Chulalongkorn University
Chula Digital Collections

Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)

2023

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อลักษณะของน้ำท่าในลุ่มน้ำระยอง

ปทิตตา กฤตย์จิรกร
คณะอักษรศาสตร์

Follow this and additional works at: https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd

Part of the Geography Commons

Recommended Citation

กฤตย์จิรกร, ปทิตตา, "การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อลักษณะของน้ำท่าในลุ่มน้ำระยอง" (2023). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 10581.
https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/10581

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อลักษณะของน้ำท่าในลุ่มน้ำระยอง

น.ส.ปทิตตา กฤตย์จิรกร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ ภาควิชาภูมิศาสตร์
คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2566

Analysis of Land Use Change on Runoff Characteristics in Rayong Watershed

Miss Patitta Kritjirakorn

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Geography and Geoinformatics
Department of Geography
Faculty of Arts
Chulalongkorn University
Academic Year 2023

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อลักษณะของน้ำท่าในลุ่มน้ำระยอง
โดย	น.ส.ปทิตตา กฤตย์จิรกร
สาขาวิชา	ภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.เอกกมล วรรณเมธี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิตา ดวงยิหวา

คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

-- คณบดีคณะอักษรศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรเดช โชติอุดมพันธ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

-- ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี ชีวินศิริวัฒน์)

-- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร.เอกกมล วรรณเมธี)

-- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิตา ดวงยิหวา)

-- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช โลศิริ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปทิตตา กฤตย์จิรกร : การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อลักษณะของน้ำท่าในลุ่มน้ำระยอง. (Analysis of Land Use Change on Runoff Characteristics in Rayong Watershed) อ.ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.เอกกมล วรรณเมธี, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร.ชนิตา ดวงยิหวา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำระยอง วิธีการวิจัยเริ่มจากจำลองการเกิดน้ำท่าด้วยแบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) โดยสอบเทียบค่าพารามิเตอร์และทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองด้วยปริมาณน้ำท่าตรวจวัดรายวันใน พ.ศ. 2558-2563 จากนั้นวิเคราะห์รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำระยองระหว่าง พ.ศ. 2553-2559 เพื่อคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสามารถคาดการณ์กราฟน้ำท่าได้ในระดับพอใช้ในลุ่มน้ำดอกกราย ลุ่มน้ำหนองปลาไหล และลุ่มน้ำคลองใหญ่ ในขณะที่ลุ่มน้ำทับมาคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในช่วงอัตราการไหลสูงได้ต่ำกว่าความเป็นจริง ส่วนลุ่มน้ำบ้านค่ายไม่สามารถจำลองปริมาณน้ำท่าได้อย่างถูกต้อง สำหรับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง พบว่าพื้นที่สิ่งปลูกสร้างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีและการใช้ประโยชน์ที่ดินภาคเกษตรกรรมบางประเภท มีแนวโน้มลดลง จึงกำหนดสถานการณ์การจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตได้ 2 แบบ ที่มีพื้นที่อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นและเกษตรกรรมลดลงในอัตราที่ต่างกัน โดยใน พ.ศ. 2570 2575 2580 พบว่าลุ่มน้ำระยองมีปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 23.18 24.95 25.94 จาก พ.ศ. 2563 ในสถานการณ์ที่อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.5 และพื้นที่เกษตรกรรมลดลงเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.5 การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท พืชไร่ ยางพารา อุตสาหกรรม และพื้นที่ชุมชน สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำระยองได้มากที่สุดทั้ง 2 สถานการณ์ (R^2 ระหว่าง 0.85-0.99) เมื่อพิจารณาลุ่มน้ำย่อย พบว่าลุ่มน้ำทับมามีปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดจาก พ.ศ. 2563 ร้อยละ 50.40 เนื่องจากมีพื้นที่อุตสาหกรรมและชุมชนเพิ่มขึ้นและพื้นที่เกษตรกรรมลดลงมากกว่าลุ่มน้ำย่อยอื่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา ภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ		ลายมือชื่อนิสิต ....
ปีการศึกษา 2566		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม ....

6388009022 : MAJOR GEOGRAPHY AND GEOINFORMATICS
KEYWORD: SWAT, Runoff Generation, Land Use Change, CA-Markov, Geographic Information System

Patitta Kritjirakorn : Analysis of Land Use Change on Runoff Characteristics in Rayong Watershed. Advisor: EKKAMOL VANNAMETEE Co-advisor: CHANITA DUANGYIWA

This research aims to analyze the impact of land use change on river discharge in Rayong catchment. The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model was used to simulate daily discharge. The model parameters were calibrated and validated against the observations from 2558BE-2563BE. Then, land use change in Rayong catchment between 2553BE and 2559BE was analyzed as a basis for prediction of land use pattern in 2570BE, 2575BE, and 2580BE. This was done using the CA-Markov model. The results show that the SWAT model produces hydrographs at a satisfactory level in Dokkrai, Nong Pla Lai, and Khlong Yai subbasin. However, discharge during high flow periods is underestimated at Thap Ma subbasin. The model is unable to simulate accurate discharge in Ban Khai subbasin. It is found that the built-up area in Rayong catchment has been increasing throughout the study period, particularly the industrial area. Agricultural areas in some categories show a decreasing trend. The model results show increasing amount of discharge in 2570BE, 2575BE, and 2580BE, by 23.18%, 24.95%, and 25.94% compared to discharge in 2563BE, respectively, for the land use change scenario with 0.5% increase in industrial and agricultural areas each. Proportion of cropland, para rubber, industry, and residential (community) areas are found to explain changes in discharge of Rayong catchment for both scenarios (R^2 is between 0.85-0.99). Thap Ma subbasin has the highest increase in stream discharge, i.e. 50.4% from 2563BE. This is because the industrial and residential (community) areas in this subbasin have increased, and the agricultural area has decreased at a faster rate compared to other subbasins.

Field of Study:	Geography and Geoinformatics	Student's Signature ....
Academic Year:	2023	Advisor's Signature ....
		Co-advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ ดร.เอกกมล วรรณเมธี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานวิจัยให้สามารถดำเนินงานต่อจนสำเร็จ และ ผ.ศ. ดร.ชนิตา ดวงยิหวา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ รวมถึงตรวจสอบแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีเนื้อหาที่ครบถ้วนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร.พรรณี ชีวินศิริวัฒน์ อาจารย์ประจำภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผศ. ดร.ชูเดช โลศิริ อาจารย์ประจำภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการภายนอกมหาวิทยาลัยในสอบวิทยานิพนธ์ และให้ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ คุณชยุตม์ พินิจค้า ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับแบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) ตลอดจนช่วยแก้ไขปัญหาระหว่างการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ กรมชลประทาน กรมพัฒนาที่ดิน และกรมทรัพยากรน้ำ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินงานวิจัย

ขอบขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ตลอดการศึกษาในระดับปริญญาโท รวมถึงบุคลากรในภาควิชาภูมิศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุน และกรุณาประสานงานในขั้นตอนต่าง ๆ เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว และเพื่อน ๆ ที่คอยเป็นกำลังใจ ช่วยเหลือและสนับสนุนให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ปทิตตา กฤตย์จิรกร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... ง

กิตติกรรมประกาศ .... จ

สารบัญ .... ฉ

สารบัญตาราง .... ฌ

สารบัญภาพ .... ฏ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 4

1.6 นิยามศัพท์ 4

บทที่ 2 5

ทบทวนวรรณกรรม 5

2.1 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับน้ำท่า 5

2.2 แบบจำลองทางอุทกวิทยา 9

2.3 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน 15

2.4 งานวิจัยด้านการศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อลักษณะทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3 20
พื้นที่ศึกษา 20
3.1 ที่ตั้ง 20
3.2 สภาพภูมิประเทศ 20
3.3 สภาพภูมิอากาศ 21
3.4 ลักษณะทางอุทกวิทยา 23
3.5 สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน 25
3.4 สภาพทรัพยากรดิน 28
บทที่ 4 30
วิธีการดำเนินงานวิจัย 30
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา 30
4.2 การประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT 35
4.3 การสอบเทียบและประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง 44
4.4 การวิเคราะห์และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต 47
4.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต 49
บทที่ 5 50
ผลการศึกษา 50
5.1 การจำลองปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำระยองด้วยแบบจำลอง SWAT 50
5.2 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยองจากแบบจำลอง CA-Markov 58
5.3 ปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน 77
บทที่ 6 91
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 91
6.1 สรุปผลการวิจัย 91
6.2 ปัญหาและอุปสรรค 92

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.3 ข้อเสนอแนะ 94
บรรณานุกรม 96
ภาคผนวก 101
ภาคผนวก ก.. 102
ภาคผนวก ข.. 104
ประวัติผู้เขียน 117

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดระยอง....22

ตารางที่ 2 อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และปริมาณน้ำฝน ในคาบ 30 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2524 – 2554 จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดระยอง 23

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนของลุ่มน้ำระยอง 25

ตารางที่ 4 การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2563....26

ตารางที่ 5 ชุดดินของลุ่มน้ำระยอง 28

ตารางที่ 6 สถานีตรวจวัดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา 34

ตารางที่ 7 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในการจำลองการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำระยอง....37

ตารางที่ 8 ชุดดินในการศึกษาการจำลองการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำระยอง....38

ตารางที่ 9 การกำหนดพารามิเตอร์ของอ่างเก็บน้ำดอกกราย อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล อ่างเก็บน้ำคลองใหญ่ และฝายบ้านค่าย 42

ตารางที่ 10 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินปริมาณน้ำท่า....43

ตารางที่ 11 เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพสำหรับการจำลองปริมาณน้ำท่า ด้วย Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)....46

ตารางที่ 12 ค่าความสอดของสถิติแคปปาตามคำแนะนำของ Landis and Koch (1977)....49

ตารางที่ 13 พารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวในแต่ละลุ่มน้ำ....51

ตารางที่ 14 ช่วงค่าพารามิเตอร์จากการสอบเทียบของแต่ละลุ่มน้ำ 52

ตารางที่ 15 ผลการสอบเทียบ (Calibration) และการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลอง SWAT 53

ตารางที่ 16 การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2553 2556 2559 และ 2563 58

ตารางที่ 17 การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2553 และ พ.ศ. 2556 60

ตารางที่ 18 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2553-2556....61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 19 การใช้ประโยชน์ที่ดินปีของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2556 และ พ.ศ 2559 63

ตารางที่ 20 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2556-2559 64

ตารางที่ 21 การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2553 และ พ.ศ. 2559 65

ตารางที่ 22 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2553-2559 66

ตารางที่ 23 ร้อยละความถูกต้องของการจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2563 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ในสถานการณ์ S1 68

ตารางที่ 24 ร้อยละความถูกต้องของการจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2563 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ในสถานการณ์ S2 69

ตารางที่ 25 การใช้ประโยชน์ที่ดินลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากแบบจำลอง CA-Markov สถานการณ์ S1 71

ตารางที่ 26 การใช้ประโยชน์ที่ดินลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากแบบจำลอง CA-Markov สถานการณ์ S2 73

ตารางที่ 27 ร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท พ.ศ. 2570 2575 2580 ของสถานการณ์จำลอง S1 และ S2 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov 75

ตารางที่ 28 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเฉลี่ยรายปีของลุ่มน้ำย่อย จากการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 76

ตารางที่ 29 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากสถานการณ์การใช้ที่ดิน S1 และ S2 ของ พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำของลุ่มน้ำทับมา 78

ตารางที่ 30 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากสถานการณ์การใช้ที่ดิน S1 และ S2 ของ พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำของลุ่มน้ำดอกกราย 81

ตารางที่ 31 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากสถานการณ์การใช้ที่ดิน S1 และ S2 ของ พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำของลุ่มน้ำคลองใหญ่ 81

ตารางที่ 32 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากสถานการณ์การใช้ที่ดิน S1 และ S2 ของ พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำของลุ่มน้ำหนองปลาไหล 84

ตารางที่ 33 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากสถานการณ์การใช้ที่ดิน S1 และ S2 ของ พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำของลุ่มน้ำบ้านค่าย 84

ตารางที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง 86
ตารางที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มทับมา 88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 วัฏจักรของน้ำ 6

ภาพที่ 2 การประมวลผลของในแบบจำลอง SWAT 11

ภาพที่ 3 ที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศของลุ่มน้ำระยอง 21

ภาพที่ 4 การใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2563 27

ภาพที่ 5 ชุดดินของลุ่มน้ำระยอง 29

ภาพที่ 6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 32

ภาพที่ 7 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดอากาศและสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า 33

ภาพที่ 8 ลุ่มน้ำย่อย 58 ลุ่มน้ำ แบ่งเป็น 5 ลุ่มน้ำหลัก ได้แก่ ลุ่มน้ำดอกกราย ลุ่มน้ำหนองปลาไหล คลองใหญ่ ลุ่มน้ำทับมา และลุ่มน้ำบ้านค่าย (ซ้าย) หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU) (ขวา) 39

ภาพที่ 9 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองลุ่มน้ำทับมา 55

ภาพที่ 10 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองลุ่มน้ำดอกกราย 56

ภาพที่ 11 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองลุ่มน้ำหนองปลาไหล 56

ภาพที่ 12 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองลุ่มน้ำคลองใหญ่ 57

ภาพที่ 13 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองลุ่มน้ำบ้านค่าย 57

ภาพที่ 14 การใช้ประโยชน์ที่ดินลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 72

ภาพที่ 15 การใช้ประโยชน์ที่ดินลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 74

ภาพที่ 16 ปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำระยองในรายปี พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 ของแต่ละสถานการณ์จำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 และ S2 77

ภาพที่ 17 กราฟน้ำท่า (Hydrograph) และเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำ (Flow Duration Curve) เปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 และ S2 ใน พ.ศ. 2570 2575 2580 79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 18 กราฟน้ำท่า (Hydrograph) และเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำ (Flow Duration Curve) เปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 และ S2 ใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 80

ภาพที่ 19 กราฟน้ำท่า (Hydrograph) และเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำ (Flow Duration Curve) เปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 และ S2 ใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 82

ภาพที่ 20 กราฟน้ำท่า (Hydrograph) และเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำ (Flow Duration Curve) เปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 และ S2 ใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 83

ภาพที่ 21 กราฟน้ำท่า (Hydrograph) และเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำ (Flow Duration Curve) เปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 และ S2 ใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 85

ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท....................87

ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท....................87

ภาพที่ 24ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท 89

ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทชุมชน 89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ภัยพิบัติธรรมชาติประเภทต่าง ๆ มีแนวโน้มรุนแรงขึ้นโดยเฉพาะปัญหาอุทกภัย ประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ได้รับปริมาณน้ำฝนเพิ่มมากขึ้น จึงมีความความเสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยมากขึ้นเช่นกัน (วิกานดา วรรณวิเศษ, 2558) การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากการกลายเป็นเมือง (Urbanization) ซึ่งเป็นผลจากการพัฒนาเศรษฐกิจและการเพิ่มประชากร ทำให้ลักษณะการใช้ประโยชน์ของพื้นที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น พื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ลดลง พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นพื้นที่ที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ ส่งผลให้การเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินมีปริมาณมาก นอกจากนี้การสร้างสิ่งปลูกสร้างขวางทางน้ำทำให้ทิศทางน้ำไหลบ่าบนผิวดินเปลี่ยนแปลง รวมถึงทำให้ความสามารถในการระบายน้ำลดลงและทำให้เกิดน้ำท่วมขัง (Sajikumar & Remya, 2015) หากเกิดฝนตกหนักต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานจนมีปริมาณน้ำในลำน้ำเพิ่มมากขึ้น อาจเกิดภาวะน้ำล้นตลิ่งและน้ำท่วมฉับพลันบริเวณริมฝั่งแม่น้ำ โดยเฉพาะบริเวณที่ลำน้ำแคบที่ไม่สามารถระบายน้ำในลำน้ำได้ทัน

นับตั้งแต่มีการค้นพบแหล่งก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยในพ.ศ. 2520 ถือเป็นจุดเปลี่ยนสำคัญของประเทศไทยจากเดิมที่เป็นผู้นำเข้าพลังงาน เป็นผู้ที่สามารถผลิตพลังงานใช้เองภายในประเทศได้มากขึ้น และเป็นจุดเริ่มต้นให้รัฐบาลริเริ่มโครงการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออก (Eastern Seaboard Development Program) ใน พ.ศ. 2524 เพื่อผลักดันให้พื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดชลบุรี จังหวัดระยอง และจังหวัดฉะเชิงเทรา เกิดการพัฒนาเป็นฐานการผลิตอุตสาหกรรมแห่งใหม่ของประเทศ และมีการดำเนินโครงการอย่างต่อเนื่องจนกลายเป็นจุดยุทธศาสตร์ที่สำคัญต่อการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ จากความสำเร็จของโครงการดังกล่าวทำให้พัฒนามาสู่โครงการระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor) ใน พ.ศ. 2559 เพื่อต่อยอดให้พื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทยเป็นเขตเศรษฐกิจชั้นนำของภูมิภาคอาเซียน ซึ่งโครงการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกนี้ทำให้เกิดการพัฒนาทางด้านโครงสร้างพื้นฐานและสาธารณูปโภคที่สำคัญ ได้แก่ ระบบการสื่อสารโทรคมนาคม ระบบไฟฟ้า ประปา การขนส่งทางถนน รถไฟ ท่าเรือ และนิคมอุตสาหกรรม จากการเติบโตทางเศรษฐกิจแบบก้าวกระโดดจึงทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายประชากรจำนวนมากเข้ามาในพื้นที่ ส่งผลให้ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ประเภท บ้านจัดสรร หอพัก และอาคารพาณิชย์ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย การวางผังเมืองและการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานในช่วงแรกจึงดำเนินการไปอย่างรวดเร็วเพื่อให้ทันกับความต้องการของภาคอุตสาหกรรมและ

การเพิ่มขึ้นของประชากร ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง (โอฬาร ถิ่นบางเตียว, 2564; สำนักบริหารโครงการ กรมชลประทาน, 2562)

จังหวัดระยองเป็นพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างรวดเร็วจากการพัฒนาดังกล่าว ทำให้พื้นที่ชุมชนสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น (สุปรีชญา บุญมาก และคณะ, 2562) เกิดภาวะการกลายเป็นเมืองอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้พื้นที่ประสบปัญหาน้ำท่วมฉับพลันอยู่บ่อยครั้ง (สำนักบริหารโครงการ กรมชลประทาน, 2562) ตัวอย่างเช่น พ.ศ. 2558 เกิดน้ำท่วมใหญ่ที่ตำบลทับมา อำเภอเมืองระยอง จากอิทธิพลของพายุดีเปรสชันที่ทำให้ฝนตกหนักต่อเนื่อง การสร้างถนนขวางทางน้ำรวมทั้งหมู่บ้านจัดสรรหลายโครงการมีการถมพื้นที่สูง ทำให้เกิดน้ำไหลเข้าท่วมขังในพื้นที่ลุ่มต่ำที่เป็นชุมชนที่อยู่อาศัย เขตเศรษฐกิจของจังหวัด และถนนสายหลัก มีระดับน้ำท่วมสูงสุด 1 เมตร ก่อให้เกิดความเสียหายด้านเศรษฐกิจและทรัพย์สินรวมมูลค่ากว่า 1,000 ล้านบาท (แนวหน้า, 2563; ไทยรัฐออนไลน์, 2558; สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2558) ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและประเมินความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการเกิดน้ำท่าเพื่อวางแผนป้องกันอุทกภัยที่อาจเกิดขึ้นได้

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าจากลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของลุ่มน้ำระยอง โดยใช้แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) (Arnold et al., 1998) ซึ่งเป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่สามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าจากลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ของลุ่มน้ำ และจำลองการไหลในลุ่มน้ำได้อย่างต่อเนื่องในแต่ละช่วงเวลาด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อจำลองปริมาณน้ำท่าในปัจจุบัน ร่วมกับแบบจำลอง Cellular Automata–Markov model หรือ CA-Markov (Sang et al., 2011) ที่สามารถวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สองช่วงเวลาและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตได้ มาใช้เพื่อคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยองในอีก 5 10 และ 15 ปี ข้างหน้า (พ.ศ. 2570 2575 และ 2580) จากนั้นจึงคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าจากรูปแบบการประโยชน์ที่ดินที่เป็นไปได้ของลุ่มน้ำระยองในอนาคตด้วยแบบจำลอง SWAT

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อจำลองปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำระยองด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำระยองในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษา อยู่ในบริเวณลุ่มน้ำระยอง ซึ่งเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก มีพื้นที่ 1,804 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุม จังหวัดชลบุรี และจังหวัดระยอง

1.3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา เป็นการศึกษาการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำระยองด้วยแบบจำลอง SWAT และผลจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตจากการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ที่มีต่อปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำระยอง

1.3.3 ขอบเขตด้านเวลา จำลองการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำระยองในช่วง พ.ศ. 2558-2563 และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580

1.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1.3.4.1 แบบจำลอง SWAT

1.3.4.2 แบบจำลอง CA-Markov

1.3.4.3 โปรแกรม ArcGIS Desktop

1.3.4.4 โปรแกรม SWAT CUP

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ทบทวนวรรณกรรม ศึกษากระบวนการเกิดน้ำท่า ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่า และวิธีการจำลองน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT รวมถึงศึกษาวิธีการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง CA-Markov

1.4.2 รวมรวมข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และจัดเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในแบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง CA-Markov

Chulalongkorn University

1.4.3 จำลองการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำระยองด้วยแบบจำลอง SWAT ซึ่งประกอบด้วยการกำหนดขอบเขตพื้นที่และหน่วยย่อยในการจำลอง กำหนดค่าพารามิเตอร์ของพื้นที่ลุ่มน้ำ วิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ ปรับเทียบและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ด้วยโปรแกรม SWAT CUP

1.4.4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง เพื่อคาดการณ์การใช้ประยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov

1.4.5 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต พ.ศ.2570 2575 และ 2580 ด้วยแบบจำลอง SWAT

1.4.6 สรุปผลการวิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.5.1 สามารถนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาใช้วางแผนป้องกันการเกิดอุทกภัย และวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อลดปัญหาอุทกภัยในลุ่มน้ำระยองได้

1.5.2 เป็นแนวทางการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่อื่น

1.6 นิยามศัพท์

แบบจำลอง (Model) หมายถึง สิ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ขององค์ประกอบและกระบวนการทำงานของระบบอย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อสร้างความเข้าใจในด้านกลไกการทำงานและพฤติกรรมของระบบนั้น

น้ำท่า (Runoff) หมายถึง ปริมาณน้ำฝนที่เหลือจากการกักเก็บในลุ่มน้ำและกลายเป็นน้ำไหลบ่าหน้าดินลงสู่แม่น้ำซึ่งรวมถึงน้ำใต้ผิวดินที่ไหลออกสู่แม่น้ำด้วย

ปริมาณการไหลในลำน้ำ (Discharge) หมายถึง ปริมาตรการไหลของน้ำในลำน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลาหรือเป็นความเร็วในการไหลของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำ

ลุ่มน้ำ (Watershed) หมายถึง พื้นที่รองรับน้ำทั้งหมดเมื่อฝนตกและไหลมารวมกันเป็นร่องน้ำ ลำคลอง ลงสู่แม่น้ำสายหลัก ก่อนจะไหลไปยังจุดที่ถูกกำหนดให้เป็นทางออก (Outlet) ของลุ่มน้ำโดยอาศัยสันปันน้ำเป็นแนวแบ่งเขตลุ่มน้ำ

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use) หมายถึง การใช้ที่ดินเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ในด้านต่าง ๆ ให้เกิดประโยชน์ เช่น การเป็นที่อยู่อาศัย การทำเกษตรกรรม อุตสาหกรรม แหล่งน้ำ เป็นต้น ซึ่งผู้เป็นเจ้าของที่ดินสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบของที่ดินตามความต้องการใช้ประโยชน์ได้ตามความเหมาะสมและกฎหมาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

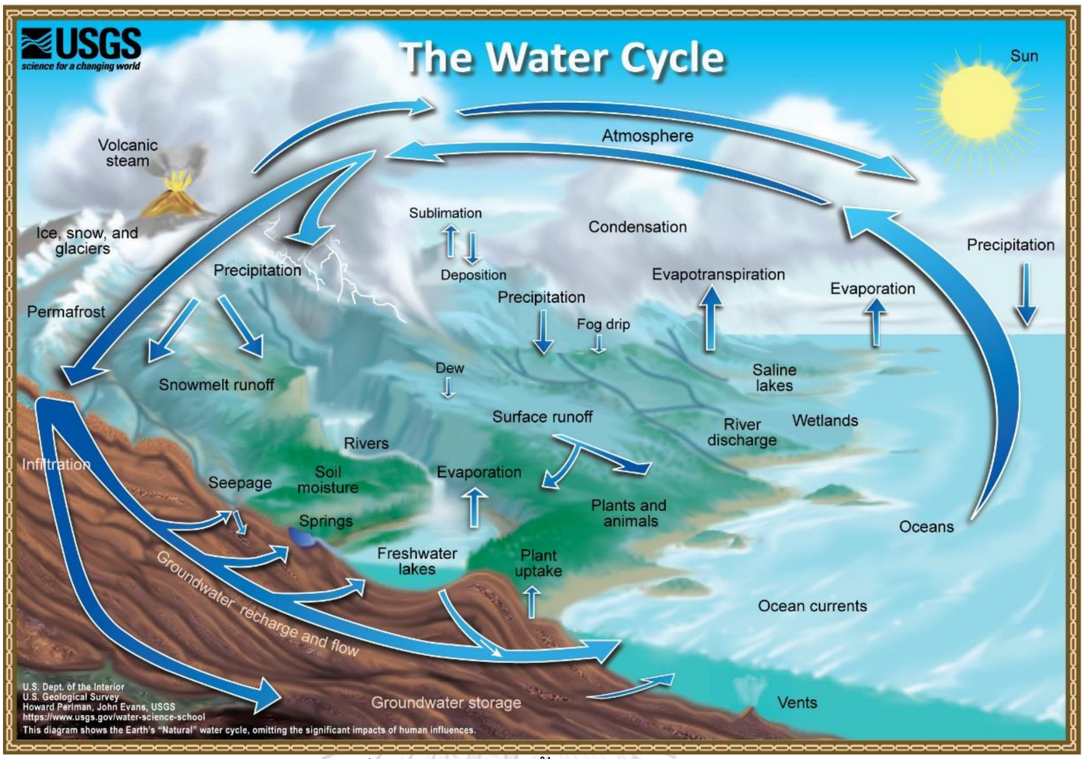
จากหัวข้อและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนและสืบค้นข้อมูลในประเด็นเกี่ยวกับ ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับน้ำท่า ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำท่า และการใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ข้อมูล รวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็นหัวข้อ ดังนี้

2.1 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับน้ำท่า

2.1.1 วัฏจักรน้ำ

วัฏจักรน้ำ (Water cycle) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำระหว่าง ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ หมุนเวียนในภาคส่วนต่าง ๆ ของโลก (ภาพที่ 1) ซึ่งจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่องไม่มีสิ้นสุด สามารถพิจารณาจากการเคลื่อนที่ เริ่มจาก การเกิดหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) โดยไอน้ำที่อยู่ในชั้นบรรยากาศอยู่ในสภาวะอิ่มตัวทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยาดน้ำฟ้า ได้แก่ ฝน หิมะ ลูกเห็บ และน้ำค้าง เมื่อตกลงสู่พื้นผิวโลก บางส่วนจะค้างอยู่ตามใบไม้ ใบหญ้าและพืชคลุมดิน (Interception) บางส่วนจะไหลซึมลงดิน (Infiltration) กลายเป็นน้ำใต้ดิน (Groundwater) หากมีปริมาณน้ำฝนสูงเกินกว่าความสามารถในการไหลซึมของดิน น้ำฝนจะกลายเป็นน้ำไหลบ่าหน้าดินไปเติมพื้นผิวที่เป็นแอ่งจนเต็ม และไหลไปตามความลาดชันของสภาพภูมิประเทศ จนกระทั่งไปรวมกับ ห้วย ลำคลอง แม่น้ำ เรียกว่า น้ำท่า (Runoff) ซึ่งจะไหลลงสู่ทะเลและมหาสมุทร เมื่อน้ำผิวดินได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่องกระทบจะเกิดการระเหยกลายเป็นไอน้ำลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศต่อไป (Evapotranspiration) จากกระบวนการดังกล่าวสามารถเป็นแบ่งระบบวงจรอุทกวิทยา 3 ประเภท คือ 1) ระบบน้ำในบรรยากาศ (Atmospheric water) ประกอบด้วยน้ำที่เกิดจากความชื้นของการระเหยจากแหล่งน้ำ พื้นดิน และการคายระเหยของพืช 2) ระบบน้ำใต้ดิน (Groundwater) เป็นน้ำที่ได้จากการซึมผ่านของผิวดิน ถูกกักเก็บและสะสมอยู่ภายในช่องว่าง รอยแตกของชั้นหิน และชั้นดินตะกอนลึกลงไปใต้พื้นดิน และ 3) ระบบน้ำผิวดิน (Surface water) ได้จากการสะสมของน้ำฝนที่ตกลงมายังพื้นดิน ไหลตามความลาดชันของสภาพภูมิประเทศมารวมกับแม่น้ำหรือเรียกน้ำท่า ก่อนไหลลงสู่ทะเล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 1 วัฏจักรของน้ำ (Perlman, 2019)

2.1.2 กระบวนการเกิดน้ำท่า

เมื่อฝนตกลงสู่พื้นดินและมีมากเกินกว่าที่จะไหลซึมลงสู่พื้นดินได้หมด น้ำส่วนเกินจะไหลตามผิวดินตามความลาดชันลงสู่ระบบลำน้ำ (Surface runoff) และน้ำในส่วนที่ผ่านกระบวนการซึมน้ำผ่านผิวดิน (Infiltration) จะซึมลงสู่ด้านล่างของชั้นดินไปสะสมในบริเวณชั้นดินเหนือชั้นหินที่น้ำซึมผ่านไปไม่ได้ กลายเป็นน้ำใต้ดิน (Groundwater flow) ซึ่งจะค่อย ๆ ระบายลงสู่แม่น้ำต่อไป อย่างไรก็ตามหากน้ำที่ซึมลงมาจากผิวดินมีค่ามากกว่าการระบายลงสู่เบื้องล่างของชั้นดิน น้ำจะไหลผ่านช่องว่างของดินชั้นบนสู่ทางน้ำ (Interflow หรือ Subsurface runoff) ในขณะเดียวกันหากน้ำที่ไหลซึมลงดินมีปริมาณน้ำมากขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว น้ำจะเอ่อล้นและไหลบ่าตามหน้าดิน (Saturation excess overland flow) เมื่อน้ำแต่ละส่วนไหลมารวมกันจนมีปริมาณและกำลังมากขึ้นจนสามารถกัดเซาะดินให้เกิดเป็นร่องน้ำ ลำธาร และแม่น้ำ ตามลำดับ โดนน้ำที่ไหลอยู่ในแม่น้ำลำธาร เรียกว่าน้ำท่า (Runoff) (Tarboton, 2003; อารียา ฤทธิมา, 2561)

2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อน้ำท่า

ปัจจัยที่มีผลต่อการตอบสนองทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำในด้านปริมาณน้ำท่าและปริมาณการไหลในลำน้ำมี 2 ส่วนหลัก ดังนี้

2.1.3.1 ปัจจัยด้านลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ

1) ขนาดและรูปร่างของพื้นที่ลุ่มน้ำ ลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการระบายน้ำที่ไหลบ่ามายังทางออกนานกว่าลุ่มน้ำขนาดเล็ก และมีอัตราการไหลสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่น้อยกว่าลุ่มน้ำขนาดเล็ก

2) ความหนาแน่นของลำน้ำธรรมชาติ บ่งบอกถึงประสิทธิภาพการระบายน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยเวลาที่น้ำใช้เดินทางจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของลำน้ำ หากลุ่มน้ำมีความหนาแน่นมากก็จะมีความยาวลำน้ำมาก ทำให้อัตราการไหลสูงสุดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาแรก เพราะน้ำสามารถไหลไปยังทางออกได้รวดเร็ว ในทางตรงกันข้ามหากลุ่มน้ำมีความหนาแน่นของลำน้ำธรรมชาติน้อย เวลาที่น้ำใช้เดินทางไปยังทางออกก็จะมากขึ้นและทำให้อัตราการไหลสูงสุดเกิดขึ้นได้ช้า

3) ความลาดเทของพื้นที่ลุ่มน้ำ มีความสัมพันธ์เชิงซ้อนกับน้ำที่ไหลบ่าบนผิวดิน เนื่องจากมีอิทธิพลต่ออัตราการซึมผ่านผิวดิน ความชื้นของดิน และการเจริญเติบโตของพืชคลุมดิน หากลุ่มน้ำมีความลาดเทมาก น้ำท่าที่ไหลไปบนผิวดินจะใช้เวลาไม่นานในการเคลื่อนตัวสู่ลำน้ำบนพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่ระยะเวลาดังกล่าวจะมีอิทธิพลน้อยเมื่อเทียบกับระยะเวลาของน้ำที่ไหลไปตามลำน้ำ แต่ในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก น้ำท่าที่ไหลไปตามความลาดเทบนผิวดินจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อเวลาและปริมาณน้ำท่าสูงสุด

4) ชนิดของดิน ลักษณะทางโครงสร้างของดินแต่ละชนิดมีผลต่อการซึมและการไหลของน้ำบนผิวดิน และการน้ำใต้ดินด้วย หากมีชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากหรือไม่สามารถซึมผ่านได้เลย จะทำให้เกิดปริมาณการไหลบ่าบนผิวดินมากขึ้น พื้นที่ลุ่มน้ำที่ดินมีคุณสมบัติยอมให้น้ำผ่านต่ำปริมาณน้ำท่าที่ไหลไปตามผิวดินจะมีมากกว่าปริมาณน้ำท่าของน้ำใต้ดิน และอาจทำให้น้ำท่าในลำน้ำไหลเข้าสู่แหล่งน้ำใต้ดินเนื่องจากระดับน้ำในลำน้ำสูงกว่าระดับน้ำใต้ดิน

5) ความชื้นในดิน มีอิทธิพลต่อการไหลบ่าของน้ำโดยมีความสัมพันธ์กับอัตราการซึมลงดิน หากฝนตกในช่วงเวลาที่ดินมีความชื้นมาก อัตราการซึมลงดินจะน้อยลงและปริมาณไหลบ่าบนผิวดินจะมีมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากฝนตกในช่วงเวลาที่ดินมีความชื้นน้อย น้ำจะสามารถซึมผ่านดินได้มากขึ้น ปริมาณการไหลบนบ่าผิวดินจะน้อยลง

6) การใช้ประโยชน์ที่ดิน มีผลต่อปริมาณน้ำท่ารวมไปถึงรูปแบบการไหลของน้ำบนผิวดิน พื้นที่ลุ่มน้ำที่มีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทป่าไม้มากก็จะสามารถกักเก็บน้ำฝนไว้ได้มากขึ้นจากการซึมลงดินและการดักของต้นไม้ แต่ถ้าในพื้นที่ลุ่มน้ำมีการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทสิ่งปลูกสร้างที่เป็นคอนกรีตหรือวัสดุที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านไปใต้ดินได้จะส่งผลให้การซึมของน้ำลงดินมีน้อย น้ำที่ไหลบ่าไปตามผิวดินจะมีปริมาณและความแรงมากขึ้น โดยเฉพาะช่วง 10-20 ปีที่ผ่านมา การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากการขยายตัวของเมืองมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นทุกภูมิภาค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ทั่วโลกและมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมากก็จะยิ่งส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ ทางน้ำธรรมชาติ และกระบวนการทางอุทกวิทยามากขึ้นตามไปด้วย (Sajikumar & Remya, 2015)

2.1.3.2 ปัจจัยทางภูมิอากาศ

1) ลักษณะของหยาดน้ำฟ้า รูปแบบของน้ำที่ตกลงสู่พื้นดินส่งผลต่อปริมาณและการไหลของน้ำท่า โดยน้ำท่าที่เกิดจากหิมะจะเกิดขึ้นช้ากว่าน้ำท่าที่เกิดจากน้ำฝน เนื่องจากหิมะที่ตกลงสู่พื้นดินไม่สามารถละลายและกลายเป็นน้ำไหลบ่าบนผิวดินได้ในทันที

2) การกระจายของน้ำฝน ลักษณะการกระจายของฝนตามพื้นที่มีผลต่อการไหลของน้ำท่า ถ้าฝนตกกระจายที่บริเวณใกล้ทางออกของลุ่มน้ำ อัตราการไหลของน้ำท่าในช่วงเวลาแรกจะมากกว่าช่วงเวลาหลัง ในทางตรงข้ามฝนตกกระจายอยู่บริเวณต้นน้ำ อัตราการไหลของน้ำท่าในช่วงเวลาแรกจะน้อยกว่าช่วงเวลาหลัง และถ้าฝนตกกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งลุ่มน้ำ จะทำให้เกิดปริมาณน้ำท่าจำนวนมากที่ไหลอย่างรวดเร็วตลอดลำน้ำ

3) ความเข้มของฝน ปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำในหนึ่งหน่วยเวลา มีผลต่อปริมาณของน้ำที่ไหลซึมลงดิน ปริมาณที่ไหลบ่าไปตามผิวดิน และอัตราของปริมาณน้ำท่าสูงสุด โดยเมื่อความแรงของฝนที่ตกมีมากกว่าอัตราที่น้ำซึมลงดิน ปริมาณที่ไหลบนผิวดินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามความแรงของฝน

4) ช่วงเวลาที่ฝนตก มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่าสูงสุดและระยะเวลาของน้ำที่ไหลบ่าบนผิวดิน เมื่อฝนตกต่อเนื่องเป็นเวลานานจนกระทั่งดินอิ่มตัว จะทำให้ปริมาณน้ำฝนเกือบทั้งหมดกลายเป็นน้ำท่า แม้ว่าอัตราความเข้มของฝนที่ตกจะอยู่ในระดับปานกลาง

5) ทิศทางการเคลื่อนที่ของพายุฝน มีอิทธิพลปริมาณน้ำท่าสูงสุดและช่วงเวลาที่น้ำไหลไปบนผิวดิน และจะมีผลกระทบมากกับลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ลักษณะยาว คือเมื่อพายุฝนมีทิศทางการเคลื่อนที่จากบริเวณทางออกของลุ่มน้ำขึ้นไปตอนบนของลุ่มน้ำจะทำให้ปริมาณน้ำท่าสูงสุดต่ำกว่า และระยะเวลาที่น้ำไหลไปบนผิวดินนานกว่าการเคลื่อนที่ของพายุฝนจากตอนบนลงมายังด้านท้ายน้ำ

6) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศยังเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อน้ำท่า เนื่องจากปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ จากการวิเคราะห์และประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ครั้งที่ 5 (AR5) ภายใต้คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (the Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ได้รายงานว่า มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศภาคพื้นดินและอุณหภูมิของน้ำในมหาสมุทรระหว่างปี ค.ศ. 1850 – 2012 เฉลี่ย 0.85 องศาเซลเซียส และได้คาดการณ์อุณหภูมิในอนาคต พบว่าในอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2035) มีแนวโนมเพิ่มขึ้นประมาณ 0.3 –

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

0.7 องศาเซลเซียส (Adopted, 2014) โดยเฉพาะประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตรจึงรับอิทธิพลจากปฏิสัมพันธ์ของดวงอาทิตย์และร่องมรสุม ทำให้ลักษณะอากาศแปรปรวนไม่เป็นไปตามฤดูกาล ส่งผลต่อการเกิดปริมาณน้ำฝนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของน้ำท่า (วิกานดา วรรณวิเศษ, 2558)

2.2 แบบจำลองทางอุทกวิทยา

ระบบอุทกวิทยามีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตจึงจำเป็นจะต้องมีการเก็บข้อมูลและศึกษาอย่างต่อเนื่องเพื่อหาแนวทางการจัดการอย่างเป็นระบบ แต่ด้วยข้อจำกัดทางเทคนิคในปัจจุบันทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ครบทุกพื้นที่หรือทุกช่วงเวลา จึงมีการศึกษาหลักการ ทฤษฎี และพัฒนาแบบจำลองสำหรับประมาณค่าของข้อมูลทางอุทกวิทยารวมถึงคาดการณ์ในอนาคต เพื่อสร้างความเข้าใจในระบบอุทกวิทยาและนำไปสู่การวางแผนจัดการทรัพยากรน้ำต่อไป โดยแนวคิดของแบบจำลองทางอุทกวิทยาจะเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำ สภาพอากาศ ดิน และการใช้ที่ดินรวมไปถึงปัจจัยในเชิงพื้นที่และเวลา

2.2.1 ประเภทของแบบจำลองทางอุทกวิทยา

ปัจจุบันแบบจำลองทางอุทกวิทยามีหลายประเภทขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ในการจำแนก เช่น จำแนกตามวิธีการคำนวณ จำแนกตามหน่วยของการจำลอง (Devia et al., 2015; Jajarmizadeh et al., 2012; Sitterson et al., 2018) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1.1 จำแนกตามวิธีการคำนวณ อธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ใช้นำเข้า (Input) และผลลัพธ์ที่ได้ (Output) ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ โดยสามารถแบ่งย่อยได้อีก 3 ประเภท ได้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) แบบจำลอง Empirical หรือ Black-Box model เป็นแบบจำลองที่พิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ใช้ประมวลผลและผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเท่านั้น ไม่สามารถอธิบายกระบวนการทำงานและความสัมพันธ์ในเชิงกายภาพระหว่างตัวแปรได้ เป็นการกำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ใช้นำเข้า (Input) และผลลัพธ์ที่ได้ (Output) ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์หรือหลักการทางสถิติ ตัวอย่างเช่น แบบจำลอง ANN (Artificial Neural Networks) (Krenker et al., 2011) และแบบจำลอง Unit hydrograph (Nash, 1959)

2) แบบจำลอง Conceptual อธิบายกระบวนการทางอุทกวิทยาที่เชื่อมต่อกับอย่างเป็นระบบทั้งหมด ตั้งแต่กระบวนการที่ฝนตกลงในลุ่มน้ำ กระบวนการซึมน้ำลงดิน การระเหย การไหลบ่าบนผิวดิน และกระบวนการย่อยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ในการประเมินด้วยพารามิเตอร์ที่ได้จากการเก็บข้อมูลด้วยตนเอง และทำการสอบเทียบด้วยข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยา

จำนวนมาก ตัวอย่างเช่น แบบจำลอง TOPMODEL (Beven et al., 1995) และแบบจำลอง HBV (Bergström, 1995)

3) แบบจำลอง Physically based เป็นแบบจำลองที่วิเคราะห์กระบวนการทางอุทกวิทยาโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์ของการถ่ายเทสสารและพลังงานในการจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำจากกระบวนการย่อยของระบบอุทกวิทยา เพื่อให้แบบจำลองมีความใกล้เคียงกับกลไกทางธรรมชาติมากที่สุด แบบจำลองใช้ตัวแปรที่สามารถวัดค่าได้ทั้งใช้เชิงพื้นที่และเวลา แบบจำลองลักษณะนี้หากมีข้อมูลลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำที่เป็นค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองอาจจะไม่จำเป็นต้องทำการสอบเทียบ ตัวอย่างเช่น แบบจำลอง MIKE SHE

