



การประเมินสมมูลน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักโดยใช้แบบจำลอง SWAT และ MIKE-HYDRO Basin

แพรววดี หงซาวง* เกศวรา สิทธิโชค อมรเทพ เจริญสุข และ จุติเทพ วงษ์เพชร

สาขาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09 2536 8369 อีเมล: tikpraewwadee@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.08.009

รับเมื่อ 17 สิงหาคม 2563 แก้ไขเมื่อ 16 พฤศจิกายน 2563 ตอรับเมื่อ 18 พฤษภาคม 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 22 สิงหาคม 2565

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการประเมินสมมูลน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักโดยใช้แบบจำลอง SWAT และ MIKE-HYDRO Basin เริ่มจากแบบจำลอง SWAT ถูกนำมาใช้ในการประเมินหาผลลัพธ์ทางอุทกวิทยา และแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin ถูกใช้สำหรับประเมินผลลัพธ์จากการจัดระบบการจัดการน้ำในลุ่มน้ำ เช่น การผันน้ำระหว่างอ่างเก็บน้ำ และการจัดสรรน้ำเพื่อการชลประทาน เพื่อการอุปโภคบริโภค และเพื่อการอุตสาหกรรม ข้อมูลประเภทรายวันที่ถูกนำมาใช้ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความเข้มแสงอาทิตย์ เป็นเวลา 32 ปี อยู่ในช่วง พ.ศ. 2528-2559 แบบจำลอง SWAT ถูกตั้งค่าเพื่อประเมินปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำส่วนเติมเต็ม ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลสู่ลำน้ำ และปริมาณน้ำใต้ดิน ในส่วนของความต้องการน้ำสำหรับกิจกรรมการใช้น้ำต่างๆ ถูกนำมาเป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin เพื่อจำลองสมมูลน้ำของวัฏจักรอุทกวิทยาในพื้นที่ การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากจุดตรวจวัด 6 จุด กับผลลัพธ์ปริมาณน้ำท่าของแบบจำลองสำหรับการปรับเทียบแบบจำลอง และการทวนสอบแบบจำลอง พบว่า ผลจากการปรับเทียบแบบจำลองมีค่า Coefficient of Determination (R^2) และ Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) เท่ากับ 0.60-0.96 และ 0.55-0.91 ตามลำดับ สำหรับผลลัพธ์การทวนสอบแบบจำลองพบว่า ค่า R^2 และ NSE สูงกว่าผลลัพธ์ของการปรับเทียบแบบจำลองในทุกๆ จุดตรวจวัด สุดท้ายนี้ผลลัพธ์สมมูลน้ำของวัฏจักรอุทกวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักพบว่า มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 17,224.0 ล้าน ลบ.ม./ปี ปริมาณน้ำการคายระเหย 9,163.2 ล้าน ลบ.ม./ปี ปริมาณน้ำผิวดิน 6,232.3 ล้าน ลบ.ม./ปี และปริมาณน้ำใต้ดิน 1,828.0 ล้าน ลบ.ม./ปี จากผลลัพธ์ข้างต้นสรุปได้ว่าการทำงานร่วมกันของแบบจำลอง SWAT และ MIKE-HYDRO Basin ทำให้แบบจำลองทางอุทกวิทยามีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการพัฒนาไปสู่การวิเคราะห์ความแห้งแล้ง น้ำท่วม ของพื้นที่แต่ละพื้นที่

คำสำคัญ: ลุ่มน้ำป่าสัก SWAT Model, MIKE-HYDRO Basin Model, สมมูลน้ำ

การอ้างอิงบทความ: แพรววดี หงซาวง, เกศวรา สิทธิโชค, อมรเทพ เจริญสุข และ จุติเทพ วงษ์เพชร, “การประเมินสมมูลน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักโดยใช้แบบจำลอง SWAT และ MIKE-HYDRO Basin,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 33, ฉบับที่ 2, หน้า 388-400, เม.ย.-มิ.ย. 2566.



