWAT 2) โดยไม่ปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับน้ำใต้ดินและค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำท่าผิวดิน โดยพบว่าปริมาณน้ำรวมตลอดปีเท่ากับ 996.930 มม. ในขณะที่ ปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จริง เท่ากับ 1,038.842 มม. มีค่าความแตกต่างเท่ากับ -41.912 มม. หรือมีค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์เท่ากับ -4.034 ค่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ได้จากแบบจำลองระหว่างเดือนมิถุนายนถึงกันยายนซึ่งเป็นฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.32 และภาพที่ 4.11 ในขณะเดียวกัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จริง มีค่าเท่ากับร้อยละ 85.75 (ภาพที่ 4.12) และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล (E) ของ Nash and Sutcliffe มีค่าเท่ากับร้อยละ 82.70 (ตารางที่ 4.30)

ตารางที่ 4.32 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองและสถานีตรวจวัด M.110 โดยชุดพารามิเตอร์ที่ 2 (SWAT 2)

เดือน	ปริมาณน้ำท่า (มม.)		ค่าความแตกต่าง	ร้อยละความแตกต่าง
	สถานี M.110	แบบจำลอง SWAT		
มกราคม	0.953	0.000	-0.953	-100.0000
กุมภาพันธ์	0.335	0.040	-0.295	-88.0597
มีนาคม	0.353	0.001	-0.343	-97.1671
เมษายน	1.889	14.080	12.191	645.3679
พฤษภาคม	68.397	115.90	47.503	69.45188
มิถุนายน	180.526	119.620	-60.906	-33.7381
กรกฎาคม	251.819	180.070	-71.749	-28.4923
สิงหาคม	315.272	230.420	-84.852	-26.9139
กันยายน	169.227	144.650	-24.577	-14.5231
ตุลาคม	42.708	113.750	71.042	166.3435
พฤศจิกายน	5.544	61.610	56.066	1011.291
ธันวาคม	1.819	16.780	14.961	822.4849
รวม	1038.842	996.930	-41.912	-4.03449



ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 2 (SWAT 2)



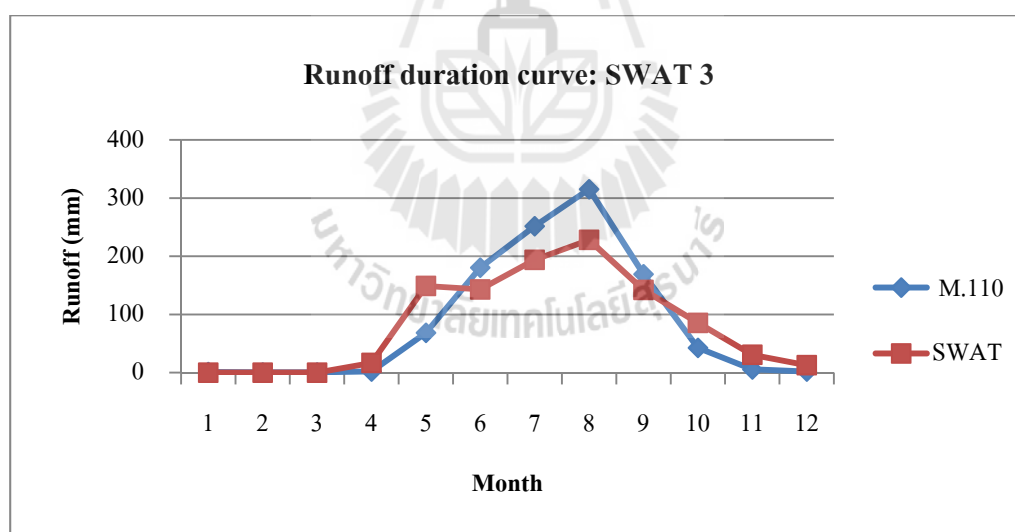
ภาพที่ 4.12 การวิเคราะห์สัมพรรคดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 2 (SWAT 2)

จากผลการทดสอบค่าทางสถิติ พบว่า ร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ (%R) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล (E) ของ Nash and Sutcliffe และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ฉะนั้น ชุดพารามิเตอร์ 2 จึงผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด อย่างไรก็ตาม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลอง จึงได้ปรับชุดพารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าผิวดินและน้ำใต้ดิน ได้แก่ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำท่าผิวดินและปริมาณการถอยกลับ การไหลของน้ำใต้ดินตามคำแนะนำของ Schmalz and Fohrer (2009) โดยไม่พิจารณาระดับความลาด ให้เป็นชุดพารามิเตอร์ที่ 3 (SWAT 3)

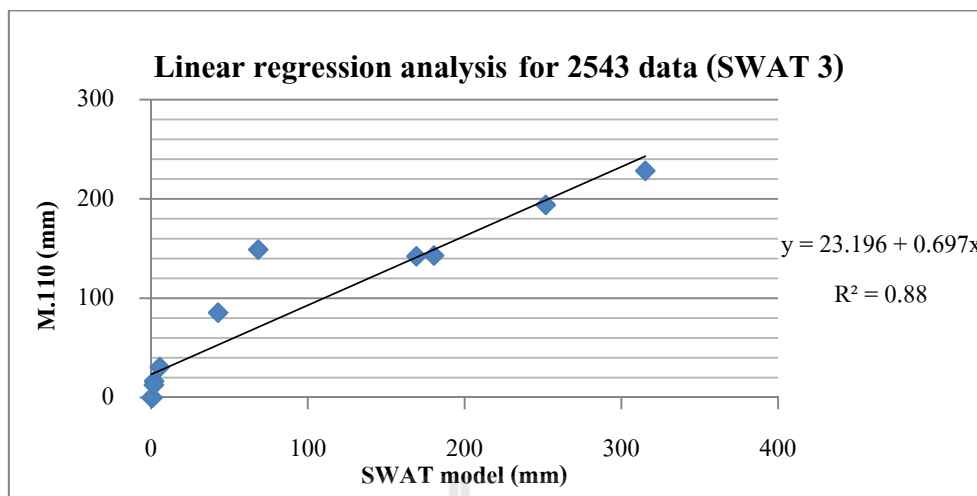
ในการประมาณปริมาณน้ำท่าจากชุดพารามิเตอร์ที่ 3 (SWAT 3) พบว่า ปริมาณน้ำรวมตลอดปีเท่ากับ 1,002.390 มม. ในขณะที่ ปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จริง เท่ากับ 1,038.84 มม. มีความแตกต่างเท่ากับ -36.45 มม. หรือมีค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์เท่ากับ -3.509 ค่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ได้จากแบบจำลองระหว่างเดือนมิถุนายนถึงกันยายนซึ่งเป็นฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.33 และภาพที่ 4.13 ในขณะเดียวกัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จริง มีค่าเท่ากับร้อยละ 88.00 (ภาพที่ 4.14) หากแต่ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล (E) ของ Nash and Sutcliffe มีค่าลดลงเหลือเท่ากับร้อยละ 71.20 (ตารางที่ 4.30)

ตารางที่ 4.33 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองและสถานีตรวจวัด M.110 โดยชุดพารามิเตอร์ที่ 3 (SWAT 3)

เดือน	ปริมาณน้ำท่า (มม.)		ค่าความแตกต่าง	ร้อยละความแตกต่าง
	สถานี M.110	แบบจำลอง SWAT		
มกราคม	0.953	0.00	-0.953	-100.0000
กุมภาพันธ์	0.335	0.040	-0.295	-88.0597
มีนาคม	0.353	0.010	-0.343	-97.1671
เมษายน	1.889	16.650	14.761	781.4187
พฤษภาคม	68.397	149.010	80.613	117.8604
มิถุนายน	180.526	143.120	-37.406	-20.7206
กรกฎาคม	251.819	193.960	-57.859	-22.9764
สิงหาคม	315.272	228.270	-87.002	-27.5959
กันยายน	169.227	142.320	-26.907	-15.8999
ตุลาคม	42.708	85.540	42.832	100.2903
พฤศจิกายน	5.544	30.690	25.146	453.5714
ธันวาคม	1.819	12.780	10.961	602.5838
รวม	1038.842	1002.390	-36.452	-3.50891



ภาพที่ 4.13 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 3 (SWAT 3)



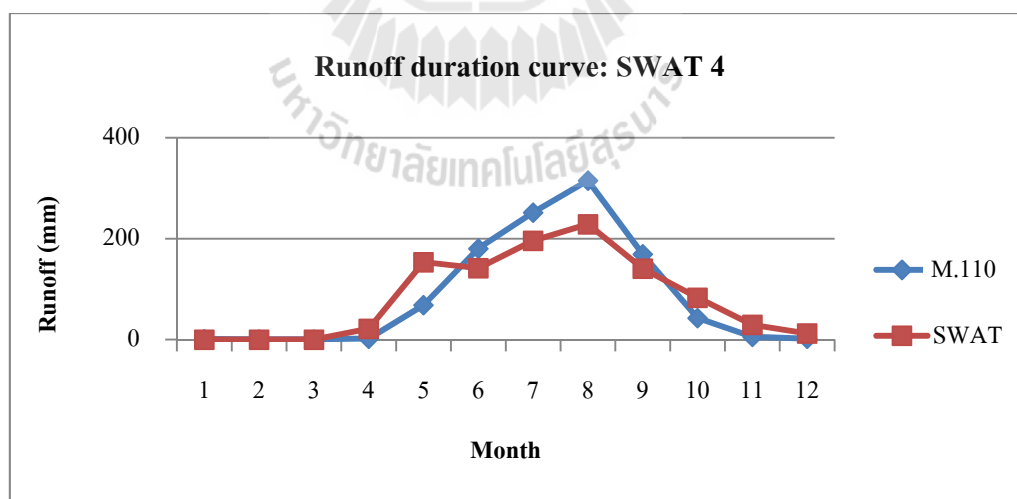
ภาพที่ 4.14 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 3 (SWAT 3)

จากผลการทดสอบค่าทางสถิติ พบว่า ร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ (%R) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 แต่ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (E) ของ Nash and Sutcliffe มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80 ฉะนั้น ชุดพารามิเตอร์ 3 จึงไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด จึงได้ปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับระดับชั้นความลาด 2 รูปแบบ ตามคำแนะนำของ Baskaran et al. (2010) และ Margaret and Indrajeet (2010) เข้ากับชุดพารามิเตอร์ 3 ให้เป็นชุดพารามิเตอร์ 4 และ 5 (SWAT 4 และ SWAT 5) ตามลำดับ

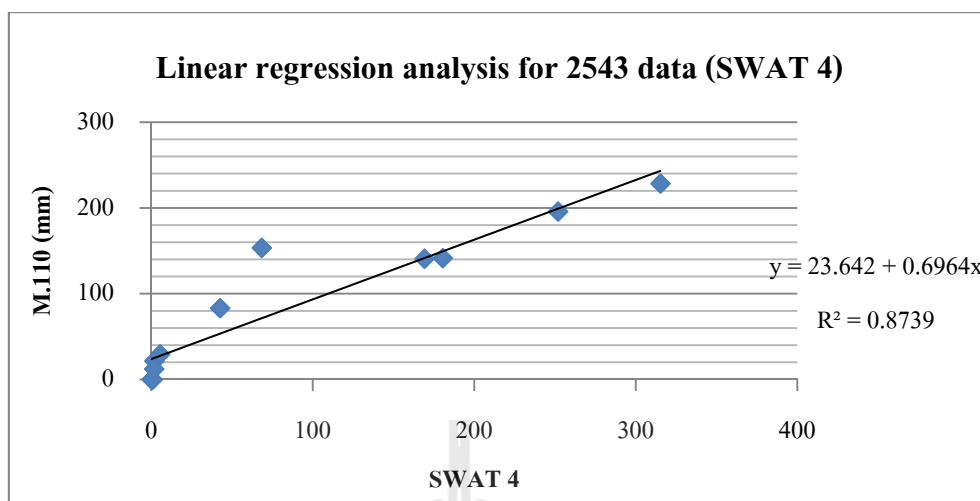
ในการประมาณปริมาณน้ำท่าจากชุดพารามิเตอร์ที่ 4 (SWAT 4) พบว่า ปริมาณน้ำรวมตลอดปีเท่ากับ 1,007.19 มม. ในขณะที่ ปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จริง เท่ากับ 1,038.84 มม. ซึ่งค่าความแตกต่างเท่ากับ -31.65 มม. หรือค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ เท่ากับ -3.047 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ได้จากแบบจำลองระหว่างเดือนมิถุนายนถึงกันยายนซึ่งเป็นฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.34 และภาพที่ 4.15 ในขณะเดียวกัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จริง มีค่าเท่ากับร้อยละ 87.39 (ภาพที่ 4.16) และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (E) ของ Nash and Sutcliffe มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 86.50 (ตารางที่ 4.30)

