

ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศต่อคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำสงคราม

จิรวัดน์ ศุภโกศล

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
กุมภาพันธ์ 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

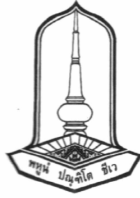


ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศต่อคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำสงคราม

จิรวัดน์ ศุภโกศล

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
กุมภาพันธ์ 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายจิรวัฒน์ ศุภโกศล
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(อาจารย์ ดร.รัตนา หอมวิเชียร)

ประธานกรรมการ
(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

.....
(รศ.ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

กรรมการ
(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก)

.....
(ผศ.ดร.เพชร เพ็งชัย)

กรรมการ
(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)

.....
(ผศ.ดร.สพลาภ หอมวุฒิมงคล)

กรรมการ
(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

.....
(ผศ.ดร.กฤษณ์ ศรีวรรมาศ)

กรรมการ
(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(ศ.ดร.สัมพันธ์ ฤทธิเดช)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(ศ.ดร.ประดิษฐ์ เทอดทูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 11 เดือน ...พ.ค. พ.ศ. 2559



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชร เพ็งชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณา เสียสละเวลาแนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.รัตนา หอมวิเชียร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร.สทลภ หอมวุฒินวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ ศรีวิธมาศ กรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ เสนอข้อคิดเห็น ข้อปรับปรุงและแนวทางที่เป็นประโยชน์ รวมถึง การตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ อาจารย์ หริส ประสารฉ่ำ ในการให้คำปรึกษา วางแผนและประสานงาน ขอขอบคุณ คุณวรัญญู บัวขาว และคุณปฐมพงศ์ ผลสนอง ที่ให้คำแนะนำในการใช้แบบจำลอง SWAT จน สามารถการทำวิจัยสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ให้คำปรึกษา และประสบการณ์ที่มีคุณค่ายิ่ง ตลอดจนการอำนวยความสะดวกใน ทุก ๆ ด้าน ตลอดช่วงระยะเวลาการศึกษา ขอขอบคุณนิสิตสาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจตลอดมา

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้า ขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้าทุกท่าน ที่ให้กำลังใจที่ดีในการทำวิจัยมา โดยตลอด

จิรวัดน์ ศุภโกศล



ชื่อเรื่อง	ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศต่อคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำสงคราม
ผู้วิจัย	นายจิรวัฒน์ ศุภโกศล
ปริญญา	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
กรรมการควบคุม	รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชร เพ็งชัย
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2559

บทคัดย่อ

การประเมินคุณภาพน้ำภายใต้การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า ซึ่งมีผลกระทบมาจากเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลกและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เพื่อให้สามารถคาดการณ์คุณภาพน้ำและปริมาณน้ำท่าที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงในอนาคตของลุ่มน้ำสงคราม ในการดำเนินการศึกษาได้พิจารณาใช้แบบจำลอง SWAT สำหรับคำนวณทางอุทกวิทยาและแบบจำลอง PRECIS สำหรับสร้างข้อมูลสภาพอากาศในอนาคตในภาพฉายสถานการณ์ A2 และ B2 ของ IPCC การเปรียบเทียบและสอบเทียบแบบจำลองใช้ปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลที่ได้จากกรมชลประทานและตัวแปรคุณภาพน้ำที่ได้จากการตรวจวัดในสนามของปี 2012 ถึง 2013 ผลการศึกษาในช่วงปี 2011 ถึงปี 2050 พบว่าปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นในสถานการณ์ A2 แต่ลดลงในสถานการณ์ B2 สำหรับปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อเดือนแสดงให้เห็นว่ามีความไม่แน่นอนสูงในสถานการณ์ A2 และพบว่าในฤดูแล้งมีระยะเวลายาวนานขึ้นและมีน้ำไหลบ่าอย่างรวดเร็วในฤดูฝน แต่ในสถานการณ์ B2 แสดงเฉพาะปริมาณการไหลในฤดูแล้งที่ยาวนาน ส่วนผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในอนาคตมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายปริมาณน้ำท่าทั้ง 2 สถานการณ์ยกเว้นปริมาณบีโอดี และเมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากนาข้าวเป็นยางพาราพบว่าปริมาณน้ำท่าและคุณภาพน้ำลดลง และลดลงมากขึ้นตามสัดส่วนของการเพิ่มพื้นที่ยางพารา จากการพิจารณาร่วมกันระหว่างการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศโลก การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ปริมาณน้ำท่า พารามิเตอร์คุณภาพน้ำ ได้แนวทางในการบริหารจัดการคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำสงครามต่อไป

คำสำคัญ : การเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ; คุณภาพน้ำ; แบบจำลอง SWAT; ลุ่มน้ำสงคราม



TITLE The Impact of Climate Change on Water Quality in the SongKhram Basin
AUTHOR Mr. Jirawat Supakosol
DEGREE Doctor of Philosophy **MAJOR** Civil Engineering
ADVISORS Assoc. Prof. Anongrit Kangrang, Ph.D.
 Assoc. Prof. Petch Pangchai, Ph.D.
UNIVERSITY Mahasarakham University **DATE** 2016

ABSTRACT

The purposes of this study were to assessment of water quality under altered the streamflow which has been affected by climate change and land usages and able to predict water quality and stream flow consistent with changes in the Songkhram basin for the future. The study considers used SWAT model for simulated hydrological and PRECIS model for generated the future climate projections of A2 and B2 Scenarios of IPCC. Calibration and Validation of the flows from RID and the water quality from 2012-2013 were sampled. This study found that during the years 2011 to 2050, the simulated showed an increase in streamflow using A2, and a decrease using B2. An uncertainty in A2 showed long low flows and flash flooding. However, B2 showed a long low flow. Both of these tests showed the same water quality in both scenarios except CBOD. If the land were to be changed from paddy field to growing rubber trees, the result would be a decrease of streamflow and water quality. Based on the interaction between climate changes and land usages, the quality of the streamflow's and water have to have strict guidelines for water management.

Key Words : Climate change; Water quality; SWAT Model; SongKhom basin

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพประกอบ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ความสำคัญของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
บทที่ 2 ปริทัศน์เอกสารข้อมูล	5
2.1 พื้นที่ศึกษา	5
2.2 การจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	5
2.3 แบบจำลองด้านอุทกวิทยาและคุณภาพน้ำ	7
2.4 อุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ	8
2.5 การจำลองคุณภาพน้ำ	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	42
3.1 วิธีการดำเนินงาน	42
3.2 ข้อมูลที่ใช้ศึกษา	44
3.3 การจัดทำแบบจำลอง SWAT	58
3.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก	60
3.5 การศึกษาปริมาณน้ำท่า	60
3.6 การศึกษาคุณภาพน้ำ	60
3.7 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน	61
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย	62
4.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก	62
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า	62
4.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	70
4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน	80
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	85
5.1 สรุปผลการวิจัย	85
5.2 ข้อเสนอแนะ	86



	หน้า
เอกสารอ้างอิง	87
ภาคผนวก	93
ภาคผนวก ก ค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องในแบบจำลอง	94
ภาคผนวก ข การเก็บตัวอย่างน้ำและผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	99
ภาคผนวก ค กลุ่มดินสำหรับลุ่มน้ำสงคราม	106
ภาคผนวก ง ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ปรับแก้ในแบบจำลอง	108
ประวัติย่อผู้วิจัย	110



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 ข้อมูลในการศึกษา	44
ตาราง 3.2 พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยลุ่มน้ำสงคราม	45
ตาราง 3.3 ชุดดินในลุ่มน้ำสงคราม	47
ตาราง 3.4 การใช้ที่ดินในลุ่มน้ำสงคราม	49
ตาราง 3.5 แสดงรายชื่อสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ	51
ตาราง 3.6 ปริมาณการส่งน้ำชลประทานรายเดือนของเขื่อนน้ำอูน	53
ตาราง 3.7 ปฏิทินการเพาะปลูกพืชในลุ่มน้ำ	54
ตาราง 3.8 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน	55
ตาราง 3.9 ดัชนีความเข้มข้นคุณภาพน้ำเสียชุมชน	56
ตาราง 3.10 ปริมาณน้ำเสียและความสกปรกในลุ่มน้ำสงครามเฉลี่ยรายปี ปี 2014	57
ตาราง 3.11 รายชื่อสถานีวัดน้ำท่า	58
ตาราง 4.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอดีตและในอนาคตของสถานการณ์ A2 และ B2 ต่อปี	64
ตาราง 4.2 ผลการสอบเทียบปริมาณน้ำที่วัดได้กับค่าที่คำนวณจากแบบจำลองที่สถานี Kh 55	67
ตาราง 4.3 ผลการสอบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ	72
ตาราง 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันสำหรับตัวแปรคุณภาพน้ำกับตัวแปรสภาพอากาศ	79
ตาราง 4.5 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำสงคราม (ปี 2001 และปี 2010)	81
ตาราง ก.1 Effective hydraulic conductivity of various channel bed material	95
ตาราง ก.2 The channel Mannings's "n" values. for various conditions	95
ตาราง ก.3 The surface roughness factor is Manning's "n" values. for various condition	96
ตาราง ก.4 ค่า CN condition II แบ่งตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน และชนิดดิน ประเภทต่าง ๆ	97
ตาราง ก.5 การจัดระดับความชื้นก่อนหน้า (AMC) ของพื้นที่ตามวิธีของ SCS	98
ตาราง ก.6 ความสัมพันธ์ของค่า CN ตามการจัดระดับความชื้นก่อนหน้า (AMC)	98
ตาราง ข.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำสถานี Kh 93	104
ตาราง ข.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำสถานี Kh 98/74	104
ตาราง ข.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำสถานี Kh 55	105
ตาราง ง.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ปรับแก้ในแบบจำลอง	109



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 1.1 พื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม	3
ภาพประกอบ 2.1 วัฏจักรอุทกวิทยา	9
ภาพประกอบ 2.2 การเคลื่อนที่ของน้ำในแบบจำลอง SWAT	11
ภาพประกอบ 2.3 แสดงรูปแบบต่างๆ ของไนโตรเจน	20
ภาพประกอบ 2.4 Partitioning of Nitrogen in SWAT	21
ภาพประกอบ 2.5 วัฏจักรฟอสฟอรัส	26
ภาพประกอบ 2.6 แหล่งต่างๆของฟอสฟอรัสและกระบวนการเปลี่ยนแปลง	27
ภาพประกอบ 3.1 แผนภูมิการศึกษา	43
ภาพประกอบ 3.2 ลุ่มน้ำย่อยลุ่มน้ำสงคราม	46
ภาพประกอบ 3.3 ชุดดินในลุ่มน้ำสงคราม	48
ภาพประกอบ 3.4 การใช้ที่ดินในลุ่มน้ำสงคราม	50
ภาพประกอบ 3.5 ตำแหน่งสถานีวัดอากาศและสถานีวัดน้ำท่า	52
ภาพประกอบ 4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำสุดรายปีของปี 1999 ถึงปี 2013	63
ภาพประกอบ 4.2 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำสุดรายปีของปี 2014 ถึงปี 2050 ของสถานการณ์ A2	63
ภาพประกอบ 4.3 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำสุดรายปีของปี 2014 ถึงปี 2050 ของสถานการณ์ B2	64
ภาพประกอบ 4.4 ปริมาณฝนรายปี ปี 1992-2013	65
ภาพประกอบ 4.5 ปริมาณฝนรายปี ปี 2014 ถึงปี 2050 สถานการณ์ A2 (1)	45
ภาพประกอบ 4.6 ปริมาณฝนรายปี ปี 2014 ถึงปี 2050 สถานการณ์ A2 (2)	66
ภาพประกอบ 4.7 การประเมินปริมาณน้ำของลุ่มน้ำที่สถานีสถานี Kh55	67
ภาพประกอบ 4.8 เปรียบเทียบน้ำท่าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณจากแบบจำลอง SWAT สถานี Kh 55	68
ภาพประกอบ 4.9 แสดงปริมาณน้ำท่าในอนาคตในสถานการณ์ A2 และ B2	69
ภาพประกอบ 4.10 น้ำท่าในอนาคตเฉลี่ยรายเดือน	70
ภาพประกอบ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่อปริมาณของพารามิเตอร์ คุณภาพน้ำต่างๆ	71
ภาพประกอบ 4.12 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่วัดได้กับค่าที่คำนวณจาก SWAT สถานี Kh 55	73
ภาพประกอบ 4.13 ปริมาณตะกอนในอนาคต	75
ภาพประกอบ 4.14 ปริมาณไนเตรทในอนาคต	75
ภาพประกอบ 4.15 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอนาคต	76
ภาพประกอบ 4.16 ปริมาณบีโอดีในอนาคต	76
ภาพประกอบ 4.17 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในอนาคต	77
ภาพประกอบ 4.18 ความเข้มข้นของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำช่วงฤดูแล้งในอนาคต	78
ภาพประกอบ 4.19 การเปรียบเทียบการใช้ที่ดินปี 2001 และ 2010	80
ภาพประกอบ 4.20 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน	82



	หน้า
ภาพประกอบ 4.21 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนเมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน	82
ภาพประกอบ 4.22 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนเมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน	83
ภาพประกอบ 4.23 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน	83
ภาพประกอบ 4.24 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณบีโอดี เมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน	84
ภาพประกอบ ข.1 สถานีวัดน้ำ Kh93	100
ภาพประกอบ ข.2 สภาพประกอบทั่วไปสถานีวัดน้ำ Kh93	100
ภาพประกอบ ข.3 สถานีวัดน้ำ Kh74	101
ภาพประกอบ ข.4 สภาพประกอบทั่วไปสถานีวัดน้ำ Kh74	101
ภาพประกอบ ข.5 สถานีวัดน้ำ Kh55	102
ภาพประกอบ ข.6 กระจกเก็บตัวอย่างน้ำ	102
ภาพประกอบ ข.7 การเก็บตัวอย่างน้ำ	103



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

สภาวะภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงจากการศึกษาอุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวโลกในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา (1906 ถึง 2005) เพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 0.74 องศาเซลเซียส (IPCC, 2013) สาเหตุเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) ในชั้นบรรยากาศได้แก่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ และ ไออน้ำ ก๊าซเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากการทำกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก ก๊าซเรือนกระจกทำหน้าที่ดูดกลืนความร้อนไว้จึงทำให้โลกอุ่นขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนที่มีความรุนแรงขึ้น ภาวะโลกร้อนจะส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตและการพัฒนาเศรษฐกิจสังคมของมนุษย์ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในวัฏจักรทางอุทกวิทยา เช่นการแปรปรวนของภูมิอากาศ ฤดูกาล ปริมาณน้ำฝน ความถี่และความรุนแรงของพายุ รวมถึง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การไหลและหมุนเวียนของกระแสน้ำในมหาสมุทร เป็นต้น ดังนั้นการทำความเข้าใจต่อภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต จะช่วยให้หน่วยงานภาคส่วนต่างๆ สามารถวางแผนการปรับตัวให้ทันสถานการณ์ในอนาคตได้อย่างเหมาะสม

กว่าทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการศึกษาในเรื่องผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำโดยลำดับ (Leavesley, 1994; Arnell, 1998) ซึ่งการศึกษาเหล่านี้ได้มีการใช้แบบจำลองในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อกระบวนการทางอุทกวิทยา ทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเงื่อนไขเวลา และการจำลองสภาพประกอบอนาคตที่แตกต่างกัน (Gleick, 1987; Leavesley, 1994) พบว่าเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบอย่างมากสำหรับปริมาณน้ำ (Leavesley, 1994; Arnell, 2003; Arnell, 2004) และนิเวศวิทยาของสภาพแวดล้อมน้ำจืด (Beaugrand and Reid, 2003; Hiscock et al, 2004; Moss et al, 2003; Sommer et al, 2004) ทั้งยังมีการพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา อุทกวิทยาและพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำในแม่น้ำโขงนั้นส่งผลต่อกัน (Prathumratana L et al, 2008) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในกลุ่มน้ำชี-มูล (ศุภกร ชินวรรณโณ และคณะ, 2009) และในกลุ่มน้ำสงคราม (Suppakorn and Thanat, 2006) แสดงให้เห็นถึงช่วงฤดูร้อนจะยาวนานมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวย่อมมีผลให้คุณภาพน้ำและระบบนิเวศวิทยาทางน้ำเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำน้ำมาใช้สำหรับอุปโภคบริโภค นอกจากนี้การศึกษาวิจัยด้านระบบนิเวศทางน้ำในประเทศไทยส่วนใหญ่นั้นเป็นการศึกษาคุณภาพน้ำตลอดจนปริมาณและชนิดพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในน้ำในสภาวะปัจจุบันเท่านั้น ยังไม่มีการศึกษาถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อปัจจัยทางด้านกายภาพ เคมี และชีววิทยา ของน้ำ หรือ การใช้แบบจำลองภูมิอากาศท้องถิ่นหรือพัฒนาแบบจำลองศึกษาผลกระทบของคุณภาพน้ำเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (จิรสรณ์ สันติสิริสมบูรณ์, 2009)



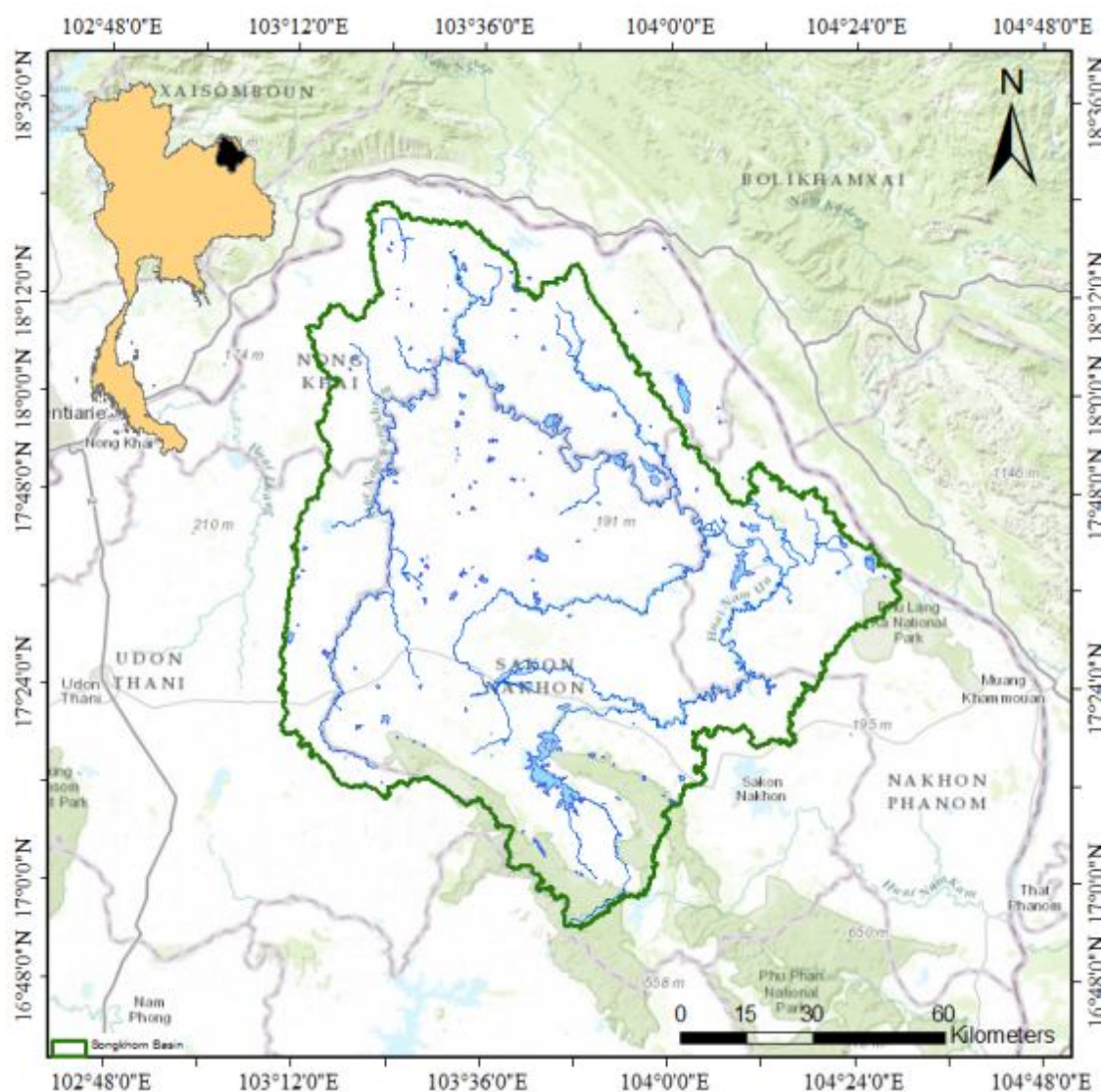
แม่น้ำสงคราม เป็นสายน้ำสำคัญของแอ่งสกลนคร เป็นแม่น้ำสาขาของแม่น้ำโขง มีพื้นที่ประมาณ 12,000 ตารางกิโลเมตร มีความสูงเฉลี่ยจากระดับน้ำทะเลอยู่ระหว่าง +21 ถึง +664 เมตร ระดับน้ำทะเลปานกลาง ครอบคลุมพื้นที่ในจังหวัด อุดรธานี หนองคาย บึงกาฬ สกลนคร และนครพนม กลุ่มน้ำสงครามเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับนานาชาติ เนื่องจากเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่มีแหล่งป่าบุงป่าทามและมีความหลากหลายทางชีวภาพเป็นสำคัญ ดังนั้นบริเวณดังกล่าวจึงเป็นแหล่งสำคัญในการผลิตสัตว์น้ำ ทั้งยังเป็นแหล่งน้ำสำหรับผลิตน้ำประปาให้กับชุมชนขนาดใหญ่เช่นเทศบาลเมืองสว่างแดนดิน เทศบาลตำบลศรีสงคราม เทศบาลตำบลนาหว้า อีกด้วย ดังภาพประกอบ 4.1

จะเห็นได้ว่าคุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลง อันเนื่องมาจากปริมาณน้ำท่าซึ่งแปรผันตามสภาพภูมิอากาศนั้น ส่งผลต่อการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ศึกษา กลไกความสัมพันธ์ทางอุทกวิทยา และการเคลื่อนที่ของตัวแปรคุณภาพน้ำได้ถูกนำมาพัฒนาสร้างแนวทางในการศึกษาครั้งนี้ รายละเอียดความสัมพันธ์และเครื่องมือได้ถูกคัดเลือกนำมาใช้ในการศึกษามีความสำคัญต่อการคาดการณ์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการกลุ่มน้ำในอนาคต สามารถสร้างแนวทางการศึกษาที่สามารถอธิบายพฤติกรรมดังกล่าวได้อย่างเป็นไปตามหลักวิธีการที่ทำให้ยอมรับต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณน้ำท่าเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในกลุ่มน้ำสงคราม
- 1.2.2 เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในกลุ่มน้ำสงคราม
- 1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินกับคุณภาพน้ำในกลุ่มน้ำสงคราม





ภาพประกอบ 1.1 พื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม

1.3 ความสำคัญของการวิจัย

1.3.1 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยากับคุณภาพน้ำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการคาดการณ์ผลกระทบในอนาคต

1.3.2 การวางแผนในอนาคตบริหารจัดการลุ่มน้ำทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ จากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศ

1.3.3 การรณรงค์การลดก๊าซเรือนกระจก

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 เครื่องมือ

1.4.1.1 Arc GIS version 9.3.1

1.4.1.2 SWAT version 2009.937b

1.4.1.3 โปรแกรมสำหรับสอบเทียบอื่นๆ

1.4.2 ข้อมูลสภาพประกอบลุ่มน้ำใช้ข้อมูลดังนี้

1.4.2.1 ข้อมูล DEM, Land use

1.4.2.2 ข้อมูล ฝน ย้อนหลัง 20 ปี จากกรมอุตุนิยมวิทยา

1.4.2.3 ข้อมูลน้ำท่า ย้อนหลัง 20 ปี จากกรมชลประทาน

1.4.2.4 ข้อมูลคุณภาพน้ำ จากกรมควบคุมมลพิษ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 9 และทำการเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำสงครามในช่วง ปี 2012-2013

1.4.2.5 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศใช้ข้อมูล PRECIS Model

1.4.2.6 ศึกษาในอนาคตอันไกลที่ปี 2050 ในสมมุติฐานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสากล (IPCC SRES) 2 สมมุติฐานคือ A2 : เป็นแนวทางที่คล้ายกับลักษณะการพัฒนาของโลกที่ผ่านมาตั้งแต่ในอดีตถึงปัจจุบัน ที่มีความแตกต่างและหลายหลายในเชิงเศรษฐกิจ การเมืองและการเข้าถึงเทคโนโลยีต่างๆ โดยจะเน้นการพัฒนาการเจริญเติบโตเชิงเศรษฐกิจมากกว่าความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม (ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง-ปานกลาง) และ B2 : เป็นแนวทางการพัฒนาแบบสมดุล โดยมีพัฒนาไปพร้อมกับการดูแลรักษาธรรมชาติอย่างยั่งยืนเน้นการแก้ปัญหาท้องถิ่นทั้งทางด้านเศรษฐกิจสังคม และสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน (ปล่อยก๊าซเรือนกระจกปานกลาง-ต่ำ)

1.4.2.7 ใช้ช่วงเวลาและพิกัดของข้อมูลเป็นช่วงเดียวกัน

การทบทวนทฤษฎี อากาศ วัฏจักรทางอุทกวิทยา คุณภาพน้ำและอื่นๆ จะแสดงในบทที่ 2
ต่อไป



บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

หลักการ แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในบทนี้ เริ่มต้นจากการพิจารณาถึงแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก แบบจำลองทางทางด้านอุทกวิทยาและคุณภาพน้ำ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองระบบลุ่มน้ำที่นำมาวิเคราะห์สมมูลน้ำ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยบทนี้ได้นำมาใช้และจัดเรียงอย่างเป็นลำดับตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำสงครามตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ $17^{\circ} 00'$ ถึง $18^{\circ} 24'$ เหนือ และเส้นแวงที่ $103^{\circ} 12'$ ถึง $104^{\circ} 24'$ ตะวันออก เป็นส่วนหนึ่งของแอ่งสกลนครเป็นลุ่มน้ำสาขาของแม่น้ำโขง โดยมีพื้นที่ประมาณ 12,000 ตารางกิโลเมตร โดยครอบคลุมพื้นที่ในจังหวัด อุดรธานี หนองคาย บึงกาฬ สกลนคร และนครพนม ทิศเหนือ ติดต่อ ลุ่มน้ำโขง ทิศใต้ ติดต่อ ลุ่มน้ำลำปาว ทิศตะวันออก ติดต่อ ลุ่มน้ำโขง และทิศตะวันตก ติดต่อ ลุ่มน้ำห้วยหลวง ขอบเขตลุ่มน้ำแสดงดังภาพประกอบ 1 สภาพภูมิประเทศพื้นที่โดยทั่วไปบริเวณที่เป็นที่ราบถึงลาดชัน 1 ถึง 2% จะอยู่ตามแนวลำน้ำโดยมีความกว้างวัดจากแนวลำน้ำประมาณ 1 ถึง 3 กิโลเมตร พื้นที่ราบบางส่วนถูกน้ำท่วมทุกปีในฤดูฝน ถัดจากที่ราบริมฝั่งขึ้นมาเป็นเนินลูกคลื่นความลาดชันประมาณ 3 ถึง 5% พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นทุ่งหญ้าหรือป่าไม้พุ่มเตี้ยสลับกับพืชไร่และมีภูเขาสูงทางด้านทิศใต้ของพื้นที่ซึ่งส่วนใหญ่เป็นป่าต้นน้ำ สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำโขงจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ นอกจากนั้นแล้วในแต่ละปีจะได้รับอิทธิพลจากลมดีเปรสชันซึ่งพัดมาจากทะเลจีนใต้ ทำให้มีฝนตกหนักในฤดูฝน อิทธิพลของลมมรสุมทั้งสองทำให้เกิดฤดูกาล 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน ฤดูฝนและฤดูหนาว อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 25.9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดในเดือนเมษายนวัดได้ 35.5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนธันวาคมวัดได้ 15.3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยตลอดปีจะอยู่ระหว่าง 74.9 เปอร์เซ็นต์ ค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดวัดได้ 95.3 เปอร์เซ็นต์ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดวัดได้ 40.1 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วลมโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 1.3 น็อต ช่วงพิสัยของค่าเฉลี่ยรายปีปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 1,526.6 มิลลิเมตร

2.2 การจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

2.2.1 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (GCM)

การทำการนายการเปลี่ยนแปลงสภาวะทางภูมิอากาศในอนาคตที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในปัจจุบันคือการใช้แบบจำลองระบบภูมิอากาศโลก (Global Climate Models: GCMs) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่รวมเอาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางอุตุนิยมวิทยาของบรรยากาศ และสมุทรศาสตร์เข้าด้วยกัน แบบจำลองทางภูมิอากาศโลกแรกคือแบบจำลอง NOAA's Geophysical Fluid Dynamics Laboratory มหาวิทยาลัย Princeton ประเทศสหรัฐอเมริกา (ศุภกร ชินวรรโณ และคณะ, 2009) ปัจจุบันมีแบบจำลอง



ภูมิอากาศโลกที่หลากหลายโดยใช้ทฤษฎีที่คล้ายกันเช่น HadCM3 ECHAM4 GFDL GISS CGCM3 และ CSIRO เป็นต้น

จากแบบจำลองขั้นต้นจะเห็นได้ GCMs ถูกพัฒนาขึ้นและเป็นที่ยอมรับอย่างมาก แต่สำหรับภูมิภาคหรือในประเทศที่มีพื้นที่ขนาดเล็ก GCMs ยังไม่สามารถอธิบายถึงลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่นั้นได้ เนื่องจากความละเอียดในการคำนวณของ GCMs กว้างมากเกินไป ดังนั้นการที่จะศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับของภูมิภาคจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการในการเพิ่มความละเอียดของการคำนวณในแบบจำลองซึ่งเรียกว่ากระบวนการ “ลดมาตราส่วน (Down Scale)” (ศุภกร ชินวรรณ และคณะ, 2009) ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.2.2 แบบจำลองเชิงตัวเลข PRECIS

เป็นแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (RCM) ถูกพัฒนาขึ้นที่ The Met Office Hadley Centre for Climate Prediction and Research ประเทศอังกฤษ โดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้ได้กับทุกพื้นที่ทั่วโลก โดยคำนวณได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลประสิทธิภาพประกอบสูงเพื่อตอบสนองความต้องการของประเทศต่างๆ ที่มีความประสงค์จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของภูมิภาคตัวเอง โดยมีพื้นฐานการพัฒนามาจากแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาครุ่นที่ 3 ของ Hadley Centre โดยเน้นการพัฒนาไปที่ความสะดวกของการใช้งานและการแสดงผลแก่ผู้ใช้ (ศุภกร ชินวรรณ และคณะ, 2009)

รายละเอียดทางเทคนิคของ PRECIS ประกอบด้วยการพิจารณา 5 ด้านใหญ่ๆ ได้แก่

- 1) การไหลเวียนของบรรยากาศในทางอุตุนิยมวิทยาและเทอร์โมไดนามิกของบรรยากาศ รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นบริเวณผิวพื้นและการรบกวนการไหลเวียนของบรรยากาศเนื่องจากอิทธิพลของความสูงของพื้นที่
- 2) วัฏจักรของซัลเฟอร์ในบรรยากาศ จากการกระจายตัวและวงจรชีวิตของผงซัลเฟตในบรรยากาศ ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของความหนาแน่นและปริมาณการปลดปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งจากธรรมชาติและมนุษย์
- 3) เมฆและหยาดน้ำฟ้า จากการเกิดเมฆก่อตัวทางตั้งและเมฆแผ่นขนาดใหญ่จากผลของหยาดน้ำฟ้ารวมถึงปริมาณรังสีที่บรรยากาศได้รับ
- 4) กระบวนการในการรับและแผ่รังสี จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้น ความหนาแน่น คุณสมบัติของก๊าซในบรรยากาศ ความหนาแน่นของซัลเฟต ผุ่นควันแขวนลอยในบรรยากาศ เมฆ การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณรังสีที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของปี
- 5) คุณสมบัติของพื้นดิน พิจารณาถึงการปกคลุมดินในแง่ผลกระทบต่อการไหลเวียนของอากาศ การรับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ หยาดน้ำฟ้า การปลดปล่อยพลังงานความร้อนและความชื้นกลับสู่บรรยากาศ การไหลบ่าของน้ำที่เกิดจากฝน อุณหภูมิตามความลึกของดิน ความสามารถในการรองรับและการดูดซึมน้ำเงื่อนไขบริเวณขอบเขตของการคำนวณ แบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ ขอบเขตบนพื้นผิวของการคำนวณ ข้อมูลนำเข้าได้แก่ อุณหภูมิบริเวณพื้นผิวและการปกคลุมของน้ำแข็งเฉพาะในบริเวณที่ปกคลุมด้วยน้ำ ตลอดช่วงเวลาที่ทำการคำนวณ และขอบเขตด้านข้างของการคำนวณ ได้แก่ ข้อมูลทางพลศาสตร์ของบรรยากาศประกอบด้วยข้อมูล ความกดอากาศที่ผิวพื้น ลม อุณหภูมิ ความชื้น และข้อมูลทางเคมีของบรรยากาศ สำหรับขอบเขตด้านบนของการคำนวณประกอบด้วยข้อมูลปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์



2.3 แบบจำลองด้านอุทกวิทยาและคุณภาพน้ำ

การศึกษาด้านอุทกวิทยามีตัวแปรที่ใช้ในการศึกษามากมายและมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน จึงมีความจำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการคำนวณ ส่วนใหญ่จะเป็นแบบจำลองอุทกวิทยา ซึ่งมีการคำนวณน้ำท่าโดยอาศัยความสัมพันธ์ในเรื่องวัฏจักรของน้ำเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่า น้ำฝนและแบบจำลองชลศาสตร์ ที่อาศัยการคำนวณการเคลื่อนตัวของน้ำในแม่น้ำลำคลอง บางแบบจำลองสามารถใช้จำลองการไหลในพื้นที่น้ำท่วม หรือใช้กับพื้นที่ที่มีโครงสร้างควบคุมน้ำ เช่นอ่างเก็บน้ำได้ แบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาในปัจจุบันมีหลายแบบจำลองซึ่งขึ้นกับการใช้งานแต่ละประเภททั้งที่เป็นแบบฟรีแวร์และเชิงพาณิชย์ เช่น แบบจำลอง SWAT แบบจำลอง HEC-HMS แบบจำลอง NAM model ของ MIKE11 ซึ่งในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง SWAT ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ไม่มีลิขสิทธิ์และสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของตัวแปรคุณภาพน้ำได้ด้วย

2.3.1 แบบจำลองการประเมินดินและน้ำ (SWAT)

แบบจำลองการประเมินดินและน้ำ (Soil and Water Assessment Tool, SWAT) พัฒนาโดย Dr. Jeff Arnold สำหรับ USDA Agricultural Research Service (ARS) SWAT ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับทำนายผลกระทบ ของการจัดการที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน และปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร สำหรับลุ่มน้ำที่มีความซับซ้อนที่มีชนิดของดินและการใช้ที่ดินหลายๆชนิดมีเงื่อนไขการหลายๆรูปแบบ แบบจำลอง SWAT จะใช้ข้อมูลพื้นฐานเชิงกายภาพที่มีส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่ ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ ข้อมูลคุณสมบัติของดิน ข้อมูลการใช้ที่ดิน ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลพืช และข้อมูลการจัดการที่ดิน (Land Management Practices) ที่อยู่ในพื้นที่รับน้ำที่พิจารณา ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการเคลื่อนที่ของน้ำ การเคลื่อนที่ของตะกอน การเจริญเติบโตของพืช การหมุนเวียนของธาตุอาหาร (Neitsch et al., 2009) ประโยชน์ ของแบบจำลอง SWAT คือ สามารถจำลองพื้นที่รับน้ำที่ไม่ต้องมีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดข้อมูล (Stream Gage Data) และสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบของข้อมูลที่นำเข้าในแบบจำลอง เช่น การเปลี่ยนแปลงการจัดการที่ดิน (Management Practices Changes) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Changes) การเปลี่ยนแปลงพืช (Vegetation Changes) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณและคุณภาพน้ำหรือตัวแปรอื่นๆ ที่สนใจนอกจากนี้แบบจำลอง SWAT ยังสามารถจำลองกระบวนการต่าง ๆ ทางกายภาพประกอบที่เกิดขึ้นภายในลุ่มน้ำได้ โดยผู้ใช้จะต้องแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำที่ต้องการศึกษาออกเป็นลุ่มย่อย ๆ ตามลักษณะการใช้ที่ดิน หรือชนิดของดินที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งจะส่งผลทำให้ลักษณะทางด้านอุทกวิทยาของลุ่มน้ำนั้นเป็นแบบเดียวกัน ส่วนข้อมูลของลุ่มน้ำย่อยที่ใช้จะต้องกำหนดให้แบบจำลองนั้น ประกอบด้วย ข้อมูลภูมิอากาศ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ระดับน้ำใต้ดิน ลักษณะของดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ลำน้ำสายหลัก และทางระบบน้ำต่าง ๆ เป็นต้น โดยมีส่วนประกอบของแบบจำลองและข้อมูลที่ต้องใช้ในแบบจำลองดังนี้ (วินัย วังพิมูล, 1999)

2.3.1.1 ส่วนประกอบของแบบจำลอง (Model Component) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ การจำลองแบบในส่วนของพื้นดิน หรือ ส่วนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (Upland Phase or Subbasin Component) จะแบ่งออกเป็น 8 ส่วน คือ อุทกวิทยา (Hydrology) สภาพอากาศ (Weather conditions) การตกตะกอน (Sedimentation) อุณหภูมิของดิน (Soil Temperature) การเติบโตของพืช (Crop growth) สารอาหารพืช (Nutrients) ยาฆ่าแมลง (Pesticides) และ การจัดการ



