

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่มีผลต่อการเกิดน้ำท่าในลุ่มน้ำระยอง

Analysis of Land Use Changes on Runoff Generation in Rayong Watershed

ปัทิตตา กฤตย์จิรกร¹ เอกกมล วรรณเมธี² และ ชนิตา ดวงยิวา²
Patitta Kritjirakorn, Ekkamol Vannameteetee, and Chanita Duangyiwai

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำระยอง วิธีการวิจัยเริ่มจากการใช้แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) คำนวณปริมาณน้ำท่า โดยสอบเทียบค่าพารามิเตอร์และประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองด้วยข้อมูลน้ำท่าตรวจวัดรายวันในปี 2558-2563 จากนั้นจึงคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำระยองในปี 2570 2575 และ 2580 จากการเปลี่ยนแปลงระหว่างปี 2553-2559 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ใน 3 สถานการณ์ ประเมินความน่าเชื่อถือของการจำลองด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2563 ผลการศึกษาพบว่าสามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าได้ในเกณฑ์พอใช้ในกลุ่มน้ำตอกราย ลุ่มน้ำหนองปลาไหล และลุ่มน้ำคลองใหญ่ โดยมีดัชนี NSE 0.37-0.57 และ R² 0.37-0.58 ในขณะที่ลุ่มน้ำทับมา ปริมาณน้ำท่าในช่วงอัตราการไหลสูงมีค่าน้อยกว่าค่าตรวจวัด และลุ่มน้ำบ้านค่ายปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองมีความถูกต้องน้อยที่สุด การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยองในปี 2580 ในสถานการณ์ที่พื้นที่อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 0.5% และพื้นที่เกษตรกรรมลดลงเฉลี่ยปีละ 0.51% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น 25.94% จากปี 2563 ซึ่งมากกว่าสถานการณ์อื่น ๆ การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท พืชไร่ ยางพารา อุตสาหกรรม และชุมชน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ามากที่สุดในทุกสถานการณ์จำลอง (R² 0.89-0.99) ในระดับลุ่มน้ำย่อยพบว่า ลุ่มน้ำทับมามีปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดจากปี 2563 เนื่องจากพื้นที่อุตสาหกรรมและชุมชนเพิ่มขึ้นในขณะที่พื้นที่เกษตรกรรมลดลง มี (R² 0.7-0.99) และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการใช้ที่ดินแต่ละประเภทกับปริมาณน้ำท่าที่ชัดเจนในลุ่มน้ำย่อยอื่น ๆ

คำสำคัญ: แบบจำลอง SWAT น้ำท่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน แบบจำลอง CA-Markov ลุ่มน้ำระยอง

¹นิสิตปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ

Master's Degree Student in Geography and Geoinformatics, Faculty of Arts, Chulalongkorn University, Bangkok

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาภูมิศาสตร์ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ

Assistant Professor, Department of Geography, Centre of Excellence for Geography and Geoinformatics, Faculty of Arts, Chulalongkorn University, Bangkok

Corresponding author e-mail: evapatitta@gmail.com

ARTICLE HISTORY: Received 20 November 2023, Revised 23 April 2024, Accepted 15 July 2024

Abstract

This research investigates the impacts of land use changes on discharge in the Rayong basin. The methodology starts with using the Soil and Water Assessment Tool model (SWAT) to simulate the discharge. The model was calibrated and validated against daily discharge observations between 2558BE to 2563BE. Then, land use projection in 2570BE, 2575BE, and 2580BE was made for the Rayong basin in three scenarios using the CA-Markov model. This land use projection was based on patterns of land use changes from 2553BE to 2559BE. Land use in 2563BE was used to evaluate the reliability of the land use projection. The results show that discharge in the Rayong basin can be satisfactorily simulated with Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) ranging from 0.37 to 0.57 and R2 from 0.37 to 0.58 in Dok Krai, Nong Pla Lai, and Khlong Yai subbasin. However, the model underestimates the amount of discharge during high flow periods in the Tab Ma subbasin, while the accuracy of discharge simulation is lowest in the Ban Kai subbasin. Land use in 2580BE largely increases the amount of runoff generated in the Rayong basin, particularly in the scenario where the industrial area increases by 0.5% per year and the agricultural area decreases by 0.51% per year, i.e. discharge increases by 25.94% from 2563BE compared to other scenarios. Changes in cropland, rubber plantations, industrial, and residential areas contribute to remarkable increases in catchment discharge in all land use change scenarios (R2 ranging from 0.89 to 0.99). Tap Ma subbasin shows the largest increase in runoff generation compared to other subcatchments. Relations between the proportion of industrial, residential, and agricultural areas to the amount of runoff generated are very high (R2 between 0.7 and 0.99). However, these relations in other sub-basins are quite minor.

Keywords: SWAT, Runoff generation, Land use change, CA-Markov, Rayong watershed

บทนำ

ภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ภัยพิบัติธรรมชาติประเภทต่าง ๆ มีแนวโน้มรุนแรงขึ้นโดยเฉพาะปัญหาอุทกภัย ประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรได้รับปริมาณน้ำฝนเพิ่มมากขึ้น จึงมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยมากขึ้นเช่นกัน (กานดา วรณวิเศษ. 2558) การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากการกลายเป็นเมือง (Urbanization) ซึ่งเป็นผลจากการพัฒนา เศรษฐกิจ และการเพิ่มประชากร ทำให้ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม พื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ลดลง พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นพื้นที่ที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ ส่งผลให้เกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินมีปริมาณมาก การสร้างสิ่งปลูกสร้างขวางทางน้ำทำให้ทิศทางการไหลบ่าบนผิวดินเปลี่ยนแปลง รวมถึงทำให้ความสามารถในการระบายน้ำลดลงและเกิดน้ำท่วมขัง (Sajikumar; & Remya. 2015) เมื่อเกิดฝนตกหนักต่อเนื่องเป็นระยะเวลาอันนานจะมีปริมาณน้ำในลำน้ำเพิ่มมากขึ้น เกิดภาวะน้ำล้นตลิ่งและน้ำท่วมฉับพลัน โดยเฉพาะบริเวณที่ลำน้ำแคบที่ไม่สามารถระบายน้ำได้ทัน

จังหวัดระยองเป็นพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างรวดเร็วจากการพัฒนาเศรษฐกิจในโครงการระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor) ทำให้พื้นที่ชุมชนสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้น (สุปรีชญา บุญมาก; พงศ์ชนันต์ ศรีสุวรรณ; และณัฐวรรณ สมรรถจันทร์. 2562) โดยในช่วง ปี 2549-2563 จังหวัดระยองมีพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ลดลงร้อยละ 5.71 ในขณะที่พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.85 (กรมพัฒนาที่ดิน. 2565) การเกิดภาวะการกลายเป็นเมืองอย่างรวดเร็วส่งผลให้ในพื้นที่ประสบปัญหาน้ำท่วมฉับพลันอยู่บ่อยครั้ง (กรมชลประทาน. 2562) เช่น ในปี 2558 เกิดน้ำท่วมใหญ่ที่ตำบลทับมา อำเภอเมืองระยอง จากอิทธิพลของพายุดีเปรสชันที่ทำให้ฝนตกหนักต่อเนื่อง การสร้างถนนขวางทางน้ำ รวมทั้งหมู่บ้านจัดสรรหลายโครงการที่มีการถมพื้นที่สูง ทำให้เกิดน้ำไหลเข้าท่วมพื้นที่ลุ่มต่ำที่เป็นชุมชนที่อยู่อาศัย เขตเศรษฐกิจของจังหวัด และถนนสายหลัก โดยมีระดับน้ำท่วมสูงสุด 1 เมตร ก่อให้เกิดความเสียหายด้านเศรษฐกิจและทรัพย์สินรวมมูลค่ากว่า 1,000 ล้านบาท (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. 2558; ไทยรัฐออนไลน์. 2558; แนวหน้า. 2563) ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและประเมินความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อการเกิดน้ำท่วมเพื่อวางแผนป้องกันอุทกภัยที่อาจเกิดขึ้นได้

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าจากลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ในอนาคตของกลุ่มน้ำระยอง โดยใช้แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) (Arnold *et al.* 1998) เพื่อจำลองปริมาณน้ำท่าในปัจจุบัน ร่วมกับแบบจำลอง Cellular Automata–Markov model หรือ CA-Markov (Sang *et al.* 2011) เพื่อคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอีก 5-15 ปี ข้างหน้า (ปี 2570-2580) จากนั้นจึงเป็นการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าจากรูปแบบการประโชยน์ที่ดินที่เป็นไปได้ของกลุ่มน้ำระยองในอนาคตด้วยแบบจำลอง SWAT

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อจำลองปริมาณน้ำท่าในกลุ่มน้ำระยองด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT
2. เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำระยอง

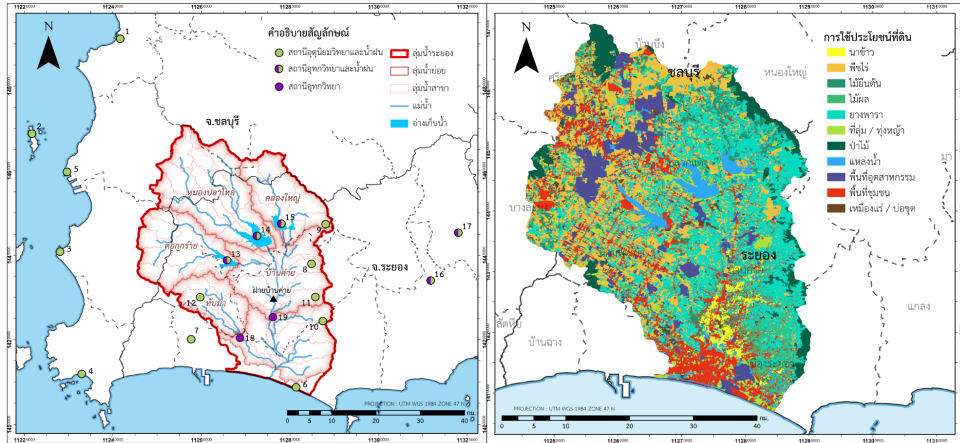
ในอนาคต

ขอบเขตของการวิจัย

1. ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษา อยู่ในบริเวณกลุ่มน้ำระยอง (คลองใหญ่) (รหัส 1702) ซึ่งเป็นกลุ่มน้ำสาขาของกลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก มีพื้นที่ 1,804 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุม จังหวัดชลบุรี และจังหวัดระยอง (ภาพที่ 1) (สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. 2564)

2. ขอบเขตด้านเนื้อหา เป็นการศึกษาการเกิดน้ำท่าของกลุ่มน้ำระยองด้วยแบบจำลอง SWAT และผลจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตจากการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง CA-Markov ที่มีต่อปริมาณน้ำท่าในกลุ่มน้ำระยอง

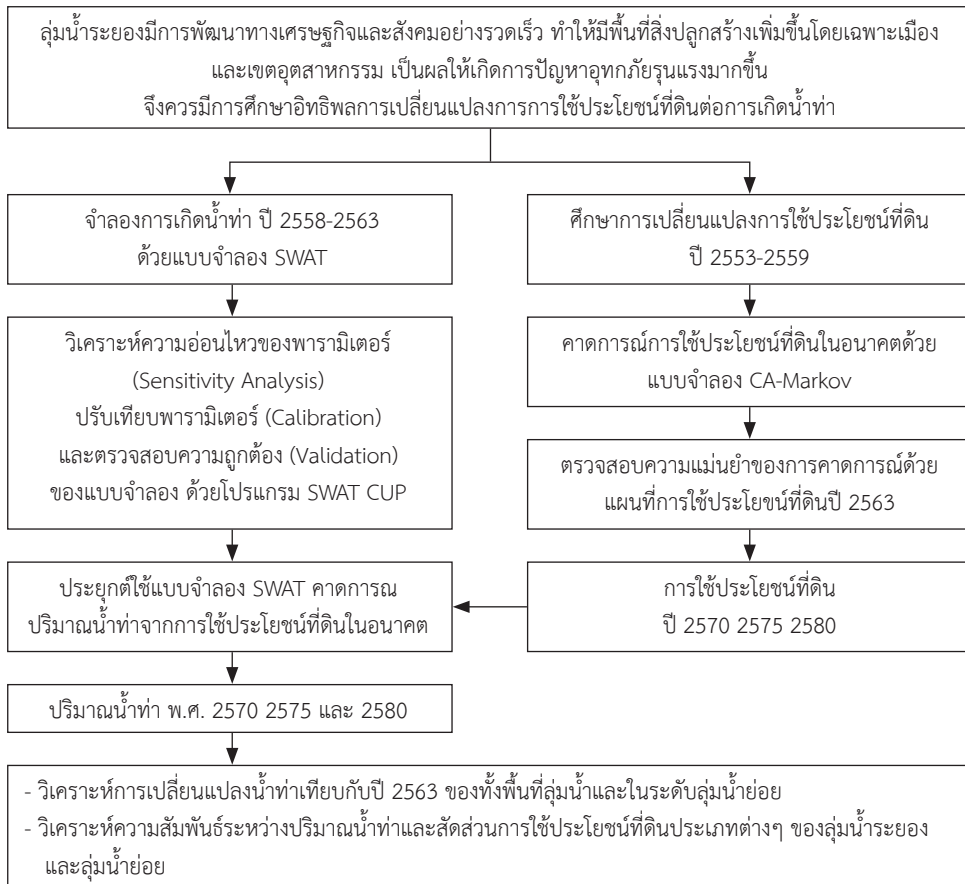
3. ขอบเขตด้านเวลา จำลองการเกิดน้ำท่าของกลุ่มน้ำระยองในช่วงปี 2558-2563 คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำท่าจากแผนที่การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2570 2575 และ 2580 ที่ได้จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2553 2556 และ 2559 และประเมินความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2563



ภาพที่ 1 ขอบเขตลุ่มน้ำและสถานีตรวจวัดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา (ซ้าย)
การใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยองปี 2563 (ขวา)

กรอบความคิดที่ใช้วิจัย

งานวิจัยนี้คาดการณ์การปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตของลุ่มน้ำระยองด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ การทำงานประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำระยอง และแบบจำลอง CA-Markov สำหรับคาดการณ์ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยองในอนาคตจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในปัจจุบัน จากนั้นจึงวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าที่เป็นผลจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 กรอบความคิดที่ใช้วิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้มีการดำเนินงานทั้งหมด 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การจำลองและคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT

1.1 ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง

ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง SWAT แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นข้อมูลลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำ ประกอบด้วย แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model: DEM) ความละเอียดเชิงพื้นที่ 90 ม. X 90 ม. (KU Survey Engineering for Agriculture Thailand. 2021) ประเภทชุดดิน คุณสมบัติของดินตามประเภทชุดดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2563 จากกรมพัฒนาที่ดิน

ส่วนที่สองเป็นข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยารายวันระหว่างปี 2558-2563 ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม จำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสงอาทิตย์ และ ปริมาณการไหลของแม่น้ำระยองและคลองสาขา ข้อมูลทางอุทกวิทยาของอ่างเก็บน้ำหลักในลุ่มน้ำ 3 แห่ง (ตอกราย หนองปลาไหล คลองใหญ่) และฝาย 1 แห่ง (ฝายบ้านค่าย) ได้แก่ ปริมาณน้ำกักเก็บ ปริมาณน้ำไหลเข้าและการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ ปริมาณการผันน้ำรายวัน

ข้อมูลทั้งหมดนี้รวบรวมจากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา (7 แห่ง) กรมทรัพยากรน้ำ (5 แห่ง) และกรมชลประทาน (7 แห่ง) ทั้งในพื้นที่ศึกษาและบริเวณใกล้เคียง (ภาพที่ 1)

1.2 การจำลองการเกิดน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT

แบบจำลอง SWAT เป็นเครื่องมือในการจำลองทางอุทกวิทยาที่สามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าและการไหลในลำน้ำจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและลักษณะทางกายภาพของกลุ่มน้ำในเชิงพื้นที่ แบบจำลอง SWAT ประมวลผลข้อมูลด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จึงทำให้สามารถจำลองการเกิดน้ำท่าในแต่ละส่วนของกลุ่มน้ำและการไหลในระบบลำน้ำอย่างต่อเนื่องในแต่ละช่วงเวลา การจำลองอาศัยหลักการสมดุลน้ำ (สมการ 1)

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

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)

การศึกษาครั้งนี้ใช้ส่วนเชื่อมต่อของแบบจำลอง SWAT กับโปรแกรม ARCGIS 9.0 หรือ ArcSWAT (Winchell; et al. 2007) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1.2.1 กำหนดขอบเขตลุ่มน้ำย่อย (Sub Catchment) จากทิศทางการไหลของน้ำ (Flow direction) ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ความลาดเทของภูมิประเทศจาก DEM โดยกำหนดจุดออก (Outlet) ของลุ่มน้ำย่อยในตำแหน่งที่ลำน้ำสายหลักมาบรรจบกันหรือไหลลงสู่แหล่งน้ำขนาดใหญ่ ทำให้ได้ลุ่มน้ำย่อยทั้งหมด 5 ลุ่มน้ำ ได้แก่ 1) ลุ่มดอกกราย มีพื้นที่รับน้ำ 275.86 ตร.กม. ประกอบด้วย 9 ลุ่มน้ำสาขา 2) ลุ่มน้ำหนองปลาไหล มีพื้นที่รับน้ำ 397.84 ตร.กม. ประกอบด้วย 12 ลุ่มน้ำสาขา 3) ลุ่มน้ำคลองใหญ่ มีพื้นที่รับน้ำ 223.60 ตร.กม. ประกอบด้วย 7 ลุ่มน้ำสาขา 4) ลุ่มน้ำทับมา มีพื้นที่รับน้ำ 146.60 ตร.กม. ประกอบด้วย 5 ลุ่มน้ำสาขา และ 5) ลุ่มน้ำบ้านค่าย มีพื้นที่รับน้ำ 315.52 ตร.กม. ประกอบด้วย 15 ลุ่มน้ำสาขา (ภาพที่ 1) จากนั้นจึงสร้างหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrological Response Units: HRUs) จากพื้นที่ที่มีลักษณะทางกายภาพคล้ายคลึงกันโดยพิจารณา 3 ลักษณะ ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน 11 ประเภท (ภาพที่ 1) ชุดดิน 19 ชุดดิน และระดับความลาดชัน 3 ช่วง ได้แก่ 0-5% 5-20% และมากกว่า 20% จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2563 ทำให้สามารถกำหนด HRU ได้ทั้งหมด 421 หน่วย