ตารางที่ 4.34 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองและสถานีตรวจวัด M.110 โดยชุดพารามิเตอร์ที่ 4 (SWAT 4)

เดือน	ปริมาณน้ำท่า (มม.)		ค่าความแตกต่าง	ร้อยละความแตกต่าง
	สถานี M.110	แบบจำลอง SWAT		
มกราคม	0.953	0.000	-0.953	-100.0000
กุมภาพันธ์	0.335	0.090	-0.245	-73.1343
มีนาคม	0.353	0.000	-0.353	-100.0000
เมษายน	1.889	21.620	19.731	1044.5210
พฤษภาคม	68.397	153.580	85.183	124.5420
มิถุนายน	180.526	141.620	-38.906	-21.5515
กรกฎาคม	251.819	196.020	-55.799	-22.1584
สิงหาคม	315.272	228.680	-86.592	-27.4658
กันยายน	169.227	140.870	-28.357	-16.7568
ตุลาคม	42.708	83.100	40.392	94.57713
พฤศจิกายน	5.544	29.370	23.826	429.7619
ธันวาคม	1.819	12.240	10.421	572.8972
รวม	1038.842	1007.190	-31.652	-3.04685



ภาพที่ 4.15 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 4 (SWAT 4)



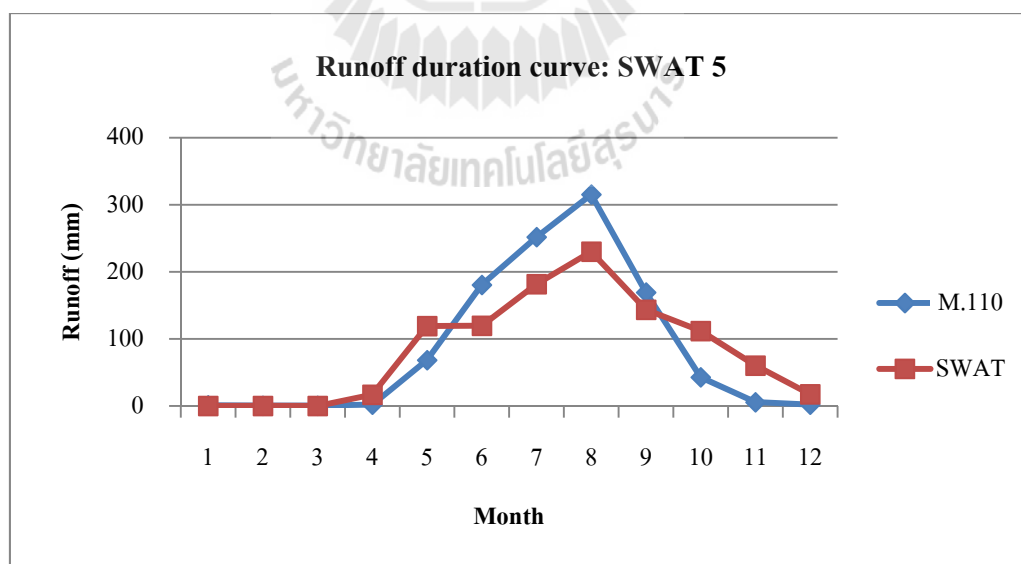
ภาพที่ 4.16 การวิเคราะห์สัมพรรคถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 4 (SWAT 4)

ในขณะเดียวกัน ในการประมาณปริมาณน้ำท่าจากชุดพารามิเตอร์ที่ 5 (SWAT 5) พบว่า ปริมาณน้ำรวมตลอดปีเท่ากับ 1,000.20 มม. ในขณะที่ ปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จริง เท่ากับ 1,038.84 มม. ซึ่งค่าความแตกต่างเท่ากับ -38.64 มม. หรือร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์เท่ากับ -3.720 ค่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ได้จากแบบจำลองระหว่างเดือนมิถุนายนถึงกันยายนซึ่งเป็นฤดูฝน มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.35 และภาพที่ 4.17 ในขณะเดียวกัน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จริง มีค่าเท่ากับร้อยละ 85.90 (ภาพที่ 4.18) และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (E) ของ Nash and Sutcliffe มีค่าเท่ากับร้อยละ 82.80 (ตารางที่ 4.30)

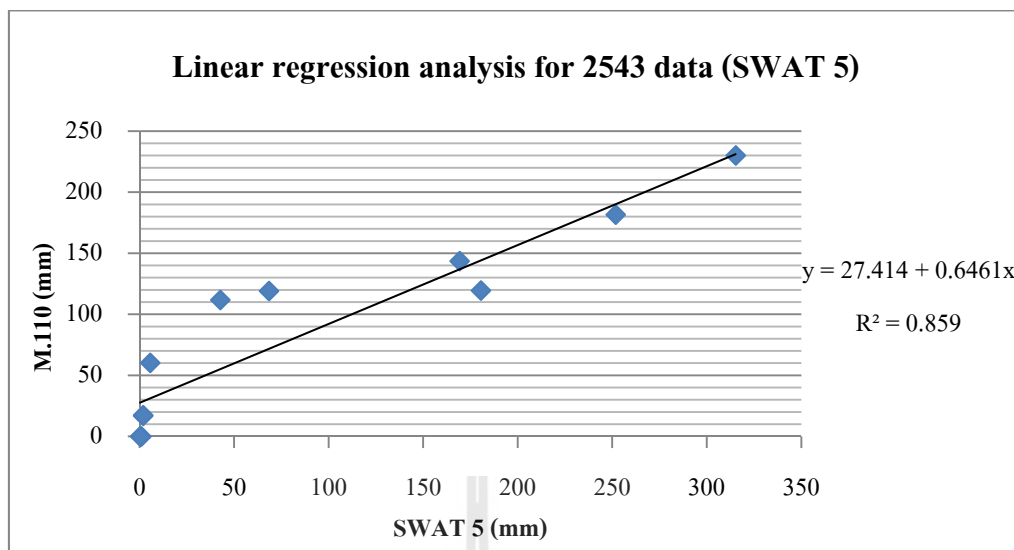
จากผลการทดสอบค่าทางสถิติของชุดพารามิเตอร์ 4 และ 5 พบว่า ร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ (%R) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (E) ของ Nash and Sutcliffe และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ฉะนั้น พารามิเตอร์ทั้งสองชุด ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด แต่ค่าทางสถิติโดยรวมของชุดพารามิเตอร์ 4 ให้ค่าดีกว่าชุดพารามิเตอร์ 5 ดังนั้น ชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประมาณปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาได้แก่ ชุดพารามิเตอร์ 4

ตารางที่ 4.35 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองและสถานีตรวจวัด M.110 โดยชุดพารามิเตอร์ที่ 5 (SWAT 5)

เดือน	ปริมาณน้ำท่า (มม.)		ค่าความแตกต่าง	ร้อยละความแตกต่าง
	สถานี M.110	แบบจำลอง SWAT		
มกราคม	0.953	0.000	-0.953	-100.0000
กุมภาพันธ์	0.335	0.080	-0.255	-76.1194
มีนาคม	0.353	0.010	-0.343	-97.1671
เมษายน	1.889	16.830	14.941	790.9476
พฤษภาคม	68.397	119.110	50.713	74.14506
มิถุนายน	180.526	119.500	-61.026	-33.8045
กรกฎาคม	251.819	181.600	-70.219	-27.8847
สิงหาคม	315.272	230.090	-85.182	-27.0186
กันยายน	169.227	143.590	-25.637	-15.1495
ตุลาคม	42.708	111.830	69.122	161.8479
พฤศจิกายน	5.544	60.210	54.666	986.0390
ธันวาคม	1.819	17.350	15.531	853.8208
รวม	1038.842	1000.200	-38.642	-3.71972



ภาพที่ 4.17 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 5 (SWAT 5)



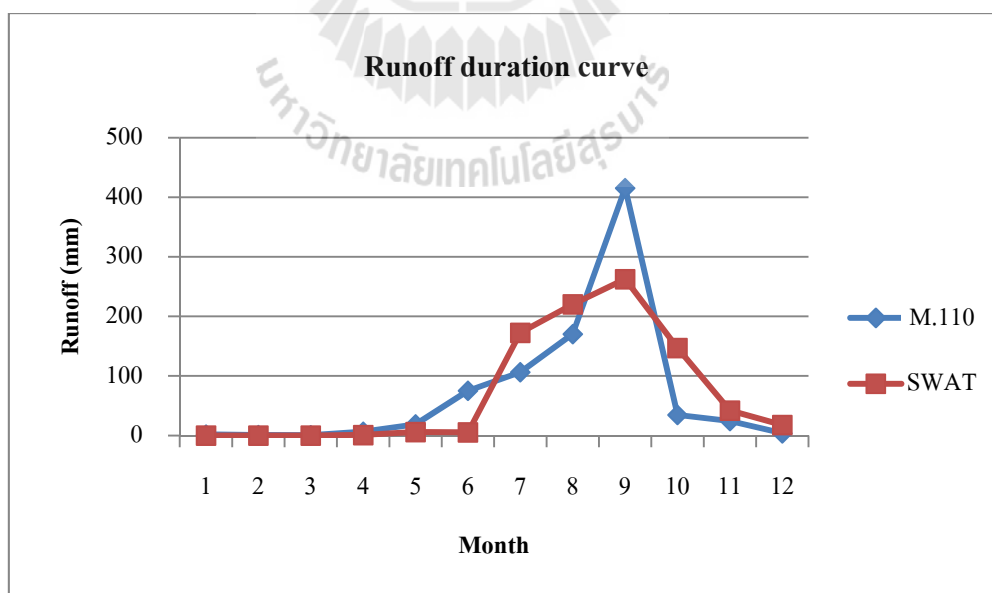
ภาพที่ 4.18 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2543 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากชุดพารามิเตอร์ 5 (SWAT 5)

4.3.2 การทดสอบความสมเหตุสมผลแบบจำลอง (Model validation)

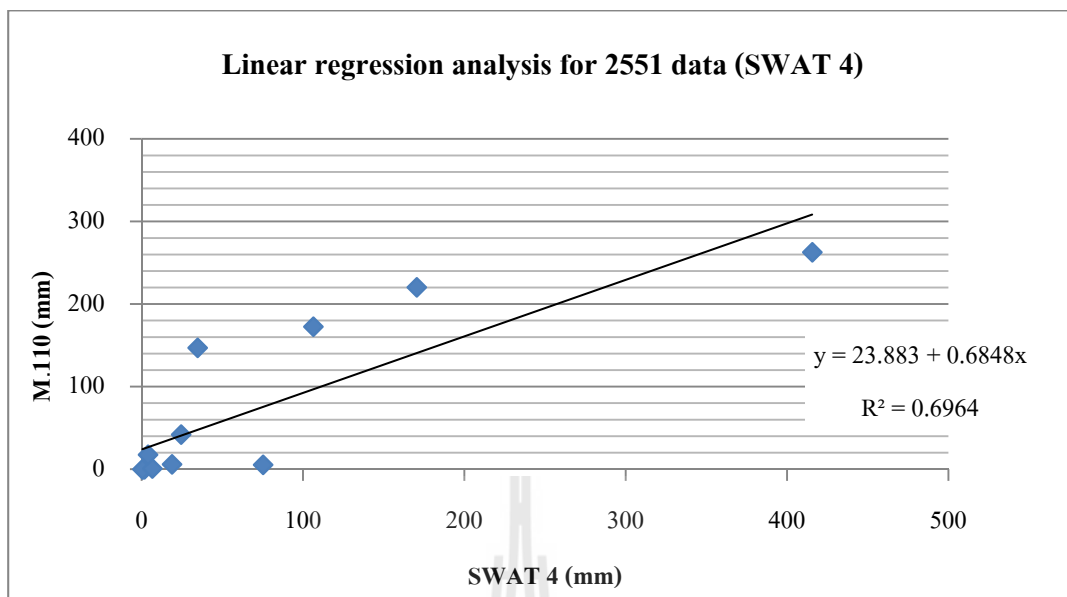
นำชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสูงสุด (SWAT 4) ที่ได้รับการเทียบมาตรฐานแบบจำลองมาใช้ทดสอบความสมเหตุสมผลแบบจำลอง (Model validation) กับชุดข้อมูลน้ำเข้า พ.ศ. 2551 พร้อมทำการทดสอบผลที่ได้รับ โดยอาศัยการทดสอบทางสถิติและการพล็อตกราฟเส้นทแยงมุมสี่เหลี่ยมจัตุรัส 45 องศา เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2551 จากสถานีวัดน้ำ M.110 กับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง SWAT พบว่าปริมาณน้ำรวมตลอดปีเท่ากับ 874.51 มม. ในขณะที่ ปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จริง เท่ากับ 858.57 มม. มีค่าความแตกต่างเท่ากับ 15.94 มม. หรือมีค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ (%R) เท่ากับ 1.86 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ได้จากแบบจำลองระหว่างเดือนกรกฎาคมและสิงหาคมในช่วงฤดูฝนมีค่าสูงกว่าความเป็นจริง ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.36 และภาพที่ 4.19 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล (E) ของ Nash and Sutcliffe เท่ากับร้อยละ 72.50 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับร้อยละ 69.70 ดังแสดงในภาพที่ 4.20