ทางการเกษตร (Agricultural Management) และการจำลองแบบในส่วนของการเคลื่อนตัวของน้ำ (Routing Phase) จะเป็นการคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านทางน้ำ (Channel Routing) และการเคลื่อนที่ของน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Routing) การเคลื่อนตัวของตะกอนในทางน้ำ การพัฒนา และการแพร่กระจายของสารเคมีปนเปื้อนชนิดต่าง ๆ ในลำน้ำ ตลอดจนทั้งโครงข่ายของระบบลุ่มน้ำที่ทำการศึกษา

2.3.1.2 ข้อมูลที่ต้องการ จะประกอบไปด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลอุทกวิทยา มีรายละเอียดดังนี้

- 1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ต้องการข้อมูล
 - (1) Digital Elevation Model (DEM) อยู่ในรูปแบบ GIS
 - (2) แผนที่การใช้ที่ดินอยู่ในรูปแบบ GIS
 - (3) แผนที่จำแนกชนิดที่ดินอยู่ในรูปแบบ GIS
- 2) ข้อมูลภูมิอากาศ (Weather Data)
 - (1) อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุด ใช้ข้อมูลรายวันหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
 - (2) พลังงานแสงอาทิตย์ ใช้ข้อมูลรายวันหน่วยเป็นเมกะจูลต่อวัน
 - (3) ความเร็วลม ใช้ข้อมูลรายวันหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที
 - (4) ความชื้นสัมพัทธ์ ใช้ข้อมูลรายวันหน่วยเป็นมิลลิเมตร
- 3) ข้อมูลการดำเนินการในลุ่มน้ำ
 - (1) ข้อมูลอ่างเก็บน้ำ
 - (2) ข้อมูลแหล่งกำเนิดน้ำเสีย
 - (3) ข้อมูลพฤติกรรมการเพาะปลูก
- 4) ข้อมูลด้านอุทกวิทยา (Hydrological Data)
 - ปริมาณการไหลในลำน้ำ ใช้ข้อมูลรายวันหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

สำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง

2.4 อุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำ

การคำนวณอุทกวิทยาของลุ่มน้ำถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่มาก คือ ส่วนแรกเรียกว่า Land Phase เป็นการคำนวณอุทกวิทยาดินซึ่งจะควบคุมปริมาณน้ำ การตกตะกอน ปุ๋ย และปริมาณยาฆ่าแมลงที่จะลงไปสู่ลำน้ำ ส่วนที่ 2 เรียกว่า Roting Phase ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของน้ำในลำน้ำ การตกตะกอน และอื่นๆที่อยู่ในลำน้ำที่จุดออก การคำนวณอุทกวิทยาของลุ่มน้ำสามารถแสดงเป็นสมการดังนี้

2.4.1 สมดุลน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ

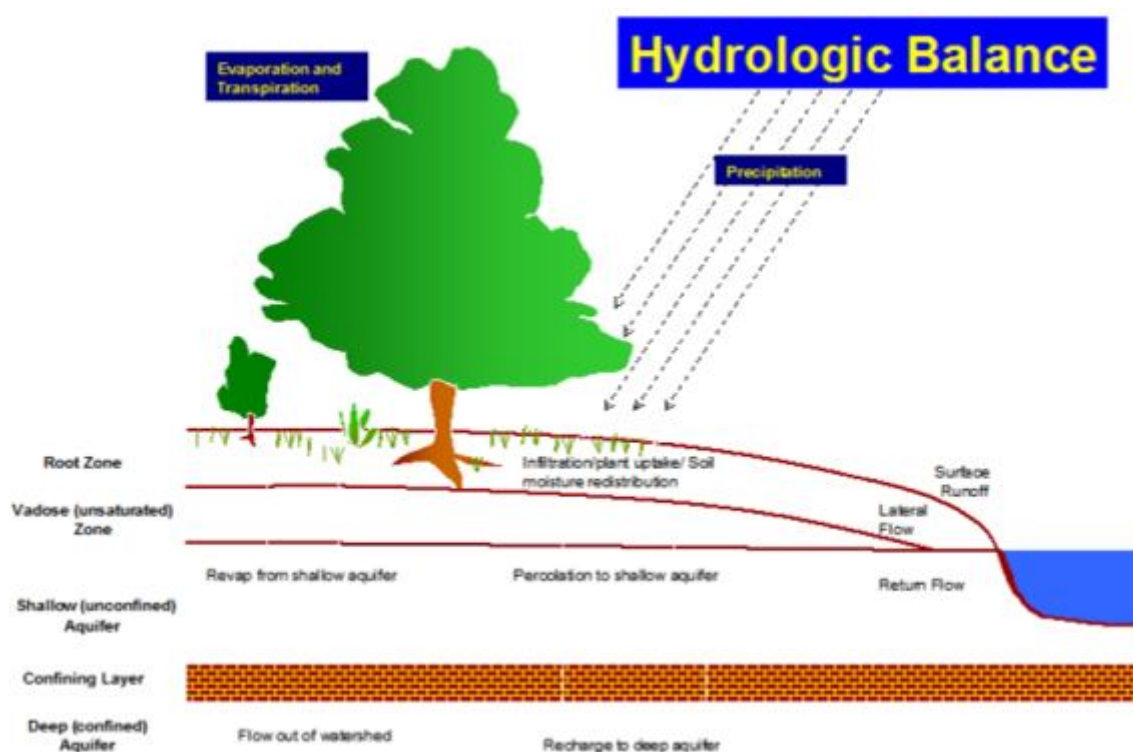
การจำลองแบบทางด้านอุทกวิทยาจะใช้หลักสมดุลน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยดังภาพประกอบ 2.1 และสมการ 2.1

$$SW_t = SW + \sum_{i=1}^n (Ri - Qi - ETi - Pi - QRI) \quad (2.1)$$



เมื่อ

- SW คือ Soil Water Content
 t คือ เวลา มีหน่วยเป็นวัน
 R คือ ค่าของฝนรายวัน (Daily Precipitation)
 Q คือ ค่าของน้ำท่ารายวัน (Daily Runoff)
 ET คือ ค่าของการระเหยของน้ำรายวัน (Daily Evapotranspiration)
 P คือ ค่าของการไหลซึมลงดิน (Daily Percolation)
 QR คือ ค่าของ Return Flow รายวัน



ที่มา : Neitsch และคณะ (2009)

ภาพประกอบ 2.1 วัฏจักรอุทกวิทยา

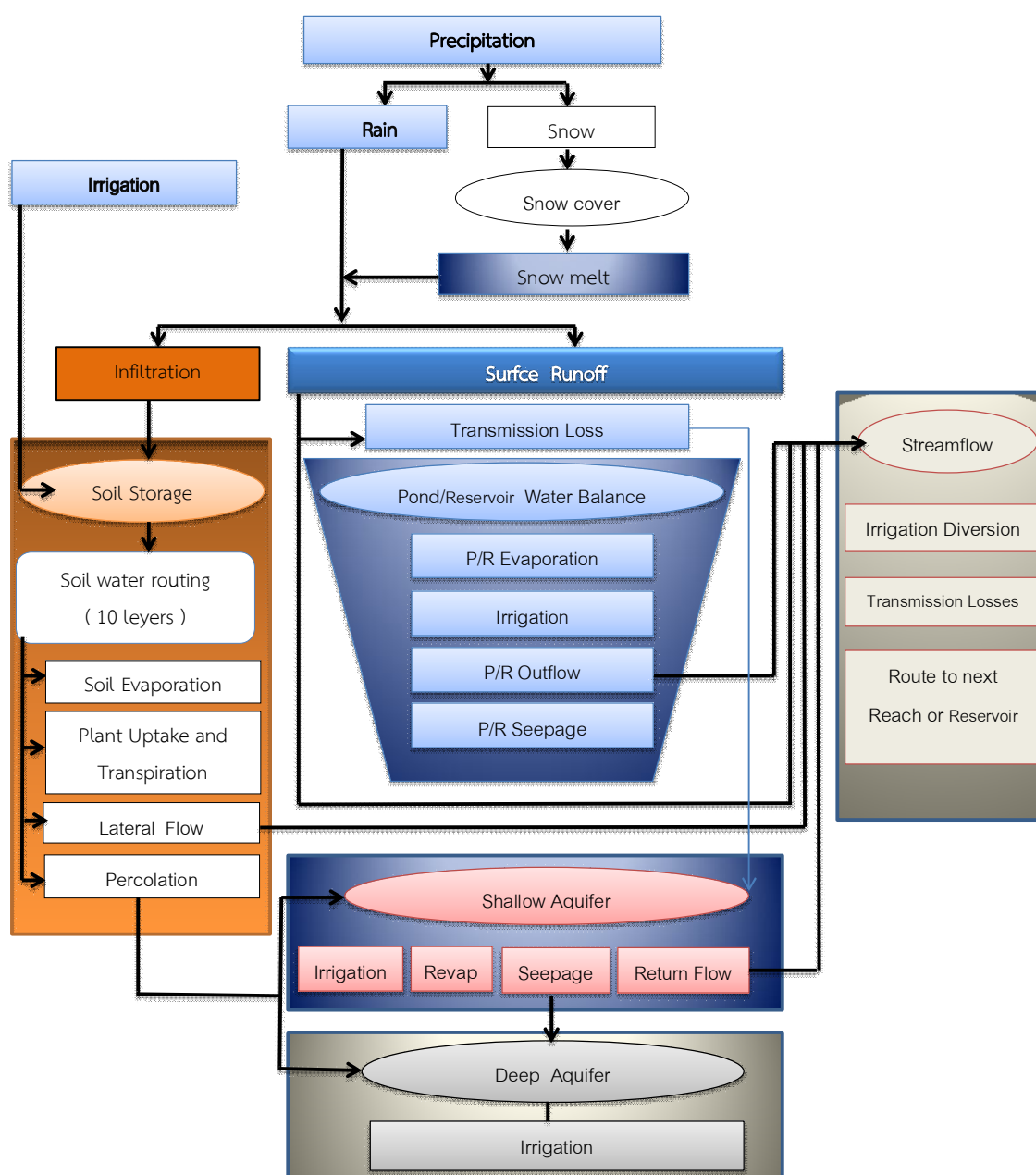
การเคลื่อนที่ของน้ำในแบบจำลอง SWAT ดังภาพประกอบ 2.2 เมื่อฝนตกลงมาบนพื้นดินการเคลื่อนที่ของน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะซึมลงไปในดิน (Infiltration) และที่เหลือเมื่อดินรับได้พอแล้วก็ไหลบ่าบนผิวดิน (Surface Runoff) ส่วนของการซึมลงไปในดิน น้ำจะถูกกักเก็บอยู่ในชั้นดิน บางส่วนระเหยขึ้นไปในบรรยากาศ (Soil Evaporation) พืชเอาไปใช้บางส่วน (Plant Uptake and Transpiration) บางส่วนก็จะไหลซึมลงสู่ลำน้ำ (Lateral Flow) และส่วนที่เหลือจะซึมลึกลงไปในชั้นดิน (Percolation) เป็นชั้นน้ำใต้ดินตื้น (Shallow Aquifer) และชั้นน้ำใต้ดินที่อยู่ลึก (Deep Aquifer) ส่วนของชั้นน้ำใต้ดินตื้นบางส่วนก็จะถูกดึงไปใช้ในการให้น้ำชลประทานแก่พืช (Irrigation) และน้ำในชั้นน้ำใต้ดินตื้นบางส่วนจะถูกกักเก็บไว้ในชั้นดิน (Revap) และบางส่วนจะซึมลงไป (Seepage)



สู่ชั้นน้ำใต้ดินที่ลึกลงไปอีก และส่วนที่เหลือก็จะไหลไปสู่ลำน้ำ (Return Flow) ในส่วนของชั้นน้ำใต้ดินที่ลึกลงไปก็อาจถูกดึงไปใช้ในการให้น้ำชลประทานแก่พืช

ในส่วนของน้ำไหลบ่าบนผิวดิน น้ำบางส่วนในที่นี้จะถูกกักเก็บไว้ด้วยแหล่งน้ำผิวดิน (Pond/Reservoir) น้ำบางส่วนในแหล่งน้ำจะระเหยขึ้นสู่บรรยากาศ (P/R Evaporation) บางส่วนจะถูกดึงไปใช้ในการชลประทาน (Irrigation) บางส่วนจะถูกปล่อยออกไปสู่ลำน้ำ (P/R Outflow) และใน ส่วนที่เหลือจะซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินต่อไป (P/R Seepage) น้ำในส่วนที่เหลือจากการกักเก็บในแหล่งน้ำ ผิวดินก็จะไหลบ่าลงสู่ลำน้ำ (Stream flow) น้ำที่ไหลบ่าบนผิวดินก่อนที่จะมีการไหลลงสู่ลำน้ำจะมีการ สูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนที่ (Transmission Loss) โดยการดักเก็บน้ำไว้เนื่องจากพืชและมีการซึมลง ไปในดินจนไปถึงชั้นน้ำใต้ดินชั้นในบางส่วน และเมื่อปริมาณน้ำจากกระบวนการทั้งหมดไหลลงสู่ลำน้ำ แล้ว น้ำในลำน้ำบางส่วนจะถูกดึงไปใช้ในการให้น้ำชลประทานแก่พืช (Irrigation Diversion) บางส่วน จะมีการสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนที่ในลำน้ำ และน้ำในส่วนที่เหลือก็จะไหลไปสู่ลำน้ำหรือลงสู่อ่างเก็บ น้ำต่อไป (Route to next Reach or Reservoir)





ที่มา : Neitsch และคณะ (2009)

ภาพประกอบ 2.2 การเคลื่อนที่ของน้ำในแบบจำลอง SWAT

2.4.1.1 น้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) เป็นอัตราส่วนของน้ำที่เหลือจากการซึมสามารถหาปริมาณน้ำท่าและน้ำท่าสูงสุดดังนี้

การคำนวณหาปริมาณน้ำท่าสำหรับแบบจำลองมีสองวิธีคือ SCS curve method และ Gree & Ampt infiltration medthod ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธี SCS curve วิธีนี้ย่อมาจาก Soil Conservation Service curve number เป็นแบบจำลองที่เกิดจากการทดลองที่สามารถเข้าใจง่ายสร้าง



ขึ้นเพื่อคำนวณน้ำท่าในหลายๆ ชนิดของดินและการใช้ที่ดิน สมการ SCS curve number แสดงดังสมการ 2.2

$$Q_{surf} = \frac{(R-0.2s)^2}{R+0.8s}, R > 0.2s \quad (2.2)$$

$$Q = 0.0, R \leq 0.2s$$

เมื่อ

Q_{surf} คือ ค่าของน้ำท่ารายวัน (m^3/s)

R คือ ค่าของฝนรายวัน (mm)

s คือ Retention Parameter จะมีความสัมพันธ์กับค่า Curve Number (CN)

จากดังสมการ 2.3

$$s = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (2.3)$$

เมื่อ

s คือปริมาณน้ำที่ถูกเก็บในดิน (mm)

CN คือ ค่า Curve Number เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างความยากง่ายของน้ำในการซึมผ่านชั้นดิน (Soil Permeability) และการใช้ประโยชน์ที่ดิน

CN จะมีค่าเท่ากับ $0 \leq CN \leq 100$ ค่า CN สำหรับสิ่งปกคลุมชนิดต่างๆ กลุ่มดินทางอุทกวิทยา แสดงในภาคผนวก ก นอกจากค่า CN number จะขึ้นอยู่กับดินและสิ่งปกคลุมดินแล้ว ยังต้องสัมพันธ์กับเงื่อนไขความชื้นเริ่มต้น (Antecedent Moisture Condition; AMC) ซึ่งจะมีค่าแตกต่าง 3 ค่าคือ เงื่อนไขดินแห้งหรือเป็นจุดเหี่ยวเฉา (Wilting Point) เงื่อนไขความชื้นในดินเฉลี่ย และ เงื่อนไขดินอิ่มตัว ในแบบจำลองให้ป้อนเงื่อนไขความชื้นในดินเฉลี่ย จากนั้นแบบจำลองจะปรับค่า CN ตามเงื่อนไขที่เหลือเองดังสมการ

$$CNI = CNII \frac{25 \cdot (100 - CNII)}{(100 - CNII + \exp[2.533 - 0.636 \cdot (100 - CNII)])} \quad (2.4)$$

$$CNIII = CNII \cdot [0.00673 \cdot (100 - CNII)] \quad (2.5)$$

การคำนวณหาค่าอัตราการไหลสูงสุดใช้วิธี Modified Rational Formula แสดงได้ดังสมการ

$$Q_{peak} = \frac{\alpha_{cc} \cdot Q_{surf} \cdot Area}{3.6 \cdot c_c} \quad (2.6)$$



เมื่อ

q_{peak}	คือ อัตราการไหลสูงสุด (m^3/s)
α	คือ ความเข้มของฝนที่เกิดขึ้นในช่วง t_c (mm/hr)
$Area$	คือ พื้นที่การระบายน้ำ (km^2)
t_c	คือ the time of concentration for the subbasin (hr)

2.4.1.2 การคายระเหยของน้ำ (Evapotranspiration) เป็นการการรวมกระบวนการทั้งหมดที่น้ำจากผิวโลกเปลี่ยนเป็นไอน้ำ ได้แก่ เรือนยอดของพืช การคายน้ำ การระเหิด และการระเหยจากดิน การระเหยคายน้ำเป็นกลไกหลักที่นำน้ำออกจากกลุ่มน้ำ

ค่าพารามิเตอร์ เรือนยอดของพืช มีผลต่อการซึม การไหลบ่า และการคายระเหย เมื่อฝนตกเรือนยอดของต้นไม้ จะทำหน้าที่ดักพลังงานที่จะตกลงไปให้น้อยลง และบางส่วนจะถูกเก็บไว้ในใบไม้ซึ่งขึ้นกับชนิดพืชและการปกคลุมดิน จำนวนสูงสุดที่ของน้ำที่สามารถจัดเก็บไว้ในเรือนยอดจะแตกต่างกันไปในแต่ละวันตามของดัชนีพื้นที่ใบของพืชดังสมการที่ 2.7

$$can_{day} = can_{max} \cdot \frac{LAI}{LAI_{max}} \quad (2.7)$$

เมื่อ

can_{day}	คือ ค่าสูงสุดของเรือนยอดที่ดักน้ำไว้ (mm/H ₂ O)
can_{max}	คือ ค่าสูงสุดของเรือนยอดที่ดักน้ำไว้เมื่อพืชเติบโตเต็มที่ (mm/H ₂ O)
LAI	คือ ดัชนีใบพืชในแต่ละวัน
LAI_{max}	คือ ดัชนีใบพืชเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่

สำหรับในแบบจำลองได้มีทางเลือกในการประมาณค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำสูงสุด Potential Evapotranspiration (PET) 3 วิธีได้แก่

1. วิธี Penman – Monteith
2. วิธี Priestley – Taylor
3. วิธี Hargreaves and Samani

2.4.1.3 น้ำในดิน (Soil water) ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของแข็งของเหลว และก๊าซ ส่วนที่เป็นของแข็งประกอบวัสดุอินทรีย์และอนินทรีย์ ในระหว่างช่องว่างของดินจะประกอบด้วย ส่วนที่เป็นน้ำและอากาศ ความหนาแน่นของดินจะถูกกำหนดด้วยความสัมพันธ์ของความพรุนของดินดังสมการ 2.8

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_T} \quad (2.8)$$



เมื่อ

ρ_b คือ ความหนาแน่น (mg/m³)

M_s คือ มวลของดิน

V_T คือ ปริมาตรรวมเมื่อ

$$V_T = V_A + V_w + V_s \quad (2.9)$$

เมื่อ

A คือ อากาศ

w คือ น้ำ

s คือ ส่วนของแข็ง

โดยความสามารถในการใช้น้ำของพืชหรือเรียกว่าความจุของน้ำที่สามารถใช้ได้ (**AWC**) จะคำนวณจาก

$$AWC = FC - WP \quad (2.10)$$

เมื่อ

AWC คือ น้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้

FC คือ ความจุน้ำที่สนาม

WP คือ ปริมาณน้ำที่จุดเหี่ยวแห้งถาวร

การไหลซึมผ่านลงดิน (**SW**) ถูกคำนวณสำหรับดินแต่ละชั้นดินและละรูปแบบ ปริมาณน้ำที่สามารถซึมได้คำนวณดังสมการ

$$SW_{ly,excess} = SW_{ly} - FC_{ly} \quad \text{if } SW_{ly} > FC_{ly} \quad (2.11)$$

$$SW_{ly,excess} = 0 \quad \text{if } SW_{ly} \leq FC_{ly} \quad (2.12)$$

เมื่อ

SW_{ly,excess} คือ ปริมาตรของน้ำที่ระบายออกในชั้นดินแต่ละวัน (mm H₂O)

SW_{ly} คือ ปริมาณน้ำในชั้นดินในแต่ละวัน (mm H₂O)

FC_{ly} คือ ปริมาณน้ำในชั้นดินที่ Field capacity (mm H₂O)



ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณปริมาณของน้ำที่ไหลซึมไปยังชั้นต่อไปคือ

$$W_{perc,ly} = SW_{ly,excess} \cdot \left(1 - ewp \left[\frac{-\Delta t}{TT_{perc}} \right] \right) \quad (2.13)$$

เมื่อ

$W_{perc,ly}$ คือ ปริมาณน้ำที่กำลังซึมลงในชั้นต่อไป (mm H₂O)

$SW_{ly,excess}$ คือ ปริมาตรของน้ำที่ระบายออกในชั้นดินแต่ละวัน (mm H₂O)

Δt คือ ช่วงเวลา (hrs)

TT_{perc} คือ เวลาในการซึม (hrs).

2.4.1.4 การไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater Flow) จำลองชั้นหินอุ้มน้ำออกเป็นสองแบบ ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยคือชั้นหินอุ้มน้ำตื้น (Shallow aquifer) เป็นลักษณะชั้นหินชั้นหินอุ้มน้ำแบบเปิดซึ่งจะให้น้ำไหลเข้าไปในลำน้ำหลัก ส่วนชั้นหินอุ้มน้ำลึก (Deep aquifer) น้ำที่ไหลซึมลงในชั้นนี้จะถูกสมมุติให้ไหลไปลำน้ำที่โหนกแห่งนอกลุ่มน้ำ สำหรับชั้นหินอุ้มน้ำลึก แสดงดังสมการ 2.14

$$Vsa_i = Vsa_{i-1} + Rc - revap - q_{rf} - perc_{gw} - WU_{sa} \quad (2.14)$$

เมื่อ

Vsa คือ ความจุของชั้นหินอุ้มน้ำตื้น (mm H₂O)

Rc คือ น้ำไหลย้อนกลับ (mm H₂O)

$revap$ คือ น้ำที่ไหลจากชั้นหินอุ้มน้ำตื้นกลับสู่ชั้นรากพืช (mm H₂O)

q_{rf} คือ return flow (mm H₂O)

$perc_{gw}$ คือ น้ำไหลซึมลึกลงดินสู่ชั้นหินอุ้มน้ำลึก (mm H₂O)

WU_{sa} คือ น้ำใช้การจากชั้นหินอุ้มน้ำตื้น (mm H₂O)

I คือ วัน

สำหรับสมดุลของน้ำของชั้นหินอุ้มน้ำลึก แสดงดังสมการ 2.15

$$Vda_i = Vda_{i-1} - perc_{gw} - WU_{da} \quad (2.15)$$

เมื่อ

Vda คือ ปริมาตรชั้นหินอุ้มน้ำลึก (mm H₂O)

$perc_{gw}$ คือ น้ำที่ไหลซึมลึกลงดินสู่ชั้นหินอุ้มน้ำลึก (mm H₂O)

WU_{da} คือ น้ำใช้การจากชั้นหินอุ้มน้ำลึก (mm H₂O)



2.4.1.5 การไหลทางข้างใต้ผิวดิน (Lateral Subsurface Flow) โดยใช้แบบจำลอง Kinematic storage model ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยใช้สมการ Mass Continuity Equation โดยมี Control Volume คือ Soil profile ดังนี้

$$\frac{SV_2 - SV_1}{t_2 - t_1} = iL - \frac{q_{lat1} - q_{lat2}}{2} \quad (2.16)$$

เมื่อ

- SV คือ ปริมาณน้ำในดินที่สามารถไหลออกมาจากดินในส่วนชุ่มน้ำ (m/m)
 t คือ เวลา (hr)
 q_{lat} คือ อัตราการไหลทางข้าง (m^3/hr)
 i คือ อัตราการไหลเข้าของน้ำในสัณฐานดินชุ่มน้ำ Saturated Zone (m^2/hr)
 L คือ Hillslope length (m)
 1 และ 2 คือ ตัวที่อ้างถึงเวลา เริ่มต้น และ สิ้นสุด ในแต่ละช่วง

2.4.1.6 การเคลื่อนตัวของน้ำในลำน้ำ มีให้เลือกใช้อยู่ 2 แบบคือ Variable storage routing และ Muskingum routing ซึ่งแบบจำลองจะสามารถเลือกใช้ได้แค่วิธีเดียว โดยในการศึกษานี้เลือกใช้วิธี Variable storage routing ซึ่งอาศัยหลักการสมการความต่อเนื่อง

$$V_{in} - V_{out} = \Delta V_{stored} \quad (2.17)$$

เมื่อ

- V_{in} คือ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าในลำน้ำในช่วงเวลาที่พิจารณา (m^3)
 V_{out} คือ ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากลำน้ำในช่วงเวลาที่พิจารณา (m^3)
 ΔV_{stored} คือ เปลี่ยนแปลงการกักเก็บปริมาณน้ำในลำน้ำในช่วงเวลาที่พิจารณา (m^3)

จากสมการ (2.17) สามารถเขียนใหม่เป็น

$$\Delta t * \left(\frac{q_{in,1} + q_{in,2}}{2} \right) - \Delta t * \left(\frac{q_{out,1} + q_{out,2}}{2} \right) = V_{stored,2} - V_{stored,1} \quad (2.18)$$

- Δt คือ ช่วงเวลาที่พิจารณา (s)
 $q_{in,1}$ คือ อัตราการไหลเข้า ณ เวลาเริ่มต้นของช่วงเวลาที่พิจารณา (m^3/s)
 $q_{in,2}$ คือ อัตราการไหลเข้า ณ เวลาสิ้นสุดของช่วงเวลาที่พิจารณา (m^3/s)
 $q_{out,1}$ คือ อัตราการไหลออก ณ เวลาเริ่มต้นของช่วงเวลาที่พิจารณา (m^3/s)
 $q_{out,2}$ คือ อัตราการไหลออก ณ เวลาสิ้นสุดของช่วงเวลาที่พิจารณา (m^3/s)
 $V_{stored,1}$ คือ ปริมาณน้ำกักเก็บ ณ เวลาเริ่มต้นของช่วงเวลาที่พิจารณา (m^3)
 $V_{stored,2}$ คือ ปริมาณน้ำกักเก็บ ณ เวลาสิ้นสุดของช่วงเวลาที่พิจารณา (m^3)



วัฏจักรของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญต่อการอธิบายพฤติกรรมของน้ำที่จะเชื่อมโยงปริมาณน้ำไปยังการคาดการณ์คุณภาพน้ำดังนั้นแบบจำลองที่เหมาะสมจะกำหนดพิจารณารายละเอียดตัวแปรทางอุทกวิทยาที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

2.5 การจำลองคุณภาพน้ำ

การคำนวณคุณภาพน้ำในแบบจำลอง จะคล้ายกับการคำนวณปริมาณน้ำท่า ซึ่งจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดบนดินโดยใช้หลักการ mass balance และการเคลื่อนตัวของสารละลายในลำน้ำ ค่าคุณภาพน้ำประกอบไปด้วย ปริมาณตะกอน ปริมาณปุ๋ย ปริมาณ บีโอดี และปริมาณยาฆ่าแมลง ในการอธิบายจากนี้ จะอธิบายตั้งแต่แหล่งกำเนิดบนดินจนถึงการเคลื่อนที่ในลำน้ำ ในแต่ละค่าคุณภาพน้ำแต่ละชนิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

2.5.1 ปริมาณตะกอนในลำน้ำ

มีผลต่อการตื่นขึ้นของลำน้ำและปฏิกิริยาของสารอาหารของพืช ในหัวข้อนี้อธิบายตะกอนที่ถูกพัดจากดินลงสู่ลำน้ำ และการเคลื่อนที่ในลำน้ำ

2.5.1.1 ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาโดยน้ำท่าผิวดินลงสู่ลำน้ำ สามารถคำนวณได้จากวิธี The modified universal soil loss equation (MUSLE) ดังสมการ 2.19

$$sed = 11.8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0.56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG \quad (2.19)$$

เมื่อ

sed	คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาโดยน้ำผิวดิน (Ton)
Q_{surf}	คือ ปริมาณน้ำผิวดิน (mm/ha)
q_{peak}	คือ อัตราการไหลสูงสุดของน้ำผิวดิน (m ³ /sec)
$area_{hru}$	คือ พื้นที่ (ha)
K_{USLE}	คือ ค่าตัวแปรการชะล้างดิน
C_{USLE}	คือ ค่าตัวแปรการปกคลุมบนพื้นที่
P_{USLE}	คือ ค่าตัวแปรการจัดการพื้นที่
LS_{USLE}	คือ ค่าตัวแปรความชันของพื้นที่
$CFRG$	คือ ค่าตัวแปรความขรุขระของพื้นที่

2.5.1.2 การเคลื่อนตัวผ่านทางน้ำของตะกอน (Sediment Channel Routng) มีตัวแปรที่มีผลต่อการชะล้างตะกอนลงสู่ลำน้ำคือ ความลาดชันและความเร็วของน้ำท่าในลำน้ำ ความเร็วของน้ำท่าสูงสุดสามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.20

$$v_{ch,pk} = \frac{q_{ch,pk}}{A_{ch}} \quad (2.20)$$



เมื่อ

- $v_{ch,pk}$ คือ ความเร็วสูงสุดในลำน้ำ (m/sec)
 $q_{ch,pk}$ คือ อัตราการไหลสูงสุดในลำน้ำ (m³/sec)
 A_{ch} คือ พื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ (m²)

$$\text{โดยที่ } q_{ch,pk} = prf \cdot q_{ch} \quad (2.21)$$

เมื่อ

- $q_{ch,pk}$ คือ อัตราเร็วสูงสุดในลำน้ำ (m³/sec)
 prf คือ ตัวแปรการปรับค่าอัตราเร็วสูงสุด
 q_{ch} คือ อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำท่าในลำน้ำ (m³/sec)

ความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดในลำน้ำที่ถูกพัดพาได้คำนวณได้ดังสมการ 2.22

$$conc_{sed,max} = c_{sp} \cdot v_{ch,pk}^{spexp} \quad (2.22)$$

เมื่อ

- $conc_{sed,max}$ คือ ความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดในลำน้ำที่ถูกพัดพาได้ (T/m³)
 c_{sp} คือ สัมประสิทธิ์ที่ปรับค่าโดยผู้ใช้งาน
 $v_{ch,pk}$ คือ ความเร็วสูงสุดในลำน้ำ (m/sec)
 $spexp$ คือ ค่ายกกำลังที่ปรับค่าโดยผู้ใช้งาน

การคำนวณของความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดในลำน้ำที่สามารถถูกพัดพาได้ จะนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำ หากค่าความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำมากกว่าค่าความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดในลำน้ำที่สามารถถูกพัดพาได้แล้ว กระบวนการทับถมลงสู่ท้องน้ำจะเป็นกระบวนการหลักสามารถคำนวณด้วยสมการ 2.23

$$sed_{dep} = (conc_{sed,chl} - conc_{sed,chl,max}) \cdot V_{ch} \quad (2.23)$$

เมื่อ

- sed_{dep} คือ ปริมาณตะกอนที่ตกตะกอนทับถมลงสู่ท้องน้ำ (Ton)
 $conc_{sed,chl}$ คือ ความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำ (T/m³)
 $conc_{sed,chl,max}$ คือ ค่าความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดในลำน้ำที่สามารถถูกพัดพาได้ (T/m³)
 V_{ch} คือ ปริมาณน้ำในช่วงลำน้ำ (m³)



ถ้าความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดในลำน้ำที่สามารถถูกพัดพาได้มากกว่าค่าความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำแล้ว กระบวนการกัดเซาะดินจากท้องน้ำและด้านข้างลำน้ำจะเป็น กระบวนการหลักสามารถคำนวณได้ด้วยสมการ 2.24

$$sed_{deg} = (conc_{sed, ch, max} - conc_{sed, ch, i}) \cdot V_{ch} K_{CH} C_{ch} \quad (2.24)$$

เมื่อ

sed_{deg}	คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกกัดเซาะจากท้องน้ำและด้านข้างลำน้ำตกตะกอน(T)
$conc_{sed, ch, i}$	คือ ความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำ (T/m^3)
$conc_{sed, ch, max}$	คือ ค่าความเข้มข้นของตะกอนสูงสุดในลำน้ำที่สามารถถูกพัดพาได้ (T/m^3)
V_{ch}	คือ ปริมาณน้ำในช่วงลำน้ำ (m^3)
K_{CH}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกัดเซาะ ($cm/hr/Pa$)
C_{ch}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปกคลุมลำน้ำ

ปริมาณตะกอนที่คงแขวนลอยสามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.25

$$sed_{ch} = sed_{ch, i} - sed_{dsp} + sed_{deg} \quad (2.25)$$

เมื่อ

sed_{ch}	คือ ปริมาณตะกอนที่คงแขวนลอยในลำน้ำ (T)
$sed_{ch, i}$	คือ ปริมาณตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำ (T)
sed_{dsp}	คือ ปริมาณตะกอนตกตะกอนลงสู่ท้องน้ำ (T)
sed_{deg}	คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกชะล้างเข้าสู่ลำน้ำ (T)

ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาออกจากช่วงลำน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$sed_{out} = sed_{ch} \cdot \frac{V_{out}}{V_{ch}} \quad (2.26)$$

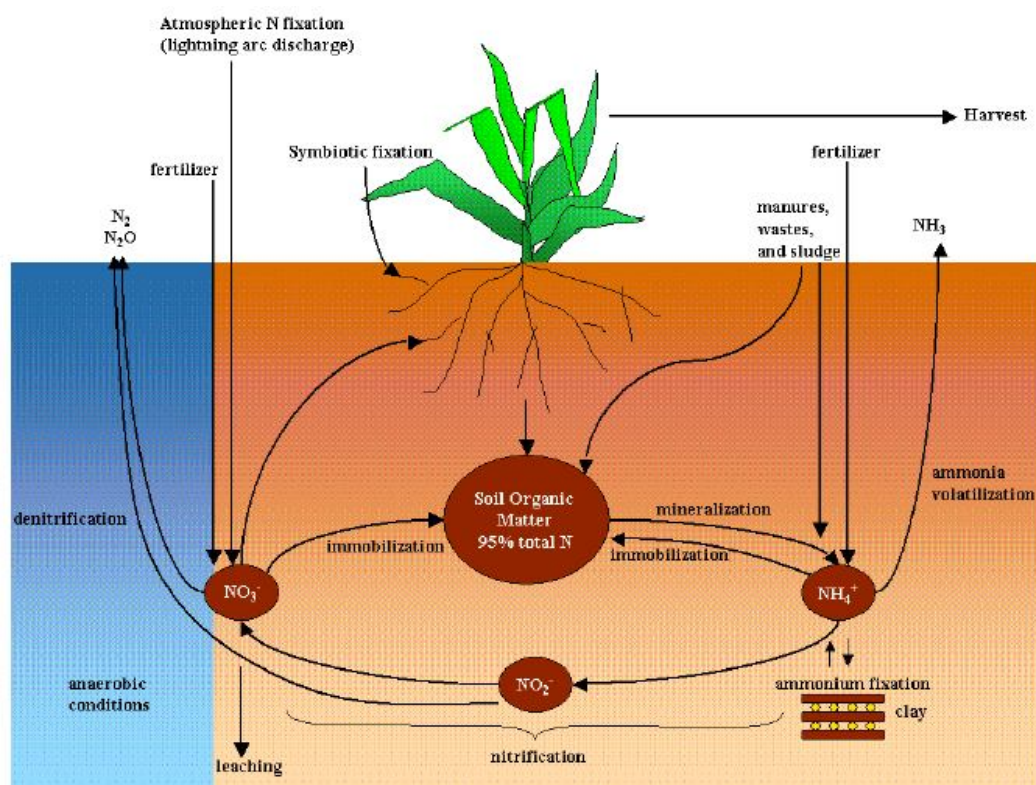
เมื่อ

sed_{out}	คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาออกจากลำน้ำ (T)
sed_{ch}	คือ ปริมาณตะกอนเริ่มต้นในลำน้ำ (T)
V_{out}	คือ ปริมาณน้ำท่าที่ไหลออกจากช่วงลำน้ำ ($m^3 H_2O$)
V_{ch}	คือ ปริมาณน้ำในช่วงลำน้ำ (m^3)