Assessment of Water Balance of Pasak River Basin Using SWAT and MIKE-HYDRO Basin Models

Praewwadee Hongsawong*, Ketvara Sittichok, Amontape Jaroensook and Jutitthep Vongphet
Irrigation Engineering Faculty of Engineering, Kamphaengsaen Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus,
Nakhon Pathom, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 09 2536 8369, E-mail: tikpraewwadee@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.08.009

Received 17 August 2020; Revised 16 November 2021; Accepted 18 May 2021; Published online: 22 August 2022

© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research examines the assessment of water balance of Pasak River Basin by using SWAT and MIKE-HYDRO Basin models. The SWAT model was applied to estimate hydrological characteristics while the MIKE-HYDRO Basin model was used for evaluating the outcomes of water management system in the watershed, such as water diversion between reservoirs and water allocation for irrigation and domestic and industrial consumptions. The daily data of precipitation, temperature, relative humidity, wind velocity and solar radiation throughout 32 years (1985–2016) were used. The SWAT model was set up to estimate runoff, recharge, base flow and groundwater. Water requirements for all activities in the area were applied as inputs of MIKE-HYDRO Basin model in order to simulate water balance of hydrological cycle in the area. Observed runoffs at 6 measuring points were compared to the results from the models. It was found that the results of model calibration provided Coefficient of Determination (R^2) and Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) of 0.60–0.96 and 0.55–0.91, respectively. However, the R^2 and NSE from the results of model validation were higher than those of the model calibration at every measuring point. In conclusion, the water balance of the hydrological cycle in Pasak basin presented 17,224.0 mcm/yr of average total rainfall, 9,163.2 mcm/yr of evapotranspiration, 6,232.3 mcm/yr of surface water and 1,828.0 mcm/yr of groundwater. As a result, the use of SWAT in conjunction with MIKE-HYDRO basin model contributes to improved performance of hydrological models. The implications would considerably benefit further studies on the analysis of drought and flood situations in each area.

Keywords: Pasak River Basin, SWAT Model, MIKE-HYDRO Basin Model, Water Balance

Please cite this article as: P. hongsawong, K. Sittichok, A. Jaroensook, and J. Vongphet, "Assessment of water balance of pasak river basin using SWAT and MIKE-HYDRO Basin models," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 2, pp. 388–400, Apr.–Jun. 2023 (in Thai).



1. บทนำ

หนึ่งในปัจจัยสำคัญสำหรับการดำรงชีวิตของประชากรโลกคือทรัพยากรน้ำ น้ำเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการขยายตัวและการเจริญเติบโตของภาคการเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และรวมถึงภาคเศรษฐกิจอีกด้วย ดังนั้นการใช้ทรัพยากรน้ำจึงสมควรเป็นอย่างมากในการตระหนักถึงการใช้น้ำให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด พื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก เป็นลุ่มน้ำขนาดกลาง และเป็นลุ่มน้ำสาขาหลักของลุ่มน้ำเจ้าพระยา ลุ่มน้ำนี้มีความลาดชันสูงจึงเป็นสาเหตุให้ในฤดูฝนมีกระแสน้ำไหลหลากจากด้านบนลงสู่พื้นที่ลุ่มด้านล่างอย่างรวดเร็วจนเกิดปัญหาอุทกภัยบ่อยครั้ง เมื่อถึงฤดูแล้งปัญหาที่พบในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักคือมักจะประสบปัญหาขาดแคลนน้ำใช้เพื่อการเกษตร การใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาหรือแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าเพื่อจำลองระบบลุ่มน้ำ และประเมินปริมาณน้ำเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยบริหารจัดการน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แบบจำลองทางอุทกวิทยาส่วนใหญ่แล้วจะเป็นแบบจำลองที่มีลักษณะเป็นแบบกำหนดขึ้น (Deterministic) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ 1) Physically-Based Model 2) Empirical Model หรือเรียกอีกชื่อว่า Black Box Model และ 3) Conceptual Model แบบจำลองทั้ง 3 ประเภทที่ได้อธิบายข้างต้นนั้น อาจมีลักษณะที่แตกต่างกันไปซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) แบบจำลองเหมารวม (Lumped Model) แบบจำลองนี้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ เพียงค่าเดียว เพื่อแทนพื้นที่ลุ่มน้ำหรือพื้นที่ที่ทำการจำลองเท่ากันทั้งลุ่มน้ำ และ 2) แบบจำลองกระจายพื้นที่ (Distributed Model) แบบจำลองนี้จะมีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ที่แตกต่างตามความผันแปร หรือความแตกต่างของลักษณะพื้นที่ที่ทำการจำลอง [1] เมื่อก้าวถึงแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่สามารถจำลองกระบวนการต่างๆ ทางกายภาพของลุ่มน้ำ และให้ค่าสัมประสิทธิ์ของพารามิเตอร์แต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำต่างกัน ได้แก่ แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องเกือบ 30 ปี [2] เป็นแบบจำลองประเภทการกระจายค่าสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์ (Semi-distributed-parameter Model) และ