ตารางที่ 4.36 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองและสถานีตรวจวัด M.110 จากการทดสอบความสมเหตุสมผล

เดือน	ปริมาณน้ำท่า (มม.)		ค่าความแตกต่าง	ร้อยละความแตกต่าง
	สถานี M.110	แบบจำลอง SWAT		
มกราคม	1.660	0.000	-1.660	-100.00
กุมภาพันธ์	0.696	0.000	-0.696	-100.00
มีนาคม	0.418	0.000	-0.418	-100.00
เมษายน	6.553	0.920	-5.633	-85.96
พฤษภาคม	18.737	5.880	-12.857	-68.62
มิถุนายน	75.188	5.340	-69.848	-92.90
กรกฎาคม	106.343	172.660	66.317	62.36
สิงหาคม	170.451	220.370	49.919	29.29
กันยายน	415.602	262.700	-152.902	-36.79
ตุลาคม	34.604	147.010	112.406	324.83
พฤศจิกายน	24.449	41.990	17.541	71.74
ธันวาคม	3.868	17.640	13.772	355.99
รวม	858.570	874.510	15.941	1.86



ภาพที่ 4.19 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือน พ.ศ. 2551 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากการทดสอบความสมเหตุสมผล



ภาพที่ 4.20 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2551 จากสถานีวัดน้ำ M.110 และแบบจำลอง SWAT จากการทดสอบความสมเหตุสมผล

4.4 ผลการประมาณปริมาณน้ำท่าในอนาคตโดยแบบจำลอง SWAT

ในการประมาณปริมาณน้ำท่าในอนาคตที่นำชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสูงสุดของพื้นที่ศึกษาที่ได้จากการประเมินหาชุดพารามิเตอร์ในการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง ได้แก่ ชุดพารามิเตอร์ 4 มาใช้ประมาณปริมาณน้ำท่าใน พ.ศ. 2559 ตามทัศนภาพของปริมาณน้ำฝน 3 แบบรูป พร้อมทั้ง การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนต่อปริมาณน้ำท่าและการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าที่อาศัยปริมาณน้ำฝน พ.ศ. 2543 มาประมาณปริมาณน้ำท่า ร่วมกับข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 และ 2551 ของกรมพัฒนาที่ดิน และข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 และ 2567 จากแบบจำลอง CA-Markov มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลการประมาณปริมาณน้ำท่าใน พ.ศ. 2559 ของ 3 ทัศนภาพ

ในการประมาณปริมาณน้ำท่าใน พ.ศ. 2559 โดยแบบจำลอง SWAT อาศัยผลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2559 จากแบบจำลอง CA-Markov และปริมาณน้ำฝนของทัศนภาพ (Scenario) 3 แบบรูป (ตารางที่ 4.37) ที่ได้จากการวิเคราะห์ดัชนีวัดความแห้งแล้งของฝน (SPI) จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนย้อนหลัง 45 ปี (พ.ศ. 2506-2551) ของสถานีอุตุวิทยามหาวิทยาลัยอุดรราชธานี ประกอบด้วย

(1) ทัศนภาพแบบที่ 1: ปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าปกติ

จากผลการวิเคราะห์ค่า SPI ใน พ.ศ. 2536 ค่า SPI มีค่าต่ำสุด เท่ากับ -2.27 จึงกำหนดให้ปริมาณน้ำฝนใน พ.ศ. 2536 เป็นทัศนภาพแบบที่ 1 ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าปกติ (Extremely dry) คิดเป็นปริมาณน้ำฝนรายปีเท่ากับ 1,070.40 มม.

(2) ทัศนภาพแบบที่ 2: ปริมาณน้ำฝนปกติ

จากผลการวิเคราะห์ค่า SPI ใน พ.ศ. 2543 ค่า SPI มีค่าเท่ากับ 0 จึงกำหนดให้ปริมาณน้ำฝนใน พ.ศ. 2543 เป็นทัศนภาพแบบที่ 2 ที่มีปริมาณน้ำฝนปกติ (Normal year) คิดเป็นปริมาณน้ำฝนรายปีเท่ากับ 1,395.70 มม.

(3) ทัศนภาพแบบที่ 3: ปริมาณน้ำฝนมากกว่าปกติ

จากผลการวิเคราะห์ค่า SPI ใน พ.ศ. 2509 ค่า SPI มีค่าสูงสุด เท่ากับ +2.11 จึงกำหนดให้ปริมาณน้ำฝนใน พ.ศ. 2509 เป็นทัศนภาพแบบที่ 3 ที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่าปกติ (Extremely wet) คิดเป็นปริมาณน้ำฝนรายปีเท่ากับ 2,257.81 มม.

ผลการประมาณปริมาณน้ำท่ารายเดือนใน พ.ศ. 2559 โดยแบบจำลอง SWAT ของ 3 ทัศนภาพ แสดงไว้ในตารางที่ 4.38 และภาพที่ 4.21

จากตารางที่ 4.38 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนจาก 3 ทัศนภาพส่งผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำท่ารายปีที่จะเกิดขึ้น โดยพบว่า ปริมาณน้ำท่ารายปีของทัศนภาพแบบที่ 1 ซึ่งเป็นปีที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าปกติ มีปริมาณน้ำท่ารายปีเท่ากับ 365.52 มม. ในทางตรงกันข้าม ปริมาณน้ำท่ารายปีของทัศนภาพแบบที่ 3 ซึ่งเป็นปีที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่าปกติ มีปริมาณน้ำท่ารายปีเท่ากับ 1,383.28 มม. ในขณะที่ปริมาณน้ำท่ารายปีของทัศนภาพแบบที่ 2 ซึ่งเป็นปีที่มีปริมาณน้ำฝนปกติ มีปริมาณน้ำท่ารายปีเท่ากับ 679.77 มม. ซึ่งผลลัพธ์ของปริมาณน้ำท่ารายปีที่ได้รับจะสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนรายปี

แต่อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่เกิดของ 3 ทัศนภาพ พบว่าแบบรูปการกระจายของปริมาณน้ำฝนรายเดือนมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่ารายเดือนของทัศนภาพ ในภาพที่ 4.21 พบว่า ในเดือนเมษายน ปริมาณน้ำท่าของทัศนภาพแบบที่ 1 ที่เป็นปีที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าปกติมีปริมาณน้ำท่ารายเดือนมากกว่าปริมาณน้ำท่าของทัศนภาพแบบที่ 2 ที่เป็นปีที่มีปริมาณน้ำฝนปกติ และพบว่า ในเดือนตุลาคม ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของทัศนภาพแบบที่ 2 ที่เป็นปีที่มีปริมาณน้ำฝนปกติมีปริมาณน้ำท่ามากกว่าปริมาณน้ำท่าของทัศนภาพแบบที่ 3 ที่เป็นปีที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่าปกติ

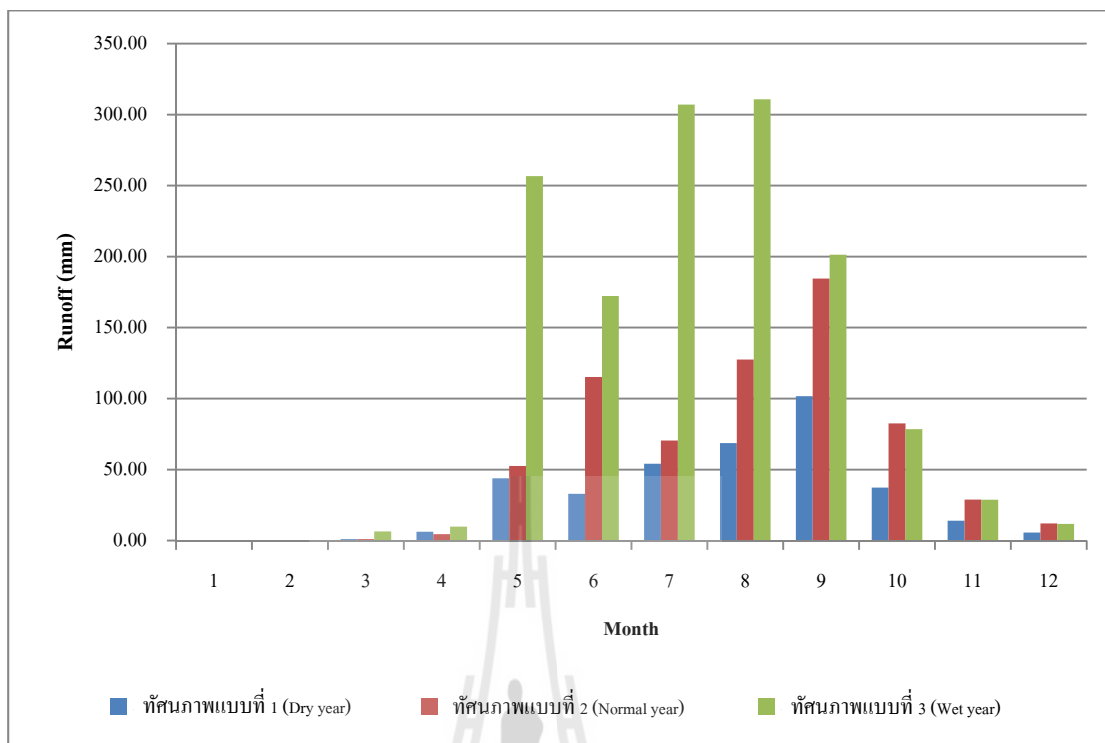
จากผลลัพธ์ที่ได้รับข้างต้น บ่งชี้ถึงอิทธิพลของแบบรูปการกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนรายเดือนต่อปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่จะเกิดขึ้นในแต่ละทัศนภาพ

ตารางที่ 4.37 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนของ 3 ทิศภาพ

เดือน	ปริมาณน้ำฝน (มม.)		
	ทิศภาพแบบที่ 1	ทิศภาพแบบที่ 2	ทิศภาพแบบที่ 3
	พ.ศ. 2536	พ.ศ. 2543	พ.ศ. 2509
มกราคม	0.00	0.00	0.00
กุมภาพันธ์	1.80	11.30	0.01
มีนาคม	29.10	34.20	83.24
เมษายน	96.80	96.30	123.03
พฤษภาคม	301.00	321.70	664.30
มิถุนายน	125.50	199.40	276.33
กรกฎาคม	177.30	143.70	445.62
สิงหาคม	170.30	262.20	400.42
กันยายน	142.70	295.00	179.00
ตุลาคม	19.80	31.50	53.95
พฤศจิกายน	0.00	0.40	23.01
ธันวาคม	6.10	0.00	8.90
รวม	1,070.40	1,395.70	2,257.81

ตารางที่ 4.38 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนใน พ.ศ. 2559 ของ 3 ทัศนภาพ