2.5.2 ปริมาณไนโตรเจน

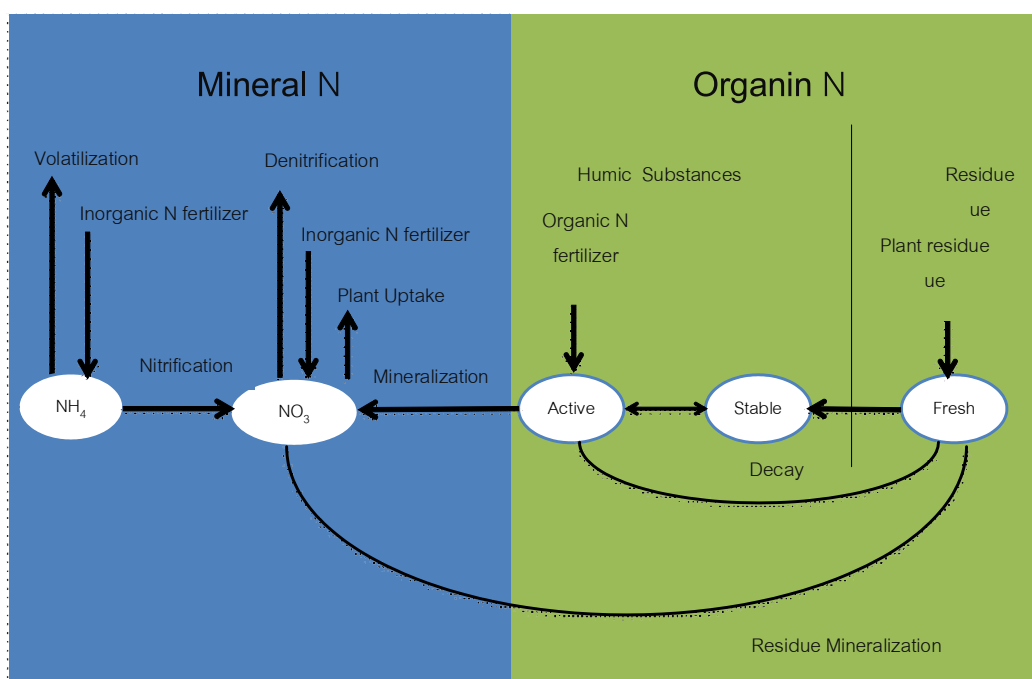
ไนโตรเจนในดินได้แก่ อินทรีย์ไนโตรเจนที่มาจาก humus อนินทรีย์ไนโตรเจนที่มาจาก ตะกอนดิน และ อนินทรีย์ไนโตรเจนที่มาจากสารละลาย ไนโตรเจนอาจถูกเพิ่มในดินจากการใส่ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอก หรือส่วนที่เหลือจากการเกษตร การตรึงไนโตรเจน และจากฝน ไนโตรเจนจะถูกนำออกจากดิน โดยพืชเอาไปใช้หรือละลายไปกับน้ำฝน ภาพประกอบ 2.3 แสดงส่วนประกอบหลักๆของไนโตรเจนในดิน ไนโตรเจนในดินยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ทั้ง 2 ส่วนแบ่งเป็น 5 แหล่งดังภาพประกอบ 2.4 รูปของอนินทรีย์ไนโตรเจนแบ่งเป็น แอมโมเนียไนโตรเจนและไนเตรท ไนโตรเจน รูปอินทรีย์ไนโตรเจนแบ่งเป็น อินทรีย์ไนโตรเจนสด อินทรีย์ไนโตรเจนไม่เสถียรและ อินทรีย์ไนโตรเจนแหล่งเสถียร การจำลองไนโตรเจนมีการจำลองเป็น สองส่วนคือปฏิกิริยาไนโตรเจนในดินซึ่งจะกล่าวถึงการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนจากแหล่งต่างๆ กระบวนการ ไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน การนำไนโตรเจนลงสู่ลำน้ำและปฏิกิริยาไนโตรเจนในลำน้ำมีรายละเอียดดังนี้



ที่มา : Neitsch และคณะ (2009)

ภาพประกอบ 2.3 แสดงรูปแบบต่างๆ ของไนโตรเจน





ที่มา : Neitsch และคณะ (2009)

ภาพประกอบ 2.4 Partitioning of Nitrogen in SWAT

2.5.2.1 ไนโตรเจนบนดิน อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างไนโตรเจนในแหล่งต่างดังนี้
การเปลี่ยนอินทรีย์ไนโตรเจนจากซากพืชซากสัตว์ และจากการใส่ปุ๋ยอินทรีย์
เป็นอินทรีย์ไนโตรเจนโดยกระบวนการ Mineralization สมการ 2.27

$$N_{min,ly} = \beta_{min} \cdot (\gamma_{tmp,ly} \cdot \gamma_{sw,ly})^{1/2} \cdot orgN_{act,ly} \quad (2.27)$$

เมื่อ

$N_{min,ly}$ คืออินทรีย์ไนโตรเจนที่ถูกเปลี่ยนจากอินทรีย์ไนโตรเจน(kg N/ha)

β_{min} คือ ค่าคงที่สำหรับการ mineralization

$\gamma_{tmp,ly}$ คือ ตัวแปรทางอุณหภูมิของการหมุนเวียนธาตุอาหาร

$\gamma_{sw,ly}$ คือ ตัวแปรทางน้ำของการหมุนเวียนธาตุอาหาร

$orgN_{act,ly}$ คืออินทรีย์ไนโตรเจน (kg N/ha)

การเปลี่ยนรูปของแอมโมเนียมีสองรูปแบบคือกระบวนการไนตริฟิเคชันมาเป็นไนเตรทและการระเหยมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.28 และ 2.29

$$N_{nit,ly} = \frac{f_{nit,ly}}{(f_{nit,ly} + f_{rel,ly})} \cdot N_{nit,ly} \quad (2.28)$$



$$N_{vol,ly} = \frac{fr_{vol,ly}}{(fr_{nit,ly} + fr_{vol,ly})} \cdot N_{nit,ly} \quad (2.29)$$

เมื่อ

- $N_{nit,ly}$ คือ ไนโตรเจนที่เปลี่ยนจากแอมโมเนียเป็นไนเตรท (kgN/ha)
 $N_{vol,ly}$ คือ ไนโตรเจนที่เปลี่ยนจากแอมโมเนีย NH_4^+ เป็น NH_3 (kgN/ha)
 $fr_{nit,ly}$ คือ เศษส่วนโดยประมาณที่หายไปจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน
 $fr_{vol,ly}$ คือ เศษส่วนโดยประมาณที่หายไปจากกระบวนการระเหย
 $N_{nit,vol,ly}$ คือ ปริมาณแอมโมเนียที่เปลี่ยนแปลงในกระบวนการไนตริฟิเคชันและการ

ระเหย (kg N/ha)

นอกจากนี้ไนเตรทยังสูญเสียไปกับกระบวนการดีไนตริฟิเคชันดังสมการ 2.30

และ 2.31

$$N_{denit,ly} = NO3_{ly} \cdot (1 - \exp[-\beta_{denit} \cdot Y_{temp,ly} \cdot orgC_{ly}]) \text{ if } Y_{sw,ly} \geq Y_{sw,thr} \quad (2.30)$$

$$N_{denit,ly} = 0.0 \text{ if } Y_{sw,ly} < Y_{sw,thr} \quad (2.31)$$

เมื่อ

- $N_{denit,ly}$ คือ ไนโตรเจนที่หายไปในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (kg N/ha)
 $NO3_{ly}$ คือ ปริมาณไนเตรทในชั้นดิน (kg N/ha)
 β_{denit} คือ สัมประสิทธิ์สำหรับดีไนตริฟิเคชัน
 $Y_{temp,ly}$ คือ ตัวแปรทางอุณหภูมิของการหมุนเวียนธาตุอาหาร
 $Y_{sw,ly}$ คือ ตัวแปรความจุน้ำของการหมุนเวียนธาตุอาหาร
 $orgC_{ly}$ คือ สารอินทรีย์คาร์บอน (%)
 $Y_{sw,thr}$ คือ ตัวแปรความจุน้ำของการหมุนเวียนธาตุอาหารสำหรับดีไนตริฟิเคชัน

ไนโตรเจนถูกชะพาลงสู่ลำน้ำโดยปริมาณไนเตรทที่เคลื่อนตัวไปกับน้ำท่าผิวดิน น้ำข้างใต้ผิวดิน และน้ำที่ไหลซึมลงสู่ลำน้ำใต้ดินนั้น ดังสมการที่ 2.31

$$conc_{NO3,mobile} = \frac{NO3_{ly} \cdot \left(1 - \exp\left[\frac{-w_{mobile}}{(1-\theta_s) \cdot SAT_{ly}}\right]\right)}{w_{mobile}} \quad (2.31)$$

เมื่อ

- $conc_{NO3,mobile}$ คือ ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำ (kgN/mm H_2O)
 $NO3_{ly}$ คือ ปริมาณไนเตรทในชั้นดิน (kgN/ha)
 w_{mobile} คือ ปริมาณน้ำที่เคลื่อนตัวได้ (mm H_2O)



θ_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความพรุนของชั้นดิน
 SAT_{ly} คือ ค่าความอิ่มตัวของน้ำในชั้นดิน (mmH₂O)

$$w_{mobile} = Q_{surf} + Q_{lat,ly} + w_{perc,ly} \text{ for top 10 mm.} \quad (2.32)$$

$$w_{mobile} = Q_{lat,ly} + w_{perc,ly} \text{ for lower soil layers} \quad (2.33)$$

เมื่อ

w_{mobile} คือ ปริมาณน้ำที่เคลื่อนที่ได้ (mmH₂O)
 Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำผิวดิน (mmH₂O)
 $Q_{lat,ly}$ คือ ปริมาณน้ำที่ไหลทางข้างใต้ผิวดิน(mmH₂O)
 $w_{perc,ly}$ คือ ปริมาณน้ำไหลซึมลึกลงสู่ชั้นดินด้านล่าง(mmH₂O)

ปริมาณไนเตรทที่ถูกชะพาโดยน้ำทำคำนวณได้ดังสมการ 2.34

$$NO3_{surf} = \beta_{NO3} \cdot conc_{NO3,mobile} \cdot Q_{surf} \quad (2.34)$$

เมื่อ

$NO3_{surf}$ คือ ปริมาณไนเตรทที่ถูกชะพาโดยน้ำทำผิวดิน (kgN/ha)
 β_{NO3} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมลงสู่ชั้นดินด้านล่างของไนเตรท
 $conc_{NO3}$ คือ ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำ (kgN/ mmH₂O)

ปริมาณไนเตรทที่ถูกชะพาโดยน้ำที่ไหลทางข้างใต้ผิวดิน สามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.35 โดยที่ สำหรับ 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน

$$NO3_{lat,ly} = \beta_{NO3} \cdot conc_{NO3,mobile} \cdot Q_{lat,ly} \quad (2.35)$$

สำหรับชั้นดินที่ลึกกว่า 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน

$$NO3_{lat,ly} = conc_{NO3,mobile} \cdot Q_{lat,ly} \quad (2.36)$$

เมื่อ

$NO3_{lat,ly}$ คือ ปริมาณไนเตรทที่ถูกชะพาโดยน้ำที่ไหลทางข้างใต้ผิวดิน (kgN/ha)
 β_{NO3} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมลงสู่ชั้นดินของไนเตรท
 $conc_{NO3,mobile}$ คือ ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำที่เคลื่อนที่ได้ (kgN/mmH₂O)
 $Q_{lat,ly}$ คือ ปริมาณน้ำที่ไหลทางข้างใต้ผิวดิน (mmH₂O)



ปริมาณไนเตรทที่ไหลซึมสู่ชั้นดินด้านล่างสามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.37

$$NO3_{para,ly} = conc_{NO3,mobile} \cdot W_{para,ly} \quad (2.37)$$

เมื่อ

$NO3_{para,ly}$	คือ ปริมาณไนเตรทที่ซึมลงสู่ชั้นดินด้านล่าง(kgN/ha)
$conc_{NO3,mobile}$	คือ ความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำที่เคลื่อนที่ได้ (kgN/mmH ₂ O)
$W_{para,ly}$	คือ ปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงสู่ชั้นดินด้านล่าง (mmH ₂ O)

2.5.2.2 ไนโตรเจนในลำน้ำ สามารถคำนวณในรูปการเปลี่ยนแปลง อินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนียม ไนไตรต์ และไนเตรท ดังต่อไปนี้

อินทรีย์ไนโตรเจนในลำน้ำ ความเข้มข้นของอินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.38

$$\Delta orgN_{str} = (\alpha_1 \cdot \rho_2 \cdot algae - \beta_{N,3} \cdot \sigma_4 \cdot orgN_{str}) \cdot TT \quad (2.38)$$

เมื่อ

$\Delta orgN_{str}$	คือ ความเข้มข้นของอินทรีย์ไนโตรเจนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลำน้ำ (mgN/L)
α_1	คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสาหร่ายต่อไนโตรเจน (mgN/mg algae)
ρ_2	คือ อัตราการตายของสาหร่าย (D ⁻¹)
$algae$	คือ ความเข้มข้นโดยมวลของสาหร่ายเริ่มต้นในลำน้ำ (mg algae /L)
$\beta_{N,3}$	คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแอมโมเนีย (D ⁻¹)
$orgN_{str}$	คือ ความเข้มข้นของอินทรีย์ไนโตรเจนเริ่มต้นในลำน้ำ(mgN/L)
σ_4	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตกตะกอนของอินทรีย์ไนโตรเจน (D ⁻¹)
TT	คือ เวลาการไหลของน้ำในลำน้ำ (D)

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแอมโมเนียมในลำน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.39

$$\Delta NH4_{str} = \left(\beta_{N,3} \cdot orgN_{str} - \beta_{N,1} \cdot NH4_{str} + \frac{\sigma_3}{(1000 \cdot depth)} - fr_{NH4} \cdot \alpha_1 \cdot \mu_a \cdot algae \right) \cdot TT \quad (2.39)$$



เมื่อ

$\Delta NH4_{str}$	คือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแอมโมเนียมในลำน้ำ (mgN/L)
$\beta_{N,3}$	คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนอินทรีย์ไนโตรเจนเป็นแอมโมเนีย (D^{-1})
$\beta_{N,1}$	คือ ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียโดยจุลินทรีย์ (D^{-1})
$NH4_{str}$	คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียมเริ่มต้นในลำน้ำ (mgN/L)
σ_3	คือ อัตราการเกิดแอมโมเนียจากตะกอนในท้องน้ำ (mgN/m ² /D)
$epth$	คือ ความลึกของน้ำในลำน้ำ (m)
fr_{NH4}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ไนโตรเจนจากแอมโมเนียมในลำน้ำของสาหร่าย
α_1	คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสาหร่ายต่อไนโตรเจน (mgN/mg algae)
μ_a	คือ อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย (D^{-1})
$algae$	คือ ความเข้มข้นโดยมวลของสาหร่ายเริ่มต้นในลำน้ำ (mg algae /L)
TT	คือ เวลาการไหลของน้ำในลำน้ำ (D)

การเปลี่ยนความเข้มข้นของไนโตรเจนในลำน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.40

$$\Delta NO2_{str} = (\beta_{N,1} \cdot NH4_{str} - \beta_{N,2} \cdot NO2_{str}) \cdot TT \quad (2.40)$$

เมื่อ

$\Delta NO2_{str}$	คือ การเปลี่ยนความเข้มข้นของไนโตรเจนในลำน้ำ (mgN/L)
$\beta_{N,1}$	คือ ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอมโมเนียโดยจุลินทรีย์ (D^{-1})
$\beta_{N,2}$	คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนไนไตรต์ เป็นไนเตรท (D^{-1})
$NH4_{str}$	คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียมในลำน้ำ (mgN/L)
$NO2_{str}$	คือ ความเข้มข้นของไนไตรต์ เริ่มต้นในลำน้ำ (mgN/L)
TT	คือ เวลาการไหลของน้ำในลำน้ำ (D)

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทในลำน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.41

$$\Delta NO3_{str} = (\beta_{N,2} \cdot NO2_{str} - (1 - fr_{NH4}) \cdot \alpha_1 \cdot \mu_a \cdot algae) \cdot TT \quad (2.41)$$

เมื่อ

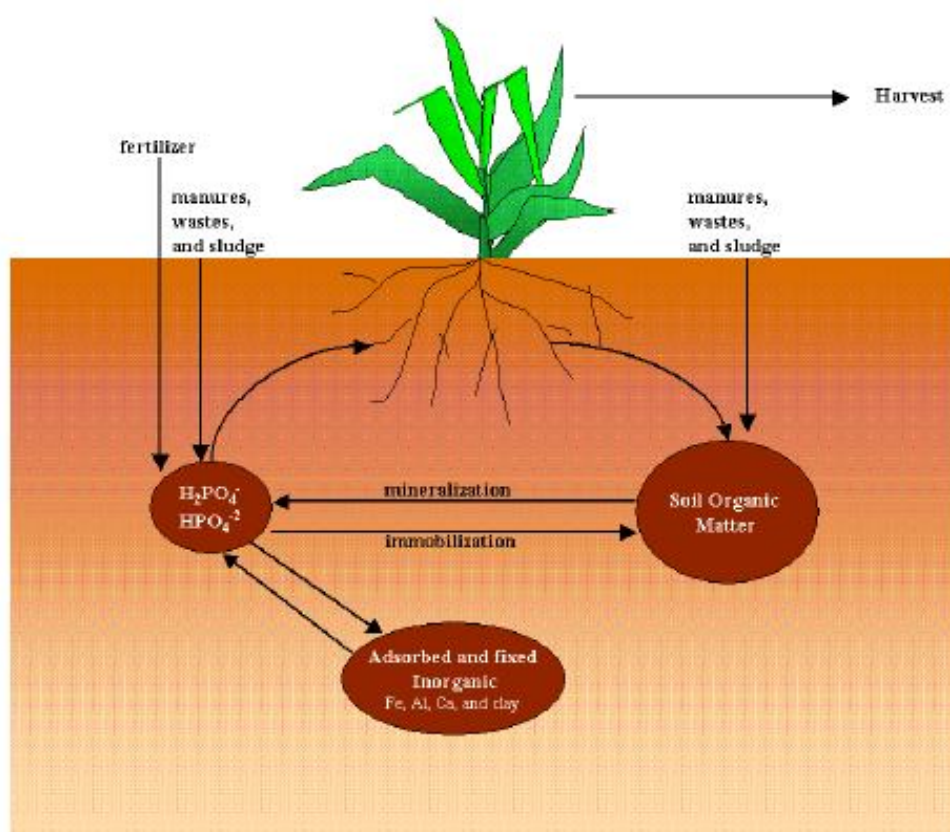
$\Delta NO3_{str}$	คือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทในลำน้ำ (mgN/L)
$\beta_{N,2}$	คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาในการเปลี่ยนไนไตรต์เป็นไนเตรท (D^{-1})
$NO2_{str}$	คือ ความเข้มข้นของไนไตรต์เริ่มต้นในลำน้ำ (mgN/L)
fr_{NH4}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้ไนโตรเจนจากแอมโมเนียมในลำน้ำของสาหร่าย
α_1	คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสาหร่ายต่อไนโตรเจน (mgN/mg algae)
μ_a	คือ อัตราการเจริญเติบโต (D^{-1})



algae คือ ความเข้มข้นโดยมวลของสาหร่ายเริ่มต้นในลำน้ำ (mg algae/L)
TT คือ เวลาการไหลของน้ำในลำน้ำ (D)

2.5.3 ปริมาณฟอสฟอรัส

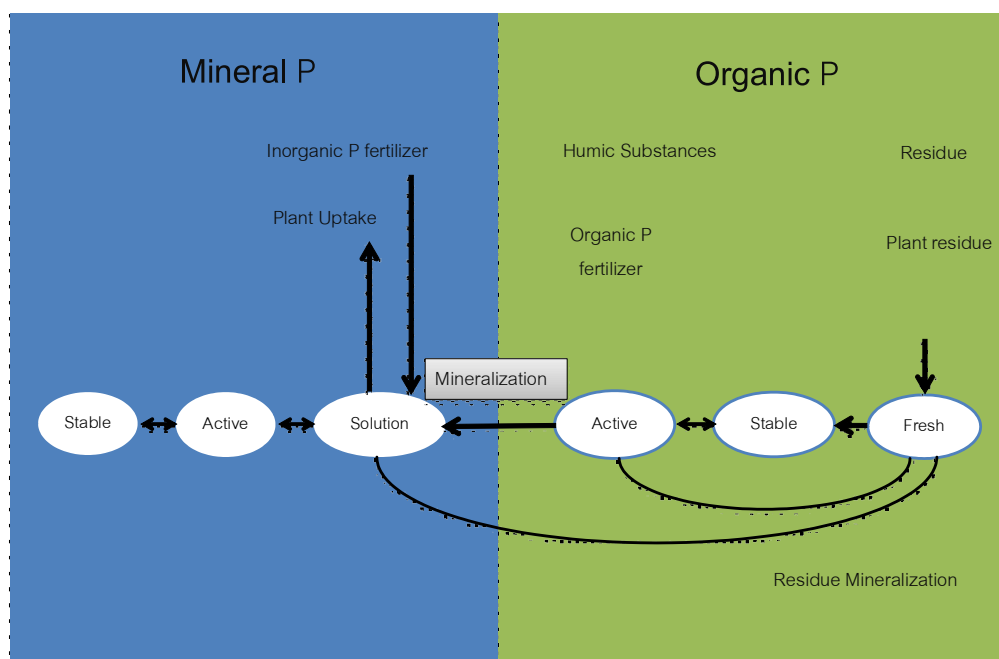
ฟอสฟอรัสในดินได้แก่ อินทรีย์ฟอสฟอรัสที่มาจากฮิวมัส อนินทรีย์ฟอสฟอรัสที่ไม่ละลายน้ำและสารละลายฟอสฟอรัสในดินที่พืชนำไปใช้ ฟอสฟอรัสถูกเพิ่มในดินโดยการใส่ปุ๋ย ปุ๋ยคอก หรือการย่อยสลายส่วนที่เหลือจากการเพาะปลูก ฟอสฟอรัสถูกนำออกจากดินไปโดยการนำไปใช้ของพืช หรือการกักตร่อนดังภาพประกอบ 2.5 ฟอสฟอรัสในดินยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ทั้ง 2 ส่วนแบ่งเป็น 6 แหล่งดังภาพประกอบ 2.6 อนินทรีย์ฟอสฟอรัส แบ่งเป็น สารละลาย แหล่งที่ไม่เสถียร และเสถียร อินทรีย์ฟอสฟอรัสแบ่งเป็น อินทรีย์ฟอสฟอรัสสด อินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปไม่เสถียรและเสถียร



ที่มา : Neitsch และคณะ (2009)

ภาพประกอบ 2.5 วัฏจักรฟอสฟอรัส





ที่มา : Neitsch และคณะ (2009)

ภาพประกอบ 2.6 แหล่งต่างๆของฟอสฟอรัสและกระบวนการเปลี่ยนแปลง

การจำลองฟอสฟอรัสมีการจำลองเป็น สองส่วนคือปฏิกิริยาฟอสฟอรัสในดินซึ่งจะกล่าวถึงการเปลี่ยนรูปของฟอสฟอรัสจากแหล่งต่างๆ การนำฟอสฟอรัสไหลลงสู่ลำน้ำและปฏิกิริยาฟอสฟอรัสในลำน้ำมีรายละเอียดดังนี้

2.5.3.1 ฟอสฟอรัสในดินเริ่มจำลองจากความสัมพันธ์ของฟอสฟอรัสในแหล่งต่างๆ ดังนี้

ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปไม่เสถียรคือ

$$\min P_{act,ly} = P_{solution,ly} \cdot \left(\frac{1-pai}{pai} \right) \quad (2.42)$$

เมื่อ

$\min P_{act,ly}$ คือ อนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปไม่เสถียร (mg/kg)

$P_{solution,ly}$ คือ สารละลายฟอสฟอรัส (mg/kg)

pai คือ ดัชนีการใช้ประโยชน์ฟอสฟอรัส

ความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปเสถียรดังสมการ 2.43

$$\min P_{sta,ly} = 4 \cdot \min P_{act,ly} \quad (2.43)$$



เมื่อ

$minP_{sta,ly}$ คือ อินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปเสถียร (mg/kg)

$minP_{act,ly}$ คือ อินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปไม่เสถียร (mg/kg)

ระดับของอินทรีย์ฟอสฟอรัสสร้างจากความสัมพันธ์ของอัตราส่วน N:P เท่ากับ 8:1 ความเข้มข้นของ Humic Organic Phosphorus ในชั้นดินคำนวณได้จากสมการที่ (2.44)

$$orgP_{hum,ly} = 0.125 \cdot orgN_{hum,ly} \quad (2.44)$$

เมื่อ

$orgP_{hum,ly}$ คือ ความเข้มข้นของ humic organic phosphorus (mg/kg)

$orgN_{hum,ly}$ คือ ความเข้มข้นของ humic organic nitrogen (mg/kg)

ฟอสฟอรัสในส่วน Humus จะถูกแบ่งส่วนระหว่างแหล่งไม่เสถียรและเสถียร โดยใช้อัตราส่วนของอินทรีย์ไนโตรเจนแบบไม่เสถียรและเสถียร ฟอสฟอรัสในรูปไม่เสถียรและเสถียร คำนวณได้ดังสมการ 2.45 และ 2.46

$$orgP_{act,ly} = orgP_{hum,ly} \cdot \frac{orgN_{act,ly}}{orgN_{act,ly} + orgN_{sta,ly}} \quad (2.45)$$

$$orgP_{sta,ly} = orgP_{hum,ly} \cdot \frac{orgN_{sta,ly}}{orgN_{act,ly} + orgN_{sta,ly}} \quad (2.46)$$

เมื่อ

$orgP_{act,ly}$ คือ อินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปไม่เสถียร (kg P/ha)

$orgP_{sta,ly}$ คือ อินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปเสถียร (kg P/ha)

$orgP_{hum,ly}$ คือ ความเข้มข้นของ humic organic phosphorus (kg P/ha)

$orgN_{act,ly}$ คือ อินทรีย์ไนโตรเจนในรูปไม่เสถียร (kg N/ha)

$orgN_{sta,ly}$ คือ อินทรีย์ไนโตรเจนในรูปไม่เสถียร (kg N/ha).

การเปลี่ยนเป็นอินทรีย์ฟอสฟอรัสจาก humus อินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปไม่เสถียรคำนวณได้จากสมการ 2.47

$$P_{min,ly} = 1.4 \cdot \beta_{min} \cdot (Y_{tmp,ly} \cdot Y_{sw,ly})^{\frac{1}{2}} \cdot orgP_{act,ly} \quad (2.47)$$



เมื่อ

 $P_{min,ly}$ คือ อินทรีย์ฟอสฟอรัสจาก *humus* อินทรีย์ฟอสฟอรัสไม่เสถียร (kg N/ha) θ_{min} คือ ค่าคงที่การเปลี่ยนเป็นสารอินทรีย์จากสารอาหารอินทรีย์ $orgP_{act,ly}$ คือ อินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปอินทรีย์ไม่เสถียร (kg N/ha) $Y_{tmp,ly}$ คือ ตัวแปรทางอุณหภูมิจากการหมุนเวียนธาตุอาหาร $Y_{aw,ly}$ คือ ตัวแปรทางน้ำจากการหมุนเวียนธาตุอาหาร

การเปลี่ยนเป็นอินทรีย์จากแหล่งอินทรีย์ฟอสฟอรัสสดดังสมการที่ 2.48

$$P_{min,ly} = 0.8 \cdot \delta_{ntr,ly} \cdot orgP_{frsh,ly} \quad (2.48)$$

เมื่อ

 $P_{min,ly}$ คือ อินทรีย์ฟอสฟอรัส (kg N/ha) $\delta_{ntr,ly}$ คือ ค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายของซากพืชที่เหลือ $orgP_{frsh,ly}$ คือ อินทรีย์ฟอสฟอรัสสด (kg N/ha)

อินทรีย์ฟอสฟอรัสจากแหล่งสดถูกสลายตัวไปแหล่งไม่เสถียร ดังสมการ 2.49

$$P_{dec,ly} = 0.2 \cdot \delta_{ntr,ly} \cdot orgP_{frsh,ly} \quad (2.49)$$

เมื่อ

 $P_{dec,ly}$ คือ ฟอสฟอรัสที่สลายตัวจากแหล่ง fresh organic P (kg N/ha) $\delta_{ntr,ly}$ คือ ค่าคงที่ของอัตราการย่อยสลายของซากพืชที่เหลือ $orgP_{frsh,ly}$ คือ อินทรีย์ฟอสฟอรัสสด (kg N/ha)

ปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดินสามารถคำนวณได้โดย
สมการ 2.50

$$P_{surf} = \frac{P_{solution,surf} \cdot Q_{surf}}{\rho_b \cdot depth_{surf} \cdot k_{d,surf}} \quad (2.50)$$

เมื่อ

 P_{surf} คือ ปริมาณฟอสฟอรัสละลายน้ำที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดิน (kgP/ha)

$P_{solution}$ คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่สามารถละลายน้ำได้ที่มียูในชั้นดิน 10 มิลลิเมตร
จากผิวดิน (kgP/ha)

 ρ_b คือ ค่าความหนาแน่นของชั้นดินในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) $depth$ คือ ความลึกจากผิวดิน (10 mm)

k_d คือ ค่าสัมประสิทธิ์สัดส่วนฟอสฟอรัสต่อดิน (m^3/Mg)

Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำผิวดิน ($\text{mm H}_2\text{O}$)

ปริมาณอินทรีย์และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปตะกอนที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดิน สามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.51

$$sedP_{surf} = 0.001 \cdot conc_{sedP} \cdot \frac{sed}{area_{hrn}} \cdot \varepsilon P_{sed} \quad (2.51)$$

เมื่อ

$sedP_{surf}$ คือ ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปตะกอนที่ถูกชะพาโดยน้ำท่าผิวดิน (kgP/ha)

$conc_{sedP}$ คือ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตะกอนในชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (mgP/t sed)

$sedP$ คือ ปริมาณตะกอนที่ถูกพัดพาโดยน้ำท่าผิวดิน (T)

$sedP_{surf}$ คือ พื้นที่ (ha)

ε คือ สัดส่วนการถูกพัดพาของฟอสฟอรัสต่อตะกอน

โดยที่

$$conc_{sedP} = 100 \cdot \frac{orgP_{frsh,surf} + orgP_{hum,surf} + minP_{sta,surf} - minP_{act,surf}}{\rho_b \cdot depth_{surf}} \quad (2.52)$$

เมื่อ

$orgP_{frsh,surf}$ คือ ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในซากพืชซากสัตว์สดในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (kgP/ha)

$orgP_{hum,surf}$ คือ ปริมาณอินทรีย์ฟอสฟอรัสในซากพืชซากสัตว์ที่ย่อยสลายแล้ว ในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (kgP/ha)

$minP_{sta,surf}$ คือ ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปที่เสถียรในช่วงชั้นดิน 10 mm จากผิวดิน (kgP/ha)

$minP_{act,surf}$ คือ ปริมาณอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในรูปที่ไม่เสถียรในช่วงชั้นดิน 10 มิลลิเมตรจากผิวดิน (kgP/ha)

ρ_b คือ ค่าความหนาแน่นของชั้นดิน (Mg/m^3)

$depth_{surf}$ คือ ความลึกจากผิวดิน (10 mm)

2.5.3.2 ฟอสฟอรัสในลำน้ำ สามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอินทรีย์ฟอสฟอรัส และอนินทรีย์ฟอสฟอรัสดังนี้

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอินทรีย์ฟอสฟอรัสในลำน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.53



$$\Delta orgP_{str} = (\alpha_2 \cdot \rho_a \cdot algae - \beta_{p,A} \cdot orgP_{str} - \sigma_5 \cdot orgP_{str}) \cdot TT \quad (2.53)$$

เมื่อ

$\Delta orgP_{str}$	คือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอินทรีย์ฟอสฟอรัสในลำน้ำ (mgP/L)
α_2	คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสาหร่ายต่อฟอสฟอรัส (mgP/mg algae)
ρ_a	คือ อัตราการตายของสาหร่าย (D^{-1})
$algae$	คือ ความเข้มข้นโดยมวลของสาหร่ายเริ่มต้นในลำน้ำ (mg mass algae/L)
$\beta_{p,A}$	คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการเปลี่ยนอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัส(D^{-1})
$orgP_{str}$	คือ ความเข้มข้นของอินทรีย์ฟอสฟอรัสเริ่มต้นในลำน้ำ(mgP/L)
σ_5	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตกตะกอนของอินทรีย์ฟอสฟอรัส (D^{-1})
TT	คือ เวลาการไหลของน้ำในลำน้ำ (D)

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในลำน้ำสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.54

$$\Delta solP_{str} = \left(\beta_{p,A} \cdot orgP_{str} + \frac{\sigma_2}{(1000 \cdot depth)} - \alpha_2 \cdot \mu_a \cdot algae \right) \cdot TT \quad (2.54)$$

เมื่อ

$\Delta solP_{str}$	คือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของอนินทรีย์ฟอสฟอรัสในลำน้ำ (mg P/L)
$\beta_{p,A}$	คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการเปลี่ยนอินทรีย์ฟอสฟอรัสเป็นอนินทรีย์ฟอสฟอรัส(D^{-1})
$orgP_{str}$	คือ ความเข้มข้นของอินทรีย์ฟอสฟอรัสเริ่มต้นในลำน้ำ (mg P/L)
$orgP_{str}$	คือ อัตราการเกิดฟอสฟอรัสละลายน้ำจากตะกอนในท้องน้ำ (mg P/m ² /D)
$depth$	คือ ความลึกของน้ำในลำน้ำ(m)
α_2	คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างสาหร่ายต่อฟอสฟอรัส (mg P / mg P algae)
μ_a	คือ อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย (D^{-1})
$algae$	คือ ความเข้มข้นโดยมวลของสาหร่ายเริ่มต้นในลำน้ำ (mg mass algae/L)
TT	คือ เวลาการไหลของน้ำในลำน้ำ (D)



2.5.4 ปริมาณ บีโอดี (Carbonaceous Biochemical Oxygen Demand, CBOD)

คือปริมาณออกซิเจนที่ต้องการสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ บีโอดี ถูกเพิ่มเข้าไปในลำน้ำจากน้ำท่าหรือจากแหล่งกำเนิดของเสีย ความสัมพันธ์ของบีโอดี ใช้สมการของ Thomann and Mueller ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

$$CBOD_{surf} = \frac{2.7 * orgC_{surf}}{Q_{surf} * area_{riv}} \quad (2.55)$$

เมื่อ

$CBOD_{surf}$ คือ ความเข้มข้นของ บีโอดี ในน้ำผิวดิน (mg บีโอดี/L)

$orgC_{surf}$ คือ ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่อยู่ในน้ำผิวดิน (kg orgC)

Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำผิวดิน (mm H₂O)

$area_{riv}$ คือ พื้นที่หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (km²)

โดย ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่อยู่ในน้ำผิวดิน คำนวณได้จากสมการ 2.56

$$orgC_{surf} = 1000 \frac{orgC_{surf}}{100} * sed * s_{Csed} \quad (2.56)$$

เมื่อ

$orgC_{surf}$ คือ ปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในน้ำผิวดิน

$orgC_{surf}$ คือ เปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์คาร์บอนในชั้นดินบนลึก 10 mm (%)

sed คือ ปริมาณตะกอนจากพื้นที่ของหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (metric tons)

s_{Csed} คือ อัตราส่วนการเพิ่มคาร์บอน

ภายในลำน้ำมี 2 กระบวนการที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงบีโอดี ซึ่งทั้ง 2 กระบวนการนี้ช่วยลดค่าบีโอดีในลำน้ำ การเปลี่ยนแปลงบีโอดีในลำน้ำในแต่ละวันคำนวณได้ดังสมการ 2.57

$$\Delta CBOD = -(k_1 * CBOD + k_3 * CBOD) * TT \quad (2.57)$$

เมื่อ

$\Delta CBOD$ คือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นบีโอดี (mg CBOD/L)

$CBOD$ คือ ความเข้มข้นบีโอดี (mg CBOD/L)

k_1 คือ บีโอดี Deoxygenation rate (day⁻¹)

k_3 คือ settling loss rate of CBOD (day⁻¹ or hr⁻¹)

TT คือ ช่วงเวลาการไหลของน้ำในแต่ละลำน้ำ (day or hr)



2.5.5 ปริมาณออกซิเจนในลำน้ำ (Oxygen Demand, DO)

DO เป็นค่าของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$Ox_{surf} = Ox_{sat} - k_1 * CBOD_{surf} * \frac{t_{ov}}{24} \quad (2.58)$$

เมื่อ

Ox_{surf} คือ ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในน้ำผิวดิน (mg O₂/L)

Ox_{sat} คือ ความเข้มข้นของออกซิเจนอิ่มตัว (mg O₂/L)

k_1 คือ ปีโอดี deoxygenation rate (day⁻¹)

t_{ov} คือ time of concentration ของการไหลในผิวดิน (hr)

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่า DO ในลำน้ำแสดงดังสมการ 2.59

$$\frac{\Delta Ox_{str}}{1000 - depth} = \left[k_2 * (Ox_{sat} - Ox_{str}) + (\alpha_3 * \mu_\alpha - \alpha_4 * \rho_\alpha) * algae - k_1 * CBOD - \alpha_5 * \beta_{N,1} * NH4_{str} - \alpha_6 * \beta_{N,2} * NO2_{str} \right] * TT \quad (2.59)$$

เมื่อ

ΔOx_{str} คือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในลำน้ำ (mg O₂/L)

k_2 คือ Reaeration rate for Fickian diffusion (day⁻¹ or hr⁻¹)

Ox_{sat} คือ ความเข้มข้นของออกซิเจนอิ่มตัว (mg O₂/L)

Ox_{str} คือ ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในลำน้ำ (mg O₂/L)

α_3 คือ อัตราการเกิดออกซิเจนต่อหน่วยของสาหร่าย (mg O₂/mg alg)

μ_α คือ อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะที่ของสาหร่าย (day⁻¹ or hr⁻¹)

α_4 คือ อัตราการดูดซึมออกซิเจนต่อหน่วยของสาหร่าย (mg O₂/mg alg)

ρ_α คือ อัตราส่วนการหายใจของสาหร่าย (day⁻¹ or hr⁻¹)

$algae$ คือ ความเข้มข้นของมวลสาหร่าย (mg alg/L)

k_4 คือ ปริมาณความต้องการออกซิเจนของตะกอนท้องน้ำ (mg O₂/(m² day))

$depth$ คือ ความลึกของน้ำในลำน้ำ (m)

α_5 คือ อัตราการดูดซึมออกซิเจนต่อหน่วยการออกซิเดชันของ NH₄⁺
(mg O₂/mg N)

$\beta_{N,1}$ คือ อัตราส่วนค่าคงที่การออกซิเดชันโดยไม่ใช้สารเคมีของ NH₄⁺
(day⁻¹ or hr⁻¹)

$NH4_{str}$ คือ ความเข้มข้นของ NH₄⁺ (mg N/L)

α_6 คือ อัตราการดูดซึมออกซิเจนต่อหน่วยการออกซิเดชันของ NO₂⁻
(mg O₂/mg N)



β_{NO_2} คือ อัตราส่วนค่าคงที่การออกซิเดชันโดยไม่ใช้สารเคมีของ NO_2^-
(day⁻¹ or hr⁻¹)

$NO_{2, str}$ คือ ความเข้มข้นของ NO_2^- (mg N/L)

TT คือ ช่วงเวลาการไหลของน้ำในแต่ละลำน้ำ (day or hr)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แบ่งกลุ่มบทวนการศึกษาออกเป็น 3 ด้านได้แก่ การศึกษาเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับปริมาณและคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำ และผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมีรายละเอียดดังนี้

2.6.1 การศึกษาเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

Suppakorn Chinvanno และ Thanat Choengbunluesak (2006) ใน Final Report on Climate Change Scenarios for Songkram River Basin ศึกษาเกี่ยวกับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศสำหรับลุ่มน้ำสงครามแม่น้ำ จากผลของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศมีความละเอียดสูงสำหรับทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยใช้ซอฟต์แวร์ Conformal Cubic Atmospheric Model (CCAM) จำลองภายใต้เงื่อนไขของความเข้มข้นของ CO_2 เพิ่มขึ้นในชั้นบรรยากาศโดย 1.5 และ 2 เท่าของเวลาปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตของลุ่มน้ำสงครามครั้งนี้ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดจะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยอย่างไร ระยะเวลาที่ร้อนประจามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นและในทางตรงกันข้ามในช่วงเย็นจะสั้นลง เกิดฝนมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดทั้งลุ่มน้ำ

Tao Jiang (2007) ได้ศึกษา เปรียบเทียบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับ 6 จำลองทางอุทกวิทยาได้แก่ Thornthwaite - Mather (TM), Vrije Universiteit Brussel (VUB), Xinanjiang (XAJ), Guo (GM) WatBal (WM), และรุ่น Schaake (SM) ใน Dongjing ประเทศจีนพบว่า จากการวิเคราะห์พบว่า (1) ทุกรุ่นหกแนวคิดที่คล้ายกันมีความสามารถในการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบสมดุลของน้ำ(reproducing historical) (2) ความแตกต่างมากขึ้นเกิดจากผลการสันนิษฐานเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในโมเดลที่จะใช้ในการจำลองผลกระทบทางอุทกวิทยา; และ (3) โมเดลไม่มีเกณฑ์ในการจำลองความของดิน มีผลในการทำนายมากกว่าแบบจำลองที่มีเกณฑ์ความชื้นของดิน

ศุภกร ชินวรรณโณ และคณะ (2009) ได้ศึกษาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำชี-มูลโดยใช้แบบจำลอง PRECIS ซึ่งใช้ข้อมูลตั้งต้นจากแบบจำลอง ECHAM4 คาดการณ์สภาพอากาศล่วงหน้า ตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรือนกระจกซึ่งคาดว่าจะเพิ่มในอนาคตแบบ A2 ตามกำหนดของ IPCC ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศในอดีตโดยแบบจำลองภูมิอากาศยังมีความคลาดเคลื่อนจากผลของการตรวจวัด การปรับผลจากวิธี rescale โดยใช้ความแตกต่างระหว่างผลของการคำนวณโดยใช้แบบจำลองและผลของการตรวจวัดช่วยลดความคลาดเคลื่อน ผลสรุปแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในลุ่มน้ำชี-มูลมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นและมีช่วงเวลาที่อากาศร้อนยาวนานขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และปริมาณฝนในรอบปีมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน



2.6.2 เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับปริมาณน้ำ

MIDDELKOOP (2001) ใช้แบบจำลอง UKHI และ XCCC GCM ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับวัฏจักรทางอุทกวิทยาและการจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มแม่น้ำไรด์พบว่า UKHI และ XCCC GCM มีผลแสดงให้เห็นความแตกต่าง ขึ้นกับ ระดับของ Spatial and Temporal และค่า Representations of several Hydrological Processes เช่น ศักยภาพการระเหย อัตราการละลายของหิมะ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสามารถส่งผลกระทบต่อภาคเศรษฐกิจและสังคมต่างๆ อุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจส่งผลการท่องเที่ยวและกีฬาในช่วงฤดูหนาว การเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาจะเพิ่มความเสี่ยงน้ำท่วมในช่วงฤดูหนาว ในขณะที่ปริมาณน้ำในช่วงฤดูร้อนจะมีผลกระทบการนำทาง (Inland Navigation) และมีน้ำสำหรับการเกษตรและอุตสาหกรรมลดลง ความสมดุลระหว่างค่าใช้จ่ายทาง เศรษฐกิจและความไม่แน่นอนของสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จึงต้องมีนโยบาย “no-regret and flexibility” ถูกแนะนำมาใช้ในการวางแผนการจัดการน้ำและการออกแบบที่จะแนะนำมาตรการการปรับตัวล่วงหน้าในการตอบสนองต่อผลกระทบการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและดำเนินกิจกรรมร่วมกันอย่างต่อเนื่อง

Wilby (2006) ได้สร้างแบบจำลองแบบบูรณาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำและคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำ: แม่น้ำ Kennet, UK ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศภาพฉายอนาคตต่างๆ ส่งผลกระทบวัฏจักรของน้ำที่ต่างกันเห็นได้ชัดเจนที่สุดคือในช่วงฤดูร้อนที่ยาวนานขึ้น ความรุนแรงของชะล้างสารอาหารมีแนวโน้มปัญหาในระยะยาว ในด้านคุณภาพน้ำผิวดิน และชัดเจนว่ามาจากการเปลี่ยนชนิดของ GCM-derived projections

Koontanakulvong (2011) ศึกษาเปรียบเทียบข้อมูล GCM และการประยุกต์ใช้กับมาตรการปรับตัวจากภัยพิบัติทางน้ำในประเทศไทยโดยศึกษาข้อมูลแบบจำลอง GCM ที่สามารถใช้ได้ และเปรียบเทียบ downscaled ข้อมูล GCM กับข้อมูลที่พบในท้องถิ่นพบว่าแบบจำลอง MRIGCM ให้ค่าที่เหมาะสม และถูกนำมาวิเคราะห์สำหรับเหตุการณ์ที่รุนแรง (one, five day maximum rainfall and consecutive dry day) การกระจายในแต่ละ period เช่น past, near future, far future การวิเคราะห์ข้อมูลถูกซ้อนทับกับข้อมูลดินถล่มน้ำท่วมและภัยแล้งบนแผนที่ความเสี่ยงของประเทศไทยในปัจจุบัน, การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในระดับความรุนแรงของแต่ละ Grid และในระดับหมู่บ้าน ได้แผนที่ความเสี่ยงใหม่ของดินถล่ม น้ำท่วมและภัยแล้งภายใต้สถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การประยุกต์ใช้ดังกล่าวได้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศจะนำไปสู่เครื่องมือวัดยังพื้นที่ ที่ได้รับผลกระทบที่เหมาะสม และการวางแผนงบประมาณที่ดีขึ้นของประเทศ

Sucharit Koontanakulvong (2011) ศึกษาเปรียบเทียบ GCM 3 โมเดลคือ MRI/ ECHAM4/ CCCMA3 ทำการ Downscale และเปรียบเทียบกับปัจจุบันหาโมเดลที่ดีที่สุด ใช้โมเดลที่ดีที่สุดไปคาดการณ์ภัยพิบัติทางน้ำ ผลการศึกษพบว่า Downscale MRI เหมาะสมที่จะใช้ศึกษาต่อและนำ Downscale MRI ไปสร้างแผนที่ภัยพิบัติทางน้ำ ได้แก่แผนที่ความเสี่ยงที่จะเกิดน้ำท่วม ภัยแล้งและดินถล่ม ความรุนแรงและผลกระทบจากภัยพิบัติทางน้ำ และเสนอมาตรการการปรับตัวต่อภัยพิบัติทางน้ำ



2.6.3 เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับคุณภาพน้ำ

Mimikou และคณะ (2000) ประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับปริมาณทรัพยากรน้ำกับตัวชี้วัดทางคุณภาพน้ำ โดยแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก 2 แบบจำลองคือ HadCM2 และ UKHI ใช้ WBUDG เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาและใช้ R-Qual เป็นการจำลองทางคุณภาพน้ำ โดยจำลองในตอนกลางของ Greece ทั้งสอง GCMs แนะนำว่าในลุ่มน้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น และมีฝนตกน้อยลงและการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณน้ำท่ารายเดือน มากไปกว่านั้นส่งผลถึงการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของคุณภาพน้ำเนื่องจากการลดลงของปริมาณน้ำ

Prathumratana และคณะ (2008) หาคความสัมพันธ์ ของ พารามิเตอร์ของ ภูมิอากาศ กับอุทกวิทยา และพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำโดยใช้ ข้อมูลของ MRC ของแม่น้ำโขงตอนใต้ที่ไหลผ่าน 4 ประเทศโดยใช้ Pearson's correlation กำหนดความสัมพันธ์กันของ precipitation, evaporation, average air temperatures, mean water level and discharge flow กับ TSS, NO_3^- , PO_4^{3-} , DO, pH, conductivity, Ca, Mg, Na, K, alkalinity, Cl, SO_4^{2-} , Fe, TP, Si and COD ผลการศึกษาสรุปว่า TSS, NO_3^- , PO_4^{3-} , TP, and COD มีความสัมพันธ์อ่อนในเชิงบวก กับ ระดับอัตราการไหลเฉลี่ย และอุณหภูมิเฉลี่ย อย่างไรก็ตาม DO, pH, conductivity, Ca, Mg, Na, K, alkalinity, Cl, SO_4^{2-} and Si มีความสัมพันธ์ในเชิงลบอย่างรุนแรง กับทุกพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยา

Huang (2009) ใช้แบบจำลองลุ่มน้ำทางอุทกวิทยา SWAT, 2000 Version ไปประยุกต์ใช้ในการจำลองปริมาณน้ำและปริมาณสารอาหารใน Gucheng Lake Basin ซึ่งอยู่ตอนใต้ของ Yangtze River Basin ค่าที่จำลองได้กับค่าที่วัดให้ผลที่ยอมรับได้ จากนั้นศึกษาเปรียบเทียบปี 1981–2000 และปี 1951–1960 โดยพิจารณาจากการถูกบุกรุกของทะเลสาบในปี 1970 ประมาณ 1 ใน 3 ของปี 1950 พบว่าเมื่อทะเลสาบถูกบุกรุกจะมีปริมาณน้ำท่าและปริมาณปุ๋ยมากขึ้น

Wang และคณะ (2010) จำลองการอนุรักษ์และการฟื้นฟูพื้นที่ชุ่มน้ำกับปริมาณน้ำ และคุณภาพในระดับลุ่มน้ำ โดยใช้ SWAT ในการศึกษาผลการศึกษาพบว่าในการสูญเสียพื้นที่ชุ่มน้ำ 10-20% ใน Manisota ทำให้เกิดการขึ้นลงอย่างรวดเร็วของ อัตราการไหล ปริมาณตะกอน ฟอสฟอรัสรวม (TP) และไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ในทางกลับกันต้องสูญเสียถึง 50-80% ในพื้นที่ชุ่มน้ำ Manitota

จตุพร ปัญญาวัฒน์ (2010) ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT2000/GIS ในการประเมินการกระจายตัวของธาตุอาหารเชิงพื้นที่จากลุ่มน้ำอุ้งตะเภาลงสู่ทะเลสาบสงขลา ผลลัพธ์ที่ได้หลังการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง SWAT 2000/GIS กับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดบริเวณปากคลองอุ้งตะเภา (SK10) มีดังนี้ 1. Mineral Nitrogen มีสัมประสิทธิ์ความแตกต่างสัมพัทธ์เท่ากับ 30.40 เปอร์เซนต์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.1 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลเท่ากับ -2.74 และ Total Phosphorus มีสัมประสิทธิ์ความแตกต่างสัมพัทธ์เท่ากับ -129.4 เปอร์เซนต์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.04 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิผลเท่ากับ -23.07 ทั้งยังสรุปว่าผลการศึกษาแบบจำลอง SWAT 2000/GIS ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการประเมินการกระจายตัวของธาตุอาหารบริเวณปากคลองอุ้งตะเภาของประเทศไทย เนื่องจากมีข้อจำกัดคือ ข้อมูลคุณภาพน้ำทุติยภูมิบนลุ่มน้ำอุ้งตะเภาที่ได้จากหน่วยงานราชการยังไม่คุณภาพเพียงพอที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบ และตัวแปรในแบบจำลองไม่ครอบคลุมถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อธาตุอาหาร แต่สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการประเมินคุณภาพน้ำในพื้นที่อื่นในประเทศไทยได้



Oeurng และคณะ (2011) ใช้ แบบจำลอง SWAT จำลองผลิตผลของปริมาณน้ำท่า การตกตะกอนและปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน ในพื้นที่กสิกรรมขนาดใหญ่ในตะวันตกเฉียงใต้ของ ประเทศฝรั่งเศส พบว่ามีฝน 726 mm จำแนกเป็น ค่าศักย์การระเหย 78.3% ซึมลงใต้ดินและกลับคืน ลำน้ำ 14.1% สูญเสียอื่นๆ 0.5% กลายเป็นน้ำท่า 7.1% ปริมาณตะกอนรายปีมีตะกอนอยู่ในช่วง 4 - 110 ตันต่อตารางกิโลเมตร (ค่าเฉลี่ยรายปี 48 ตันต่อตารางกิโลเมตร) ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนมี ปริมาณ 0.1-2.8 ตันต่อตารางกิโลเมตร (ค่าเฉลี่ยรายปี 1.2 ตันต่อตารางกิโลเมตร) ทั้งยังสามารถหา ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและปริมาณตะกอนได้

ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ (2011) วัดน้ำท่าและเก็บตัวอย่างตะกอนที่ฝายหลวงในลำน้ำ พูล อำเภอลับแล จังหวัดอุตรดิตถ์ ในช่วงวันที่ 27 กค 2553-31 ตค. 2553 นำมาสร้างสมการ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอยกับปริมาณการไหลได้ความสัมพันธ์คือ $y = 13.82x^{1.511}$ เมื่อ y คือ ปริมาณตะกอน x คือ ปริมาณการไหล และนำค่าความสัมพันธ์ไปหาปริมาณตะกอนรายวัน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง SWAT ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการสูญเสียดินระดับ ความรุนแรงในการสูญเสียดินระดับน้อยร้อยละ 95.14 ระดับปานกลาง ร้อยละ 3.5 และระดับรุนแรง 1.36 ทั้งยังพบว่าเมื่อจำลองสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีป่าไม้มากขึ้น จะทำให้น้ำท่านอกช่วงฤดู ฝนมากขึ้นในช่วงฤดูฝนลดลง ปริมาณตะกอนลดลงทั้งในและนอกช่วงฤดูฝนรวมทั้งการสูญเสียดินในลำ น้ำลดลง

QIU และคณะ (2012) ใช้แบบจำลอง SWAT จำลองปริมาณน้ำท่าและตะกอนในพื้นที่ กลุ่มน้ำขนาดเล็กในภูมิภาคที่มีลักษณะเนินของประเทศจีน ผลการศึกษาพบว่าการประเมินปริมาณน้ำท่า รายวันให้ผลที่สามารถยอมรับได้ แต่ในช่วงที่น้ำท่าสูงสุดจะต่ำกว่าที่ตรวจวัด สำหรับการตกตะกอนให้ ค่าที่ต่ำกว่าทั้งการเปรียบเทียบและสอบเทียบเป็นเพราะข้อมูลของ SCS-NC และ MULSE ในกลุ่มน้ำมีน้อย การศึกษานี้ยังชี้ให้เห็นถึงการพัฒนา SWAT ที่ต้องการความเข้มฝนและช่วงเวลาที่ให้น้ำท่าสูงสุด และการตกตะกอนที่มากขึ้นในช่วงเวลาที่ฝนตกหนัก

Omani และคณะ (2012) ได้ประมาณปริมาณตะกอนและสารอาหาร ใน Texas Coastal Watersheds ด้วยแบบจำลอง SWAT โดยเปรียบเทียบกลุ่มน้ำย่อย 2 กลุ่มน้ำที่มีการใช้ที่ดิน ต่างกัน โดย Galveston Bay ตัวแทนสภาพการเป็นชุมชนเมืองและ Matagorda Bay ตัวแทนสภาพ การเป็นชุมชนชนบท การเปรียบเทียบและสอบเทียบแบบจำลองพบว่ามีความสัมพันธ์ที่ดีต่อกัน ค่า R^2 0.65 ถึง 0.88 ค่า NSE 0.55 ถึง 0.75 ของการเปรียบเทียบ ค่า R^2 0.53 ถึง 0.67 NSE 0.43 ถึง 0.50 สำหรับการสอบเทียบ ค่าการกัดเซาะในลำน้ำมีค่า 33% และ 27% สำหรับ Matagorda Bay และ Galveston Bay การเปรียบเทียบรายเดือนระหว่างค่าที่วัดได้กับการคำนวณของปริมาณสารอาหาร แสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีสำหรับการคาดการณ์อินทรีย์ไนโตรเจนและอินทรีย์ฟอสฟอรัส แต่ไม่ดีสำหรับการ คาดการณ์อินทรีย์ไนโตรเจนและอินทรีย์ฟอสฟอรัส Matagorda Bay ผลิตปริมาณไนโตรเจน ทั้งหมด แค่ 38% และ 40% ของฟอสฟอรัสทั้งหมด จาก ขณะที่ Galveston Bay มีปริมาณฟอสฟอรัส ทั้งหมด 49% มีการเพิ่มขึ้นถึง 30% ในไนโตรเจนทั้งหมด จาก Galveston Bay ลงสู่อ่าวซึ่งเป็นผลมา จากความเข้มข้นของไนโตรเจนที่สูงขึ้น ปริมาณการสะสมสารอาหารสูงอาจเกิดจากการทับถมของ ตะกอนสูงขึ้นในลำน้ำ



ศรายุทธ วงศาศรี (2012) ได้ศึกษาเพื่อประเมินปริมาณและคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำพองตอนล่างอันเนื่องมาจากอุตสาหกรรมเอทานอลโดยใช้แบบจำลอง SWAT โดยจำลองสถานการณ์ 2 ส่วน คือ การจำลองสถานการณ์ปริมาณน้ำท่า และการจำลองสถานการณ์คุณภาพน้ำ (CBOD และ DO) จากผลการจำลองสถานการณ์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าคือ สถานการณ์จำลองการเพิ่มพื้นที่การปลูกพืชพลังงาน 26.6% ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำลดลงสูงสุดเพียง 1.08% ซึ่งถือว่ามิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าน้อยมาก ส่วนการจำลองสถานการณ์ของคุณภาพน้ำ ในสถานการณ์จำลองการเพิ่มพื้นที่การปลูกพืชพลังงาน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำน้อยมากจนถือว่าไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ แต่ในส่วนของการจำลองสถานการณ์การก่อตั้งโรงงานอุตสาหกรรมเอทานอล โดยจำลองการก่อตั้งโรงงาน 2 แห่งคือ แห่งแรกที่ช่วงระหว่างท้ายเขื่อนอุบลรัตน์จนถึงฝายหนองหวาย และอีกแห่งระหว่างช่วงท้ายฝายหนองหวายจนถึงจุดบรรจบระหว่างลำน้ำพองกับลำน้ำชี ผลจากการจำลองสถานการณ์พบว่า หากมีการก่อตั้งโรงงานอุตสาหกรรมเอทานอลในช่วงท้ายฝายหนองหวายลงไปจนถึงจุดบรรจบระหว่างลำน้ำพองกับลำน้ำชี จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินจากประเภทที่ 3 ไปเป็นประเภทที่ 4 ในฤดูแล้ง

กนกพร เลิศเดชา และคณะ (2015) ศึกษาอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนของแม่น้ำในภาคเหนือของไทยโดยพัฒนาดัดแปลงสมการ Laursen และอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนที่วัดจากสนามจริง มาทดสอบกับแม่น้ำน่านและแม่น้ำกก พบว่าในปี 1992-1994 มีตะกอนอยู่ระหว่าง 2,400-13,000 ตัน/วัน อัตราการไหลอยู่ระหว่าง 50-480 ลบ.ม./วินาที

ปริยาพร โกษา และคณะ (2015) ได้ประเมินปริมาณน้ำท่าและตะกอนที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำลำพระเพลิงด้วยแบบจำลอง SWAT โดยใช้แผนที่การใช้ที่ดินปี 2008 มีพื้นที่เหนืออ่างเก็บน้ำเท่ากับ 680 ตารางกิโลเมตรคิดเป็นร้อยละ 29.5 ของพื้นที่ การศึกษาใช้ข้อมูลอากาศปี 1981-2009 พบว่าที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี 20 ปี 50 ปี 100 ปี มีปริมาณน้ำท่ารายปี 261 291 378 และ 568 ล้านลูกบาศก์เมตรและมีปริมาณตะกอนรายปี 784,900 858,500 1,080,000 และ 1,607,000 ตันตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณตะกอนและน้ำท่าแปรผันตรงต่อปริมาณน้ำฝน

2.6.4 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

พรชัย ปรีชาปัญญา (2000) ศึกษาคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่ทะลาย อำเภอมะนัง จังหวัดเชียงใหม่ จากพื้นที่ใช้ประโยชน์ที่ดินต่างกัน ดำเนินการในปี พ.ศ. 2541 พบว่าค่าตะกอนแขวนลอยทุกพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยบริเวณปลูกชาแบบขั้นบันไดมีค่ามากที่สุด และค่าที่ได้ทั้งลุ่มน้ำไม่อยู่ในระดับไม่อันตรายต่อการบริโภค และสิ่งที่มีชีวิตอื่นๆ ค่าตะกอนแขวนลอยมีความสัมพันธ์กับค่าโปร่งแสง ในรูปสมการ $Y = 765.83 - 3.6260 X$, $r^2 = 0.3914$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย Y เป็นค่าตะกอนแขวนลอย (มิลลิกรัม ต่อ ลิตร) และ X เป็นค่าความลึกของน้ำในหลอดแก้ว 500 cc มองเห็นวัตถุสีแดง และจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ในน้ำเป็นดัชนี พบว่าน้ำในลำธารทั้งสายมีคุณภาพไม่แตกต่างกัน

โอฬาร เวศุโร (2005) ใช้แบบจำลอง SWAT ประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ต่อค่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนของลุ่มน้ำน่านตอนบน โครงข่ายลำน้ำจำลองจากข้อมูล DEM ใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินในปี 1977 1994 และ 2001 ในการเปรียบเทียบ ใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนที่ตรวจวัดต่อเนื่องประมาณ 5-10 ปี ของแต่ละช่วงการเปลี่ยนแปลง มาใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง โดยผลจากการใช้ SWAT พบว่าโครงข่ายลำน้ำที่จำลองขึ้นมีสภาพใกล้เคียงกับสภาพลำน้ำจริง และปริมาณ



น้ำท่าที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าจากการตรวจวัดในขนาดที่ยอมรับได้ วิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์พบว่าส่วนใหญ่พารามิเตอร์ที่อ่อนไหวคือ ปริมาณน้ำที่ยอมให้มีในดิน และค่า Curve Number (CN) แบบจำลองที่ได้รับการปรับเทียบของแต่ละช่วงการเปลี่ยนแปลง ถูกนำมาใช้ประมาณค่าปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลตรวจวัดน้ำฝนรายวันในช่วงปี 1998-2002 เพื่อประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดิน นอกจากนี้ ยังได้กำหนดกรณีการเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันอีก 3 กรณี คือ กรณีพื้นที่ป่าเพิ่มขึ้น กรณีพื้นที่การเกษตรเพิ่มขึ้น และกรณีพื้นที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้น ซึ่งในทุก ๆ กรณีแบบจำลองให้ผลที่แตกต่างกันแสดงถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า และแสดงให้เห็นว่าการศึกษานี้สามารถแสดงให้เห็นประโยชน์ของการประยุกต์ใช้ แบบจำลอง SWAT ในการวางแผนพัฒนาและบริหารจัดการลุ่มน้ำ

Tu (2009) ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าและคุณภาพน้ำใน Eastern Massachusetts, ประเทศสหรัฐอเมริกา วิเคราะห์โดยใช้ ArcView Generalized Watershed Loading Function (AGWLF) พบว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงการกระจายฤดูกาลของปริมาณน้ำท่าและภาระไนโตรเจนมากกว่าการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยรายปี ทั้งยังพบว่าน้ำท่ารายเดือนช่วงฤดูฝนช้าลง มีฤดูหนาวที่มากขึ้นและ ภาระไนโตรเจนที่ไหลลงลำน้ำก็ช้าลงในฤดูฝนและมีการเพิ่มขึ้นอย่างมากในฤดูหนาว ขณะที่ไนโตรเจนไม่ผลิตและฤดูร้อนมีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

Maite และคณะ (2010) ศึกษาผลกระทบของการขยายตัวของยางพาราในพื้นที่ลุ่มน้ำเขตร้อนชื้น โดยการประเมินการคายระเหยน้ำ (ET) ของยางพารา โดยคิดเป็นสัดส่วนการดูดน้ำของรากจากการวิเคราะห์ชีพลักษณะของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงและความต้องการของพืชน้ำที่สอดคล้องกัน (ความต้องการระเหย) ผลการวิเคราะห์แนะนำว่ามีน้ำหายไปอย่างมากจากการปลูกยางพาราเป็นหลัก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการลดลงปริมาณน้ำท่าในลำน้ำ

Mango และคณะ (2011) ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าของ Mara River Basin, Kenya โดยใช้แบบจำลอง SWAT ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนพื้นที่ต้นน้ำเป็นพื้นที่ป่าเพื่อการเกษตรและทุ่งหญ้า ปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มลดลงมากกระแสน้ำฤดูแล้งและปริมาณการไหลสูงสุดเพิ่มมากขึ้น นำไปสู่การขาดแคลนนํ้ามากขึ้นในช่วงเวลาที่สำคัญของปี และมีการกัดเซาะรุนแรงสภาพภูมิประเทศที่เป็นเนินเขา

สมพินิจ เหมืองทองคำ (2013) ศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำสงคราม โดยใช้เทคนิคหัตถ์แปร พบว่าคุณภาพน้ำในแม่น้ำสงครามอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำใช้เพื่อการเกษตร การใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำสงครามในปี 2002 และปี 2009 มีการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่เกษตรกรรมลดลงร้อยละ 7 พื้นที่ป่าไม้เพิ่มขึ้นร้อยละ 3 พื้นที่อยู่อาศัยและแหล่งชุมชน พื้นที่แหล่งน้ำและพื้นที่อื่นๆ มีพื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 การวิเคราะห์ยังแบ่งระบบนิเวศลุ่มน้ำออกเป็น ระบบนิเวศต้นน้ำ กลางน้ำ และท้ายน้ำ ซึ่งระบบนิเวศตอนกลางลุ่มน้ำมีความนำไฟฟ้า และปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำสูงกว่าระบบนิเวศต้นน้ำและท้ายน้ำ เนื่องจากพื้นที่บริเวณตอนกลางของลุ่มน้ำมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ไปเป็นพื้นที่อยู่อาศัยของชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม และโรงงานผลิตอาหารสัตว์ ส่วนระบบนิเวศท้ายน้ำมีค่า BOD สูงกว่าระบบนิเวศต้นน้ำและท้ายน้ำ



ปฐมพงศ์ ผลสนองและวิเชียร ปลื้มกมล (2015) ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณตะกอนในพื้นที่ต้นน้ำลุ่มน้ำยม ศึกษาใน 4 ลุ่มน้ำย่อยคือ ลุ่มน้ำห้วยก้อดยาว ลุ่มน้ำห้วยเหมือง ลุ่มน้ำห้วยหมาโน 1 และลุ่มน้ำห้วยหมาโน 2 โดยใช้แบบจำลอง SWAT ข้อมูลที่ใช้ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่าและปริมาณตะกอนที่วัดได้จากการติดตั้งเครื่องมือวัด แผนที่การใช้ที่ดินปี 2005 และปี 2009 ผลการศึกษาพบว่าลุ่มน้ำที่มีพืชไร่เป็นหลักจะทำให้เกิดตะกอนมากกว่าลุ่มน้ำที่ปลูกไม้ยืนต้นหรือป่าไม้เป็นหลัก

ในการศึกษาแต่ละด้านทำให้สามารถพิจารณาสรุปสาระสำคัญเพื่อนำมาใช้ในการศึกษาดังนี้

ในด้านการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พบว่าแบบจำลองระบบภูมิอากาศของโลก เป็นแบบจำลองที่ใช้การทำนายการเปลี่ยนแปลงสภาวะทางภูมิอากาศในอนาคตที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบัน หลายๆการศึกษาใช้ GCMs ในการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของสภาพภูมิอากาศในอนาคต เช่น ใช้แบบจำลอง UKHI และ XCCC ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในลุ่มแม่น้ำไรต์ (MIDDELKOOP H, 2001) หรือ การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับปริมาณทรัพยากรน้ำกับตัวชี้วัดทางคุณภาพน้ำ โดยแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกคือ HadCM2 และ UKHI โดยจำลองในตอนกลางของ (Greece et al, 2000) ผลลัพธ์ของ GCMs ให้ผลลัพธ์ในพื้นที่กว้างประมาณ 300x300 ตารางกิโลเมตร ไม่สามารถใช้อธิบายถึงสภาพภูมิอากาศของภูมิภาคหรือประเทศที่มีพื้นที่ไม่มากได้ แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศระดับภูมิภาคที่ถูกย่อส่วนจาก GCM แล้วได้แก่แบบจำลอง PRECIS ได้รับความนิยมแพร่หลายมากยิ่งขึ้นเนื่องจากมีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ขนาดเล็กและขนาดกลาง มีหลายการศึกษาได้ใช้แบบจำลองนี้เช่น Guillaume Lacombe & Chu Thai Hoanh และ Vladimir Smakhtin ได้ทำแผนที่ฝนและอุณหภูมิในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ หรือการศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่มีต่อปริมาณน้ำที่สามารถนำไปใช้ในลุ่มน้ำชี (เฉลิมรัฐ แสงมณี, 2009) และการศึกษาเรื่องภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำชี-มูล (ศุภกร ชีววรรณโณและคณะ, 2009) ใช้ข้อมูลจากแบบจำลอง PRECIS ในการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต และที่สำคัญผลลัพธ์จากแบบจำลอง PRECIS สามารถนำไปสู่แบบจำลองทางอุทกวิทยาที่จะกล่าวต่อไปได้เลย

ด้านที่ 2 การจำลองสภาพอุทกวิทยาและคุณภาพน้ำ การศึกษาด้านอุทกวิทยามีตัวแปรที่ใช้ในการศึกษามากมายและมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน จึงมีความจำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการคำนวณ (Beaugrand and Reid, 2003; EA, 2005; Hiscock et al, 2004; Moss et al, 2003; Sommer et al, 2004) แบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาในปัจจุบันมีหลายแบบจำลองซึ่งขึ้นกับการใช้งานแต่ละประเภททั้งที่เป็นแบบไม่มีลิขสิทธิ์และมีลิขสิทธิ์ เช่น SWAT HEC-3, HEC-HMS, MIKE SHE, VIC หรือ WEAP เป็นต้น ส่วนใหญ่จะใช้งานในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่ไม่มีลิขสิทธิ์ ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับทำนายผลกระทบของการจัดการที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน และปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเกษตร สำหรับลุ่มน้ำที่มีความซับซ้อนที่มีชนิดของดินและการใช้ที่ดินหลายๆชนิดมีเงื่อนไขการหลายๆรูปแบบ (Neitsch et al., 2009) แบบจำลอง SWAT ถูกใช้ในการศึกษาและนำมาเผยแพร่ในบทความวิจัยมากกว่า 2,400 บทความในโลก (https://www.card.iastate.edu/swat_articles/) มีหลายบทความที่ใช้แบบจำลอง SWAT ศึกษาพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเช่นจำลองปริมาณน้ำและปริมาณสารอาหารใน Gucheng Lake Basin (Huang Z., 2009) หรือ การจำลองผลิตผลของปริมาณน้ำท่า การตกตะกอนและปริมาณ



สารอินทรีย์คาร์บอน ในพื้นที่กสิกรรมขนาดใหญ่ในตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศฝรั่งเศส (Oeurng, 2011) หรืองานวิจัยที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากแบบจำลอง SWAT ได้แก่ การจำลองการอนุรักษ์และการฟื้นฟูพื้นที่ชุ่มน้ำกับปริมาณน้ำและคุณภาพในระดับลุ่มน้ำ (Wang, 2010) หรือ การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าและคุณภาพน้ำใน eastern Massachusetts, ประเทศสหรัฐอเมริกา (Jun Tu, 2009) หรือ ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าของ Mara River Basin, Kenya (Mango et al., 2011)

จากแบบจำลอง PRECIS และ SWAT จะสามารถเชื่อมต่อแนวความคิดสภาพภูมิอากาศในอนาคต PRECIS มาคำนวณปริมาณน้ำท่า และคุณภาพน้ำใน SWAT และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินซึ่งจะอธิบายในบทที่ 3 ต่อไป



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงาน

ในการดำเนินการวิจัยจะแบ่งการวิจัยเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกเป็นช่วงของการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับแบบจำลอง ช่วงที่ 2 เป็นการปรับเทียบและสอบเทียบแบบจำลอง และช่วงที่ 3 เป็นการจำลองสถานการณ์ต่างๆในอนาคต มีรายละเอียดขั้นตอนการศึกษาดังนี้

3.1.1 ขั้นตอนการศึกษา

3.1.1.1 รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ เช่น ข้อมูล DEM ดิน และการใช้ที่ดิน ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสงอาทิตย์ ทิศทางลม ความเร็วลม การคายระเหยของพืช และความกดอากาศ ข้อมูลอุทกวิทยา

2) ข้อมูลคุณภาพน้ำทั้งข้อมูลทุติยภูมิและการเก็บตัวอย่างน้ำ ข้อมูลแหล่งกำเนิดน้ำเสีย

3) ข้อมูลสภาพอากาศในอนาคตจากแบบจำลองเชิงตัวเลข PRECIS

3.1.1.2 การปรับเทียบและสอบเทียบแบบจำลอง

1) การปรับเทียบและสอบเทียบและการทำได้โดยการนำข้อมูลที่ได้ในข้อ 1) มาเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณด้วยแบบจำลองเพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบจำลอง

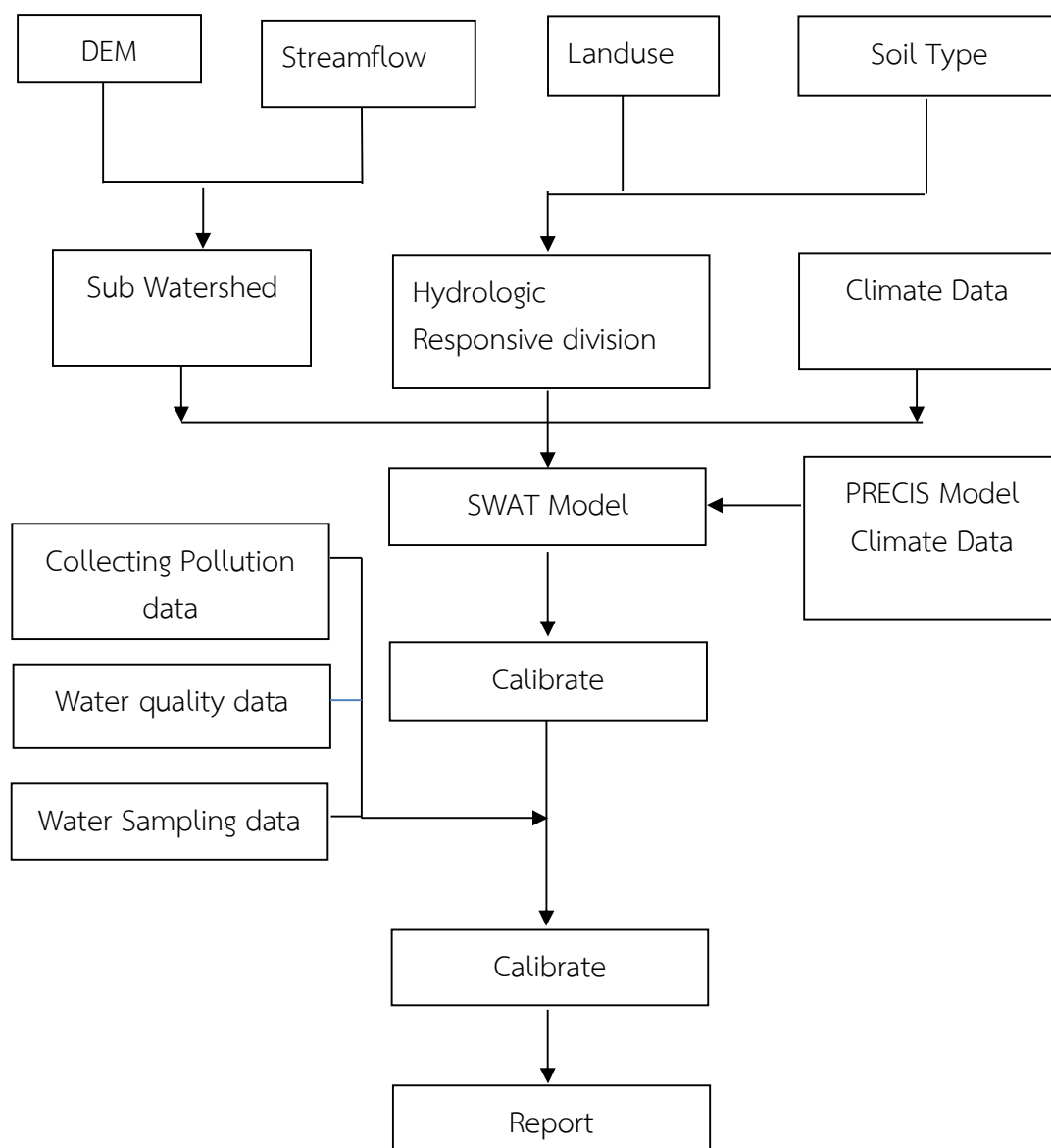
3.1.1.3 การจำลองสถานการณ์ต่างๆในอนาคตสำหรับการศึกษานี้ได้แก่

1) การจำลองสถานการณ์สภาพอากาศในอนาคตในสถานการณ์ A2 และ B2

2) การจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต

แผนภูมิการศึกษาแสดงดังภาพประกอบ 3.1





ภาพประกอบ 3.1 แผนภูมิการศึกษา

หมายเหตุ

แนวทาง A2 คือ แนวทางที่การพัฒนาของโลกที่มีความแตกต่างและหลากหลายในเชิงเศรษฐกิจ การเมืองและการเข้าถึงเทคโนโลยีต่างๆ โดยที่การพัฒนาจะเน้นการเจริญเติบโตในเชิงเศรษฐกิจมากกว่าความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม

แนวทาง B2 คือ แนวทางการพัฒนาแบบสมดุล และเปลี่ยนแปลงสู่การพัฒนาควบคู่กับการดูแลรักษาสรรพชาติอย่างยั่งยืน เน้นการแก้ปัญหาท้องถิ่น ทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน



3.2 ข้อมูลที่ใช้ศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ศึกษาประกอบด้วย ข้อมูลเชิงพื้นที่ เช่น ข้อมูล DEM ข้อมูลดินและการใช้ที่ดิน ข้อมูลอุทกนิยามวิทยาได้แก่อุณหภูมิต่ำ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสงอาทิตย์ ทิศทางลม ความเร็วลม การคายระเหยของพืช และความกดอากาศ ข้อมูลอุทกวิทยา ข้อมูลคุณภาพน้ำทั้งข้อมูลทุติยภูมิและการเก็บตัวอย่างน้ำ การดำเนินงานข้อมูลอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ได้แก่อ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำอูน ข้อมูลการเพาะปลูกในพื้นที่ ใช้ข้อมูลจากหน่วยงานของรัฐที่มีการเก็บรวบรวมได้เช่น กรมอุทกนิยามวิทยา กรมชลประทาน กรมพัฒนาที่ดิน กรมควบคุมมลพิษ และการเก็บตัวอย่างจากสนามดังตาราง 3.1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 3.1 ข้อมูลในการศึกษา

ลำดับ	รายการข้อมูล	ที่มา	ปี	ลักษณะ
1. ด้านภูมิประเทศ				
1.1	แผนที่ภูมิประเทศ	กรมแผนที่ทหาร		แผนที่
1.2	ขอบเขตการปกครอง	กระทรวงมหาดไทย	1998	ข้อมูล GIS
1.3	ระดับความสูงพื้นที่	กรมพัฒนาที่ดิน	2010	ข้อมูล DEM
1.4	ขอบเขตลุ่มน้ำ	กรมชลประทาน	2010	ข้อมูล GIS
2. ข้อมูลด้านอุทกนิยามวิทยา-อุทกวิทยา				
2.1	ข้อมูลฝน อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์	กรมอุทกนิยามวิทยา	1992-2013	ข้อมูลรายวัน
	ความเข้มแสงอาทิตย์	จาก CROPWAT		ข้อมูลรายวัน
2.2	ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดอากาศ	กรมอุทกนิยามวิทยา		ข้อมูล GIS
2.3	ปริมาณน้ำท่า	กรมชลประทาน	2006-2013	ข้อมูลรายวัน
2.4	ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำท่า	กรมชลประทาน		ข้อมูล GIS
3. ข้อมูลดินและการใช้ที่ดิน				
3.1	ข้อมูลชนิดดินและแผนที่ ดิน	กรมพัฒนาที่ดิน	2010	ข้อมูล GIS
3.2	ข้อมูลการใช้ที่ดิน	กรมพัฒนาที่ดิน	1991	ข้อมูล GIS
4. ข้อมูลคุณภาพน้ำ				
4.1	ข้อมูลการวัดคุณภาพน้ำ	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 9	1997-2012	รายปี
	เก็บตัวอย่าง		2012	รายเดือน

3.2.1 การรวบรวมข้อมูลสำหรับการจัดทำแบบจำลอง มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้แก่

3.2.1.1 ข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) เป็นข้อมูล raster ที่ให้ค่าระดับความสูงต่ำในพื้นที่ ข้อมูลนี้จะใช้สำหรับให้แบบจำลองคำนวณขอบเขตลุ่มน้ำและทิศทางการไหลของลำน้ำในลุ่มน้ำ โดยเลือกใช้ ASTER DEM 30 เมตร ระดับความสูงของลุ่มน้ำสงคราม

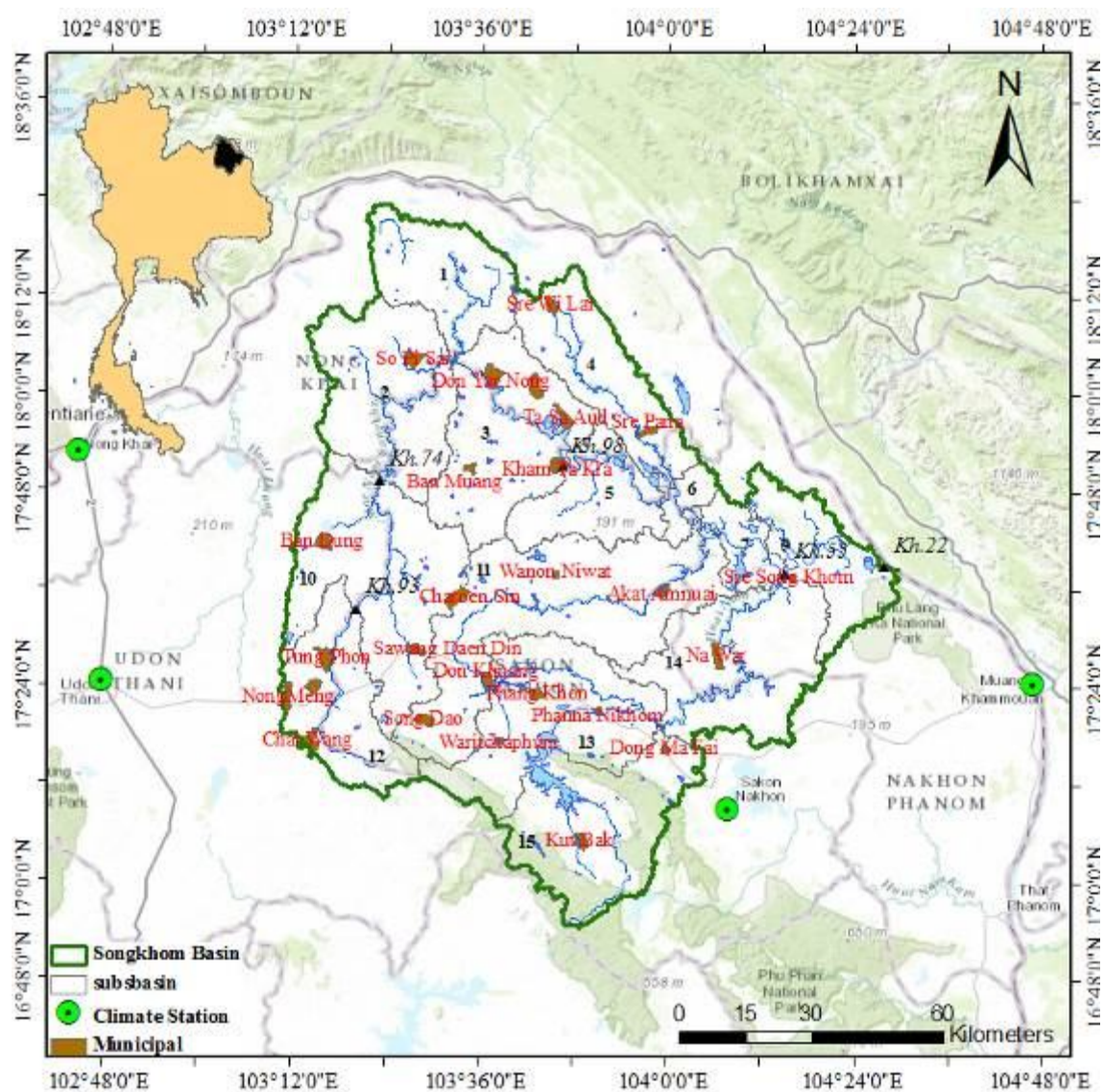


อยู่ระหว่าง +21 ถึง +664 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง มีความสูงเฉลี่ย +175 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง แบบจำลองแบ่งลุ่มน้ำย่อย 15 ลุ่มน้ำย่อยดังตาราง 3.2 ภาพประกอบ 3.2 แสดงขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำสงครามและลุ่มน้ำย่อย

ตาราง 3.2 พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยลุ่มน้ำสงคราม

พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ (ha)	ร้อยละ
1	70,665	5.53
2	110,072	8.62
3	112,716	8.82
4	79,201	6.20
5	58,332	4.57
6	13,551	1.06
7	23,759	1.86
8	57	0.004
9	60,709	4.75
10	142,937	11.19
11	178,109	13.94
12	77,810	6.09
13	119,183	9.33
14	114,678	8.98
15	115,838	9.07
รวม	1,277,617	100





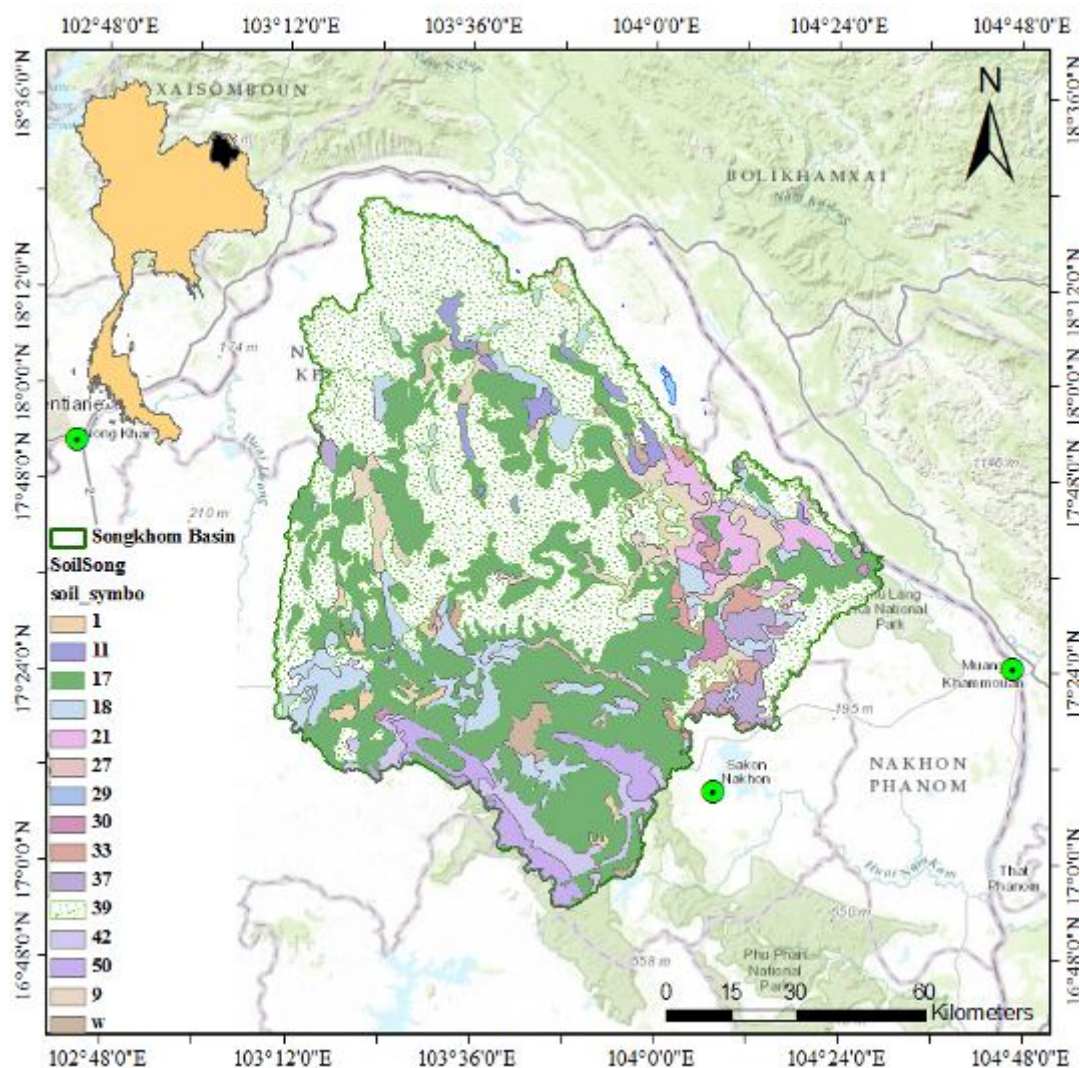
ภาพประกอบ 3.2 ลุ่มน้ำย่อยลุ่มน้ำสงคราม

3.2.1.2 ข้อมูลดิน พัฒนาโดยกรมพัฒนาที่ดิน เป็นการรวมชนิดของดินที่มีลักษณะและสมบัติที่คล้ายคลึงมารวมเป็นกลุ่มจำแนกเป็น 62 ชุดดิน ในมาตราส่วน 1:50000 และจัดทำเป็นฐานข้อมูลดินของ แบบจำลอง SWAT พบว่าลักษณะดินส่วนใหญ่ในกลุ่มน้ำ เป็นกลุ่มดิน 39 ซึ่งมีลักษณะกลุ่มดินร่วนหยาบถึงลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ และกลุ่มดินที่ 17 กลุ่มดินร่วนละเอียดลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำเร็วถึงค่อนข้างเร็ว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ รายละเอียดกลุ่มดินในภาคผนวก ค กลุ่มดินในกลุ่มน้ำสงครามแสดงในตาราง 3.3 และภาพประกอบ 3.3

ตาราง 3.3 ชุดดินในกลุ่มน้ำสงคราม

ชนิดดิน	พื้นที่ (ha)	ร้อยละต่อพื้นที่
soil-1	14,072	1.10
soil-11	21,125	1.65
soil-17	386,929	30.29
soil-18	101,324	7.93
soil-21	38,840	3.04
soil-27	3,657	0.29
soil-30	8,731	0.68
soil-33	21,829	1.71
soil-37	24,754	1.94
soil-39	517,377	40.50
soil-42	31,274	2.45
soil-50	36,486	2.86
soil-9	59,791	4.68
WATER	11,427	0.89
รวม	1,277,617	100





ภาพประกอบ 3.3 ชุดดินในกลุ่มน้ำสงคราม

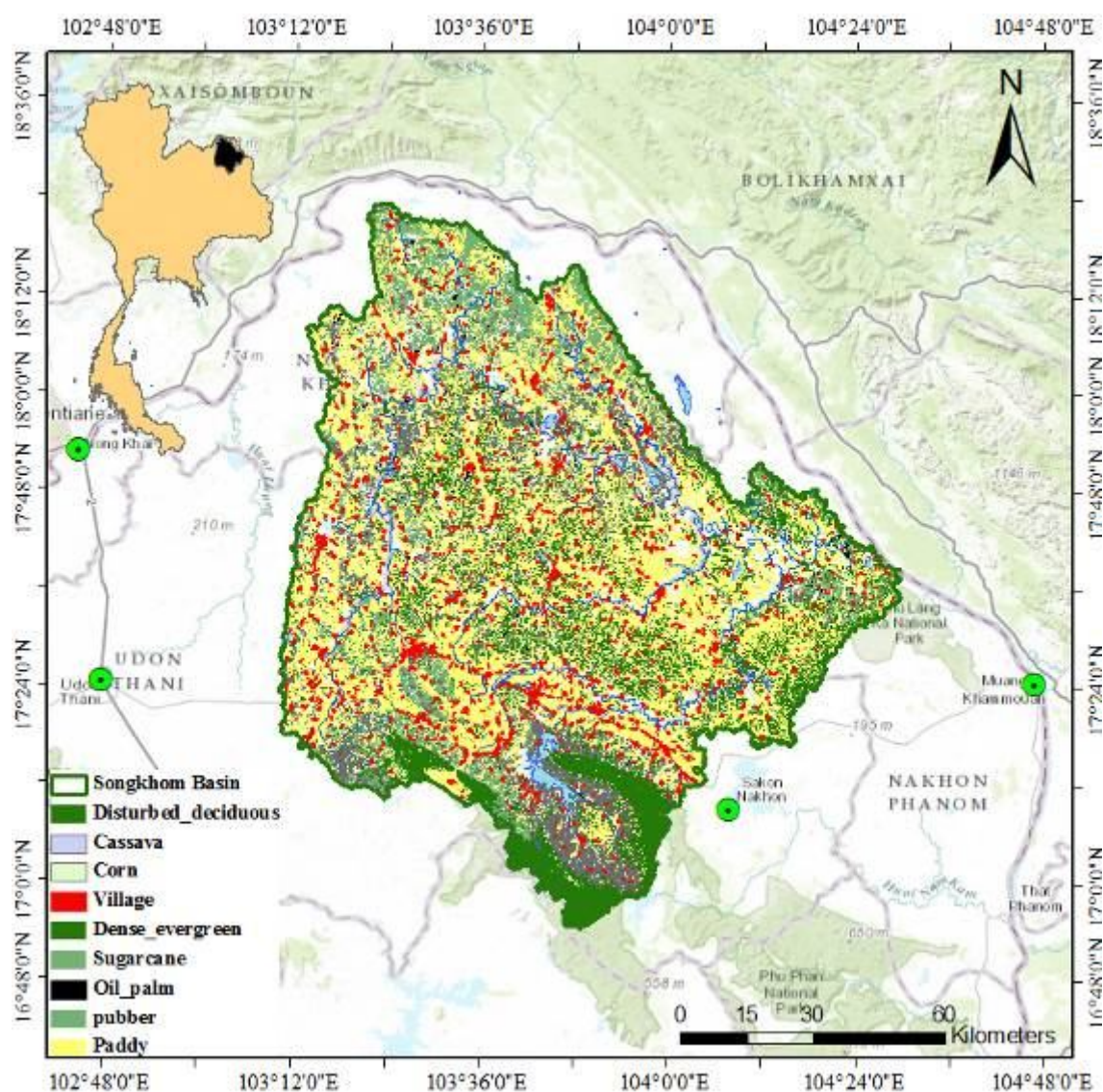
3.2.1.3 ข้อมูลการใช้ที่ดิน ข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งจะจำแนกชนิดของการใช้ที่ดิน เป็น พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่เกษตรกรรม ที่ให้ทราบละเอียดถึงชนิดพืชที่เพาะปลูก พื้นที่ป่า พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่เบ็ดเตล็ด การใช้ที่ดินประเภทต่างๆอยู่ในรูปฐานข้อมูลการใช้ที่ดินของ Mekong River Commission (MRC) ที่สัมพันธ์กันกับฐานข้อมูลของแบบจำลอง SWAT พบว่าลักษณะการใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำส่วนใหญ่เป็นที่นาถึงร้อยละ 46 เป็นป่าผลัดใบร้อยละ 15 สวนยางพาราร้อยละ 13 พื้นที่ที่เป็นน้ำและพื้นที่ชุ่มน้ำร้อยละ 5 ตาราง 3.4 และภาพประกอบ 3.4 แสดงสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำ



ตาราง 3.4 การใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำสงคราม

การใช้ที่ดิน	สัญลักษณ์	พื้นที่	ร้อยละต่อพื้นที่
LMB Miscellaneous land	MISC	30,851	2.41
Orchard	ORCD	2,558	0.20
Water	WATR	53,854	4.22
Sugarcane	SUGC	24,387	1.91
Rubber Trees	RUBR	162,294	12.7
LMB Paddy field	PDDY	584,636	45.76
Institutional	UINS	13,864	1.09
LMB Perennial land	PRNL	55,121	4.31
Agricultural Land-Generic	AGRL	4,698	0.37
Residential	URBN	41,560	3.25
Range-Brush	RNGB	65,723	5.14
LMB Cassava	CSSV	20,683	1.62
Pasture	PAST	21,359	1.67
LMB Disturbed forest land	DTFR	185,362	14.51
Oil Palm	OILP	1,159	0.09
Transportation	UTRN	1,942	0.15
Corn	CORN	1,383	0.11
LMB Aquacultural land	AQUA	1,472	0.12
LMB Mulberry tree	MULB	112	0.01
Orange	ORAN	109	0.01
Watermelon	WMEL	335	0.03
Tobacco	TOBC	55	0.004
LMB Horticulture	HORT	1,663	0.13
LMB Undisturbed forest	UDFR	2,437	0.19
		1,277,617	100





ภาพประกอบ 3.4 การใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำสงคราม

3.2.1.4 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา จากสถานีอุตุนิยมวิทยา 4 สถานี ได้แก่ สถานีจังหวัดสกลนคร จังหวัดนครพนม จังหวัดอุดรธานี และจังหวัดหนองคายซึ่งครอบคลุมขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลรายวันของ ปริมาณฝน อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ ตั้งแต่ปี 1992 ถึงปี 2013 รายละเอียดสถานียังตาราง 3.5 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดสภาพอากาศแสดงในภาพประกอบ 3.5

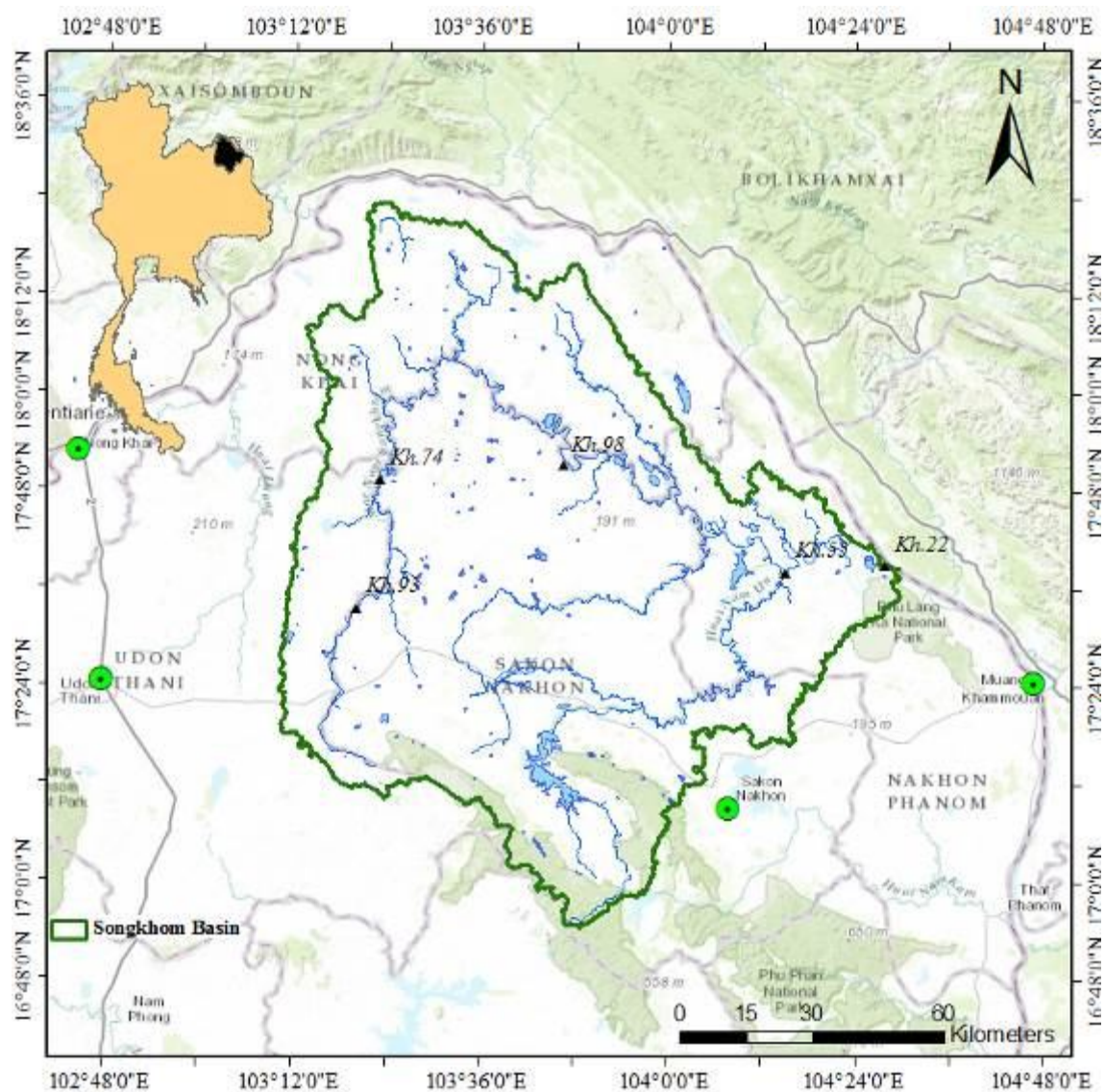
3.2.1.5 ข้อมูลสภาพอากาศในอนาคต ที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง SWAT ได้แก่ ข้อมูลฝน อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ รังสีแสงอาทิตย์ มาจากแบบจำลอง PRECIS ซึ่งสามารถ Download ได้จาก <http://www.start.or.th/> เนื่องจากแบบจำลอง PRECIS จะให้ค่าข้อมูลตามพิกัดทุกๆ 0.2° ตำแหน่งอาจจะไม่ตรงกับตำแหน่งของสถานีวัดอากาศจริง การศึกษา

นี้จะใช้วิธี Interpolate ให้ได้ตำแหน่งตรงกัน อย่างไรก็ตามข้อมูลในแบบจำลอง PRECIS บางปีก็ไม่มีข้อมูล ในการศึกษานี้ใช้สัดส่วนของปีที่มีข้อมูลของสถานีเคียงกันแทน

ตาราง 3.5 แสดงรายชื่อสถานีตรวจวัดสภาพอากาศ

ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	ช่วงปีข้อมูล	ปริมาณฝนเฉลี่ย(มม.)	อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดรายปี (°C)	อุณหภูมิต่ำสุดรายปี(°C)
หนองคาย	17.8667	102.7333	1992-2013	1,673	32.37	22.13
อุดรธานี	17.3833	102.8000	1992-2013	1,452	32.68	21.94
สกลนคร	17.1500	102.1333	1992-2013	1,684	31.75	22.22
นครพนม	17.4167	102.7833	1992-2013	2,373	31.87	21.94





ภาพประกอบ 3.5 ตำแหน่งสถานีวัดอากาศและสถานีวัดน้ำท่า

3.2.1.6 ข้อมูลการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ในกรณีที่ลุ่มน้ำมีอ่างเก็บน้ำแบบจำลอง SWAT สามารถวิเคราะห์ข้อมูลอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำได้ โดยต้องมีข้อมูลความจุ พื้นที่ผิวและการดำเนินการ อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ในลุ่มน้ำสงครามได้แก่ เขื่อนน้ำอูน อยู่ที่บ้านหนองบัว ตำบลแร่ อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร มีพื้นที่รับน้ำฝนเหนือที่ตั้งเขื่อน 1,000 ตารางกิโลเมตร มีพื้นที่ผิวน้ำ 85 ตารางกิโลเมตร ความจุที่ระดับเก็บกักสูงสุด 52 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยมีปริมาณการส่งน้ำชลประทานรายเดือนย้อนหลัง 10 ปีแสดงในตาราง 3.6

ตาราง 3.6 ปริมาณการส่งน้ำชลประทานรายเดือนของเขื่อนน้ำอูน

หน่วย: ล้านลูกบาศก์เมตร											
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	เฉลี่ย
ม.ค.	39.7	21.9	32.3	32.2	43.2	47.2	42.0	12.6	37.2	58.7	36
ก.พ.	38.4	14.3	28.5	29.4	38.3	42.5	40.9	16.1	33.4	62.0	34
มี.ค.	42.9	18.6	28.2	31.3	40.6	43.6	44.8	20.2	46.3	67.4	38
เม.ย.	25.9	-	16.6	12.3	21.6	24.0	23.6	8.3	22.6	20.3	19
พ.ค.	-	-	-	-	3.3	-	9.6	0.8	0.2	0.9	3
มิ.ย.	30.7	-	0.4	25.5	23.5	7.5	19.0	0.2	0.2	14.7	13
ก.ค.	55.5	16.2	28.3	49.2	45.4	26.0	36.5	6.8	21.9	42.0	33
ส.ค.	31.6	27.0	25.6	37.3	10.0	32.9	44.2	4.1	7.6	41.0	26
ก.ย.	33.9	18.0	44.6	44.5	9.2	46.1	47.5	7.6	45.2	39.2	34
ต.ค.	59.0	62.9	58.5	43.8	31.0	54.7	50.6	36.9	57.1	59.1	51
พ.ย.	3.9	9.9	2.4	6.3	3.6	-	4.9	1.9	3.0	0.3	4
ธ.ค.	21.8	20.2	24.8	32.4	39.3	44.6	31.0	41.0	72.0	24.4	35

3.2.1.7 ข้อมูลการเพาะปลูกพืช มีผลต่อการเคลื่อนที่ของตะกอนและสารอาหารที่ไหลลงในลำน้ำ ปฏิทินการเพาะปลูก การปรับพื้นที่และการใส่ปุ๋ยสำหรับพืชแต่ละชนิดใช้ข้อมูลจากกรมชลประทานและกรมวิชาการเกษตร ซึ่งแสดงดังตาราง 3.7



ตาราง 3.7 ปฏิทินการเพาะปลูกพืชในลุ่มน้ำ

Land Use Type	Operation	Month											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Agricultural Land- Generic	tillage (Subsoil Chisel Plow)												
	tillage (Disk Plow)												
	Planting/growing season												
	fertilization(16-20-0 or 20-20-0 rate 250 kg/ha)												
	harvest & kill												
Cassava	tillage (Subsoil Chisel Plow)												
	tillage (Disk Plow)												
	Planting/growing season												
	fertilization(15-15-15 rate 312.5 kg/ha)												
	harvest & kill												
Paddy field	tillage (Subsoil Chisel Plow)												
	tillage (Disk Plow)												
	Planting/growing season												
	fertilization(46-0-0 rate 125 kg/ha)												
	fertilization(46-0-0 rate 125 kg/ha)												
	tillage (Subsoil Chisel Plow)												
Oil Palm	fertilization (21-0-0 rate 275 kg/ha)												
	fertilization(18-46-0 rate 137 kg/ha)												
	Planting/growing season												
Sugarcane	tillage (Subsoil Chisel Plow)												
	tillage (Disk Plow)												
	Planting/growing season												
	fertilization(15-15-15 rate 125 kg/ha)												
	fertilization(Urea 80 kg/ha or Ammonium sulfate rate 150 kg/ha)												
	harvest & kill												



3.2.1.8 ข้อมูลน้ำเสียจากแหล่งกำเนิด น้ำเสียที่ไหลลงในลำน้ำส่วนหนึ่งมาจากพื้นที่เพาะปลูกและอีกส่วนหนึ่งเป็นน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดที่มาจากน้ำเสียชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรม จากการศึกษาเบื้องต้นจากเว็บไซต์โรงงานอุตสาหกรรม (<http://www.diw.go.th>) พบว่าโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำ ส่วนใหญ่เป็นโรงงานแปรรูปสินค้าการเกษตรโดยเฉพาะโรงสีข้าว ในการศึกษาที่กำหนดให้โรงงานอุตสาหกรรมเป็นอุตสาหกรรมที่ถูกควบคุมการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม โรงงานอุตสาหกรรมต้องมีระบบบำบัดน้ำเสีย และปล่อยน้ำเสียออกตามมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นในการศึกษานี้จึงไม่คือน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับแหล่งน้ำเสียจากชุมชน ในพื้นที่เขตเทศบาลในลุ่มน้ำสงครามทั้งหมดยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน การคิดปริมาณน้ำเสียจึงหาได้จากจำนวนประชากรคูณอัตราการผลิตน้ำเสีย จำนวนประชากรในอนาคตสามารถคาดการณ์จากจำนวนประชากรในอดีต โดยจำนวนประชากรในอดีตสามารถ download ได้จากเว็บไซต์กรมการปกครอง (<http://www.dopa.go.th>) ส่วนอัตราการผลิตน้ำเสียใช้ข้อมูลของสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม แสดงดังตาราง 3.8 ค่าคุณภาพน้ำเสียใช้จากกรมควบคุมมลพิษที่ปรับปรุงมาจาก Wastewater Engineering, Metcalf & Eddy แสดงดังตาราง 3.9 และตัวอย่างผลการคำนวณปริมาณน้ำเสียและความสกปรกปี 2014 ดังตาราง 3.10

ตาราง 3.8 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน

ภาค	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/คน-วัน)					
	1993	1997	2002	2007	2012	2017
กลาง	160-214	165-242	170-288	176-342	183-406	189-482
เหนือ	183	200	225	252	282	316
ตะวันออกเฉียงเหนือ	200-253	216-263	239-277	264-291	291-306	318-322
ใต้	171	195	204	226	249	275

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน, สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม 2538



ตาราง 3.9 ดัชนีความเข้มข้นคุณภาพน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	หน่วย	ความเข้มข้น		
		น้อย	ปานกลาง	มาก
1. ของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	มก./ล.	350	720	1200
ของแข็งละลายน้ำ (Dissolved Solids)	มก./ล.	250	500	850
ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)	มก./ล.	100	220	350
2. ปริมาณตะกอนหนัก (Settleable Solids)	มล./ล.	5	10	20
3. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand;BOD)	มก./ล.	110	220	400
4. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand;COD)	มก./ล.	250	500	1000
5. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total as N)	มก./ล.	20	40	85
- อินทรีย์ไนโตรเจน (Organic-Nitrogen)	มก./ล.	8	15	35
- แอมโมเนีย (Ammonia-Nitrogen)	มก./ล.	12	25	50
- ไนไตรท์ (Nitrites)	มก./ล.	0	0	0
- ไนเตรท (Nitrate)	มก./ล.	0	0	0
6. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total as P)	มก./ล.	4	8	15
- สารอินทรีย์ (Organic-Phosphorus)	มก./ล.	1	3	5
- สารอนินทรีย์ (Inorganic-Phosphorus)	มก./ล.	3	5	10
7. คลอไรด์ (Chloride)	มก./ล.	30	50	100
8. ซัลเฟต (Sulfate)	มก./ล.	20	30	50
9. สภาพด่าง (Alkalinity as CaCO ₃)	มก./ล.	50	100	200
10. ไขมัน (Grease)	มก./ล.	50	100	150
11. Total Coliform	MPN/100ml	106-107	107-108	107-109

ที่มา : Wastewater Engineering, Metcalf และ Eddy (1991)



ตาราง 3.10 ปริมาณน้ำเสียและความสกปรกในกลุ่มน้ำสงครามเฉลี่ยรายปี ปี 2014

กลุ่มน้ำย่อย เทศบาล	จำนวน ประชากร	flow (m3/d)	SS kg/d	Org N (kg/d)	Org P (kg/d)	NO3 kg/d	NH4 kg/d	NO2 kg/d	Total P (kg/d)	Min P (kg/d)	CBODload kg/d
2 โซพิสัย	6,804	1,089	0.11	8.71	1.09	0	13.06	0	4.35	3.27	109
3 คำตากล้า	7,095	1,135	0.11	9.08	1.14	0	13.62	0	4.54	3.41	114
ดอนหญ้านาง	5,110	818	0.08	6.54	0.82	0	9.81	0	3.27	2.45	82
ท่าสะอาด	6,916	1,107	0.11	8.85	1.11	0	13.28	0	4.43	3.32	111
บ้านม่วง	3,617	579	0.06	4.63	0.58	0	6.94	0	2.31	1.74	58
พรเจริญ	10,280	1,645	0.16	13.16	1.64	0	19.74	0	6.58	4.93	164
4 ศรีพนา	6,893	1,103	0.11	8.82	1.10	0	13.23	0	4.41	3.31	110
ศรีวิไล	11,074	1,772	0.18	14.17	1.77	0	21.26	0	7.09	5.32	177
8 ศรีสงคราม	1,352	216	0.02	1.73	0.22	0	2.60	0	0.87	0.65	22
9 ศรีสงคราม	2,704	433	0.04	3.46	0.43	0	5.19	0	1.73	1.30	43
10 เจริญศิลป์	3,379	541	0.05	4.32	0.54	0	6.49	0	2.16	1.62	54
บ้านดุง	15,913	2,546	0.25	20.37	2.55	0	30.55	0	10.18	7.64	255
สว่างแดนดิน	8,920	1,427	0.14	11.42	1.43	0	17.13	0	5.71	4.28	143
11 เจริญศิลป์	3,379	541	0.05	4.32	0.54	0	6.49	0	2.16	1.62	54
ดอนเชียง	4,432	709	0.07	5.67	0.71	0	8.51	0	2.84	2.13	71
วานรนิวาส	6,134	981	0.10	7.85	0.98	0	11.78	0	3.93	2.94	98
ส่องดาว	4,939	790	0.08	6.32	0.79	0	9.48	0	3.16	2.37	79
อากาศอำนวย	9,061	1,450	0.14	11.60	1.45	0	17.40	0	5.80	4.35	145
12 ไชยวาน	8,385	1,342	0.13	10.73	1.34	0	16.10	0	5.37	4.02	134
ทุ่งฝน	7,443	1,191	0.12	9.53	1.19	0	14.29	0	4.76	3.57	119
บ้านเชียง	6,325	1,012	0.10	8.10	1.01	0	12.14	0	4.05	3.04	101
หนองเม็ก	8,347	1,336	0.13	10.68	1.34	0	16.03	0	5.34	4.01	134
13 พรณานิคม	2,597	416	0.04	3.32	0.42	0	4.99	0	1.66	1.25	42
พังโคน	6,735	1,078	0.11	8.62	1.08	0	12.93	0	4.31	3.23	108
วาริชภูมิ	2,793	447	0.04	3.58	0.45	0	5.36	0	1.79	1.34	45
14 นาหว้า	12,112	1,938	0.19	15.50	1.94	0	23.26	0	7.75	5.81	194
ศรีสงคราม	1,352	216	0.02	1.73	0.22	0	2.60	0	0.87	0.65	22
15 กุดบาก	5,103	816	0.08	6.53	0.82	0	9.80	0	3.27	2.45	82
ดงมะไฟ	6,093	975	0.10	7.80	0.97	0	11.70	0	3.90	2.92	97



3.2.2 ข้อมูลสำหรับปรับเทียบและสอบเทียบแบบจำลอง

ประกอบไปด้วยข้อมูลน้ำท่าและข้อมูลคุณภาพน้ำดังนี้

3.2.2.1 ข้อมูลน้ำท่า ในแม่น้ำสงครามมีสถานีวัดน้ำท่าของกรมชลประทานอยู่ 5 สถานี ในการศึกษาครั้งนี้ใช้สถานี Kh 55 เป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำ ซึ่งมีผลการวัดอยู่ในช่วงปี 2006 ถึงปี 2013 รายละเอียดสถานีวัดน้ำท่าดังตาราง 3.11 ตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่าแสดงในภาพประกอบ 3.5

ตาราง 3.11 รายชื่อสถานีวัดน้ำท่า

ชื่อสถานี	บ้าน	อำเภอ	จังหวัด	ละติจูด	ลองจิจูด
Kh.22	บ้านไชยบุรี	ท่าอุเทน	นครพนม	17.6489	104.4656
Kh.55	ปากอูน	ศรีสงคราม	นครพนม	17.6361	104.2511
Kh.98	ท่ากกแดง	เซกา	บึงกาฬ	17.8511	103.7811
Kh 74	ท่าห้วยหลัว	บ้านม่วง	สกลนคร	17.8186	103.3877
Kh 93	โคกคำไหล	บ้านดุง	อุดรธานี	17.5561	103.3388

3.2.2.2 ข้อมูลคุณภาพน้ำ หน่วยงานที่ทำการวัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำสงครามมีหลายหน่วยงานเช่นกรมควบคุมมลพิษ สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 9 สถานีที่เก็บตัวอย่างน้ำได้แก่ สะพานบ้านไชยบุรี อ.ท่าอุเทน จ. นครพนม (Kh 22) สะพานบ้านท่าก้อน อ.อากาศอำนวย จ.สกลนคร (Kh96) และสะพานบ้านท่ากกแดง อ.เซกา จ.หนองคาย (Kh 98) ส่วนใหญ่จะเป็นการวัดโดยเป็นช่วงๆ นอกจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วง (Grab Sampling) ที่สถานี Kh 55 Kh 74 และ Kh 98 พร้อมเก็บข้อมูลความสูงของระดับน้ำเพื่อเทียบเป็นอัตราการไหล โดยเก็บข้อมูลในแต่ละเดือนของปี 2012-2013 ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้แก่ pH BOD ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ไนเตรท และค่าการนำไฟฟ้า รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.