2.2.1.2 จำแนกตามหน่วยของการจำลอง ใช้กระบวนการเชิงพื้นที่ในการสร้างแบบจำลอง ตั้งแต่การใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ในการกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำและสร้างโครงข่ายลำน้ำ ซึ่งสามารถแบ่งย่อยได้อีก 3 ประเภท ได้แก่

1) แบบจำลอง Lumped เป็นแบบจำลองกระบวนการทางอุทกวิทยาที่กำหนดให้พื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมดเป็นหน่วยในการจำลองเพียงหนึ่งเดียว จึงใช้ค่าพารามิเตอร์แบบเดียวกันทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่นำเข้าเพื่อจำลองปริมาณน้ำท่าทั้งหมดที่ของลุ่มน้ำ

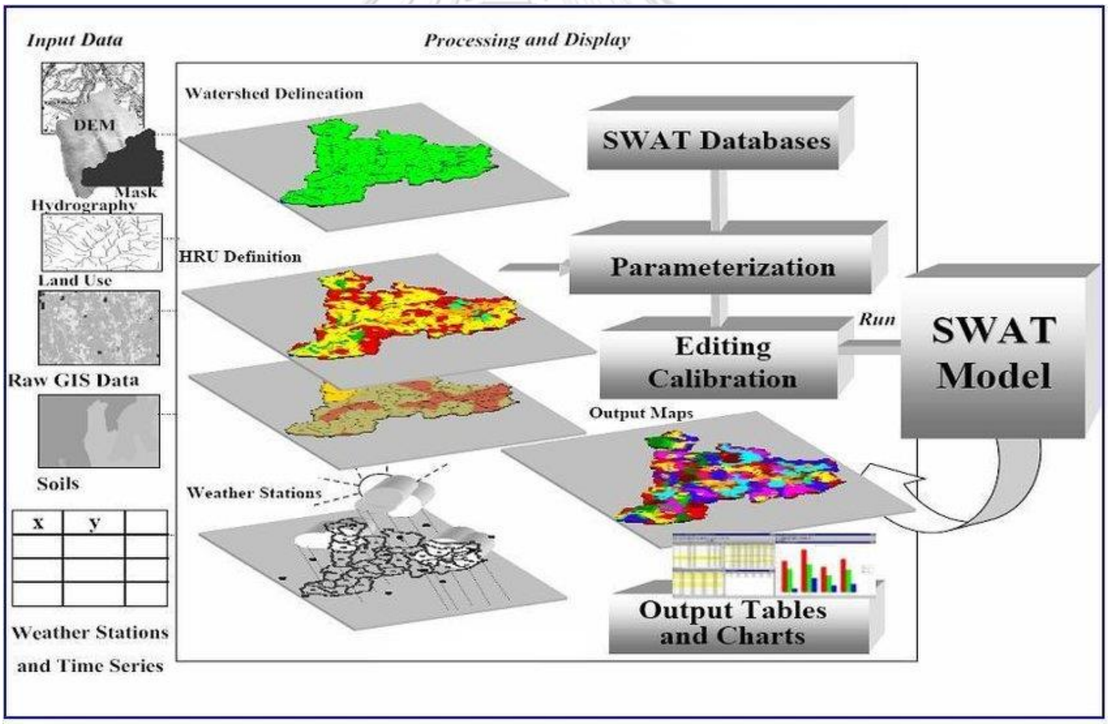
2) แบบจำลอง Semi-Distributed หรือแบบจำลองกึ่งกระจาย เป็นแบบจำลองที่จะแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นหน่วยย่อยที่มีขนาดพื้นที่ค่อนข้างใหญ่หรือมีรูปร่างของพื้นที่ที่ไม่แน่นอน ซึ่งในแต่หน่วยย่อยมีคุณสมบัติทางกายภาพเหมือนกัน และใช้ชุดข้อมูลและค่าพารามิเตอร์ชุดเดียวสำหรับหน่วยย่อยในพื้นที่ลุ่มน้ำเดียวกัน ตัวอย่างเช่น แบบจำลอง TOPMODEL และแบบจำลอง SWAT

3) แบบจำลอง Distributed เป็นแบบจำลองที่มีความซับซ้อนมาก เนื่องจาก ใช้วิธีการคำนวณในทุกหน่วยพื้นที่ขนาดเล็ก (Grid cell) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ได้ตามลักษณะทางกายภาพของแต่ละหน่วยพื้นที่ขนาดเล็กของลุ่มน้ำ รวมถึงต้องสอบเทียบค่าพารามิเตอร์ในทุกหน่วยพื้นที่ขนาดเล็ก ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีละเอียดและความใกล้เคียงกับกระบวนการอุทกวิทยาของพื้นที่ ตัวอย่างเช่น แบบจำลอง MIKE SHE (Singh, 1995)

โดยแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่ใช้กระบวนการเชิงพื้นที่ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ แบบจำลอง MIKE SHE และแบบจำลอง SWAT การศึกษานี้เลือกใช้แบบจำลอง SWAT เนื่องจากสามารถจำลองปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำขนาดใหญ่ด้วยพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันในลุ่มน้ำขนาดย่อยได้ สามารถใช้งานได้ง่ายผ่านโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในขณะที่แบบจำลอง MIKE SHE ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากและมีความซับซ้อนในการวิเคราะห์ผล

2.2.2 แบบจำลอง SWAT

แบบจำลอง SWAT หรือในชื่อเต็ม Soil and Water Assessment Tool เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยา ที่พัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Arnold et al. (1998) และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดย Blackland Research Center, TAES และ United States Department of Agriculture Agricultural Research Service (USDA-ARS) เป็นแบบจำลองที่นิยมมากในงานด้านอุทกวิทยาเพื่อเป็นเครื่องมือในการประเมินปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำใต้ดิน รวมถึงปริมาณตะกอนภายในลุ่มน้ำ ซึ่งประมวลผลด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้หลักการซ้อนทับกันของชั้นข้อมูลทางกายภาพ ได้แก่ แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (DEM) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลคุณสมบัติดิน และข้อมูลภูมิอากาศ (ภาพที่ 2) แบ่งลุ่มน้ำขนาดใหญ่ออกเป็นหน่วยการจัดการอุทกวิทยา (Hydrologic Response Units: HRUs) มาคำนวณในแต่ละส่วนของลุ่มน้ำและการไหลในระบบลำน้ำอย่างต่อเนื่องในแต่ละช่วงเวลา จึงทำให้สามารถประมาณค่าทางอุกวิทยาในระยะยาวได้ โดยมีแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้



ภาพที่ 2 การประมวลผลของในแบบจำลอง SWAT (Paul & Mishra, 2013)

2.2.2.1 การจำลองการเกิดน้ำผิวดิน

เป็นส่วนของการศึกษาและวิเคราะห์วงจรอุทกวิทยาเพื่อประเมินค่าปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน และปริมาณสารเคมีจากการเกษตรกรรมจากหน่วยย่อยทางอุทกวิทยาที่สามารถไหล

ลงสู่แหล่งน้ำ โดยใช้หลักการสมดุลของน้ำ ซึ่งกำหนดให้ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงบางส่วนถูกกักเก็บไว้ตามแอ่งน้ำ บางส่วนถูกกักด้วยพืชพรรณ บางส่วนไหลซึมลงดิน โดยน้ำฝนที่ไหลซึมลงในดินจะไหลต่อลงไปยังชั้นน้ำใต้ดิน ส่วนที่ค้างอยู่ตามพืชพรรณ แอ่งน้ำ จะระเหยกลับสู่ชั้นบรรยากาศต่อไป

2.2.2.2 การจำลองการไหลในลำน้ำ (channel routing)

เป็นส่วนของการวิเคราะห์และจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำ ตะกอน และสารเคมีจากการเกษตรกรรม ที่ไหลออกจากหน่วยย่อยทางอุทกวิทยาไปตามโครงข่ายลำน้ำที่กระจายอยู่ทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ ตามความลักษณะภูมิประเทศจนไปยังจุดออกของลุ่มน้ำ

การจำลองของแบบจำลอง SWAT อาศัยหลักการสมดุลน้ำดังสมการที่ 1 และสามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าผิวดินด้วยสมการ Soil Conservation Service (SCS) ดังสมการที่ 2

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{swt} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \qquad (1)$$

เมื่อ SW_t คือ ปริมาณน้ำในดิน ณ ช่วงเวลา t (มิลลิเมตร)

SW_0 คือ ปริมาณน้ำในดินเริ่มต้น (มิลลิเมตร)

R_{day} คือ ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)

Q_{swt} คือ ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดิน (มิลลิเมตร)

E_a คือ ปริมาณการคายระเหยที่เกิดขึ้นจริง (มิลลิเมตร)

W_{seep} คือ ปริมาณน้ำที่ซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินระดับลึก (มิลลิเมตร)

Q_{gw} คือ ปริมาณน้ำจากชั้นน้ำใต้ดินที่ไหลสู่แม่น้ำ (มิลลิเมตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$Q = \frac{(R - 0.2S)^2}{R + 0.8S} \quad , R > 0.2S \qquad (2)$$
$$Q = 0.0 \quad , R < 0.2S$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน (ลบ.ม./วินาที)

R คือ ปริมาณน้ำน้ำฝนรายวัน (มม.)

S คือ Retention Parameter

โดยตัวแปร S มีความสัมพันธ์กับค่า Curve Number ดังสมการ 3

$$S = 25.4\left[\frac{1000}{CN} - 10\right] \qquad (3)$$

เมื่อ CN คือ Curve Number ตัวเลขที่แสดงถึงศักยภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำในการดูดซับน้ำฝน กำหนดได้จากปัจจัยลุ่มน้ำ

CN ที่มีค่าน้อย แสดงถึงศึกยภาพของพื้นที่นั้นว่ามีความสามารภในการดูดซับและกักเก็บน้ำฝนได้ดี ในทางตรงกันข้าม CN ที่มีค่ามาก แสดงถึงศักยภาพของพื้นที่นั้นมีความสามรถในการดูดซับและกักเก็บน้ำไม่ดี (พงษ์ศักดิ์ วิทรัสชุติกุล และพิณทิพย์ ธิติโรจนวัฒน์, 2551) ซึ่งค่า CN ได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัย โดยปัจจัยหลักที่ส่งผลมากที่สุด ได้แก่

1) สิ่งปกคลุมดิน (Land cover) สิ่งปกคลุมดินจะส่งผลกระทบต่อลักษณะการตกลงบนผิวดินของเม็ดฝน โดยจะเกี่ยวข้องกับปริมาณและชนิดของพืชคลุมดิน พื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมหนาแน่นจะสามารถดักจับปริมาณน้ำฝนได้ดี ลดการไหลบ่าและเพิ่มการซึมลงดินได้มากกว่าพื้นที่ที่มีพืชคลุมดินเบาบางหรือไม่มีเลย

2) การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Lana use) การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ มีผลกระทบต่อศักยภาพในการดูดซับน้ำฝนแตกต่างกันออกไป เช่น ในพื้นที่สิ่งปลูกสร้างที่มีลักษณะพื้นผิวที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ มีแนวโน้มที่เกิดการไหลบ่าได้สูงกว่าพื้นที่เกษตรกรรมหรือพื้นที่ป่าที่มีพื้นผิวซึมผ่านได้มากกว่า

3) คุณสมบัติทางอุทกวิทยาของดิน (Hydrological soil group) สามารถจำแนกได้ 4 กลุ่ม ตามอัตราการซึมน้ำของดิน ดังนี้

กลุ่ม A มีลักษณะเป็นดินเนื้อหยาบ ส่วนมากประกอบด้วยทรายและกรวด ชั้นดินลึก ความสามารถในการดูดซับน้ำดี ทำให้มีอัตราการไหลผิวดินต่ำ

กลุ่ม B มีลักษณะเป็นดินเนื้อละเอียดปานกลางถึงหยาบปานกลาง ส่วนใหญ่เป็นดินร่วน ชั้นดินลึก ความสามาถในการดูดซับน้ำค่อนข้างดี โดยจะมีอัตราการซึมลงดินปานกลางเมื่อดินเปียกชุ่ม

กลุ่ม C มีลักษณะเป็นดินเนื้อละเอียดปานกลางจนถึงละเอียด ส่วนใหญ่เป็นดินเหนียวปนทราย มีชั้นดินตื้น ความสามารถในการดูดซับน้ำไม่ค่อยดี โดยมีอัตราการซึมลงดินปานกลางเมื่อดินปียกชุ่ม

กลุ่ม D มีลักษณะเป็นดินเนื้อละเอียด ส่วนใหญ่เป็นดินเหนียว มีชั้นดินตื้น ความสามารถในการดูดซับน้ำต่ำมาก เนื่องจากมีระดับน้ำใต้ดินสูงอยู่ตลอด ทำให้มีอัตราการไหลผิวดินสูง

4) สภาพทางอุทกวิทยา (Hydrologic condition) แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

สภาพเลว (Poor condition) มีพืชคลุมดิน น้อยกว่าร้อยละ 50

สภาพปานกลาง (Fair condition) มีพืชคลุม ร้อยละ 50-75

สภาพดี (Good condition) มีพืชคลุมดิน มากกว่าร้อยละ 75

5) ความชื้นบนดิน (Antecedent Moist Condition: AWC) ดินที่มีสภาพความเปียกชื้นสูง (ค่า AWC สูง) จะลดความสามารถในการซึมของน้ำฝน และทำให้เกิดอัตราการไหลบนผิวดินได้มากขึ้น

2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลอง SWAT

Sangkatananon et al. (2018) ได้ศึกษาและทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT ในการจำลองปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำวัง โดยใช้ข้อมูลภูมิประเทศ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวัน พ.ศ. 2547-2556 และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2552 และสอบเทียบแบบจำลองกับค่าการตรวจวัดจริง 10 จุด ระหว่าง พ.ศ. 2548-2556 พบว่าแบบจำลอง SWAT มีประสิทธิภาพในการจำลองปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำวัง เฉพาะลุ่มน้ำย่อยที่ไม่มีเขื่อน และเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับประเมินปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง เนื่องจากฤดูฝนมีค่าการประเมินใกล้เคียงกับค่าการตรวจวัดจริงมากที่สุด ในขณะที่ฤดูแล้งมีข้อจำกัดในเรื่องของสิ่งปลูกสร้าง เช่น การทำฝายหรือการกักเก็บน้ำของเขื่อน ซึ่งทำให้ปริมาณน้ำท่าเปลี่ยนแปลงไปจากธรรมชาติ รวมถึงยังมีข้อจำกัดในการจำลองปริมาณน้ำท่าสูงสุดในช่วงเวลาที่เกิดน้ำท่วมด้วย

ปิยะวัฒน์ วุฒิชัยกิจเจริญ และคณะ (2016) ใช้แบบจำลอง SWAT ในการศึกษาการจำลองปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำห้วยหลวง จังหวัดอุดรธานี โดยวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร สอบเทียบแบบจำลองในช่วง พ.ศ. 2548-2553 และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในช่วง พ.ศ. 2554-2556 ผลการศึกษาพบว่าตัวแปรที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ามากที่สุด ได้แก่ ค่า curve number (CN_2) ปริมาณน้ำในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (SOL_AWC) และ สัมประสิทธิ์การซึมได้ของดินในสภาพอิ่มตัว (SOL_K) ซึ่งเมื่อมีการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวแล้วได้ผลการประเมินน้ำท่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความน่าเชื่อถือ โดยพิจารณาจากค่าสถิติทดสอบ R^2, NSE และ PBIAS ซึ่งสามารถนำไปใช้คาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยสำหรับประกอบการวางแผนการจัดการลุ่มน้ำได้

Koltsida et al. (2023) จำลองปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำ Kifisos กรุงเอเธนส์ ประเทศกรีซ เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำที่มีการใช้ที่ดินแบบผสมผสาน (พื้นที่ระหว่างเมืองและชานเมือง) ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน คือ รายวัน และรายชั่วโมง ด้วยแบบจำลอง SWAT สำหรับการสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยใช้วิธีการ Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2) ในโปรแกรม SWAT-CUP ซึ่งหลักการของ SUFI-2 จะรวบรวมข้อมูล

ที่สังเกตได้ภายในแถบความไม่แน่นอน คำนวณความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 97.5 ผลการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำใต้ดินมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ารายวัน ในขณะที่พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลในลำน้ำมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ารายชั่วโมง และการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองพบว่า แบบจำลองรายวันสามารถจำลองปริมาณน้ำท่าได้ใกล้เคียงกับค่าการตรวจวัดจริงมากกว่าแบบจำลองรายชั่วโมง แบบจำลองรายวันมีค่า NSE คือ 0.86 และ R^2 คือ 0.87 แบบจำลองรายชั่วโมงมีค่า NSE คือ 0.6 และ R^2 คือ 0.63 สามารถนำไปคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำที่มีการใช้ที่ประโยชน์ที่ดินแบบผสมผสานได้ สรุปได้ว่าแบบจำลอง SWAT เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพแต่มีความซับซ้อนในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการกระจายเชิงพื้นที่

2.3 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างรวดเร็วในทุกพื้นที่ทั่วโลก เนื่องจากมีความต้องการใช้ที่ดินสำหรับตอบสนองการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์มากขึ้น ประกอบกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในปัจจุบันที่เร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบทั้งในด้านกายภาพ ด้านชีวภาพ และด้านเศรษฐกิจสังคม การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่จึงมีความสำคัญต่อการวางแผนการใช้ที่ดินในอนาคต เพื่อให้สามารถจัดสรรพื้นที่สำหรับใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม รวมถึงหาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ จึงได้มีการพัฒนาแบบจำลองสำหรับศึกษากระบวนการการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินขึ้น โดยแนวคิดสำหรับสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ได้แก่ 1) ระดับของการวิเคราะห์ (Level of analysis) 2) การเปลี่ยนแปลงทั้งในเชิงพื้นที่ เวลา และปริมาณ (cross-scale dynamics) 3) แรงขับเคลื่อน (Driving factors) ทั้งปัจจัยด้านกายภาพ ด้านชีวภาพ และด้านเศรษฐกิจสังคม 4) ปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่และผลกระทบจากพื้นที่ใกล้เคียง (Spatial interaction and neighborhood effects) 5) พลวัตเชิงเวลา (Temporal dynamics) 6) ระดับการบูรณาการ (level of integration) ซึ่งพิจารณาจากความแข็งแรงของการเชื่อมโยงระบบย่อย (Verburg et al., 2004)

2.3.1 ประเภทของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

แบบจำลองทางการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีหลายประเภทขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ในการจำแนก เช่น การจำแนกด้วยวิธีการประยุกต์ ออกเป็น 8 ประเภท (ชูเดช โลศิริ, 2559) ดังนี้

2.3.1.1 แบบจำลองปฏิสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial interaction model) อธิบายกระบวนการด้วยความสัมพันธ์และการเชื่อมยงกันของลักษณะทางภูมิศาสตร์

2.3.1.2 แบบจำลองทางสมการคณิตศาสตร์และสถิติ (Mathematical and statistical model) อธิบายกระบวนการจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบโดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์และสถิติ

2.3.1.3 แบบจำลองระบบพลวัต (System dynamic model) เป็นการจำลองการเปลี่ยนแปลงกระบวนการไปตามการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมภายนอกในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ค่อนข้างจะเป็นไปได้ยาก

2.3.1.4 แบบจำลองด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert model) อธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงจากการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งแปลงข้อมูลในเชิงคุณภาพเป็นข้อมูลเชิงปริมาณด้วยวิธีการทางตรรกศาสตร์

2.3.1.5 แบบจำลองวิวัฒนาการ (Evolution model) อาศัยเทคนิควิธีการของปัญญาประดิษฐ์ในการอธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลง

2.3.1.6 แบบจำลอง CA–Markov เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างแบบจำลอง Markov และแบบจำลอง Cellular Automata ในการอธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงด้วยการวิเคราะห์ในเชิงพื้นที่และเวลาในแต่ละกริดเซลล์ (grid cell) รวมไปถึงกริดเซลล์ข้างเคียงด้วย

2.3.1.7 แบบจำลองตัวแทน (Agent Based Model: ABM) อาศัยวัตถุและประชากรเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ 3 ขั้นตอน ได้แก่ การพยากรณ์การตัดสินใจจากปัจจัยต่าง ๆ ของตัวแทนในระบบ การพยากรณ์ผลลัพธ์ที่จะเกิดกับระบบ การทำซ้ำเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

2.3.1.8 แบบจำลองผสม (hybrid model) เป็นการแบบจำลองที่เลือกใช้เทคนิคและวิธีการของแบบจำลองต่าง ๆ มาบูรณาการร่วมกัน

ในปัจจุบันมีการพัฒนาแบบจำลองสำหรับศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินรวมถึงการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต จำนวนมาก โดยแบบจำลองที่นิยมใช้ทางภูมิสารสนเทศ ได้แก่ แบบจำลอง CA–Markov แบบจำลอง SLEUTH และแบบจำลอง CLUE-S สำหรับการศึกษานี้เลือกใช้แบบจำลอง CA–Markov เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ทำงานกับข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ดี ผลลัพธ์ที่ได้สารมารถนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง SWAT ได้ง่าย

2.3.2 แบบจำลอง CA-Markov

แบบจำลอง CA-Markov หรือ Cellular Automata Markov คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในอนาคตด้วย โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นแบบจำลองที่นำหลักการของแบบจำลอง Cellular Automata ซึ่งใช้ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงร่วมกับข้อมูลของพื้นที่แวดล้อม

(Neighborhood cell) แสดงผลลัพธ์ในรูปแบบแผนที่หรือแบบจำลอง มาประยุกต์ร่วมกับแบบจำลอง Markov Chain โดยแต่ละแบบจำลองมีหลักการ (Pontius Jr, 2000) ดังนี้

แบบจำลอง Markov Chain พัฒนาโดยนักคณิตศาสตร์ชาวรัสเซีย Andrei A. Markov เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยหลักทางคณิตศาสตร์คำนวณความน่าจะเป็น (Probability: P) ในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินรูปแบบต่าง ๆ ของพื้นที่ศึกษา 2 ช่วงเวลา มาประเมินสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Proportion: V) ในช่วงเวลาที่ 3 ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (4) (Balzter, 2000)

$$(V_j) \times (P_{jk}) = [V_1 V_2 V_3 \ldots V_m] \times \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & P_{1,3} \ldots P_{1,m} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & P_{2,3} \ldots P_{2,m} \\ P_{3,1} & P_{3,2} & P_{3,3} \ldots P_{3,m} \\ \ldots & \ldots & \ldots \\ \ldots & \ldots & \ldots \\ P_{m,1} & P_{m,2} & P_{m,3} \ldots P_{m,m} \end{bmatrix} \quad (4)$$

เมื่อ $(V_j) \times (P_{jk})$ คือ สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินในช่วงเวลาถัดไป

(V_j) คือ สัดส่วนของการประโยชน์ที่ดินในระยะที่ 2 $[V_1 V_2 V_3 \ldots V_m]$

(P_{jk}) คือ ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากช่วงเวลาที่ 1 เป็นช่วงเวลาที่ 2 อยู่ในรูปของ Matrix

j ประเภทของการใช้ที่ดินในช่วงเวลาที่ 1

k ประเภทของการใช้ที่ดินในช่วงเวลาที่ 2

แบบจำลอง Cellular Automata เป็นแบบจำลองพลวัต ที่มีลักษณะเชิงพื้นที่และเวลาเป็นองค์ประกอบสำคัญ ซึ่งนำหลักการของเซลล์และการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่โดยรอบมาใช้ในการคาดการณ์และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในรูปแบบต่าง ๆ โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของเซลล์แต่ละตัวอย่างเปลี่ยนแปลงจากสถานะปัจจุบันไปสู่สถานะถัดไปตามกฎที่กำหนด โดยการทำงานของ Cellular automata จะเริ่มต้นด้วยการกำหนดพื้นที่เป็นเซลล์ที่ประกอบไปด้วยตารางหรือเมตริกซ์หลายมิติโดยแต่ละเซลล์จะมีสถานะที่แทนด้วยค่าต่าง ๆ และในทุก ๆ รอบการทำงานเซลล์แต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงสถานะของตัวเองตามกฎที่กำหนด ในทางปฏิบัติบ่งชี้ได้ว่าการใช้หลักการของ Cellular automata นั้นสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินได้ (Sang et al., 2011)

2.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง CA-Markov

ติณณ์ ถิรกุลโตมร และคณะ (2020) ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อสำรวจและติดตามการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยใช้ข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2A และแบบจำลอง CA-Markov โดยใช้ผลลัพธ์จากการจำแนกข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินปี 2560 และ 2561 มาคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินปี 2562 จากนั้นนำผลการคาดการณ์ที่ได้มาตรวจสอบความถูกต้องกับผลการจำแนกข้อมูลภาพดาวเทียมปี 2562 และพบว่าแบบจำลอง CA-Markov ให้ผลการคาดการณ์ที่มีความถูกต้องโดยรวมเป็นร้อยละ 80.46 และค่าสัมประสิทธิ์แคปปาร้อยละ 76.72 ซึ่งได้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือและมีความแม่นยำ การศึกษานี้สามารถสรุปว่าแบบจำลอง CA-Makov และการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือในการคาดการณ์และติดตามข้อมูล

Tontisirin et al. (2017) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในภาคตะวันออกของประเทศไทย ในโครงการพัฒนาภาคตะวันออก (Eastern Seaboard Development) ในปี 2007, 2010, 2012, และ 2016 ด้วยแบบจำลอง CA-Makov เพื่อคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี 2022 และ 2027 ผลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินภายในพื้นที่ EEC พบว่าแบบจำลองสามารถคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยสัมประสิทธิ์แคปปา 0.84 โดยพื้นที่เพาะปลูกมีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะในพื้นที่นา พืชไร่ เนื่องจากมีการขยายพื้นที่เพื่อการใช้ประโยชน์อื่น ๆ การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญคือการขยายพื้นที่เป็นเมือง ซึ่งบ่งชี้ถึงความจำเป็นในการวางแผนร่วมกันระหว่างเทศบาลต่าง ๆ ทั้งในระดับภูมิภาคและระดับเมืองเพื่อให้เพียงพอต่ออัตราการเพิ่มขึ้นได้อย่างเหมาะสม ในขณะเดียวกัน การลดพื้นที่ทางการเกษตรก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการจัดการเกษตร จึงจำเป็นต้องวางแผนการใช้ที่ดินในระดับภูมิภาคและวางแผนเทศบาลในการปรับสมดุลระหว่างการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและการเปลี่ยนแปลงที่ดินทางการเกษตร

กฤษนัยน์ เจริญจิตร และคณะ (2562) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำเขตพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก ซึ่งจากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ระหว่าง พ.ศ. 2550-2560 พบว่าในช่วง พ.ศ. 2550-2555 พื้นที่ป่าไม้ลดลง 16.21 ตร.กม. และพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างลดลง 63.11 ตร.กม. และถูกแทนที่ด้วยพื้นที่แหล่งน้ำ ที่เพิ่มขึ้นถึง 40.22 ตร.กม. ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากการเพิ่มพื้นที่แหล่งน้ำเพื่อใช้สำหรับการอุปโภค-บริโภค และในช่วง พ.ศ.2555-2560 พบว่า พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่ป่าไม้มีขนาดลดลง ในขณะที่พื้นที่ชุมชน ที่อยู่อาศัย และสิ่งปลูกสร้างมีพื้นที่เพิ่มขึ้น 67.34 ตร.กม. ซึ่งเป็นผลจากการขยายตัวของพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมในพื้นที่ภาคตะวันออก และได้มีการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ปี พ.ศ. 2580 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov พบว่า พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่

ป่าไม้ และพื้นที่แหล่งน้ำมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่พื้นที่เบ็ดเตล็ด และพื้นที่ชุมชนสิ่งปลูกสร้างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

2.4 งานวิจัยด้านการศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อลักษณะทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

วนัชพร แมงสาโมง และอิมรอน หะยิยูโซะ (2563)ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการประเมินน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2552 และ 2559 ในพื้นที่ลุ่มน้ำบางนรา โดยปรับค่าพารามิเตอร์ที่อ่อนไหวต่อปริมาณน้ำท่า 8 ตัว มีค่าการสอบเทียบและค่าการตรวจสอบแบบจำลองด้วยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 อยู่ระหว่าง 0.76 – 0.84 และค่า NSE อยู่ระหว่าง 0.75 – 0.84 ซึ่งพบว่า พื้นที่ป่าไม้ลดลงและถูกแทนที่ด้วยพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง โดยปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2559 เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.05 ในช่วงฤดูฝนเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.12 และช่วงที่ไม่ใช่ฤดูฝนลดลงร้อยละ 1.9 เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝน จึงควรเริ่มมีการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ในปัจจุบัน

โอฬาร เวศอุไร (2548) ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบนใน พ.ศ. 2520 2537 และ 2544 ด้วยแบบจำลอง SWAT ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์พบว่าส่วนใหญ่คือพารามิตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางกายภาพของลุ่มน้ำ เช่น ค่า Curve Number (CN) และพบว่าปริมาณการไหลของน้ำในลำน้ำที่ได้จากแบบจำลงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำนเป็นหลัก มีค่าการสอบเทียบและค่าการตรวจสอบแบบจำลองด้วยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 อยู่ระหว่าง 0.8 – 0.85 และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ประมาณ 0.2 ซึ่งผลการจำลองที่ได้มีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจริง และถูกนำมาใช้ประมาณค่าปริมาณน้ำท่าเพื่อประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2520 2537 และ 2544 พบว่าพื้นที่ป่าลดลงเปลี่ยนสภาพเป็นพื้นที่การเกษตรและที่อยู่อาศัยมากขึ้น ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าป่าไม้มีอิทธิพลต่อลักษณะน้ำท่า หากในพื้นที่มีการตัดไม่ทำลายป่าจะทำให้ปริมาณน้ำท่าในช่วงน้ำหลากเพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำในช่วงฤดูแล้งลดลง ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำขาดความสมดุล มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำของมนุษย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
พื้นที่ศึกษา

3.1 ที่ตั้ง

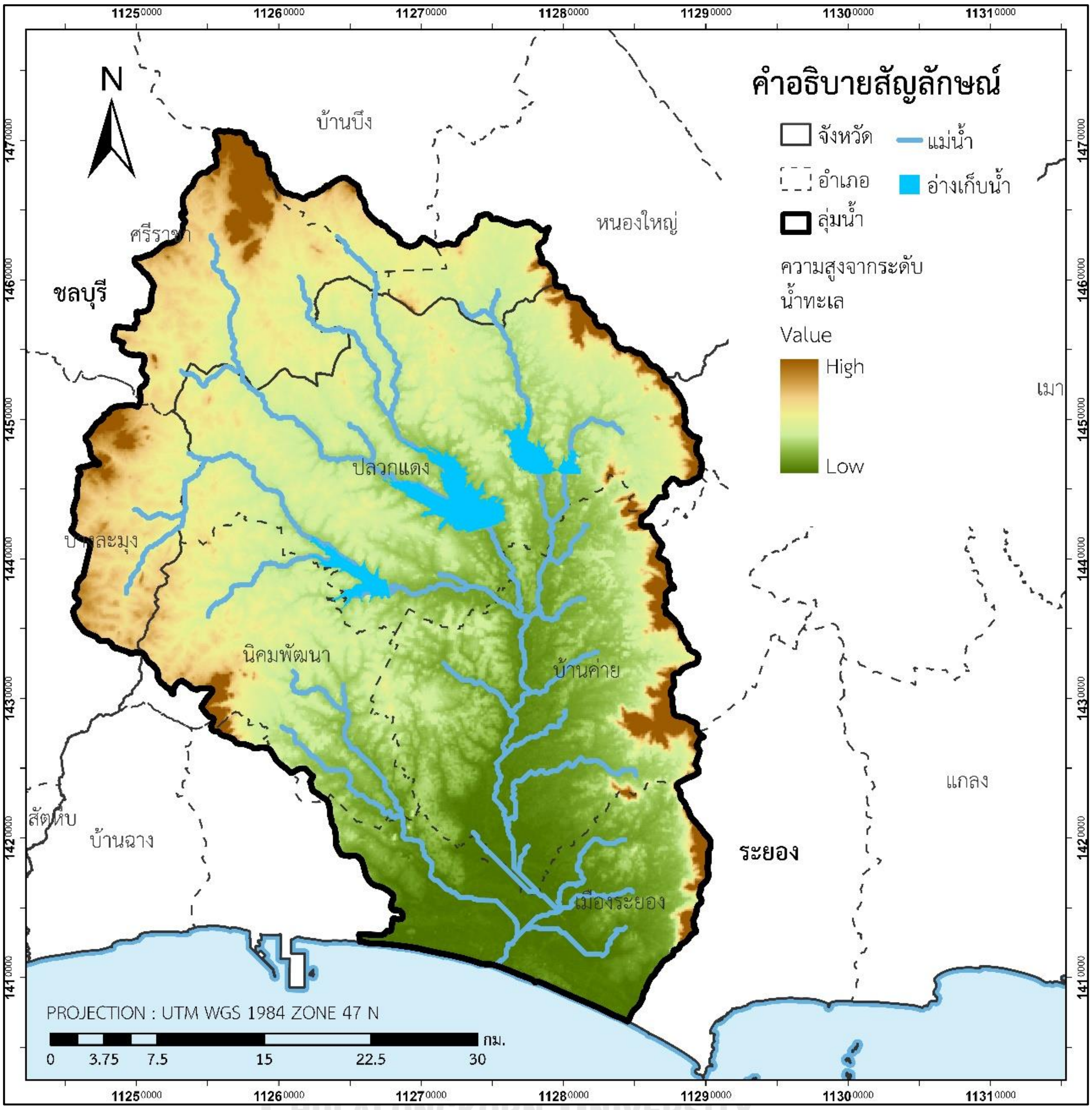
ลุ่มน้ำระยองเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก มีพื้นที่ 1,804 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุม 2 จังหวัด ได้แก่ 1) จังหวัดระยอง ในอำเภอบ้านบึง อำเภอหนองใหญ่ อำเภอศรีราชา และอำเภอบางละมุง 2) จังหวัดชลบุรี ในอำเภอเมืองระยอง อำเภอบ้านค่าย อำเภอปลวกแดง อำเภอนิคมพัฒนา และอำเภอวังจันทร์ ตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 12° 26′ เหนือ ถึงละติจูดที่ 13°10′ เหนือ และระหว่างลองจิจูด 101°00′ ตะวันออก ถึงลองติจูดที่ 101°26′ ตะวันออก (สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, 2563) (ภาพที่ 3)

ทิศเหนือ	มีพื้นที่ติดต่อกับ	อำเภอศรีราชา อำเภอบ้านบึง อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี
ทิศใต้	มีพื้นที่ติดต่อกับ	ชายฝั่งทะเลอ่าวไทย
ทิศตะวันออก	มีพื้นที่ติดต่อกับ	อำเภอวังจันทร์ จังหวัดระยอง
ทิศตะวันตก	มีพื้นที่ติดต่อกับ	อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี และอำเภอบ้านฉาง จังหวัดระยอง

3.2 สภาพภูมิประเทศ

ลุ่มน้ำระยองประกอบด้วยลักษณะทางภูมิประเทศ 3 ลักษณะ ได้แก่ 1) พื้นที่สูงชันและภูเขา มีความลาดชันเกินร้อยละ 35 สูงจากพื้นที่บริเวณโดยรอบตั้งแต่ 150 เมตรเหนือระดับทะเลปานกลางขึ้นไป พบบริเวณตอนกลางของจังหวัดระยอง ในอำเภอบ้านค่าย และอำเภอเมืองระยอง เป็นแนวทิวเขาเตี้ย ๆ ทอดตัวยาวขึ้นไปทางเหนือบริเวณรอยต่อของจังหวัดในพื้นที่อำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี และอำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง ซึ่งอยู่บริเวณฝั่งตะวันออกของพื้นที่ลุ่มน้ำระยอง ระยองจุดสูงสุดของลุ่มน้ำมีระดับความสูง 732 เมตรจากระดับทะเลปานกลาง 2) ที่ราบสลับเนินเขาเป็นลอนลูกคลื่นสูงต่ำสลับกัน มีความลาดชั้นร้อยละ 16-35 อยู่บริเวณตอนกลางและฝั่งตะวันตกของพื้นที่ลุ่มน้ำ และ 3) ที่ราบชายฝั่งทะเล อยู่บริเวณตอนใต้ของลุ่มน้ำระยอง (สำนักเทคโนโลยีการสำรวจและการทำแผนที่, 2562) (ภาพที่ 3)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 3 ที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศของลุ่มน้ำระยอง

3.3 สภาพภูมิอากาศ

ลักษณะภูมิอากาศของลุ่มน้ำระยองได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม ได้แก่ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดปกคลุมตั้งแต่ประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดปกคลุมในช่วงฤดูฝนประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงประมาณกลางเดือนตุลาคม ซึ่งพัดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นส่วนใหญ่และเป็นลมที่พัดผ่านทะเลนำความชื้นและไอน้ำเข้าสู่พื้นที่ลุ่มน้ำทำให้อากาศชุ่มชื้นและมีฝนตกโดยทั่วไป โดยแบ่งเป็น 3 ฤดูกาล (ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2563) ดังนี้

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์และสิ้นสุดประมาณกลางเดือนพฤษภาคม มีลมตะวันออกเฉียงใต้และลมเฉื่อยจากทะเลในตอนบ่ายพัดมารวมด้วยจึงทำให้ลมมีกำลังแรงมากขึ้น

ฝั่งทะเลระยองในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน จึงมีคลื่นลมค่อนข้างแรงในตอนบ่ายและเย็นทำให้อุณหภูมิไม่สูงมาก

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม เป็นช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศประเทศไทย ซึ่งจะนำความชื้นจากทะเลอันดามันพัดผ่านอ่าวไทยเข้าสู่ภาคตะวันออก ทำให้อากาศชุ่มชื้อนและมีฝนตกชุกทั่วไป

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และบริเวณความกดอากาศสูงจากประเทศจีนพัดพาเอาความหนาวเย็นและความแห้งแล้งลงมาปกคลุมประเทศไทย แต่พื้นที่ศึกษาอยู่ในเขตปลายลมมรสุมตะวันอกเฉียงเหนือ จึงทำให้อุณหภูมิยังไม่ลดต่ำมากเหมือนพื้นที่อื่น ๆ

จากข้อมูลสถิติภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาจังหวัดระยอง ในคาบ 30 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2524 – 2554 (ตารางที่ 2) พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 28.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32.6 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 25.0 องศาเซลเซียส โดย อุณหภูมิต่ำที่สุดที่เคยตรวจวัดได้ 12.5 องศาเซลเซียส ที่สถานีอากาศเกษตรห้วยโปง เมื่อวันที่ 30 ธันวาคม 2518 สวนอุณหภูมิสูงที่สุดวัดได้ 40.0 องศาเซลเซียส สถานีอุตุนิยมวิทยาระยอง เมื่อวันที่ 23 เมษายน 2544 โดยสามารถสรุปข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศอื่น ๆ ได้ตามตารางที่ 1

ฝนที่ตกในพื้นที่ลุ่มน้ำสวนใหญ่เป็นฝนที่เกิดในชวงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต ซึ่งพัดปกคลุมระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม อ้างอิงจากข้อมูลฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาจังหวัดระยอง ในคาบ 30 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2524 – 2554 (ตารางที่ 2) มีปริมาณฝนรวมเฉลี่ยตลอดป 1,383.2 มิลลิเมตร และมีจำนวนวันฝนตกเฉลี่ย 119 วัน เดือนที่มีฝนตกหนาแน่นมากที่สุดในรอบปคือเดือนพฤษภาคม กันยายน และเดือนตุลาคม โดยมีปริมาณฝนอยู่ในชวง 190–260 มิลลิเมตร สำหรับปริมาณฝนสูงที่สุดใน 24 ชั่วโมง ที่เคยตรวจได้คือ 193.0 มิลลิเมตร ที่สถานีอุตุนิยมวิทยาระยอง เมื่อวันที่ 9 กันยายน 2539 (ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2563; สำนักบริหารโครงการ กรมชลประทาน, 2562)

ตารางที่ 1 ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดระยอง (ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2563)

ข้อมูลภูมิอากาศ	หน่วย	ช่วงพิสัยรายปี	ค่าเฉลี่ยรายปี
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	26.0 – 30.0	28.2
ความชื้นสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์	70.0 - 82.0	77.0
ความเร็วลมผิวพื้น	น็อต	2.1 – 5.6	3.5
เมฆปกคลุม	1-10	4.0 – 8.0	6.0
ปริมาณการระเหยจากถาด	มิลลิเมตร	-	1,648.3

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2 อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และปริมาณน้ำฝน ในคาบ 30 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2524 – 2554 จากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดระยอง (ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, 2563)

เดือน	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ปริมาณน้ำฝน (มม)
มกราคม	21.5	31.9	20.7
กุมภาพันธ์	24.5	32.5	36.5
มีนาคม	26.2	33.2	70.3
เมษายน	27.1	34.3	81.6
พฤษภาคม	26.9	33.6	198.6
มิถุนายน	26.8	32.7	165.1
กรกฎาคม	26.5	32.3	171.8
สิงหาคม	26.4	32.0	132.3
กันยายน	25.4	31.9	255.2
ตุลาคม	24.5	32.3	194.4
พฤศจิกายน	23.3	32.6	50.8
ธันวาคม	21.3	32.0	5.9

3.4 ลักษณะทางอุทกวิทยา

ลุ่มน้ำระยองมีต้นกำเนิดมาในเขตอำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี จากนั้นไหลลงทางทิศใต้ผ่านภูมิประเทศที่เป็นหุบเขา ความยาวประมาณ 10 กิโลเมตร เข้าเขตจังหวัดระยองที่อำเภอปลวกแดง และไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำคลองใหญ่ จากนั้นแม่น้ำระยองจึงไหลออกสู่ที่ราบซึ่งเป็นพื้นที่นาข้าวในเขตอำเภอบ้านค่าย โดยมีคลองหนองปลาไหลและคลองดอกกราย ซึ่งเป็นลำน้ำสาขาไหลมาบรรจบทางฝั่งตะวันออก และมีคลองทับมาซึ่งเป็นลำน้ำสาขาขนาดใหญ่ไหลมาบรรจบทางฝั่งตะวันตกในเขตอำเภอเมืองระยอง จากนั้นแม่น้ำระยองไหลลงสู่อ่าวระยอง (อ่าวแม่รำพึง) ที่บ้านปากน้ำ ตำบลเนินพระ อำเภอเมือง จังหวัดระยอง โดยแม่น้ำระยองมีความยาวประมาณ 80 กิโลเมตร รายละเอียดลำน้ำสาขาที่สำคัญมี ดังนี้ (สำนักบริหารโครงการ กรมชลประทาน, 2562)