มีลักษณะการคำนวณแบบ Physically-Based Model ใช้สำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ที่มีความซับซ้อนทางด้านอุทกวิทยา และยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ ความลาดชันของพื้นที่ และปัจจัยต่างๆ ด้านอุทกวิทยา

Ang และ Oeurng [3] ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการศึกษาปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำสาขา ในจุดที่ไม่มีการตรวจวัดข้อมูลของลุ่มน้ำโตนเลสาป ประเทศกัมพูชา ในช่วง ค.ศ. 2001-2010 ซึ่งทำการสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม SWAT-CUP วิธี SUFI-2 ให้ผลการสอบเทียบแบบจำลองเป็นข้อมูลรายวัน มีค่า Efficiency (NSE) เท่ากับ 0.38 และค่า STDEV ของข้อมูลตรวจวัด (RSR) มีค่าเท่ากับ 0.79 สำหรับผลการทวนสอบแบบจำลองมีค่า NSE เท่ากับ -6.61 และค่า RSR เท่ากับ 2.67 ซึ่งหากทำการสอบเทียบแบบจำลองด้วยข้อมูลรายเดือน ผลการสอบเทียบมีค่า NSE เท่ากับ 0.60 และค่า RSR เท่ากับ 0.63 จึงสรุปได้ว่าแบบจำลอง SWAT มีความเหมาะสมสำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือนในลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำโตนเลสาป จากลักษณะการคำนวณผลลัพธ์โดยการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย เป็นประโยชน์อย่างมากในการประเมินปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูลการตรวจวัดปริมาณน้ำท่า อย่างไรก็ตาม สำหรับพื้นที่ที่มีการใช้น้ำจากกิจกรรมต่างๆ เป็นจำนวนมาก การประยุกต์ใช้แบบจำลองจำเป็นต้องมีการกำหนดรูปแบบการใช้น้ำให้ครอบคลุมตามความเป็นจริงของพื้นที่ ดังนั้นแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin จึงได้ถูกพิจารณานำมาใช้ในการศึกษาคั้งนี้ด้วย แบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin ถูกพัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญจาก DHI สถาบันที่มีประสบการณ์และความเชี่ยวชาญด้านการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ด้านน้ำและสิ่งแวดล้อม ประเทศเดนมาร์ก MIKE-HYDRO Basin เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการจัดการลุ่มน้ำที่มีระบบแหล่งน้ำและอ่างเก็บน้ำหลายแห่ง และสามารถกำหนดนโยบายการบริหารจัดการน้ำได้อย่างอิสระเพื่อกำหนดปริมาณน้ำที่ต้องการเก็บกักในช่วงเวลาต่างๆ แบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin ถูกประยุกต์ใช้ในการศึกษาในหลายพื้นที่ของประเทศไทย