1.2.2 นำเข้าข้อมูลและกำหนดค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง ได้แก่ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดรายวัน จากสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาหมายเลข 1-7 (ภาพที่ 1) กำหนดให้ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศที่มีตำแหน่งใกล้กับลุ่มน้ำย่อยมากที่สุดเป็นตัวแทน ลักษณะอากาศในลุ่มน้ำนั้น ในขณะที่ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รายวันเป็นค่าประมาณจากการคำนวณ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ขอบนอกสุดของบรรยากาศและจำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสง (เอกกมล วรรณเมธี; แพรวาวา อุดมเดชาเวทย์; และประรินดา พานนูน. 2565) สำหรับปริมาณน้ำฝนใช้วิธีการประมาณค่าแบบช่วงบนพื้นที่แบบถ่วงน้ำหนักตามระยะทางแบบผกผัน (Inverse Distance Weighted Interpolation: IDW) จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันจากสถานีหมายเลข 1-17 (ภาพที่ 1) เพื่อสร้างแผนที่ปริมาณฝนรายวันของทั้งลุ่มน้ำแล้วจึงคำนวณปริมาณฝนเฉลี่ยของแต่ละลุ่มน้ำสาขา (ภาพที่ 1) นอกจากนี้ยังได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ของอ่างเก็บน้ำและฝายแต่ละแห่ง ได้แก่ ความจุน้ำ ระดับน้ำล้น และกำหนดปริมาณการระบายน้ำออก (outflow) จากอ่างเก็บน้ำ 3 แห่ง สำหรับฝายบ้านค่ายกำหนดปริมาณการผันน้ำสำหรับสาธารณสุขปโภคตามข้อมูลของกรมชลประทาน

1.2.3 ประมวลผลแบบจำลอง SWAT แบบรายวันตั้งแต่ปี 2556-2563 กำหนดช่วงการเตรียมการประมวลผล (Warm up period) 2 ปี คือ 2556-2557 การประมวลผลแบบจำลอง ดำเนินการด้วยโปรแกรม SWAT CUP (SWAT Calibrate and Uncertainty Procedures) (Abbaspour; Johnson; & van Genuchten, 2004; Abbaspour *et al.* 2007) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) วิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ (sensitivity analysis) ใช้วิธีการแบบ Global และทดสอบสมมติฐานความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ด้วยสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% (P-value < 0.1) โดยพิจารณาทั้งหมด 19 พารามิเตอร์ และเลือกพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อความอ่อนไหวในการจำลองเพื่อสอบเทียบแบบจำลองในขั้นถัดไป

2) สอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) เพื่อปรับแก้พารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวในการจำลองปริมาณน้ำทำให้เหมาะสมกับลุ่มน้ำระยอง ใช้ข้อมูล ปี 2558-2560 ของปริมาณการไหลในลำน้ำรายวันจากสถานีตรวจวัดคลองทับมา (ภาพที่ 1 หมายเลข 18) และสถานีตรวจวัดบ้านค่าย (ภาพที่ 1 หมายเลข 19) และข้อมูลปริมาณการไหลเข้าอ่างเก็บน้ำหลัก (Inflow) 3 แห่ง (ภาพที่ 1 หมายเลข 13-15) รวมทั้งหมด 5 ตำแหน่ง การสอบเทียบแบบจำลองใช้เทคนิค Sequential Uncertainty Fitting 2 (SUFI2) (Abbaspour; Vaghefi; & Srinivasan. 2017: 6) เพื่อระบุขอบเขต 95% ของความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์จากแบบจำลอง (95% Prediction Uncertainty: 95PPU) ให้ครอบคลุมปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจริงได้มากที่สุด ในส่วนนี้สามารถประเมินด้วยสัดส่วนของข้อมูลที่อยู่ภายในขอบเขต 95PPU (P-factor) ซึ่งมีค่าแนะนำคือมากกว่า 70% และความกว้างของช่วงความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของ 95PPU (R-factor) ซึ่งควรมีค่าสูงสุดไม่เกิน 1.2-1.5 (Abbaspour *et al.* 2015) นอกจากนี้ยังพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ผลการจำลองใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดมากที่สุดด้วยดัชนี Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) (สมการที่ 2) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R²) (สมการที่ 3) ที่ควรมีค่าสูงกว่า 0.5 และ 0.6 (Moriassi *et al.* 2015) ตามลำดับ

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

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

เมื่อ	X_i	คือ ปริมาณน้ำท่าจากสถานีตรวจวัด
	Y_i	คือ ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง
	\bar{X}	คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำท่าจากสถานีตรวจวัด
	\bar{Y}	คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง

3) ตรวจสอบความถูกต้องของการจำลอง (validation) โดยใช้ข้อมูลปริมาณการไหลในลำน้ำจากสถานีตรวจวัดเดียวกับที่ใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง เป็นข้อมูลในปี 2561-2563 ประเมินประสิทธิภาพจากการจำลองน้ำท่าด้วยค่าพารามิเตอร์ในช่วงที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง และพิจารณาค่าสถิติต่าง ๆ ของผลลัพธ์ที่ได้ ได้แก่ P-factor R-factor NSE และ R^2

2. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

การศึกษานี้ใช้แบบจำลอง CA-Markov คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่าง ๆ (Probability of change: P) รวมถึงสัดส่วนพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลง (Transition Area) เทียบกันระหว่าง 2 ช่วงเวลา ลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้จะถูกนำมาประเมินสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภท (Land Use Proportion: V) ในอนาคตด้วยหลักการ Markov Chain (สมการที่ 4) และการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเชิงพื้นที่ด้วยหลักการ Cellular Automata การศึกษาครั้งนี้ กำหนดสถานการณ์จำลอง (scenarios) การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี 2570 2575 และ 2580 จากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี 2553-2556 และ 2559 เนื่องจากการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นข้อมูลราย 3 ปี นอกจากนี้จังหวัดระยองมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างรวดเร็ว จึงแบ่งการพิจารณาเป็น 2 ช่วงระยะเวลาคือ 1) การเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเวลา 3 ปี ได้แก่ ปี 2553-2556 และปี 2556-2559 และ 2) การเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะเวลา 6 ปี คือ ปี 2553-2559 ทำให้ได้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่สามารถเกิดขึ้นได้แตกต่างกัน 3 สถานการณ์ แทนรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี 2553-2556 2556-2559 และ 2553-2559 จึงกำหนดเป็นสถานการณ์ S1 S2 และ S3 ตามลำดับ และประเมินความแม่นยำของการสถานการณ์จำลองด้วยการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2563 ด้วยร้อยละของความถูกต้องและสถิติแคปปา (Kappa Statistic) ซึ่งมีเกณฑ์การประเมิน คือ 0.81-1.00 หมายถึงข้อมูลมีความสอดคล้องดีมาก 0.61-0.80 ข้อมูลมีความสอดคล้องดี และ 0.6-0.41 ข้อมูลมีความสอดคล้องพอใช้ (Richard; & Koch. 1997)

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

- เมื่อ $(V_j) \times (P_{jk})$ คือ สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินในช่วงเวลาถัดไป
 (V_j) คือ สัดส่วนของการประโยชน์ที่ดินในระยะที่ 2 $[V_1 V_2 V_3 \dots V_m]$
 (P_{jk}) คือ ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจาก
 ช่วงเวลาที่ 1 เป็นช่วงเวลาที่ 2 อยู่ในรูปของ Matrix
 j ประเภทของการใช้ที่ดินในช่วงเวลาที่ 1
 k ประเภทของการใช้ที่ดินในช่วงเวลาที่ 2

3. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการใช้แบบจำลอง SWAT ที่ได้ทำการสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องแล้ว คาดการณ์ปริมาณน้ำท่า ตามลักษณะการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี 2570 2575 และ 2580 ของแบบจำลอง CA-Markov จากนั้นทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงกราฟน้ำท่า (hydrograph) ปริมาณน้ำท่าจากเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำ (Flow Duration Curve: FDC) และวิเคราะห์สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำท่าในลุ่มน้ำหลัก และระดับลุ่มน้ำย่อย