เดือน	ปริมาณน้ำท่า (มม.)		
	ทัศนภาพแบบที่ 1	ทัศนภาพแบบที่ 2	ทัศนภาพแบบที่ 3
มกราคม	0.00	0.00	0.00
กุมภาพันธ์	0.01	0.35	0.00
มีนาคม	1.00	1.00	6.39
เมษายน	6.23	4.56	9.77
พฤษภาคม	43.9	52.58	256.63
มิถุนายน	32.91	115.21	172.23
กรกฎาคม	54.16	70.51	307.08
สิงหาคม	68.64	127.56	310.82
กันยายน	101.68	184.53	201.36
ตุลาคม	37.37	82.52	78.5
พฤศจิกายน	14.01	28.88	28.77
ธันวาคม	5.61	12.07	11.73
รวม	365.52	679.77	1,383.28



ภาพที่ 4.21 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของ 3 ทัศนภาพ

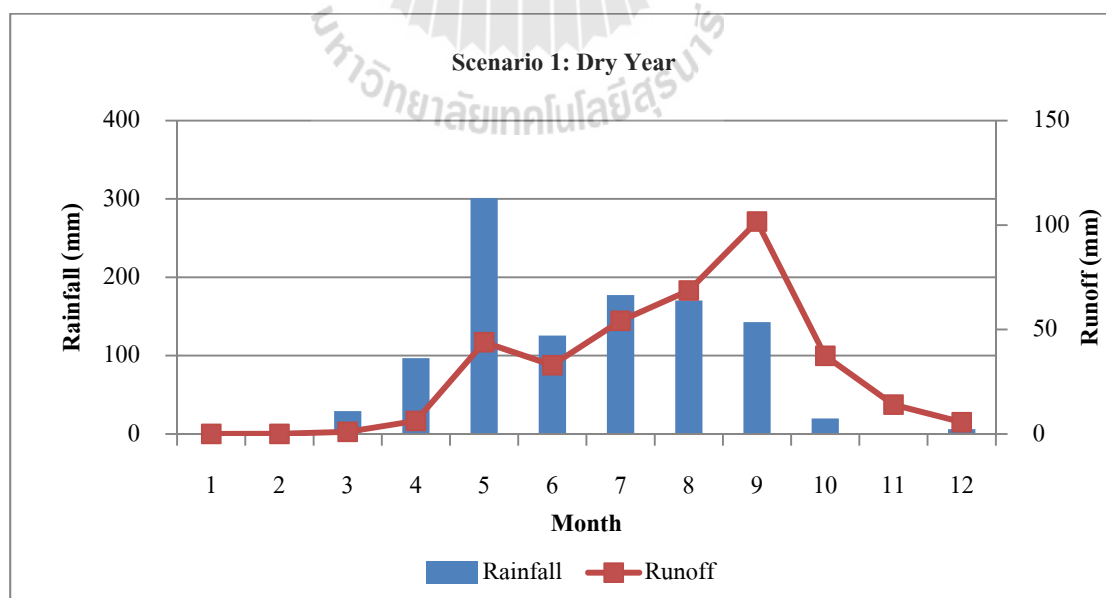
4.4.2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนต่อปริมาณน้ำท่า

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนต่อปริมาณน้ำท่า ซึ่งอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนใน พ.ศ. 2559 และปริมาณน้ำฝนรายเดือนจากทัศนภาพ 3 แบบรูป ประกอบด้วย (1) ปริมาณน้ำฝนน้อยผิดปกติ (2) ปริมาณน้ำฝนปกติ และ (3) ปริมาณน้ำฝนมากผิดปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.39 และภาพที่ 4.22 ถึงภาพที่ 4.24 มาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis) ระหว่างปริมาณน้ำท่า (Y) กับปริมาณน้ำฝน (X) พร้อมคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

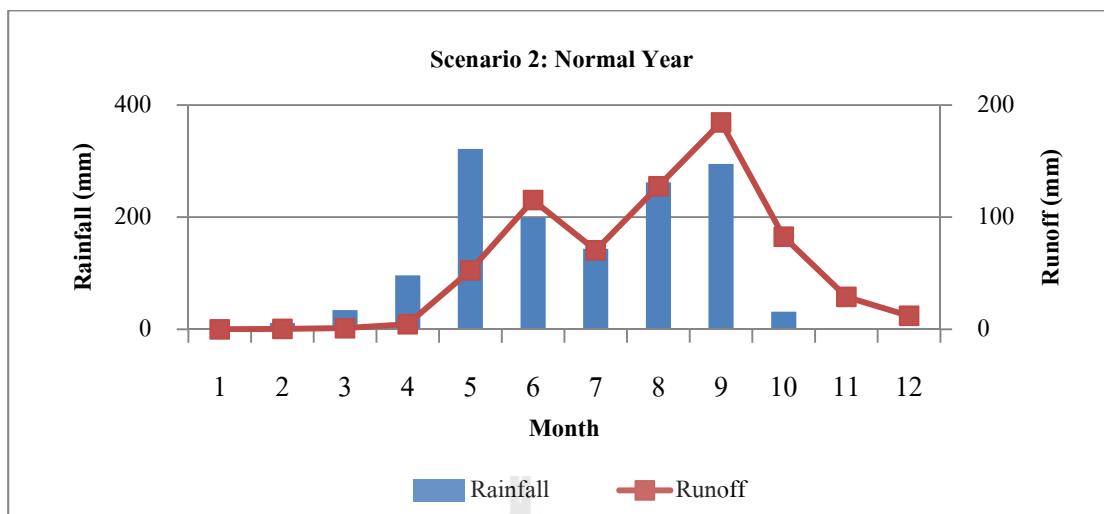
จากการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของ 3 ทัศนภาพ ดังผลแสดงในภาพที่ 4.25 ถึง ภาพที่ 4.27 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของทัศนภาพแบบที่ 3 ที่มีปริมาณน้ำฝนมากที่สุดให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.7703 ในทางตรงกันข้ามค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของทัศนภาพแบบที่ 1 ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุดให้ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.4085 ในขณะเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของทัศนภาพแบบที่ 2 ที่มีปริมาณน้ำฝนปกติให้ค่าเท่ากับ 0.5587

ตารางที่ 4.39 ปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของทัศนภาพ 3 รูปแบบ

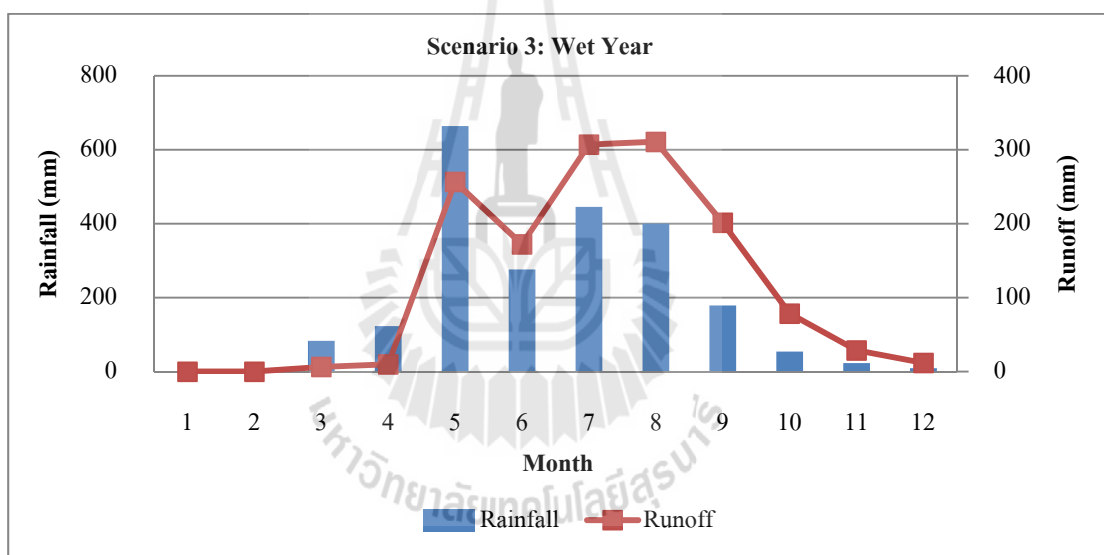
เดือน	ทัศนภาพแบบที่ 1		ทัศนภาพแบบที่ 2		ทัศนภาพแบบที่ 3	
	ฝน (มม.)	น้ำท่า (มม.)	ฝน (มม.)	น้ำท่า (มม.)	ฝน (มม.)	น้ำท่า (มม.)
มกราคม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
กุมภาพันธ์	1.80	0.01	11.30	0.35	0.01	0.00
มีนาคม	29.10	1.00	34.20	1.00	83.24	6.39
เมษายน	96.80	6.23	96.30	4.56	123.03	9.77
พฤษภาคม	301.00	43.9	321.70	52.58	664.30	256.63
มิถุนายน	125.50	32.91	199.40	115.21	276.33	172.23
กรกฎาคม	177.30	54.16	143.70	70.51	445.62	307.08
สิงหาคม	170.30	68.64	262.20	127.56	400.42	310.82
กันยายน	142.70	101.68	295.00	184.53	179.00	201.36
ตุลาคม	19.80	37.37	31.50	82.52	53.95	78.50
พฤศจิกายน	0.00	14.01	0.40	28.88	23.01	28.77
ธันวาคม	6.10	5.61	0.00	12.07	8.90	11.73
รวม	1,070.40	365.52	1,395.70	679.77	2,257.81	1,383.28



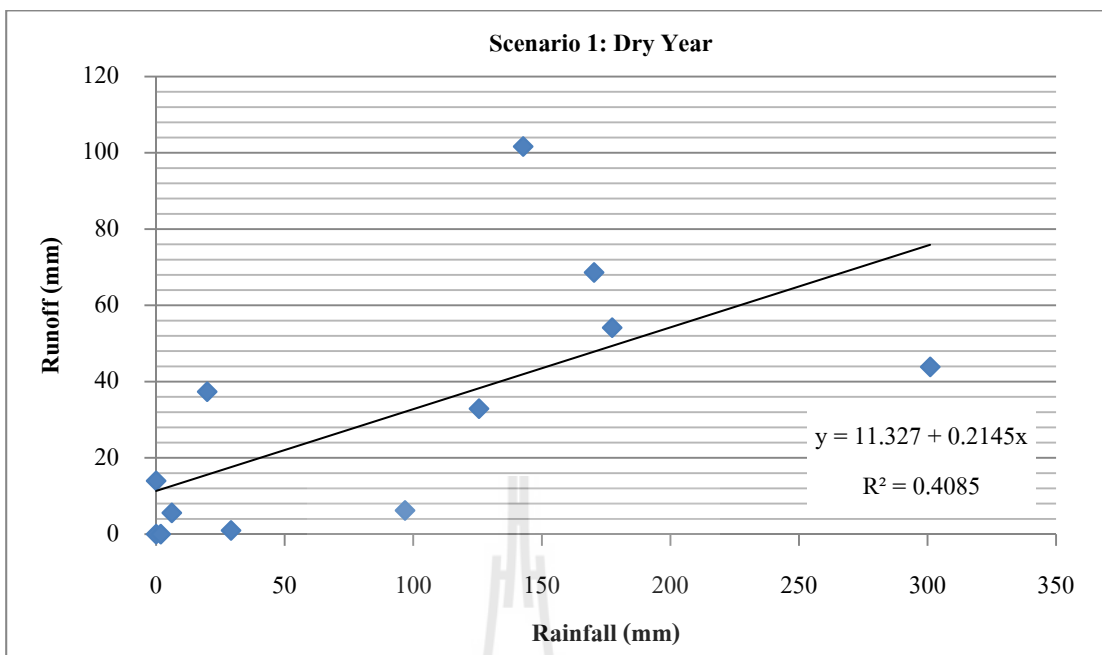
ภาพที่ 4.22 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของทัศนภาพแบบที่ 1