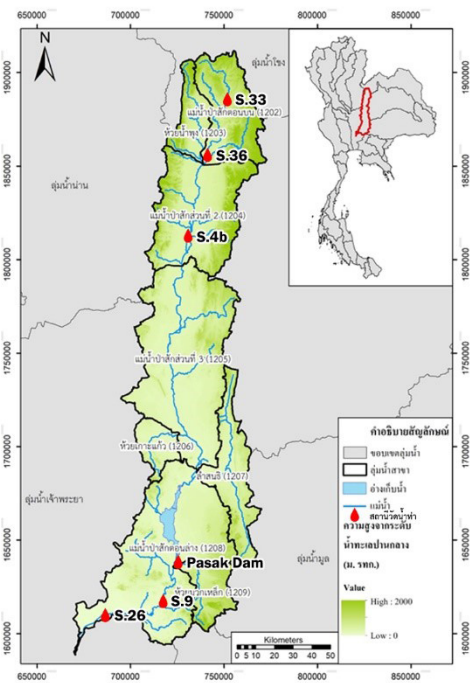
แบบจำลอง SWAT และ MIKE-HYDRO Basin ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกัน และพบว่าสามารถนำมาใช้เพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4] ทำการวิเคราะห์ระบบจัดสรรน้ำ และวิวัฒนาการด้านประชากรของกลุ่มน้ำ Sabor ระหว่าง ค.ศ. 1960 และ ค.ศ. 2009 และเพื่อวิเคราะห์วิธีการจัดการน้ำ และวิวัฒนาการด้านประชากรของกลุ่มน้ำ Sabor และเพื่อประเมินผลกระทบระยะกลางและระยะยาวโดยใช้แบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin ผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ความหนาแน่นของประชากรระหว่าง ค.ศ. 1960 และ ค.ศ. 2009 ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณการไหลของน้ำ ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT และ MIKE-HYDRO Basin ร่วมกันเพื่อประเมินสมมูลน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก ซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินปริมาณน้ำต้นทุนในลุ่มน้ำป่าสัก และเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนบริหารจัดการน้ำในกิจกรรมต่างๆ ในอนาคต

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำป่าสักมีลักษณะภูมิประเทศแบ่งได้ 3 ช่วง ได้แก่ ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน ลุ่มน้ำป่าสักตอนกลาง และลุ่มน้ำป่าสักตอนล่าง ลักษณะภูมิประเทศของลุ่มน้ำป่าสักตอนบนเป็นบริเวณเทือกเขาเพชรบูรณ์ มีพื้นที่ราบอยู่ในตอนกลางของลุ่มน้ำ มีความลาดชันเฉลี่ยประมาณ 1:1,400 จากทิศเหนือลงทิศใต้ พื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบนมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 110–115 เมตร ลักษณะภูมิประเทศของลุ่มน้ำป่าสักตอนกลางเป็นที่ราบสลับกับเนินเขาลาดเทลงมายังทิศใต้ และพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนล่างบริเวณด้านตะวันออกตอนล่างและตะวันออกเฉียงใต้เป็นแนวเทือกเขาสูง แนวลำน้ำมีความลาดชันเฉลี่ยตามประมาณ 1:7,000

การแบ่งลุ่มน้ำสาขาในลุ่มน้ำป่าสัก ได้กำหนดตามผลการศึกษาของโครงการศึกษาสำรวจออกแบบสถานีอุทกวิทยา 25 ลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย [5] โดยพิจารณาหลักเกณฑ์การแบ่งขอบเขตลุ่มน้ำสาขา ใช้แผนที่ภูมิประเทศ



รูปที่ 1 ขอบเขตลุ่มน้ำป่าสักแบบจำลอง SWAT

มาตราส่วน 1:50,000 ชุดปัจจุบันจากกรมแผนที่ทหาร มาใช้ในการกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำ ซึ่งแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักออกเป็น 8 ลุ่มน้ำสาขา ได้แก่ แม่น้ำป่าสักตอนบน (1202) ห้วยน้ำพุ (1203) แม่น้ำป่าสักส่วนที่ 2 (1204) แม่น้ำป่าสักส่วนที่ 3 (1205) ห้วยเกาะแก้ว (1206) ลำสนธิ (1207) แม่น้ำป่าสักตอนล่าง (1208) และห้วยมวกเหล็ก (1209) แสดงดังรูปที่ 1

ในลุ่มน้ำป่าสักมีเขื่อนขนาดใหญ่ชื่อว่าเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ซึ่งรับน้ำจากจังหวัดลพบุรี และปล่อยลงจังหวัดสระบุรี ไหลไปบรรจบกับแม่น้ำเจ้าพระยา ปัจจุบันแหล่งน้ำต้นทุนที่สำคัญของลุ่มน้ำป่าสัก คืออ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์ เป็นอ่างอเนกประสงค์ สร้างปิดกั้นแม่น้ำป่าสัก มีพื้นที่ 14,520 ตารางกิโลเมตร ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเฉลี่ย 2,400 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (พ.ศ. 2498–2535) มีความจุเก็บกัก 785 ล้านลูกบาศก์เมตร [6]