1) คลองดอกกราย มีความยาวประมาณ 45 กิโลเมตรมีต้นน้ำจากเขาชากกล้วย ในเขตอำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี ลำน้ำสายนี้ ไหลผ่าน หุบเขาเกือบตลอดสายแล้วไหลลงคลองหนองปลาไหลก่อนที่คลองนั้นจะบรรจบกับคลองใหญ่และคลองดอกกราย

2) คลองหนองปลาไหล มีความยาวประมาณ 42 กิโลเมตร มีต้นน้ำจากเขาน้ำโจน เขาชมพู่ และเขาเรือแตก ในเขตจังหวัดชลบุรี ซึ่งไหลมาตามห้วยและคลอง เช่น คลองระเวิง คลองกล่ำ คลองปลวกแดง แล้วไหลมารวมกันเรียกว่า คลองหนองปลาไหล จากนั้นไหลลงสู่คลองใหญ่ที่บ้านหัวทุ่ง ตำบลหนองบัว อำเภอบ้านค่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3) คลองทับมา มีความยาวประมาณ 12 กิโลเมตร มีต้นน้ำเกิดจากเนินเขาทางด้านตะวันตกของจังหวัดระยอง เช่น เขาจอมแห เขาเกตุ เขากระบอก ซึ่งเกิดเป็นห้วยและคลอง เช่น คลองชากใหญ่ คลองหนองคล้ำ และคลองช้างตายได้ไหลมารวมกันที่คลองทับมา และไหลลงสู่แม่น้ำระยองที่บ้านเกาะกลอย อำเภอเมืองระยอง

นอกจากแม่น้ำระยองและลำน้ำสาขาซึ่งเป็นแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ลุ่มน้ำระยองยังมีโครงการชลประทานอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่และขนาดกลาง ซึ่งเป็นแหล่งต้นทุนน้ำที่มีความสำคัญต่อระบบลุ่มน้ำระยอง ดังนี้ (สำนักบริหารโครงการ กรมชลประทาน, 2562)

1) อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล โครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่ ตั้งอยู่ที่ตำบลปลวกแดง อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง มีพื้นที่รับน้ำ 408 ตร.กม. ความจุเก็บกักรวม 163.75 ล้าน ลบ.ม. พื้นที่ชลประทาน 30,000 ไร่

2) อ่างเก็บน้ำคลองใหญ่ โครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง ตั้งอยู่ที่ตำบลละหาร อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง มีพื้นที่รับน้ำ 218 ตร.กม. ความจุเก็บกักรวม 40.1 ล้าน ลบ.ม. พื้นที่ชลประทาน 20,000 ไร่

3) อ่างเก็บน้ำดอกกราย โครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง ตั้งอยู่ที่ตำบลแม่น้ำคู้ อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง มีพื้นที่รับน้ำ 291 ตร.กม. ความจุเก็บกักรวม 71.4 ล้าน ลบ.ม. พื้นที่ชลประทาน 1,200 ไร่

4) ฝายบ้านค่าย โครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง ตั้งอยู่ที่ตำบลบางบุตร อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง พื้นที่ชลประทาน 3,000 ไร่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พื้นที่ลุ่มน้ำระยอง มีสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า 2 แห่ง ได้แก่ สถานีทับมา (Z.38) และสถานีบ้านค่าย (Z.62) โดยมีปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำระยองเฉลี่ยรายปีตามธรรมชาติ 576.66 ล้าน ลบ.ม. และปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่รับน้ำฝนอยู่ในช่วง 6.65-17.83 ลิตร/วินาที/ตร.กม. และมีการกระจายรายเดือนของปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของลุ่มน้ำระยองแสดงดังตารางที่ 3 (สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, 2563)

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนของลุ่มน้ำระยอง

เดือน	**ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน (มิลลิเมตร)**
มกราคม	10.9
กุมภาพันธ์	6.8
มีนาคม	9.2
เมษายน	14.3
พฤษภาคม	45.9
มิถุนายน	36.8
กรกฎาคม	46.2
สิงหาคม	49.6
กันยายน	88.1
ตุลาคม	176.9
พฤศจิกายน	71.1
ธันวาคม	20.8
เฉลี่ยรวมรายปี	576.7

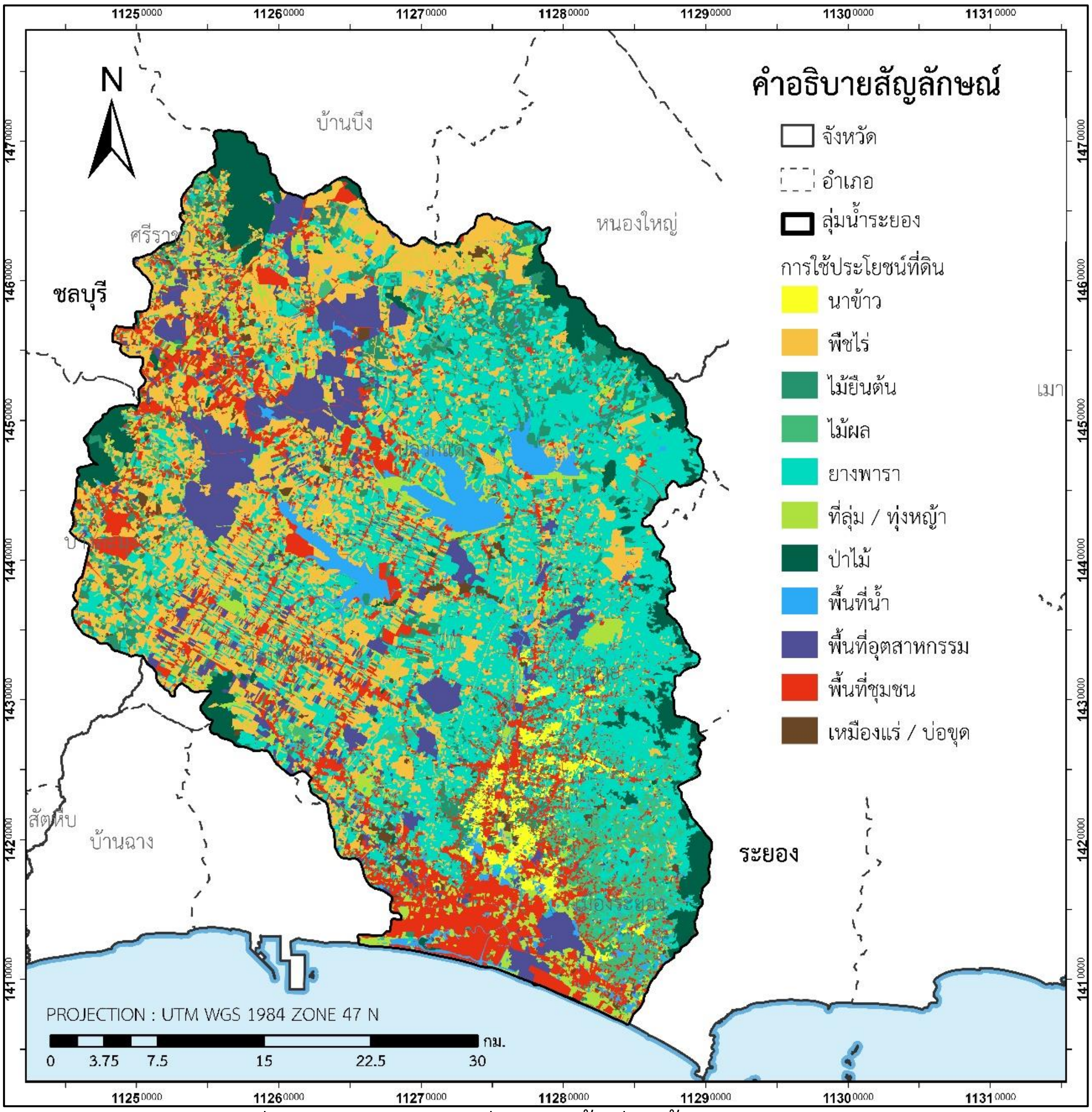
3.5 สภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการสำรวจและจัดจำแนกโดยกรมพัฒนที่ดินในปี 2563 ลุ่มน้ำระยองมีพื้นที่เกษตรกรรมมากที่สุดประมาณร้อยละ 60.50 โดยเฉพาะยางพาราที่กระจายอยู่บริเวณฝั่งตะวันออกของลุ่มน้ำระยอง รองลงมาเป็นสิ่งปลูกสร้างร้อยละ 21 ได้แก่ พื้นที่อุตสาหกรรมและชุมชน พื้นที่อุตสาหกรรมกระจุกตัวอยู่บริเวณตอนบนของลุ่มน้ำเนื่องจากเป็นเขตนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และพื้นที่ชุมชนกระจุกตัวบริเวณตอนบนในเขตนิคมอุตสาหกรรมและตอนล่างในเขตอำเภอเมืองระยอง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4 และภาพที่ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2563

ชั้นข้อมูล	การใช้ประโยชน์ที่ดินระดับที่ 2	การใช้ประโยชน์ที่ดิน แบ่งตามการศึกษา	พื้นที่ (ตร.กม.)
1	ไม้ยืนต้น	ไม้ยืนต้น	103.63
	ปลูกพืชผสมผสาน เช่น ไม้ยืนต้น/พืชไร่ ไม้ยืนต้น/ไม้ผล		
2	พืชไร่	พืชไร่	345.00
3	ป่าผลัดใบ	ป่าไม้	97.28
	ป่าปลูกสมบูรณ์		
	ป่าชายเลน		
4	ไม้ผล	ไม้ผล	73.12
	พืชสวน		
5	นาข้าว	นาข้าว	27.73
6	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือน	ที่ลุ่ม / ทุ่งหญ้า	108.30
	ทุ่งหญ้าและไม้ละเมาะ		
	พื้นที่ลุ่ม		
7	ยางพารา	ยางพารา	497.13
8	เหมืองแร่ / บ่อขุด	เหมืองแร่ / บ่อขุด	25.06
	พื้นที่ถม		
	พื้นที่เบ็ดเตล็ดอื่น ๆ		
9	โรงงานอุตสาหกรรม	อุตสาหกรรม	147.22
10	หมู่บ้าน	ชุมชน	228.51
	สถานที่ราชการ		
	ถนน		
11	แม่น้ำ ลำห้วย ลำคลอง	แหล่งน้ำ	76.93
	อ่างเก็บน้ำ		
	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ		



ภาพที่ 4 การใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2563

CHULALONGKORN UNIVERSITY

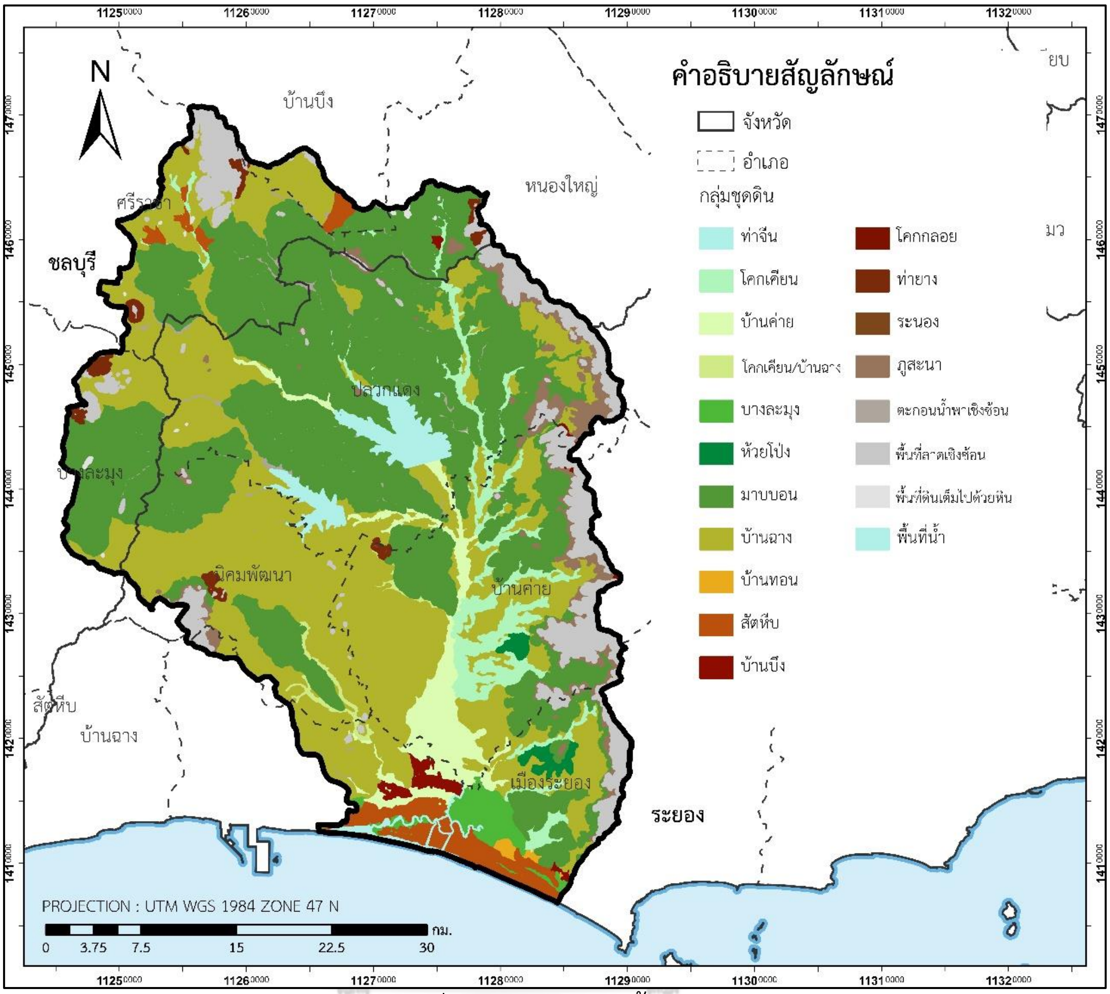
3.4 สภาพทรัพยากรดิน

จำแนกดินลุ่มน้ำระยอง ได้ 19 ชุดดิน ตามการจำแนกของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งจำแนกตามลักษณะ คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี และศักยภาพในการเพาะปลูกของดิน รวมถึงการจัดการดินที่มีคล้ายคลึงกันรวมไว้เป็นกลุ่มเดียวกัน ทรัพยากรดินในพื้นที่ศึกษาโดยมากมีลักษณะเป็นดินร่วนและดินทรายและมีสัดส่วนพื้นที่ของแต่ละกลุ่มชุดดินดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 5

ตารางที่ 5 ชุดดินของลุ่มน้ำระยอง

กลุ่มชุดดิน	**ชื่อชุดดิน**	**ลักษณะเนื้อดิน**	Hydro group	**พื้นที่ (ตร.กม.)**
12	ท่าจีน	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง	D	1.25
17	โคกเคียน	ดินร่วนเหนียวปนทราย	C	66.86
18	บ้านค่าย	ดินร่วนปนทราย	D	69.24
22	โคกเคียน/บ้านฉาง	ดินร่วนปนทราย	C	7.04
23	บางละมุง	ดินทรายปนดินร่วน	D	25.19
26	ห้วยโป่ง	ดินร่วนปนทราย	A	11.32
35	มาบบอน	ดินร่วนปนทราย	A	644.58
40	บ้านฉาง	ดินร่วนปนทราย	A	594.12
42	บ้านทอน	ดินทรายปนดินร่วน	B	3.68
43	สัตหีบ	ดินทรายปนดินร่วน	A	42.47
44	บ้านบึง	ดินทรายปนดินร่วน	A	8.80
45	โคกกลอย	ดินร่วนปนทรายปนกรวด	B	1.55
48	ท่ายาง	ดินร่วนปนดินเหนียวปนกรวด	B	10.09
51	ระนอง	ดินร่วนปนทรายปนกรวดมาก	A	0.21
56	ภูสะนา	ดินร่วนปนทราย	A	41.85
59	ตะกอนน้ำพาเชิงซ้อน	ดินร่วนปนทราย	D	44.57
62	พื้นที่ลาดเชิงซ้อน	-	B	120.99
63	พื้นที่ดินเต็มไปด้วยหิน	-	A	1.35
-	พื้นที่น้ำ	-		34.74

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 5 ชุดดินของลุ่มน้ำระยอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการคำนวณและคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำระยองรวมทั้งศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตต่อลักษณะทางปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำระยอง ผู้วิจัยแบ่งวิธีการดำเนินงานออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ การเก็บรวบรวมข้อมูล การประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT การปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง SWAT การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต แผนผังการดำเนินงานวิจัยดังแสดงในภาพที่ 6

4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้แบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกใช้สำหรับการจำลองและการประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ส่วนที่สองใช้สำหรับวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov ซึ่งได้มีการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

4.1.1 ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) ใช้สำหรับคำนวณความลาดชันและเพื่อใช้สร้างโครงข่ายลำน้ำจากทิศทางการไหลของน้ำผิวดิน โดยในการศึกษานี้ทดสอบการสร้างโครงข่ายลำน้ำด้วย DEM ความละเอียด 30 X 30 เมตร จาก NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (2013) และ DEM ความละเอียด 90 X 90 เมตร อ้างอิงค่าระดับจากพื้นหลักฐานทางดิ่งของประเทศไทย ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KU Survey Engineering for Agriculture Thailand, 2021) ซึ่งได้นำมาปรับปรุงให้มีความถูกต้อง (Accuracy) สูงขึ้นจากข้อมูลการสำรวจภูมิประเทศ และพบว่า DEM ความละเอียด 90 X 90 เมตร สามารถสร้างโครงข่ายลำน้ำได้ใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษาจริงมากที่สุด จึงได้เลือกใช้ DEM ความละเอียด 90 X 90 เมตร

4.1.2 ข้อมูลเส้นทางน้ำ ประกอบด้วย ทางน้ำสายหลัก ทางน้ำสายรอง และแหล่งน้ำผิวดินรวบรวมจากกรมทรัพยากรน้ำ สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของโครงข่ายลำน้ำและทิศทางการไหลของน้ำบนผิวดินที่ได้จากแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (DEM)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.3 ข้อมูลชุดดิน ประกอบด้วย ข้อมูลชุดดินเชิงพื้นที่ (Soil Series) มาตราส่วน 1:25,000 ในรูปแบบข้อมูลเวกเตอร์ ข้อมูลคุณสมบัติของดิน รวบรวมจากเว็บไซต์ของกรมพัฒนาที่ดิน สำหรับจำแนกประเภทของดินและกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับลักษณะทางอุทกวิทยาของดิน (soil hydraulic properties) ให้เหมาะสมตามโครงสร้างและคุณสมบัติทางกายภาพของดินในพื้นที่ศึกษา

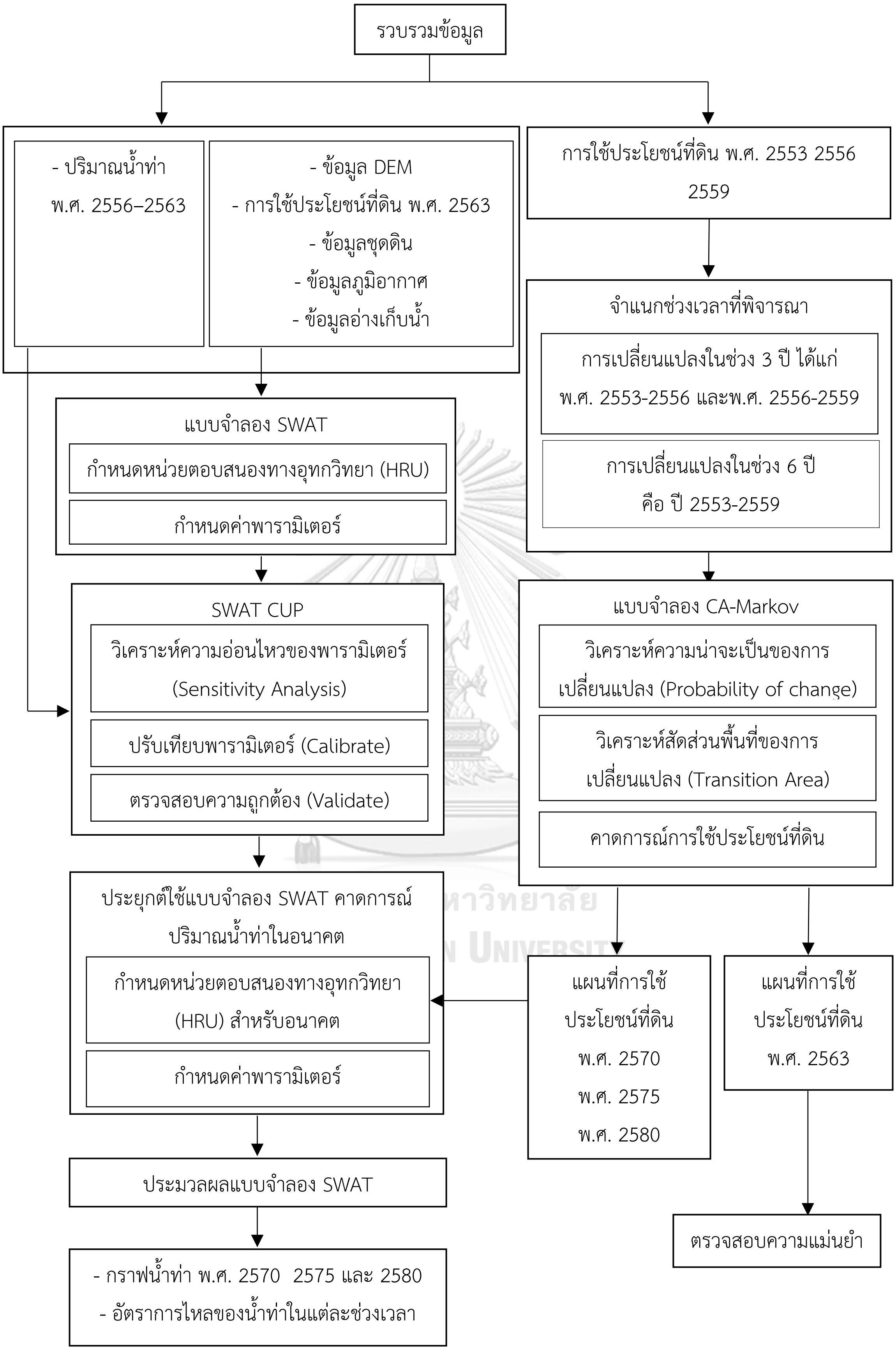
4.1.4 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use) รวบรวมจากกรมพัฒนาที่ดิน ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินความละเอียดในระดับที่ 2 ซึ่งจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในระดับย่อยจากการใช้ที่ดิน 5 ประเภทหลัก ได้แก่ พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (U) พื้นที่เกษตรกรรม (A) พื้นที่ป่าไม้ (F) พื้นที่น้ำ (W) พื้นที่เบ็ดเตล็ด (M) ใช้ข้อมูลในความละเอียดที่มาตราส่วน 1:25,000 และแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบราสเตอร์ (Raster) ความละเอียด 90 X 90 เมตร ในพ.ศ. 2553 2556 2559 และ 2563 ของจังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี สำหรับการประมวลผลในแบบจำลอง SWAT ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2563 เนื่องจากข้อจำกัดของแบบจำลองสามารถกำหนดข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินได้เพียงรูปแบบเดียวในการกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs) ก่อนการประมวลผลแบบจำลองอย่างต่อเนื่อง และงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในอนาคตดังนั้นจึงเลือกใช้การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2563 ซึ่งเป็นปีที่มีการจัดทำข้อมูลครั้งล่าสุด

4.1.5 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม จำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสงอาทิตย์ ปริมาณน้ำฝนราย 15 นาที และปริมาณน้ำฝนรายวัน รวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยา และสถานีเตือนภัยน้ำหลาก-ดินถล่ม ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ และกรมชลประทาน รวมทั้งหมด 17 สถานี (ตารางที่ 6 และ ภาพที่ 7)

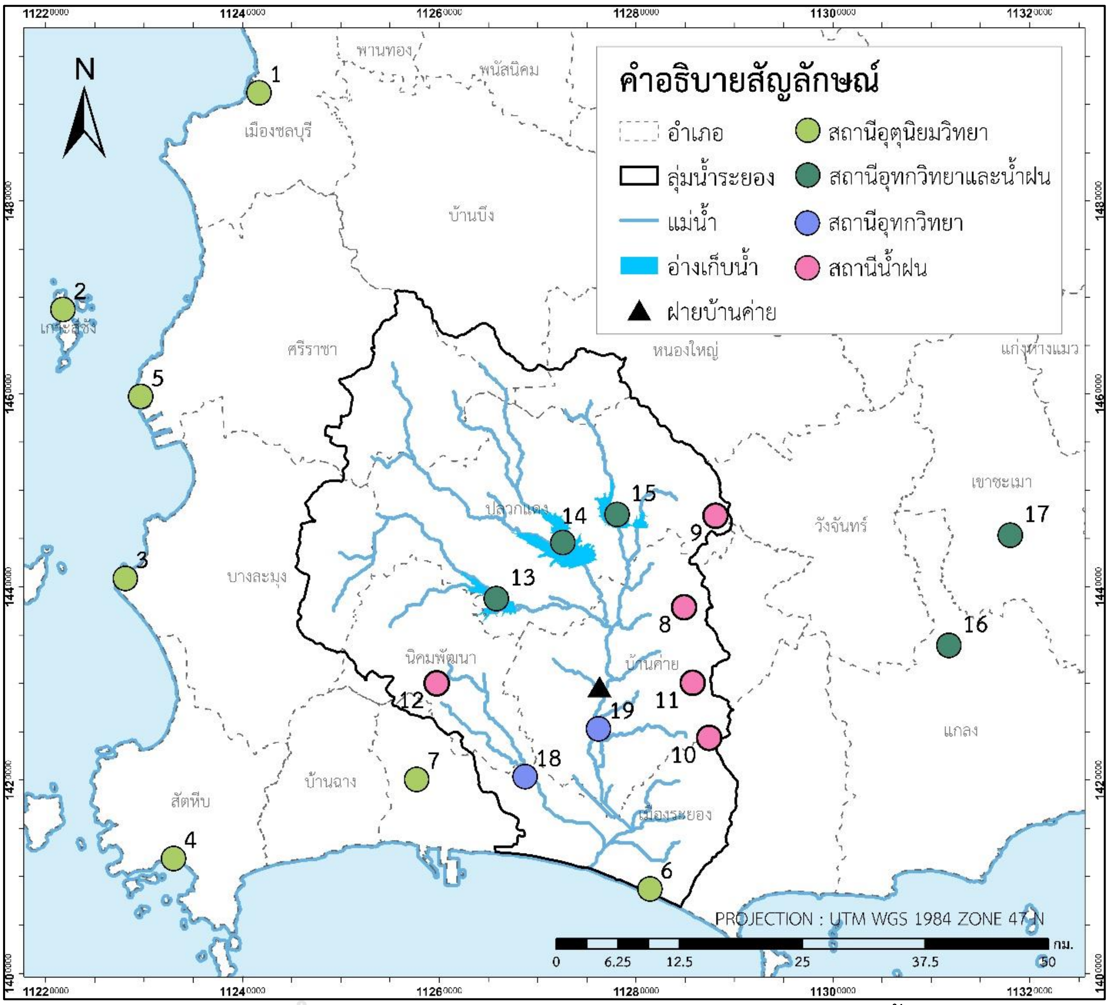
4.1.6 ข้อมูลอุทกวิทยา ประกอบด้วย ปริมาณน้ำท่ารายวัน (Discharge) ระหว่าง พ.ศ. 2556-2563 จากสถานีตรวจวัด 2 แห่ง ได้แก่ สถานีคลองทับมา (Z.38) และสถานีคลองใหญ่ (Z.62) ของกรมชลประทาน (ภาพที่ 7)

4.1.7 ข้อมูลลักษณะการกักเก็บน้ำของอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ อ่างเก็บน้ำดอกกราย อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล อ่างเก็บน้ำคลองใหญ่ และฝายบ้านค่าย ข้อมูลประกอบด้วย ปริมาตรน้ำกักเก็บ ปริมาณน้ำไหลเข้า การปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ และปริมาณการผันน้ำรายวัน รวบรวมจากกรมชลประทาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 7 ตำแหน่งสถานีตรวจวัดอากาศและสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6 สถานีตรวจวัดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ	ชื่อสถานี	รหัสสถานี	จังหวัด	ปีของข้อมูล	ข้อมูล
	กรมอุตุนิยมวิทยา				
1.	เมืองชลบุรี	459201	ชลบุรี	2556-2564	• อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดรายวัน (องศาเซลเซียส)) • ความชื้นสัมพัทธ์รายวัน (ร้อยละ) • ปริมาณน้ำฝนรายวัน (มิลลิเมตร) • ความเร็วลม (น็อต) • จำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสงอาทิตย์ (ชั่วโมง)
2.	เกาะสีชัง	459202	ชลบุรี	2556-2564	
3.	พัทยา	459203	ชลบุรี	2556-2564	
4.	สัตหีบ	459204	ชลบุรี	2556-2564	
5.	แหลมฉบัง	459205	ชลบุรี	2556-2564	
6.	เมืองระยอง	478201	ระยอง	2556-2564	
7.	ห้วยโป่ง	478301	ระยอง	2556-2564	
	กรมทรัพยากรน้ำ				
8.	บ้านคลองขนุน อ.บ้านค่าย	STN0138	ระยอง	2556-2564	• ปริมาณน้ำฝนราย 15 นาที (มิลลิเมตร)
9.	บ้านคลองป่าหวาย อ.ปลวกแดง	STN0139	ระยอง	2556-2564	
10.	บ้านเจ็ดลูกเนิน อ.บ้านค่าย	STN0277	ระยอง	2556-2564	
11.	บ้านคลองกระท้อน อ.บ้านค่าย	STN0786	ระยอง	2556-2564	
12.	บ้านใหม่สามัคคี อ.นิคมพัฒนา	STN0996	ระยอง	2556-2564	
	กรมชลประทาน				
13	อ่างเก็บน้ำดอกกราย	-	ระยอง	2556-2564	• ปริมาณน้ำฝนรายวัน (มิลลิเมตร) • ปริมาณการใช้น้ำของอ่างเก็บน้ำรายวัน (ลูกบาศก์เมตร)
14	อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล	-	ระยอง	2556-2564	
15	อ่างเก็บน้ำคลองใหญ่	-	ระยอง	2556-2564	
16	คลองประแสร์	Z.11	ระยอง	2556-2564	
17	คลองโพล้	Z.18	ระยอง	2556-2564	
18	ทับมา	Z.38	ระยอง	2556-2563	• ปริมาณน้ำท่ารายวัน (ลูกบาศก์เมตร)
19	บ้านค่าย (คลองใหญ่)	Z.62	ระยอง	2556-2563	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 การประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT

การศึกษาครั้งนี้ใช้แบบจำลอง SWAT ที่เป็นส่วนเชื่อมต่อ กับโปรแกรม ARCGIS 9.0 หรือ ArcSWAT (Winchell et al., 2007) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมด 3 ขั้นตอนได้แก่ การกำหนดขอบเขตพื้นที่และหน่วยย่อยในการจำลอง การนำเข้าข้อมูล และกำหนดพารามิเตอร์ในแบบจำลอง

4.2.1 การกำหนดขอบเขตพื้นที่และหน่วยย่อยในการจำลอง

แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาแบบกึ่งกระจาย (Semi-distributed model) ในการคำนวณจึงต้องทำการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็นหน่วยย่อยทางอุทกวิทยา แบบจำลองจะทำการคำนวณทางอุทกวิทยาในระดับหน่วยย่อยนี้ ขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการกำหนดขอบเขตของพื้นที่ลุ่มน้ำที่ศึกษาหรือลุ่มน้ำหลัก (ลุ่มน้ำระยอง) จากลักษณะภูมิประเทศที่ได้จากแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (DEM) และสร้างโครงข่ายลำน้ำตามความลาดชันของพื้นที่ จากนั้นจึงเป็นการกำหนดลุ่มน้ำย่อยและหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำย่อย รายละเอียดการดำเนินการในแต่ละขั้นตอนเป็นดังนี้

4.2.1.1 การกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำย่อย (Sub catchment)

การกำหนดลุ่มน้ำย่อยภายในลุ่มน้ำหลักสามารถทำได้โดยการกำหนดจุดออกของลุ่มน้ำย่อย (Outlet) ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดโดยพิจารณาจากตำแหน่งด้านล่างของจุดที่แม่น้ำไหลรวมกันให้ถือเป็นจุดออกของลุ่มน้ำย่อย และกำหนดจุดออกของลุ่มน้ำตำแหน่งที่ลำน้ำสายหลักไหลมาบรรจบกันเป็นจุดออกสุดท้ายของลุ่มน้ำ ทำให้ได้ลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด 58 ลุ่มน้ำ (ภาพที่ 8) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก

4.2.1.2 การสร้างหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRUs)

ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างหน่วยการคำนวณภายในลุ่มน้ำย่อยเนื่องจากลุ่มน้ำย่อยอาจมีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันภายในพื้นที่ ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะของดิน และความลาดชันของพื้นที่ จึงทำให้กระบวนการทางอุทกวิทยามีความผันแปรภายในลุ่มน้ำ ดังนั้นลุ่มน้ำย่อยจึงยังไม่สามารถเป็นหน่วยย่อยการคำนวณที่เหมาะสมทางอุทกวิทยาได้ จึงต้องมีการแบ่งลุ่มน้ำย่อยออกเป็นหน่วยย่อยทางพื้นที่ที่มีความคล้ายคลึงในด้านลักษณะทางกายภาพและมีการตอบสนองทางอุทกวิทยาในลักษณะเดียวกัน หรือเรียกว่าหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา หรือ Hydrologic Response Units (HRUs) การกำหนดหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาอาศัยหลักการซ้อนทับกันของชั้นข้อมูลทางกายภาพในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อให้ได้หน่วยพื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพคล้ายคลึงกันให้ได้มากที่สุด ในแบบจำลอง SWAT สามารถกำหนด HRUs จากลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ 3 ลักษณะ ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะของดิน และระดับความลาดชันของพื้นที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดรายละเอียดของลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อยสำหรับการสร้าง HRU ดังนี้

1) การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use) ผู้วิจัยรวบรวมและจำแนกข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินระดับที่ 2 ปี พ.ศ. 2563 ของกรมพัฒนาที่ดินใหม่ให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา โดยแบ่งเป็น 11 ประเภท ซึ่งพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำระยองมีสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทเกษตรกรรมมากโดยเฉพาะการปลูกยาพารา จึงจำแนกชั้นข้อมูลยางพาราแยกออกจากชั้นข้อมูลไม้ยืนต้น รวมถึงพื้นที่อุตสาหกรรมที่เพิ่มขึ้นมากจากโครงการระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor) จึงจำแนกชั้นข้อมูลพื้นที่อุตสาหกรรมออกจากชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง และนำเข้าแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินสู่แบบจำลอง SWAT ด้วยการกำหนดรหัสของชั้นข้อมูลให้เชื่อมโยงกับฐานข้อมูล (Database access) ของแบบจำลอง SWAT (ตารางที่ 7)

2) ชุดดิน (Soil Data) ในการนำเข้าแผนที่ชุดดินของพื้นที่ศึกษาไม่สามารถใช้รหัสเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลของแบบจำลอง SWAT เช่นเดียวกันกับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินได้ เนื่องจากรหัสฐานข้อมูลของแบบจำลอง SWAT เป็นรหัสเฉพาะของชุดดินในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินมีความแตกต่างจากดินของประเทศไทย เพื่อให้แบบจำลองใกล้เคียงกับพื้นที่มากที่สุด ผู้วิจัยเพิ่มชั้นข้อมูลชุดดินของพื้นที่ศึกษาในฐานข้อมูล (Database access) ของแบบจำลอง SWAT รวมทั้งหมด 19 ชนิด (ตารางที่ 8) ประกอบด้วยคุณสมบัติทางอุทกวิทยาของดิน (Hydrogroup) จำนวนชั้นดิน (Soil layers) ความลึกชั้นดิน (Soil Depth) ความสามารถในการเก็บน้ำของดิน(Available water capacity) ความสามารถของน้ำในการซึมผ่านดิน (Saturated hydraulic conductivity) ลักษณะเนื้อดิน (Soil texture) และความหนาแน่นของดิน (Moist bulk density)

3) การกำหนดช่วงความลาดชันความเหมาะสมของพื้นที่ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (DEM) เนื่องจากพื้นที่ลุ่มน้ำระยองมีลักษณะเป็นที่ราบ มีพื้นที่สูงชันและภูเขาน้อย โดยมีความลาดชั้นโดยรวมของลุ่มน้ำประมาณร้อยละ 3 – 15 ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจึงแบ่งพื้นที่ศึกษาออกโดยแบ่งเป็น 3 ช่วงความลาดชัน คือ ร้อยละ 0-5 ร้อยละ 5-20 และมากกว่าร้อยละ 20

ในการกำหนด HRU 1 หน่วย หากกำหนดให้หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยามีความละเอียดสูง จะส่งผลให้การคำนวณของแบบจำลองมีความซับซ้อนมากขึ้นเนื่องจากจะทำให้มี HRU จำนวนมาก ในการศึกษานี้ผู้วิจัยจึงกำหนดเกณฑ์ร้อยละสูงสุด (Threshold percentage) ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชุดดิน และความลาดชัน สำหรับการระบุพื้นที่ให้เป็น HRU 1 หน่วย เท่ากับ ร้อยละ 15 10 และ 10 ตามลำดับทำให้สามารถกำหนด HRU ได้ทั้งหมด 421 หน่วย รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

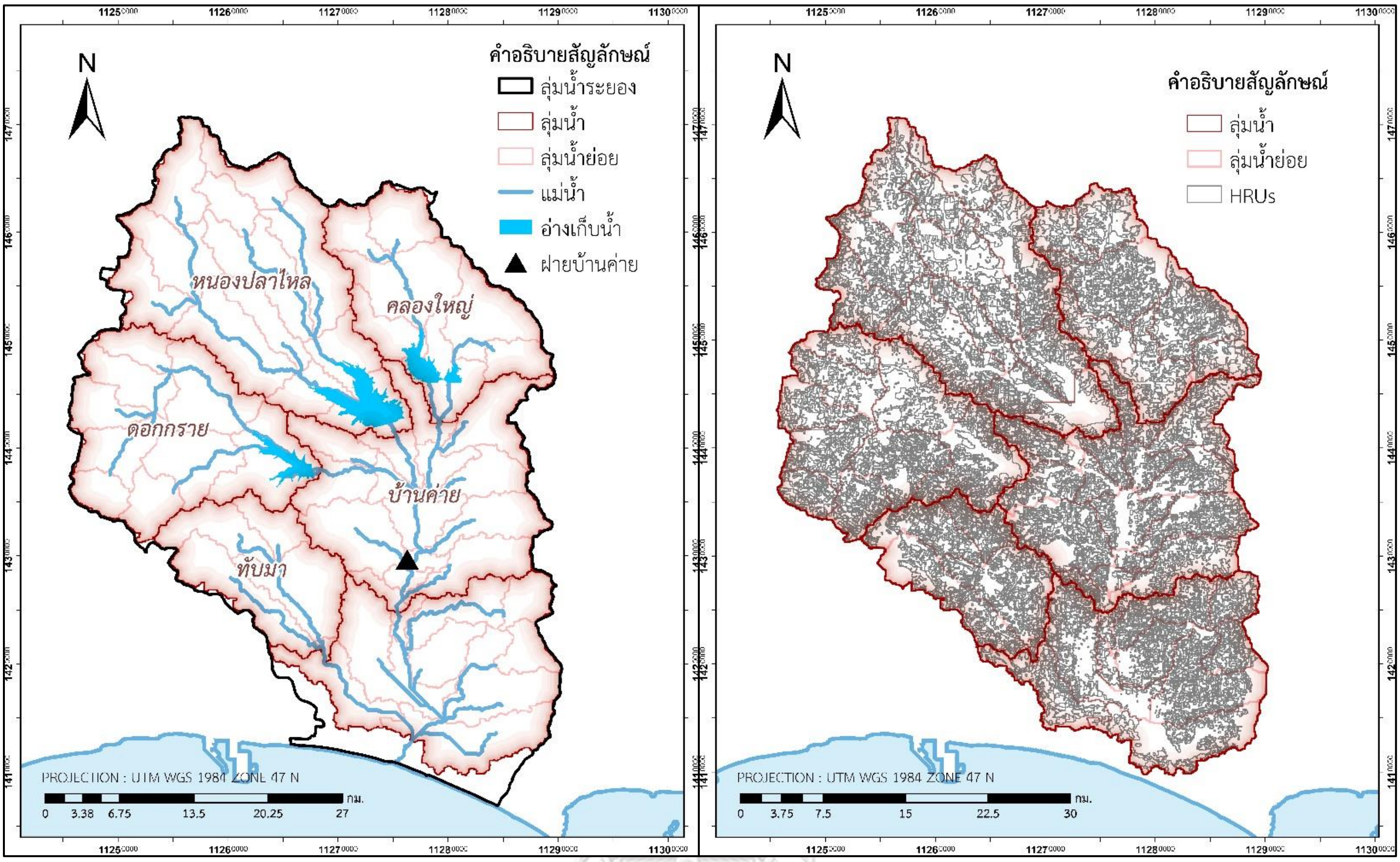
ตารางที่ 7 การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในการจำลองการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำระยอง

ชั้นข้อมูล	การใช้ประโยชน์ที่ดิน	รหัส	การใช้ประโยชน์ที่ดินระดับที่ 2
1	ไม้ยืนต้น	AGRL	ไม้ยืนต้น
			ปลูกพืชผสมผสาน เช่น ไม้ยืนต้น/พืชไร่ ไม้ยืนต้น/ไม้ผล
2	พืชไร่	AGRR	พืชไร่
3	ป่าไม้	FRST	ป่าผลัดใบ
			ป่าปลูกสมบูรณ์
			ป่าชายเลน
4	ไม้ผล	ORCD	ไม้ผล
			พืชสวน
5	นาข้าว	RICE	นาข้าว
6	ที่ลุ่ม / ทุ่งหญ้า	RNGE	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และโรงเรือน
			ทุ่งหญ้าและไม้ละเมาะ
			พื้นที่ลุ่ม
7	ยางพารา	RUBR	ยางพารา
8	เหมืองแร่ / บ่อขุด	SWRN	เหมืองแร่ / บ่อขุด
			พื้นที่ถม
			พื้นที่เบ็ดเตล็ดอื่น ๆ
9	อุตสาหกรรม	UIDU	โรงงานอุตสาหกรรม
10	ชุมชน	URBN	หมู่บ้าน
			สถานที่ราชการ
			ถนน
11	แหล่งน้ำ	WATR	แม่น้ำ ลำห้วย ลำคลอง
			อ่างเก็บน้ำ
			สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ตารางที่ 8 ชุดดินในการศึกษาการจำลองการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำระยอง

ชื่อชุดดิน	รหัสชุดดิน	รหัส SWAT
ท่าจีน	12	Tc
โคกเคียน	17	Ko
บ้านค่าย	18	Bi
โคกเคียน/บ้านฉาง	22	Ko/Bcg
บางละมุง	23	Blm
ห้วยโป่ง	26	Hp
มาบบอน	35	Mb
บ้านฉาง	40	Bcg
บ้านทอน	42	Bh
สัตหีบ	43	Sh
บ้านบึง	44	Bbg
โคกกลอย	45	Koi
ท่ายาง	48	Ty
ระนอง	51	Rg
ภูสะนา	56	Ps
ตะกอนน้ำพาเชิงซ้อน	59	AC
พื้นที่ลาดเชิงซ้อน	62	SC
พื้นที่ดินเต็มไปด้วยหิน	63	RL
พื้นที่น้ำ	-	W