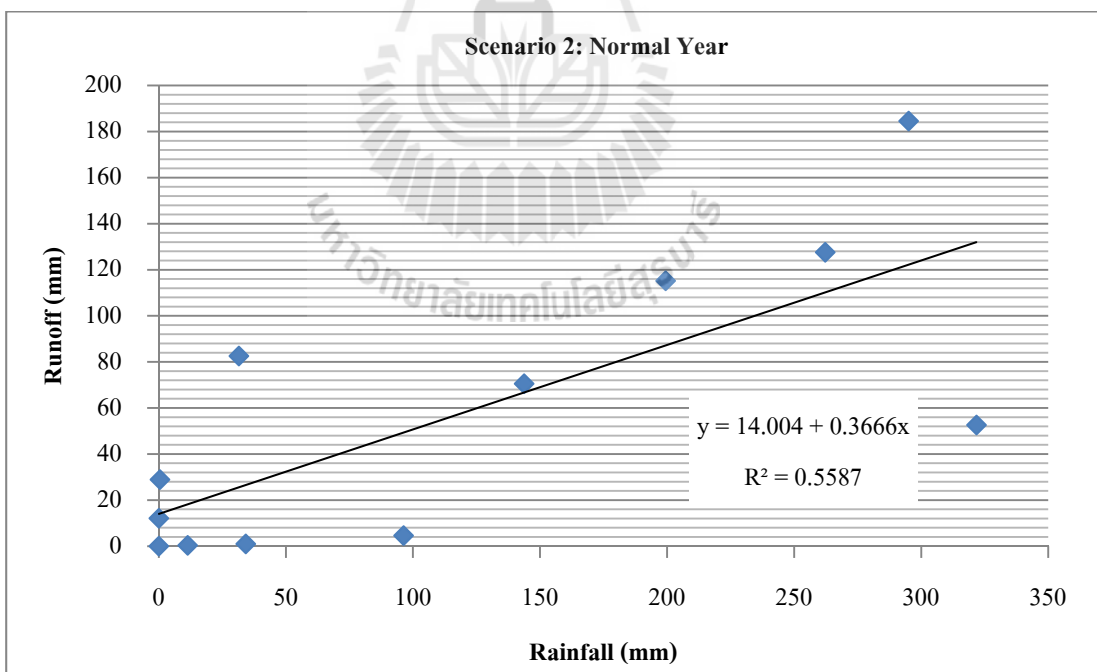
ภาพที่ 4.23 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของทัศนภาพแบบที่ 2



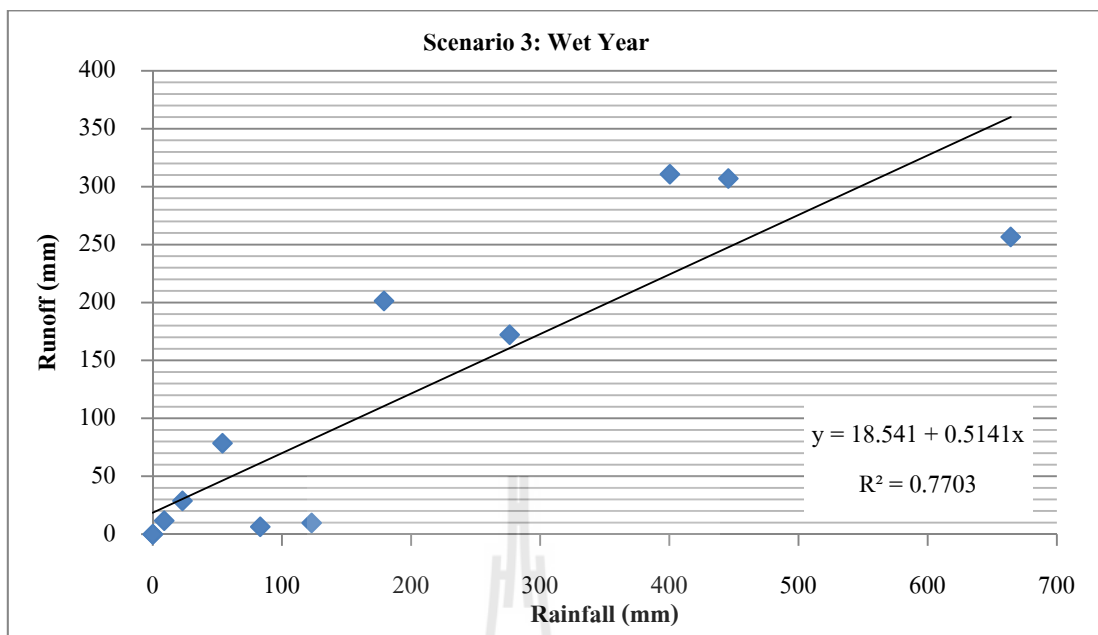
ภาพที่ 4.24 การเปรียบเทียบเชิงกราฟปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของทัศนภาพแบบที่ 3



ภาพที่ 4.25 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของทัศนภาพแบบที่ 1: ปริมาณน้ำฝนน้อยที่สุด



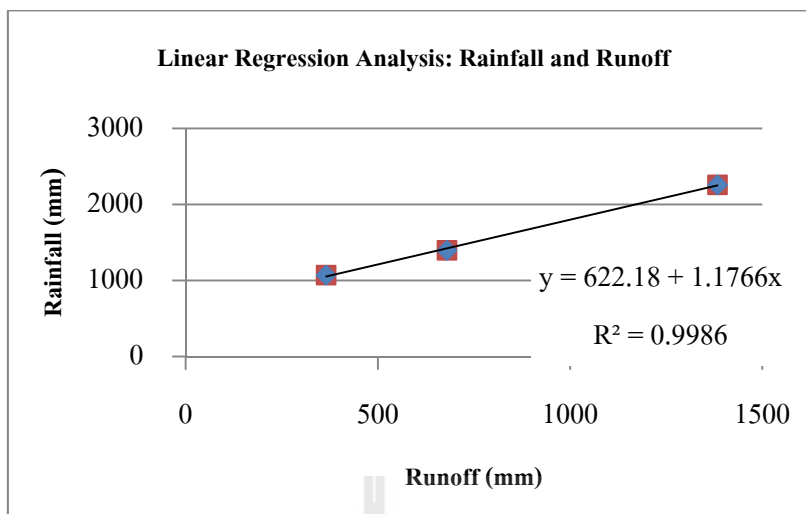
ภาพที่ 4.26 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของทัศนภาพแบบที่ 2: ปริมาณน้ำฝนปกติ



ภาพที่ 4.27 การวิเคราะห์ห้สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนของทัศนภาพแบบที่ 3: ปริมาณน้ำฝนมากที่สุด

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของทัศนภาพแบบที่ 3 ที่มีปริมาณน้ำฝนรายปีมากกว่าปกติมีค่าสูงสุด เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่มีมากจะทำให้เกิดปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (Surface runoff) มากซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำท่าที่มีมากกว่าทัศนภาพแบบที่ 1 และ แบบที่ 2 มีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงขึ้น

นอกจากนี้ หากนำปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายปีของ 3 ทัศนภาพ มาทำการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น (ภาพที่ 4.28) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายปี มีค่าสูงเท่ากับร้อยละ 99.86



ภาพที่ 4.28 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายปีของ 3 ทัศนภาพ

จากผลที่ได้รับสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณน้ำฝนมีผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ ทั้งนี้ ในการประมาณปริมาณน้ำท่าของทั้ง 3 ทัศนภาพโดยแบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข และข้อมูลชุดดินชุดเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเข้าใกล้หนึ่ง

4.4.3 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าที่ได้นำข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 และ 2551 จากกรมพัฒนาที่ดิน และข้อมูลคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 และ 2567 โดยแบบจำลอง CA-Markov มาใช้ร่วมกับปริมาณน้ำฝนรายเดือน พ.ศ. 2543 สถานีอุทกวิทยา M.110 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า พบว่า ปริมาณน้ำท่าในระหว่าง พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2567 เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ใน พ.ศ. 2543 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเท่ากับ 1,007.19 มม. คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 570,472,416 ลบ.ม. ใน พ.ศ. 2551 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเท่ากับ 1,012.93 มม. คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 573,723,552 ลบ.ม. ใน พ.ศ. 2559 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเท่ากับ 1,028.05 มม. คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 582,287,520 ลบ.ม. และใน พ.ศ. 2567 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเท่ากับ 1,029.09 มม. คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 582,876,576 ลบ.ม. ดังรายละเอียดใน ตารางที่ 4.40 และ 4.41 โดยพบว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 เป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินจาก พ.ศ. 2567 ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น 21.9 มม. คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 12,404,160 ลบ.ม.

ตารางที่ 4.40 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนหน่วยเป็นมิลลิเมตรในระหว่าง พ.ศ. 2543-2567

เดือน	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน (มม.)			
	พ.ศ. 2543	พ.ศ. 2551	พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2567
มกราคม	0.00	0.00	0.00	0.00
กุมภาพันธ์	0.09	0.10	0.10	0.09
มีนาคม	0.00	0.00	0.00	0.00
เมษายน	21.62	23.89	23.40	21.72
พฤษภาคม	153.58	155.98	158.73	158.14
มิถุนายน	141.62	140.66	145.41	147.19
กรกฎาคม	196.02	198.38	202.93	202.55
สิงหาคม	228.68	231.02	232.88	232.61
กันยายน	140.87	139.84	141.18	141.73
ตุลาคม	83.10	82.12	82.56	83.51
พฤศจิกายน	29.37	28.90	28.85	29.33
ธันวาคม	12.24	12.04	12.01	12.22
รวม	1,007.19	1,012.93	1,028.05	1,029.09

ตารางที่ 4.41 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรในระหว่าง พ.ศ. 2543-2567

เดือน	ปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ลบ.ม.)			
	พ.ศ. 2543	พ.ศ. 2551	พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2567
มกราคม	0	0	0	0
กุมภาพันธ์	50,976	56,640	56,640	50,976
มีนาคม	0	0	0	0
เมษายน	12,245,568	13,531,296	13,253,760	12,302,208
พฤษภาคม	86,987,712	88,347,072	89,904,672	89,570,496
มิถุนายน	80,213,568	79,669,824	82,360,224	83,368,416
กรกฎาคม	111,025,728	112,362,432	114,939,552	114,724,320
สิงหาคม	129,524,352	130,849,728	131,903,232	131,750,304
กันยายน	79,788,768	79,205,376	79,964,352	80,275,872
ตุลาคม	47,067,840	46,512,768	46,761,984	47,300,064
พฤศจิกายน	16,635,168	16,368,960	16,340,640	16,612,512
ธันวาคม	6,932,736	6,819,456	6,802,464	6,921,408
รวม	570,472,416	573,723,552	582,287,520	582,876,576

ในขณะเดียวกัน จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินหลักในพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วย (1) พื้นที่ชุมชนและสิ่งก่อสร้าง (2) พื้นที่เกษตรกรรม (3) พื้นที่ป่าไม้ (4) แหล่งน้ำ และ (5) พื้นที่เบ็ดเตล็ด ในระหว่าง พ.ศ. 2543-2567 ที่ได้จากข้อมูลกรมพัฒนาที่ดินและการคาดการณ์โดยแบบจำลอง CA-Markov (ตารางที่ 4.42) พบว่า พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่เบ็ดเตล็ด มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในทางตรงกันข้าม พื้นที่ป่าไม้มีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างและแหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อย

ในการศึกษาครั้งนี้ การวิเคราะห์การเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า จึงพิจารณาเฉพาะข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีการเปลี่ยนแปลง (พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด) เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประมาณค่าโดยแบบจำลอง SWAT (ตารางที่ 4.43) โดยอาศัยการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินกับปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในแต่ละปี โดยมีผลการวิเคราะห์ ดังนี้

(1) พื้นที่เกษตรกรรม ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก ได้แก่ นาข้าว มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำท่า กล่าวคือ หากพื้นที่เกษตรกรรมเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำท่าจะเพิ่มขึ้น ในทางตรงกัน หากพื้นที่เกษตรกรรมลดลง ปริมาณน้ำท่าจะลดลง ดังแสดงในภาพที่ 4.29 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับร้อยละ 79.20

(2) พื้นที่ป่าไม้ ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก ได้แก่ ป่าผลัดใบสมบูรณ์ มีความสัมพันธ์ผกผันกับปริมาณน้ำท่า กล่าวคือ หากพื้นที่ป่าไม้เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำท่าจะลดลง ในทางตรงกันข้าม หากพื้นที่ป่าไม้ลดลง ปริมาณน้ำท่าจะเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.30 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับร้อยละ 90.18