ทิศทางการไหลของลุ่มน้ำป่าสักแสดงดังรูปที่ 2 เมื่อกำหนดจุดตรวจวัดน้ำท่าทั้ง 6 สถานีตรวจวัดแล้ว ทิศทาง



รูปที่ 2 แผนผังทิศทางการไหลของน้ำในลุ่มน้ำป่าสัก

การไหลของน้ำเริ่มตั้งแต่สถานี S.33, S.36, S.4b. Inflow Pasak Dam, S.9 และ S.26 ตามลำดับ

2.2.แบบจำลอง SWAT

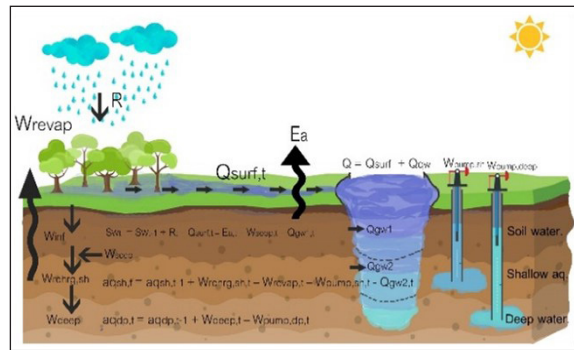
แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่มีความสามารถในการจำลองพื้นที่ที่มีความซับซ้อนทางด้านอุทกวิทยา ซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนสมการสมดุลของน้ำ ดังแสดงในสมการที่ (1) และรูปที่ 3

$$SW_t = SW_{t-1} + R - Q_{surf} - Ea - W_{seep} - Q_w \quad (1)$$

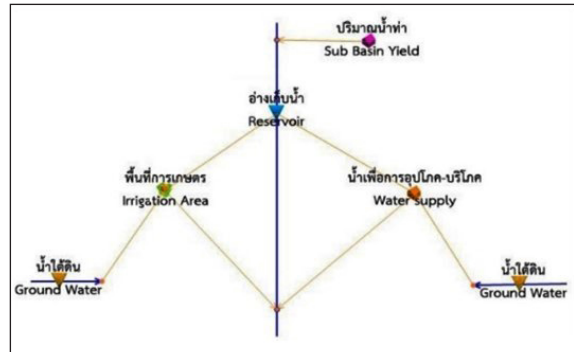
โดยที่ SW_t คือ ปริมาณน้ำสุดท้ายที่คงเหลืออยู่ในดิน (มิลลิเมตร) t คือ ช่วงเวลา (วัน) SW_{t-1} คือ ปริมาณน้ำเริ่มต้นที่อยู่ในดินของวันที่ i (มิลลิเมตร) R คือ ปริมาณน้ำฝนของวันที่ i (มิลลิเมตร) Q_{surf} คือ ปริมาณน้ำผิวดินของวันที่ i (มิลลิเมตร) Ea คือ ปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการระเหยและการคายน้ำของพืช (มิลลิเมตร) W_{seep} คือ ปริมาณน้ำที่สูญเสียออกจากหน้าตัดดิน Soil Profile ของวันที่ i (มิลลิเมตร) Q_w คือ ปริมาณน้ำใต้ดินของวันที่ i (มิลลิเมตร)

2.3 แบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin

แบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin เป็นแบบจำลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบแหล่งน้ำประกอบด้วย แม่น้ำซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นส่วนย่อย (River Segments)



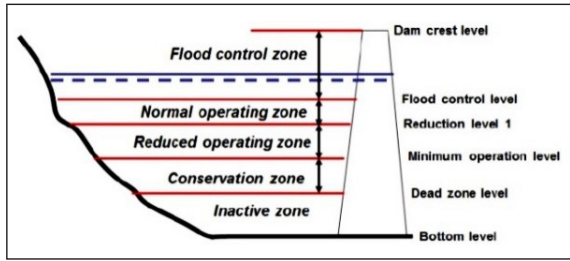
รูปที่ 3 แบบจำลองสมการสมดุลน้ำของ SWAT.