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 8 ลุ่มน้ำย่อย 58 ลุ่มน้ำ แบ่งเป็น 5 ลุ่มน้ำหลัก ได้แก่ ลุ่มน้ำดอกกราย ลุ่มน้ำหนองปลาไหล คลองใหญ่ ลุ่มน้ำทับมา และลุ่มน้ำบ้านค่าย (ซ้าย) หน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU) (ขวา)

4.2.2 การนำเข้าข้อมูลและกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

4.2.2.1 การนำเข้าข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในแบบจำลอง ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งผู้วิจัยใช้ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยรายวัน และใช้ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดรายวัน โดยปกติแล้วแบบจำลอง SWAT จะกำหนดลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาตามลุ่มน้ำย่อย โดยเลือกข้อมูลจากสถานีตรวจวัดลักษณะอากาศที่มีตำแหน่งใกล้กับลุ่มน้ำย่อยมากที่สุดให้เป็นตัวแทนของลักษณะอากาศในลุ่มน้ำนั้น ซึ่งข้อมูลตรวจวัดในหนึ่งสถานี อาจเป็นตัวแทนของลักษณะอากาศได้หลายลุ่มน้ำย่อย อย่างไรก็ดีในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อให้การกำหนดลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาสอดคล้องกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยทำการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนซึ่งเป็นปัจจัยหลักของการเกิดน้ำท่า ด้วยวิธีการประมาณค่าในช่วงบนพื้นที่แบบถ่วงน้ำหนักตามระยะทางแบบผกผัน (inverse distance weighted interpolation: IDW) ตามการศึกษาของ สุภลักษณ์ วิมาลา (2561) พบว่า วิธีการประมาณค่าฝนรายวันเชิงพื้นที่ของลุ่มน้ำชายฝั่งตะวันออกที่ดีที่สุดคือวิธีการ IDW ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) และรากที่สอง

ของค่าเฉลี่ยความคาดเคลื่อนยกกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการประมาณค่าแบบอื่น โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันตั้งแต่ พ.ศ.2556 - 2564 ของสถานีอุตุนิยมวิทยา 17 สถานีที่อยู่ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำและบริเวณใกล้เคียง (ภาพที่ 7) และคำนวณปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันของแต่ละลุ่มน้ำย่อย ในขณะที่ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และความยาวนานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยใช้วิธีการพื้นฐานของแบบจำลอง SWAT ดังที่ได้กล่าวในข้างต้นจากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา 7 สถานี ในการกำหนดค่าสำหรับแต่ละลุ่มน้ำย่อยของพื้นที่ศึกษา

สำหรับข้อมูลค่ารังสีดวงอาทิตย์ไม่มีการเก็บข้อมูลในบริเวณพื้นที่ศึกษา ผู้วิจัยจึงใช้การคำนวนปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ขอบนอกสุดของบรรยากาศจากจำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสงของสถานีอุตุนิยมวิทยาเมืองระยอง เป็นตัวแทนค่ารังสีดวงอาทิตย์ของทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีดวงอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศโลกและระยะเวลาของความยาวกลางวัน (Keawsang-in et al., 2018) ดังสมการที่ 5

$$\mathrm{H_i} = \mathrm{H_{0i}}\left[0.28 + 0.387\left(\frac{\mathrm{S_i}}{\mathrm{S_{0i}}}\right)\right] \quad (5)$$

เมื่อ $\mathrm{H_i}$ คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ (MJ/m^2 day)

$\mathrm{H_{0i}}$ คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศโลก (MJ/m^2 day)

$\mathrm{S_i}$ คือ ความยาวกลางวันที่วัดได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยา (ชั่วโมง)

$\mathrm{S_{0i}}$ คือ ความยาวกลางวันจากการคำนวณเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและลับขอบฟ้า (ชั่วโมง)

โดยค่ารังสีดวงอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศโลก สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งละติจูด ในแต่ละช่วงเวลาของปี จากสมการ 6 และ 7

$$H_{0i} = \frac{24}{\pi} I_{sc}\left[1 + 0.033\cos\left(\frac{360i}{365}\right)\right]\left[\cos(\emptyset)\cos(\delta_i)\sin(\omega_{si}) + \frac{2\pi\omega_{si}}{360}\sin(\emptyset)\sin(\delta_\mathrm{i})\right] \quad (6)$$

$$S_{0i} = \frac{2}{15}\omega_{si} \quad (7)$$

เมื่อ H_{0i} คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์เมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศโลก (MJ/m^2 day)

I_{sc} คือ ค่าคงที่ดวงอาทิตย์ (Solar constant) ซึ่งมีค่า 1368 (W/m^2)

$\emptyset$ คือ มุมละติจูด (Latitude angle) ของพื้นที่ศึกษา

δ_i คือ มุมเดคลิเนชัน (Declination angle)

ω_{si} คือ มุมชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นในแนวระดับ (Sunset hour angle)

4.2.2.2 การกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

ในขั้นตอนการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง เลือกกำหนดค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด 16 ตัว ตามช่วงค่าพารามิเตอร์ที่แนะนำของ Me et al. (2015) และ โอฬาร เวศอุไร (2548) ตามตารางที่ 10 ซึ่งพารามิเตอร์ทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการประเมินปริมาณน้ำท่า ประกอบด้วยพารามิเตอร์ 7 กลุ่ม ได้แก่

1) .sol คือ ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับดิน
2) .bsn คือ ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับลุ่มน้ำหลัก
3) .sub คือ ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับลุ่มน้ำย่อย
4) .hru คือ ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา
5) .rte คือ ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับลำน้ำ
6) .gw คือ ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับน้ำใต้ดิน
7) .mgt คือ พารามิเตอร์เกี่ยวกับการไหลบนผิวดิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้พื้นที่ศึกษามีแหล่งน้ำหลักเป็นอ่างเก็บน้ำ 3 แห่ง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำดอกกราย อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล อ่างเก็บน้ำคลองใหญ่ และมีฝาย 1 แห่ง บริเวณ อำเภอบ้านค่าย ผู้วิจัยกำหนดพารามิเตอร์เกี่ยวกับขนาดและปริมาตรจากข้อมูลทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำและฝายของกรมชลประทาน (ตารางที่ 9) กำหนดให้แบบจำลอง SWAT ปล่อยน้ำ (outflow) จากอ่างเก็บน้ำด้วยข้อมูลการปล่อยน้ำรายวัน แต่กำหนดอัตราการปล่อยน้ำสูงสุดและต่ำสุด รวมถึงการผันน้ำสำหรับใช้ในระบบสาธารณูปโภค ใช้ค่าเฉลี่ยรายเดือนจากข้อมูลการผันน้ำรายวันของกรมชลประทาน เนื่องจากข้อจำกัดของแบบจำลองยังไม่สามารถคำนวณการใช้น้ำของอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ได้ละเอียดมากนัก สำหรับฝายบ้านค่ายกำหนดให้แบบจำลอง SWAT จำลองการระบายน้ำตามธรรมชาติ และกำหนดให้มีการผันน้ำสำหรับสาธารณูปโภคตามข้อมูลการผันน้ำรายวันของกรมชลประทาน

ตารางที่ 9 การกำหนดพารามิเตอร์ของอ่างเก็บน้ำดอกกราย อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล อ่างเก็บน้ำคลองใหญ่ และฝายบ้านค่าย

พารามิเตอร์ของอ่างเก็บน้ำ	อ่างเก็บน้ำดอกกราย	อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล	อ่างเก็บน้ำคลองใหญ่	ฝายบ้านค่าย
พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับน้ำสูงสุด (ตร.กม.)	12	26.50	10.50	0.06
พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับกักเก็บปกติ (ตร.กม.)	10	22.89	800	0.06
ความจุอ่างที่ระดับน้ำสูงสุด (ล้าน ลบ.ม.)	79	205.85	50.8	0.15
ความจุอ่างที่ระดับกักเก็บปกติ (ล้าน ลบ.ม.)	71.4	163.85	40.2	0.15
ความจุเริ่มต้น (ล้าน ลบ.ม.)	71.07	157.83	38.75	0.04

กำหนดให้แบบจำลอง SWAT คำนวณการใช้น้ำของพืชของน้ำด้วยวิธีการ Penman-Monteith ดังสมการที่ 8 (Howell & Evett, 2004)

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\left(\frac{900}{T+273}\right)U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.35U_2)} \quad (8)$$

เมื่อ ET_0 คือ ความต้องการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตร/วัน)

R_n คือ ปริมาณรังสีสุทธิ (เมกะจูล/วัน)

G คือ พลังงานที่สูญเสียสู่พื้นดิน (เมกะจูลตารางเมตร/วัน)

T คือ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

Δ คือ ความชันของเส้นโค้งความสัมพันธ์ของความดันไออิ่มตัวและอุณหภูมิ (กิโลปาสคาล/องศาเซลเซียส)

γ คือ ค่าคงที่ *psychrometic* (กิโลปาสคาล/องศาเซลเซียส)

U_2 คือ ความเร็วลมที่ระดับความสูง 2 เมตรจากพื้นดิน (เมตร/วินาที)

e_s คือ ความดันไอเมื่ออากาศอิ่มตัวด้วยน้ำ (กิโลปาสคาล)

e_a คือ ความดันไอของอากาศ (กิโลปาสคาล)

จากนั้นจึงเป็นการคำนวณปริมาณความชื้นในดินที่เปลี่ยนแปลงไปโดยอาศัยคุณสมบัติของเนื้อดิน (soil moisture method) เพื่อนำไปคำนวณการเกิดปริมาณการเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินของหน่วยตอบทางสนองทางอุทกวิทยาแต่ละหน่วย ด้วยวิธีการ SCS Curve number ในลำดับต่อไป

ตารางที่ 10 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินปริมาณน้ำท่า (Me et al., 2015; โอภาร เวศอุไร , 2548)

ชุดพารามิเตอร์	พารามิเตอร์	คำอธิบาย	ช่วงที่แนะนำ
พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับน้ำใต้ดิน (.gw)	ALPHA_BF.gw	ค่าคงที่แสดงการลดลงของการไหลพื้นฐานในชั้นน้ำใต้ดิน	0.0071–0.0161 (วัน)
	GW_DELAY.gw	ค่าความล่าช้าในการเคลื่อนที่ของน้ำจากดินชั้นบนเข้าสู่ชั้นน้ำใต้ดินระดับตื้น	0 – 500 (วัน)
	GW_REVAP.gw	ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินระดับตื้นขึ้นสู่ชั้นดินในระดับรากพืช	0.02 – 0.2 (-)
	GWQMN.gw	ค่าระดับน้ำต่ำสุดในชั้นน้ำใต้ดินระดับตื้นที่สามารถทำให้เกิดการไหลย้อนกลับสู่ผิวดิน	0 – 5000 (มิลลิเมตร)
	RCHRG_DP.gw	ค่าสัดส่วนการไหลซึมของน้ำในดินระดับรากพืชสู่ชั้นหินอุ้มน้ำระดับลึก	0 – 1 (-)
	REVAPMN.gw	ค่าระดับน้ำต่ำสุดของชั้นน้ำใต้ดินระดับตื้นที่ยังคงทำให้น้ำสามารถเคลื่อนที่ขึ้นสู่ชั้นดินในระดับรากพืชหรือเคลื่อนตัวลงสู่ชั้นหินอุ้มน้ำระดับลึก	0 – 500 (มิลลิเมตร)
พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับ HRU (.hru)	EPCO.hru	ค่าชดเชยการใช้น้ำของพืช	0 – 1 (-)
	ESCO.hru	ค่าชดเชยการระเหยของน้ำในดิน	0 – 1 (-)
	OV_N.hru	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning สำหรับการไหลบ่าหน้าดิน	0.01 – 30 (-)
พารามิเตอร์เกี่ยวกับลำน้ำ (.rte)	CH_K2.rte	ค่าความสามารถการนำน้ำที่แท้จริงของพื้นท้องน้ำในลำน้ำหลัก	0 – 500 (มิลลิเมตร/ชั่วโมง)
	CH_N2.rte	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ในลำน้ำหลัก	0 – 0.3 (-)
พารามิเตอร์เกี่ยวกับลุ่มน้ำย่อย (.sub)	CH_K1.sub	ค่าความสามารถการนำน้ำที่แท้จริงของพื้นท้องน้ำในลำน้ำย่อย	0 – 300 (มิลลิเมตร/ชั่วโมง)
	CH_N1.sub	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ในลำน้ำย่อย	0.01 – 30 (-)
พารามิเตอร์เกี่ยวกับการไหลบนผิวดิน (.mgt)	CN2.mgt	ค่า curve number สำหรับดินที่มีความชื้นระดับ II	35 – 98 (-)
พารามิเตอร์เกี่ยวกับดิน (.sol)	SOL_AWC.sol	ค่าปริมาณน้ำกักเก็บสูงสุดของดินที่พืชสามารถนำไปใช้ได้	0 – 1 (มิลลิเมตร/มิลลิเมตร)
	SOL_BD.sol	ค่าความหนาแน่นรวมของดิน	0.9 – 2.5 (มิลลิเมตร/มิลลิเมตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3 การสอบเทียบและประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าให้ได้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับความเป็นจริง จึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับสภาพของพื้นที่ จากนั้นจึงเป็นการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจริงของ สถานีคลองทับมา (Z.38) และสถานีคลองใหญ่ (Z.62) (ภาพที่ 7) เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีอ่างเก็บน้ำที่ควบคุมปริมาณการไหลของแม่น้ำระยองซึ่งเป็นแม่น้ำสายหลักอยู่หลายแห่ง ทำให้การสอบเทียบและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าตรวจวัดของ 2 สถานีไม่เพียงพอ ผู้วิจัยจึงสอบเทียบปริมาณน้ำท่าและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในตำแหน่งของลำน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำในแต่ละแห่ง (ภาพที่ 8) โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Inflow) จากการตรวจวัดของกรมชลประทาน

ในการศึกษานี้ผู้วิจัยสอบเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลองด้วยโปรแกรม SWAT CUP (SWAT Calibrate and Uncertainty Procedures) ซึ่งสามารถระบุค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของลุ่มน้ำระยองจากการสุ่มค่าตามหลักความน่าจะเป็น และวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนของผลลัพธ์จากแบบจำลอง (Uncertainty analysis) ด้วยวิธีการทางสถิติแบบต่าง ๆ ได้ (Abbaspour et al., 2004; Abbaspour et al., 2007)

4.3.1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ (sensitivity analysis)

ก่อนการสอบเทียบแบบจำลอง ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำในพื้นที่ศึกษาด้วยวิธีการ Global Sensitivity Analysis ในโปรแกรม SWAT-CUP จากการพิจารณาพารามิเตอร์ในแบบจำลอง 16 ตัว (ตารางที่ 10) และทดสอบสมมติฐานความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ด้วยสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% (P-value ไม่เกิน 0.1) และเลือกพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความอ่อนไหวในการจำลองเพื่อสอบเทียบแบบจำลองในขั้นถัดไป ในส่วนของพารามิเตอร์ที่พบว่าไม่มีความอ่อนไหวต่อแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ ผู้วิจัยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากสอบเทียบเพื่อการวิเคราะห์ความอ่อนไหวเป็นค่าเริ่มต้นของแบบจำลอง

4.3.2 การสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)

ในการสอบเทียบแบบจำลองเพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อปริมาณน้ำท่าให้เหมาะสมกับลุ่มน้ำระยอง ใช้เทคนิค Sequential Uncertainty Fitting 2 (SUFI2) (Abbaspour et al., 2017) โดยหลักการจะเป็นการระบุช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่จะทำให้แบบจำลองสามารถคำนวณผลลัพธ์ได้ครอบคลุมข้อมูลการตรวจวัดจริงทั้งหมดให้ได้มากที่สุด ด้วยการระบุขอบเขตความคลาดเคลื่อนร้อยละ 95 ของผลลัพธ์ทั้งหมดจากแบบจำลอง (95% Prediction Uncertainty:

95PPU) ในส่วนนี้สามารถประเมินด้วยสัดส่วนของข้อมูลจากการตรวจวัดที่อยู่ภายในขอบเขต 95PPU (P-factor) ซึ่งมีค่าแนะนำคือมากกว่าร้อยละ 70 และความกว้างของช่วงความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของ 95PPU (R-factor) ควรมีเข้าใกล้ 1 และค่าสูงสุดไม่เกิน 1.2-1.5 (Abbaspour et al., 2015) นอกจากนี้ยังพิจารณาความใกล้เคียงและความสอดคล้องของกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัดด้วย ดัชนี Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) (สมการที่ 9) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) (สมการที่ 10) ตามเกณฑ์การประเมินในตารางที่ 11 ในการสอบเทียบแบบจำลองใช้ข้อมูลปริมาณการไหลในลำน้ำรายวันจากสถานีตรวจวัด Z.38 (คลองทับมา) และปริมาณการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำหลัก (Inflow) 3 แห่ง พ.ศ. 2558-2560 ทำการสอบเทียบด้วยการประมวลผลซ้ำในโปรแกรม SWAT-CUP จำนวนทั้งสิ้น 500 ครั้ง จำนวน 2 รอบ เพื่อระบุช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้แบบจำลองสามารถคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยมีช่วงการเตรียมการประมวลผล (Warm up period) 2 ปี คือ พ.ศ. 2556-2557 สำหรับลุ่มน้ำบ้านค่าย ผู้วิจัยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจริงของสถานีคลองใหญ่ (Z.62) ใน พ.ศ. 2560-2561 สำหรับสอบเทียบปริมาณน้ำท่า กำหนดช่วง Warm up period 1 ปี เพื่อหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ที่มีฝนตกหนักมาก (Extreme Event) ในบริเวณลุ่มน้ำบ้านค่าย ใน พ.ศ. 2558 ซึ่งปริมาณน้ำท่าจำนวนมากที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ นี้ส่งผลให้โปรแกรมแบบจำลอง SWAT-CUP คำนวณค่าความเหมาะสมของพารามิเตอร์ผิดพลาดได้

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2} \quad (9)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})\,(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2 \, \sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (10)$$

เมื่อ X_i คือ ปริมาณน้ำท่าจากสถานีตรวจวัด

Y_i คือ ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำท่าจากสถานีตรวจวัด

$\bar{Y}$ คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง

ตารางที่ 11 เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพสำหรับการจำลองปริมาณน้ำท่า ด้วย Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) (Green & van Griensven, 2008; Moriasi et al., 2015)

สถิติที่ใช้ในการประเมิน	ช่วงเวลา	ดีมาก (Very good)	ดี (Good)	ยอมรับได้ (Satisfactory)	ต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับ (Not Satisfactory)
R^2	รายปี	>0.75	$0.70 \leq R^2 \leq 0.75$	$0.60 \leq R^2 \leq 0.70$	≤ 0.60
	รายเดือน	>0.85	$0.80 \leq R^2 \leq 0.85$	$0.70 \leq R^2 \leq 0.80$	≤ 0.70
	รายวัน	>0.85	$0.70 \leq R^2 \leq 0.85$	$0.50 \leq R^2 \leq 0.70$	≤ 0.50
NSE	รายปี	>0.75	$0.60 \leq NSE \leq 0.75$	$0.50 \leq NS \leq 0.60$	≤ 0.50
	รายเดือน	>0.85	$0.70 \leq NSE \leq 0.85$	$0.55 \leq NSE \leq 0.70$	≤ 0.55

ในการสอบเทียบพารามิเตอร์ มีการกำหนดรูปแบบผลลัพธ์ของพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบ 3 วิธี ได้แก่

1) Relative (R) ผลลัพธ์จากการสอบเทียบเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างเป็นจำนวนเท่าของค่าพารามิเตอร์ตั้งต้น

2) Replace (V) ผลลัพธ์จากการสอบเทียบซึ่งพารามิเตอร์ใหม่แทนที่ค่าพารามิเตอร์ตั้งต้น

3) Add (A) ผลลัพธ์จากการสอบเทียบพารามิเตอร์เป็นการเพิ่มหรือลดลงจากค่าพารามิเตอร์ตั้งต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พารามิเตอร์เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำย่อยและ HRU จะใช้วิธีการสอบเทียบแบบ Relative เพื่อให้ค่าที่ได้จากการปรับเทียบยังคงมีความสัมพันธ์แบบสัมพัทธ์กับค่าพารามิเตอร์ตั้งต้น ซึ่งมีค่าแตกต่างกันในแต่ละลุ่มน้ำย่อย เช่น พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับดิน (.sol) พารามิเตอร์เกี่ยวกับการไหลบนผิวดิน (.mgt) การสอบเทียบด้วยวิธีการ Replace ใช้สำหรับพารามิเตอร์ที่สามารถใช้ค่าเดียวกันในลุ่มน้ำได้ เช่น พารามิเตอร์เกี่ยวกับลำน้ำ (.rte) พารามิเตอร์เกี่ยวกับน้ำใต้ดิน (.gw) ในส่วนของการสอบเทียบด้วยวิธีการ Add ใช้สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการปรับให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากค่าตั้งต้น ได้แก่ ค่าความล่าช้าในการเคลื่อนที่ของน้ำจากดินชั้นบนเข้าสู่ชั้นน้ำใต้ดินระดับตื้น (Gw_delay) ที่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในหน่วยเป็นวัน (Abbaspour et al., 2007)

4.3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation)

การตรวจสอบความถูกต้องเป็นการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในการคาดการณ์ปริมาณการไหลในลำน้ำ ขั้นตอนนี้ใช้ข้อมูลปริมาณการไหลในลำน้ำจากสถานีตรวจวัดเดียวกับที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง เป็นข้อมูลใน พ.ศ. 2561-2563 สำหรับสถานีบ้านค่าย (Z.62) ประเมินความถูกต้องของการจำลองด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดปี พ.ศ. 2562-2563 การประเมินประสิทธิภาพการจำลองน้ำท่าทำได้โดยการสุ่มค่าพารามิเตอร์ภายในช่วงที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองและประมวลผลแบบจำลองทั้งหมด 500 ครั้ง จากนั้นจึงพิจารณาค่าสถิติต่าง ๆ ของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง ได้แก่ P-factor R-factor NSE และ R^2 เพื่อนำไปสู่การประเมินความแม่นยำและความถูกต้องของการจำลอง

4.4 การวิเคราะห์และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

ในการศึกษานี้ใช้โปรแกรม IDRISI Silva ในการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CA-Markov ซึ่งเป็นแบบจำลองที่นำหลักการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของแบบจำลอง Markov Chain มาใช้ร่วมกับการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เชิงพื้นที่ด้วยหลักการ Cellular Automata โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.4.1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ใช้หลักการของแบบจำลองจำลอง Markov Chain วิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ (Probability of change: P) รวมถึงสัดส่วนพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลง (Transition Area) เทียบกันระหว่าง 2 ช่วงเวลา ลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้จะถูกนำมาประเมินสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Land Use Proportion: V) ในอนาคต ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ในการศึกษานี้ผู้วิจัยใช้หลักเกณฑ์จำแนกข้อมูลการในประโยชน์ที่ดินเช่นเดียวกับแบบจำลอง SWAT (ตารางที่ 7) พิจารณาการใช้ประโยชน์ที่ดิน 2 รูปแบบคือ 1) การเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเวลา 3 ปี ได้แก่ พ.ศ. 2553-2556 และพ.ศ. 2556-2559 และ 2) การเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเวลา 6 ปี คือ พ.ศ. 2553-2559 วิเคราะห์สัดส่วนของการใช้ประโยชน์ที่ดินในพ.ศ. 2563 สำหรับตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง และพ.ศ. 2570 2575 และ 2580 สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

4.4.2 การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

แบบจำลอง CA-Markov คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในเชิงพื้นที่ด้วยหลักการของแบบจำลอง Cellular Automata ซึ่งเป็นแบบจำลองพลวัต ที่มีลักษณะเชิงพื้นที่และเวลาเป็น

CHULALONGKORN UNIVERSITY

องค์ประกอบสำคัญ จะใช้ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงร่วมกับข้อมูลของพื้นที่แวดล้อม (Neighborhood cell) แสดงผลลัพธ์ในรูปแบบแผนที่หรือแบบจำลองได้ โดยจะใช้ข้อมูลสัดส่วนของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Transition Area) ที่ได้จากการวิเคราะห์ในข้อ 4.4.1 ร่วมกับ CA filter ของพื้นที่แวดล้อมขนาด 5 x 5 ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแต่ละเซลล์ของแผนที่ซ้ำ ๆ ตามช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา เพื่อสร้างเป็นแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินใหม่ที่ต้องการศึกษา ได้แก่ พ.ศ. 2563 สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และพ.ศ. 2570 2575 และ 2580 สำหรับแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

จากการทบทวนวรรณกรรม (บทที่ 2) พบว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดระยองมีอัตราการขยายตัวของเมืองเพิ่มขึ้นจากโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก ในการศึกษาครั้งนี้จึงกำหนดสถานการณ์จำลอง (Scenarios) ให้การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น จากรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากการวิเคราะห์ในข้อ 4.4.1

4.4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง CA-Markov โดยใช้ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2563 ที่ได้จากการคาดการณ์ในข้อ 4.4.2 เปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงคือ แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2563 จากกรมพัฒนาที่ดิน ด้วยสถิติแคปปา (Kappa Statistic) ซึ่งใช้วัดความสอดคล้องของข้อมูล 2 ชุด จากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นใน Error matrix (สมการที่ 11) (Rwanga & Ndambuki, 2017)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\mathrm{K} = \frac{N\sum_{i=1}^{r} X_{ii} - \sum_{i=1}^{r}(X_i \times X_j)}{N^2 - \sum_{i=1}^{r}(X_i \times X_j)} \qquad (11)$$

เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์แคปปา

r คือ จำนวนแถวของ Error matrix

X_{ii} คือ ค่าในแถวที่ i และคอลัมน์ที่ i

X_i คือ ผลรวมของค่าอ้างอิงในแต่ละแถว

N คือ จำนวนจุดตรวจสอบทั้งหมด

การศึกษานี้พิจารณาค่าความสอดคล้องของสถิติแคปปาตามคำแนะนำของ Landis and Koch (1977) ตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าความสอดของสถิติแคปปาตามคำแนะนำของ Landis and Koch (1977)

ค่าสถิติ Kappa	ความสอดคล้องของข้อมูล
0.00-0.20	น้อย (Slight)
0.21-0.40	พอใช้ (Fair)
0.41-0.60	ปานกลาง (Moderate)
0.61-0.80	ดี (Substantial)
0.81-1.00	ดีมาก (Almost Perfect)

4.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการใช้แบบจำลอง SWAT ที่ได้ทำการสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องแล้ว คาดการณ์ปริมาณน้ำท่าตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากการคาดการณ์ของแบบจำลอง CA-Markov โดยสร้างหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (HRU) ขึ้นใหม่ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 และมีเงื่อนไขว่าลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของลุ่มน้ำระยองไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาปี 2563 ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าด้วยวิธีการเดียวกันกับการสร้างแบบจำลองข้อ 4.2 จากนั้นจึงวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกราฟน้ำท่า (Hydrograph) ปริมาณน้ำท่าจากเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำ (Flow Duration Curve: FDC) ซึ่งเป็นการแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ของการไหลในลำน้ำในแต่ละวันของปีที่ศึกษา และวิเคราะห์สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำท่าในลุ่มน้ำหลักและระดับลุ่มน้ำย่อยด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น (linear regression)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
ผลการศึกษา

ผลการดำเนินงานวิจัยแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การจำลองปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำระยองด้วยแบบจำลอง SWAT การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยองจากแบบจำลอง CA-Markov และปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

5.1 การจำลองปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำระยองด้วยแบบจำลอง SWAT

5.1.1 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ (Sensitivity analysis)

จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองทั้งหมด 16 พารามิเตอร์ พบว่าลุ่มน้ำระยองมีพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อการจำลองปริมาณน้ำท่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 ทั้งหมด 14 พารามิเตอร์ (ตารางที่ 13) สอดคล้องกับผลจากการศึกษาของ Hormwichian et al. (2023) โดยมีพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวร่วมกันทั้ง 5 ลุ่มน้ำย่อย จำนวน 7 พารามิเตอร์ ได้แก่ ค่า curve number สำหรับดินที่มีความชื้นระดับ II (CN_2) ค่าคงที่แสดงการลดลงของการไหลพื้นฐานในชั้นน้ำใต้ดิน (ALPHA_BF) ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ในลำน้ำหลัก (CH_N2) ค่าความสามารถการนำน้ำที่แท้จริงของพื้นท้องน้ำในลำน้ำหลัก (CH_K2) ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ในลำน้ำย่อย (CH_N1) ค่าความสามารถการนำน้ำที่แท้จริงของพื้นท้องน้ำในลำน้ำย่อย (CH_K1) ค่าปริมาณน้ำกักเก็บสูงสุดของดินที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (SOL_AWC)

อย่างไรก็ดีในการสอบเทียบแบบจำลองได้รวมเอาพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวแตกต่างกันในแต่ละลุ่มน้ำด้วย (ตารางที่ 13) จึงมีพารามิเตอร์ในการสอบเทียบแบบจำลองในขั้นถัดไปทั้งหมด 14 พารามิเตอร์

5.1.2 การสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration)

จากผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ ผู้วิจัยสอบเทียบพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อการคาดการณ์แบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละลุ่มน้ำ โดยสอบเทียบค่าพารามิเตอร์จากช่วงค่าที่แนะนำหลังจากการสอบเทียบครั้งแรกที่ใช้ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวด้วยโปรแกรม SWAT CUP สามารถสรุปช่วงค่าพารามิเตอร์ต่ำสุด สูงสุด และค่าที่ดีที่สุดของแต่ละลุ่มน้ำได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 13 พารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวในแต่ละลุ่มน้ำ

พารามิเตอร์	ลุ่มน้ำทับมา 10		ลุ่มน้ำดอกกราย 10		ลุ่มน้ำหนองปลาไหล		ลุ่มน้ำคลองใหญ่ 8		ลุ่มน้ำบ้านค่าย 12	
	T test	P value	T test	P value	T test	P value	T test	P value	T test	P value
CN_2.mgt	-4.16	0.00***	-4.17	0.00***	-3.44	0.00***	-1.94	0.05**	-10.22	0.00***
ALPHA_BF.gw	-8.85	0.00***	-8.86	0.00***	-2.84	0.00***	2.26	0.02**	-1.94	0.05**
GW_DELAY.gw	-1.55	0.12	-1.70	0.09*	-0.56	0.57	-1.26	0.21	-1.47	0.14
GWQMN.gw	1.51	0.13	2.90	0.00*	2.75	0.00***	1.22	0.22	5.97	0.00***
GW_REVAP.gw	0.87	0.39	-0.38	0.70	-0.60	0.55	-0.52	0.60	1.11	0.27
REVAPMN.gw	0.65	0.52	0.72	0.47	0.29	0.77	0.82	0.41	0.58	0.56
RCHRG_DP.gw	1.27	0.20	0.34	0.73	2.03	0.04	1.14	0.25	-2.56	0.01***
OV_N.hru	4.57	0.00***	3.06	0.00***	1.65	0.10*	1.41	0.16	1.96	0.05**
ESCO.hru	-3.54	0.00***	-0.19	0.85	0.18	0.86	0.17	0.86	-1.27	0.21
EPCO.hru	-1.02	0.31	-0.08	0.93	0.47	0.64	0.55	0.58	-10.72	0.00***
CH_N2.rte	3.39	0.00***	4.54	0.00***	2.44	0.01***	2.69	0.01***	6.14	0.00***
CH_K2.rte	14.13	0.00***	9.93	0.00***	3.26	0.00***	2.13	0.03**	11.48	0.00***
SOL_BD.sol	-2.06	0.04**	1.58	0.11	1.71	0.09*	2.20	0.03**	-2.99	0.00***
SOL_AWC.sol	3.41	0.00***	4.43	0.00***	2.15	0.03**	2.03	0.04**	9.16	0.00***
CH_K1.sub	9.73	0.00***	11.99	0.00***	6.89	0.00***	2.69	0.01***	12.17	0.00***
CH_N1.sub	15.14	0.00***	10.92	0.00***	6.55	0.00***	4.83	0.00***	8.03	0.00*

หมายเหตุ: *พารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวในแบบจำลองที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 (P value < 0.1)

** พารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวในแบบจำลองที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P value < 0.05)

*** พารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวในแบบจำลองที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 (P value < 0.01)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 14 ช่วงค่าพารามิเตอร์จากการสอบเทียบของแต่ละลุ่มน้ำ

ตัวแปร	วิธีการ	ลุ่มน้ำย่อยทับมา			กลุ่มลุ่มน้ำย่อยดอกกราย			กลุ่มลุ่มน้ำย่อยหนองปลาไหล			กลุ่มลุ่มน้ำย่อยคลองใหญ่			กลุ่มลุ่มน้ำย่อยบ้านค่าย		
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าดีที่สุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าดีที่สุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าดีที่สุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าดีที่สุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าดีที่สุด
CN_2.mgt	R	-0.39	0.07	-0.16	-0.15	0.23	0.04	0.14	0.74	0.44	-0.22	0.34	0.06	-0.39	0.20	-0.09
ALPHA_BF.gw	V	0.43	0.81	0.62	0.06	0.45	0.26	0.02	0.39	0.21	0.48	1.45	0.97	0.31	0.93	0.62
GW_DELAY.gw	A	-30	42	-5	-1	57	28	-30	38	-12	-30	44	-1	-30	38	-13
GWQMN.gw	V	0.00	2822.99	645.00	876.43	2546.63	1711.53	1675.08	3892.05	2783.57	0.00	3043.01	1085.00	2426.98	5000.00	4855.00
GW_REVAP.gw	V	0.02	0.11	0.02	0.08	0.20	0.14	0.09	0.22	0.15	0.02	0.13	0.06	0.11	0.29	0.20
REVAPMN.gw	V	0.00	2000.00	1822.00	922.80	2769.20	1846.00	0.00	1053.20	106.00	870.80	2613.20	1742.00	502.80	1509.20	1006.00
RCHRG_DP.gw	V	0.00	0.29	0.07	0.06	0.35	0.21	0.19	0.49	0.34	0.17	0.52	0.34	0.07	0.36	0.21
OV_N.hru	R	-0.16	0.53	0.19	-0.49	0.52	0.01	-0.56	0.31	-0.13	-0.03	1.91	0.94	-0.49	0.53	0.02
ESCO.hru	V	0.37	1.00	0.74	0.43	1.29	0.86	0.34	1.02	0.68	0.00	0.50	0.01	-0.01	0.66	0.33
EPCO.hru	V	0.00	0.64	0.27	-0.36	0.55	0.09	0.00	0.66	0.33	0.41	1.24	0.83	-0.10	0.63	0.07
CH_N2.rte	V	0.01	0.11	0.02	0.09	0.29	0.19	0.08	0.25	0.17	0.01	0.16	0.02	0.10	0.29	0.20
CH_K2.rte	V	68.46	222.88	145.67	58.02	166.48	112.25	51.04	156.56	103.80	0.01	181.39	62.71	134.82	404.58	269.70
SOL_BD.sol	R	-1.00	-0.18	-0.66	-0.55	0.48	-0.03	-0.51	0.46	-0.02	-0.16	1.51	0.67	-1.00	0.33	-0.35
SOL_AWC.sol	R	-0.38	0.87	0.25	-1.00	0.29	-0.43	-1.00	-0.33	-0.98	-0.05	1.87	0.91	-1.00	0.24	-0.52
CH_K1.sub	V	145.09	248.41	196.75	17.86	201.90	109.88	197.34	381.25	289.30	0.01	169.08	38.11	135.42	406.38	270.90
CH_N1.sub	V	0.10	0.28	0.19	0.05	0.16	0.10	0.01	0.11	0.05	0.01	0.34	0.23	0.14	0.41	0.28

ตารางที่ 15 ผลการสอบเทียบ (Calibration) และการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลอง SWAT

ลุ่มน้ำ		P-factor	R-factor	R^2	NSE
ทับมา	Calibration	0.77	1.4	0.58	0.54
	Validation	0.71	1.91	0.16	-0.4
ดอกกราย	Calibration	0.8	1.35	0.58	0.57
	Validation	0.77	1.62	0.41	0.39
หนองปลาไหล	Calibration	0.58	0.96	0.37	0.37
	Validation	0.72	1.08	0.45	0.44
คลองใหญ่	Calibration	0.59	0.78	0.5	0.48
	Validation	0.71	1.14	0.41	0.4
บ้านค่าย	Calibration	0.79	1.4	0.71	0.66
	Validation	0.65	2.5	0.35	-3.62

จากตารางที่ 14 พบว่าภาพรวมของแบบจำลองสามารถสอบเทียบค่าพารามิเตอร์ได้และแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการคาดการณ์กราฟน้ำท่าในช่วงการสอบเทียบได้ในระดับพอใช้ ลุ่มน้ำบ้านค่ายสามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าในช่วงสอบเทียบแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ดี ช่วงความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของ 95PPU จากการประมวลผลจำนวน 500 รอบ คือ P-factor มีค่า 0.79 และ R-factor มีช่วงความกว้าง 1.4 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าที่แนะนำ ครอบคลุมปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด (ภาพที่ 13) และมีค่า NSE เท่ากับ 0.66 ค่า R^2 เท่ากับ 0.71 (ตารางที่ 15) สำหรับด้วยลุ่มน้ำดอกกรายและลุ่มน้ำทับมา การสอบเทียบจึงอยู่ในเกณฑ์ดีเช่นเดียวกับลุ่มน้ำบ้านค่าย มีค่า P-factor อยู่ระหว่าง 0.77-0.8 และมีค่า R-factor อยู่ระหว่าง 1.35-1.4 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าที่แนะนำ (ภาพที่ 9 และ 10) ช่วงความคลาดเคลื่อน 95PPU ครอบคลุมปริมาณน้ำท่าจากค่าการตรวจวัดจริงและสามารถคำนวณน้ำท่าช่วงอัตราการไหลต่ำ (Low flow) ได้ถูกต้อง แต่ในช่วงอัตราการไหลสูงสุด (Peak flow) แบบจำลองยังคำนวณน้ำท่าได้ต่ำกว่าค่าการตรวจวัดจริงเล็กน้อย จึงทำให้มีค่า ค่า NSE และ R^2 ต่ำกว่าลุ่มน้ำบ้านค่าย โดยมีค่า NSE อยู่ระหว่าง 0.54-0.57 ตามลำดับ และค่า R^2 เท่ากับ 0.58 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ในขณะที่ลุ่มน้ำคลองใหญ่การสอบเทียบอยู่ในระดับพอใช้ มีความกว้างของช่วงความคลาดเคลื่อน 95PPU น้อยกว่าช่วงค่าที่แนะนำ โดยมี P-factor เท่ากับ0.59 และ R-factor เท่ากับ 0.78 ตามลำดับ (ตารางที่ 15) สังเกตได้จากกราฟน้ำท่าของลุ่มน้ำคลองใหญ่ (ภาพที่ 12) ช่วงเดือนมิถุนายน ปี 2560 ถึงช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2561 แบบจำลองไม่สามารถคำนวณน้ำท่าในช่วงอัตราการไหลสูงได้ถูกต้อง และช่วงความคลาดเคลื่อน 95PPU ยังไม่ครอบคลุมปริมาณการตรวจวัดจริง แต่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2558 ถึงช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2560 สามารถคำนวณน้ำท่าในช่วงอัตราการไหลสูงได้ใกล้เคียงกับปริมาณการตรวจวัดจริง อย่างไรก็ดีแบบจำลองยังสามารถคำนวณช่วงอัตราการไหลต่ำ (Low flow) ได้ถูกต้องและอยู่ภายในช่วงความคลาดเคลื่อน 95PPU และมีค่า NSE เท่ากับ 0.48 และค่า R^2 เท่ากับ 0.5 ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงสามารถนำแบบจำลองของลุ่มน้ำคลองใหญ่มาใช้ในการคาดการณ์ได้ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Thavhana et al. (2018) ที่สอบเทียบแบบจำลอง SWAT ด้วยวิธีการ SUFI2 และพบว่ามีค่า P-factor และ R-factor ต่ำกว่าช่วงที่แนะนำ แต่มีค่า NSE และค่า R^2 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และใช้แบบจำลองดังกล่าวในการประเมินปริมาณน้ำท่าในแม่น้ำ Luvuvhu ประเทศแอฟริกาใต้

สำหรับลุ่มน้ำหนองปลาไหล แม้ว่าจะมีค่า R-factor เท่ากับ 0.96 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ยังมี ค่า P-factor NSE และ R^2 เท่ากับ 0.58 0.37 และ 0.37 ตามลำดับ (ตารางที่ 15) ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับ จะเห็นได้ว่าช่วงความคลาดเคลื่อน 95PPU ยังไม่ครอบคลุมปริมาณปริมาณน้ำท่าจาการตรวจวัดจริง แบบจำลองยังไม่สามารถคาดการณ์น้ำท่าช่วงอัตราการไหลสูง (Peak flow) ในช่วง พ.ศ. 2560 ได้ อย่างไรก็ดีแบบจำลองยังสามารถคำนวณน้ำท่าในช่วงอัตราการไหลต่ำ (Low flow) ได้อย่างถูกต้อง โดยเฉพาะในเดือนตุลาคม พ.ศ.2558 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 (ภาพที่ 11)

5.1.3 การตรวจสอบแบบจำลอง (Validation)

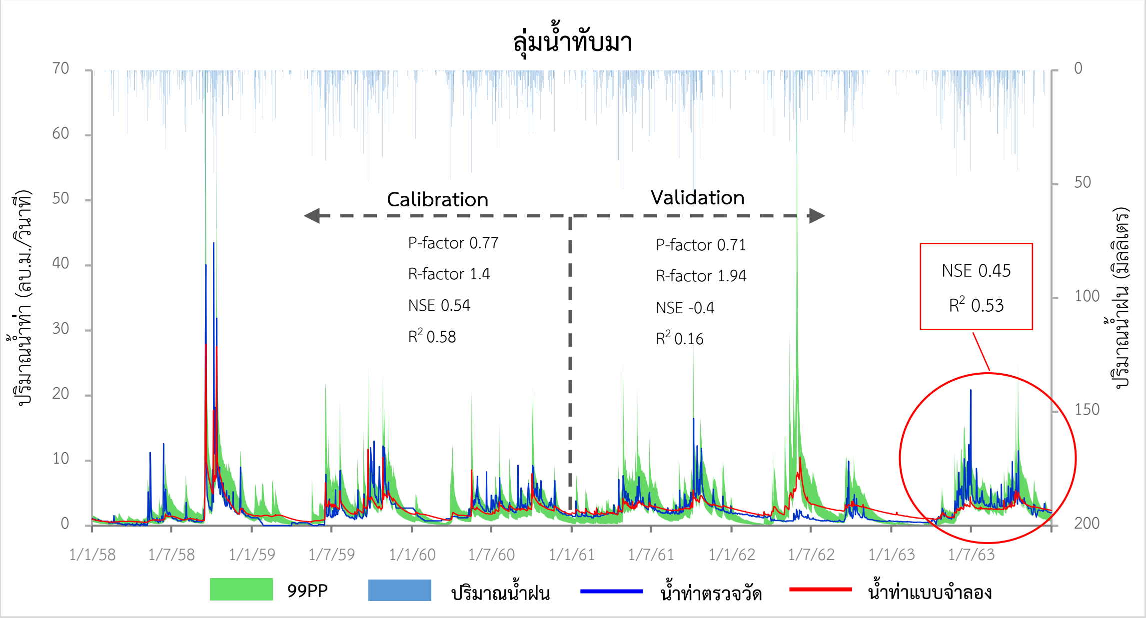
การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพบว่าประสิทธิภาพของการคาดการณ์น้ำท่ามีความแตกต่างกันในลุ่มน้ำย่อยแต่ละแห่ง ดังนี้