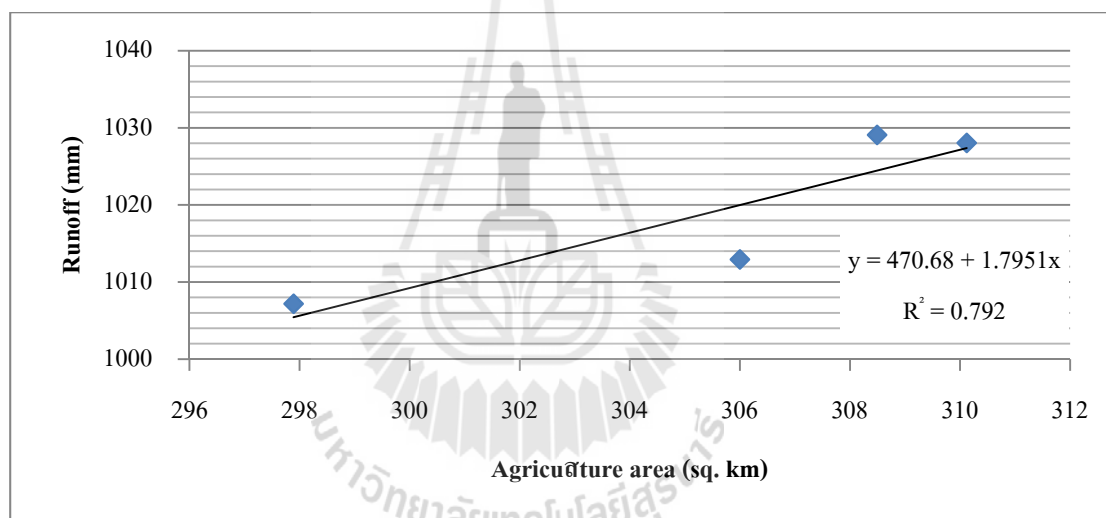
(3) พื้นที่เบ็ดเตล็ด ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก ได้แก่ ทุ่งหญ้า (RNGB และ RNGE) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำท่า กล่าวคือ หากพื้นที่เบ็ดเตล็ดเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำท่าจะเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม หากพื้นที่เบ็ดเตล็ดลดลง ปริมาณน้ำท่าจะลดลง ดังแสดงในภาพที่ 4.31 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับร้อยละ 90.36

ตารางที่ 4.42 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่าง พ.ศ. 2543 ถึง 2567

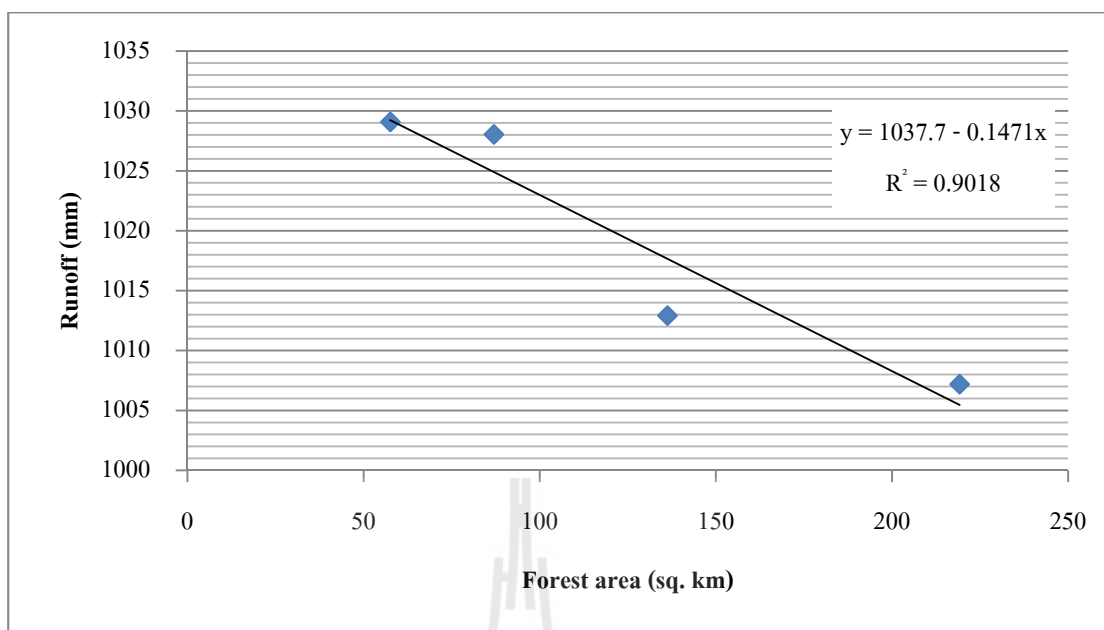
ลำดับ ที่	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	รหัสของ SWAT	พ.ศ. 2543	พ.ศ. 2551	พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2567
1	Residential high density	URHD	1.90	1.90	1.90	1.90
2	Residential med/low density	URML	12.54	12.54	12.54	12.54
3	Industrial	UIDU	0.03	0.26	0.26	0.26
4	Institutional	UINS	2.26	2.26	2.26	2.26
5	Tall fescue	FESC	0.01	0.02	0.02	0.02
พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (U)		รวม	16.74	16.98	16.98	16.98
1	Agricultural land Generic	AGRL	5.43	0.06	0.05	0.04
2	Agricultural land Row crops	AGRR	0.24	19.94	33.55	43.42
3	Rice	RICE	291.94	263.71	239.28	217.16
4	Rubber tree	RUBR	0.24	19.86	34.03	44.29
5	Orchard	ORCD	0.04	2.44	3.22	3.59
พื้นที่เกษตรกรรม (A)		รวม	297.89	306.01	310.13	308.50
1	Forest deciduous	FRSD	219.11	132.07	80.20	48.88
2	Forest mixed	FRST	0.08	4.16	6.80	8.69
พื้นที่ป่าไม้ (F)		รวม	219.19	136.23	87.00	57.57
1	Water	WATR	5.24	6.30	6.59	6.85
แหล่งน้ำ (W)		รวม	5.24	6.30	6.59	6.85
1	Pasture	PAST	0.00	0.05	0.09	0.13
2	Range bush	RNGB	25.87	31.16	26.32	21.60
3	Range grasses	RNGE	1.00	53.05	93.16	122.85
4	Wetland mixed	WETL	0.47	16.62	26.13	31.92
พื้นที่เบ็ดเตล็ด (M)			27.34	100.88	145.7	176.5
รวม			566.40	566.40	566.40	566.40

ตารางที่ 4.43 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลักที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่าง พ.ศ. 2543 ถึง 2567

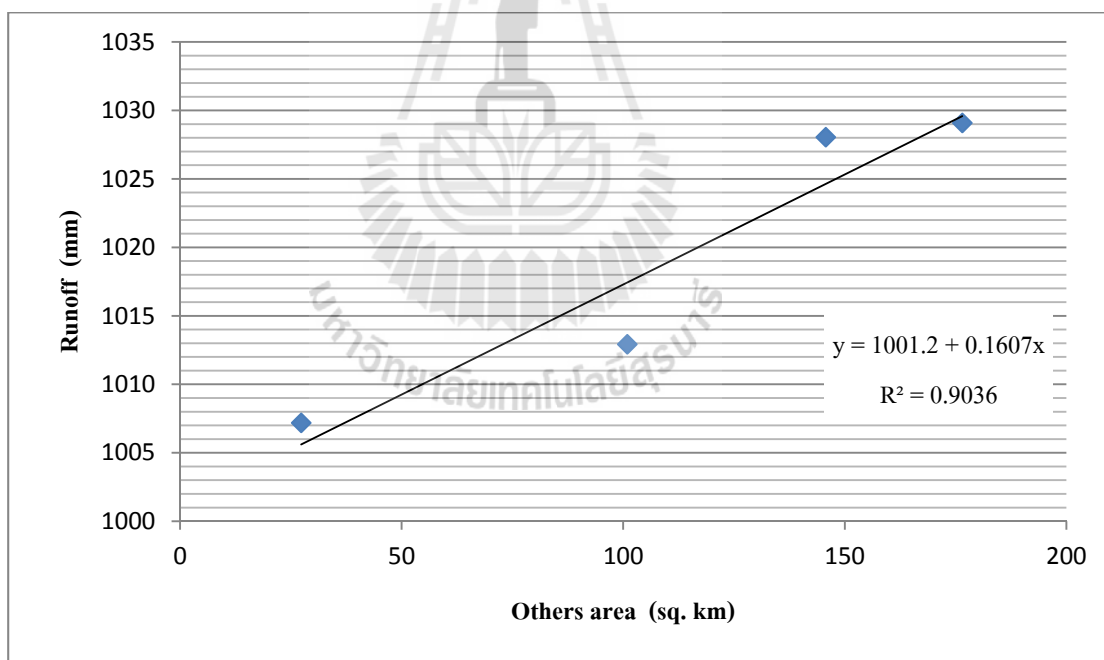
พ.ศ.	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ตร. กม.)			ปริมาณน้ำท่า (มม.)	ปริมาณน้ำท่า (ลบ. ม.)
	พื้นที่	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่อื่นๆ		
เกษตรกรรม					
2543	297.89	219.19	27.33	1,007.19	570,472,416
2551	306.00	136.23	100.88	1,012.93	573,723,552
2559	310.12	86.99	145.70	1,028.05	582,287,520
2567	308.49	57.57	176.50	1,029.09	582,876,576



ภาพที่ 4.29 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่ากับพื้นที่เกษตรกรรม



ภาพที่ 4.30 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่ากับพื้นที่ป่าไม้



ภาพที่ 4.31 การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างปริมาณน้ำท่ากับพื้นที่อื่นๆ

จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ได้รับแสดงว่า พื้นที่ป่าไม้และพื้นที่เบ็ดเตล็ดมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปริมาณน้ำท่าที่จะเกิดขึ้นมากกว่าพื้นที่เกษตรกรรม โดยมีประสิทธิภาพใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า ได้แก่ ป่าผลัดใบสมบูรณ์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และทุ่งหญ้าที่เกิดจากการบุกรุกทำลายป่าธรรมชาติ ฉะนั้น ในการบริหารจัดการน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาควรให้ความสำคัญกับการเพิ่มหรือลดลงของป่าผลัดและทุ่งหญ้า

นอกจากนี้ หากพิจารณาสมการสมดุลของน้ำ เมื่อปริมาณน้ำฝนคงที่ ตัวแปรที่ควบคุมปริมาณน้ำท่าที่สำคัญ ได้แก่ การคายระเหย (Evapotranspiration) และปริมาณน้ำผิวดิน (Surface runoff) ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับประสิทธิภาพใช้ประโยชน์ที่ดิน ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ใน พ.ศ. 2543 ป่าผลัดใบสมบูรณ์มีพื้นที่เท่ากับ 219.11 ตร.กม. และลดลงเหลือเท่ากับ 48.88 ตร.กม. ใน พ.ศ. 2567 คิดเป็นพื้นที่ลดลงเท่ากับ 170.23 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 77.69 ของพื้นที่ป่าผลัดใบ ใน พ.ศ. 2543 ในทางตรงกันข้าม พบว่า พื้นที่ทุ่งหญ้าเพิ่มขึ้นจาก 26.87 ตร.กม. ใน พ.ศ. 2543 เป็น 144.45 ตร.กม. ใน พ.ศ. 2567 คิดเป็นพื้นที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 117.58 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 437.59 ของพื้นที่ทุ่งหญ้าใน พ.ศ. 2543 ในขณะเดียวกัน พบว่า พื้นที่เกษตรกรรมมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยพบว่า พื้นที่พื้นที่เกษตรกรรมเพิ่มขึ้นจาก 297.89 ตร.กม. ใน พ.ศ. 2543 เป็น 306.01 ตร.กม. ใน พ.ศ. 2567 คิดเป็นพื้นที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 10.61 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 3.56 ของพื้นที่เกษตรกรรมใน พ.ศ. 2543 ฉะนั้น จากผลที่ได้รับแสดงว่า การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าไม้และทุ่งหญ้าที่เกิดในพื้นที่ศึกษามีบทบาทสำคัญมากกว่าพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ดังกล่าวข้างต้น

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากผลการประมาณปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลจากข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่อาศัยแบบจำลอง CA-Markov โดยแบบจำลอง SWAT: กรณีศึกษา ลุ่มน้ำย่อยห้วยตุงลงในลุ่มน้ำมูล ที่มีวัตถุประสงค์คือ (1) เพื่อประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2543 และ 2551 สำหรับใช้ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2559 (2) เพื่อประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประมาณปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT โดยอาศัยวิธีการเทียบมาตรฐานและตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง และ (3) เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าของทัศนภาพ 3 แบบรูปใน พ.ศ. 2559 โดยแบบจำลอง SWAT พร้อมการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนต่อปริมาณน้ำท่าและการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 การประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงระหว่าง พ.ศ. 2543-2551

ผลการประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2543 และ 2551 จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินในพื้นที่ศึกษาคือลุ่มน้ำห้วยตุงลงขนาด 566.4 ตร.กม. พบว่าในพ.ศ. 2543 สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก (ระดับที่ 1) ประกอบด้วย พื้นที่เกษตรกรรม (A) คิดเป็นร้อยละ 52.60 พื้นที่ป่าไม้ (F) คิดเป็นร้อยละ 38.69 พื้นที่เบ็ดเตล็ด (M) คิดเป็นร้อยละ 4.83 ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง (U) คิดเป็นร้อยละ 2.96 และแหล่งน้ำ คิดเป็นร้อยละ 0.93 และใน พ.ศ. 2551 สัดส่วนของการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก ประกอบด้วย พื้นที่เกษตรกรรม (A) คิดเป็นร้อยละ 54.03 พื้นที่ป่าไม้ (F) คิดเป็นร้อยละ 24.05 พื้นที่เบ็ดเตล็ด (M) คิดเป็นร้อยละ 17.82 ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้าง (U) คิดเป็นร้อยละ 2.99 และแหล่งน้ำ คิดเป็นร้อยละ 1.11 ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินใน 2 ปี พบว่า พื้นที่ชุมชนเมืองและสิ่งปลูกสร้างมีพื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.03 พื้นที่เกษตรกรรมมีพื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.43 พื้นที่ป่าไม้มีพื้นที่ลดลงร้อยละ 14.64 พื้นที่แหล่งน้ำมีพื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.18 และพื้นที่เบ็ดเตล็ดมีพื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.99 ของพื้นที่ศึกษา

ในขณะเดียวกัน ผลการประเมินพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินตามรหัสของแบบจำลอง SWAT พบว่า ใน พ.ศ. 2543 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก 3 ลำดับแรก ได้แก่ นาข้าว (RICE) ป่าผลัดใบสมบูรณ์ (FRSD) และทุ่งหญ้าผสมไม้พุ่ม (RNGB) มีเนื้อที่ประมาณ 292 219 และ 26 ตร.

กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 51.54 38.68 และ 4.57 ตามลำดับ และใน พ.ศ. 2551 พบว่า ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลัก 3 ลำดับแรก ได้แก่ นาข้าว (RICE) ป่าผลัดใบสมบูรณ์ (FRSD) และทุ่งหญ้า (RNGE) มีเนื้อที่ประมาณ 264 132 และ 53 ตร. กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 46.56 23.32 และ 9.37 ตามลำดับ สำหรับการประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่าง พ.ศ. 2543 และ 2551 พบว่า ทุ่งหญ้า (RNGE) เพิ่มขึ้นมากที่สุด คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 52 ตร.กม. หรือคิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.51 ตร. กม. ต่อปี และรองลงมา 2 อันดับ ได้แก่ พื้นที่พืชไร่แบบเป็นแถว (AGRR) และ ยางพารา (RUBR) คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 19.70 และ 19.62 ตร. กม. หรือคิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.46 และ 2.45 ตร. กม. ต่อปี ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม พบว่า ป่าผลัดใบสมบูรณ์ (FRSD) ลดลงมากที่สุด คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 87.05 ตร.กม. หรือคิดเป็นอัตราการลดลงเท่ากับ 10.88 ตร. กม. ต่อปี และรองลง 2 อันดับ ได้แก่ นาข้าว (RICE) และ พืชไร่ผสม (AGRL) คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 28.24 และ 5.37 ตร.กม. หรือคิดเป็นอัตราการลดลงเท่ากับ 3.53 และ 0.67 ตร. กม. ต่อปี ตามลำดับ ส่วนประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ประกอบด้วย สถานที่ราชการ (UINS) ชุมชนที่มีความหนาแน่นสูง (URHD) และ ชุมชนที่มีความหนาแน่นปานกลาง/น้อย (URML)

5.1.2 การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559

ผลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2559 พบว่า ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินหลักในพื้นที่ศึกษา 3 ลำดับแรก ได้แก่ นาข้าว (RICE) ทุ่งหญ้า (RNGE) และ ป่าผลัดใบสมบูรณ์ (FRSD) คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 239 93 และ 80 ตร.กม. หรือคิดเป็นร้อยละ 42.24 16.45 และ 14.16 ตามลำดับ และหากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่าง พ.ศ. 2551 และ 2559 พบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภททุ่งหญ้า (RNGE) และสวนยางพารา (RUBR) มีพื้นที่เพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 7.08 และ 2.50 ของพื้นที่ศึกษา ส่วนพื้นที่ป่าผลัดใบสมบูรณ์ (FRSD) และ นาข้าว (RICE) มีพื้นที่ลดลง คิดเป็นร้อยละ 9.16 และ 4.31 ของพื้นที่ศึกษา

5.1.3 การประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประมาณปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT โดยอาศัยวิธีการเทียบมาตรฐานและตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง

ผลการประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประมาณปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยตุงด้วยแบบจำลอง SWAT โดยอาศัยวิธีการเทียบมาตรฐานและตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง ที่พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (E) ของ Nash and Sutcliffe ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าร้อยละความต่างสัมพัทธ์ (%R) สรุปได้ดังนี้

(1) ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสัดส่วนของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชุดดินและความลาดในหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา คือ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ร้อยละ 20 ชุดดิน ร้อยละ 10 และความลาดร้อยละ 20

(2) ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อน้ำท่าผิวดิน (Surface runoff) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำท่าผิวดิน (Surlag) มีค่าเท่ากับ 20 และ ค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อน้ำใต้ดิน (Ground water) คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของปริมาณการถอยกลับการไหลของน้ำใต้ดิน (Alpha_bf) มีค่าเท่ากับ 2

(3) ชั้นของความลาด (Slope class) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ (1) ความลาดมากกว่าร้อยละ 2 (2) ความลาดระหว่างร้อยละ 2-5 และ (3) ความลาดมากกว่าร้อยละ 5

จากผลการประเมินหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประมาณปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณน้ำท่าหลังจากการเทียบมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จริง และให้ค่าทางสถิติที่ดีกว่า โดยพบว่า ในการประมาณปริมาณน้ำท่าใน พ.ศ. 2543 จากค่าพารามิเตอร์โดยปริยาย (Default parameter) ของแบบจำลอง ก่อนทำการเทียบมาตรฐาน และตรวจสอบความสมเหตุสมผล มีปริมาณน้ำท่ารวมเท่ากับ 994,010 มม. ในขณะที่ปริมาณน้ำท่าที่วัดได้จริงจากสถานีวัดน้ำ M.110 ณ แก่งตุงลุง มีค่าเท่ากับ 1,038,842 มม. ซึ่งให้ค่าความแตกต่างเท่ากับ -44,832 มม. ค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์เท่ากับ -4.316 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล (E) ของ Nash and Sutcliffe เท่ากับร้อยละ 58.90 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับร้อยละ 85.65 ในทางตรงกันข้าม ในการประมาณปริมาณน้ำท่าโดยแบบจำลอง SWAT จากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสูงสุดจากการเทียบมาตรฐานพบว่า ปริมาณน้ำท่ารวมใน พ.ศ. 2543 มีค่าเท่ากับ 1,007,19 มม. ให้ค่าความแตกต่างจากปริมาณน้ำท่าจริงเท่ากับ -31,652 มม. ค่าร้อยละความแตกต่างสัมพัทธ์ (%R) เท่ากับ -3.047 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล (E) ของ Nash and Sutcliffe เท่ากับร้อยละ 86.50 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับร้อยละ 87.39

นอกจากนี้ ในการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของชุดข้อมูลก่อนและหลังการเทียบมาตรฐาน พบว่า ค่าทางสถิติของชุดข้อมูลที่ผ่านการเทียบมาตรฐานให้ค่าที่ดีกว่าชุดข้อมูลที่ไม่ได้ทำการเทียบมาตรฐาน โดยมีค่าร้อยละความต่างสัมพัทธ์ (%R) ลดลงเท่ากับ 1.269 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผล (E) ของ Nash and Sutcliffe เพิ่มขึ้นร้อยละ 27.6 และ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 1.74

5.1.4 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าของทัศนภาพ 3 แบบรูปใน พ.ศ. 2559 โดยแบบจำลอง SWAT

จากการกำหนดทัศนภาพโดยอาศัยการคำนวณค่า SPI ในคาบ 12 เดือน (SPI-12) จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนย้อนหลัง 45 ปี (พ.ศ. 2506-2551) สำหรับนำไปใช้ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าของทัศนภาพ 3 แบบรูป ใน พ.ศ. 2559 ประกอบด้วย (1) ทัศนภาพปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปกติ

(Extremely dry) ได้แก่ พ.ศ. 2536 มีค่า SPI เท่ากับ -2.27 และมีปริมาณน้ำฝนรายปีเท่ากับ 1,070.40 มม. (2) ทักษณภาพปริมาณน้ำฝนปกติ (Normal dry) ได้แก่ พ.ศ. 2543 มีค่า SPI เท่ากับ 0 และมีปริมาณน้ำฝนรายปีเท่ากับ 1,395.70 มม. และ (3) ทักษณภาพ ปริมาณน้ำฝนมากกว่าปกติ (Extremely wet) ได้แก่ พ.ศ. 2509 มีค่า SPI เท่ากับ +2.11 และมีปริมาณน้ำฝนรายปีเท่ากับ 2,257.81 มม. สามารถสรุปผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าของทักษะภาพ 3 แบบรูป และการการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนต่อปริมาณน้ำท่าได้ดังนี้

(1) การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนมีผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำท่ารายปีที่จะเกิดขึ้น โดยพบว่า ผลการประมาณปริมาณน้ำท่าใน พ.ศ. 2559 ของทักษะภาพแบบที่ 1 ซึ่งเป็นตัวแทนของปีที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าปกติ มีค่าปริมาณน้ำท่ารายปีน้อยที่สุด เท่ากับ 365.52 มม. ส่วนทักษะภาพแบบที่ 2 ซึ่งเป็นตัวแทนของปีที่มีปริมาณน้ำฝนปกติ มีค่าปริมาณน้ำท่าปานกลาง เท่ากับ 679.77 มม. และทักษะภาพแบบที่ 3 ซึ่งเป็นตัวแทนของปีที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่าปกติ ให้ค่าปริมาณน้ำท่ามากที่สุด เท่ากับ 1,383.28 มม. และพบว่า เมื่อนำปริมาณน้ำฝนและน้ำท่ารายปีของ 3 ทักษณภาพมาทำการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงถึงร้อยละ 99.86 ซึ่งสรุปได้ว่า ปริมาณน้ำฝนมีผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ เนื่องจากการประมาณปริมาณน้ำท่าของทั้ง 3 ทักษณภาพใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข และข้อมูลชุดดินชุดเดียวกัน

(2) แบบรูปการกระจายของปริมาณน้ำฝนรายเดือนมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่ารายเดือนของแต่ละทักษะภาพ โดยพบว่า ในเดือนเมษายน ปริมาณน้ำท่าของทักษะภาพแบบที่ 1 ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่าปกติ มีปริมาณน้ำท่ารายเดือนมากกว่าปริมาณน้ำท่าของทักษะภาพรูปแบบที่ 2 ที่มีปริมาณน้ำฝนปกติ และพบว่า ในเดือนตุลาคม ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของทักษะภาพรูปแบบที่ 2 ที่มีปริมาณน้ำฝนปกติมีปริมาณน้ำท่ามากกว่าปริมาณน้ำท่าของทักษะภาพรูปแบบที่ 3 ที่มีปริมาณน้ำฝนมากกว่าปกติ

5.1.5 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นฐานสำหรับที่ใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าโดยอาศัยสมการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น พบว่า ปริมาณน้ำท่าในระหว่าง พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2567 เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่า ใน พ.ศ. 2543 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเท่ากับ 1,007.19 มม. คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 570,472,416 ลบ. มม. ในขณะที่ ใน พ.ศ. 2567 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเท่ากับ 1,029.09 มม. คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 582,876,576 ลบ. ม. โดยคิดเป็นปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 21.9 มม. หรือคิดเป็นปริมาตรเท่ากับ 12,404,160 ลบ. มม. ในขณะเดียวกัน พบว่า พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่เบ็ดเตล็ด มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในทางตรงกันข้าม พื้นที่ป่าไม้มีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ พื้นที่ชุมชนและสิ่ง