รูปที่ 4 แผนผังการทำงานของแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin

และสามารถกำหนดจุด (Node) ที่มีกิจกรรมการใช้น้ำ โดยแบ่งลักษณะกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการน้ำออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) กิจกรรมการใช้น้ำด้านต่างๆ โดยทั่วไป เช่น การใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค การใช้น้ำเพื่อภาคการเกษตรหรืออุตสาหกรรม และ 2) แหล่งกักเก็บน้ำ เช่น อ่างเก็บน้ำหรือฝายทดน้ำ (รูปที่ 4) โดยภายในแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin สามารถกำหนดข้อมูลการบริหารจัดการน้ำตามแผนของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำในพื้นที่ศึกษาได้ และหลักการคำนวณของ MIKE-HYDRO Basin ในกรณีที่มีแหล่งน้ำและไม่มีแหล่งน้ำแสดงดังสมการที่ (2) ถึง (5) กรณีมีแหล่งน้ำ

$$S_t = S_{t-1} + V_{int} - R_{dws} - R_{irrt} - V_{mint} - L_t - S_{mint} \quad (2)$$



รูปที่ 5 ค่าระดับของอ่างเก็บน้ำ

$$AW_t = S_{t-1} + V_{int} - L_t - V_{mint} - S_{min} \quad (3)$$

กรณีไม่มีแหล่งน้ำ

$$V_t = V_{t-1} + V_{int} - R_{dws} - R_{irrt} - V_{mint} \quad (4)$$

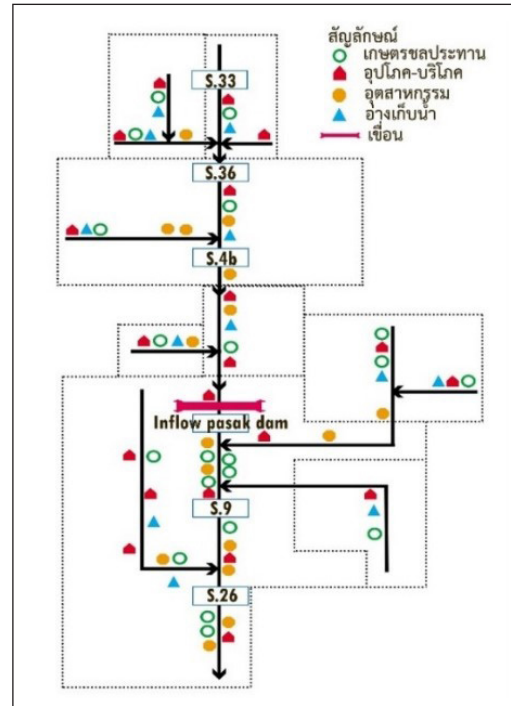
$$AW_t = V_{t-1} + V_{int} - V_{mint} \quad (5)$$

เมื่อ S_t คือ ปริมาณน้ำของอ่างเก็บน้ำ ณ ช่วงเวลาต่างๆ (t) V_{int} คือ ปริมาณน้ำเข้าลุ่มน้ำ R_{dws} คือ ปริมาณน้ำระบายสำหรับการอุปโภคบริโภคและอุตสาหกรรม R_{irrt} คือ ปริมาณน้ำส่งเพื่อการชลประทาน V_{mint} คือ ปริมาณน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศ L_t คือ ปริมาณน้ำสูญเสียของอ่างเก็บน้ำ S_{min} คือ ปริมาณน้ำเก็บกักต่ำสุดของอ่างเก็บน้ำ และ V_t คือ ปริมาณน้ำท่า ณ ช่วงเวลาต่างๆ (t) และ V_{t-1} คือ ปริมาณน้ำท่าเริ่มต้น

แบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin กำหนดให้ระบุลักษณะของอ่างเก็บน้ำโดยอ้างอิงจากค่าระดับ (รูปที่ 5) ซึ่งค่าระดับที่มีความสำคัญสำหรับปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ ระดับพื้นอ่างเก็บน้ำ ระดับความจุต่ำสุด ระดับทางระบายน้ำล้น โค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเส้นบน (Upper Rule Curve) และโค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเส้นล่าง (Lower Rule Curve)