ลุ่มน้ำคลองใหญ่และลุ่มน้ำหนองปลาไหลแบบจำลองสามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าได้ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยมีค่า P-factor และ R-factor อยู่ระหว่าง 0.71-0.72 และ 1.08-1.14 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงค่าที่แนะนำ แบบจำลองสามารถคำนวณน้ำท่าทั้งในช่วงอัตราการไหลสูงและอัตราการไหลต่ำได้ใกล้เคียงกับค่าการตรวจวัดจริงและอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อน 95PPU แม้ว่าค่า R^2 จะต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับเล็กน้อย แต่มีค่า NSE อยู่ระหว่าง 0.4-0.44 จึงยังสามารถใช้แบบจำลองในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าได้ (ภาพที่ 11 และ 12)

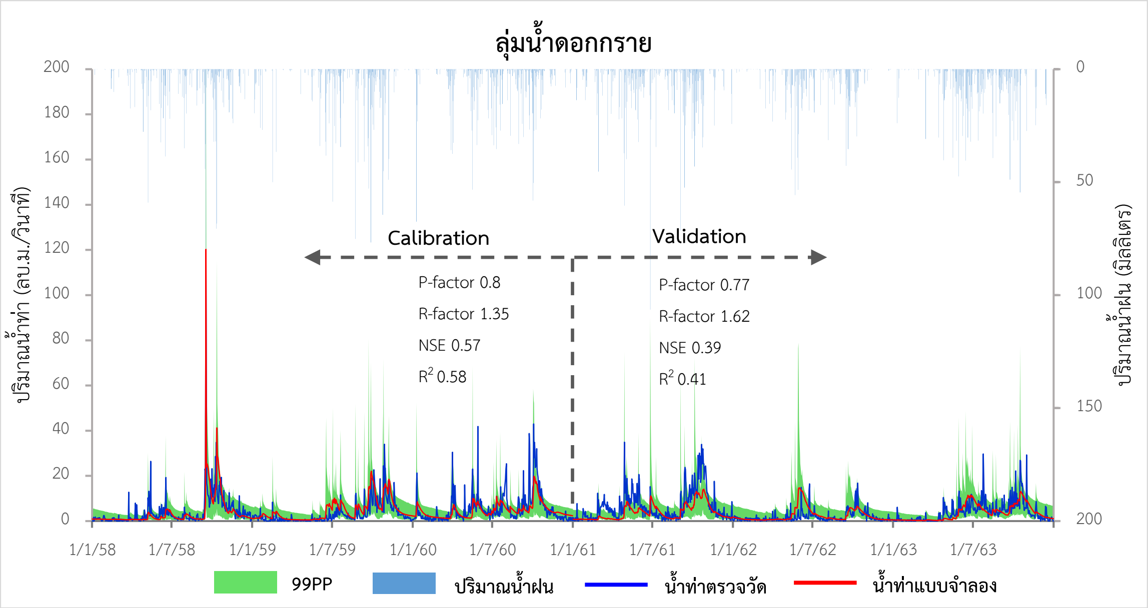
สำหรับลุ่มน้ำดอกรายสามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าได้ต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับ แม้ว่าจะมีค่า P-factor เท่ากับ 0.77 แต่มีค่า R-factor สูงกว่าช่วงค่าแนะนำ โดยในช่วงที่ปริมาณน้ำฝนมาก เช่น ช่วงเดือนมีนาคม ถึง พฤศจิกายน ปี 2562 แบบจำลองยังคำนวณปริมาณน้ำท่าได้ต่ำกว่าปริมาณการตรวจวัดจริง (ภาพที่ 10) ทำให้มีค่า NSE และ R^2 คือ 0.39 และ 0.41 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับ อย่างไรก็ดีในช่วงเวลาอื่น ๆ ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนไม่มากนัก แบบจำลองยังสามารถคำนวนอัตราการไหลต่ำได้ในช่วงความคลาดเคลื่อน 95PPU

สำหรับลุ่มน้ำทับมา มีค่า P-factor เท่ากับ 0.71 ซึ่งอยู่ในช่วงค่าที่แนะนำ แต่มีความกว้างของช่วงความคลาดเคลื่อน 95PPU หรือ R- factor เท่ากับ 1.91 ซึ่งสูงกว่าช่วงค่าที่แนะนำ รวมถึงมีค่า R^2 เท่ากับ 0.16 และ NSE ต่ำกว่า 0 (ตารางที่ 15) เนื่องจากแบบจำลองไม่สามารถคาดการณ์ปริมาณการไหลในลำน้ำในบางช่วงเวลาได้อย่างถูกต้อง กล่าวคือ ในช่วงเดือนตุลาคม ปี 2561 มีปริมาณน้ำฝนมากสอดคล้องกับค่าการตรวจวัดจริง แต่ปริมาณน้ำท่าที่ได้แบบจำลองยังต่ำกว่าการตรวจวัดจริง ในขณะที่ช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนสิงหาคม ปี 2562 ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองสูงกว่าปริมาณการตรวจวัดจริงซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลานั้น อย่างไรก็ดี พบว่าช่วงความคลาดเคลื่อน 95PPU ของการจำลองครอบคลุมปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด และแบบจำลองสามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าช่วงอัตราการไหลต่ำ (Low flow) ได้ถูกต้อง นอกจากนี้หากพิจารณาประสิทธิภาพแบบจำลองของลุ่มน้ำทับมาในปี 2563 พบว่าค่า NSE เท่ากับ 0.45 ค่า R^2 เท่ากับ 0.53 ตามลำดับ (ภาพที่ 9)

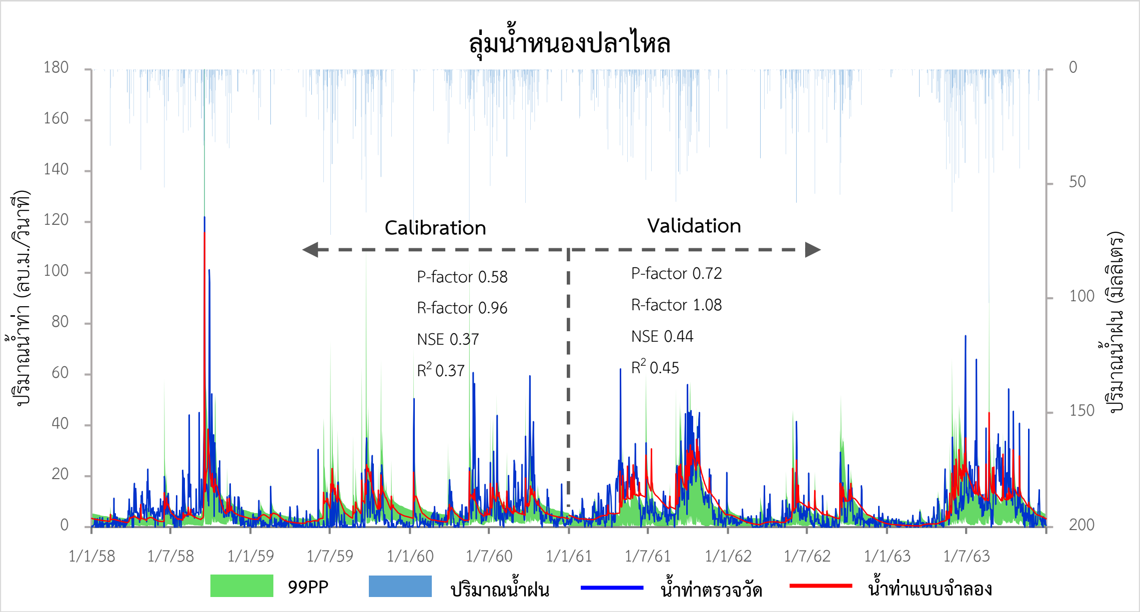
ลุ่มน้ำบ้านค่ายประสิทธิภาพต่ำกว่าเกณฑ์ยอมรับ แม้ว่าจะมีค่าการสอบเทียบในเกณฑ์ดีแต่ไม่สามารถจำลองปริมาณน้ำท่าได้ถูกต้อง มีค่า NSE ต่ำกว่า 0 และช่วงความคลาดเคลื่อน 95PPU ของการจำลองค่อนข้างกว้าง โดยเฉพาะในช่วงปี 2562 มีปริมาณจากแบบจำลองสูงกว่าปริมาณการตรวจวัดตลอดทั้งปี (ภาพที่ 13) รวมถึงช่วงฤดูฝนที่มีปริมาณน้ำฝนมากแต่ค่าการตรวจวัดจริงค่อนข้างต่ำ เนื่องจากในลุ่มน้ำมีฝายบ้านค่ายที่ควบคุมปริมาณการไหลของน้ำ รวมถึงมีการผันน้ำจากฝายและแม่น้ำเพื่อใช้ในสาธารณูปโภค ซึ่งทำให้ไม่สามารถจำลองปริมาณน้ำท่าได้อย่างถูกต้อง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Wang et al. (2023) ที่จำลองปริมาณน้ำท่าในแม่น้ำที่ถูกควบคุมด้วยอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ พบว่ามีผลการสอบเทียบอยู่ในเกณฑ์ดี แต่การตรวจสอบแบบจำลองมีค่า NSE และ R^2 ต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับ และได้ระบุว่าแบบจำลอง SWAT ยังมีข้อจำกัดบางประการในการจำลองปริมาณน้ำล้นจากอ่างเก็บน้ำและฝาย



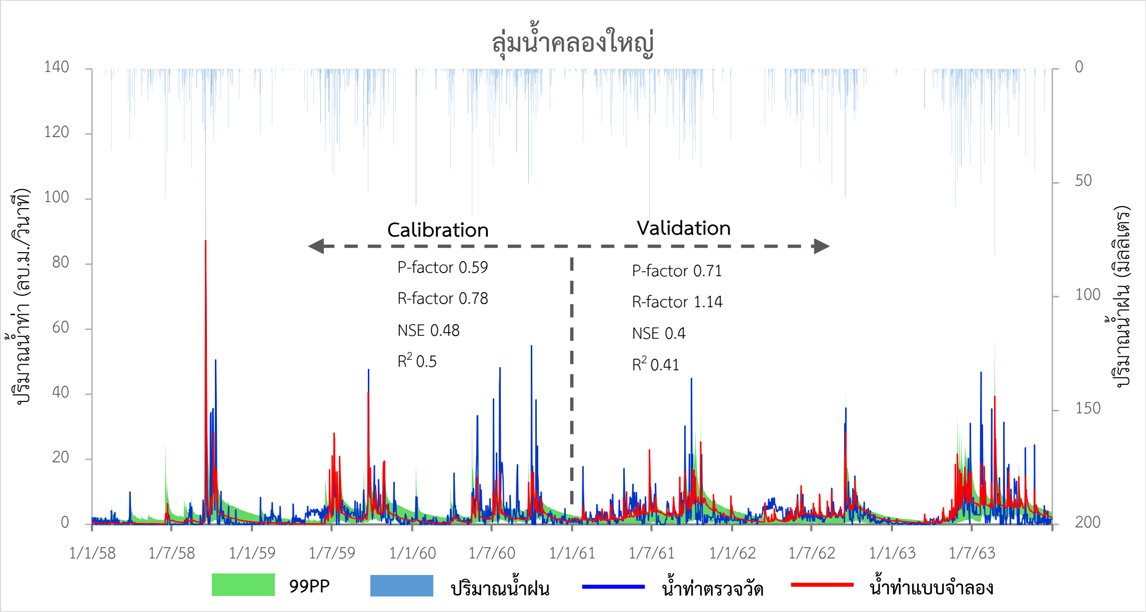
ภาพที่ 9 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองลุ่มน้ำทับมา



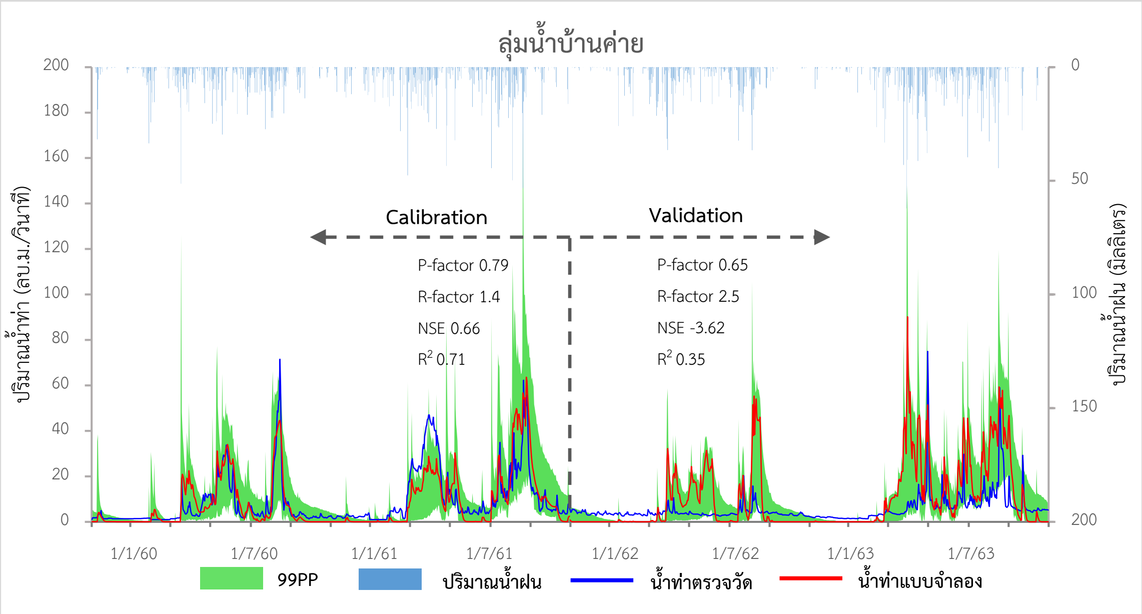
ภาพที่ 10 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองลุ่มน้ำดอกกราย



ภาพที่ 11 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองลุ่มน้ำหนองปลาไหล



ภาพที่ 12 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองลุ่มน้ำคลองใหญ่



ภาพที่ 13 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองลุ่มน้ำบ้านค่าย

5.2 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยองจากแบบจำลอง CA-Markov

5.2.1 การใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำระยอง

พื้นที่ส่วนใหญ่ของลุ่มน้ำระยองใน พ.ศ. 2553 2556 2559 และ 2563 มีการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทยางพารามากที่สุด มีสัดส่วนพื้นที่มากกว่าร้อยละ 26 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด รองลงมาเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพืชไร่ มีสัดส่วนพื้นที่มากกว่าร้อยละ 19 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด การใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีแนวโน้มลดลง ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท ยางพารา พืชไร่ ไม้ผล และนาข้าว ในขณะที่การใช้ที่ดินประเภท เหมือแร่และบ่อขุด อุตสาหกรรม และชุมชน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่ในแต่ละปีดังตารางที่ 16

สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท ป่าไม้ ที่ลุ่มและทุ้งหญ้า และแหล่งน้ำ มีสัดส่วนพื้นที่คงที่ประมาณร้อยละ 5 ร้อยละ 6 และ ร้อยละ 4 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด ตามลำดับ

ตารางที่ 16 การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2553 2556 2559 และ 2563

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	2553		2556		2559		2563	
	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ
ไม้ยืนต้น	99.57	5.76	111.74	6.46	154.55	8.93	103.63	5.99
พืชไร่	444.02	25.67	388.44	22.45	337.05	19.48	345.00	19.94
ป่าไม้	98.92	5.72	97.28	5.62	94.93	5.49	97.28	5.62
ไม้ผล	126.91	7.34	105.83	6.12	100.11	5.79	73.12	4.23
นาข้าว	53.38	3.09	48.13	2.78	48.12	2.78	27.73	1.60
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	113.48	6.56	98.80	5.71	88.61	5.12	108.30	6.26
ยางพารา	453.64	26.22	511.70	29.58	485.42	28.06	497.13	28.74
เหมืองแร่/บ่อขุด	15.39	0.89	18.78	1.09	21.38	1.24	25.06	1.45
พื้นที่อุตสาหกรรม	86.37	4.99	100.62	5.82	138.82	8.02	147.22	8.51
พื้นที่ชุมชน	165.81	9.58	175.88	10.17	185.77	10.74	228.51	13.21
แหล่งน้ำ	72.42	4.19	72.71	4.20	75.14	4.34	76.93	4.45
รวม	1729.90	100	1729.90	100	1729.90	100	1729.90	100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง

การวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2553 2556 และ 2559 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov แบ่งเป็นช่วง 3 ปี ได้แก่ พ.ศ. 2553-2556 และ 2556-2559 และช่วง 6 ปี คือ พ.ศ. 2553-2559 มีผลการศึกษาดังนี้

5.2.2.1 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2553-2556

ลุ่มน้ำระยองใน พ.ศ. 2553-2556 พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม มีสัดส่วนพื้นที่ยางพาราและพืชไร่มากที่สุด ในภาพรวมพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่รวมทั้งหมด 172.12 ตร.กม. ซึ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินภาคเกษตรกรรมมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ได้แก่ ยางพารา พืชไร่ และไม้ผล ตามลำดับ โดยยางพาราเพิ่มขึ้นมากที่สุดเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 1.12 ของพื้นที่ทั้งหมด (ตารางที่ 17) เปลี่ยนแปลงมาจากพืชไร่มากที่สุด 41.72 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 63.24 ของพื้นที่ยางพาราที่เพิ่มขึ้น และเปลี่ยนแปลงมาจากไม้ยืนต้นในลำดับรองลงมา 11.19 ตร.กม. คิดเป็นร้อยละ 16.97 ของพื้นที่ยางพาราที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่พืชไร่ลดลงสูงที่สุดเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 1.07 ของพื้นที่ทั้งหมด ถูกเปลี่ยนไปเป็นยางพารามากที่สุดร้อยละ 56.17 ของพื้นที่พืชไร่ที่ลดลง และรองลงมาเปลี่ยนไปเป็นไม้ยืนต้นร้อยละ 15.04 ของพื้นที่พืชไร่ที่ลดลง สำหรับไม้ผลมีอัตราลดลงสูงเป็นอันดับสองเฉลี่ยต่อปี 0.41 ของพื้นที่ทั้งหมด ถูกเปลี่ยนไปเป็นไม้ยืนต้นร้อยละ 57 ของพื้นที่ไม้ผลที่ลดลง และรองลงมาเปลี่ยนไปยางพาราร้อยละ 18.47 ของพื้นที่ไม้ผลที่ลดลง (ตารางที่ 18) จะเห็นได้ว่าในภาคเกษตรกรรมมีแนวโน้มการทำไร่ลดลงหันไปปลูกยางพาราเพิ่มขึ้นและเปลี่ยนแปลงพื้นที่ไปเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นมากที่สุด ในขณะเดียวกัน ที่ลุ่มและทุ่งหญ้าบางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็นพืชไร่มากที่สุด แต่ในสัดส่วนเพียงร้อยละ 1.78 ของพื้นที่พืชไร่ พ.ศ. 2556

ในส่วนของพื้นที่สิ่งปลูกสร้างของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2553 มีสัดส่วนพื้นที่ชุมชนมากเป็นสองเท่าของพื้นที่อุตสาหกรรม แต่ใน พ.ศ. 2556 พบว่าอุตสาหกรรมขยายตัวมากขึ้นและมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงกว่าชุมชน โดยมากแปรสภาพมาจากพื้นที่ประเภทพืชไร่ (ตารางที่ 17 และ 18)

สำหรับการใช้ที่ดินประเภทป่าไม้ นาข้าว เหมืองแร่และบ่อขุด และแหล่งน้ำ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงรายปีค่อนข้างน้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 17 การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2553 และ พ.ศ. 2556

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	**2553**		**2556**		**พื้นที่ที่เปลี่ยนแปลง**	**อัตราการเปลี่ยนแปลงรายปี**
	ตร.กม.	**ร้อยละ**	**ตร.กม.**	**ร้อยละ**	**ตร.กม.**	**ร้อยละ**
ไม้ยืนต้น	99.57	5.76	111.74	6.46	12.17	0.23
พืชไร่	444.02	25.67	388.44	22.45	-55.57	-1.07
ป่าไม้	98.92	5.72	97.28	5.62	-1.64	-0.03
ไม้ผล	126.91	7.34	105.83	6.12	-21.08	-0.41
นาข้าว	53.38	3.09	48.13	2.78	-5.25	-0.10
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	113.48	6.56	98.80	5.71	-14.69	-0.28
ยางพารา	453.64	26.22	511.70	29.58	58.06	1.12
เหมืองแร่/บ่อขุด	15.39	0.89	18.78	1.09	3.39	0.07
อุตสาหกรรม	86.37	4.99	100.62	5.82	14.25	0.27
ชุมชน	165.81	9.58	175.88	10.17	10.07	0.19
แหล่งน้ำ	72.42	4.19	72.71	4.20	0.29	0.01
รวม	1729.90	100	1729.90	100.00	172.12	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 18 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2553-2556

การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2553	การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2556											
	ไม้ยืนต้น	พืชไร่	ป่าไม้	ไม้ผล	นาข้าว	ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	ยางพารา	เหมืองแร่/บ่อขุด	อุตสาหกรรม	ชุมชน	แหล่งน้ำ	รวม
ไม้ยืนต้น	80.31	5.95	0.00	1.32	0.00	0.09	11.19	0.15	0.23	0.28	0.06	99.57
พืชไร่	11.76	369.76	0.00	0.83	0.00	4.37	41.72	2.58	8.20	4.63	0.17	444.02
ป่าไม้	0.05	0.02	97.28	0.00	0.00	0.00	1.51	0.00	0.06	0.00	0.00	98.92
ไม้ผล	13.60	2.97	0.00	103.06	0.00	0.02	4.41	0.12	0.38	2.32	0.04	126.91
นาข้าว	0.06	0.08	0.00	0.07	48.13	0.24	4.39	0.00	0.00	0.21	0.19	53.38
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	2.23	7.91	0.00	0.24	0.00	93.21	2.47	0.87	4.12	2.17	0.24	113.48
ยางพารา	3.35	1.68	0.00	0.30	0.00	0.87	445.74	0.18	0.97	0.46	0.09	453.64
เหมืองแร่/บ่อขุด	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	14.87	0.14	0.11	0.00	15.39
อุตสาหกรรม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.37	0.00	0.00	86.37
ชุมชน	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	165.69	0.01	165.81
แหล่งน้ำ	0.36	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04	0.02	71.91	72.42
รวม	111.74	388.44	97.28	105.83	48.13	98.80	511.70	18.78	100.62	175.88	72.71	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2.2.2 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2556-2559

ในพ.ศ. 2556-2559 ลุ่มน้ำระยองยังคงมีพื้นที่เกษตรกรรมมากที่สุด มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่รวมทั้งสิ้น 191.86 ตร.กม. การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทไม้ยืนต้นมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.82 โดยการเพิ่มขึ้นของไม้ยืนต้นส่วนใหญ่เปลี่ยนแปลงมาจากยางพาราและพืชไร่ คิดเป็นร้อยละ 68.89 และ 23.35 ของพื้นที่ไม้ยืนต้นที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ (ตารางที่ 19) จะเห็นได้ว่าการใช้ที่ดินของ พ.ศ. 2556-2559 มีแนวโน้มการทำเกษตรเปลี่ยนแปลงไปจาก พ.ศ. 2553-2556 คือ มีการเปลี่ยนพื้นที่ยางพาราและพืชไร่ไปปลูกไม้ยืนต้นหรือทำเกษตรผสมผสานมากขึ้นจากเดิมที่ปลูกยางพารามากในช่วง พ.ศ. 2553-2556 (ตารางที่ 17)

ในขณะที่พืชไร่มีอัตราลดงลงสูงที่สุดเฉลี่ยร้อยละ 0.99 ต่อปี ถูกเปลี่ยนการใช้ประโยชน์ที่ดินไปหลายประเภท โดยเปลี่ยนเป็นพื้นที่อุตสาหกรรมมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 37.48 ของพื้นที่เพาะปลูกพืชไร่ที่ลดลง และรองลงมาถูกเปลี่ยนเป็น ยางพารา ไม้ยืนต้น และชุมชน ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน คือร้อยละ 20.02 18.69 และ 12.76 ของพื้นที่พืชไร่ที่ลดลงตามลำดับ (ตารางที่ 20)

สำหรับอุตสาหกรรมมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงเป็นอันดับสองรองจากไม้ยืนต้นเฉลี่ยร้อยละ0.74 ต่อปี โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงรายปีเพิ่มจาก พ.ศ. 2553-2556 มากกว่า 2 เท่า โดยเปลี่ยนแปลงมาจากพืชไร่และชุมชน คิดเป็นร้อยละ 64.82 และ 10.22 ตามลำดับ ในขณะที่ชุมชนมีอัตราการเพิ่มขึ้นในช่วง พ.ศ. 2556-2559 เท่ากับ พ.ศ. 2553-2556 ในส่วนของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น ๆ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงรายปีต่ำ ดังตารางที่ 20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 19 การใช้ประโยชน์ที่ดินปีของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2556 และ พ.ศ 2559

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	2556		2559		พื้นที่ที่เปลี่ยนแปลง	อัตราการเปลี่ยนแปลงรายปี
	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ
ไม้ยืนต้น	111.74	6.46	154.55	8.93	42.81	0.82
พืชไร่	388.44	22.45	337.05	19.48	-51.39	-0.99
ป่าไม้	97.28	5.62	94.93	5.49	-2.35	-0.05
ไม้ผล	105.83	6.12	100.11	5.79	-5.72	-0.11
นาข้าว	48.13	2.78	48.12	2.78	0.01	0.00
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	98.80	5.71	88.61	5.12	-10.18	-0.20
ยางพารา	511.70	29.58	485.42	28.06	-26.28	-0.51
เหมืองแร่/บ่อขุด	18.78	1.09	21.38	1.24	2.60	0.05
อุตสาหกรรม	100.62	5.82	138.82	8.02	38.20	0.74
ชุมชน	175.88	10.17	185.77	10.74	9.89	0.19
แหล่งน้ำ	72.71	4.20	75.14	4.34	2.43	0.05
รวม	1729.90	100	1729.90	100.00	191.86	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 20 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2556-2559

การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2556	การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559											
	ไม้ยืนต้น	พืชไร่	ป่าไม้	ไม้ผล	นาข้าว	ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	ยางพารา	เหมืองแร่/บ่อขุด	อุตสาหกรรม	ชุมชน	แหล่งน้ำ	รวม
ไม้ยืนต้น	100.50	5.22	0.05	0.31	0.00	0.31	2.22	0.44	1.68	0.61	0.41	111.74
พืชไร่	12.62	320.91	0.29	0.87	0.00	2.45	13.52	2.84	25.31	8.62	1.00	388.44
ป่าไม้	0.01	0.41	93.49	0.00	0.00	0.02	3.09	0.03	0.17	0.06	0.00	97.28
ไม้ผล	1.84	0.75	0.03	98.29	0.00	0.03	1.64	0.15	0.61	2.45	0.05	105.83
นาข้าว	0.07	0.00	0.00	0.00	47.71	0.12	0.04	0.00	0.00	0.11	0.08	48.13
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	1.61	4.48	0.34	0.18	0.41	83.66	1.19	0.49	3.42	1.96	1.06	98.80
ยางพารา	37.24	4.57	0.70	0.30	0.00	0.59	462.96	0.53	2.73	1.56	0.52	511.70
เหมืองแร่/บ่อขุด	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.49	0.11	16.61	0.91	0.25	0.32	18.78
อุตสาหกรรม	0.06	0.31	0.00	0.00	0.00	0.07	0.11	0.00	99.77	0.27	0.04	100.62
ชุมชน	0.26	0.35	0.02	0.15	0.00	0.71	0.52	0.05	3.99	169.76	0.06	175.88
แหล่งน้ำ	0.31	0.02	0.00	0.01	0.01	0.14	0.03	0.23	0.23	0.13	71.61	72.71
รวม	154.55	337.05	94.93	100.11	48.12	88.61	485.42	21.38	138.82	185.77	75.14	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2.2.3 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2553-2559

การใช้ประโยชน์ที่ดินในระหว่าง พ.ศ. 2553-2559 พบว่าพืชไร่มีอัตราลดลงสูงสุดเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 1.03 ของพื้นที่ทั้งหมด (ตารางที่ 21) ถูกเปลี่ยนเป็นการใช้ที่ดินหลายประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรม และไม้ยืนต้น การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทดังกล่าวนี้มีอัตราเพิ่มสูงร้อยละ 0.31-0.53 ของพื้นที่ทั้งหมด (ตารางที่ 22) เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงช่วง 3 ปี พ.ศ.2553-2556 มีการเพาะปลูกยางพารามาก และลดลงในช่วง พ.ศ. 2556-2559 เปลี่ยนการทำเกษตรผสมผสานมากขึ้น รวมถึงการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทไม้ผลที่มีการเปลี่ยนเป็นไม้ยืนต้นมากในช่วง พ.ศ. 2553-2556 จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงในช่วง 6 ปี ไม้ยืนต้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงกว่ายางพารา

ในส่วนของพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง พบว่าพื้นที่อุตสาหกรรมมีอัตราเพิ่มขึ้นน้อยกว่าช่วง พ.ศ. 2556-2559 เนื่องจากในช่วงการเปลี่ยนแปลงระยะสั้น 3 ปี พ.ศ. 2556-2559 มีการขยายตัวของเมืองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าใน พ.ศ. 2553-2556 เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระยาว 6 ปี อัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยรายปีจึงลดลง ในขณะที่พื้นที่ชุมชนมีอัตราเพิ่มขึ้นคงที่เฉลี่ยร้อยละ 0.19 ต่อปีของพื้นที่ลุ่มน้ำ (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2553 และ พ.ศ. 2559

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	**2553**		**2559**		**พื้นที่ที่เปลี่ยนแปลง**	**อัตราการเปลี่ยนแปลงรายปี**
	ตร.กม.	**ร้อยละ**	**ตร.กม.**	**ร้อยละ**	**ตร.กม.**	**ร้อยละ**
ไม้ยืนต้น	99.57	5.76	154.5	8.93	54.98	0.53
พืชไร่	444	25.67	337	19.48	-106.97	-1.03
ป่า	98.92	5.72	94.93	5.49	-3.99	-0.04
ไม้ผล	126.9	7.34	100.1	5.79	-26.80	-0.26
นาข้าว	53.38	3.09	48.12	2.78	-5.26	-0.05
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	113.5	6.56	88.61	5.12	-24.87	-0.24
ยางพารา	453.6	26.22	485.4	28.06	31.78	0.31
เหมืองแร่/บ่อขุด	15.39	0.89	21.38	1.24	5.99	0.06
อุตสาหกรรม	86.37	4.99	138.8	8.02	2.45	0.51
ชุมชน	165.8	9.58	185.8	10.74	19.96	0.19
แหล่งน้ำ	72.42	4.19	75.14	4.34	2.72	0.03
รวม	1729.90	100	1729.90	100.00	225.423	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 22 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2553-2559

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	**การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559**											
พ.ศ. 2553	ไม้ยืนต้น	พืชไร่	ป่าไม้	ไม้ผล	นาข้าว	ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	ยางพารา	เหมืองแร่/บ่อขุด	อุตสาหกรรม	ชุมชน	แหล่งน้ำ	รวม
ไม้ยืนต้น	80.79	8.99	0.05	1.45	0.00	0.35	3.94	0.49	2.31	0.80	0.41	99.57
พืชไร่	26.13	310.19	0.29	1.67	0.00	3.98	47.04	5.37	34.43	13.70	1.22	444.02
ป่า	0.06	0.43	93.49	0.00	0.00	0.02	4.59	0.03	0.23	0.06	0.00	98.92
ไม้ผล	15.65	3.18	0.03	95.77	0.00	0.06	6.03	0.32	1.13	4.63	0.10	126.91
นาข้าว	0.13	0.08	0.00	0.07	47.71	0.36	4.43	0.00	0.00	0.32	0.28	53.38
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	3.73	9.44	0.29	0.45	0.41	82.10	2.89	1.51	7.32	4.07	1.27	113.48
ยางพารา	27.05	4.04	0.75	0.53	0.00	0.31	415.73	0.32	2.58	1.70	0.62	453.64
เหมืองแร่/บ่อขุด	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.58	0.21	13.08	0.96	0.16	0.32	15.39
อุตสาหกรรม	0.02	0.31	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.00	85.65	0.23	0.04	86.37
ชุมชน	0.26	0.32	0.02	0.15	0.00	0.68	0.41	0.02	3.94	159.94	0.06	165.81
แหล่งน้ำ	0.67	0.05	0.00	0.01	0.01	0.14	0.07	0.23	0.27	0.14	70.83	72.42
รวม	154.55	337.05	94.93	100.11	48.12	88.61	485.42	21.38	138.82	185.77	75.14	-

จากรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน 3 ช่วงเวลา ระหว่าง พ.ศ. 2553 2556 และ 2559 พบว่ามีแนวโน้มการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงภายในพื้นที่ประเภทเกษตรกรรมที่แตกต่างกัน จึงกำหนดสถานการณ์จำลอง (Scenario: S) ให้การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรกรรมที่แตกต่างกัน 2 สถานการณ์ จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระหว่าง พ.ศ. 2556-2559 คือ อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.5 และพื้นที่เกษตรกรรมลดลงเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.5 และการเปลี่ยนแปลงระหว่าง พ.ศ. 2553-2559 คือ อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.33 และพื้นที่เกษตรกรรมลดลงเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.3 โดยให้ S1 และ S2 แทนรูปแบบการเปลี่ยนแปลงพ.ศ. 2556-2559 และ พ.ศ. 2553-2559 ตามลำดับ

สำหรับการเปลี่ยนแปลงในช่วง พ.ศ. 2553-2556 แม้ว่าการใช้ประโยชน์พื้นที่ประเภทอุตสาหกรรมจะมีอัตราเพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่นำมากำหนดสถานการณ์จำลองเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ยางพารา ทำให้การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทยางพารามีอัตราเพิ่มขึ้นสูง แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2559 และ พ.ศ. 2563 พบว่ามีสัดส่วนพื้นที่ยางพาราลดลง ซึ่งไม่สอดคล้องกันจึงไม่นำรูปแบบการเปลี่ยนแปลง พ.ศ. 2553-2556 มาใช้กำหนดสถานการณ์การจำลอง

5.2.3 ความถูกต้องของการจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง CA-Markov

การตรวจสอบความแม่นยำของการคาดการณ์ การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตจากแบบจำลอง CA-Markov กับข้อมูลการใช้ประโยชน์ดินพ.ศ. 2563 ด้วยสถิติแคปปา (Kappa Statistic) มีผลการตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ดีทั้ง 2 สถานการณ์ สถานการณ์ S2 มีผลการตรวจสอบดีที่สุดด้วยค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.77 สัดส่วนความถูกต้องโดยรวมร้อยละ 70.35 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่สามารถคาดการณ์ได้แม่นยำที่สุด ได้แก่ ป่าไม้ (ร้อยละ 94.10) แหล่งน้ำ (ร้อยละ 82.79) และชุมชน (ร้อยละ 81.71) (ตารางที่ 24) สำหรับสถานการณ์ S1 มีค่าสัมประสิทธิ์แคปปาใกล้เคียงกับ S2 คือ 0.76 มีสัดส่วนความถูกต้องโดยรวม ร้อยละ 69.27 การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทป่าไม้ แหล่งน้ำ และชุมชน มีสัดส่วนความถูกต้องมากที่สุด ร้อยละ 94.38 81.14 และ 80.89 ตามลำดับ (ตารางที่ 23)

การใช้ประโยชน์ที่ดินที่แบบจำลองสามารถคาดการณ์ได้ถูกต้องมากที่สุดส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงต่ำและคงที่ เช่น ป่าไม้ แหล่งน้ำ และชุมชน ในขณะที่นาข้าว เหมืองแร่และบ่อขุด ที่ลุ่มและทุ่งหญ้า มีอัตราการเปลี่ยนแปลงต่ำเช่นเดียวกัน แต่เป็นพื้นที่ที่และมีการกระจายตัวกับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น ๆ และมีสัดส่วนน้อยทำให้ความแม่นยำในการคาดการณ์ลดลง

ตารางที่ 23 ร้อยละความถูกต้องของการจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2563 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ในสถานการณ์ S1

การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2563 (ตร.กม.)	**การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2563 (ตร.กม.) จาก CA-Markov สถานการณ์ที่ 1**											
	ไม้ยืนต้น	พืชไร่	ป่าไม้	ไม้ผล	นาข้าว	ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	ยางพารา	เหมืองแร่/บ่อขุด	อุตสาหกรรม	ชุมชน	แหล่งน้ำ	รวม
ไม้ยืนต้น	71.78	5.41	0.22	6.54	2.31	2.60	9.37	0.71	1.64	1.93	1.11	103.63
พืชไร่	22.27	210.65	0.46	4.77	0.47	5.56	57.32	3.87	27.36	10.85	1.43	345.00
ป่าไม้	2.13	0.71	86.61	0.35	0.00	0.56	6.23	0.07	0.36	0.21	0.05	97.28
ไม้ผล	5.90	4.03	0.06	44.23	1.00	2.20	5.90	0.31	1.32	7.62	0.55	73.12
นาข้าว	0.06	0.17	0.00	0.28	25.88	0.70	0.37	0.02	0.03	0.11	0.10	27.73
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	4.13	18.37	0.20	2.55	7.24	47.95	5.03	1.94	8.29	6.01	6.57	108.30
ยางพารา	84.10	17.31	3.90	19.04	3.94	3.03	354.29	0.92	3.58	6.41	0.62	497.13
เหมืองแร่/บ่อขุด	1.01	4.11	0.00	0.60	0.78	1.47	2.23	10.16	2.66	1.30	0.75	25.06
อุตสาหกรรม	1.00	9.54	0.13	0.96	0.74	2.24	2.75	1.46	124.77	2.32	1.30	147.22
ชุมชน	5.75	11.86	0.15	12.92	4.08	7.41	8.35	2.82	13.92	159.09	2.15	228.51
แหล่งน้ำ	1.46	1.49	0.04	0.98	1.72	3.58	1.85	0.87	1.22	0.81	62.92	76.93
รวม	199.61	283.65	91.77	93.21	48.15	77.30	453.69	23.16	185.16	196.67	77.54	-
ความถูกต้องของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (%)	35.96	74.26	94.38	47.45	53.75	62.03	78.09	43.86	67.39	80.89	81.14	69.27

Overall Kappa = 0.7581

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 24 ร้อยละความถูกต้องของการจำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2563 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ในสถานการณ์ S2

การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2563 (ตร.กม.)	**การใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2563 (ตร.กม.) จาก CA-Markov สถานการณ์ที่ 2**											
	ไม้ยืนต้น	พืชไร่	ป่าไม้	ไม้ผล	นาข้าว	ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	ยางพารา	เหมืองแร่/บ่อขุด	อุตสาหกรรม	ชุมชน	แหล่งน้ำ	รวม
ไม้ยืนต้น	71.46	5.54	0.22	5.58	2.22	2.42	11.72	0.45	1.22	1.79	1.00	103.63
พืชไร่	20.28	210.70	0.45	4.11	0.29	5.40	70.72	4.37	18.52	9.36	0.80	345.00
ป่าไม้	2.07	0.81	86.82	0.33	0.00	0.78	6.02	0.03	0.15	0.21	0.05	97.28
ไม้ผล	9.00	4.46	0.06	40.57	0.94	2.18	6.68	0.21	0.87	7.61	0.52	73.12
นาข้าว	0.04	0.16	0.00	0.26	24.36	0.73	1.73	0.03	0.03	0.16	0.22	27.73
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	4.51	19.95	0.20	2.36	7.07	46.52	6.16	2.00	7.41	6.22	5.90	108.30
ยางพารา	64.14	15.33	4.18	18.19	3.04	2.97	379.37	0.86	2.53	5.96	0.55	497.13
เหมืองแร่/บ่อขุด	1.01	4.33	0.00	0.52	0.78	1.40	2.45	10.51	2.11	1.33	0.63	25.06
พื้นที่อุตสาหกรรม	1.04	10.29	0.13	1.00	0.72	2.19	3.04	1.59	123.48	2.47	1.27	147.22
พื้นที่ชุมชน	6.09	12.19	0.15	12.29	3.99	7.27	9.29	2.96	11.78	160.39	2.11	228.51
แหล่งน้ำ	1.46	1.52	0.04	0.91	1.64	3.67	2.12	0.92	1.04	0.79	62.81	76.93
รวม	181.11	285.28	92.27	86.12	45.04	75.53	499.30	23.94	169.15	196.30	75.86	-
ความถูกต้องของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (%)	39.46	73.86	94.10	47.11	54.07	61.59	75.98	43.93	73.00	81.71	82.79	70.35
Overall Kappa = 0.766												

5.2.4 การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยองใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 ของทั้ง 2 สถานการณ์จำลอง โดยใช้แบบจำลอง CA-Markov มีผลการคาดการณ์ดังนี้

5.2.4.1 การใช้ประโยชน์ที่ดินจากแบบจำลอง CA-Markov สถานการณ์ S1

ภาพรวมของลุ่มน้ำระยองในสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 พบว่าใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 มีพื้นที่ยางพาราและอุตสาหกรรมมากที่สุดและสัดส่วนของพื้นที่ทั้ง 2 ประเภทใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มว่าพื้นที่อุตสาหกรรมมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นและยางพาราลดลงอย่างเห็นได้ชัด มีอัตราการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด คือ อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.50% ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่บริเวณตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำเนื่องจากเป็นเขตนิคมอุตสาหกรรม และเริ่มมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นที่ในฝั่งตะวันตกของลุ่มน้ำระยอง แทนที่พืชไร่ที่อัตราลดลงเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.28 ต่อปีของพื้นที่ลุ่มน้ำ นอกจากนี้ในบริเวณเดียวกันยังพบว่าชุมชนมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นด้วย (ภาพที่ 14)