3.3 การจัดทำแบบจำลอง SWAT

การสร้างแบบจำลอง ประกอบด้วยการสร้างขอบเขตลุ่มน้ำและทิศทางการไหลของลำน้ำจากข้อมูล DEM การกำหนดลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการกำหนดชนิดดิน การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) และการนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลของแบบจำลอง SWAT มีการนำเข้า 2 รูปแบบคือการนำเข้าข้อมูลภูมิศาสตร์เชิงพื้นที่ และการนำเข้าข้อมูลที่เป็นตาราง เพื่อให้แบบจำลองสามารถนำไปคำนวณได้ซึ่งมีดังนี้

3.3.1 Watershed Delineator เป็นการกำหนดขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำและลำน้ำ เป็นการกำหนดเริ่มต้นของการสร้างแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลระดับความสูงเชิงตัวเลขคือ DEM เพื่อให้แบบจำลองคำนวณสภาพทางกายภาพได้แก่ความลาดชัน ขอบเขตสันปันน้ำ เพื่อกำหนดพื้นที่ลุ่มน้ำและลุ่มน้ำย่อย



3.3.2 HRU analysis การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Response Units) หรือ HRUs สอดคล้องตามเปอร์เซ็นต์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินและชนิดของดินในลักษณะของสัดส่วนที่ต่ำที่สุด ข้อมูลที่ใช้จะเป็นข้อมูลลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและชนิดของดิน

3.3.3 การนำเข้าข้อมูลสภาพอากาศ การนำเข้าต้องเตรียมไฟล์ตำแหน่งของสถานีวัดสภาพอากาศ และไฟล์ข้อมูลที่มีชื่อตรงกันกับตำแหน่งของสถานีวัดสภาพอากาศ สำหรับสถานีวัดน้ำฝนต้องมีการตรวจสอบความมั่นคงของข้อมูลว่าเป็นในทิศทางเดียวกันหรือไม่ โดยวิธี Double mass curve

3.3.4 เมื่อนำเข้าข้อมูลที่ถูกต้องครบถ้วนก็ทำการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งแบบจำลองจะคำนวณค่า ปริมาณน้ำท่า การตกตะกอน คุณภาพน้ำอื่นๆ ที่จุดออกของกลุ่มน้ำย่อยและปริมาณน้ำฝน อัตราการระเหย และอื่นๆที่สัมพันธ์กับกลุ่มน้ำย่อยนั้น

3.3.5 การเปรียบเทียบแบบจำลองและการสอบเทียบแบบจำลอง ในการศึกษาจะใช้ค่า Coefficient of determination (r^2) และ Nash-Sutcliffe efficiency (E) เป็นสมการในการเปรียบเทียบและสอบเทียบแบบจำลองดังนี้

r^2 เป็นกระบวนการสถิติที่ใช้อธิบายความผันแปรของตัวแปรหนึ่งกับความสัมพันธ์กับตัวแปรหนึ่งเชิงเส้นตรง r^2 จะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 โดยค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันมาก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$r^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad (3.1)$$

เมื่อ

r^2 คือ Coefficient of determination

t คือ ลำดับที่

n คือ จำนวนที่เก็บข้อมูลทั้งหมด

O_i คือ ค่าที่ได้จากการวัดลำดับที่ i

$\bar{O}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการวัดทั้งหมด

P_i คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลองลำดับที่ i

$\bar{P}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากแบบจำลองทั้งหมด

E คำนวณจาก หนึ่งลบด้วยค่าผลรวมของผลต่างกำลังสองของค่าที่ได้จากการวัดกับค่าที่ได้จากแบบจำลองหารด้วยค่าความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการวัด ดังสมการ 3.2 E จะมีค่าระหว่าง $-\infty$ ถึง 1 โดย $E = 1$ คือค่าที่ได้จากแบบจำลองตรงกับค่าที่ได้จากการวัด $E = 0$ คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการวัด และ $E < 0$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการวัดดีกว่าค่าที่ได้จากแบบจำลอง

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3.2)$$



เมื่อ

- E คือ Nash-Sutcliffe efficiency
- i คือ ลำดับที่
- n คือ จำนวนที่เก็บข้อมูลทั้งหมด
- O_i คือ ค่าที่ได้จากการวัดลำดับที่ i
- $\bar{O}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากการวัดทั้งหมด และ
- P_i คือ ค่าที่ได้จาก แบบจำลองลำดับที่ i

3.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก

โดยใช้แบบจำลองการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค PRECIS ในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม โดยคาดการณ์ในอนาคตถึงช่วงกลางศตวรรษ คือปี 2050 คาดการณ์ตามสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก A2 และ B2 ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด เปรียบเทียบแนวโน้มข้อมูลในอดีตและอนาคต จะสามารถแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาวได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

3.5 การศึกษาปริมาณน้ำท่า

โดยใช้แบบจำลอง SWAT ประเมินปริมาณน้ำท่าที่สถานี Kh55 ของกรมชลประทาน การจัดทำแบบจำลอง SWAT เริ่มจากการสร้างพื้นที่รับน้ำ ทิศทางการไหลของน้ำ อ่างเก็บน้ำและลุ่มน้ำย่อย จากนั้นนำข้อมูลการใช้ที่ดิน ข้อมูลดิน และความลาดชันเข้าในแบบจำลอง จากนั้นใส่ข้อมูลสภาพอากาศ การจัดการดิน การเพาะปลูก และแหล่งกำเนิดน้ำเสีย นำผลการคำนวณจากแบบจำลองไปทดสอบค่าความเชื่อมั่น โดยการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริง ในช่วงปี 2006-2013 ปรับพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องให้ผลการปรับเทียบและสอบเทียบแบบจำลองมีค่าที่ยอมรับได้ จากนั้นนำข้อมูลสภาพภูมิอากาศโลกในอนาคต ที่สังเคราะห์จากแบบจำลอง PRECIS ในสถานการณ์ A2 และ B2 ซึ่งจะวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าในอนาคตของทั้ง 2 สถานการณ์

3.6 การศึกษาคุณภาพน้ำ

โดยใช้แบบจำลอง SWAT ประเมินพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่สถานี Kh55 เก็บตัวอย่างน้ำช่วงปี 2012-2013 ในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำเช่น pH อุณหภูมิ ไนเตรทของแข็งละลายน้ำ ของแข็งทั้งหมด และ บีโอดี และศึกษาข้อมูลหัตถิยภูมิของคุณภาพน้ำจากส่วนราชการต่างๆ เช่นสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 9 หลังจากได้ข้อมูลคุณภาพน้ำแล้ว นำผลการคำนวณของแบบจำลองทดสอบค่าความเชื่อมั่น โดยการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงในช่วงปี 2006 ถึงปี 2013 ปรับพารามิเตอร์คุณภาพน้ำต่างๆที่เกี่ยวข้องให้ผลการปรับเทียบและสอบเทียบแบบจำลองมีค่าที่ยอมรับได้ จากนั้นนำข้อมูลสภาพภูมิอากาศโลกในอนาคต ที่



สังเคราะห์จากแบบจำลอง PRECIS ในสถานการณ์ A2 และ B2 ซึ่งจะวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในอนาคตของทั้ง 2 สถานการณ์

3.7 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

ศึกษาจากการใช้ที่ดินในอดีต สมมุติการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงในอนาคต ปรับค่าที่คาดการณ์ได้ในแบบจำลอง SWAT วิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าและพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงในอนาคตของสถานการณ์ A2 และ B2



บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

ในบทที่นี้กล่าวถึงผลการศึกษา การวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศในอนาคต การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

4.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก

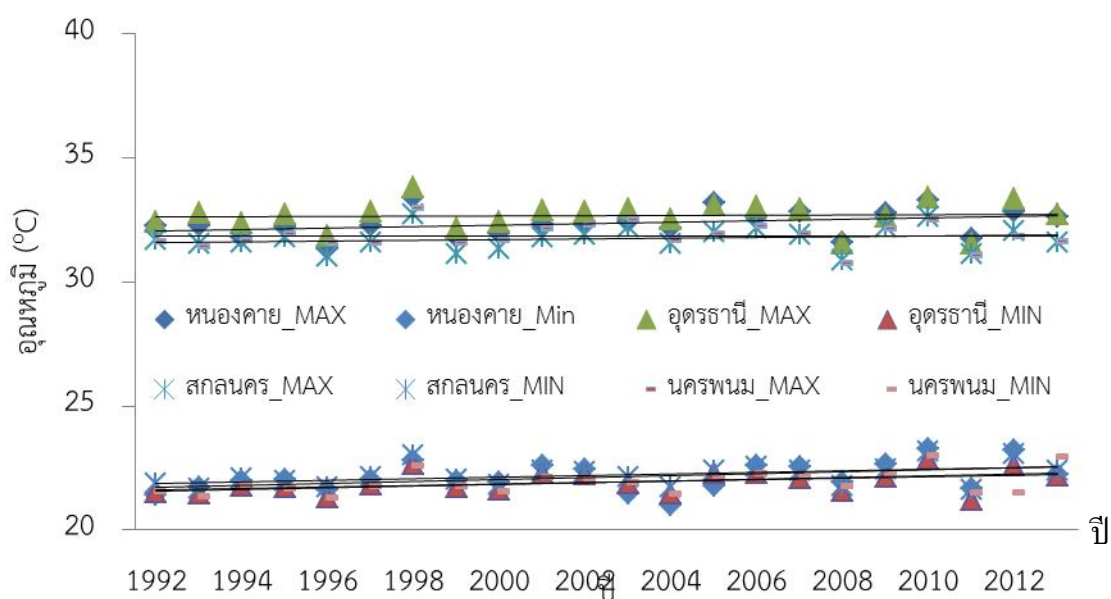
ข้อมูลอากาศในอนาคตที่ส่งผลกระทบต่อลุ่มน้ำได้แก่ข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาข้อมูลอุณหภูมิในอนาคต

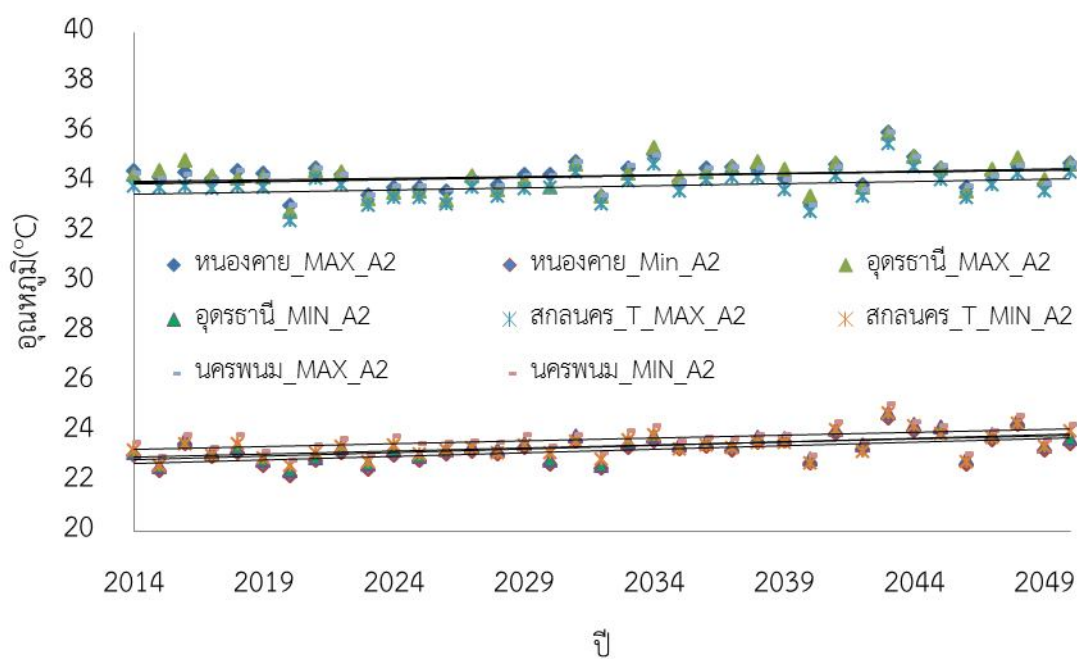
ข้อมูลสภาพอากาศศึกษาจากสถานีอุตุนิยมวิทยา 4 สถานี ได้แก่ สถานีจังหวัดสกลนคร จังหวัดนครพนม จังหวัดอุดรธานี และจังหวัดหนองคาย ที่วัดได้ในอดีตระหว่างปี 1992 ถึงปี 2013 ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำสงคราม ข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอนาคต Download จาก Start.or.th และจาก CCKM.or.th เป็นผลจากการจำลองสภาพภูมิอากาศอนาคตจากแบบจำลอง PRECIS ในภาพฉายของสถานการณ์อนาคต A2 และ B2 ที่สถานีเดียวกัน

นำข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำสุดรายปีในอดีตของปี 1992 ถึงปี 2013 มาแสดงแผนภูมิเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปี พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำสุดรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยกเว้นสถานีนครพนม ที่มีแนวโน้มลดลงแต่น้อยมากและเมื่อดูในภาพรวมลุ่มน้ำจะเห็นว่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพประกอบ 4.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแสดงดังตาราง 4.1 และเมื่อนำข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำสุดรายปีของปี 2014 ถึงปี 2050 ที่ได้จากแบบจำลอง PRECIS มาแสดงแผนภูมิเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปี พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำสุดรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกสถานีแสดงในภาพประกอบ 4.2 และ 4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแสดงดังตาราง 4.1 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Suppakorn Chinvanno และ Thanat Choengbunluesak (2006)



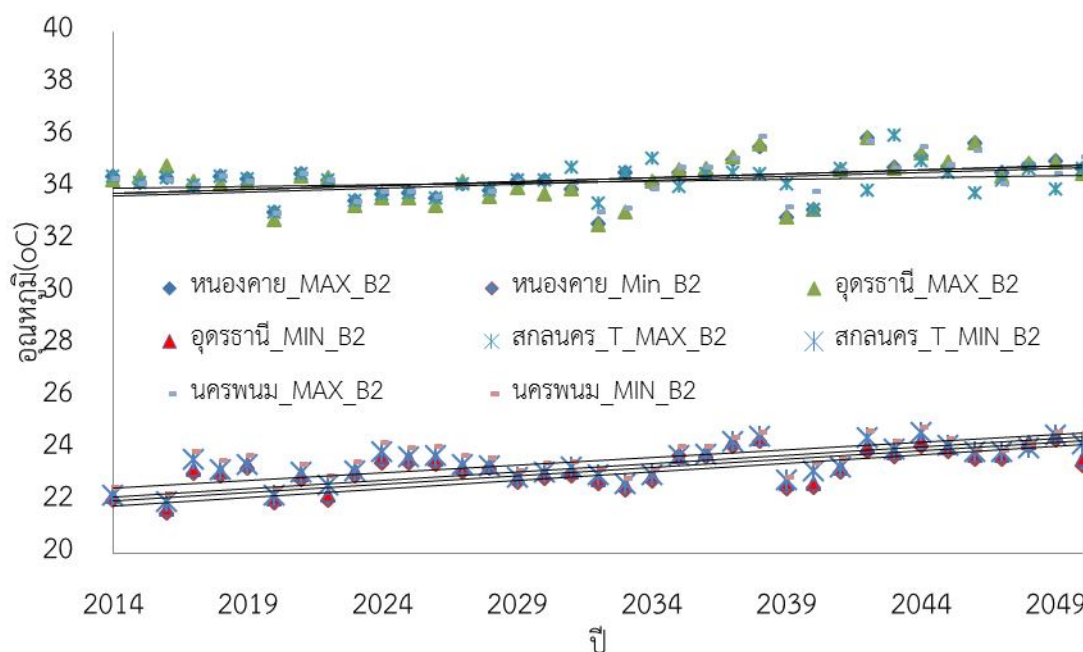


ภาพประกอบ 4.1 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำสุดรายปีของปี 1999 ถึงปี 2013



ภาพประกอบ 4.2 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำสุดรายปีของปี 2014 ถึงปี 2050 ของสถานการณ์ A2





ภาพประกอบ 4.3 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำสุดรายปีของปี 2014 ถึงปี 2050 ของสถานการณ์ B2

ตาราง 4.1 อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอดีตและในอนาคตของสถานการณ์ A2 และ B2 ต่อปี

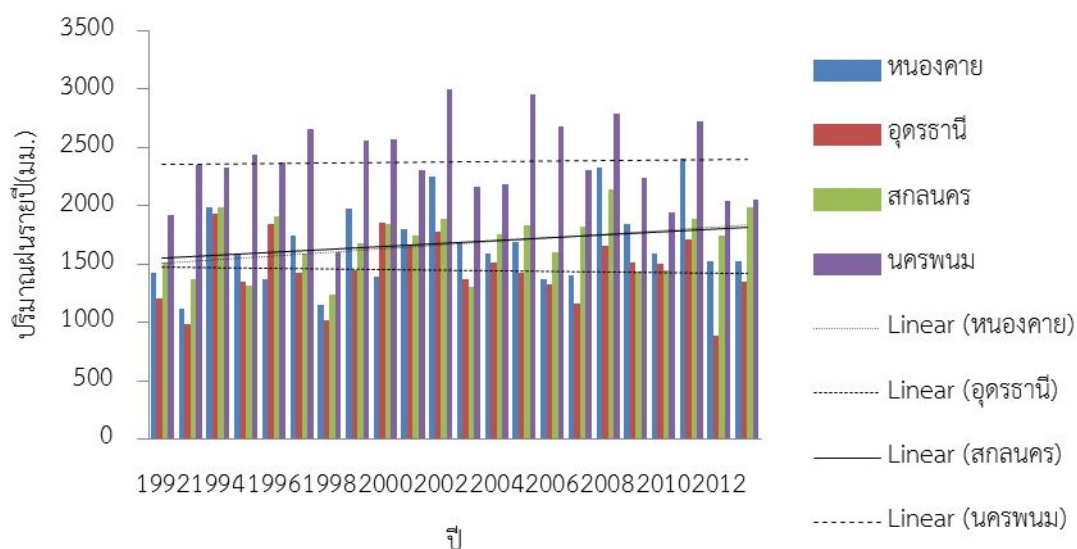
สถานี	อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปี			อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี		
	1992-2013	2014-2050A2	2014-2050B2	1992-2013	2014-2050A2	2014-2050B2
หนองคาย	0.029	0.010	0.024	0.032	0.025	0.058
อุดรธานี	0.004	0.014	0.026	0.029	0.025	0.057
สกลนคร	0.013	0.012	0.009	0.030	0.023	0.058
นครพนม	-0.0006	0.009	0.024	0.034	0.019	0.052

4.1.2 ผลการศึกษาปริมาณน้ำฝนในอนาคต

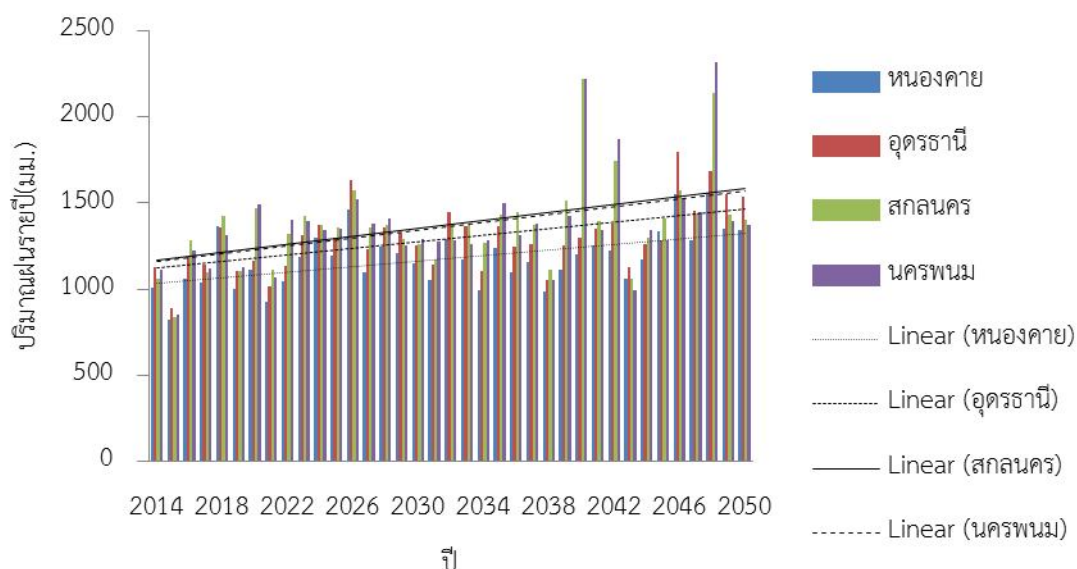
เมื่อนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีของปี 1992 ถึงปี 2013 มาเขียนแผนภูมิแล้วหาเส้นแนวโน้มพบว่าปริมาณน้ำฝนรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นยกเว้นสถานีอุดรธานี ดังภาพประกอบ 4.4 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาทั้งกลุ่มน้ำพบว่าปริมาณน้ำฝนรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเมื่อนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีในอนาคตมาเขียนแผนภูมิแล้วหาเส้นแนวโน้ม พบว่าในสถานการณ์ A2 มีปริมาณน้ำฝนรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกสถานี ดังภาพประกอบ 4.5 ส่วนในสถานการณ์ B2 พบว่าสถานีสกลนครและสถานีหนองคาย มีแนวโน้มปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้น ส่วนสถานีอุดรธานีและนครพนมมีปริมาณน้ำฝนใน



อนาคตลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในภาพรวมลุ่มน้ำจะพบว่ามีปริมาณน้ำฝนในอนาคตเพิ่มขึ้นเล็กน้อยดังภาพประกอบ 4.6 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Suppakorn Chinvanno และ Thanat Choengbunluesak (2006)

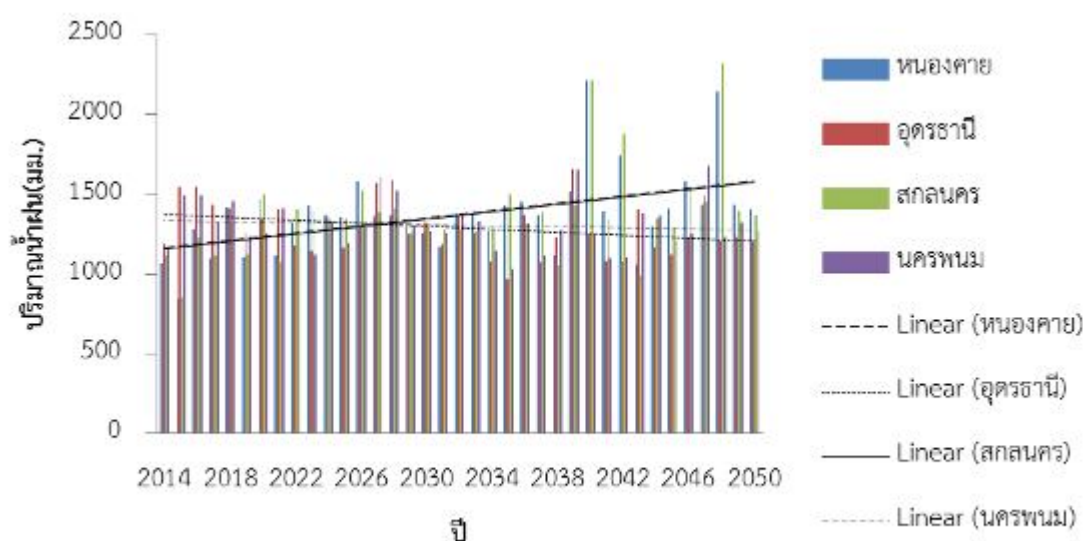


ภาพประกอบ 4.4 ปริมาณฝนรายปี ปี 1992-2013



ภาพประกอบ 4.5 ปริมาณฝนรายปี ปี 2014 ถึงปี 2050 สถานการณ์ A2 (1)





ภาพประกอบ 4.6 ปริมาณฝนรายปี ปี 2014 ถึงปี 2050 สถานการณ์ A2 (2)

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า

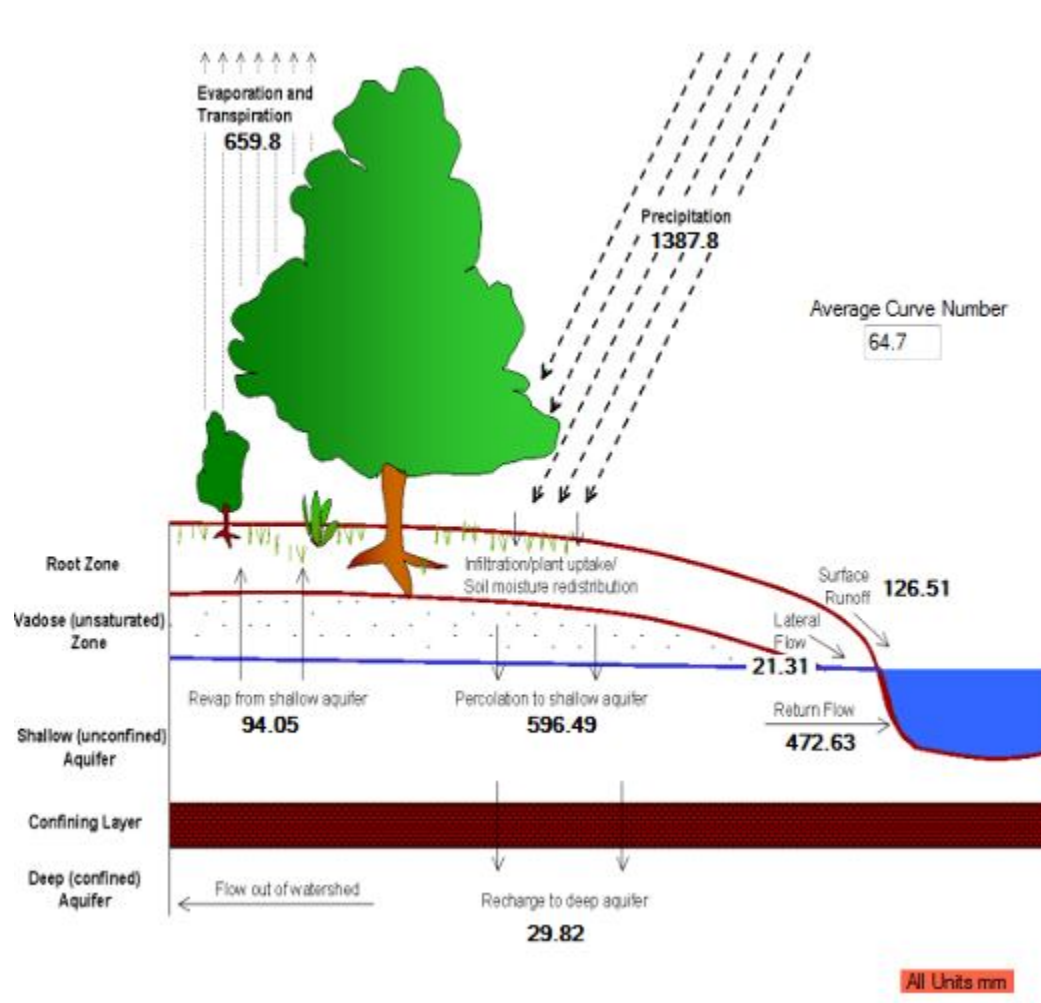
4.2.1 การปรับเทียบและการสอบเทียบแบบจำลอง

การปรับเทียบและการสอบเทียบแบบจำลอง ใช้สถานี Kh55 ของกรมชลประทาน ตำแหน่งและรายละเอียดแสดงในตาราง 3.11 และภาพประกอบที่ 3.5 ข้อมูลน้ำท่าใน Thailand Hydrological yearbook ประจำปีจะมีข้อมูลของสถานี Kh55 ในช่วงปี 2006-2010 และ 2012-2014 แต่จะขาดข้อมูลของปี 2011 ในกาศึกษานี้จะใช้วิธีเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่างสถานี Kh 98 กับ Kh 55 การปรับเทียบแบบจำลองใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนของปี 2006 ถึงปี 2009 และสอบเทียบแบบจำลองใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนของปี 2010 ถึงปี 2013

ผลการวิเคราะห์ทางอุทกวิทยาของสถานี Kh55 ในช่วงปี 2006 ถึงปี 2013 พบว่ามีค่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,387.8 มม. น้ำท่าเฉลี่ย 599.14 มม. อัตราส่วนของน้ำท่าต่อปริมาณฝนเท่ากับ 0.45 ดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.8 สอดคล้องกับผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับพื้นที่ 25 ลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย ของกรมชลประทาน (2009) ของสถานีวัดน้ำท่าที่ใกล้เคียงที่ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าที่สถานี Kh98 เท่ากับ 54.8 Kh74 เท่ากับ 39.0 และ Kh74 เท่ากับ 36.0 พารามิเตอร์ที่ใช้ปรับแสดงดังภาคผนวก ง

ผลการปรับเทียบพบว่าค่า r^2 และ N ดังแสดงในตาราง 4.2 ซึ่งผลที่ได้แสดงถึงความสามารถในการเป็นยอมรับได้ของความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองดังภาพประกอบที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ ของน้ำท่าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณได้



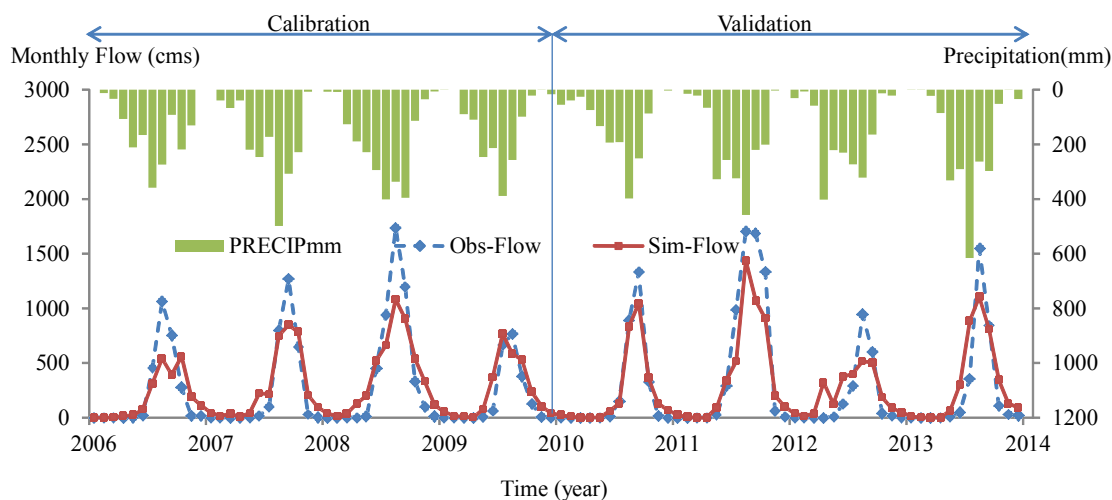


ภาพประกอบ 4.7 การประเมินปริมาณน้ำของกลุ่มน้ำที่สถานีสถานี Kh55

ตาราง 4.2 ผลการสอบเทียบปริมาณน้ำที่วัดได้กับค่าที่คำนวณจากแบบจำลองที่สถานี Kh 55

	ช่วงเวลา	ปริมาณน้ำท่าที่วัด/ที่คำนวณ	r^2	E
Calibration	2006-2009	0.99	0.83	0.79
Validation	2010-2013	0.94	0.87	0.83





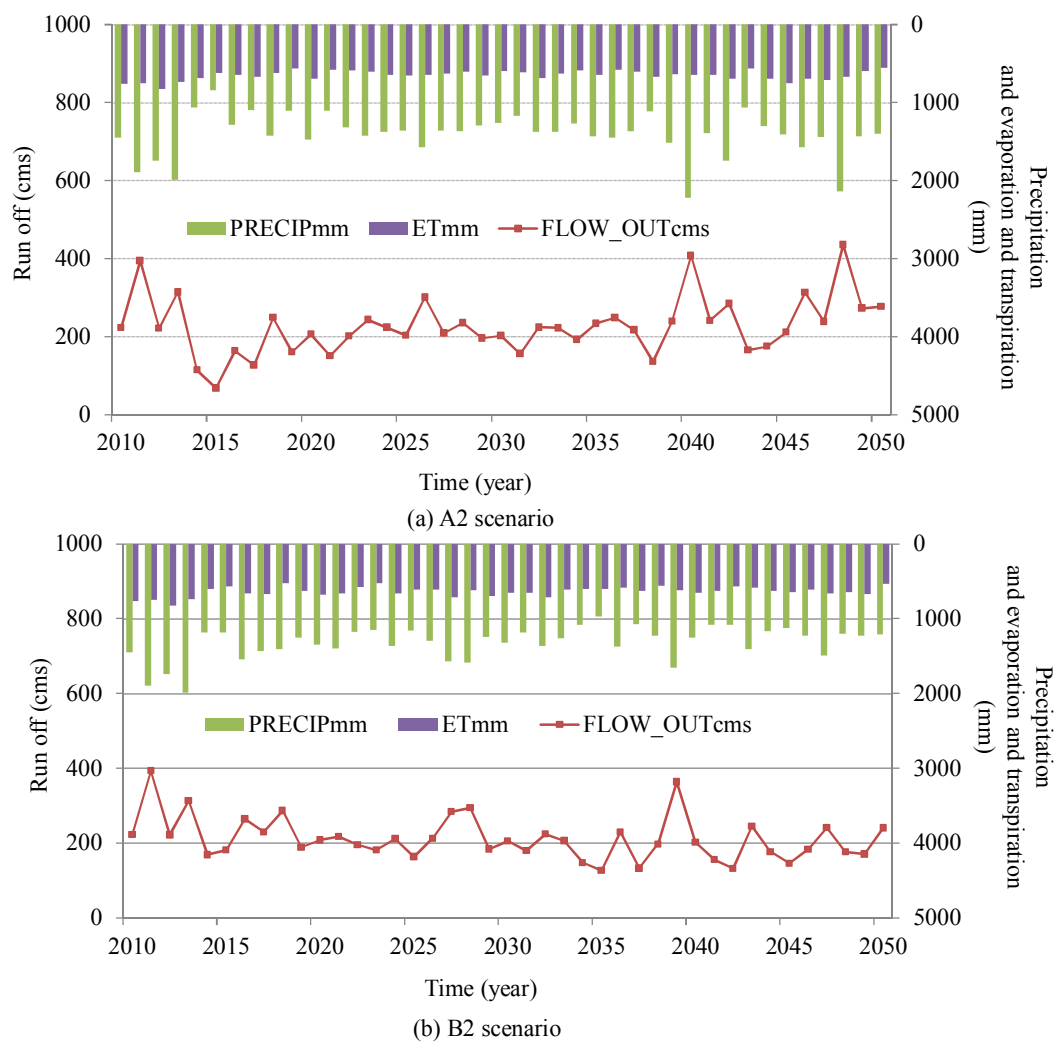
ภาพประกอบ 4.8 เปรียบเทียบน้ำท่าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณจากแบบจำลอง SWAT สถานี Kh 55

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในอนาคต

ในการศึกษาที่ใช้แผนที่การใช้ที่ดินปี 2010 ดังนั้นการเปรียบเทียบกับน้ำท่าในอนาคตจึงเลือกใช้ปี 2011 ถึงปี 2015 เป็นปีฐาน ผลการศึกษาพบว่าในปีฐานแบบจำลอง SWAT ให้ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 222 ลบ.ม./วินาที/ปี สำหรับปริมาณน้ำท่าในอนาคตเฉลี่ยทุกๆ 5 ปี ตั้งแต่ปี 2016 มีค่าเท่ากับ 180 203 227 248 247 214 และ 305 ลบ.ม./วินาที/ปี ในสถานการณ์ A2 และ 234 198 234 217 224 170 และ 210 ลบ.ม./วินาที/ปี ในสถานการณ์ B2 และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำฝนและอัตราการคายระเหยกับปีฐาน พบว่าปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่ามีค่าเพิ่มขึ้นแต่การคายระเหยมีค่าลดลง ในสถานการณ์ A2 แต่ในสถานการณ์ B2 ปริมาณน้ำท่ามีค่าลดลง การคายระเหยมีใกล้เคียงสถานการณ์ A2 สำหรับสถานการณ์ A2 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อปีมีค่าน้อยในช่วงแรกๆ แต่กลับเพิ่มขึ้นในกลางศตวรรษ แสดงถึงความไม่แน่นอนของการเปลี่ยนแปลงมาก ขณะที่สถานการณ์ B2 แสดงความไม่แน่นอนในการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า ดังภาพประกอบ 4.9 เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำท่ารายเดือน เทียบกับปีฐาน ภาพประกอบ 4.10 จะพบว่าการไหลของน้ำท่าในฤดูแล้งจะมีระยะเวลายาวนานขึ้น แต่ในช่วงฤดูฝนน้ำท่าจะไหลบ่าอย่างรวดเร็วและลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้ง 2 สถานการณ์ สอดคล้องกับหลายการศึกษาเช่นของ Middelkoop (2001) และ Wilby (2006)