สำหรับงานวิจัยนี้ การประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin เพื่อจำลองการบริหารจัดการน้ำ กำหนดให้มีปฏิบัติการสำหรับอ่างเก็บน้ำ 4 รูปแบบ ดังนี้

1) ปริมาณน้ำที่ต้องระบายต่ำสุดคือ ปริมาณน้ำที่ต้องระบายเพื่อรักษาระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อมของแม่น้ำด้านท้ายเขื่อน



รูปที่ 6 แผนผังทิศทางการไหลและตำแหน่งการตั้งน้ำไปใช้ตามความต้องการใช้น้ำของแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin

2) ปริมาณน้ำที่สามารถระบายได้สูงสุดคือ ปริมาณน้ำที่สามารถระบายได้หากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำมีค่ามากกว่า โค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเส้นบน

3) โค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเส้นล่างคือ ระดับน้ำต่ำสุดที่เขื่อนสามารถระบายตามความต้องการน้ำสำหรับกิจกรรมต่างๆ ด้านท้ายน้ำ

4) โค้งปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำเส้นบนคือ ระดับน้ำสูงสุดที่สามารถเก็บไว้ได้ในอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลา

2.4 ความต้องการใช้น้ำทั้ง 3 ด้าน

การศึกษาความต้องการใช้น้ำประกอบด้วย ความต้องการใช้น้ำด้านอุปโภค-บริโภค ด้านการเกษตร และด้านอุตสาหกรรม ซึ่งแสดงรายละเอียด และแสดงแผนผังตำแหน่งการตั้งน้ำไปใช้ตามความต้องการใช้น้ำของแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin ดังรูปที่ 6

2.4.1 การคำนวณความต้องการน้ำใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค

การใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค โดยการประเมินความต้องการใช้น้ำของประชากรดังสมการที่ (6)

$$Rdw = P \times Wc \quad (6)$$

เมื่อ P คือ จำนวนประชากร (คน) Wc คือ อัตราการใช้น้ำ (ลิตร/คน/วัน) และ Rdw คือ ปริมาณการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค (ลิตร/วัน)

2.4.2 การคำนวณความต้องการใช้น้ำเพื่อการเกษตร

พื้นที่การเกษตรในกลุ่มน้ำป่าสักตอนบนในเขตชลประทานกำหนดประสิทธิภาพชลประทานที่ร้อยละ 55 [6] คำนวณความต้องการใช้น้ำด้วยวิธี Penman-Monteith ดังสมการที่ (7) [7]

$$Rirr = Kc \times ETo \quad (7)$$

เมื่อ $Rirr$ คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มิลลิเมตร/วัน) Kc คือ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช และ ETo คือ ปริมาณการใช้น้ำอ้างอิงจาก FAO-56 Penman-Monteith (มิลลิเมตร/วัน)

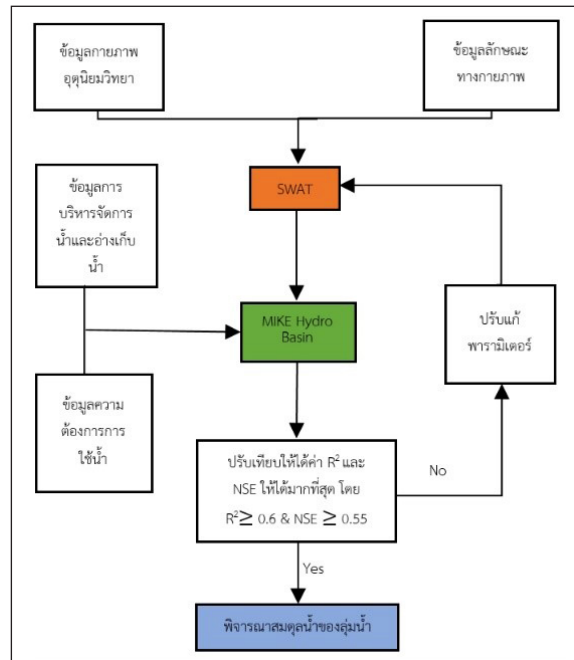
2.4.3 การคำนวณความต้องการใช้น้ำเพื่ออุตสาหกรรม การใช้น้ำเพื่ออุตสาหกรรมในปัจจุบัน ประเมินการใช้น้ำจากกำลังผลิตของโรงงาน และอัตราการใช้น้ำของโรงงาน ดังสมการที่ (8) [8]