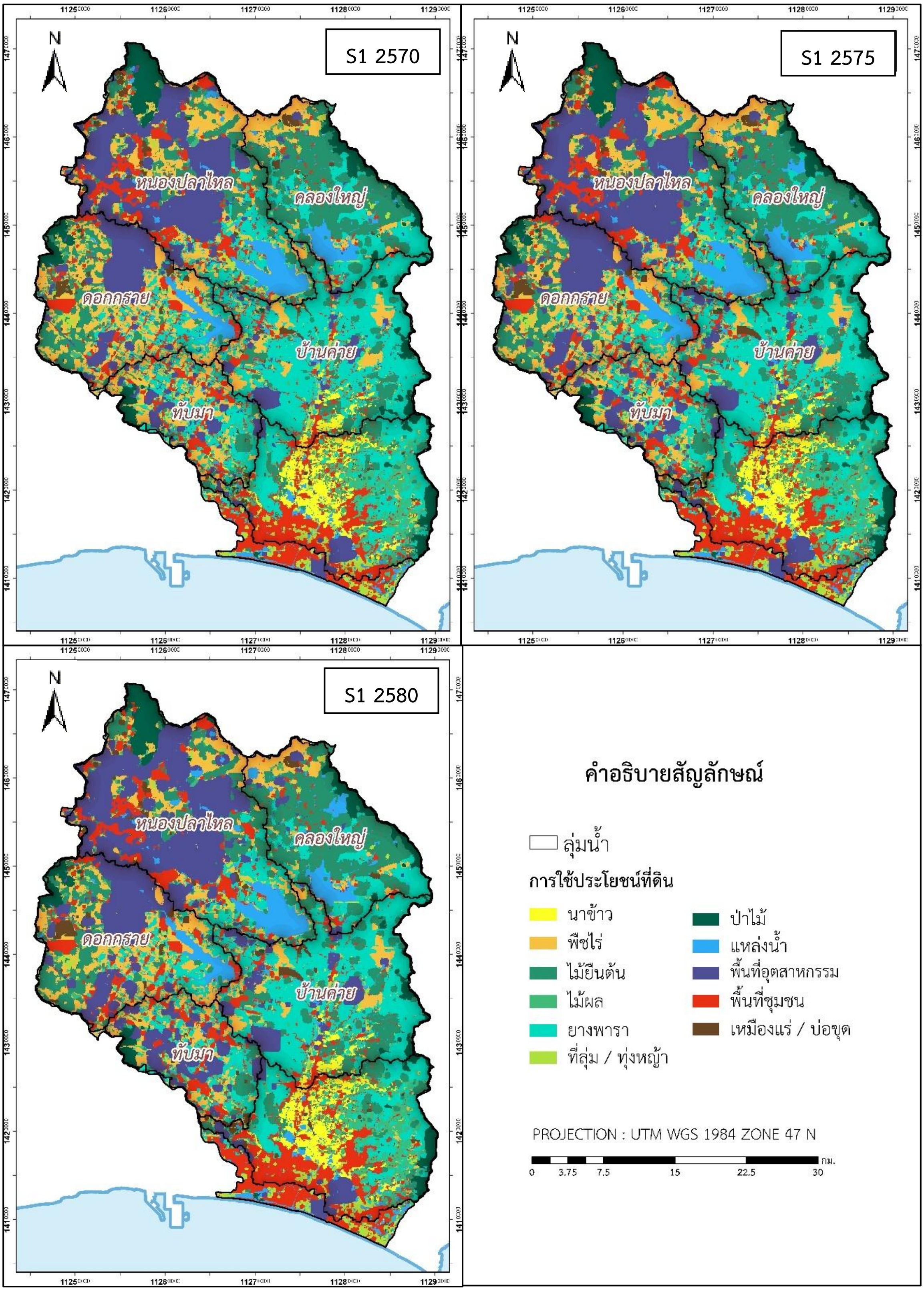
ในส่วนของยางพาราที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากและกระจายตัวอยู่ทั่วไปทางฝั่งตะวันออกของลุ่มน้ำระยอง พบว่ามีอัตราลดลงเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.35 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ไม้ยืนต้นซึ่งเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.20 ของพื้นที่ทั้งหมด (ภาพที่ 14) สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นมีอัตราการเปลี่ยนแปลงรายปีน้อยกว่าร้อยละ 0.1 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทในอนาคตของสถานการณ์ S1 ดังแสดงในตารางที่ 25 และผลการคำนวณสัดส่วนและความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทดังแสดงในภาคผนวก ข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 25 การใช้ประโยชน์ที่ดินลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากแบบจำลอง CA-Markov สถานการณ์ S1

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	2570	2575	2580	อัตราการเปลี่ยนแปลง
	ตร.กม.	ตร.กม.	ตร.กม.	ตร.กม. / ปี
ไม้ยืนต้น	251.53	273.62	286.74	3.52
พืชไร่	222.11	193.53	173.78	-4.83
ป่า	86.39	82.40	78.69	-0.77
ไม้ผล	82.37	75.64	69.56	-1.28
นาข้าว	47.72	47.47	47.19	-0.05
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	62.28	54.51	48.44	-1.38
ยางพารา	401.27	369.35	341.17	-6.01
เหมืองแร่/บ่อขุด	26.57	27.77	28.50	0.19
อุตสาหกรรม	255.56	300.51	341.88	8.63
พื้นที่ชุมชน	210.84	218.49	224.26	1.34
แหล่งน้ำ	83.31	86.69	89.71	0.64
รวม	1729.95	1729.98	1729.93	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 14 การใช้ประโยชน์ที่ดินลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2570 2575 และ 2580

จากแบบจำลอง CA-Markov สถานการณ์ S1

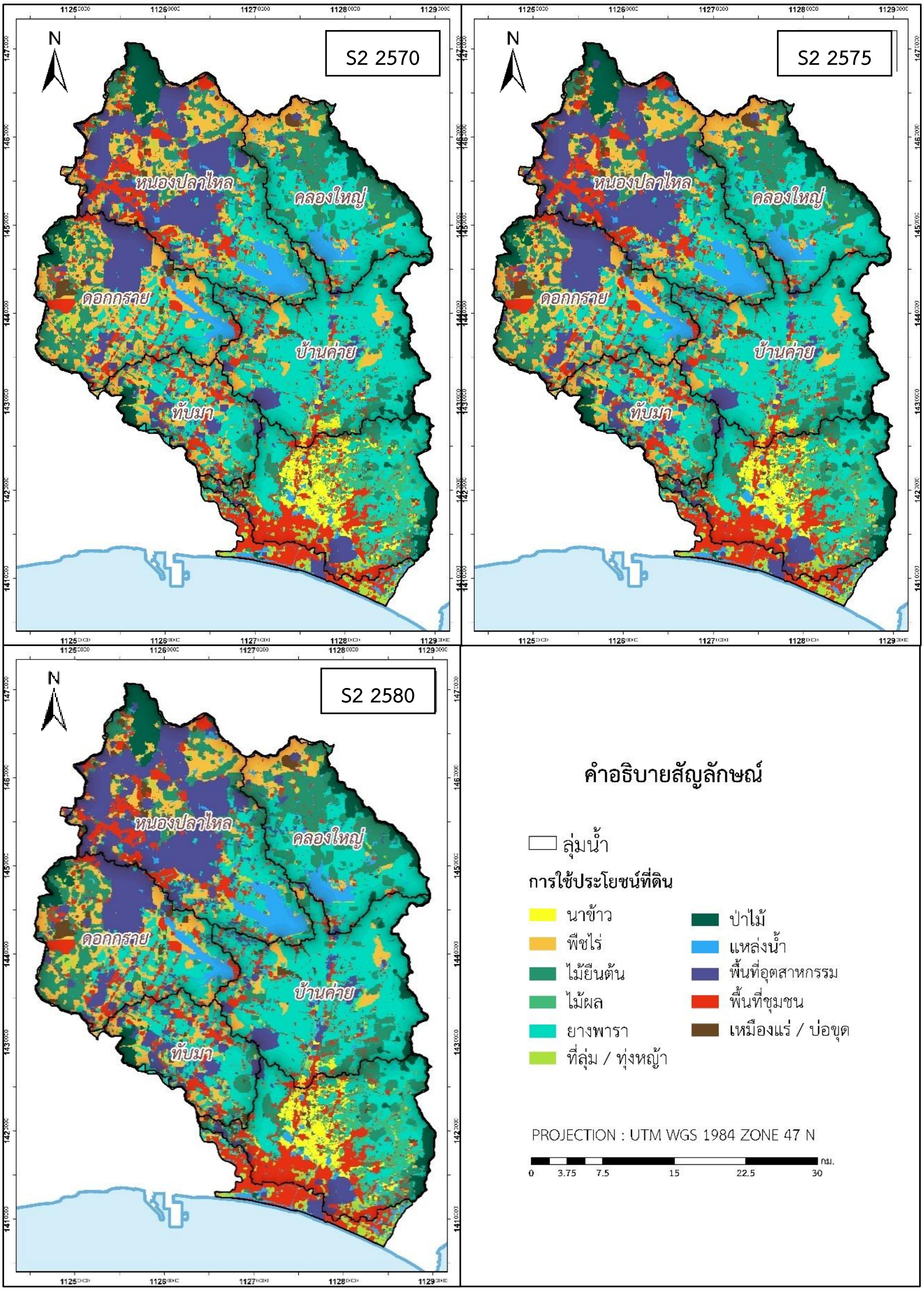
5.2.4.2 การใช้ประโยชน์ที่ดินจากแบบจำลอง CA-Markov สถานการณ์ S2

การใช้ประโยชน์ที่ดินในสถานการณ์ S2 พบว่ามีพื้นที่ยางพารามากที่สุดประมาณร้อยละ 29 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ รองลงมาเป็นไม้ยืนต้น พืชไร่ อุตสาหกรรม และชุมชน มีสัดส่วนใกล้เคียงกันที่ประมาณร้อยละ 10-15 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ พื้นที่อุตสาหกรรมมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นและพื้นที่เพาะปลูกพืชไร่ลดลง เห็นได้ชัดเจนบริเวณตะวันตกของลุ่มน้ำ (ภาพที่ 15) ซึ่งคล้ายคลึงกับสถานการณ์ S1 แต่ในลดลงสัดส่วนที่น้อยกว่า โดยพื้นที่อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.33 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ และพืชไร่ลดลงเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.31 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ในขณะที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทยางพารามีแม้ว่ามีพื้นที่มากที่สุดแต่มีสัดส่วนคงที่ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงต่อปีเพียงร้อยละ 0.01 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ เช่นเดียวกับพื้นที่ชุมชนที่มีอัตราเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 0.08 ต่อปี ในบริเวณอำเภอเมืองระยอง และเขตอุตสาหกรรมทางตอนบนของลุ่มน้ำ อัตราการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ประเภทอื่น ๆ นอกเหนือจากการอภิปราย ดังแสดงในตารางที่ 26 และผลการคำนวณสัดส่วนและความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทดังแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 26 การใช้ประโยชน์ที่ดินลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากแบบจำลอง CA-Markov สถานการณ์ S2

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	2570	2575	2580	อัตราการเปลี่ยนแปลง
	ตร.กม.	ตร.กม.	ตร.กม.	ตร.กม. / ปี
ไม้ยืนต้น	210.85	224.54	233.22	2.24
พืชไร่	222.88	192.28	169.82	-5.31
ป่าไม้	88.12	85.20	82.07	-0.61
ไม้ผล	67.69	57.98	49.96	-1.77
นาข้าว	39.78	36.30	33.22	-0.66
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	58.32	49.22	42.19	-1.61
ยางพารา	510.71	512.96	512.32	0.16
เหมืองแร่/บ่อขุด	26.84	28.12	28.58	0.17
อุตสาหกรรม	215.31	244.56	271.76	5.64
ชุมชน	210.16	217.55	223.97	1.38
แหล่งน้ำ	79.23	81.19	82.79	0.36
รวม	1729.90	1729.90	1729.90	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 15 การใช้ประโยชน์ที่ดินลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2570 2575 และ 2580

จากแบบจำลอง CA-Markov สถานการณ์ S2

สามารถสรุปการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 ของสถานการณ์ S1 และ S2 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ได้ดังตารางที่ 27 สถานการณ์ S1 ยางพาราและพืชไร่มีอัตราลดลง ไม่ยืนต้นเพิ่มขึ้น และมีพื้นที่อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นมาก สำหรับสถานการณ์ S2 พื้นที่เพาะปลูกพืชไร่ลดลง ไม่ยืนต้นและอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น คล้ายกับสถานการณ์ S1 แต่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า และยางพารามีสัดส่วนคงที่ ในส่วนของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นมีอัตราการเปลี่ยนแปลงต่ำ และมีสัดส่วนพื้นที่ค่อนข้างน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละลุ่มน้ำ

ตารางที่ 27 ร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท พ.ศ. 2570 2575 2580 ของสถานการณ์จำลอง S1 และ S2 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	**S1**			**S2**		
	2570	**2575**	**2580**	**2570**	**2575**	**2580**
ไม้ยืนต้น	14.54	15.82	16.58	12.19	12.98	13.48
พืชไร่	12.84	11.19	10.05	12.88	11.11	9.82
ป่าไม้	4.99	4.76	4.55	5.09	4.92	4.74
ไม้ผล	4.76	4.37	4.02	3.91	3.35	2.89
นาข้าว	2.76	2.74	2.73	2.30	2.10	1.92
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	3.60	3.15	2.80	3.37	2.85	2.44
ยางพารา	23.20	21.35	19.72	29.52	29.65	29.62
เหมืองแร่/บ่อขุด	1.54	1.61	1.65	1.55	1.63	1.65
อุตสาหกรรม	14.77	17.37	19.76	12.45	14.14	15.71
ชุมชน	12.19	12.63	12.96	12.15	12.58	12.95
แหล่งน้ำ	4.82	5.01	5.19	4.58	4.69	4.79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อพิจารณาแยกรายลุ่มน้ำ พบว่าบริเวณลุ่มน้ำทับมา ลุ่มน้ำหนองปลาไหล และลุ่มน้ำดอกกราย พบการขยายตัวของเมืองอย่างเด่นชัด ในลุ่มน้ำทับมามีการขยายตัวทั้งพื้นที่อุตสาหกรรมและชุมชนเพิ่มขึ้นมาก โดยเฉพาะในสถานการณ์ S1 มีอัตราเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 1.36 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ เนื่องจากอยู่ในเขตเมืองและมีอาณาเขตติดต่อกับตำบลมาบตาพุดซึ่งเป็นเขตนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ในส่วนของลุ่มน้ำหนองปลาไหล พื้นที่อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นมากบริเวณตอนบนของลุ่มน้ำซึ่งเป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรม โดยสถานการณ์ S1 และ S2 มีอัตราเพิ่มขึ้นของพื้นที่อุตสาหกรรมเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.82 และ 0.76 ของพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ เช่นเดียวกับลุ่มน้ำดอกกรายที่พื้นที่อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นมากบริเวณเขตนิคมอุตสาหกรรมตอนบนของลุ่มน้ำ สถานการณ์ S1 และ S2 มีอัตราเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 0.56 และ 0.38 ของพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ ในขณะที่ลุ่มน้ำคลองใหญ่และลุ่มน้ำบ้านค่าย พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมไม่พบการขยายตัวของพื้นที่เมืองที่ชัดเจน (ตารางที่ 28)

ตารางที่ 28 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเฉลี่ยรายปีของลุ่มน้ำย่อย จากการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580

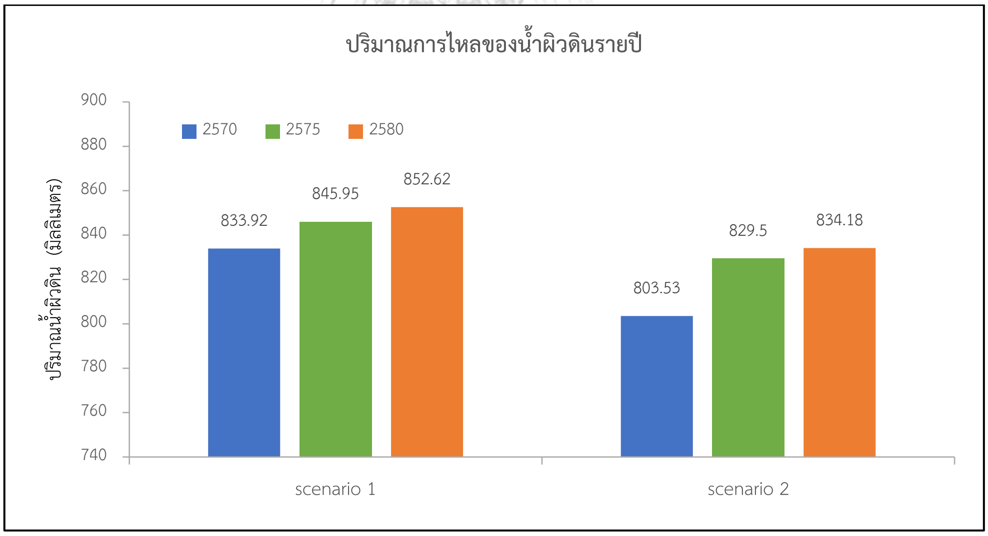
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	ลุ่มน้ำทับมา		ลุ่มน้ำดอกกราย		ลุ่มน้ำหนองปลาไหล		ลุ่มน้ำคลองใหญ่		ลุ่มน้ำบ้านค่าย	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
ไม้ยืนต้น	0.15	0.07	0.07	0.12	-0.03	-0.04	0.41	0.30	0.47	0.13
พืชไร่	-0.58	-0.40	-0.53	-0.58	-0.41	-0.53	-0.16	-0.10	-0.11	-0.17
ป่า	-0.02	-0.01	0.00	-0.01	-0.04	-0.01	-0.09	-0.06	-0.06	-0.09
ไม้ผล	-0.08	-0.12	-0.03	-0.08	-0.07	-0.07	-0.01	-0.02	-0.06	-0.08
นาข้าว	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	-0.15	-0.12	-0.09	-0.09	-0.07	-0.09	-0.05	-0.06	-0.06	-0.07
ยางพารา	-0.71	0.10	-0.13	0.11	-0.17	-0.04	-0.42	-0.27	-0.65	0.14
เหมืองแร่/บ่อขุด	0.04	0.02	0.07	0.01	-0.03	0.02	-0.06	0.01	0.04	0.00
อุตสาหกรรม	1.22	0.37	0.56	0.38	0.83	0.76	0.17	0.13	0.38	0.13
ชุมชน	0.14	0.12	0.08	0.14	-0.01	0.01	0.05	0.03	0.05	0.06
แหล่งน้ำ	0.00	0.00	0.03	0.01	0.02	0.04	0.17	0.04	0.00	0.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.3 ปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

5.3.1 ปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำระยอง พ.ศ. 2570 2575 และ 2580

จากการใช้ข้อมูลการประโยชน์ที่ดินจากการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง CA-Markov มาเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT พบว่าปริมาณน้ำท่ารวมรายปีตั้งแต่ปี 2570 2575 และ 2580 (ภาพที่ 16) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก พ.ศ. 2563 (676.99 มิลลิเมตร) มั้งสองสถานการณ์การจำลอง การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในสถานการณ์ S1 ส่งผลให้เกิดปริมาณน้ำท่าเพิ่มจากปี 2563 มากที่สุดร้อยละ 25.94 เนื่องจากมีสัดส่วนพื้นที่อุตสาหกรรมสูงและยางพาราต่ำกว่าสถานการณ์ S2 อย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 28) ในขณะที่สถานการณ์ S2 มีปริมาณน้ำท่ารายปีน้อยกว่าสถานการณ์ S1 ในทุกปี ลักษณะการเปลี่ยนแปลงน้ำท่ารายปีใน S2 อธิบายได้จากอัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่อุตสาหกรรมที่ต่ำกว่าในสถานการณ์ S1 และมีสัดส่วนพื้นที่เพาะปลูกยางพารามากกว่าซึ่งเป็นพื้นที่ที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ดีกว่าสิ่งปลูกสร้าง จึงเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินลดลง



ภาพที่ 16 ปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำระยองในรายปี พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 ของแต่ละสถานการณ์จำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 และ S2

5.3.2 ปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำย่อยปี พ.ศ. 2570 2575 และ 2580

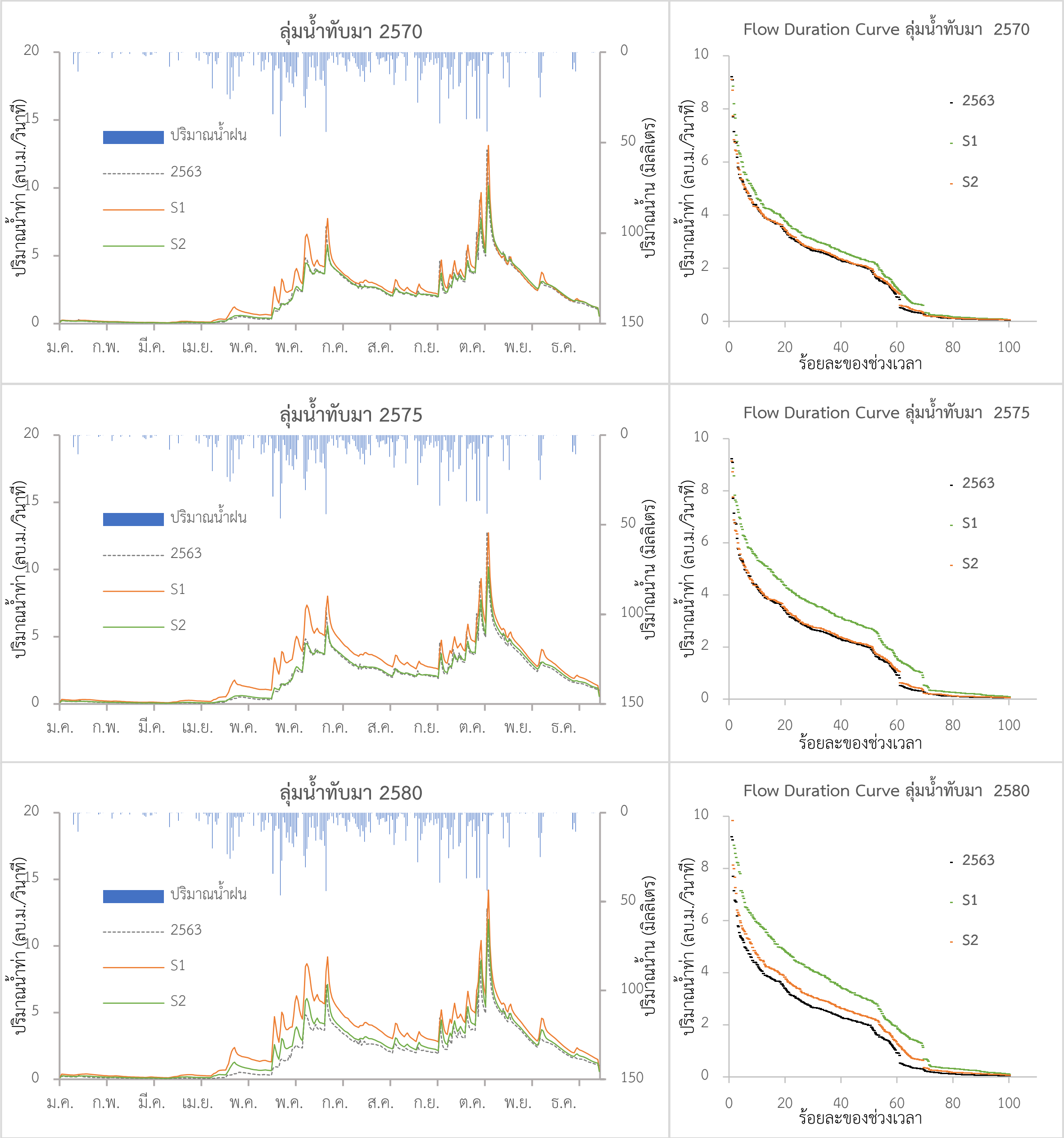
จากการพิจารณากราฟน้ำท่าของลุ่มน้ำย่อย พบว่าลุ่มน้ำทับมามีปริมาณการไหลในลำน้ำรายวันเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2563 มากที่สุดในทั้งสองสถานการณ์จำลอง (ภาพที่ 17) โดยเฉพาะใน S1 จะเห็นได้ว่ากราฟน้ำท่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในทุกปี อัตราการไหลในทุกเปอร์เซ็นต์ไทล์ของ FDC เพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2563 และมีปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดใน พ.ศ. 2580 อัตราการไหลที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 10 (High Flow) และ 50 (Median Flow) ใน FDC ของ พ.ศ. 2563 ลดลงเป็นการไหลที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 30 และ 60 ของ S1 ใน พ.ศ. 2580 ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงน้ำท่าดังกล่าวนี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ตารางที่ 28) กล่าวคือ พื้นที่อุตสาหกรรมในลุ่มน้ำทับมาใน S1 มีอัตราการเพิ่มขึ้นในช่วง พ.ศ. 2570-2580 เฉลี่ยรายปีสูงที่สุดและพื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่ลดลง ทำให้มีปริมาณน้ำท่า พ.ศ. 2580 เพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2563 ถึงร้อยละ 50.17

ในขณะที่สถานการณ์ S2 กราฟน้ำท่าเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2563 เล็กน้อย ไม่เห็นความแตกต่างชัดเจนเมื่อเทียบกับสถานการณ์ S1 แต่เมื่อพิจารณาอัตราการไหลพบว่า พ.ศ. 2570 อัตราการไหลในทุกเปอร์เซ็นต์ไทล์ FDC ของ S2 ใกล้เคียงกับ พ.ศ. 2563 และมีอัตราไหลที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 10 (High Flow) และ 50 (Median Flow) ใน FDC เพิ่มขึ้นใน พ.ศ. 2575 และ 2580 (ตารางที่ 29) เนื่องจากสถานการณ์ S2 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ประเภทสิ่งปลูกสร้างในช่วง 2570-2580 ค่อนข้างน้อย (ตารางที่ 28) ทำให้มีปริมาณน้ำท่าใน S2 เพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2563 ไม่เกินร้อยละ 15

ตารางที่ 29 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากสถานการณ์การใช้ที่ดิน S1 และ S2 ของ พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำของลุ่มน้ำทับมา

เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำ จากอัตราการไหลสูงสุด	2563	2570		2575		2580	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2
10% (High Flow)	4.17	4.59	4.23	5.29	4.35	5.88	4.59
50% (Median Flow)	1.91	2.23	2.00	2.69	2.02	2.94	2.26
90% (Low Flow)	0.07	0.11	0.08	0.08	0.17	0.21	0.18

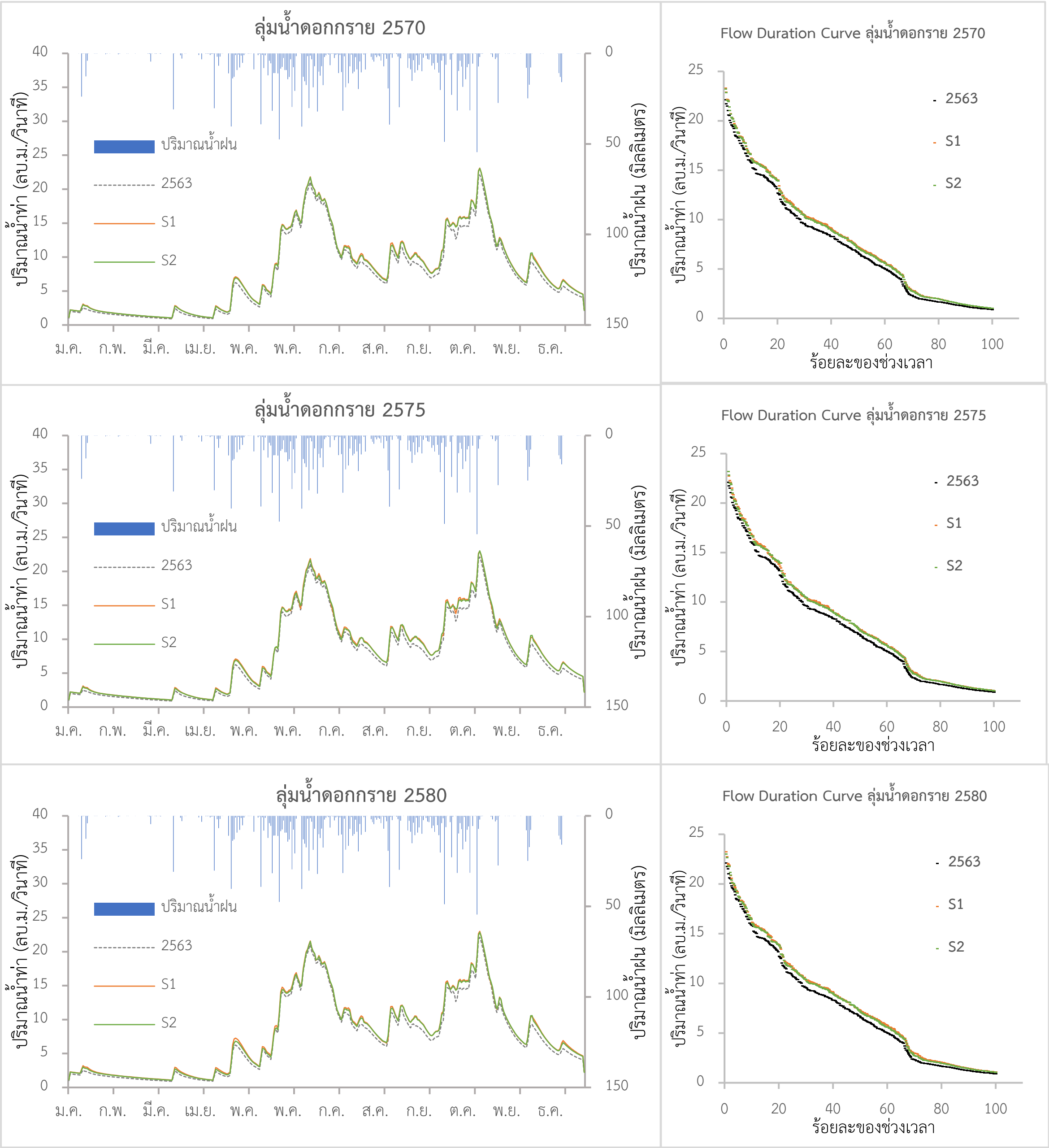
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 17 กราฟน้ำท่า (Hydrograph) และเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำ (Flow Duration Curve) เปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 และ S2 ใน พ.ศ. 2570 2575 2580 ของลุ่มน้ำทับมา

ลุ่มน้ำดอกกรายมีลักษณะคล้ายกับลุ่มน้ำทับมา คือ มีปริมาณการไหลในลำน้ำรายวันเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2563 ในทั้งสองสถานการณ์ (ร้อยละ 6-8) แต่ในปริมาณที่น้อยกว่าของลุ่มน้ำทับมา แม้ว่ากราฟน้ำท่าในทุกปีของลุ่มน้ำดอกกรายไม่มีความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างสถานการณ์จำลอง เนื่องจากพื้นที่อุตสาหกรรมมีอัตราเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่น้อยกว่าลุ่มน้ำทับมา แต่เมื่อพิจารณา FDC

(ภาพที่ 18 และ ตารางที่ 30) จะเห็นได้ว่า ทั้งสถานการณ์ S1 และ S2 มีปริมาณการไหลในตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่เท่ากันเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ 2563 สอดคล้องกับการอัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่อุตาสาหกรรม (ตารางที่ 28) ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่อุตสาหกรรมในช่วง พ.ศ 2570-2580 โดยเฉพาะสถานการณ์ S1 ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 1.22% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ จึงทำให้กราฟน้ำท่าและ FDC เพิ่มสูงกว่า พ.ศ. 2563 และสถานการณ์ S2 อย่างเห็นได้ชัด



ภาพที่ 18 กราฟน้ำท่า (Hydrograph) และเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำ (Flow Duration Curve) เปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 และ S2 ใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 ของลุ่มน้ำดอกกราย

ตารางที่ 30 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากสถานการณ์การใช้ที่ดิน S1 และ S2 ของ พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำของลุ่มน้ำดอกกราย

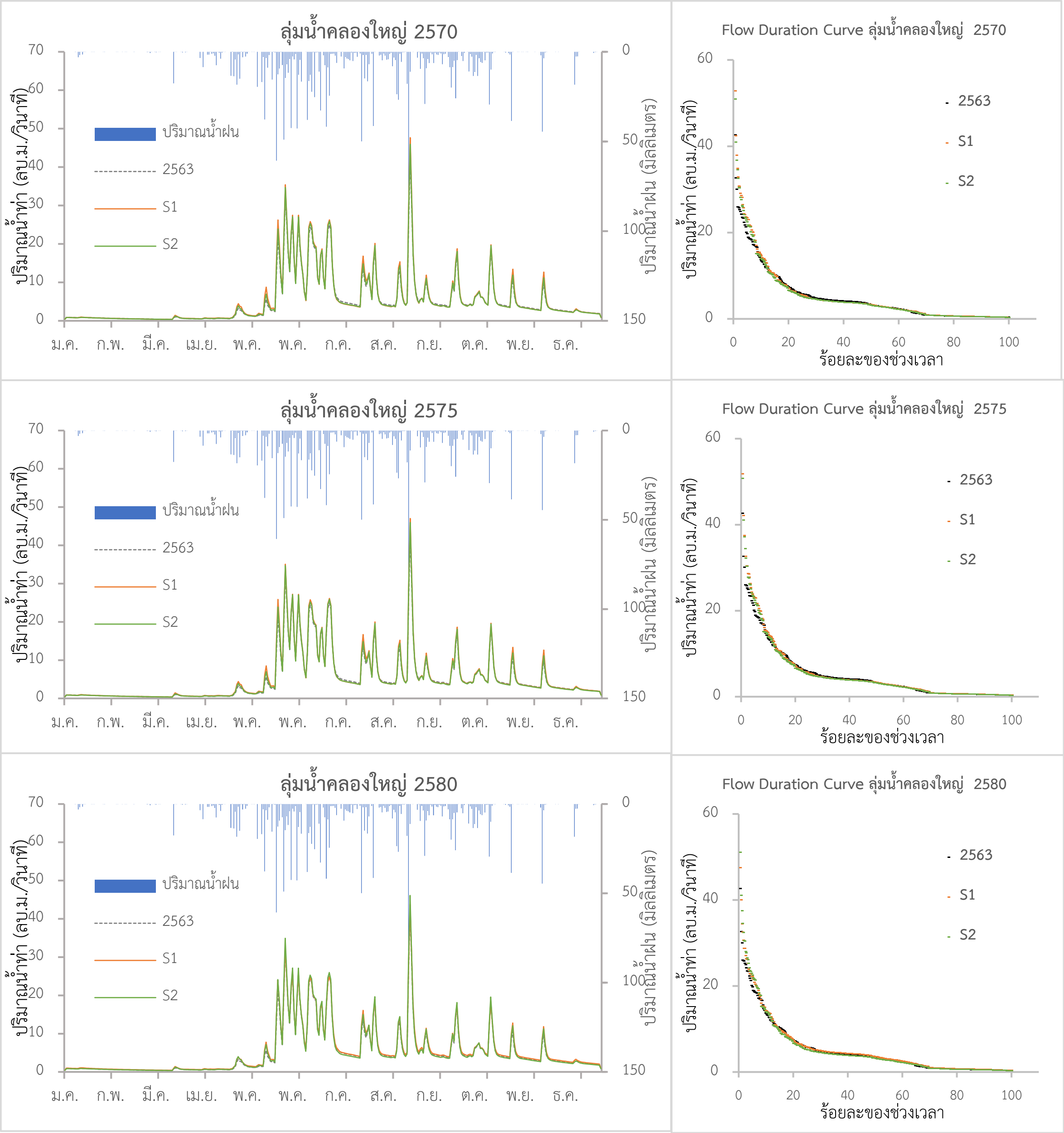
เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากอัตราการไหลสูงสุด	2563	2570		2575		2580	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2
10% (High Flow)	15.74	16.15	16.01	16.16	15.97	16.08	15.99
50% (Median Flow)	6.55	7.17	7.11	7.05	6.98	7.18	7.01
90% (Low Flow)	1.19	1.39	1.39	1.36	1.36	1.40	1.34

สำหรับลุ่มน้ำคลองใหญ่ พบว่ากราฟน้ำท่า พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 มีลักษณะใกล้เคียงกับ พ.ศ. 2563 ในทั้งสองสถานการณ์จำลอง (ภาพที่ 19) เนื่องจากมีอัตราการเปลี่ยนแปลงพื้นที่สิ่งปลูกสร้างน้อยเมื่อเทียบกับลุ่มน้ำทับมาและดอกกราย พื้นที่เกษตรกรรม (ไม้ยืนต้น พืชไร่ ไม้ผล และยางพารา) มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของการเพาะปลูกในอัตราที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 28) ทำให้ปริมาณน้ำท่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก เช่นเดียวกับ FDC ที่มีเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำแต่ละปีใกล้เคียงกับ พ.ศ. 2563 ในทั้งสองสถานการณ์ แต่เมื่อพิจารณาจากค่าปริมาณการไหลจากอัตราสูงสุด (ตารางที่ 31) พบว่าทุกสถานการณ์มีอัตราการไหลสูงสุด (High Flow) ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 10 เพิ่มขึ้นจากพ.ศ. 2563 ทุกปี โดยเฉพาะ S1 เนื่องจากมีอัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่อุตสาหกรรม ในขณะที่อัตราการไหลปานกลาง (Median Flow) ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 และอัตราการไหลที่ต่ำที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 (Low Flow) มีค่าใกล้เคียงกับพ.ศ. 2563

ตารางที่ 31 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากสถานการณ์การใช้ที่ดิน S1 และ S2 ของ พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำของลุ่มน้ำคลองใหญ่

เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากอัตราการไหลสูงสุด	2563	2570		2575		2580	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2
10% (High Flow)	12.74	13.78	13.44	14.11	13.78	13.00	12.80
50% (Median Flow)	3.30	3.40	3.20	3.34	3.24	3.54	3.08
90% (Low Flow)	0.54	0.54	0.52	0.54	0.52	0.61	0.53

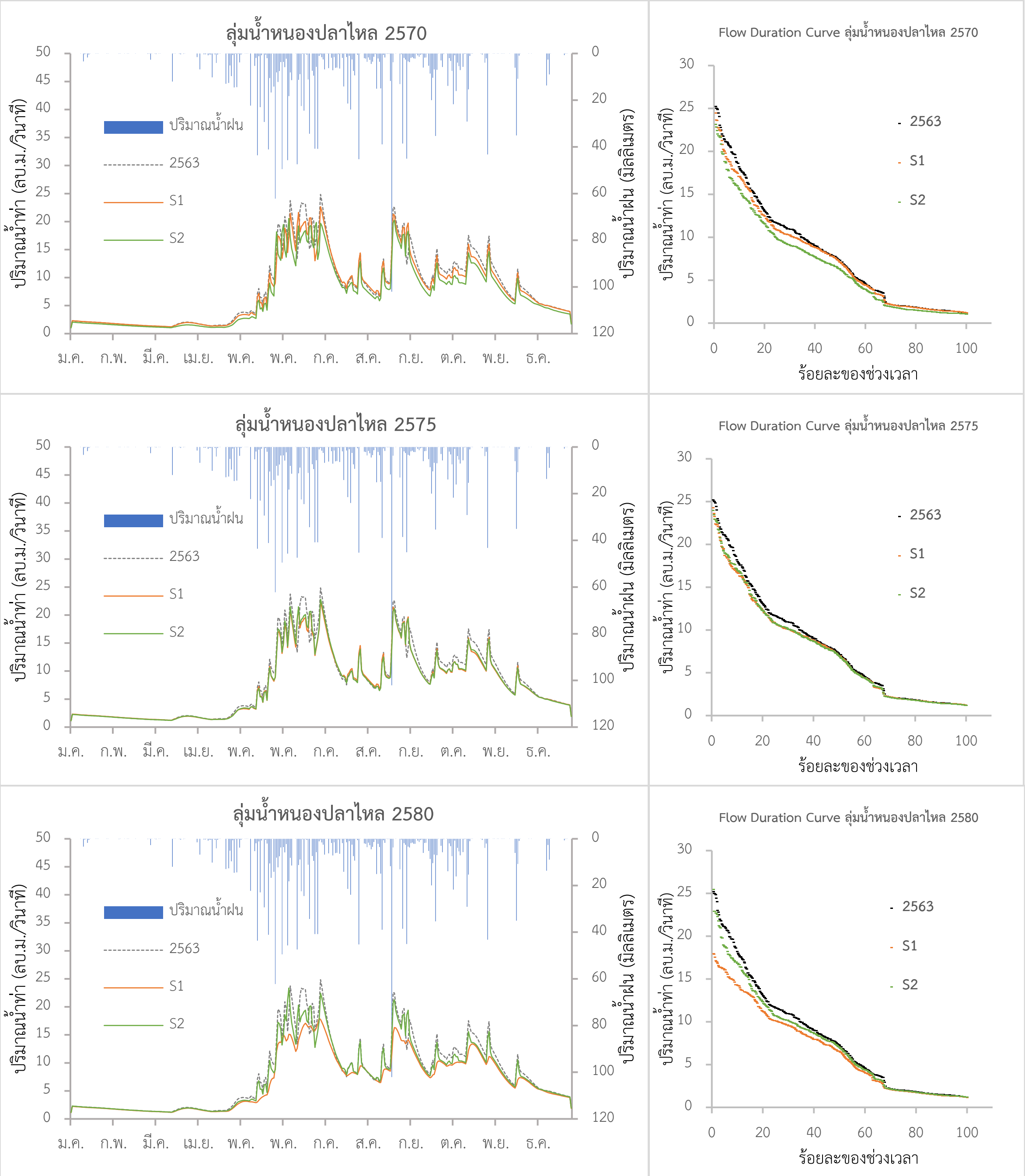
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 19 กราฟน้ำท่า (Hydrograph) และเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำ (Flow Duration Curve) เปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 และ S2 ใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 ของลุ่มน้ำคลองใหญ่

ในกรณีลุ่มน้ำหนองปลาไหล พบว่ากราฟน้ำท่า พ.ศ. 2570 ของสถานการณ์ S2 มีปริมาณน้ำท่าน้อยกว่าสถานการณ์ S1 และน้อยกว่า พ.ศ. 2563 ด้วย แต่ใน พ.ศ. 2575 และ 2580 ปริมาณน้ำท่าในทุกสถานการณ์มีความแตกต่างกันไม่ชัดเจนระหว่างทั้งสองสถานการณ์จำลอง (ภาพที่ 20) เมื่อพิจารณา FDC (ตารางที่ 32) พบว่าปริมาณน้ำท่าในทุกสถานการณ์มีแนวโน้มลดลงจากพ.ศ.