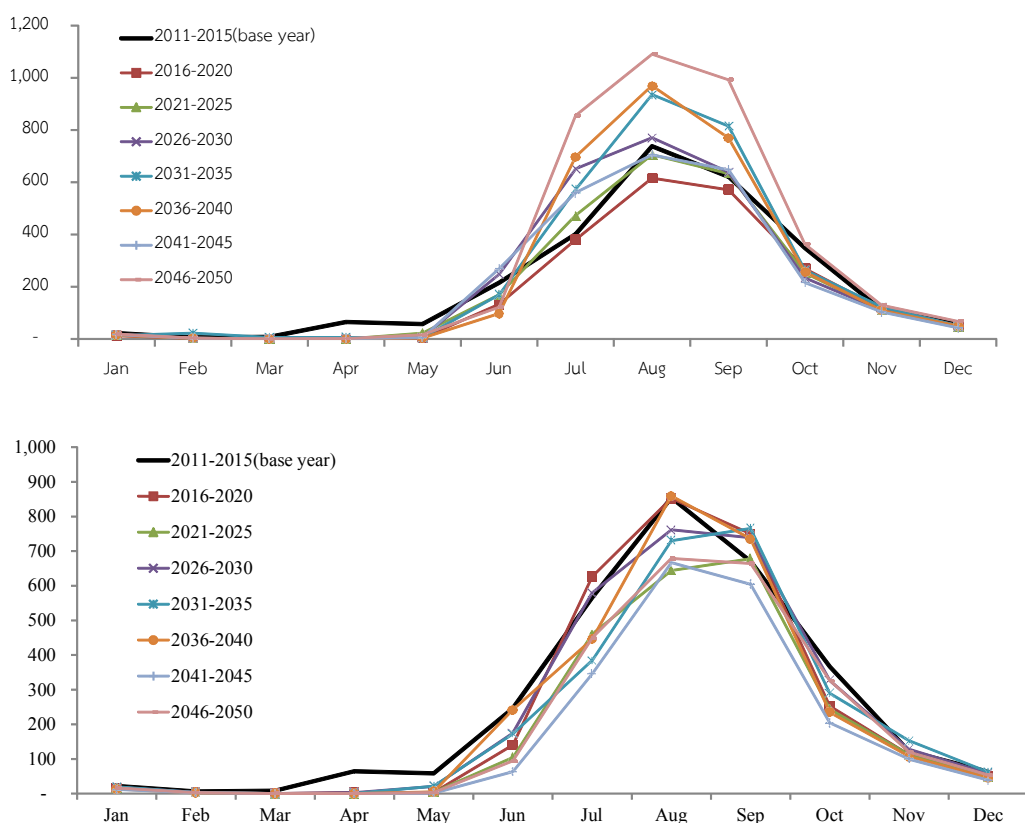
จะเห็นได้ว่าสถานการณ์ A2 มีความไม่แน่นอนของการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดกว่าสถานการณ์ B2 จากผลที่ได้จะมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวางแผนลุ่มน้ำต่อการปรับตัวในอนาคตข้างหน้า การวางแผนในสถานการณ์ A2 ที่อาจต้องวางแผนทั้งภัยแล้งมากและน้ำท่วมหนัก ส่วนสถานการณ์ B2 อาจต้องวางแผนรับมือกับสถานการณ์ภัยแล้ง อย่างไรก็ตามสาเหตุของความไม่แน่นอนส่วนใหญ่จะมาจากการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตซึ่งผู้ใช้แบบจำลองต้องให้ความสำคัญอย่างมาก





ภาพประกอบ 4.9 แสดงปริมาณน้ำท่าในอนาคตในสถานการณ์ A2 และ B2





ภาพประกอบ 4.10 น้ำทำในอนาคตเฉลี่ยรายเดือน

4.3 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

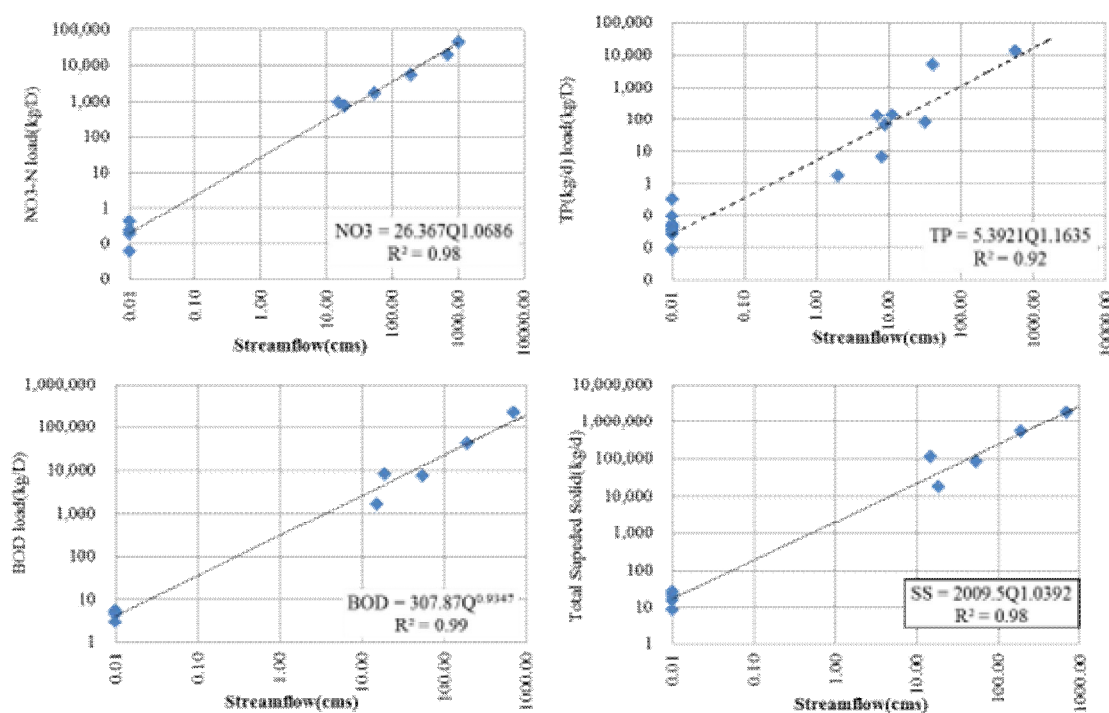
4.3.1 คุณภาพน้ำในอดีต

การศึกษาคุณภาพน้ำโดยการเก็บตัวอย่างน้ำ คุณภาพน้ำผิวดินของสถานี Kh98 Kh93 และ Kh 55 ด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างและนำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ค่า pH สภาพการนำไฟฟ้า ออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด สารละลายได้ทั้งหมด คลอไรด์ ไนเตรท และแอมโมเนีย ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2012 ถึงเดือนมิถุนายน 2013 ภาพประกอบ ค 1 ถึง ค 7 ผลการวิเคราะห์แสดงดังตาราง ค 1 ถึง ค 3 นอกจากนี้ยังได้นำข้อมูลจากรายงานสถานการณ์สิ่งแวดล้อมประจำปีของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 9 ซึ่งจะมีรายงานคุณภาพน้ำในแม่น้ำสงครามมีการตรวจวัดที่สถานี Kh 55 และสถานี Kh 98 ประกอบการพิจารณาโดยเฉพาะค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด ได้ผลการวิเคราะห์ในหน้าแล้งและหน้าฝนเฉลี่ยดังนี้คือ pH เท่ากับ 7.3 และ 6.1 DO เท่ากับ 4.7 และ 6.8 BOD เท่ากับ 5.2 และ 2.3 TSS เท่ากับ 18.8 และ 31.2 ไนเตรท เท่ากับ 0.3 และ 0.6 และฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 0.08 และ 0.17

ผลการคำนวณค่าคุณภาพน้ำจากแบบจำลอง SWAT เป็นค่าภาระของสารอาหารหรือสารอินทรีย์คาร์บอน และเป็นข้อมูลต่อเนื่องรายวันหรือรายเดือน แต่การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ค่าคุณภาพน้ำนั้นวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าของความเข้มข้นและเป็นผลของการเก็บตัวอย่างครั้งนั้นๆ ซึ่งจะมี



จำนวนของพารามิเตอร์น้อยค่า ยากต่อการปรับเทียบแบบจำลอง จึงต้องเปลี่ยนค่าความเข้มข้นเป็นภาระสารอาหารหรือสารอินทรีย์คาร์บอน แล้วนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่อภาระสารอาหารหรือสารอินทรีย์คาร์บอน นำไปปรับเทียบแบบจำลองต่อไป ดังแสดงในภาพประกอบ 4.11



ภาพประกอบ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่อปริมาณของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำต่างๆ

4.3.2 การสอบเทียบค่าคุณภาพน้ำ

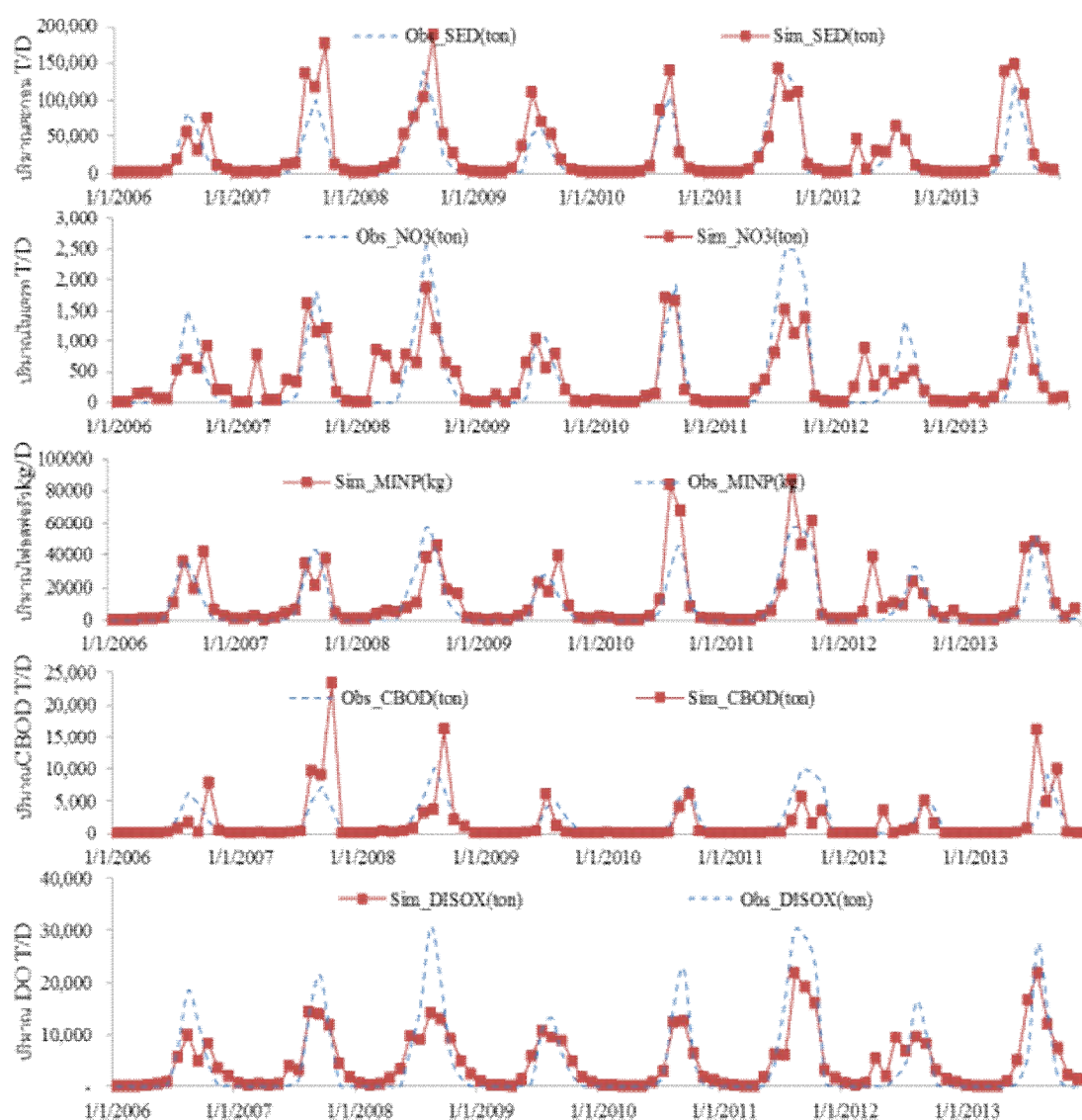
จากภาพประกอบ 4.11 นำอัตราการไหลในอดีตไปเปรียบเทียบกับได้ภาระสารอาหารหรือสารอินทรีย์คาร์บอนในแต่ละวัน ซึ่งจะหน่วยเดียวกันกับข้อมูลที่คำนวณได้จากแบบจำลอง SWAT การสอบเทียบแบบจำลองจะทำการสอบเทียบในสถานี Kh 55 เนื่องจากเป็นสถานีที่มีข้อมูลคุณภาพน้ำมากที่สุด และใช้ช่วงเวลาเดียวกับการสอบเทียบปริมาณน้ำคือ ช่วงปี 2006 ถึงปี 2009 สำหรับปรับเทียบและ 2010 ถึงปี 2013 สำหรับสอบเทียบ ผลการปรับเทียบและสอบเทียบแบบจำลองดังแสดงในตาราง 4.3 และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ได้จากการวัดและข้อมูลที่ได้จากการแบบจำลองดังภาพประกอบ 4.11 ปรับเทียบและการสอบเทียบปริมาณตะกอน ไนเตรท และ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำให้ผลของค่าความเชื่อมั่นที่ดี แต่ผลการปรับเทียบและสอบเทียบปริมาณฟอสฟอรัสและปริมาณบีโอดี ให้ผลค่อนข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนเฉลี่ยปริมาณของสารอาหารและค่าสารอินทรีย์คาร์บอนรายปีที่วัดได้กับการคำนวณในแบบจำลอง SWAT มีค่าใกล้เคียงกัน สามารถนำไปเปรียบเทียบผลระยะยาวรายปีได้ พารามิเตอร์หลักที่ปรับแสดงในภาคผนวก ง



ตาราง 4.3 ผลการสอบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ

		Calibration	Validation
Sediment	obs/sim	0.86	0.88
	r^2	0.73	0.85
	E	0.77	0.87
NO ₃	obs/sim	0.91	1.13
	r^2	0.54	0.58
	E	0.55	0.56
TP	obs/sim	0.93	0.98
	r^2	0.46	0.45
	E	0.59	0.48
CBOD	obs/sim	0.81	1.12
	r^2	0.51	0.37
	E	0.1	0.35
DO	obs/sim	0.97	1.09
	r^2	0.76	0.83
	E	0.79	0.81





ภาพประกอบ 4.12 เปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่วัดได้กับค่าที่คำนวณจาก SWAT สถานี Kh 55



4.3.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในอนาคต

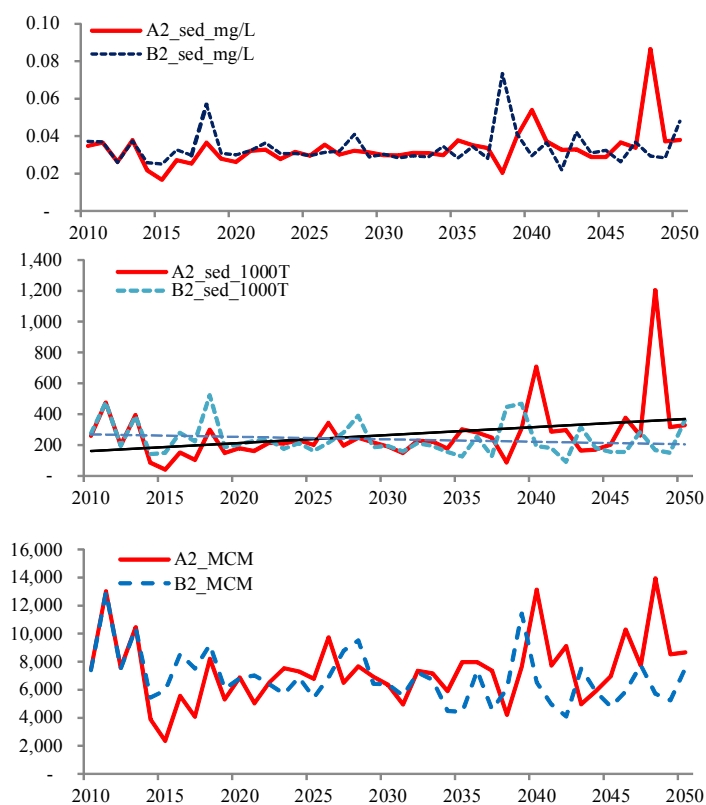
การวิเคราะห์ในครั้งนี้จะใช้ช่วงปี 2011 ถึงปี 2015 เป็นปีฐานในการวิเคราะห์ซึ่งสามารถอธิบายดังนี้

การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนจาก Thailand Hydrological yearbook ปี 2013 ของกรมชลประทานได้มีการวัดปริมาณตะกอนที่สถานี Kh98 เป็นสถานีที่อยู่ก่อนถึง Kh55 ได้ปริมาณตะกอน 314,917 ตัน/ปี ส่วนสถานี Kh55 ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับที่วัดได้ 442,600 ตัน/ปี และปริมาณตะกอนในช่วงปีฐานเฉลี่ยประมาณ 346,800 ตัน/ปี เมื่อพิจารณาปริมาณตะกอนในอนาคตพบว่าในสถานการณ์ A2 มีแนวโน้มปริมาณตะกอนเพิ่มขึ้น แต่ในสถานการณ์ B2 มีแนวโน้มลดลง แสดงในภาพประกอบที่ 4.13 ซึ่งเป็นผลจากปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นของทั้ง 2 สถานการณ์ สอดคล้องกับการศึกษาของ M.A. Mimikou M.A. (2000) และ Oeurng C. (2011) ที่แสดงผลของปริมาณน้ำท่ามีความสัมพันธ์ตรงกับปริมาณตะกอน

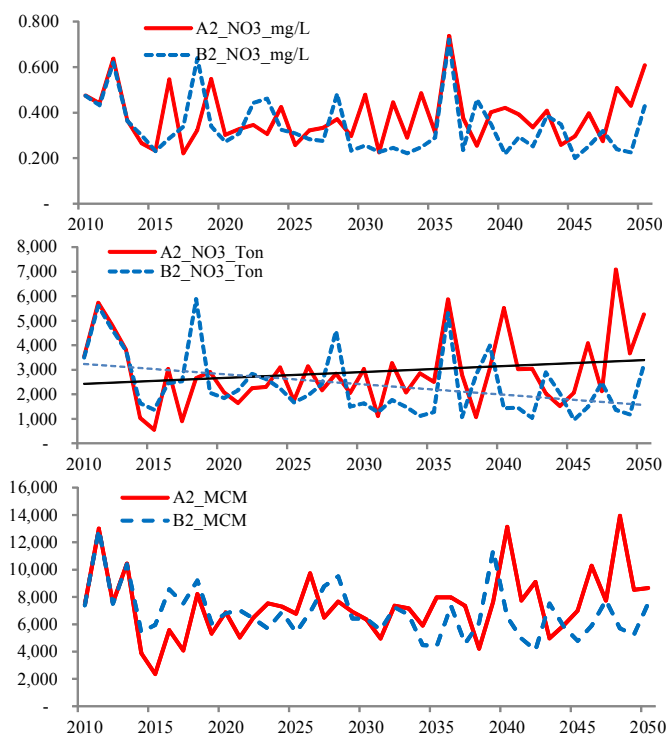
การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท พบว่าปริมาณไนเตรทช่วงปีฐานมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3,700 ตัน/ปี เมื่อพิจารณาปริมาณไนเตรท ในอนาคตพบว่าในสถานการณ์ A2 มีแนวโน้มปริมาณไนเตรทเพิ่มขึ้นแต่ในสถานการณ์ B2 มีแนวโน้มปริมาณไนเตรทลดลง ปริมาณฟอสฟอรัสในช่วงปีฐานเฉลี่ยประมาณ 1,600 ตัน/ปี เมื่อพิจารณาปริมาณฟอสฟอรัสในอนาคตพบว่าในสถานการณ์ A2 มีแนวโน้มปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นแต่ในสถานการณ์ B2 มีแนวโน้มปริมาณฟอสฟอรัสลดลง แสดงในภาพประกอบ 4.14 และ 4.15 ซึ่งเป็นผลจากปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นของทั้ง 2 สถานการณ์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Wang (2010) ที่แสดงผลการศึกษาของปริมาณน้ำท่ามีความสัมพันธ์ตรงกับสารอาหาร

การวิเคราะห์ปริมาณบีโอดี ในช่วงปีฐานเฉลี่ยมีปริมาณบีโอดี ประมาณ 16,700 ตัน/ปี เมื่อพิจารณาปริมาณบีโอดี ในอนาคตพบว่าทั้งสถานการณ์ A2 และ B2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงในภาพประกอบ 4.16 ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดที่มาจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ค่าความเข้มข้นของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงน้อยมากในอนาคต แสดงในภาพประกอบ 4.17



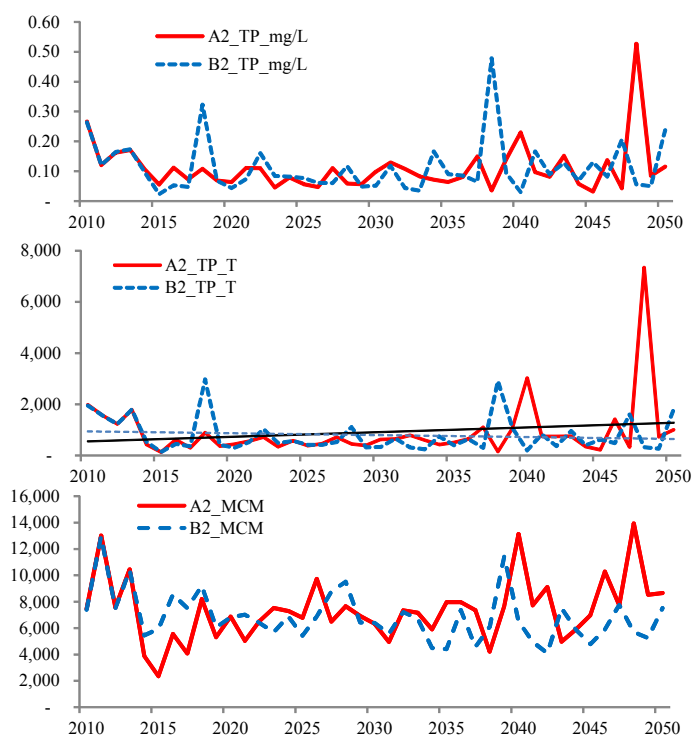


ภาพประกอบ 4.13 ปริมาณตะกอนในอนาคต

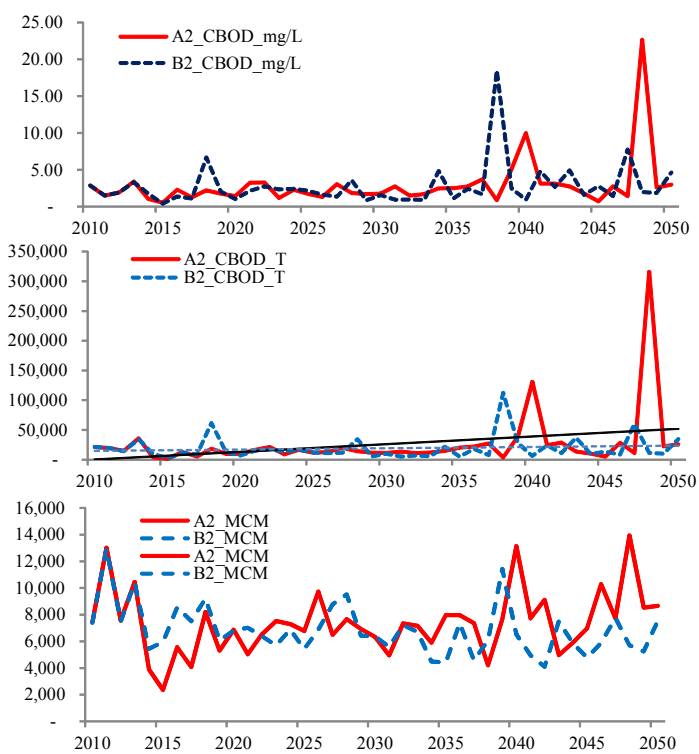


ภาพประกอบ 4.14 ปริมาณไนเตรทในอนาคต



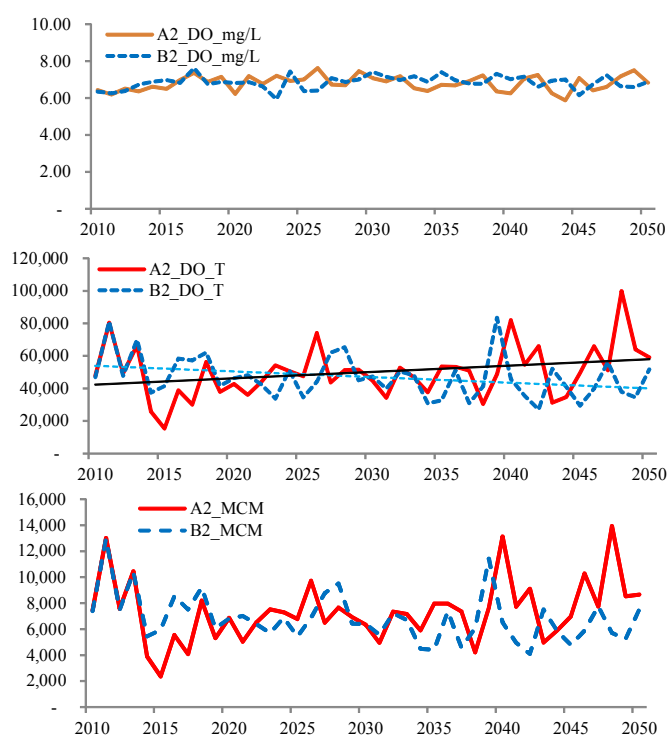


ภาพประกอบ 4.15 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในอนาคต



ภาพประกอบ 4.16 ปริมาณบีโอดีในอนาคต

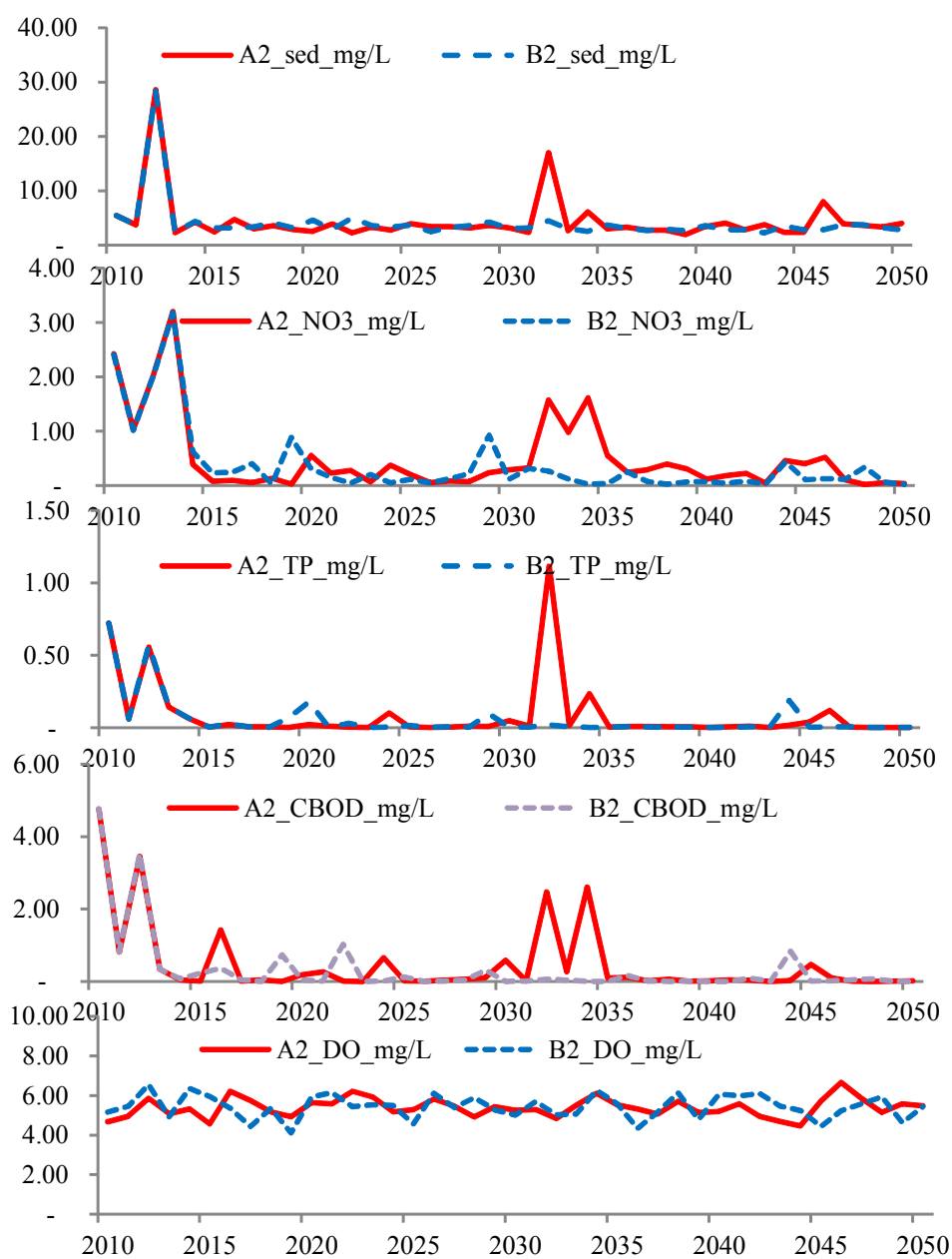




ภาพประกอบ 4.17 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในอนาคต

เมื่อวิเคราะห์ในช่วงฤดูแล้ง ของปริมาณตะกอน ปริมาณสารอาหารและบีโอดีจากแบบจำลอง SWAT ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายนดังภาพประกอบ 4.18 ผลการคำนวณจากแบบจำลองแสดงถึงความไม่แน่นอนของปริมาณสารอาหารและค่าบีโอดีในสถานการณ์ A2 ซึ่งสอดคล้องปริมาณน้ำท่า จะเห็นว่าบางปีมีความเข้มข้นของปริมาณสารอาหารและปริมาณบีโอดีมีค่าสูง





ภาพประกอบ 4.18 ความเข้มข้นของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำช่วงฤดูแล้งในอนาคต



4.3.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำกับปริมาณฝนและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

เมื่อนำผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลอง ได้แก่ อัตราการไหล ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำรายปี มาหาความสัมพันธ์อย่างง่ายกับ ปริมาณตะกอน ปริมาณไนเตรท ปริมาณฟอสฟอรัสและปริมาณบีโอดี วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัว โดยวิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน พบว่าปริมาณตะกอนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการไหลและปริมาณน้ำฝน และมีความสัมพันธ์น้อยและเชิงลบกับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำรายปี ปริมาณไนเตรทมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการไหลและปริมาณน้ำฝน และมีความสัมพันธ์น้อยและเชิงลบกับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำรายปี ปริมาณฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์เชิงบวกเล็กน้อยกับอัตราการไหลและปริมาณน้ำฝน และมีความสัมพันธ์น้อยมากและเชิงลบกับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำรายปี และบีโอดี มีความสัมพันธ์น้อยมากเป็นเชิงบวกกับอัตราการไหลและปริมาณน้ำฝน และมีความสัมพันธ์น้อยมากและเป็นเชิงลบกับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำรายปี รายละเอียดแสดงดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันสำหรับตัวแปรคุณภาพน้ำกับตัวแปรสภาพอากาศ

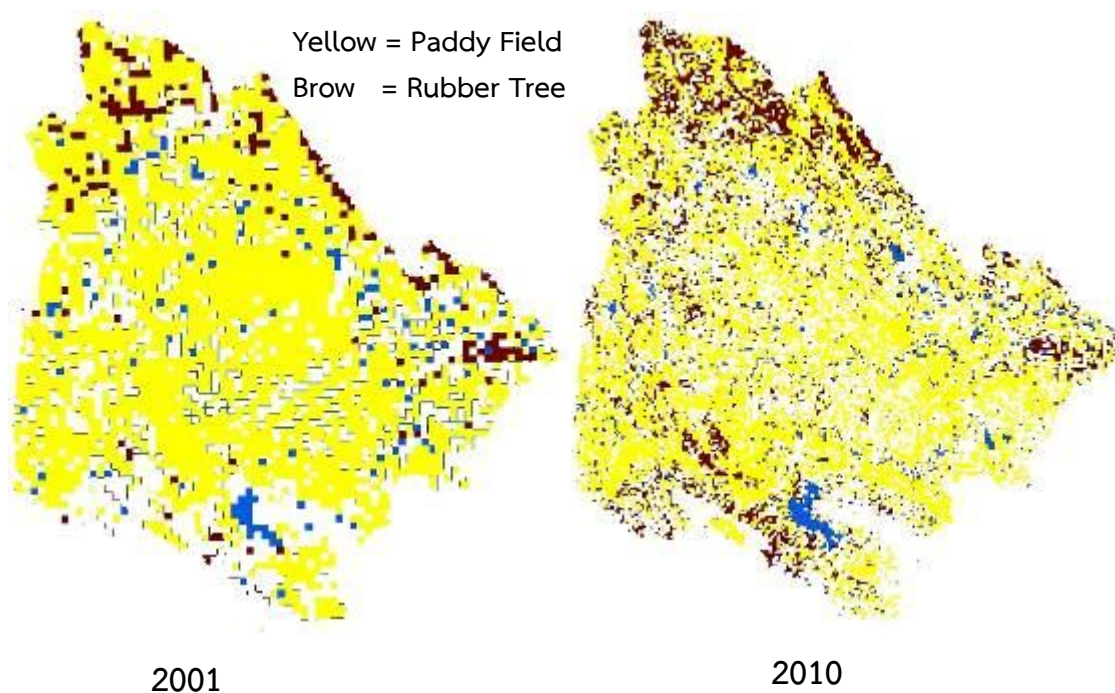
	อัตราการไหล	ปริมาณน้ำฝน	อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดรายปี	อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดรายปี
ตะกอน	0.91	0.76	-0.52	-0.36
ไนเตรท	0.64	0.70	-0.62	-0.51
ฟอสฟอรัส	0.38	0.47	-0.21	-0.13
บีโอดี	0.28	0.45	-0.18	-0.10



4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

4.4.1 การวิเคราะห์การใช้ที่ดินในอดีต

จากแผนที่การใช้ที่ดินในปี 2001 และปี 2010 พบว่า มียางพาราเพิ่มขึ้นถึง จาก 4% เป็น 16% ของลุ่มน้ำ ภาพประกอบ 4.19 และตาราง 4.5 จากตารางพื้นที่ปลูกยางพาราในลุ่มน้ำมีค่าสูงขึ้น ขณะเดียวกันพื้นที่เพาะปลูกข้าวมีค่าลดลง ในการศึกษาจึงจึงเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากนาข้าวเป็น ยางพาราโดยให้ยางพาราเพิ่มขึ้น 25% 50% และ 75% ของพื้นที่เพาะปลูกเดิม นาข้าวจะมีพื้นที่ลดลง 7%, 13% และ 20%



ภาพประกอบ 4.19 การเปรียบเทียบการใช้ที่ดินปี 2001 และ 2010

ตาราง 4.5 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในลุ่มน้ำสงคราม (ปี 2001 และปี 2010)

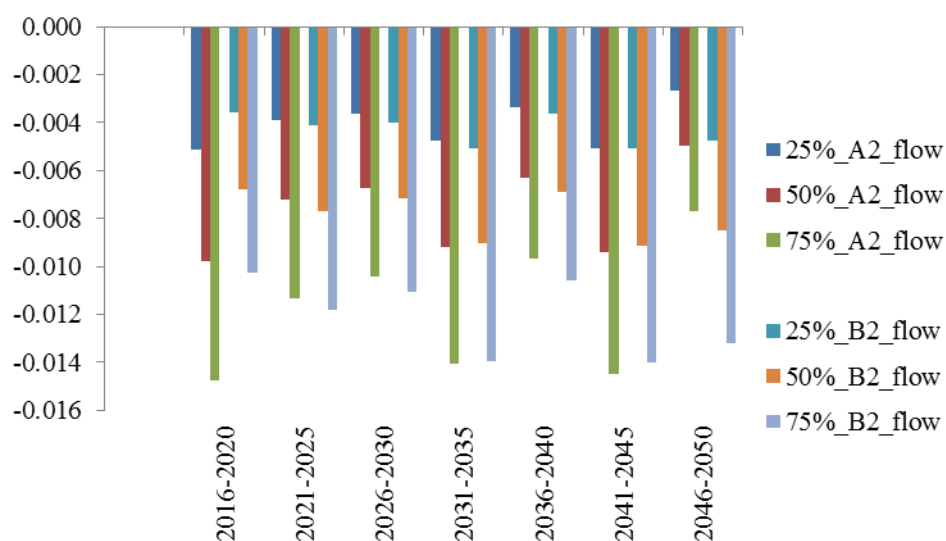
Land use type	2001 (Ha)	2001 (Ha)	% Change of basin
LMB Miscellaneous land	19,424	30,851	1
LMB Horticulture		1,663	0
Orchard	2,487	2,558	0
Water	40,521	53,854	1
Rubber Trees	61,285	162,294	8
LMB Paddy field	778,112	584,636	-15
Agricultural Land-Generic	127,034	109,513	-1
Residential	39,982	57,365	1
Range-Brush	33,377	65,723	3
Pasture	370	21,359	2
LMB Disturbed forest land	175,025	187,799	1
Total	1,277,617	1,277,617	