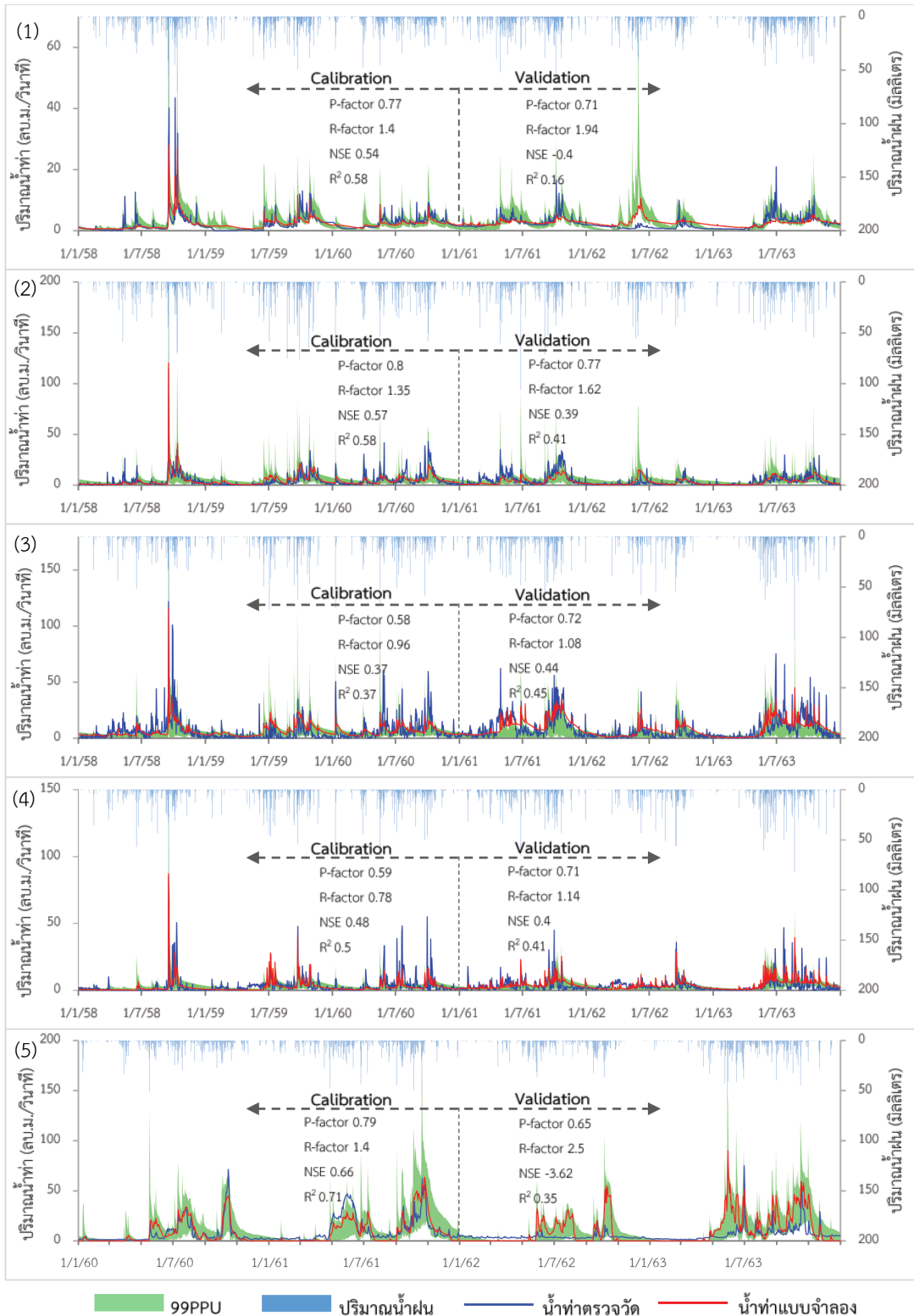
ผลการวิจัย

1. การจำลองปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำระยองด้วยแบบจำลอง SWAT

ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง พบว่าพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวในการจำลองปริมาณน้ำท่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 ของทุกลุ่มน้ำ ได้แก่ ค่า curve number (CN_2) ดัชนีการเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำใต้ดิน (ALPHA_BF) สัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำหลัก (CH_N2) อัตราการรั่วซึมจากพื้นที่ท้องน้ำของลำน้ำหลัก (CH_K2) สัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำสาขา (CH_N1) อัตราการรั่วซึมจากพื้นที่ท้องน้ำของลำน้ำสาขา (CH_K1) และปริมาณน้ำในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (SOL_AWC) ในการสอบเทียบแบบจำลองได้รวมเอาพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวในแต่ละลุ่มน้ำด้วย จึงมีพารามิเตอร์ในการสอบเทียบแบบจำลองทั้งหมด 14 พารามิเตอร์

ลุ่มน้ำที่สามารถคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าจากการสอบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวอยู่ในเกณฑ์ดี คือ ลุ่มน้ำบ้านค่าย (NSE = 0.66 และ R² = 0.71) ตามด้วย ลุ่มน้ำดอกกราย ลุ่มน้ำทับมา ลุ่มน้ำคลองใหญ่ และลุ่มน้ำหนองปลาไหล (NSE และ R² ระหว่าง 0.37-0.57 และ 0.37-0.58 ตามลำดับ) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์พอใช้และเมื่อพิจารณาพร้อมกับค่า P-factor และค่า R-factor (ภาพที่ 3) พบว่าช่วงค่าความคลาดเคลื่อน 95PPU ครอบคลุมค่าปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัดจริงในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

การตรวจสอบความถูกต้องพบว่า กลุ่มน้ำหนองปลาไหล กลุ่มน้ำดอกกรายและกลุ่มน้ำคลองใหญ่แบบจำลองสามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าได้ในเกณฑ์พอใช้ ค่า NSE และ R² อยู่ระหว่าง 0.39-0.44 และ 0.41-0.45 ตามลำดับ แบบจำลองสามารถคำนวณอัตราการไหลสูงสุด (Peak discharge) ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงโดยเฉพาะกลุ่มน้ำคลองใหญ่ (ภาพที่ 3) สำหรับ กลุ่มน้ำทับมาและกลุ่มน้ำบ้านค่าย การจำลองปริมาณน้ำท่ามีประสิทธิภาพต่ำกว่าเกณฑ์ยอมรับ กลุ่มน้ำทับมามีค่า NSE ต่ำกว่า 0 และค่า R² เท่ากับ 0.16 ซึ่งหมายถึงแบบจำลองไม่สามารถคาดการณ์ปริมาณการไหลในลำน้ำได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตาม พบว่าช่วงความคลาดเคลื่อน 95PPU ของการจำลองครอบคลุมปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด และแบบจำลองสามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าช่วงอัตราการไหลต่ำ (Low flow) ได้ถูกต้อง นอกจากนี้หากพิจารณาประสิทธิภาพแบบจำลองของกลุ่มน้ำทับมาในปี 2563 พบว่าค่า NSE เท่ากับ 0.45 ค่า R² เท่ากับ 0.53 ตามลำดับ (ภาพที่ 3) สำหรับกลุ่มน้ำบ้านค่ายมีค่า NSE ต่ำกว่า 0 และช่วงความคลาดเคลื่อน 95PPU ของการจำลองค่อนข้างกว้าง เนื่องจากในลุ่มน้ำมีฝายบ้านค่ายควบคุมปริมาณการไหลของน้ำ รวมถึงมีการผันน้ำจากฝายและแม่น้ำเพื่อใช้ในสาธารณูปโภค แบบจำลอง SWAT ยังมีข้อจำกัดบางประการในการจำลองปริมาณน้ำล้นจากอ่างเก็บน้ำและฝาย ซึ่งทำให้ไม่สามารถจำลองปริมาณน้ำท่าได้อย่างถูกต้อง (Wang *et al.* 2023)



ภาพที่ 3 กราฟน้ำท่าจากการสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดน้ำท่า 5 แห่งในลุ่มน้ำระยอง

จากตารางที่ 1 พบว่า ระหว่างปี 2553 และ 2556 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงรายปีเด่นชัด ได้แก่ พืชไร่ (-1.07%) และไม้ผล (-0.41%) มีพื้นที่ลดลง ในขณะที่ยางพารา (+1.12%) และอุตสาหกรรม (+0.27%) มีพื้นที่เพิ่มขึ้น และช่วงระหว่างปี 2556 และ 2559 พบว่า พืชไร่ (-0.99%) และยางพารา (-0.51%) มีพื้นที่ลดลง ในขณะที่ไม้ยืนต้น (+0.82%) และอุตสาหกรรม (0.74%) มีพื้นที่เพิ่มขึ้น สำหรับการเปลี่ยนที่ดินที่เปลี่ยนแปลงในช่วง 2553 และ 2559 พบว่า พืชไร่พื้นที่ลดลง (-1.03%) ในขณะที่พื้นที่ไม้ยืนต้น (+0.53%) ยางพารา (+0.31%) และพื้นที่อุตสาหกรรม (+0.51%) เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์พบว่าทั้ง 3 ช่วงเวลามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน จึงใช้เป็นข้อมูลสำหรับคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตที่เป็นไปได้ 3 สถานการณ์

เมื่อตรวจสอบความแม่นยำของการคาดการณ์ด้วยการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2563 พบว่า มีสัมประสิทธิ์แคปปาอยู่ในเกณฑ์ดีทั้งหมด คือ ผลจากการคาดการณ์ S1 มีค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.73 สัดส่วนความถูกต้อง 66.6% การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทป่าไม้ 87.81% แหล่งน้ำ 77.76% และนาข้าว 73.18% มีความถูกต้องสูงที่สุด ผลจากการคาดการณ์ S2 มีค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.77 สัดส่วนความถูกต้อง 69.27% การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทนาข้าว 93.34% ป่าไม้ 89.03% และ อุตสาหกรรมมีความถูกต้องสูงที่สุด 84.75% และผลจากการคาดการณ์ S3 มีค่าสัมประสิทธิ์แคปปา 0.76 สัดส่วนความ ถูกต้อง 70.35% การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทป่าไม้ 89.25% นาข้าว 87.84% และพื้นที่อุตสาหกรรม 83.87% มีความถูกต้องสูงที่สุด ดังนั้นจึงสามารถใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี 2553 2556 และ 2559 เป็นตัวแทนสำหรับคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี 2570 2575 และ 2580 ได้

ผลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี 2570 2575 และ 2580 ของทั้ง 3 สถานการณ์ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 4) พบว่าส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ประเภทอุตสาหกรรม พืชไร่ และ ไม้ยืนต้น โดย S2 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่มากที่สุด คือ อุตสาหกรรมและไม้ยืนต้นเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 1.25% และ 0.51% ของพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ และพื้นที่เพาะปลูกยางพาราและพืชไร่ลดลงเฉลี่ยปีละ 0.87% และ 0.7% ของพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ ใกล้เคียงกับการเปลี่ยนแปลงใน S3 คือ พื้นที่อุตสาหกรรมและไม้ยืนต้นเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 0.82% และ 0.32% ของพื้นที่ลุ่มน้ำตามลำดับ พืชไร่ลดลงเฉลี่ยปีละ 0.77% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ แต่มียางพาราเพิ่มเพียง 0.02%

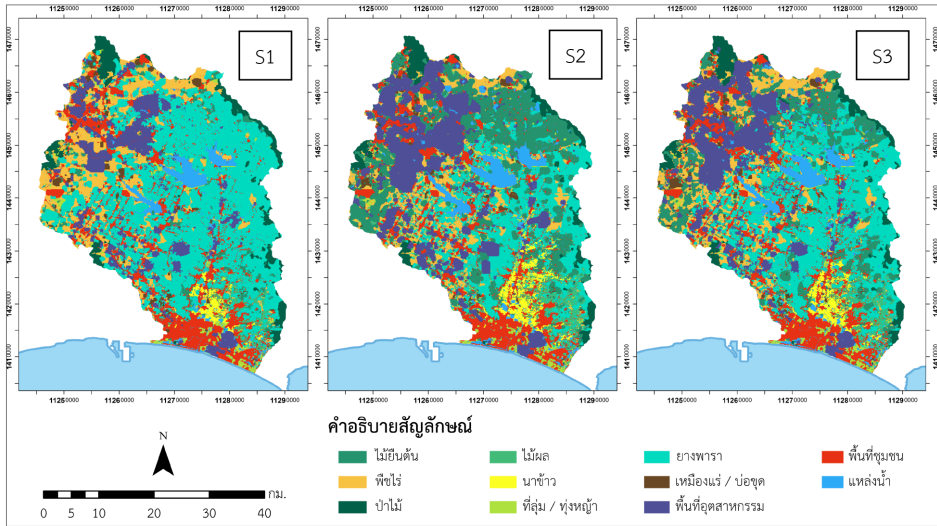
สำหรับ S1 มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ภาคเกษตรกรรมมาก ยางพาราเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 1.18% พืชไร่ลดลง 0.93% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ ในขณะที่พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง ได้แก่ อุตสาหกรรมและชุมชน เพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 0.62% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ

ตารางที่ 1: การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำระยองระหว่างปี 2553 2556 และ 2559

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	2553	2556	% การเปลี่ยนแปลง รายปี		2553	2556	% การเปลี่ยนแปลง รายปี		
	(ตร.กม.)	(ตร.กม.)	2556	2559	(ตร.กม.)	(ตร.กม.)	2553	2559	
ไม้ยืนต้น	99.57	111.74	0.23	111.74	154.55	0.82	99.57	154.55	0.53
พืชไร่	444.02	388.44	-1.07	388.44	337.05	-0.99	444.02	337.05	-1.03
ป่า	98.92	97.28	-0.03	97.28	94.93	-0.05	98.92	94.93	-0.04
ไม้ผล	126.91	105.83	-0.41	105.83	100.11	-0.11	126.91	100.11	-0.26
นาข้าว	53.38	48.13	-0.10	48.13	48.12	0.00	53.38	48.12	-0.05
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	113.48	98.80	-0.28	98.80	88.61	-0.20	113.48	88.61	-0.24
ยางพารา	453.64	511.70	1.12	511.70	485.42	-0.51	453.64	485.42	0.31
เหมืองแร่/บ่อขุด	15.39	18.78	0.07	18.78	21.38	0.05	15.39	21.38	0.06
พื้นที่อุตสาหกรรม	86.37	100.62	0.27	100.62	138.82	0.74	86.37	138.82	0.51
พื้นที่ชุมชน	165.81	175.88	0.19	175.88	185.77	0.19	165.81	185.77	0.19
แหล่งน้ำ	72.42	72.71	0.01	72.71	75.14	0.05	72.42	75.14	0.03

ตารางที่ 2: ร้อยละของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2570 2575 และ 2580 ต่อพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานการณ์จำลอง S1 S2 และ S3 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov

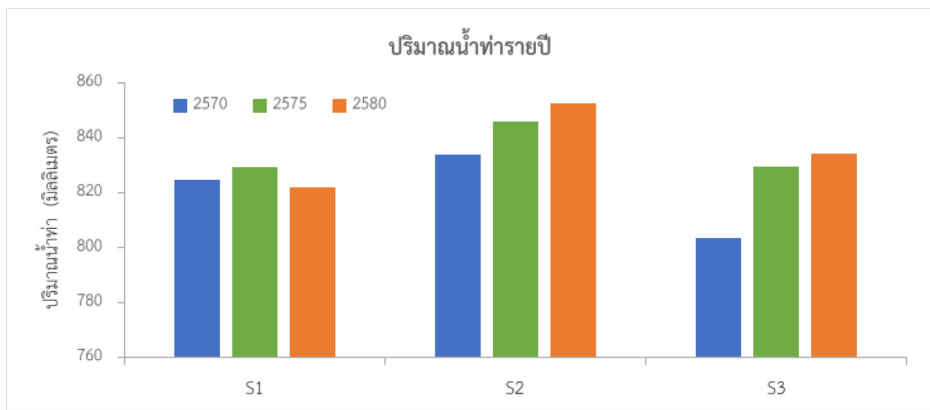
ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	2559	สถานการณ์ 1 (S1)			สถานการณ์ 2 (S2)			สถานการณ์ 3 (S3)		
		2570	2575	2580	2570	2575	2580	2570	2575	2580
ไม้ยืนต้น	8.93	6.61	6.20	5.73	14.54	15.82	16.58	12.19	12.98	13.48
พืชไร่	19.48	12.84	10.75	9.12	12.84	11.19	10.05	12.88	11.11	9.82
ป่า	5.49	5.22	5.07	4.93	4.99	4.76	4.55	5.09	4.92	4.74
ไม้ผล	5.79	2.84	2.24	1.80	4.76	4.37	4.02	3.91	3.35	2.89
นาข้าว	2.78	1.73	1.45	1.22	2.76	2.74	2.73	2.30	2.10	1.92
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	5.12	3.14	2.59	2.18	3.60	3.15	2.80	3.37	2.85	2.44
ยางพารา	28.06	40.87	43.52	45.59	23.20	21.35	19.72	29.52	29.65	29.62
เหมืองแร่/บ่อขุด	1.24	1.66	1.77	1.85	1.54	1.61	1.65	1.55	1.63	1.65
พื้นที่อุตสาหกรรม	8.02	8.72	9.54	10.25	14.77	17.37	19.76	12.45	14.14	15.71
พื้นที่ชุมชน	10.74	12.15	12.66	13.10	12.19	12.63	12.96	12.15	12.58	12.95
แหล่งน้ำ	4.34	4.22	4.22	4.23	4.82	5.01	5.19	4.58	4.69	4.79



ภาพที่ 4 การใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำระยอง ปี 2580
จากการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง CA-Markov

3. ปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ผลลัพธ์จากแบบจำลอง SWAT พบว่าปริมาณน้ำท่ารายปีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปีอย่างต่อเนื่อง จากปี 2563 จำนวน 676.99 มิลลิเมตร ในทุกสถานการณ์จำลอง (ภาพที่ 5) การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในสถานการณ์ S2 ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด 25.94 % เนื่องจากมีสัดส่วนพื้นที่อุตสาหกรรมสูงกว่าและมียางพาราต่ำกว่าสถานการณ์อื่นอย่างเห็นได้ชัด (ตารางที่ 2) ในขณะที่สถานการณ์ S3 มีปริมาณน้ำท่ารายปีน้อยกว่าสถานการณ์ S2 ทุกปีและใกล้เคียงกับสถานการณ์ S1 ในปี 2575 และ 2580 ในขณะที่ปี 2570 สถานการณ์ S3 มีปริมาณน้ำท่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับ S1 และ S2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงน้ำท่ารายปีใน S3 อธิบายได้จากเพิ่มขึ้นของพื้นที่อุตสาหกรรมมีอัตราการเพิ่มขึ้นต่ำกว่าในสถานการณ์ S2 และมีสัดส่วนพื้นที่ที่เพาะปลูกยางพารามากกว่าซึ่งเป็นพื้นที่ที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ดีกว่าพื้นที่สิ่งปลูกสร้างจึงเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดินลดลง



ภาพที่ 5 ปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำระยองในรายปี 2570 2575 และ 2580
ของสถานการณ์จำลองการใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 S2 และ S3

สำหรับสถานการณ์ S1 มีปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นในแต่ละปีน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ S2 และ S3 ยกเว้นในปี 2570 (ภาพที่ 5) เนื่องจากมีอัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่สิ่งปลูกสร้างต่ำ ได้แก่ อุตสาหกรรม และชุมชน เฉลี่ยเพียงปีละ 0.25% ของพื้นที่ลุ่มน้ำ แม้ว่าพื้นที่ไม้ยืนต้น พืชไร่ ไม้ผล และนาข้าวมีขนาดลดลง แต่พื้นที่ยางพาราเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 2) จึงทำให้สัดส่วนพื้นที่เกษตรกรรมรวมไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าไม่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน สำหรับในปี 2570 ปริมาณน้ำท่ารวมใน S1 สูงกว่า S3 เนื่องจากมีพื้นที่ยางพารามากกว่า และมีพื้นที่ ไม้ยืนต้น ไม้ผล และพืชไร่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่น้ำซึมผ่านได้คือน้อยกว่า (ตารางที่ 2) ในขณะที่ปี 2575 ปริมาณน้ำท่ารวมใน S3 เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับ S1 จากการเพิ่มขึ้นของอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว และพื้นที่ประเภ่น้ำซึมผ่านได้ดีลดลง

จากการพิจารณารูปภาพน้ำท่าของกลุ่มน้ำย่อย (ภาพที่ 6) พบว่าลุ่มน้ำท่าบามีปริมาณการไหลในลำน้ำรายวันเพิ่มขึ้นจากปี 2563 มากที่สุดในทุกสถานการณ์ โดยในปี 2580 มีปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยเฉพาะใน S2 ดังจะเห็นได้จาก FDC ของปี 2563 อัตราการไหลสูงสุด (High Flow) ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 10 และอัตราการไหลปานกลาง (Median Flow) ที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 ลดลงกลายเป็นอัตราการไหลในเปอร์เซ็นต์ไทล์ 30 และ 60 ในปี 2580 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงในปี 2580 มีปริมาณการไหลสูงกว่าในปี 2563 การเปลี่ยนแปลงน้ำท่าดังกล่าวนี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ตารางที่ 3) คือ พื้นที่อุตสาหกรรมในลุ่มน้ำท่าบามี S2 มีอัตราการเพิ่มขึ้นในช่วง 2570-2580 เฉลี่ยรายปีสูงสุดและพื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่ลดลง ทำให้มีปริมาณน้ำท่าปี 2580 เพิ่มขึ้นจากปี 2563 ถึง 50.17% เช่นเดียวกับในลุ่มน้ำดอกกรายที่มีปริมาณการไหลรายวันเพิ่มขึ้นจากปี 2563 ในทุกสถานการณ์ระหว่าง 6-8% แต่ในปริมาณที่น้อยกว่าของกลุ่มน้ำท่าบามา แม้ว่าภาพน้ำท่าในปี 2580 ของลุ่มน้ำดอกกรายไม่มีความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างสถานการณ์จำลองเนื่องจากพื้นที่อุตสาหกรรมมีอัตราเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่น้อยกว่าลุ่มน้ำท่าบามา (ตารางที่ 3) แต่เมื่อพิจารณา FDC (ภาพที่ 6 และ ตารางที่ 4) จะเห็นได้ว่าทุกสถานการณ์มีปริมาณการไหลในตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่เท่ากันเพิ่มขึ้นจากปี 2563

สำหรับลุ่มน้ำคลองใหญ่ พบว่าภาพน้ำท่าปี 2580 มีลักษณะใกล้เคียงกับปี 2563 ในทุกสถานการณ์(ภาพที่6)เนื่องจากมีอัตราการเปลี่ยนแปลงพื้นที่สิ่งปลูกสร้างน้อยเมื่อเทียบกับลุ่มน้ำท่าบามา และดอกกราย พื้นที่เกษตรกรรม ได้แก่ ไม้ยืนต้น พืชไร่ ไม้ผล และยางพารา มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของการเพาะปลูกในอัตราที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3) ทำให้ปริมาณน้ำท่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อพิจารณาจาก FDC พบว่า S2 มีปริมาณการไหลในตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่เท่ากันมีค่าเพิ่มขึ้นจากปี 2563 ทุกปี (ตารางที่ 4) เนื่องจาก S2 เป็นสถานการณ์ที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่อุตสาหกรรมมากที่สุดในลุ่มน้ำคลองใหญ่เมื่อเทียบกับ S1 และ S2

ในกรณีลุ่มน้ำหนองปลาไหลพบว่าปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มลดลงทุกปี โดยในปี 2580 มีปริมาณน้ำทาน้อยที่สุด แม้ว่าพื้นที่อุตสาหกรรมมีอัตราการเพิ่มขึ้นในทุกสถานการณ์จำลอง (ตารางที่ 3) แต่ส่วนใหญ่อยู่บริเวณตอนเหนือของลุ่มน้ำในเขตนิคมอุตสาหกรรม ในขณะที่ส่วนล่างของลุ่มน้ำมีพื้นที่น้ำเพิ่มขึ้น แม้จะเป็นเพียงเล็กน้อยแต่ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าที่ในลุ่มน้ำตอนล่างลดลงทำให้ปริมาณน้ำท่าโดยรวมของลุ่มน้ำหนองปลาไหลมีแนวโน้มลดลงในแต่ละปีเมื่อพื้นน้ำขยายตัวมากขึ้น

ในขณะที่ลุ่มน้ำบ้านค่าย ปริมาณการไหลในลำน้ำถูกควบคุมจากอ่างเก็บน้ำหลัก 3 แห่ง และมีฝายน้ำล้นบริเวณเหนือจุดตรวจวัด (ภาพที่ 1) ประกอบกับลุ่มน้ำบ้านค่ายมีลักษณะการเปลี่ยนแปลง

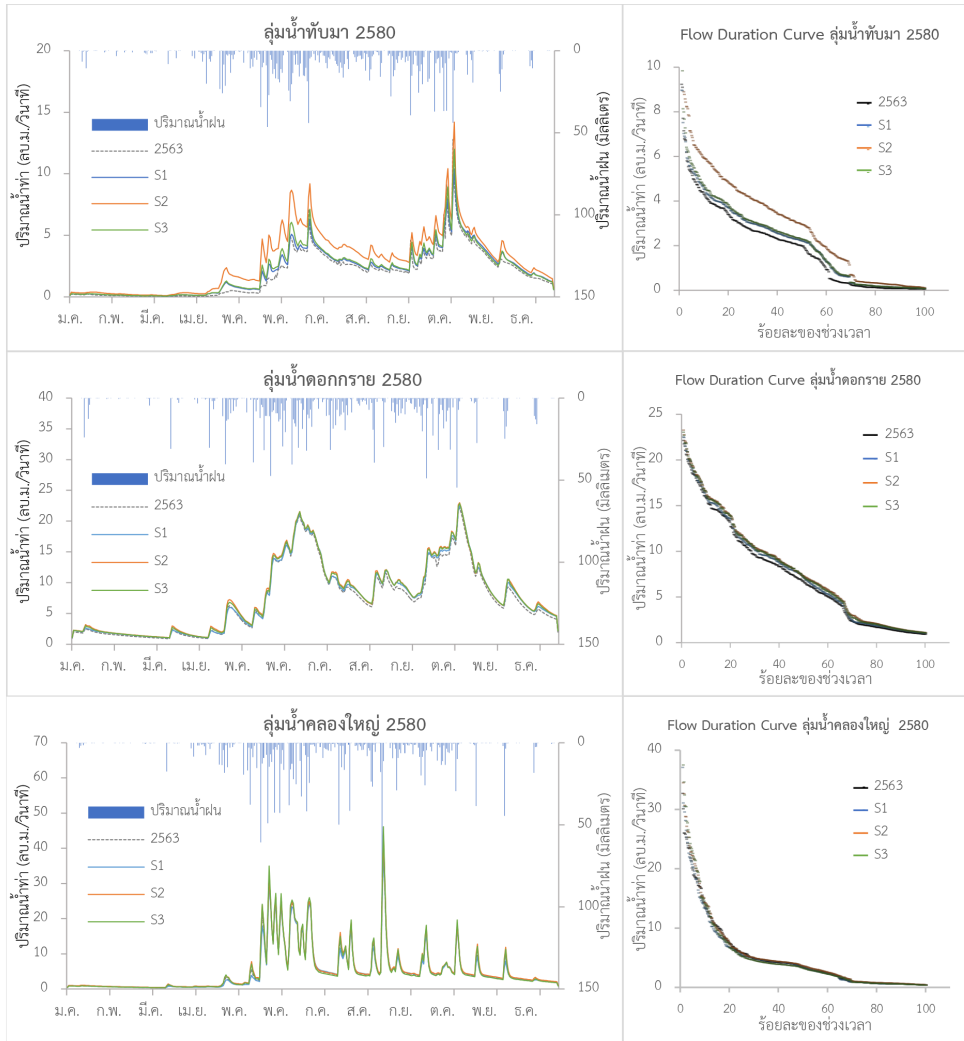
การใช้ประโยชน์ที่ดินคล้ายกับลุ่มน้ำคลองใหญ่ คือพื้นที่อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับลุ่มน้ำทับมา ลุ่มน้ำดอกกราย ลุ่มน้ำหนองปลาไหล แต่ในขณะที่พื้นที่เกษตรกรรม ได้แก่ ไม้ยืนต้น พืชไร่ ไม้ผล และยางพารา มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของการเพาะปลูกในอัตราที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3) จึงทำให้ปริมาณน้ำท่าในแต่ละสถานการณ์ของการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2580 ไม่แตกต่างจากปี 2563