2563 ทุกปี โดยเฉพาะใน พ.ศ. 2580 มีปริมาณน้ำท่าน้อยที่สุด แม้ว่าพื้นที่อุตสาหกรรมมีอัตราการเพิ่มขึ้นในทั้งสองสถานการณ์จำลอง (ตารางที่ 28) แต่ส่วนใหญ่อยู่บริเวณตอนเหนือของลุ่มน้ำในเขตนิคมอุตสาหกรรม ในขณะที่ส่วนล่างของลุ่มน้ำกลับมีพื้นน้ำเพิ่มขึ้น แม้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าที่ในลุ่มน้ำตอนล่างลดลงทำให้ปริมาณน้ำท่าโดยรวมของลุ่มน้ำหนองปลาไหลมีแนวโน้มลดลงในแต่ละปีเมื่อพื้นน้ำขยายตัวมากขึ้น



ภาพที่ 20 กราฟน้ำท่า (Hydrograph) และเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำ (Flow Duration Curve) เปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 และ S2 ใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 ของลุ่มน้ำหนองปลาไหล

ตารางที่ 32 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากสถานการณ์การใช้ที่ดิน S1 และ S2 ของ พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำของลุ่มน้ำหนองปลาไหล

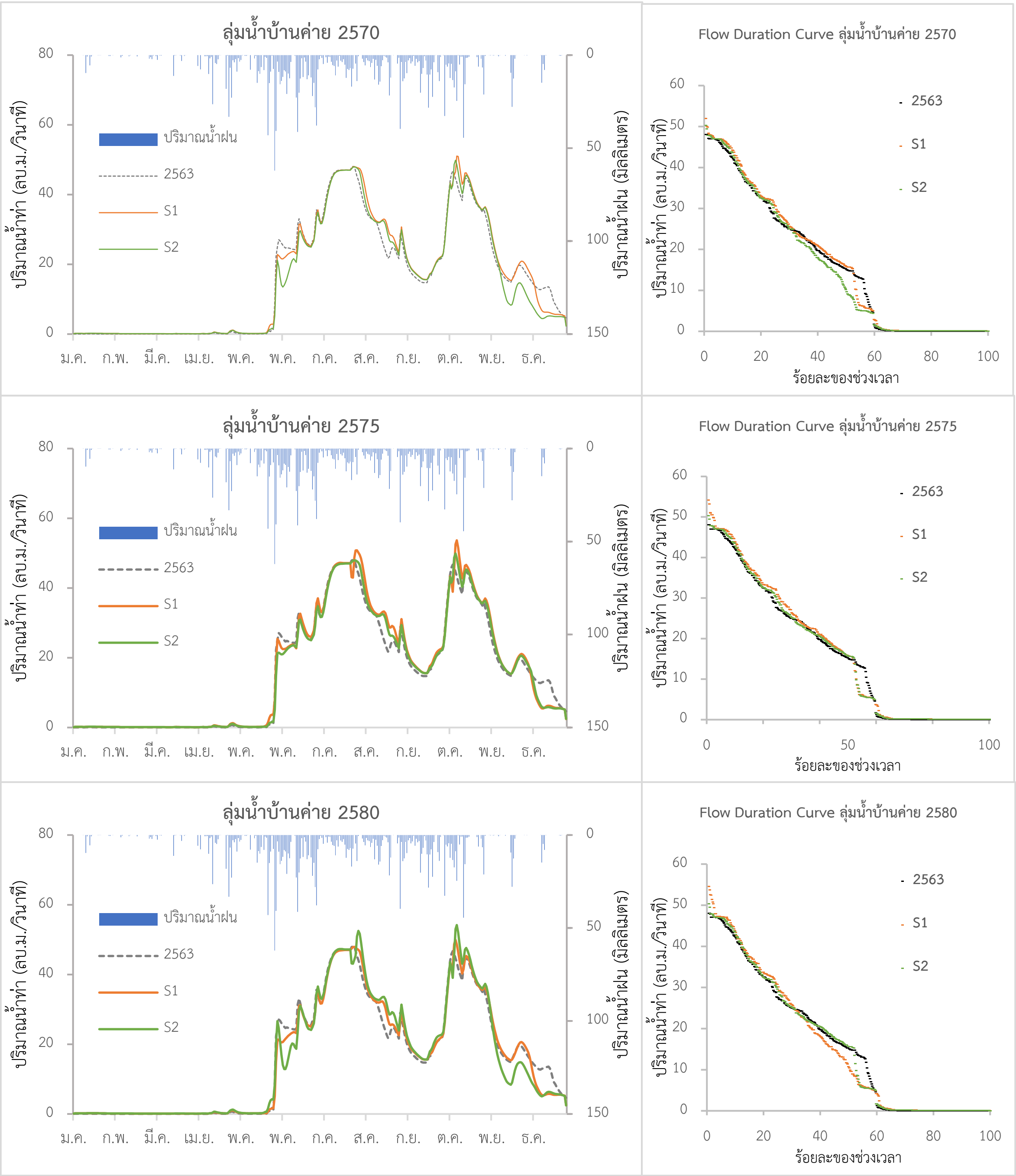
เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากอัตราการไหลสูงสุด	2563	2570		2575		2580	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2
10% (High Flow)	17.62	16.84	15.51	16.62	16.93	14.21	16.43
50% (Median Flow)	7.09	6.93	6.13	6.71	6.73	6.45	6.73
90% (Low Flow)	1.49	1.46	1.22	1.45	1.43	1.36	1.40

ในขณะที่ลุ่มน้ำบ้านค่าย ลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินคล้ายกับลุ่มน้ำคลองใหญ่ คือพื้นที่อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับลุ่มน้ำทับมา ลุ่มน้ำดอกกราย ลุ่มน้ำหนองปลาไหล ในขณะพื้นที่เกษตรกรรม ได้แก่ ไม้ยืนต้น พืชไร่ ไม้ผล และยางพารา มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของการเพาะปลูกในอัตราที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 28) จึงทำให้ปริมาณน้ำท่าในอัตราการไหลทุกเปอร์เซ็นต์ไทล์ ในแต่ละสถานการณ์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่แตกต่างจาก พ.ศ. 2563 (ตารางที่ 33) จากกราฟน้ำท่า (ภาพที่ 21) จะเห็นว่าในช่วงเดือนมกราคมถึงต้นเดือนพฤษภาคม ลุ่มน้ำบ้านค่ายมีปริมาณน้ำท่าน้อยมากหรือไม่มีเลย และมีปริมาณน้ำเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมและลดลงอีกครั้งในช่วงเดือนพฤศจิกายนสอดคล้องกับปริมาณฝนของลุ่มน้ำระยอง แบบจำลองไม่สามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าตั้งแต่ช่วงเปอร์เซ็นไทล์ที่ 10-60 ได้ในทั้งสองสถานการณ์จำลองได้อย่างถูกต้อง (ภาพที่ 33) เนื่องจากปริมาณการไหลในลำน้ำถูกควบคุมจากอ่างเก็บน้ำหลัก 3 แห่ง และมีฝายน้ำล้นบริเวณเหนือจุดตรวจวัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 33 เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากสถานการณ์การใช้ที่ดิน S1 และ S2 ของ พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 จากเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำของลุ่มน้ำบ้านค่าย

เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากอัตราการไหลสูงสุด	2563	2570		2575		2580	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2
10% (High Flow)	40.92	43.73	42.48	42.52	42.35	41.89	42.35
50% (Median Flow)	15.09	15.74	8.93	15.67	15.61	9.88	15.60
90% (Low Flow)	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10



ภาพที่ 21 กราฟน้ำท่า (Hydrograph) และเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำ (Flow Duration Curve) เปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 และ S2 ใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 ของลุ่มน้ำบ้านค่าย

5.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ากับสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 ของลุ่มน้ำระยอง พบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท พืชไร่ ยางพารา อุตสาหกรรม และชุมชน สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าได้มากที่สุด มีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.89-0.99 (ตารางที่ 34) ในสถานการณ์ S1 ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่อุตสาหกรรมและชุมชนเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 23) และเมื่อพื้นที่เพาะปลูกประเภทพืชไร่และยางพาราลดลง (ภาพที่ 22) ในสถานการณ์ S2 มีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่พบว่าการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ยางพาราไม่มีผลต่อปริมาณน้ำท่ามากนักแม้ว่าจะมีค่า R^2 สูง เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ยางพาราค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น (ตารางที่ 27)

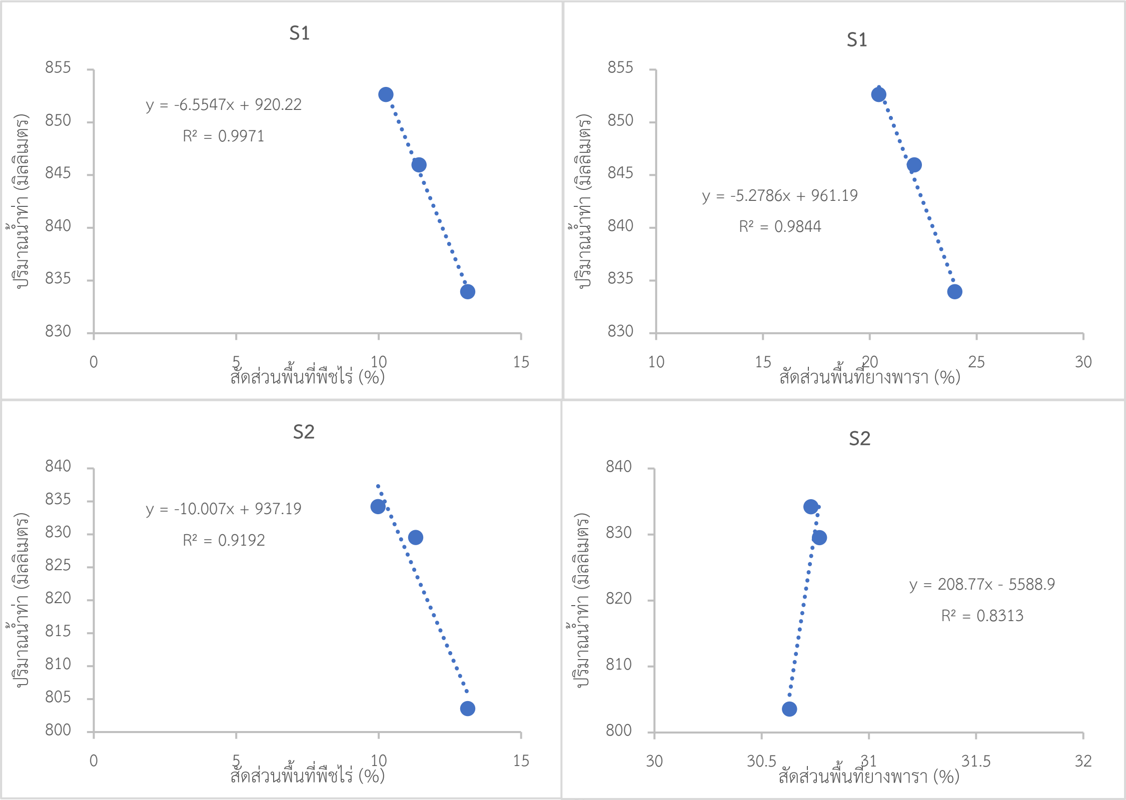
การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เพาะปลูกไม้ผล ของทั้ง S1 และ S2 สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า (ตารางที่ 34) มีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.85-0.98 ดังนั้นจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าสูง ทว่าแต่มีสัดส่วนของการใช้ประโยชน์ที่ดินและอัตราการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ประเภทนี้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น จึงทำให้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในภาพรวมของลุ่มน้ำระยองมากนัก สำหรับไม้ยืนต้น นาข้าว ที่ลุ่มและทุ่งหญ้า แหมืองแร่และบ่อขุด และแหล่งน้ำ มีค่า R^2 สูงเช่นเดียวกัน แต่ความสัมพันธ์ไม่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของน้ำท่า เนื่องจากมีสัดส่วนหรืออัตราการเปลี่ยนแปลงน้อย (ตารางที่ 27)

ตารางที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง

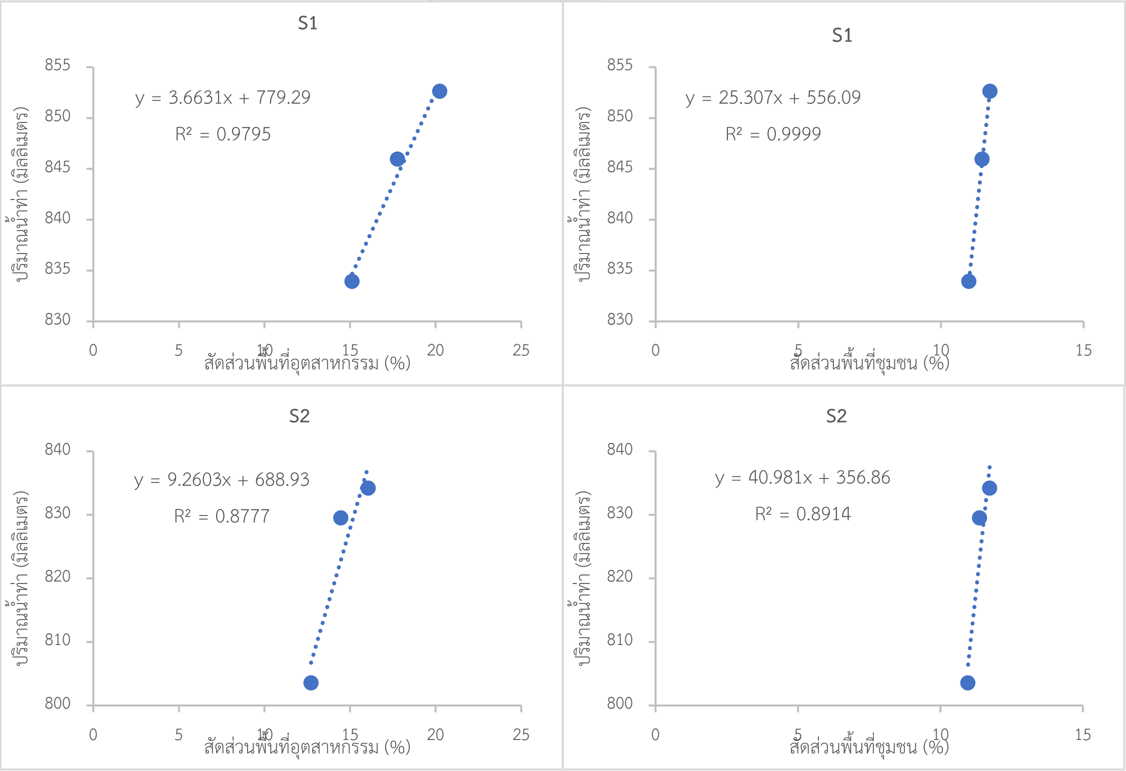
ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	**S1**		**S2**	
	R^2	**สมการความสัมพันธ์**	R^2	**สมการความสัมพันธ์**
ไม้ยืนต้น	0.99	y = 8.9584x + 699.31	0.94	y = 23.688x + 508.23
พืชไร่	0.99*	y = -6.5547x + 920.22	0.92*	y = -10.007x + 937.19
ป่าไม้	0.98*	y = -43.707x + 1036.9	0.85*	y = -86.968x + 1218.7
ไม้ผล	0.98*	y = -25.015x + 955.73	0.90*	y = -29.79x + 923.89
นาข้าว	0.88	y = -581.93x + 2512.4	0.89	y = -75.887x + 989.36
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	0.99	y = -23.526x + 908.31	0.92	y = -35.088x + 907.78
ยางพารา	0.98*	y = -5.2786x + 961.19	0.83	y = 208.77x - 5588.9
เหมืองแร่/บ่อขุด	0.99	y = 156.86x + 594.23	0.99	y = 281.67x + 372.67
อุตสาหกรรม	0.98*	y = 3.6631x + 779.29	0.88*	y = 9.2603x + 688.93
ชุมชน	0.99*	y = 25.307x + 556.09	0.89*	y = 40.981x + 356.86
แหล่งน้ำ	0.99	y = 50.821x + 594.63	0.91	y = 149.76x + 135

หมายเหตุ: *มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท พืชไร่ (ซ้าย) ยางพารา (ขวา) ของลุ่มน้ำระยอง สถานการณ์ S1 และ S2



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท อุตสาหกรรม (ซ้าย) ชุมชน (ขวา) ของลุ่มน้ำระยอง สถานการณ์ S1 และ S2

เมื่อพิจารณาระดับลุ่มน้ำย่อย พบว่าลุ่มน้ำทับมามีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทเด่นชัดที่สุดในทั้งสองสถานการณ์จำลอง โดยเฉพาะพืชไร่ อุตสาหกรรม และชุมชน ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่มากในลุ่มน้ำทับมา การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ดังกล่าวมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ามากที่สุด ค่า R^2 ของทุกสถานการณ์จำลองอยู่ระหว่าง 0.67-0.99 (ตารางที่ 35) การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำทับมา เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่อุตสาหกรรมและชุมชน และการลดลงของพื้นที่พืชไร่ (ภาพที่ 24 และ 25) สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทป่าไม้ และไม้ผล มีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.86-0.99 และมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าเช่นเดียวกัน แต่มีสัดส่วนและอัตราการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในระหว่าง พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 น้อย จึงไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงพื้นที่พืชไร่และสิ่งปลูกสร้าง (ตารางที่ 28)

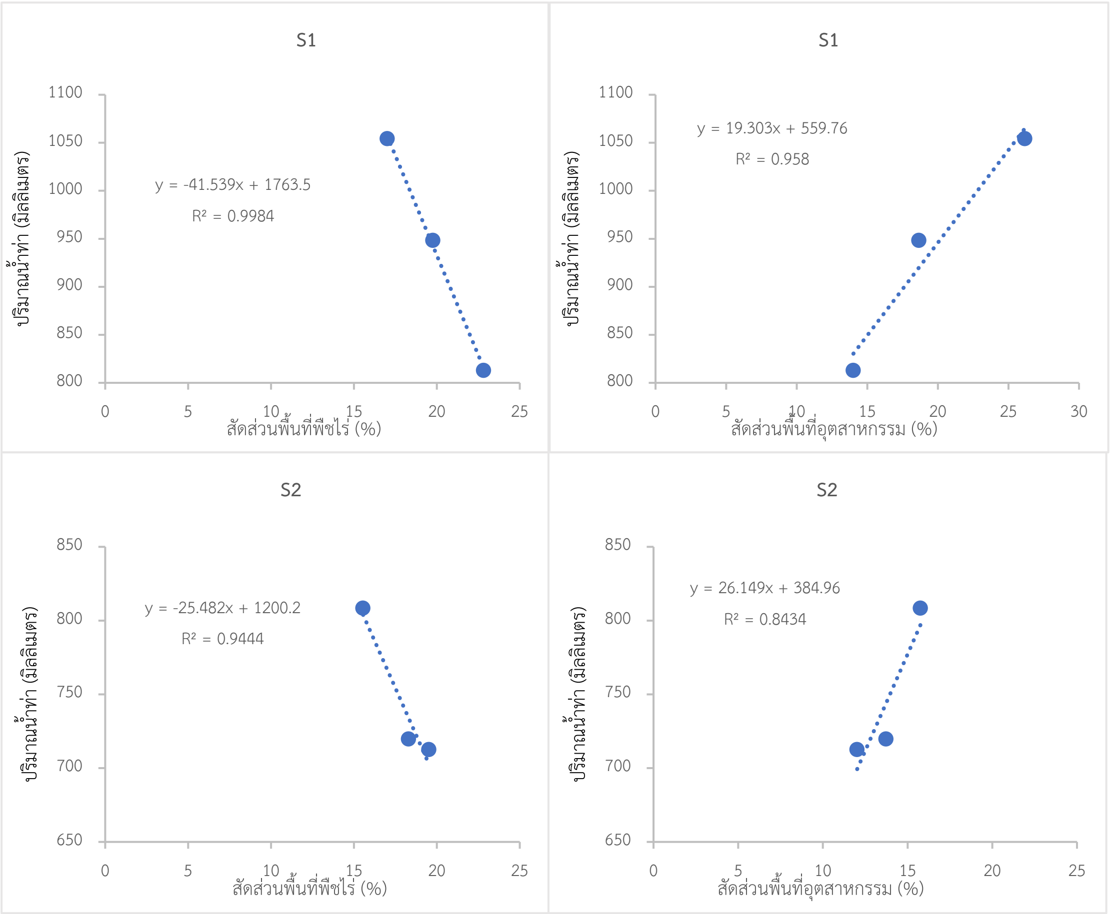
ในส่วนของยางพาราซึ่งมีสัดส่วนและอัตราการเปลี่ยนแปลงพื้นที่สูงของทั้งสองสถานการณ์ พบว่าในสถานการณ์ S1 ยางพารามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าสูงเช่นเดียวกับพืชไร่และสิ่งปลูกสร้าง มีค่า R^2 เท่ากับ 0.96 และมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าอย่างงชัดเจนเช่นเดียวกับพืชไร่และสิ่งปลูกสร้าง ในขณะที่ S2 สมการความสัมพันธ์ไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าได้อย่างสมเหตุสมผล เมื่อมีอัตราการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ยางพาราต่ำ ทำให้การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในสถานการณ์ S2 ไม่ชัดเจนมากนัก เช่นเดียวกับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท ไม้ยืนต้น นาข้าว ที่ลุ่มและทุ่งหญ้า เหมืองแร่และบ่อขุด และแหล่งน้ำ ดังตารางที่ 35

ตารางที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มทับมา

	S1		S2	
ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	**R2**	**สมการความสัมพันธ์**	**R2**	**สมการความสัมพันธ์**
ไม้ยืนต้น	0.89	y = 140.45x + 113.34	0.44	y = 90.523x + 290.08
พืชไร่	0.99*	y = -41.539x + 1763.5	0.94*	y = -25.482x + 1200.2
ป่าไม้	0.97*	y = -1265.4x + 6073.7	0.99*	y = -1259.4x + 5936
ไม้ผล	0.98*	y = -294.43x + 2091.1	0.93*	y = -82.138x + 1003
นาข้าว	0.28	y = 20428x - 3477.8	0.53	y = -683.38x + 852.59
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	0.99	y = -156.32x + 1494.7	0.84	y = -82.894x + 1003.6
ยางพารา	0.96	y = -33.021x + 1809.8	0.91	y = 76.301x - 2037
เหมืองแร่/บ่อขุด	0.85	y = 453.75x + 281.35	0.96	y = 493.68x + 29.437
อุตสาหกรรม	0.96*	y = 19.303x + 559.76	0.84*	y = 26.149x + 384.96
ชุมชน	0.99*	y = 177.97x - 1542.5	0.94*	y = 2328.7x - 1780.1
แหล่งน้ำ	0.99	y = 8051.9x - 8053.1	0.81	y = 77.767x - 318.17

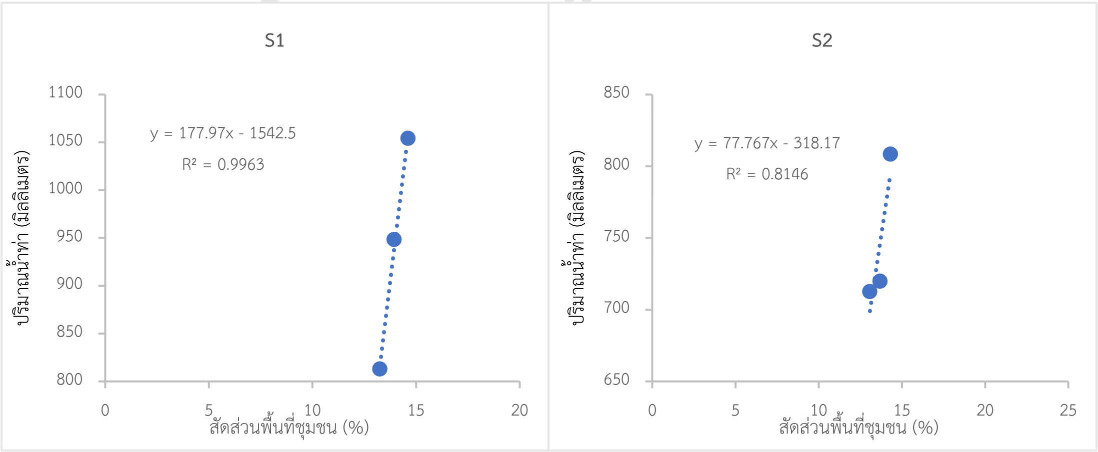
หมายแหตุ: *มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 24ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท พืชไร่ (ซ้าย) อุตสาหกรรม (ขวา) ของลุ่มน้ำระยอง สถานการณ์ S1 และS2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทชุมชน ของลุ่มน้ำทับมา สถานการณ์ S1 และ S2

สำหรับลุ่มน้ำอื่น ๆ พบว่า R^2 ระหว่างปริมาณน้ำท่ากับสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินมีค่าสูง แต่สมการความสัมพันธ์ไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าจากสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินได้อย่างสมเหตุสมผล เนื่องจากปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อยอื่น ๆ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและไม่ชัดเจนในแต่ละช่วงปี ในทุกสถานการณ์จำลอง หรือสามารถตีความได้ว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำย่อย ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าได้อย่างชัดเจน (ภาพที่ 18-21)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ผลจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำระยองใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 ด้วยแบบจำลอง SWAT ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพแบบจำลองในการจำลองปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำระยองในช่วง พ.ศ. 2558-2563 อยู่ในเกณฑ์พอใช้ในภาพรวม ลุ่มน้ำดอกกรายคำนวณปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริงมากที่สุด ลุ่มน้ำคลองใหญ่การสอบเทียบแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ดีแต่ค่าการตรวจสอบแบบจำลองต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับเล็กน้อย สำหรับลุ่มน้ำหนองปลาไหลมีค่าการสอบเทียบต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับแต่มีค่าการตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ดี ในส่วนของลุ่มน้ำทับมา แม้ว่าการจำลองปริมาณน้ำท่าช่วงที่มีอัตราการไหลสูง (High flow) ยังไม่ถูกต้องมากนักแต่สามารถจำลองปริมาณน้ำท่าช่วงอัตราการไหลต่ำ (Low flow) ได้ถูกต้อง ในขณะที่ลุ่มน้ำบ้านค่าย แบบจำลอง SWAT ไม่สามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าให้ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริงได้ เนื่องจากปริมาณการไหลในลำน้ำถูกควบคุมด้วยฝายบ้านค่ายที่บริเวณใกล้เคียงกับจุดตรวจวัดและมีการผันน้ำเพื่อใช้ในระบบสาธารณูปโภค เช่นเดียวกับการศึกษาของ Wang et al. (2023) ซึ่งได้ระบุว่าแบบจำลอง SWAT ยังมีข้อจำกัดบางประการในการจำลองปริมาณน้ำล้นจากอ่างเก็บน้ำและฝาย

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินพ.ศ. 2553 2556 และ 2559 พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของลุ่มน้ำระยองเป็นพื้นที่เกษตรกรรม การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพืชไร่ลดลงและนิยมปลูกยางพารามากในช่วง พ.ศ. 2553-2556 แต่ในช่วง พ.ศ. 2556-2559 พื้นที่ยางพาราเริ่มลดลงเปลี่ยนสภาพไปเป็นพื้นที่ไม้ยืนต้นมากขึ้น มีการปลูกพืชชนิดอื่นควบคู่ไปกับการปลูกยางพาราทำให้พื้นที่ยางพาราลดลงและเปลี่ยนสภาพไปเป็นไม้ยืนต้นซึ่งหมายความรวมถึงการปลูกพืชผสมผสานเพิ่มมากขึ้น สำหรับพื้นที่สิ่งปลูกสร้างพบว่ามีอัตราเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะในช่วงตั้งแต่ พ.ศ. 2556 เป็นต้นมา มีอัตราการกลายเป็นเมืองอย่างรวดเร็วจากการขยายตัวของพื้นที่อุตสาหกรรม การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงในอนาคตจึงกำหนดความเป็นไปได้ 2 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์ที่ 1 พืชไร่และยางพาราลดลง ไม้ยืนต้นและอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น และสถานกาณ์ที่ 2 พืชไร่ลดลง ไม้ยืนต้น ยางพาราและอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการตรวจสอบความถูกต้องในการคาดการณ์ของแบบจำลองทั้ง 2 สถานการณ์ด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน พ.ศ. 2563 มีผลการตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ดี สามารถใช้คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตได้

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 พบการขยายตัวของเมืองชัดเจนที่สุดในลุ่มน้ำหนองปลาไหลและลุ่มน้ำดอกกราย ซึ่งมีพื้นที่อุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น

บริเวณตอนบนของลุ่มน้ำซึ่งเป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรม สำหรับลุ่มน้ำทับมามีการขยายตัวทั้งพื้นที่อุตสาหกรรมและชุมชน เนื่องจากอยู่ในเขตเมืองและมีอาณาเขตติดต่อกับตำบลมาบตาพุดซึ่งเป็นเขตนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ในขณะที่ลุ่มน้ำคลองใหญ่และลุ่มน้ำบ้านค่ายไม่พบการขยายตัวของเมืองที่ชัดเจน เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งนิยมปลูกยางพารามากในบริเวณด้านตะวันออกและทำนาในบริเวณที่ลุ่มริมฝั่งแม่น้ำ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Tontisirin et al. (2017) ที่ได้คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2570 ในพื้นที่โครงการพัฒนาภาคตะวันออกพบว่าพื้นที่เกษตรกรรมโดยเฉพาะพืชไร่ลดลงและมีการขยายตัวเป็นเมืองย่างรวดเร็ว

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำระยองใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 พบว่าทั้งสถานการณ์ที่ 1 และ 2 ปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกปีอย่างต่อเนื่อง การเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพืชไร่ ยางพารา อุตสาหกรรม และชุมชนสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำระยองได้มากที่สุด เมื่อพิจารณาลุ่มน้ำย่อยพบว่า ลุ่มทับมา และลุ่มน้ำดอกกราย และลุ่มน้ำคลองใหญ่ มีปริมาณการไหลในลำน้ำและอัตราการไหลสูงสุดเพิ่มขึ้นจาก พ.ศ. 2563 มากที่สุด การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำย่อยสอดคล้องกับสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน กล่าวคือ หากในลุ่มน้ำมีพื้นที่อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำท่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้จึงทำให้เกิดน้ำไหลบ่าบนผิวดินเพิ่มขึ้น สำหรับลุ่มน้ำหนองปลาไหล แม้ว่าพื้นที่อุตสาหกรรมที่เพิ่มขึ้นทางตอนบนของลุ่มน้ำแต่พื้นที่แหล่งน้ำทางตอนใต้ของลุ่มน้ำ (อ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล) มีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่เกิดน้ำท่า จึงทำให้ปริมาณน้ำท่ารวมของลุ่มน้ำหนองปลาไหลมีแนวโน้มลดลงในทุกปี และสำหรับลุ่มน้ำบ้านค่าย มีการควบคุมการไหลในลำน้ำจากฝายและมีการสูบน้ำตลอดแนวลำน้ำ จึงส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่ามากนัก จากผลการศึกษานี้จึงสามารถสรุปเพิ่มเติมได้ว่าปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำระยองในอีก 5-15 ปีข้างหน้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยเฉพาะภายในลุ่มน้ำทับมา ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำระยองมากกว่าลุ่มน้ำย่อยอื่น ดังนั้นลุ่มน้ำทับมาจึงมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมได้มากที่สุด

6.2 ปัญหาและอุปสรรค

6.2.1 พื้นที่ลุ่มน้ำระยองมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ มีความลาดชันน้อย ทำให้การจำลองทิศทางไหลของลำน้ำ (Flow direction) มีความคลาดเคลื่อนสูง ในการศึกษานี้เลือกใช้ DEM ที่มีความละเอียด 90 x 90 เมตร ที่ได้ทำการปรับค่าความถูกต้อง (Accuracy) ซึ่งสามารถจำลองทิศทางการไหลของลำน้ำได้ใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษามากที่สุด ทำให้ข้อมูลอื่น ๆ ได้แก่ ข้อมูลการใช้

ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลชุดดิน มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 90 x 90 เมตร ด้วยเช่นกัน ส่งผลให้การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยแบบจำลอง CA-Markov มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่จำกัด

6.2.2 ขั้นตอนการกำหนด HRUs การศึกษานี้กำหนดร้อยละขึ้นต่ำของขนาดพื้นที่ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ร้อยละ 15) ชุดดิน (ร้อยละ 10) และช่วงชั้นความลาดชัน (ร้อยละ 10) ซึ่งพบว่าหากพื้นที่เหล่านี้มีขนาดเล็ก จะทำให้ไม่ถูกกำหนดให้เป็น HRUs และถูกรวมไปกับพื้นที่โดยรอบที่มีลักษณะทางกายภาพแบบอื่น ๆ ส่งผลต่อความถูกต้องของการจำลองน้ำท่าในลุ่มน้ำ เช่น ลุ่มหนองปลาไหลมีการขยายตัวของพื้นที่เมืองอย่างรวดเร็วในบริเวณตอนบนของลุ่มน้ำ ทำให้มีปริมาณน้ำท่าเพิ่มมากขึ้น แต่ด้านล่างของลุ่มน้ำเป็นที่ตั้งของอ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล ทำให้ในสถานการณ์จำลองมีการขยายตัวของอ่างเก็บน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้การเกิด HRUs ที่เป็นแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น ในขณะที่ HRUs ที่เป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นมีขนาดเล็กลงหรือแม้กระทั่งหายไป ส่งผลให้การคำนวณปริมาณน้ำท่าของทั้งลุ่มน้ำไม่ถูกต้องมากนัก

6.2.3 แบบจำลอง SWAT ยังมีข้อจำกัดในการคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำและฝาย แบบจำลองกำหนดให้ใช้ข้อมูลการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำสูงสุดและต่ำสุดและปริมาณการผันน้ำไปใช้ในระบบสาธารณูปโภคเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน จึงทำให้การจำลองปริมาณน้ำท่าในระดับรายวันยังไม่ถูกต้องมากนัก

6.2.4 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ของกรมพัฒนาที่ดินมีความแตกต่างกันระหว่างในอดีตและปัจจุบัน โดยปัจจุบันมีการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ละเอียดมากยิ่งขึ้นแตกต่างจากในอดีต ส่งผลให้เกิดมีความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากการจำแนกใหม่ตามวิธีการศึกษานี้

Chulalongkorn University

6.2.5 แบบจำลอง CA-Markov คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตด้วยความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนพื้นที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทที่แตกต่างกันระหว่าง 2 ช่วงเวลาเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยองช่วงหลังจาก พ.ศ. 2559 ที่มีอัตราการขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่าง พ.ศ. 2553-2559

6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อลักษณะน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT หากกำหนดร้อยละขั้นต่ำในการพิจารณาจะทำให้ได้ HRUs ที่มีความละเอียดมากขึ้น การคำนวณปริมาณน้ำท่าของ HRUs มีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ดี การกำหนดความสอดคล้องที่ละเอียดสูงจะทำให้มี HRUs มากเกินไปการประมวลผลแบบจำลองจะดังใช้เวลามากขึ้นรวมถึงใช้อุปกรณ์ที่มีหน่วยความจำสูง

6.3.2 การศึกษานี้ประมาณค่าน้ำฝนด้วยวิธีการ IDW สถานีอุตุนิยมวิทยา 17 สถานี (ภาพที่ 7) ซึ่งไม่ครบคลุมทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำโดยเฉพาะตอนบนของพื้นที่ หากใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากเรดาร์ตรวจอากาศหรือภาพดาวเทียมแล้วนำมาปรับความละเอียดเชิงพื้นที่ให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา จะช่วยทำให้ปริมาณน้ำฝนมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการจำลองปริมาณน้ำท่าในแต่ละลุ่มน้ำได้ดียิ่งขึ้น

6.3.3 หากมีการศึกษาเกี่ยวกับการจำลองปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีอ่างเก็บน้ำหรือฝาย ควรใช้แบบจำลอง SWAT-M (The modified SWAT) ซึ่งเป็นแบบจำลอง SWAT ที่มีการพัฒนาเพิ่มเติมสำหรับการคำนวณปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำที่ถูกควบคุมด้วยเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ ในแบบจำลองนี้มีการพิจารณาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับอ่างเก็บน้ำมากขึ้น และสามารถคำนวณการกักเก็บน้ำและการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (Wang et al., 2023)

6.3.4 สำหรับการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ที่เมืองขยายตัวอย่างรวดเร็ว ควรเลือกใช้แบบจำลองที่มีการพิจารณาปัจจัยทางด้านสังคมและเศรษฐกิจร่วมด้วย เพื่อให้สามารถคาดการณ์การขยายตัวของเมืองในอนาคตได้ดียิ่งขึ้น แบบจำลอง CLUE-S เป็นอีกหนึ่งแบบจำลงที่สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดินในแต่ละประเภทกับปัจจัยขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลง เช่น ความหนาแน่นประชากร ระยะห่างจากหมู่บ้าน สามารถกำหนดพื้นที่อุตสาหกรรมตามผังเมืองรวมไปถึงสามารถพิจารณาร่วมกับนโยบายเศรษฐกิจได้

6.3.5 หากมีการศึกษาผลกระทบของการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะน้ำท่าในพื้นที่อื่น ควรพิจารณาในหลายช่วงปีที่มีปริมาณน้ำฝนแตกต่างกันเพื่อให้สามารถวิเคราะห์อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประยชน์ที่ดินต่อลักษณะน้ำท่าได้ชัดเจนขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.3.6 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าเท่านั้น ยังมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต ที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า ดังนั้นหากมีการศึกษาควบคู่กับการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตของลุ่มน้ำระยอง จะสามารถวิเคราะห์ความเสี่ยงของการเกิดน้ำท่วมได้แม่นยำมากขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวางแผนป้องกันอุทกภัยที่อาจเกิดขึ้นได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Abbaspour, K. C., Johnson, C., & Van Genuchten, M. T. (2004). Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. *Vadose zone journal*, 3(4), 1340-1352.

Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., & Kløve, B. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of hydrology*, 524, 733-752.

Abbaspour, K. C., Vaghefi, S. A., & Srinivasan, R. (2017). A guideline for successful calibration and uncertainty analysis for soil and water assessment: a review of papers from the 2016 international SWAT conference. *Water*, 10(1), 6.

Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J., & Srinivasan, R. (2007). Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of hydrology*, 333(2-4), 413-430.

Adopted, I. (2014). Climate change 2014 synthesis report. *IPCC: Geneva, Szwitzerland*, 1059-1072.

Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89.

Balzter, H. (2000). Markov chain models for vegetation dynamics. *Ecological modelling*, 126(2-3), 139-154.

Bergström, S. (1995). The HBV model. *Computer models of watershed hydrology.*, 443-476.

Beven, K., Lamb, R., Quinn, P., Romanowicz, R., & Freer, J. (1995). Topmodel. *Computer models of watershed hydrology.*, 627-668.

Devia, G. K., Ganasri, B. P., & Dwarakish, G. S. (2015). A review on hydrological models. *Aquatic procedia*, 4, 1001-1007.

Hormwichian, R., Kaewplang, S., Kangrang, A., Supakosol, J., Boonrawd, K., Sriworamat, K., Muangthong, S., Songsaengrit, S., & Prasanchum, H. (2023). Understanding the

Interactions of Climate and Land Use Changes with Runoff Components in Spatial-Temporal Dimensions in the Upper Chi Basin, Thailand. *Water*, 15(19), 3345.

Howell, T. A., & Evett, S. (2004). The Penman-Monteith Method. *Washington, DC: USDA-Agricultural Research Service, Conservation & Production Research Laboratory*, 14.

Jajarmizadeh, M., Harun, S., & Salarpour, M. (2012). A review on theoretical consideration and types of models in hydrology. *Journal of Environmental Science and Technology*, 5(5), 249-261.

Keawsang-in, K., Ratjiranukool, S., & Ratjiranukool, P. (2018). Estimation of solar radiation using Angstrom-Prescott model and interpolation of empirical coefficients in Thailand. Journal of Physics: Conference Series,

Koltsida, E., Mamassis, N., & Kallioras, A. (2023). Hydrological modeling using the Soil and Water Assessment Tool in urban and peri-urban environments: the case of Kifisos experimental subbasin (Athens, Greece). *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(4), 917-931.

Krenker, A., Bešter, J., & Kos, A. (2011). Introduction to the artificial neural networks. *Artificial Neural Networks: Methodological Advances and Biomedical Applications. InTech*, 1-18.

KU Survey Engineering for Agriculture Thailand. (2021). *KU Modified STRM DEM* (แบบจำลองความสูงภูมิประเทศที่อ้างอิงค่าระดับจากพื้นหลักฐานทางดิ่งของประเทศไทย) สำหรับงานวิจัยทางภูมิศาสตร์ของประเทศ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. http://ku-infra.longdo.org/kusv/storage/KU_MODIFIED_SRTM_DEM.rar

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *biometrics*, 159-174.

Me, W., Abell, J., & Hamilton, D. (2015). Effects of hydrologic conditions on SWAT model performance and parameter sensitivity for a small, mixed land use catchment in New Zealand. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(10), 4127-4147.

NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). (2013). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global*. OpenTopography. https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTSRTM.082015.4326.1

Nash, J. (1959). Systematic determination of unit hydrograph parameters. *Journal of Geophysical Research*, 64(1), 111-115.

Paul, P. K., & Mishra, A. (2013). *Modelling Runoff and Sediment Yield from Brahmani-Baitarni River Basin under Present and Climate Change Condition using Arc SWAT Model* School of Water Resources

Indian Institute of Technology Kharagpur].

Perlman, H. (2019). The Natural Water Cycle. In Water Science School. In: Water Science School

Pontius Jr, R. G. (2000). Comparison of categorical maps. *Photogramm. Eng. Remote Sens*, 66(20), 0.

Rwanga, S. S., & Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8(04), 611.

Sajikumar, N., & Remya, R. (2015). Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. *Journal of environmental management*, 161, 460-468.

Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., & Yun, W. (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3-4), 938-943.

Sangkatananon, P., Chotamonsak, C., & Dhanasin, P. (2018). Performance of SWAT hydrologic model for runoff simulation in Wang River Basin. วารสาร วิชาการ พระจอมเกล้า พระนครเหนือ, 28(4).

Singh, V. P. (1995). *Computer models of watershed hydrology* (Vol. 1130). Water resources publications Highlands Ranch, CO.

Sitterson, J., Knightes, C., Parmar, R., Wolfe, K., Avant, B., & Muche, M. (2018). An overview of rainfall-runoff model types.

Tarboton, D. G. (2003). Rainfall-runoff processes. *Utah State University*, 1(2).

Thavhana, M., Savage, M., & Moeletsi, M. (2018). SWAT model uncertainty analysis, calibration and validation for runoff simulation in the Luvuvhu River catchment, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 105, 115-124.

Tontisirin, N., Phoomikiattisak, D., & Anantsuksomsri, S. (2017). Land use change in the eastern economic corridor of Thailand: an application of cellular automata-

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Makov Model. The 54th Annual Meeting of the Japan Section of the RSAI,

Verburg, P. H., Schot, P. P., Dijst, M. J., & Veldkamp, A. (2004). Land use change modelling: current practice and research priorities. *GeoJournal*, 61, 309-324.

Wang, Z., He, Y., Li, W., Chen, X., Yang, P., & Bai, X. (2023). A generalized reservoir module for SWAT applications in watersheds regulated by reservoirs. *Journal of hydrology*, 616, 128770.

Winchell, M., Srinivasan, R., Di Luzio, M., & Arnold, J. (2007). ArcSWAT interface for SWAT 2005. *User's guide*, 1-436.

แนวหน้า. (2563). ระยองเดินหน้าแผนพัฒนาจังหวัดดันโครงการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมพื้นที่เศรษฐกิจคลองทับมา. แนวหน้า. https://www.naewna.com/local/543142

โอฬาร เวศอุไร. (2548). ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบนโดยใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา *SWAT* จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/6927

โอฬาร ถิ่นบางเตียว. (2564). จังหวัดระยอง: จากเศรษฐกิจชุมชนถึงทุนนิยมโลกาภิวัตน์. วารสารเศรษฐศาสตร์การเมืองบูรพา, 2(1), 47-71.