ปลูกสร้างและแหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อย จึงสรุปผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำทำได้ดังนี้

(1) พื้นที่เกษตรกรรม ที่มีนาข้าวเป็นประเภทการใช้ประโยชน์ดินหลัก มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำท่า โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับร้อยละ 79.20

(2) พื้นที่ป่าไม้ ที่มีป่าผลัดใบสมบูรณ์เป็นประเภทการใช้ประโยชน์ดินหลัก มีความสัมพันธ์ผกผันกับปริมาณน้ำท่า โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับร้อยละ 90.18

(3) พื้นที่เบ็ดเตล็ด ที่มีทุ่งหญ้าเป็นประเภทการใช้ประโยชน์ดิน มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณน้ำท่า โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับร้อยละ 90.36

(4) เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ระหว่างประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงกับปริมาณน้ำท่าที่ประมาณได้ พบว่า พื้นที่ป่าไม้และพื้นที่เบ็ดเตล็ดมีบทบาทสำคัญในการควบคุมปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา มากกว่าพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งผลที่ได้นี้ สอดคล้องกับผลการพิจารณาสมการสมดุลของน้ำ เมื่อปริมาณน้ำฝนคงที่ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจะสัมพันธ์โดยตรงกับการคายระเหยและปริมาณน้ำผิวดินที่ควบคุมปริมาณน้ำท่า ฉะนั้น ในการบริหารจัดการน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาควรให้ความสำคัญกับการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของป่าผลัดใบและทุ่งหญ้า



5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาที่ได้รับจากการประมาณปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลจากข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่อาศัยแบบจำลอง CA-Markov โดยแบบจำลอง SWAT: กรณีศึกษา ลุ่มน้ำย่อยห้วยตุงตุ้ง ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต ดังนี้

5.2.1 ในการศึกษาครั้งนี้อาศัยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2543 และ 2551 เป็นข้อมูลทุติยภูมิ ซึ่งมีความละเอียดในการจำแนกแตกต่างกัน ทำให้ต้องมีการปรับแก้จำนวนประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินให้สอดคล้องกัน ดังนั้น ในการศึกษาในอนาคตควรทำการแปลตีความข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล พร้อมตรวจสอบความถูกต้องในสนาม

5.2.2 ควรเลือกใช้ชุดข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM) ที่มีความละเอียดมากขึ้น เนื่องจากเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาและจำแนกความลาดที่ใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่า

5.2.3 ควรนำข้อมูลชุดดิน (Soil series) ที่มีรายละเอียดมากกว่าชุดกลุ่มดิน (Soil group) มาใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่าในอนาคต

5.2.4 ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า ควรมีข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในหลายช่วงเวลามากขึ้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำให้กับการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินกับปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในแต่ละปี

5.2.5 ควรนำวิธีการศึกษาที่ได้รับจากการศึกษาในครั้งนี้ไปประยุกต์ กับพื้นที่อื่น ๆ ที่มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับพื้นที่ศึกษา เพื่อความประหยัดงบประมาณและเวลาสำหรับการประมาณปริมาณน้ำท่า



รายการอ้างอิง

รายการอ้างอิง

- กรมทรัพยากรน้ำ. (2550). รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร โครงการจัดทำแผนยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 25 ลุ่มน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://intranet.dwr.go.th/bwrpp/policy/ยุทธศาสตร์25ลุ่มน้ำผู้บริหาร.pdf>.
- กิตติพงษ์ ธนาศิริชะกุล. (2546). การประเมินสัมพันธภาพน้ำย่อยของประเทศไทยด้วยข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ และแบบจำลองสารสนเทศ SWAT/GIS: กรณีศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำแม่ต้นตอนบน อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). สรุปประเภทการใช้ที่ดินประเทศไทย ปี พ.ศ. 2551/52 [ออนไลน์]. ได้จาก: http://osl1101.ldd.go.th/luse/luse_product51-52.htm.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2554). ภูมิอากาศของประเทศไทย [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=22>.
- กิริติ ลีวัจนกุล. (มปป.) อุตภวิทยา. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์:มหาวิทยาลัยรังสิต.
- นิพนธ์ ตั้งธรรม. (2549). การจำลองแบบการจัดการลุ่มน้ำและระบบสิ่งแวดล้อม. ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วินัย วัชพิบูลม, (2552) คู่มือปฏิบัติการประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง SWAT. ส่วนงานคณะกรรมการลุ่มแม่น้ำโขง สำนักประสานความร่วมมือระหว่างประเทศ กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- วิโรจน์ ชัยธรรม. (2530) อุตภวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศูนย์อุตภวิทยาและบริหารภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง สำนักอุตภวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน. (2553). สภาพน้ำท่า [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.hydro-4.com>.

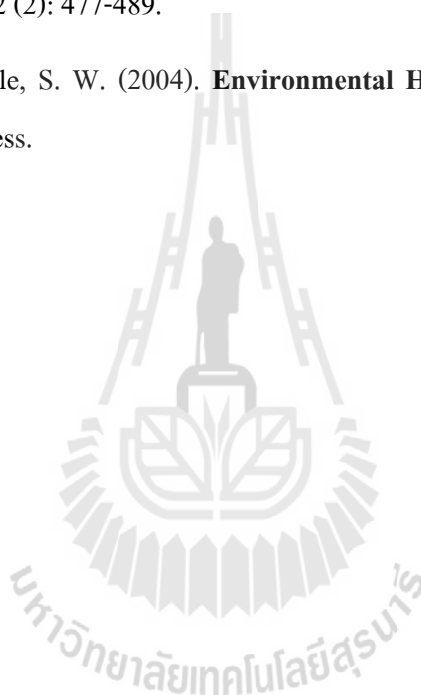
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. (2553). แผนงานโครงการพัฒนาแหล่งน้ำลุ่มน้ำมูล [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.haii.or.th/wiki/index.php/แผนงาน_โครงการ_พัฒนา_แหล่งน้ำลุ่มน้ำมูล.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2553). ยุทธศาสตร์การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ใน เอกสารการประชุมประจำปี 2553 ของ สศช. ทิศทางแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 11 (หน้า 139-152). กรุงเทพฯ:สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.
- โอพาร์ เวศอุไร. (2548) ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบน โดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Aynew Y., (2008) **Rainfall – Runoff modelling for sustainable water resources management : Gumara watershed**, Master.S Thesis, Addis Ababa University, Ethiopia.
- Azócar, G., Romero, H., Sanhueza, R., Vega, C., Aguaya, M., and Muñoz, M. D. (2007). **Urbanization patterns and their impacts on social restructuring of urban space in Chilean mid-cities: The case of Los Angeles, Central Chile.**
- Margaret W. C., and Indrajeet, C.,(2010). Regionalization of SWAT Model Parameters for Use in Ungauged Watersheds. **Water**: 849-871.
- Chinnarasri, C. (2006). Water resources management for enduring economy, society, culture and environment. **The Higher Education Review (THER)**.
- Eagleson. (1970). **Hydrology**. อ้างใน วิโรจน์ ชัยธรรม (2530). **อุทกวิทยา**. พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Eastman, J. R. (2003). **Idrisi Kilimanjaro Guide to GIS and image processing**, Clark University. Worcester USA.
- Jensen, P. Ph., van Bendegom, L., van Berg, J, de Vries, M., and Zanen, A. (1979). **Principles of river engineering**. The non-tidal alluvial river. Pitman : London.
- Kang, M.S., Park, S.W., Lee, J.J., and Yoo, K.H. (2005). Applying SWAT for TMDL programs to a small watershed containing rice paddy fields. **Agricultural water management**. 79 : 72-92.

- Knapp, H.V., Durgunoglu, A., and Ortel, T.W. (1991) A Review of Rainfall-Runoff Modeling for Stormwater Management: Illinois State. **Water Survey Contract Report 516**, 92 p.
- Leavesley, G. H., and Stannard, L. G. (1995). The precipitation-runoff modelling system –PRMS. Chapter 9 in: Singh, V. P. (Ed.), **Computer Models of Watershed Hydrology**. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, pp.281-310.
- Quoted Grayson, R., and Blöschl, G. (Eds.). (2001). **Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling**. Cambridge University, Cambridge, United Kingdom.
- Baskaran, L. Jager, H. I. Schweizer, P. E., and Srinivasan, R. (2010) Progress toward evaluating the sustainability of switchgrass as a bioenergy crop using the SWAT Model. **Transactions of the ASABE**. 53(5): 1547-1556
- Luis S., and Andras B., (2006) Simulation of the impacts of land use/cover and climatic changes on the runoff characteristics at the mesoscale. **Ecological modeling**. 196: 45–61.
- Winchell, M. Srinivasan, R. Di Luzio, J. M. (2010) **ArcSwat interface for SWAT 2009**. **Blackland Research and Extension center Texas**. Agrilife Research, 720 East Blackland Road; Temple, Texas 76506.
- Nai-Jia, G., Lin-Lin, X., and Qing-Kai, S. (2010). Runoff simulation in Donghe Basin using SWAT Model. **Environmental Science and Information Application Technology**. 468-471.
- Neitsch, S. L., Arnold, I. G., Kiniry, J. R., and Williams, J. R. (2005). **Soil And Water Assessment Tool Theoretical Document**. Blackland Research Center, Texas Agriculture Experiment Station, United States Department of Agriculture-Agriculture Research Service. (USDA-ARS).
- Prachayasittikul, L. (2006). **Application of soil and water assessment tool (SWAT Model) for water balance studies of Songkhla lake basin**. Faculty of Graduate Studies : Mahidol University.
- Lingling, S. Chao, Z. Jianyu, Y. Dehai, Y. Z. and Wenju (2011). Simulation of Land use spatial pattern of town and village based on CA-Markov model. **Mathematical and Computer Modelling**, 54 : 938-943.

The Soil Conservation Service (1972). **SCS Curve Number** quoted in Neitsch, S.L., Arnold, I.G., Kiniry, J.R., and Williams, J.R. (2005). **Soil And Water Assessment Tool Theoretical Document**. Blackland Research Center, Texas Agriculture Experiment Station, United States Department of Agriculture-Agriculture Research Service. (USDA-ARS).

Tong, S. T. Y., Sun, Y., Ranatunga, T., He, J. and Yang, Y. J. (2012). Predicting plausible impacts of sets of climate and land use change scenarios on water resources. **Applied Geography**. 32 (2): 477-489.

Ward, A. D., and Trimble, S. W. (2004). **Environmental Hydrology Second Edition**. New York: CRC Press.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวสุภกดิ์ กุลโท

วันเดือนปีเกิด 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2526

สถานที่เกิด 29 หมู่ 1 ต.แก้ง อ.เดชอุดม จ.อุบลราชธานี 34160

การศึกษา

พ.ศ. 2548 ปริญญาตรี (วท.บ. ฟิสิกส์) เกียรตินิยมอันดับ 1 จาก มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

พ.ศ. 2549 ประกาศนียบัตรบัณฑิต วิชาชีพครู จาก มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

ผลงานทางวิชาการ/การตีพิมพ์

สุภกดิ์ กุลโท และ สุวิทย์ อ่องสมหวัง. (2555). ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อผลปริมาณน้ำท่ากรณีศึกษา ลุ่มน้ำย่อยห้วยตุงลุงในลุ่มน้ำมูล Impact of Land Use Change on Water Runoff A Case Study of Huay Tung Lung Watershed in the Mun Basin/ วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลจากระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย (สสสท)

ทุนการศึกษา

ทุนการศึกษาสำหรับผู้มีความรู้ความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ระดับปริญญาตรี (สกวค) สำนักงานวิทยาศาสตร์แห่งชาติ (สสวท)

ทุนการศึกษาสำหรับผู้มีผลการศึกษาดีเด่นระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

รับราชการครู คศ. 1 โรงเรียนเดชอุดม ต. เมืองเดช อ.เดชอุดม จ.อุบลราชธานี