ตารางที่ 3: อัตราการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเฉลี่ยรายปีในระดับลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำระยอง จากการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี 2570 2575 และ 2580

การใช้ประโยชน์ ที่ดิน	ลุ่มน้ำทับมา			ลุ่มน้ำดอกกราย			ลุ่มน้ำหนองปลาไหล			ลุ่มน้ำคลองใหญ่			ลุ่มน้ำบ้านค่าย		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
ไม้ยืนต้น	-0.05	0.15	0.07	-0.02	0.07	0.12	-0.15	-0.03	-0.04	-0.19	0.41	0.30	-0.06	0.47	0.13
พืชไร่	-0.51	-0.58	-0.40	-0.74	-0.53	-0.58	-0.65	-0.41	-0.53	-0.16	-0.16	-0.10	-0.14	-0.11	-0.17
ป่า	0.00	-0.02	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.04	-0.01	-0.11	-0.09	-0.06	-0.01	-0.06	-0.09
ไม้ผล	-0.17	-0.08	-0.12	-0.04	-0.03	-0.08	-0.05	-0.07	-0.07	0.00	-0.01	-0.02	-0.12	-0.06	-0.08
นาข้าว	-0.01	0.00	-0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.05	0.00	-0.05
ที่ลุ่ม/ทุ่งหญ้า	-0.12	-0.15	-0.12	-0.09	-0.09	-0.09	-0.13	-0.07	-0.09	-0.03	-0.05	-0.06	-0.09	-0.06	-0.07
ยางพารา	0.50	-0.71	0.10	0.72	-0.13	0.11	0.43	-0.17	-0.04	0.42	-0.42	-0.27	0.32	-0.65	0.14
เหมืองแร่/บ่อขุด	0.00	0.04	0.02	0.01	0.07	0.01	0.06	-0.03	0.02	0.03	-0.06	0.01	0.00	0.04	0.00
อุตสาหกรรม	0.25	1.22	0.37	0.11	0.56	0.38	0.37	0.83	0.76	0.02	0.17	0.13	0.07	0.38	0.13
ชุมชน	0.11	0.14	0.12	0.05	0.08	0.14	0.15	-0.01	0.01	0.02	0.05	0.03	0.06	0.05	0.06
แหล่งน้ำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.02	0.04	0.00	0.17	0.04	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 4: เปอร์เซ็นต์ไทล์ของปริมาณการไหลในลำน้ำจากสถานการณ์การใช้ดิน S1 S2 และ S3 ของปี 2580 จากเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำ

เปอร์เซ็นต์ไทล์ของ ปริมาณการไหลในลำน้ำ จากค่าสูงสุด	ลุ่มน้ำทับมา			ลุ่มน้ำดอกกราย				ลุ่มน้ำคลองใหญ่				
	2563	S1	S2	S3	2563	S1	S2	S3	2563	S1	S2	S3
10% (High Flow)	4.17	4.22	5.88	4.59	15.74	15.96	16.08	16.00	12.91	13.00	12.80	12.91
50% (Median Flow)	1.91	2.19	2.94	2.26	6.55	6.98	7.18	7.01	3.30	3.26	3.54	3.08
90% (Low Flow)	0.07	0.12	0.21	0.18	1.19	1.34	1.40	1.34	0.54	0.54	0.61	0.53



ภาพที่ 6 กราฟน้ำท่า (Hydrograph) และเส้นโค้งสภาพการไหลของน้ำ (Flow Duration Curve) เปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน S1 S2 และ S3 ในปี 2580 ของกลุ่มน้ำที่ขมา กลุ่มน้ำดอกกราย และกลุ่มน้ำคลองใหญ่

4. ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ากับสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2570 2575 และ 2580 ของกลุ่มน้ำระยอง พบว่าใน S2 และ S3 การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภท พืชไร่ ยางพารา อุตสาหกรรม และชุมชน สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าได้มากที่สุด มีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.89-0.99 (ตารางที่ 5) ในสถานการณ์ S2 ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นเมื่อพื้นที่อุตสาหกรรม และชุมชนเพิ่มขึ้น และพื้นที่เพาะปลูกมีพืชไร่และยางพาราลดลง ในสถานการณ์ S3 มีลักษณะเช่นเดียวกัน แต่พบว่าการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ยางพาราไม่มีผลต่อปริมาณน้ำท่ามากนักแม้ว่าจะมีค่า R^2 สูง เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ยางพาราค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น (ตารางที่ 2)

สำหรับ S1 อัตราการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทไม่สูงเท่ากับของ S2 และ S3 จึงทำให้ปริมาณน้ำท่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ค่า R2 ระหว่างปริมาณน้ำท่าและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทต่ำกว่า 0.2 และทิศทางของความสัมพันธ์ไม่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า (ตารางที่ 5)

เมื่อพิจารณาระดับลุ่มน้ำย่อย พบว่าลุ่มน้ำทับมามีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทชัดเจนที่สุด โดยเฉพาะพืชไร่ ไม้ผล อุตสาหกรรม และชุมชน มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ามากที่สุด ค่า R2 ของทุกสถานการณ์จำลองอยู่ระหว่าง 0.7-0.99 การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำทับมา เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่อุตสาหกรรม และชุมชน และการลดลงของพื้นที่พืชไร่และไม้ยืนต้น ในขณะที่ลุ่มน้ำอื่น ๆ พบว่าค่า R2 ระหว่างปริมาณน้ำท่ากับสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินสูงแต่สมการความสัมพันธ์ไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าได้อย่างสมเหตุสมผล เนื่องจากปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ชัดเจนเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในทุกสถานการณ์จำลอง (ภาพที่ 6)

ตารางที่ 5: ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีและสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินของลุ่มน้ำระยอง

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	S1		S2		S3	
	R ²	สมการความสัมพันธ์	R ²	สมการความสัมพันธ์	R ²	สมการความสัมพันธ์
พืชไร่	0.09	$y = 0.5546x + 819.16$	0.99	$y = -6.5547x + 920.22$	0.92	$y = -10.007x + 937.19$
ยางพารา	0.09	$y = -0.4431x + 845.25$	0.98	$y = -5.2786x + 961.19$	0.83	$y = 208.77x - 5588.9$
อุตสาหกรรม	0.11	$y = -1.5805x + 840.52$	0.98	$y = 3.6631x + 779.29$	0.88	$y = 9.2603x + 688.93$
ชุมชน	0.11	$y = -2.5897x + 854.92$	0.99	$y = 25.307x + 556.09$	0.89	$y = 40.981x + 356.86$

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ผลจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำระยองในปี 2570 2575 และ 2580 ด้วยแบบจำลอง SWAT ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพแบบจำลองในการจำลองปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำระยองในช่วงปี 2558-2563 อยู่ในเกณฑ์พอใช้ในภาพรวม โดยลุ่มน้ำตอกราย ลุ่มน้ำหนองปลาไหล และลุ่มน้ำคลองใหญ่ มีปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริง สำหรับลุ่มน้ำทับมา แม้ว่าการจำลองปริมาณน้ำท่าช่วงที่มีอัตราการไหลสูง (High flow) ยังไม่ถูกต้องมากนัก แต่สามารถจำลองปริมาณน้ำท่าช่วงอัตราการไหลต่ำ (Low flow) ได้ถูกต้อง ในลุ่มน้ำบ้านค่าย แบบจำลองไม่สามารถคำนวณปริมาณน้ำท่าให้ใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริงได้ เนื่องจากปริมาณน้ำ ณ ตำแหน่งจุดออกของลุ่มน้ำถูกกำหนดโดยปริมาณน้ำที่ล้นออกจากฝายบ้านค่าย นอกจากนี้ในลุ่มน้ำบ้านค่ายยังมีการผันน้ำจากแม่น้ำสายหลักเพื่อใช้ในการเกษตรและระบบสาธารณสุขประเภทต่าง ๆ แบบจำลอง SWAT ซึ่งจำลองการเกิดน้ำท่าจากกระบวนการในลุ่มน้ำตามธรรมชาติโดยส่วนใหญ่ จึงไม่สามารถจำลองปริมาณน้ำท่าได้ใกล้เคียงกับปริมาณการตรวจวัดจริง