ไทยรัฐออนไลน์. (2558). ระยองน้ำทะลักเข้าเมือง ท่วมมิดเขตเทศบาล ต.ทับมา. ไทยรัฐ. https://www.thairath.co.th/news/local/526201

กฤษนัยน์ เจริญจิตร, จันทิมา ปิยะพงษ์, ปัทมา พอดี และปรีชา บุญขาว. (2562). โครงการการพัฒนาแบบจำลองเพื่อคาดการณ์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการ ใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำในระบบลุ่มน้ำของเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor: EEC).

ชูเดช โลศิริ. (2559). แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินกับการคาดการณ์พื้นที่เมือง ในอนาคต. วารสาร สังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ, 19.

ติณณ์ ถิรกุลโตมร, วิลาวัณย์ ประสมทรัพย์ และอธิวัฒน์ ภิญโญยาง. (2020). การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงและการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยใช้แบบจำลอง CA-MARKOV. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, 25, SGI03-SGI03.

ปิยะวัฒน์ วุฒิชัยกิจเจริญ, พีรวัฒน์ ปลาเงิน และสมพินิจ เหมืองทอง. (2016). การศึกษาการจำลองปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวงโดยใช้แบบจำลอง SWAT. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, 14(1), 145-158.

พงษ์ศักดิ์ วิทรัสชุติกุล, พิณทิพย์ ธิติโรจนวัฒน์. (2551). การกำหนดค่า *SCS-CN* ของพืชคลุมดินเพื่อการจัดการพื้นที่ต้นน้ำ. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วนัชพร แมงสามง, และอิมรน หะยิยูโซะ. (2563). การประยุกต์ใช้แบบจำลองความสัมพันธ์ดินและน้ำในการประเมินปริมาณน้ำท่ากับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำบางนรา. วารสารมหาวิทยาลัยนริวาสราชนครินทร์, 12(3), 229-244.

วิกานดา วรรณวิเศษ. (2558). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ผลกระทบต่อประเทศไทย (Climate Change: Effects to Thailand). สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา, 5(12), 1-25.

ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. (2563). ภูมิอากาศจังหวัดระยอง. กรมอุตุนิยมวิทยา

สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. (2558). บันทึกเหตุการณ์น้ำท่วมจากอิทธิพลของพายุ "หว่ามก๋อ" (*VAMCO)* (14-18 ก.ย. 58). สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน). https://tiwrm.hii.or.th/current/2015/vamco/vamco_sep57.html

สำนักเทคโนโลยีการสำรวจและการทำแผนที่. (2562). รายงานโครงการจัดทำแผนที่แสดงความลาดชันของพื้นที่เพื่อการพัฒนาที่ดิน จังหวัดระยอง. กรมพัฒนาที่ดิน

สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. (2563). โครงการจัดทำฐานข้อมูลพื้นฐานลุ่มน้ำ 22 ลุ่มน้ำ. กองบริหารจัดการลุ่มน้ำ.

สำนักบริหารโครงการ กรมชลประทาน. (2562). รายงานแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำ จังหวัดระยอง. กรมชลประทาน

สุปรีชญา บุญมาก, พงศ์ชยนต์ ศรีสุวรรณ และณัฐวรรณ สมรรคจันทร์. (2562). จาก Eastern Seaboard สู่ EEC การ พัฒนา พื้นที่ เศรษฐกิจ ไทย ใน ภูมิภาค ตะวันออก From the Eastern Seaboard to EEC: the Development of Thailand Economy in the Eastern Region.

สุภลักษณ์ วิมาลา. (2561). การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนรายวันด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์]. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

อารียา ฤทธิมา. (2561). เอกสารคำสอน วิชาวศยธ 232 อุทกวิทยา. มหาวิทยาลัยมหิดล. https://www.gooshared.com/d/NzM2Ny00

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ลุ่มน้ำย่อยและหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยาในแบบจำลอง SWAT

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1ก ขนาดของลุ่มน้ำย่อยและจำนวน HRUs ในแต่ละลุ่มน้ำย่อย ของแบบจำลอง SWAT

Sub catchment	พื้นที่ ตร.กม.	HRUs	Sub catchment	พื้นที่ ตร.กม.	HRUs
1	24.66	6	30	22.75	8
2	32.87	4	31	38.21	8
3	17.68	9	32	13.38	6
4	28.46	6	33	9.59	4
5	19.37	3	34	14.20	9
6	38.24	7	35	22.74	8
7	31.34	10	36	24.85	10
8	54.34	8	37	24.79	4
9	49.71	4	38	32.65	9
10	49.72	9	39	31.10	8
11	18.27	7	40	19.48	6
12	23.44	2	41	44.62	8
13	43.00	14	42	5.69	4
14	18.17	3	43	6.95	5
15	53.93	8	44	35.08	7
16	21.94	5	45	7.56	5
17	21.70	10	46	16.96	7
18	28.42	7	47	48.80	8
19	28.43	8	48	45.49	11
20	21.86	4	49	6.13	3
21	36.69	8	50	30.37	13
22	48.12	4	51	1.71	12
23	27.57	5	52	16.74	12
24	17.42	9	53	6.09	2
25	36.04	13	54	24.66	7
26	52.19	9	55	51.20	6
27	19.88	4	56	34.05	7
28	29.47	9	57	48.69	10
29	16.65	12	58	53.17	7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน พ.ศ. 2570 2575 และ 2580 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

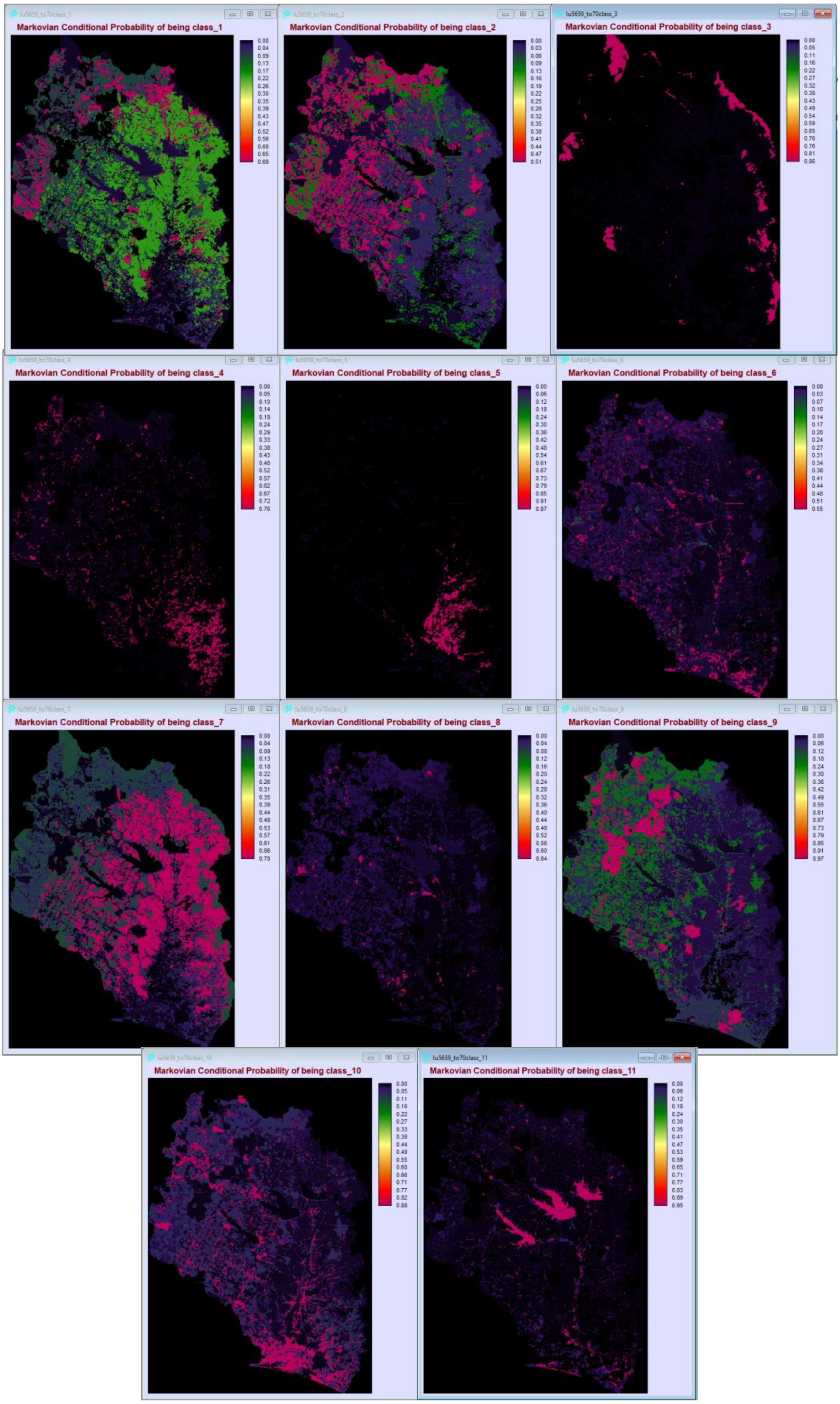
ตารางที่ 1ข สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Transition Area) พ.ศ. 2570 สถานการณ์ที่ 1

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11
Class 1	13174	2249	31	162	1	170	1194	232	1202	422	242
Class 2	3823	21026	101	268	5	678	3797	776	8094	2673	370
Class 3	125	151	10133	2	0	12	1144	15	97	37	3
Class 4	695	280	14	9429	0	23	594	59	314	926	26
Class 5	32	5	0	0	5753	45	18	1	5	47	36
Class 6	568	1182	109	61	132	5969	435	154	1298	676	357
Class 7	12280	2163	264	160	1	256	41985	263	1537	742	279
Class 8	27	32	1	1	1	175	50	1684	413	114	140
Class 9	45	156	1	1	0	39	67	2	16636	164	26
Class 10	141	159	13	66	2	268	227	23	1837	20166	33
Class 11	127	18	0	4	4	55	19	93	118	62	8776

ตารางที่ 2ข ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Probability of change) พ.ศ. 2570 สถานการณ์ที่ 1

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11
Class 1	0.6905	0.1179	0.0016	0.0085	0.0001	0.0089	0.0626	0.0122	0.063	0.0221	0.0127
Class 2	0.0919	0.5053	0.0024	0.0065	0.0001	0.0163	0.0913	0.0186	0.1945	0.0642	0.0089
Class 3	0.0107	0.0129	0.8646	0.0001	0	0.001	0.0976	0.0013	0.0083	0.0032	0.0003
Class 4	0.0562	0.0226	0.0011	0.7629	0	0.0019	0.048	0.0047	0.0254	0.0749	0.0021
Class 5	0.0053	0.0008	0	0.0001	0.9683	0.0075	0.003	0.0001	0.0008	0.0079	0.0061
Class 6	0.0519	0.108	0.0099	0.0055	0.0121	0.5456	0.0397	0.0141	0.1187	0.0618	0.0326
Class 7	0.2049	0.0361	0.0044	0.0027	0	0.0043	0.7006	0.0044	0.0256	0.0124	0.0047
Class 8	0.0104	0.0122	0.0004	0.0003	0.0005	0.0665	0.0189	0.638	0.1565	0.0432	0.0531
Class 9	0.0026	0.0091	0	0.0001	0	0.0023	0.0039	0.0001	0.9707	0.0096	0.0015
Class 10	0.0061	0.0069	0.0005	0.0029	0.0001	0.0117	0.0099	0.001	0.0801	0.8793	0.0014
Class 11	0.0137	0.0019	0	0.0004	0.0004	0.006	0.0021	0.01	0.0127	0.0067	0.946

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 1ข ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท สถานการณ์ที่ 1 พ.ศ. 2570

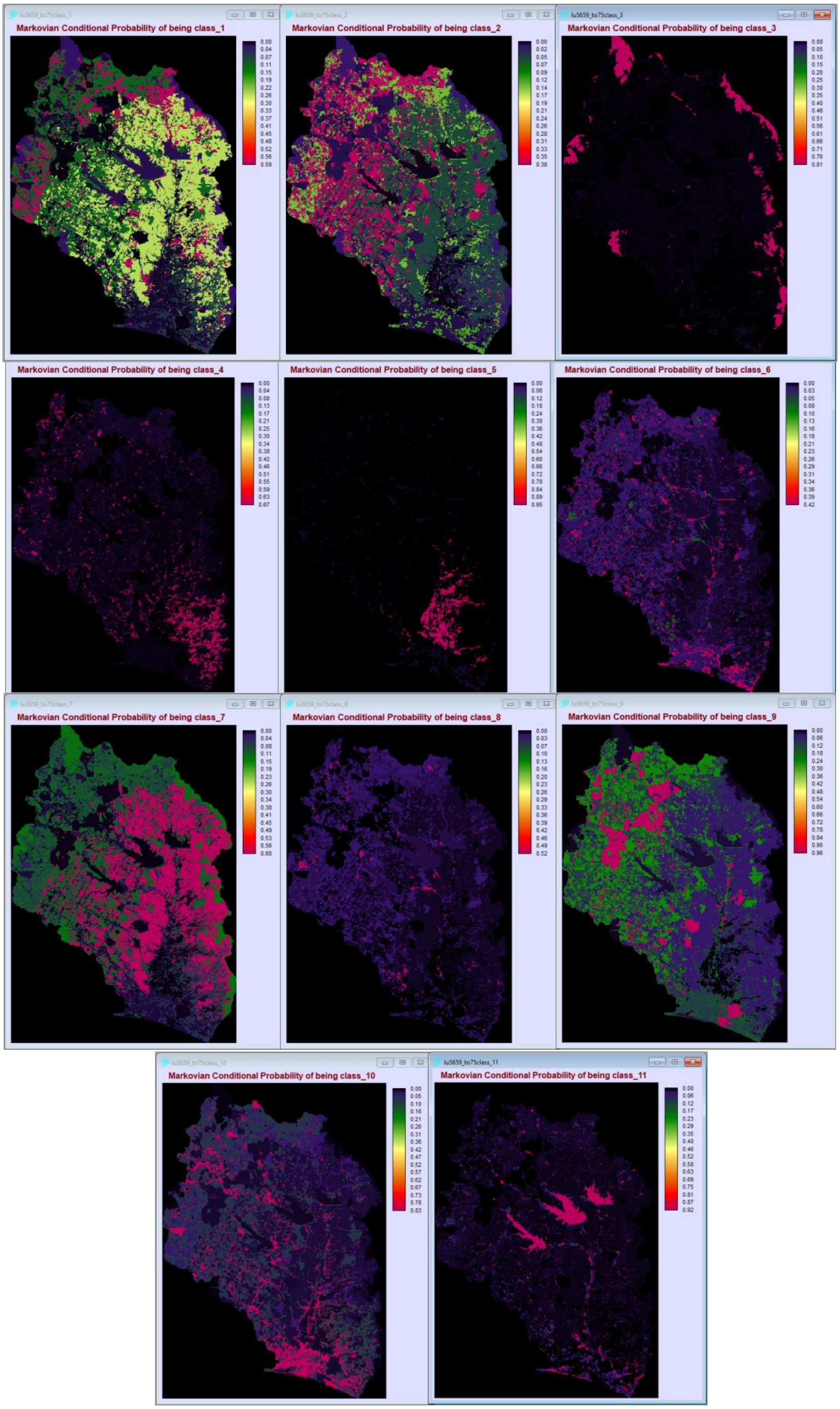
ตารางที่ 3ข สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Transition Area) พ.ศ. 2575 สถานการณ์ที่ 1

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11
Class 1	11322	2616	45	212	2	226	1569	302	1820	628	338
Class 2	4758	15726	135	338	9	801	4526	908	10494	3396	519
Class 3	258	206	9486	4	0	19	1495	23	161	61	7
Class 4	934	376	21	8342	0	39	780	79	498	1248	42
Class 5	45	10	1	1	5670	57	26	1	11	67	53
Class 6	751	1326	137	79	169	4550	581	192	1800	889	465
Class 7	15219	3128	353	249	3	369	36103	396	2529	1136	444
Class 8	43	49	2	2	2	203	66	1374	558	153	186
Class 9	72	201	1	2	1	52	98	5	16432	236	39
Class 10	215	223	19	89	4	337	313	34	2607	19041	52
Class 11	172	32	1	6	6	74	31	123	181	91	8560

ตารางที่ 4ข ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Probability of change) พ.ศ. 2575 สถานการณ์ที่ 1

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11
Class 1	0.5934	0.1371	0.0024	0.0111	0.0001	0.0118	0.0822	0.0159	0.0954	0.0329	0.0177
Class 2	0.1143	0.3779	0.0033	0.0081	0.0002	0.0192	0.1088	0.0218	0.2522	0.0816	0.0125
Class 3	0.022	0.0175	0.8094	0.0003	0	0.0016	0.1276	0.0019	0.0137	0.0052	0.0006
Class 4	0.0755	0.0304	0.0017	0.6749	0	0.0031	0.0631	0.0064	0.0403	0.101	0.0034
Class 5	0.0075	0.0017	0.0001	0.0001	0.9543	0.0097	0.0043	0.0002	0.0019	0.0113	0.0089
Class 6	0.0687	0.1212	0.0125	0.0072	0.0154	0.4159	0.0531	0.0175	0.1646	0.0813	0.0425
Class 7	0.254	0.0522	0.0059	0.0041	0.0001	0.0062	0.6024	0.0066	0.0422	0.019	0.0074
Class 8	0.0164	0.0184	0.0009	0.0007	0.0009	0.0769	0.025	0.5208	0.2116	0.0581	0.0704
Class 9	0.0042	0.0118	0.0001	0.0001	0	0.003	0.0057	0.0003	0.9588	0.0138	0.0023
Class 10	0.0094	0.0097	0.0008	0.0039	0.0002	0.0147	0.0137	0.0015	0.1137	0.8303	0.0023
Class 11	0.0185	0.0034	0.0001	0.0007	0.0006	0.008	0.0033	0.0132	0.0195	0.0098	0.9228

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 2ข ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท สถานการณ์ที่ 1 พ.ศ. 2575

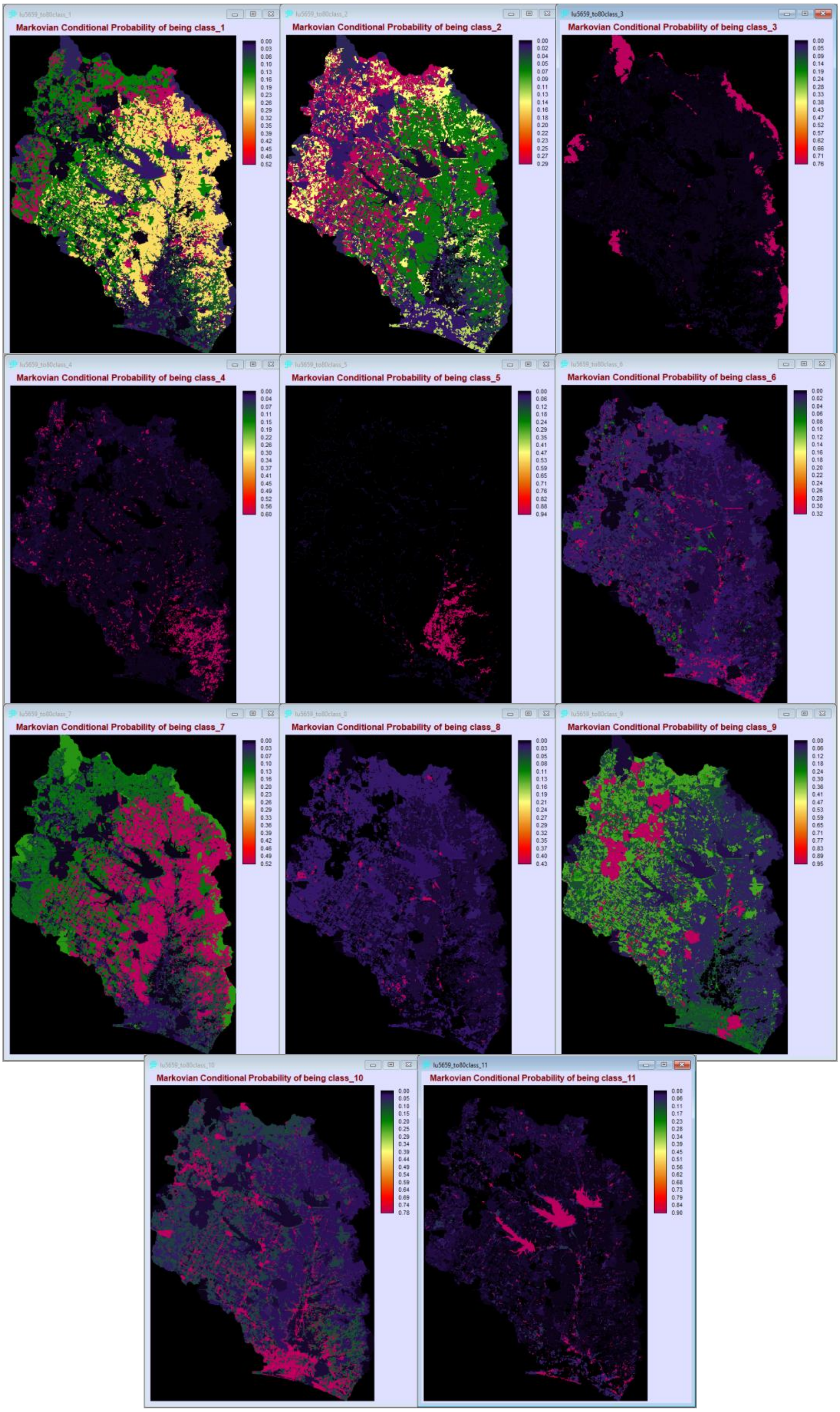
ตารางที่ 5ข สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Transition Area) พ.ศ. 2580 สถานการณ์ที่ 1

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11
Class 1	9843	2757	59	249	4	269	1850	353	2441	829	425
Class 2	5356	12024	165	387	15	859	4891	962	12376	3919	657
Class 3	413	256	8883	7	0	26	1766	31	236	88	14
Class 4	1131	456	27	7385	1	56	926	97	702	1519	61
Class 5	57	16	1	1	5587	67	33	2	20	87	69
Class 6	894	1348	157	93	196	3492	695	215	2247	1055	549
Class 7	17039	3965	428	339	6	475	31308	525	3665	1555	624
Class 8	59	63	4	3	4	211	79	1124	683	186	223
Class 9	101	237	2	4	1	63	127	8	16240	305	51
Class 10	290	282	25	108	6	385	390	44	3339	17991	73
Class 11	211	47	2	8	8	89	44	146	250	120	8352

ตารางที่ 6ข ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Probability of change) พ.ศ. 2580 สถานการณ์ที่ 1

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11
Class 1	0.5159	0.1445	0.0031	0.0131	0.0002	0.0141	0.097	0.0185	0.1279	0.0434	0.0223
Class 2	0.1287	0.289	0.004	0.0093	0.0004	0.0206	0.1176	0.0231	0.2974	0.0942	0.0158
Class 3	0.0352	0.0219	0.7579	0.0006	0	0.0022	0.1507	0.0026	0.0201	0.0075	0.0012
Class 4	0.0915	0.0369	0.0022	0.5975	0	0.0045	0.0749	0.0078	0.0568	0.1229	0.0049
Class 5	0.0096	0.0026	0.0002	0.0002	0.9405	0.0113	0.0056	0.0004	0.0034	0.0146	0.0116
Class 6	0.0817	0.1232	0.0143	0.0085	0.0179	0.3192	0.0635	0.0196	0.2054	0.0965	0.0502
Class 7	0.2843	0.0662	0.0071	0.0057	0.0001	0.0079	0.5224	0.0088	0.0612	0.0259	0.0104
Class 8	0.0225	0.0239	0.0014	0.0011	0.0015	0.08	0.03	0.4261	0.2587	0.0706	0.0843
Class 9	0.0059	0.0138	0.0001	0.0002	0.0001	0.0037	0.0074	0.0005	0.9476	0.0178	0.003
Class 10	0.0127	0.0123	0.0011	0.0047	0.0003	0.0168	0.017	0.0019	0.1456	0.7845	0.0032
Class 11	0.0227	0.0051	0.0002	0.0009	0.0009	0.0096	0.0047	0.0158	0.0269	0.013	0.9003

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 3ข ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท สถานการณ์ที่ 1 พ.ศ. 2580

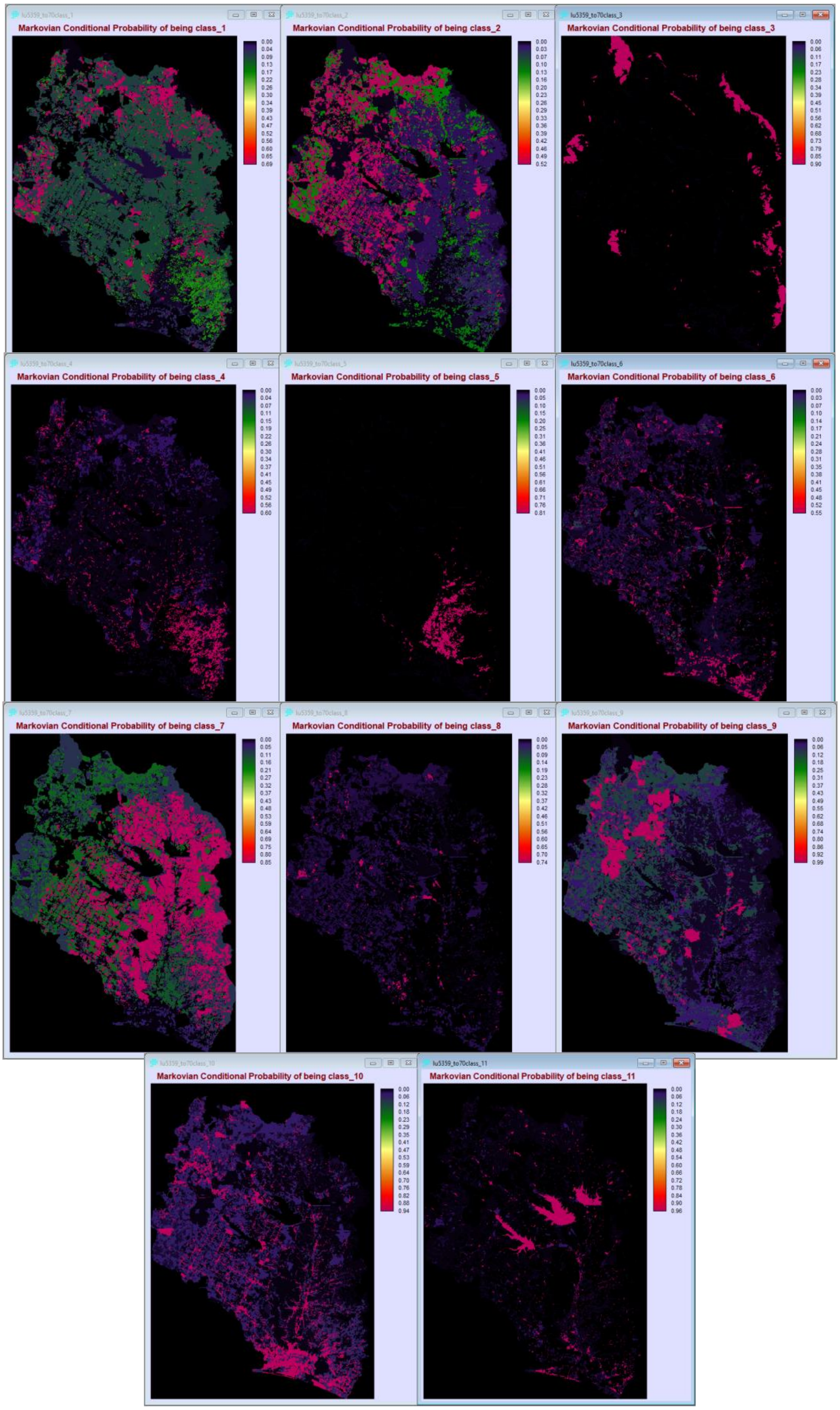
ตารางที่ 7ข สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Transition Area) พ.ศ. 2570 สถานการณ์ที่ 2

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11
Class 1	13142	2528	17	423	0	115	1380	165	863	310	137
Class 2	3801	21748	50	255	1	547	6882	765	5280	2076	207
Class 3	38	84	10569	1	0	5	945	7	54	17	1
Class 4	2330	551	7	7387	0	17	1001	57	239	749	22
Class 5	48	21	1	13	4835	63	835	1	6	64	54
Class 6	591	1295	45	69	60	6046	528	229	1217	655	203
Class 7	5843	1076	174	154	0	79	51225	90	703	430	156
Class 8	22	12	0	0	0	149	62	1960	289	50	93
Class 9	9	98	0	0	0	14	34	1	16882	86	15
Class 10	69	80	6	35	0	151	105	5	990	21475	17
Class 11	145	17	0	3	2	30	20	52	67	33	8908

ตารางที่ 8ข ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Probability of change) พ.ศ. 2570 สถานการณ์ที่ 2

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11
Class 1	0.6888	0.1325	0.0009	0.0222	0	0.006	0.0724	0.0086	0.0452	0.0162	0.0072
Class 2	0.0913	0.5227	0.0012	0.0061	0	0.0131	0.1654	0.0184	0.1269	0.0499	0.005
Class 3	0.0033	0.0071	0.9018	0.0001	0	0.0005	0.0806	0.0006	0.0046	0.0014	0.0001
Class 4	0.1885	0.0446	0.0005	0.5977	0	0.0014	0.081	0.0046	0.0193	0.0606	0.0018
Class 5	0.0081	0.0035	0.0001	0.0023	0.8139	0.0106	0.1406	0.0002	0.001	0.0107	0.0091
Class 6	0.054	0.1184	0.0042	0.0063	0.0055	0.5527	0.0482	0.021	0.1113	0.0599	0.0186
Class 7	0.0975	0.018	0.0029	0.0026	0	0.0013	0.8548	0.0015	0.0117	0.0072	0.0026
Class 8	0.0084	0.0046	0.0001	0.0002	0.0001	0.0564	0.0237	0.7426	0.1095	0.0191	0.0353
Class 9	0.0005	0.0057	0	0	0	0.0008	0.002	0	0.985	0.005	0.0009
Class 10	0.003	0.0035	0.0003	0.0015	0	0.0066	0.0046	0.0002	0.0432	0.9364	0.0008
Class 11	0.0157	0.0019	0	0.0003	0.0002	0.0032	0.0022	0.0056	0.0072	0.0036	0.9603

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 4ข ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท สถานการณ์ที่ 2 พ.ศ. 2570

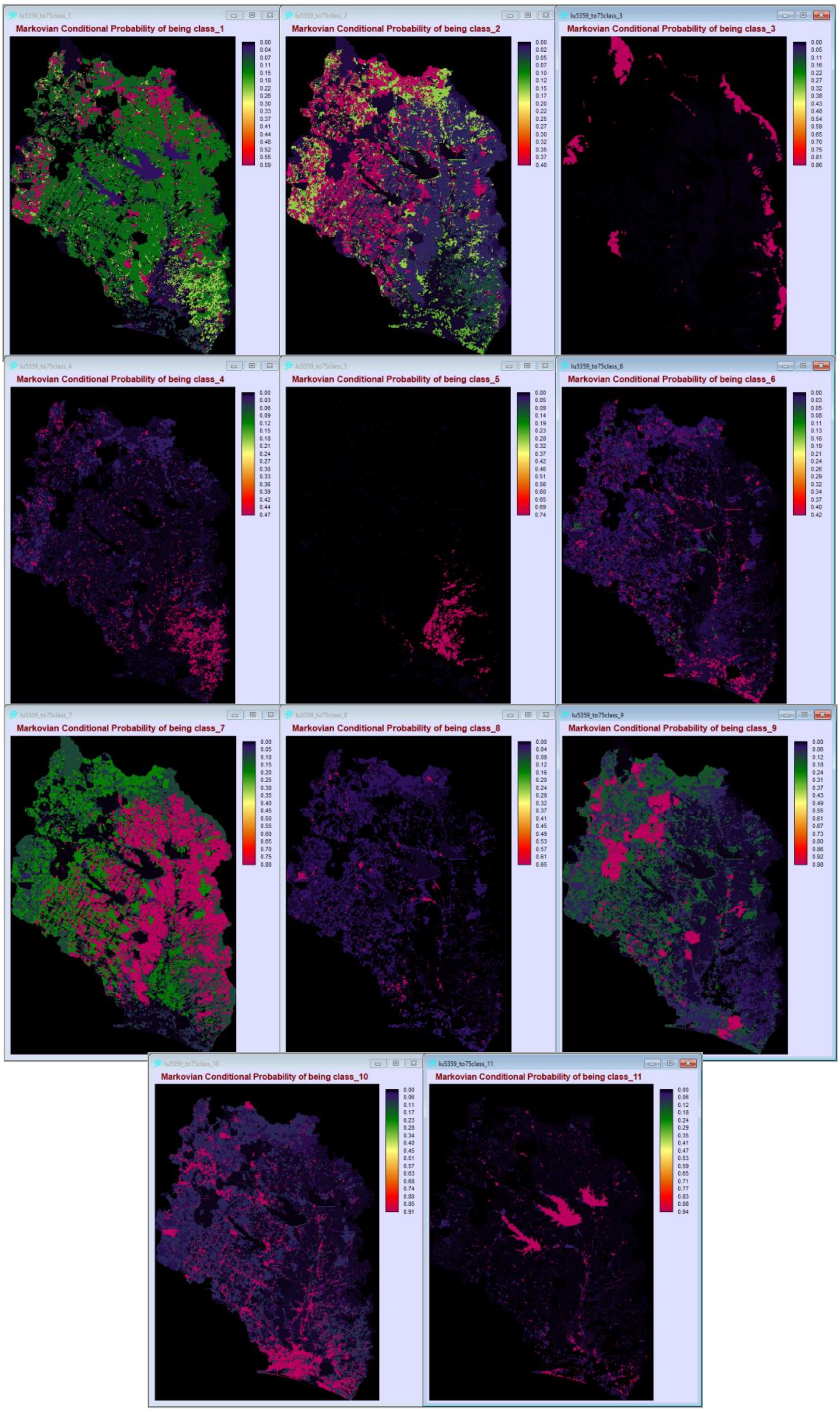
ตารางที่ 9ข สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Transition Area) พ.ศ. 2575 สถานการณ์ที่ 2

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11
Class 1	11269	2951	26	512	1	154	1969	227	1304	477	191
Class 2	4707	16473	72	330	3	640	8571	926	6912	2683	295
Class 3	87	112	10084	2	0	8	1302	11	85	27	2
Class 4	2833	757	11	5863	0	31	1358	82	393	992	38
Class 5	95	36	2	18	4403	78	1123	3	16	92	76
Class 6	770	1466	59	88	74	4627	769	287	1665	869	268
Class 7	7599	1638	241	246	0	119	47920	144	1135	652	236
Class 8	34	24	1	1	1	178	86	1713	401	72	127
Class 9	17	127	0	1	0	18	54	2	16773	125	22
Class 10	103	114	9	47	1	193	157	9	1426	20850	26
Class 11	196	31	0	5	3	39	34	71	102	49	8747

ตารางที่ 10ข ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Probability of change) พ.ศ. 2575 สถานการณ์ที่ 2

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11
Class 1	0.5906	0.1547	0.0013	0.0268	0	0.0081	0.1032	0.0119	0.0683	0.025	0.01
Class 2	0.1131	0.3959	0.0017	0.0079	0.0001	0.0154	0.206	0.0222	0.1661	0.0645	0.0071
Class 3	0.0074	0.0095	0.8604	0.0002	0	0.0007	0.111	0.0009	0.0073	0.0023	0.0002
Class 4	0.2292	0.0613	0.0009	0.4744	0	0.0025	0.1099	0.0066	0.0318	0.0803	0.0031
Class 5	0.016	0.006	0.0003	0.003	0.7411	0.0131	0.189	0.0004	0.0028	0.0154	0.0128
Class 6	0.0704	0.134	0.0053	0.008	0.0067	0.423	0.0703	0.0262	0.1522	0.0794	0.0245
Class 7	0.1268	0.0273	0.004	0.0041	0	0.002	0.7996	0.0024	0.0189	0.0109	0.0039
Class 8	0.0129	0.0091	0.0002	0.0005	0.0003	0.0676	0.0326	0.6491	0.1521	0.0273	0.0482
Class 9	0.001	0.0074	0	0	0	0.0011	0.0031	0.0001	0.9787	0.0073	0.0013
Class 10	0.0045	0.005	0.0004	0.002	0	0.0084	0.0068	0.0004	0.0622	0.9091	0.0012
Class 11	0.0211	0.0034	0	0.0005	0.0003	0.0042	0.0037	0.0076	0.011	0.0053	0.9429

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 5ข ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท สถานการณ์ที่ 2 พ.ศ. 2570

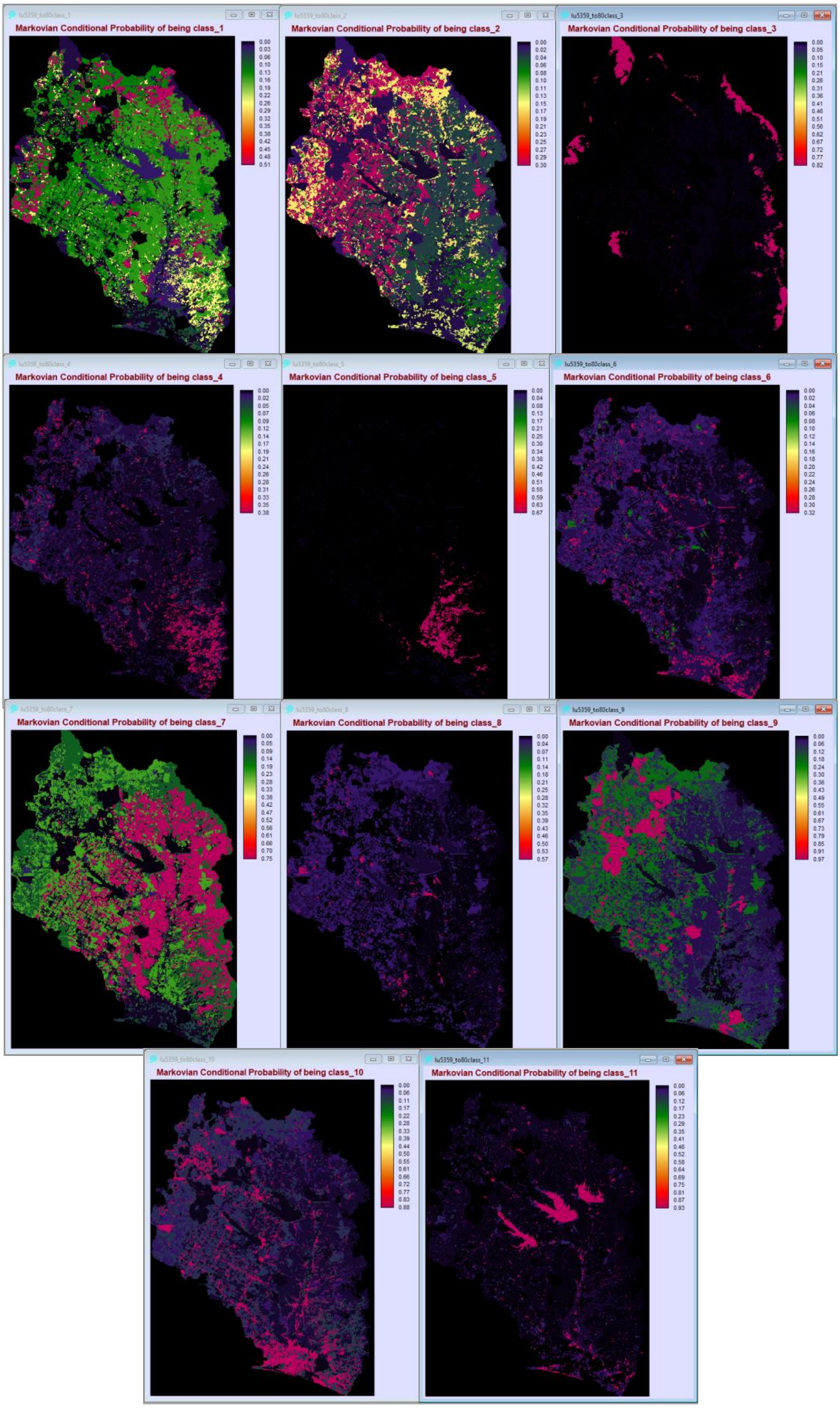
ตารางที่ 11ข สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Transition Area) พ.ศ. 2580 สถานการณ์ที่ 2

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11
Class 1	9759	3125	34	561	1	185	2500	280	1746	646	242
Class 2	5298	12668	94	386	4	681	9697	1017	8233	3155	379
Class 3	147	137	9623	4	0	10	1619	15	120	40	4
Class 4	3122	924	15	4666	0	47	1665	105	568	1192	56
Class 5	150	54	4	22	4009	87	1364	5	32	119	96
Class 6	905	1504	68	101	82	3550	988	324	2056	1041	321
Class 7	8945	2177	301	341	1	161	44963	204	1628	889	319
Class 8	46	36	1	2	1	193	108	1498	503	93	157
Class 9	27	149	0	1	0	22	75	3	16668	163	28
Class 10	138	146	12	56	1	223	209	14	1852	20248	36
Class 11	239	46	0	7	3	48	50	87	141	66	8589

ตารางที่ 12ข ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Probability of change) พ.ศ. 2580 สถานการณ์ที่ 2

	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6	Cl. 7	Cl. 8	Cl. 9	Cl. 10	Cl. 11
Class 1	0.5115	0.1638	0.0018	0.0294	0	0.0097	0.131	0.0147	0.0915	0.0339	0.0127
Class 2	0.1273	0.3044	0.0023	0.0093	0.0001	0.0164	0.233	0.0244	0.1979	0.0758	0.0091
Class 3	0.0126	0.0117	0.8211	0.0004	0	0.0009	0.1381	0.0012	0.0102	0.0034	0.0004
Class 4	0.2526	0.0747	0.0012	0.3776	0	0.0038	0.1348	0.0085	0.0459	0.0964	0.0045
Class 5	0.0253	0.009	0.0006	0.0037	0.6748	0.0147	0.2295	0.0008	0.0053	0.02	0.0162
Class 6	0.0827	0.1375	0.0063	0.0092	0.0075	0.3245	0.0904	0.0296	0.1879	0.0952	0.0293
Class 7	0.1493	0.0363	0.005	0.0057	0	0.0027	0.7503	0.0034	0.0272	0.0148	0.0053
Class 8	0.0176	0.0138	0.0004	0.0008	0.0004	0.0732	0.0408	0.5676	0.1907	0.0351	0.0594
Class 9	0.0016	0.0087	0	0.0001	0	0.0013	0.0044	0.0002	0.9726	0.0095	0.0017
Class 10	0.006	0.0064	0.0005	0.0024	0.0001	0.0097	0.0091	0.0006	0.0807	0.8829	0.0016
Class 11	0.0257	0.005	0	0.0008	0.0004	0.0051	0.0054	0.0094	0.0152	0.0071	0.9259

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 8ข ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท สถานการณ์ที่ 2 พ.ศ. 2580

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ปทิตตา กฤตย์จิรกร
วัน เดือน ปี เกิด	15 ตุลาคม 2540
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยาเชิงอนุรักษ์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ที่อยู่ปัจจุบัน	35 กัณฑิภาเรสซิเด้นท์ ซอยประดิพัทธ์23 แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 10400

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University