4.4.2 การวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนการใช้ที่ดิน

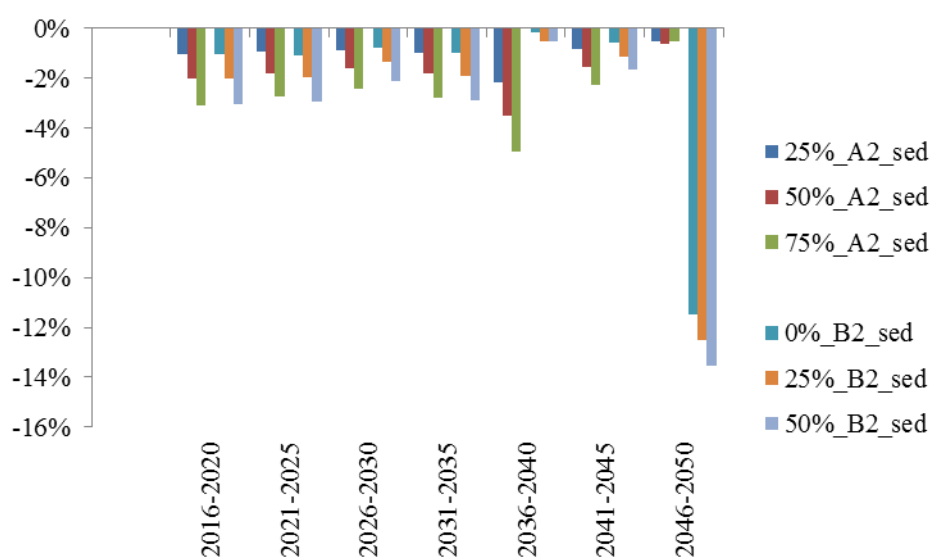
เมื่อเปลี่ยนการใช้ที่ดินในแบบจำลอง SWAT ทั้งสถานการณ์ A2 และ B2 การคำนวณของแบบจำลอง แสดงดังภาพประกอบ 4.20 ถึง 4.24 พบว่าการขยายพื้นที่เพาะปลูกของยางพาราที่เพิ่มขึ้นทดแทนพื้นที่เพาะปลูกข้าวส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าลดลงทั้งสองสถานการณ์ โดยสถานการณ์ B2 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าในทุกค่าของการเปรียบเทียบสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงเกิดจากความต้องการน้ำของยางพารามีค่าสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Maite G.C. et al. (2010) ในแบบจำลอง SWAT จะใช้การเปรียบเทียบการใช้น้ำของพืชไว้กับค่าทรงพุ่มของต้น (canopy plant) ซึ่งค่านี้มีความสำคัญต่อผลของการซึมลงดิน ปริมาณน้ำท่าและค่าศักยภาพการคายระเหย ค่าทรงพุ่มของใบจะทำการหักและเก็บส่วนหนึ่งไว้ในทรงพุ่ม และลดพลังงานการกัดเซาะของฝนที่ตกลงมา ค่า Max canopy ในแบบจำลอง SWAT ของข้าวมีค่าเท่ากับ 0.8 ส่วนของยางพารามีค่า เท่ากับ 3.5

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าค่า Max canopy ของข้าวกับของยางพารามีค่าต่างกันมากแต่เปอร์เซ็นต์การลดลงของปริมาณน้ำท่ามีค่าน้อยมากจนไม่มีความสำคัญนั้นมาจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เพาะปลูกยางพาราไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด จะเห็นได้ว่าการที่พื้นที่ปลูกยางพาราเพิ่มขึ้น 25 % 50 % และ 75% นั้นเป็นการเพิ่มสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำ 3% 6% และ 10% ในลุ่มน้ำทั้งหมดเท่านั้น จึงทำให้ยังไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนมากนักซึ่งสอดคล้องกับ ศราวุธ วงศาศรี (2012) ที่จำลองการเพิ่มพื้นที่การปลูกพืชพลังงาน 26.6% ในลุ่มน้ำพองส่งผลทำให้ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำลดลงสูงสุดเพียง 1.08%



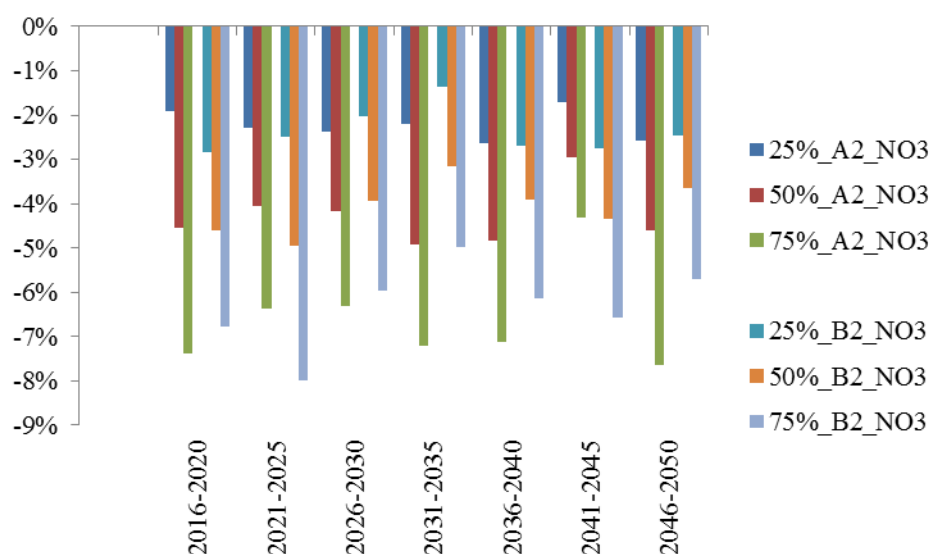


ภาพประกอบ 4.20 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำเมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

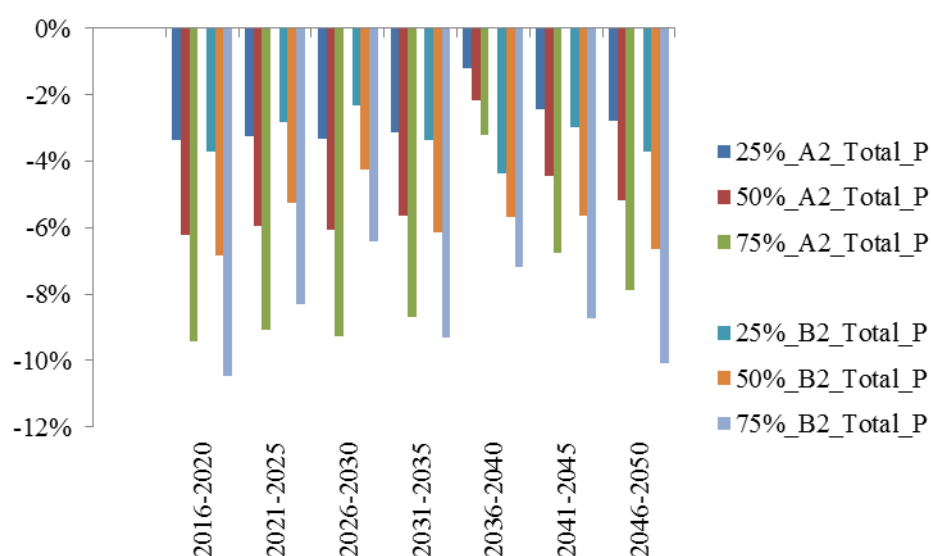


ภาพประกอบ 4.21 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนเมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน



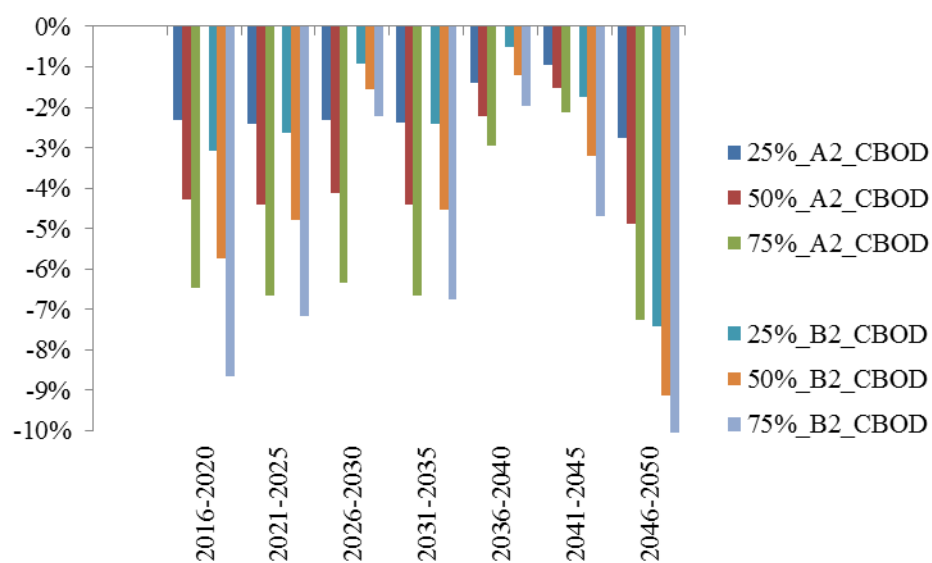


ภาพประกอบ 4.22 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรทเมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน



ภาพประกอบ 4.23 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน





ภาพประกอบ 4.24 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณบีโอดี เมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน



บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การสรุปการวิจัยจะทำการสรุปผลในรูปของภาพฉายในอนาคตทั้ง 2 สถานการณ์

5.1.1 ภาพฉายในอนาคตในสถานการณ์ A2

ในภาพฉายอนาคตสถานการณ์ A2 ซึ่งแนวทางการพัฒนาในระดับภูมิภาคมีการควบคุมก๊าซเรือนกระจกน้อย โดยการพัฒนาจะเน้นการเจริญเติบโตในเชิงเศรษฐกิจมากกว่าความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำสุดรายปี มีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำฝนมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำท่ารายปีก็มีค่าเพิ่มขึ้นแต่มีความไม่แน่นอนของการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในสถานการณ์นี้สูง เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำท่ารายเดือน จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งจะยาวนานแต่เมื่อฤดูฝนน้ำจะเข้ามาเร็วและลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อพิจารณาตัวแปรคุณภาพน้ำพบว่าปริมาณตะกอน และปริมาณสารอาหารในสถานการณ์ มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำท่า ส่วนปริมาณ บีโอดี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากนาข้าวมาเป็นยางพารา พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าและคุณภาพน้ำลดลงซึ่งเป็นผลจากค่าดัชนีทรงพุ่มของพืช การเปลี่ยนแปลงที่ลดลงไม่มากนักเป็นเพราะมีการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกต่อลุ่มน้ำน้อย

5.1.2 ภาพฉายในอนาคตในสถานการณ์ B2

ในภาพฉายอนาคตสถานการณ์ B2 เป็นแนวทางการพัฒนาแบบสมดุลและมีการควบคุมก๊าซเรือนกระจกมาก เน้นการแก้ปัญหาท้องถิ่น ทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด-ต่ำสุดรายปี มีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำฝนมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ปริมาณน้ำท่ารายปีก็มีค่าลดลง เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำท่ารายเดือน จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งจะยาวนาน เมื่อพิจารณาตัวแปรคุณภาพน้ำพบว่าปริมาณตะกอน และปริมาณสารอาหารในสถานการณ์ มีแนวโน้มที่ลดลงตามปริมาณน้ำท่า ส่วนปริมาณบีโอดี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากนาข้าวมาเป็นยางพาราพบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าและคุณภาพน้ำลดลงเช่นกันกับสถานการณ์ A2

จะเห็นได้ว่าภายใต้ภาพฉายอนาคตสถานการณ์ A2 ซึ่งเป็นสถานะที่มีการควบคุมก๊าซเรือนกระจกน้อยจะมีความไม่แน่นอนของการเปลี่ยนแปลงสูงอาจต้องเผชิญทั้งสภาวะภัยแล้งและสภาวะน้ำท่วม ทั้งปัญหาคุณภาพน้ำที่สูงขึ้น ส่วนภาพฉายอนาคตสถานการณ์ 2 ซึ่งเป็นสถานะที่มีการควบคุมก๊าซเรือนกระจก มีการเปลี่ยนแปลงน้อยอาจต้องเผชิญกับสภาวะภัยแล้ง จากการศึกษานี้จะเห็นแนวทางไปใช้บริหารจัดการในพื้นที่ต่อไป



5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การศึกษาการปรับตัวในสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

5.2.2 การสอบเทียบแบบจำลอง ให้สามารถได้ค่าความเชื่อมั่นที่ดี ยังต้องเป็นการหาค่าถึงแม่นยำจะมีการทำ Sensitive Analysis ก็เป็นการหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการหาค่า การมีเครื่องมือช่วยสอบเทียบโดยใช้กระบวนการทาง Optimization เช่น GA อาจทำให้การสอบเทียบแบบจำลองมีความรวดเร็วได้ยิ่งขึ้น

5.2.3 การศึกษาการเพิ่มส่วนการคำนวณของเกลือใน Model SWAT เนื่องจากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยมีปัญหาดินเค็ม แต่เนื่องจาก SWAT ยังไม่มีโมเดลย่อยในส่วนของการเพิ่มโมเดลย่อยจะเป็นการพัฒนา SWAT ให้สามารถใช้งานได้มากขึ้น

5.2.4 นอกจากนี้ SWAT ยังสามารถคำนวณหาปริมาณสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ถ้ามีปริมาณข้อมูลย้อนหลังเพียงพอ



เอกสารอ้างอิง



เอกสารอ้างอิง

- กนกพร เลิศเดชา และคณะ. (2558). การศึกษาอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนของแม่น้ำในภาคเหนือของประเทศไทย. *การประชุมวิชาการ วิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติ ครั้งที่ 6*. 2, 5-7, สิงหาคม.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2544). *น้ำเสียชุมชนและการบำบัดน้ำเสีย*. กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.
- กรมชลประทาน. (2552). *การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่รายปีเฉลี่ยกับพื้นที่ 25 กลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย*. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.
- กิตติพงษ์ ธนาศิริยะกุลม. (2546). *การประเมินสัมพันธภาพประกอบลำน้ำย่อยของประเทศไทยด้วยข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศและแบบจำลองสารสนเทศ SWAT/GIS : กรณีศึกษา พื้นที่ลุ่มน้ำแม่ตื่นตอนบน อำเภอมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จตุพร ปัญญาวัฒน์. (2553). *การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT2000/GIS ในการประเมินการกระจายตัวของธาตุอาหาร เชิงพื้นที่จากลุ่มน้ำอุทกสงเคราะห์ทะเลสาบสงขลา*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิรสรณ์ สันติสิริสมบุรณ์. (2552). *การศึกษาวิเคราะห์และสังเคราะห์งานวิจัย การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ*. รายงานการวิจัย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง
- ชุติมา คุณสมุทร และคณะ. (2550). แนวโน้มผลกระทบของการชะล้างเกลือตามธรรมชาติและการผลิตเกลือต่อคุณภาพน้ำในแม่น้ำสงคราม. *วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 35(4), 252-263.
- ปฐมพงศ์ ผลสนอง และวิเชียร ปลื้มกมล. (2558). ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อปริมาณตะกอนในพื้นที่ต้นน้ำลุ่มน้ำยม. *การประชุมวิชาการ วิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติ ครั้งที่ 6*, 2, 25-37, สิงหาคม.
- ปรียาพร โกษา และคณะ. (2558). ได้ประเมินปริมาณน้ำท่าและตะกอนที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำลำพระเพลิงด้วยแบบจำลอง SWAT. *การประชุมวิชาการ วิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติ ครั้งที่ 6*, 2, 110-122, สิงหาคม.
- พรชัย ปรีชาปัญญา. (2543). ผลกระทบการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อคุณภาพของน้ำ บริเวณลุ่มน้ำแม่ทะลายอำเภอมะแตง จังหวัดเชียงใหม่. *วารสารวิชาการป่าไม้*, 2(1), 42-56.
- วินัย วังพิมูล. (2552). *คู่มือปฏิบัติการการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT*. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรน้ำ.
- สมณพร สุทธิบาก. (2553). *การศึกษาคูณภาพน้ำแหล่งน้ำหนองหารและแหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำ: กรณีศึกษามลพิษทางด้านไนเตรท ฟอสเฟตและผลกระทบจากการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำหนองหารบริเวณประตูระบายน้ำสุรัสวดี*. รายงานงานวิจัย. สกลนคร: คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร.
- ศรายุทธ วงศาศรี. (2555). *การประเมินปริมาณและคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำพองตอนล่างโดยใช้แบบจำลอง SWAT*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น.



- ศุภกร ชินวรรณโณ และคณะ. (2552). *การคาดการณ์สภาพภูมิอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ PRECIS และ ECHAM4. Southeast Asia START Regional Center Technical Report No. 18.* กรุงเทพฯ: ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์ วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ศุภกร ชินวรรณโณ และคณะ. (2552). ภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำชี-มูล. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 14(7), 666-682.
- สมพินิจ เหมือนทอง. (2013). *การวางแผนจัดการแม่น้ำสงคราม: กรณีศึกษาคุณภาพน้ำโดยใช้เทคนิคพหุตัวแปร.* รายงานการวิจัย. ม.ป.ท.: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9 อุดรธานี. (ม.ป.ป.). *รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม.* ม.ป.ท.: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สุจริต คุณธนกุลวงศ์. (2553). *สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงของไทยและผลกระทบต่อด้านน้ำ.* กรุงเทพฯ: หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- อนงค์ฤทธิ์ แท้งแรง. (2550). *การวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำระดับลุ่มน้ำ.* มหาสารคาม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- โอฬาร เวศอุไร. (2548). *ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบนโดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อำนาจ ชิดไธสง, กัณห์ธิ์ บุญประกอบ, เจียมใจ เครือสุวรรณ และศุภกร ชินวรรณโณ. (2553). *การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย เล่มที่ 2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิอากาศในอนาคต.* กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- Arnell NW. (1996). *Global Warming, River Flows and Water Resources.* Wiley: Chichester.
- . (1998). Climate Change and Water Resources in Britain. *Climate Change*, 39, 83–110.
- . (2003). Relative effects of multi-decadal climatic variability and changes in the mean and variability of climate due to global warming: future streamflows in Britain. *Journal of Hydrology*, 270, 195–213.
- . (2004). Climate-change impacts on river flows in Britain: the UKCIP02 scenarios. *Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management*, 18, 112–117.
- Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS. and Williams JR. (1998). Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34, 73-89.
- Beaugrand G and Reid P. (2003). Long-term changes in phytoplankton, zooplankton and salmon related to climate. *Global Change Biology*, 9, 801–817.



- Chinvannoc S. and Choengbunluesak T. (2006). *Climate change scenario for Songkram River basin*. Southeast Asia START Regional Center: Final report.
- Environment Agency. (2005). *Effect of Climate Change on Salmon Fisheries*. Bristol: Environment Agency.
- Gleick, P.H. (1987). The Development and Testing of a Water Balance Model for Climate Impact Assessment: The Sacramento Basin. *Water Resour. Res.*, 23(6), 1049–1061.
- Hejzlar J., Dubrovsky' M., Buchtele J. and Ru'z'ic'ka M. (2003). The apparent and potential effects of climate change on the inferred concentration of dissolved organic matter in a temperate stream (the Mals'e River, South Bohemia). *The Science of the Total Environment*, 310, 143–152.
- Hiscock K., Southward A., Tittley I. and Hawkins S. (2004). Effects of changing temperature on benthic marine life in Britain and Ireland. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 14, 327–331.
- Hoanh CT, Jirayoot K, Lacombe G. and Srinetr V. (2010). *Comparison of climate change impacts and development effects on future Mekong Flow Regime*. Canada: Modelling for environment's sake, Fifth Biennial Meeting, Ottawa.
- Huang Z., Xue B. and Pang Y. (2009). Simulation on stream flow and nutrient loadings in Gucheng Lake, Low Yangtze River Basin, based on SWAT model. *Quaternary International*, 208(2009), 109–115
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Switzerland: IPCC, Geneva.
- Jiang T. (2007). Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *Journal of Hydrology*, 336, 316– 333.
- Koontanakulvong S. (2011). *GCM data comparison and its application to water disaster adaption measures in Thailand ; Water Resources System Research Unit Faculty of Engineering Chulalongkorn University*. Bangkok: Chulalongkorn University.
- Leavesley, G.H. (1994). Modelling the effects of climate change on water resources. *Climatic Change*, 28, 159–177.
- Maite G.C., Peter A. Troch, Alan D. Ziegler, Thomas W. Giambelluca, Matej Durcik, John B. Vogler and Michael A. Nullet. (2010). Hydrologic effects of the expansion of rubber (*Heveabraziliensis*) in a tropical catchment. *Ecohydrol*, 3, 306–314.



- Mango L.M., Melesse A.M., McClain M.E., Gann D. and Setegn S. G. (2011). Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper Mara River Basin, Kenya: results of a modeling study to support better resource management. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 2245–2258.
- MIDDELKOOP H. (2000). Impact of Climate Change on Hydrological Regimes and Water Resources Management in the Rhine Basin. *Climatic Change*, 49(1-2), 105-128.
- Mimikou M.A., Baltas E., Varanou E. and Pantazis K. (2000). Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators. *Journal of Hydrology*, 234, 95–109.
- Moss, B., McKee, D., Atkinson, D., Collings, S.E., Eaton, J.W., Gill, A.B., Harvey, I., Hatton, K., Heyes, T. and Wilson, D. (2003). How important is climate Effects of warming, nutrient addition and fish on phytoplankton in shallow lake microcosms. *Journal of Applied Ecology*, 40, 782–792.
- Neitsch S., Arnold J., Kiniry J. and Williams J. (2011). *Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*. s.l.: s.n.
- Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R. and Williams J.R. (2001). *Soil and Water Assessment Tool user's manual version 2000*. s.l.: s.n.
- Oeurng C., Sauvage S., Miguel J. and Pérez S. (2011). Assessment of hydrology, sediment and particulate organic carbon yield in a large agricultural catchment using the SWAT model. *Journal of Hydrology*, 401, 145–153.
- Omani N., Srinivasan R. and Lee T. (2012). *Estimating Sediment and Nutrient loads of Texas Coastal Watersheds with SWAT; A case study of Galveston Bay and Matagorda Bay*. Final Report for the Texas Water Development Board. Spatial Sciences Laboratory Texas A&M University.
- Pilling, C. and Jones, J.A.A. (1999). High resolution climate changes scenarios : implications for British runoff. *Hydrological Processes*, 13, 2877–2895.
- Prathumratana L, Sthiannopkao S. and Kim KW. (2008). The relationship of climatic and hydrological parameters to surface water quality in the lower Mekong River. *Environment International*, 34, 860–866.
- Qiu L, Zheng F. and Yin R. (2012). SWAT-based runoff and sediment simulation in a small watershed the loessial hilly-gullied region of China: capabilities and challenges. *International Journal of Sediment Research*, 27, 226-234.
- Sommer T.R., Harrell W.C., Solger A.M., Tom B. and Kimmerer W. (2004). Effects of flow variation on channel and floodplain biota and habitats of the Sacramento River, California. *Aquatic Conservation*, 14, 247–261.



- Tu J. (2009). Combined impact of climate and land use changes on streamflow and water quality in eastern Massachusetts, USA. *Journal of Hydrology*, 379; 268–283
- Wang X., Shang S., Qu Z., Liu T.i, Assefa M. Melesse and Yang W. (2010). Simulated wetland conservation-restoration effects on water quantity and quality at watershed scale. *Journal of Environmental Management*, 91, 1511-1525.
- Webb, B.W., Clack, P.D. and Walling, D.E. (2003). Water–air temperature relationships in a Devon river system and the role of flow. *Hydrological Processes*, 17, 3069–3084.
- Wilby R.L. (2006). Integrated modelling of climate change impacts on water resources and quality in a lowland catchment: River Kennet. *Journal of Hydrology*, 330, 204–220.
- Wilby, R.L., Dalgleish, H.Y. and Foster, I.D.L. (1997). The impact of weather patterns on historic and contemporary catchment sediment yields. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, 353–363.
- Wilby, R.L., Greenfield, B. and Glenny, C. (1994). A coupled synoptic–hydrological model for climate change impact assessment. *Journal of Hydrology*, 153, 265–290.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
คำสัมภาษณ์ที่เกี่ยวข้องในแบบจำลอง



ตาราง ก.1 Effective hydraulic conductivity of various channel bed material

Bed material group	Bed material characteristics	Effective Hydraulic Conductivity (mm/hr)
1 Very high loss rate	Very clean gravel and large sand $d_{50} > 2\text{mm}$	> 127
2 High loss rate	Clean sand and gravel under field conditions. $d_{50} > 2\text{mm}$	51-127
3 Mod high loss rate	Sand & gravel mixture with less than a few percent silt-clay	25-76
4 Moderate loss rate	Mixture of sand & gravel with significant amts of silt-clay	6.4-25
5 Very low loss rate	Consolidated bed material with high silt-clay content	0.025-2.5

ที่มา : Arnold et al. (1998)

ตาราง ก.2 The channel Mannings's "n" values. for various conditions.

Channel flow	Value chosen	Range
A. Excavated or dredged		
1. Earth, straight and uniform	[0.0250]	0.016-0.033
2. Earth, winding and sluggish	[0.0350]	0.023-0.05
3. Not maintained, weeds and brush	[0.0750]	0.04-0.14
B. Natural streams		
1. Few trees, stones, or brush	[0.0500]	0.025-0.065
2. Heavy timber and brush	[0.1000]	0.05-0.15



ตาราง ก.3 The surface roughness factor is Manning's "n" values. for various condition.

Overland flow	Value chosen	Range
Fallow, no residue	[0.0100]	0.008-0.012
Conventional tillage, no residue	[0.0900]	0.16-0.22
Chisel plow, no residue	[0.0900]	0.06-0.12
Chisel plow, residue	[0.1300]	0.10-0.16
Fall disking, residue	[0.4000]	0.30-0.50
No till, no residue	[0.0700]	0.04-0.10
No till (0.5-1.0 t/ha)	[0.1200]	0.07-0.17
No till (2.0-9.0 t/ha)	[0.3000]	0.17-0.47
Rangeland (20% cover)	[0.6000]	
Short grass prairie	[0.1500]	0.10-0.20
Dense grass	[0.2400]	0.17-0.30
Bermudagrass	[0.4100]	0.30-0.48

ที่มา : Arnold และคณะ (1998)



ตาราง ก.4 ค่า CN condition II แบ่งตามการใช้ประโยชน์ที่ดิน และชนิดดิน ประเภทต่าง ๆ

Land Use/Crop	Cover	Condition	Hydrologic Group			
			A	B	C	D
Fallow	Straight Row	-	77	86	91	94
Row crops	“	Poor	72	81	88	91
“	“	Good	67	78	85	89
“	Contoured	Poor	70	79	84	88
“	“	Good	65	75	82	86
“	Cont. and Terraced	Poor	66	74	80	82
“	“	Good	62	71	78	81
Small grain	Straight Row	Poor	65	76	84	88
“	“	Good	63	75	83	87
“	Contoured	Poor	63	74	82	85
“	“	Good	61	73	81	84
“	Cont. and Terraced	Poor	61	72	79	82
“	“	Good	59	70	78	81
Rotation meadow	Str.Row.	Poor	66	77	85	89
“	“	Good	58	72	81	85
“	Contoured	Poor	64	75	83	85
“	“	Good	55	69	78	83
“	Cont. and Terrace	Poor	63	73	80	83
“	“	Good	51	67	76	80
* close-drilled or broadcast						
Pasture or range		Poor	68	79	86	89
“		Fair	49	69	79	84
“		Good	39	61	74	80
“	Contoured	Poor	47	67	81	88
“	“	Fair	25	59	75	83
“	“	Good	6	35	70	79
Meadow		Good	30	58	71	78
Woods		Poor	45	66	77	83
“		Fair	36	60	73	79
“		Good	25	55	70	77



ตาราง ก.5 การจัดระดับความชื้นก่อนหน้า (AMC) ของพื้นที่ตามวิธีของ SCS

AMC	ฝนสะสมก่อนหน้า 5 วัน (นิ้ว)	
	นอกฤดูเพาะปลูก	ฤดูเพาะปลูก
I (ความชื้นต่ำ)	น้อยกว่า 0.5	น้อยกว่า 1.4
II(ความชื้นปานกลาง)	0.5 ถึง 1.1	1.4 ถึง 2.1
III(ความชื้นสูง)	มากกว่า 1.1	มากกว่า 2.1

ที่มา : Soil Conservation Service (1972)

ตาราง ก.6 ความสัมพันธ์ของค่า CN ตามการจัดระดับความชื้นก่อนหน้า (AMC)

CN		
AMC II	AMC I	AMC III
100	100	100
95	89	97
90	80	96
85	71	93
80	64	91
75	57	88
70	51	85
65	45	82
60	40	78
55	35	75
50	31	70
45	27	66
40	23	61
35	19	56
30	16	50
25	13	44
20	10	37
15	7	30
10	5	21
5	3	11
0	0	0

ที่มา : Soil Conservation Service (1972)



ภาคผนวก ข
การเก็บตัวอย่างน้ำและผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ





ภาพประกอบ ข.1 สถานีวัดน้ำ Kh93



ภาพประกอบ ข.2 สภาพประกอบทั่วไปสถานีวัดน้ำ Kh93





ภาพประกอบ ข.3 สถานีวัดน้ำ Kh74



ภาพประกอบ ข.4 สภาพประกอบทั่วไปสถานีวัดน้ำ Kh74



ภาพประกอบ ข.5 สถานีวัดน้ำ Kh55



ภาพประกอบ ข.6 กระบอกเก็บตัวอย่างน้ำ



ภาพประกอบ ข.7 การเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำผิวดินประกอบด้วยพารามิเตอร์ pH สภาพการนำไฟฟ้า ออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด สารละลายได้ทั้งหมด คลอไรด์ ไนเตรท และแอมโมเนีย ได้เริ่มเก็บตัวอย่างตั้งแต่เดือน กรกฎาคมถึงปัจจุบัน ของสถานี Kh98 Kh93 และ Kh 55 แสดงในตาราง ข.1 ถึง ข.3

ตาราง ข.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำสถานี Kh 93

วันที่	pH	Conductivity ms/cm	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	TSS (mg/l)	TDS (mg/l)	Chloride (mg/l)	Nitrate (mg/l)	Ammonia (mg/l)
4/07/2012	6.3	250.7	8.6	2.0	37.0	213.0	78.5	0.327	ND
8/08/2012	6.27	312.0	8.30	3.00	92.00	184.00	97.00	0.487	ND
4/09/2012	6.0	103.00	8.00	2.00	20.00	61.00	27.00	1.377	ND
5/10/2012	6.77	337	6.6	1.1	18	394	111.5	0.546	ND
8/11/2012	7.00	454.00	3.80	6.00	29.00	402.00	140.50	0.46	ND
7/01/2013	7.28	376.00	2.90	4.20	15.00	356.00	136.00	0.39	ND
26/02/2013	7.45	333.00	4.50	6.50	46.00	426.00	173.00	0.30	ND
27/03/2013	6.28	433.00	4.40	6.30	8.00	257.00	177.44	0.30	ND
1/05/2013	7.36	585.00	4.90	5.30	30.00	533.00	195.50	0.55	ND
7/06/2013	6.92	633.00	5.60	2.60	49.00	630.00	192.50	0.72	ND

ตาราง ข.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำสถานี Kh 98/74

วันที่	pH	Conductivity ms/cm	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	TSS (mg/l)	TDS (mg/l)	Chloride (mg/l)	Nitrate (mg/l)	Ammonia (mg/l)
4/07/2012	6.2	144.7	8.30	1.5	30.3	108.3	50.2	0.543	ND
8/08/2012	5.7	112.00	8.80	2.6	32.00	66.00	32.00	0.352	ND
4/09/2012	6.10	186.00	8.00	1.0	30.00	110.00	54.0	1.123	ND
5/10/2012	6.83	256.00	8.20	1.2	44.00	299.00	88.5	0.371	ND
8/11/2012	6.83	394.00	3.30	4.80	6.00	387.00	127.50	0.29	ND
7/01/2013	7.33	361.00	2.50	9.30	7.00	343.00	139.00	0.23	ND
26/02/2013	7.35	258.00	5.20	6.10	2.00	330.00	140.00	0.28	ND
27/03/2013	6.14	311.00	5.4	5.50	8.00	184.00	133.46	0.29	ND
1/05/2013	7.12	410.00	5.80	4.90	6.00	321.00	140.00	0.30	ND
7/06/2013	6.75	466.00	6.80	1.80	16.00	446.00	167.50	0.45	ND



ตาราง ข.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำสถานี Kh 55

วันที่	pH	Conductivity ms/cm	DO (mg/l)	BOD (mg/l)	TSS (mg/l)	TDS (mg/l)	Chloride (mg/l)	Nitrate (mg/l)	Ammonia (mg/l)
4/07/2012	5.9	107.4	6.0	2.6	32.0	74.7	33.8	0.345	ND
8/08/2012	5.58	102.00	5.30	3.7	30.00	61.00	31.00	0.332	ND
4/09/2012	5.48	80.10	6.50	2.5	2.00	47.50	24.0	1.115	ND
5/10/2012	6.74	140.00	9.20	1.6	4.00	115.70	46.5	0.365	ND
8/11/2012	7.29	193.00	7.00	5.10	11.00	199.00	65.00	0.48	ND
7/01/2013	7.40	518.00	2.30	3.50	10.00	487.00	199.00	0.27	ND
26/02/2013	8.14	517.00	4.70	6.30	18.00	681.00	300.00	0.07	ND
27/03/2013	6.62	587.00	4.90	5.90	24.00	350.00	342.89	0.21	ND
1/05/2013	7.25	664.00	4.50	5.20	31.00	511.00	220.00	0.47	ND
7/06/2013	6.91	227.00	6.80	1.30	88.00	169.00	57.50	0.74	ND

หมายเหตุ: เดือน 3 มีข่าวปลาในกระชังตาย



ภาคผนวก ค
กลุ่มดินสำหรับลุ่มน้ำสงคราม



- soil-1 กลุ่มดินเหนียวสีดําลึกมาก มีรอยแตกกระแหงกว้างและลึก ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นด่างเล็กน้อย การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว
- soil-11 กลุ่มดินเปรี้ยวจัดสีปนกลางที่เกิดจากตะกอนน้ำทะเล ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ
- soil-17 กลุ่มดินร่วนละเอียดสีปนกลางที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ
- soil-18 กลุ่มดินร่วนละเอียดสีปนกลางที่เกิดจากตะกอนลำน้ำ ปฏิกริยาดินกลางหรือเป็นด่าง การระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง
- soil-21 กลุ่มดินร่วนหยาบสีปนกลางที่เกิดจากตะกอนลำน้ำในส่วนต่ำของพื้นที่ริมแม่น้ำ ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง การระบายน้ำค่อนข้างเลวถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง
- soil-27 กลุ่มดินเหนียวจัดสีแดงสีปนกลางที่เกิดจากหินภูเขาไฟ มีปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง
- soil-30 กลุ่มดินดินเหนียว สีดินเป็นสีแดง เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกหินเนื้อละเอียด เป็นดินสีปนมาก มีการระบายน้ำดี มีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติปานกลาง
- soil-33 กลุ่มดินทรายแป้งละเอียดหรือดินร่วนละเอียดสีปนกลางที่เกิดจากตะกอนแม่น้ำหรือตะกอนน้ำพารูปพัด ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง
- soil-37 กลุ่มดินร่วนหยาบสีปนกลาง ที่เกิดจากการสลายตัวหรือพัดพาตะกอนเนื้อหยาบ มาทับถมบนชั้นหินผุในช่วงความลึก 50-100 ซม. จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ
- soil-39 กลุ่มดินร่วนหยาบสีปนกลางที่เกิดจากตะกอนลำน้ำหรือวัตถุต้นกำเนิดดินเนื้อหยาบ ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัด การระบายน้ำดีถึงดีปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ
- soil-42 กลุ่มดินทรายที่มีชั้นดานอินทรีย์ภายในความลึก 100 ซม. จากผิวดิน ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง การระบายน้ำค่อนข้างมากอยู่บนชั้นดินที่มีการระบายน้ำดีปานกลางถึงค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ
- soil-50 กลุ่มดินร่วนสีปนกลางถึงเศษหิน ก้อนหินหรือชั้นหินพื้น ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมาก การระบายน้ำดี ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ



ภาคผนวก ง
ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ปรับแก้ในแบบจำลอง



ตาราง ง.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ปรับแก้ในแบบจำลอง

รายละเอียด	พารามิเตอร์	ค่าสูงสุด	ต่ำสุด	ค่าที่ใช้
ปริมาณน้ำท่า	Ch_N1	0.04	0.1	0.075
	Ch_N2	0.025	0.065	0.05
	gw_revap	0.02	0.2	0.2
	al_bf	0	1	0.098
	epco	0	1	0.75
ปริมาณตะกอน	P _{USLE}	0	1	0.6
	SPCON	0.0001	0.1	0.0001
	spexp	1	1.5	1.5
ปริมาณสารอาหาร	CMN	0.01	0.03	0.003
	CND	0	3	0.9
	SDNCO	0	1	0.7
	N_UPPIS	0	100	100
	P_UPPIS	0	100	100
	NPERCO	0	1	0.8
	PPERCO	0	17.5	17.5
	PHOSKD	100	200	175
	PSP	0.01	0.1	0.7
	RSPCO	0.02	0.1	0.1
	PERCOP	0	1	0.5
ปริมาณบีโอดีและออกซิเจนละลายน้ำ	RK1	0.02	3.4	0.5
	RK2	0	100	50
	RK3	-3.6	3.6	0.36
	RK4	0	100	2



ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายจิรวุฒิ ศุภโกศล
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2511
จังหวัด และประเทศที่เกิด	จังหวัดอำนาจเจริญ ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2536 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2543 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2559 ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน	อาจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตสกลนคร 199 พังโคน-วาริชภูมิ อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร โทร 08-7951-1192 email: jirawat.su@rmuti.ac.th
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตสกลนคร 199 พังโคน-วาริชภูมิ อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร โทร 08-7951-1192 email: jirawat.su@rmuti.ac.th
รางวัลเรียนดี ทุนวิจัย และทุนการศึกษา	-

ผลงานวิจัย

จิรวุฒิ ศุภโกศล. (2543). การศึกษาเกณฑ์การออกแบบระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยวิธี
โปรยกรองและวิธีเติมอากาศแบบเดิมเข้าถ้ำย่อย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