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ของกลุ่มน้ำระยองจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2553 2556 และ 2559 ด้วยแบบจำลอง CA-Markov พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำระยอง เป็นพื้นที่เกษตรกรรม การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพืชไร่ลดลงและนิยมปลูกยางพารามากในช่วงปี 2553-2556 แต่ในช่วงปี 2556-2559 พื้นที่ยางพาราเริ่มลดลง เปลี่ยนสภาพไปเป็นพื้นที่ไม้ยืนต้นมากขึ้น มีการปลูกพืชชนิดอื่นควบคู่ไปกับการปลูกยางพาราซึ่งหมายถึงรวมถึงการปลูกพืชผสมผสานเพิ่มมากขึ้น สำหรับพื้นที่สิ่งปลูกสร้างพบว่ามีอัตราเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะในช่วงตั้งแต่ปี 2556 เป็นต้นมา มีอัตราการกลายเป็นเมืองอย่างรวดเร็วจากการขยายตัวของพื้นที่อุตสาหกรรม การคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงในอนาคตจึงมีความเป็นไปได้ 3 สถานการณ์ ได้แก่ 1) พืชไร่ลดลง ยางพาราเพิ่มขึ้น อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น เล็กน้อย 2) พืชไร่และยางพาราลดลง ไม้ยืนต้นและอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น และ 3) พืชไร่ลดลง ไม้ยืนต้น ยางพาราและอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการตรวจสอบความถูกต้องในการคาดการณ์ของแบบจำลอง ทั้ง 3 สถานการณ์ มีผลการตรวจสอบอยู่ในเกณฑ์ดี สามารถใช้คาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตได้

การคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในปี 2570 2575 2580 พบการขยายตัวของเมืองชัดเจนที่สุดในลุ่มน้ำ หนองปลาไหลและลุ่มน้ำดอกกราย ซึ่งมีพื้นที่อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นมากบริเวณตอนบนของลุ่มน้ำในบริเวณที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรม สำหรับลุ่มน้ำทับมามีการขยายตัวทั้งพื้นที่อุตสาหกรรมและชุมชน เนื่องจากอยู่ในเขตเมืองและมีอาณาเขตติดต่อกับตำบลมาตาพุดซึ่งเป็นเขตนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ในขณะที่ลุ่มน้ำคลองใหญ่และลุ่มน้ำบ้านค่ายไม่พบการขยายตัวของเมืองที่ชัดเจน เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งนิยมปลูกยางพารามากในบริเวณด้านตะวันออกและทำนาในบริเวณที่ลุ่มริมฝั่งแม่น้ำ

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำระยอง ในปี 2570 2575 2580 พบว่าในสถานการณ์ที่ 2 และ 3 ปริมาณน้ำท่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกปี การเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพืชไร่ ยางพารา อุตสาหกรรม และชุมชน มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ามากที่สุด ในขณะที่สถานการณ์ที่ 1 ไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน เมื่อแยกพิจารณารายลุ่มน้ำพบว่า ลุ่มทับมา และลุ่มน้ำดอกกราย และลุ่มน้ำคลองใหญ่ มีปริมาณการไหลในลำน้ำและอัตราการไหลสูงสุดเพิ่มขึ้นจากปี 2563 มากที่สุด การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำย่อยสอดคล้องกับสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน กล่าวคือ หากในลุ่มน้ำมีพื้นที่อุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำท่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่หากพื้นที่เกษตรกรรมเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำท่าจะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่น้ำสามารถซึมผ่านได้มากกว่าพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง สำหรับลุ่มน้ำหอนงปลาไหลมีพื้นที่อุตสาหกรรมที่เพิ่มขึ้นอยู่บริเวณตอนบนของลุ่มน้ำ และมีพื้นที่อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่เกิดน้ำท่า จึงทำให้ปริมาณน้ำท่ารวมของลุ่มน้ำหอนงปลาไหลมีแนวโน้มลดลงในทุกปี และสำหรับลุ่มน้ำบ้านค่าย การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำไม่สามารถอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมากนัก เนื่องจากปริมาณน้ำจากลุ่มน้ำขึ้นกับลักษณะการกักเก็บและปล่อยน้ำออกจากฝายบ้านค่ายเป็นหลัก และจากผลการศึกษานี้จึงสามารถสรุปเพิ่มเติมได้ว่าปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำระยองในปี 2070-2080 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยเฉพาะภายในลุ่มน้ำทับมา ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำระยองมากกว่าลุ่มน้ำย่อยอื่น ดังนั้นลุ่มน้ำทับมาจึงมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมได้มากที่สุด

ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนนโยบายสำหรับการป้องกันการเกิดอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำระยองในอนาคต โดยสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานทั้งในด้านการออกแบบมาตรการเชิงโครงสร้าง เช่น การขุดลอกลำน้ำ หรือคันกันน้ำในพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำล้นตลิ่ง ตลอดจนการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตเพื่อควบคุมปริมาณน้ำท่า ลดโอกาสการเกิดอุทกภัยในระดับลุ่มน้ำย่อย งานวิจัยนี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่อื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้

ข้อเสนอแนะ

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าเท่านั้น ยังมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต ที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่า การวิจัยนี้หากมีการศึกษาควบคู่กับการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตของกลุ่มน้ำระยอง จะสามารถวิเคราะห์ความเสี่ยงของการเกิดน้ำท่วมได้แม่นยำมากขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวางแผนป้องกันอุทกภัยที่อาจเกิดขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมชลประทาน. (2562). รายงานแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำ จังหวัดระยอง. กรุงเทพมหานคร: กรมชลประทาน.
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2565). สภาพการใช้ที่ดินภาคตะวันออก. สืบค้นเมื่อ 3 กุมภาพันธ์ 2565, จาก http://www1.ddd.go.th/web_OLP/report_research_E.html
- กานดา วรณวิเศษ. (2558). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ผลกระทบต่อประเทศไทย (Climate Change: Effects to Thailand). *สำนักวิชาการเลขานุการ วุฒิสภา*. 5(17): 25.
- ไทยรัฐออนไลน์. (2558, 18 กันยายน). ระยองน้ำทะลักเข้าเมือง ท่วมมิดเขตเทศบาล ต.ทับมา. สืบค้นเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2565, จาก <https://www.thairath.co.th/news/local/526201>.
- แนวหน้า. (2563, 22 ธันวาคม). ระยองเดินหน้าแผนพัฒนาจังหวัดต้นโครงการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมพื้นที่เศรษฐกิจ คลองทับมา. สืบค้นเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2565, จาก <https://www.naewna.com/local/543142>
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. (2558). บันทึกเหตุการณ์น้ำท่วมจากอิทธิพลของพายุ “หว่ามก้อ” (VAMCO) (14-18 ก.ย. 58). สืบค้นเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2565, จาก https://tiwrm.hii.or.th/current/2015/vamco/vamco_sep57.html
- สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. (2564). 22 ลุ่มน้ำในประเทศไทย และพระราชกฤษฎีกา กำหนดลุ่มน้ำ พ.ศ.2564. สืบค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์ 2565, จาก <http://www.onwr.go.th/?p=10637>
- สุปรีชญา บุญมาก; พงศ์ชนนต์ ศรีสุวรรณ; และณัฐวรรณ สมรรถจันทร์. (2562). จาก Eastern Seaboard สู่ EEC การพัฒนาพื้นที่เศรษฐกิจไทยในภูมิภาคตะวันออก From the Eastern Seaboard to EEC: the Development of Thailand Economy in the Eastern Region. ในเอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 11 มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครปฐม “วิจัยนวัตกรรม เพื่อพัฒนาท้องถิ่นไทย สู่ Disruptive Society”. หน้า 1381-1389. นครปฐม: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

- เอกกมล วรณเมธี; แพรวา อุดมเดชาเวทย์; และประรินดา พานนูน (2565). การวิเคราะห์และประเมินความเพียงพอของปริมาณน้ำในการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจของจังหวัดระยอง. **วารสารอักษรศาสตร์**. 51(2): 21-50.
- Abbaspour, K. C.; Johnson, C. A.; & van Genuchten, M. Th. (2004). Estimating Uncertain Flow and Transport Parameters Using a Sequential Uncertainty Fitting Procedure. **Vadose Zone Journal**. 3(4): 1340–1352.
- Abbaspour, K. C.; Yang, J.; Maximov, I.; Siber, R.; Bogner, K.; Mieleitner, 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.
- 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(0022-1694): 733–752.
- Abbaspour, K. C.; Vaghefi, S.; & 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.
- 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.
- KU Survey Engineering for Agriculture Thailand. (2021). **KU Modified STRM DEM (แบบจำลองความสูงภูมิประเทศที่อ้างอิงค่าระดับจากพื้นหลักฐานทางดิ่งของประเทศไทย) สำหรับงานวิจัยทางภูมิศาสตร์ของประเทศ**. สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2564, จาก http://ku-infra.longdo.org/kusv/storage/KU_MODIFIED_SRTM_DEM.rar
- Moriasi, D. N.; Gitau, M. W.; Pai, N.; & Daggupati, P. (2015). Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria. **Transactions of the ASABE**. 58(6): 1763-1785.
- Richard, L. J.; & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**. 33(1): 159–174.
- Sajikumar, N.; & Remya, R. S. (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.
- 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, 1-43