$$Rdi = Hp \times Whp \quad (8)$$

เมื่อ Hp คือ กำลังการผลิตของโรงงานแต่ละประเภท (แรงม้า) Whp คือ อัตราการใช้น้ำต่อกำลังการผลิตในแต่ละประเภทโรงงาน (ลบ.ม./วัน/แรงม้า) และ Rdi คือ ปริมาณการใช้น้ำเพื่ออุตสาหกรรม (ลบ.ม./วัน)

2.5 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT-MIKE

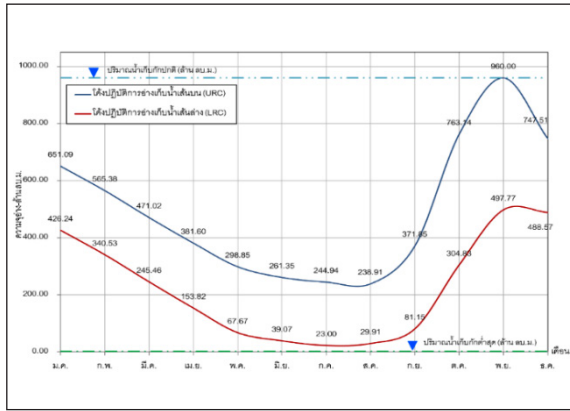
2.5.1 จัดเตรียมข้อมูลและนำเข้าข้อมูลสู่แบบจำลอง การจัดเตรียมข้อมูล และการนำเข้าข้อมูลสู่แบบจำลองสามารถจำแนกกระบวนการดังกล่าวออกเป็น 2 ขั้นตอน



รูปที่ 7 แผนผังการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT-MIKE

ได้แก่ 1) การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง SWAT และ 2) การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin โดยมีรายละเอียดของกระบวนการดังต่อไปนี้ และแสดงแผนผังการประยุกต์ใช้แบบจำลองดังรูปที่ 7

1) การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง SWAT ข้อมูลที่มีความจำเป็นสำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ประกอบด้วย ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ ได้แก่ ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model; DEM) ความลาดชัน (Slope) เส้นลำน้ำ (Stream Line) และทิศทางการไหล (Flow Direction) ข้อมูลชุดดิน (Soil Group) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Data) ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน และข้อมูลสภาพภูมิอากาศอื่น ๆ ที่มีความจำเป็นต่อการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยสมการของ Penman-Monteith เช่น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ชั่วโมงแสงแดด และความเร็วลม โดยดำเนินการเฉลี่ยข้อมูลสภาพภูมิอากาศเชิงพื้นที่ด้วยวิธีรูปเหลี่ยมธีเอสเซน



รูปที่ 8 เกณฑ์การบริหารจัดการน้ำอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์ [9]

2) การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin การนำเข้าข้อมูลในแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin ดำเนินการโดยอ้างอิงตามลุ่มน้ำย่อย และแผนผังระบบลุ่มน้ำ (รูปที่ 6) ซึ่งข้อมูลที่มีความจำเป็นสำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin ประกอบด้วย ความต้องการใช้น้ำบาดาล ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำ ซึ่งสามารถจำแนกเป็นกิจกรรมการใช้น้ำ 3 กิจกรรม ได้แก่ ความต้องการน้ำสำหรับอุปโภค-บริโภค ความต้องการน้ำสำหรับการเกษตร และความต้องการน้ำสำหรับอุตสาหกรรม และในส่วนของข้อมูลอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ ตำแหน่ง ขนาดความจุ และโค้งความจุ ข้อมูลปริมาณการระบายน้ำสำหรับกิจกรรมต่างๆ ข้อมูลพื้นที่ชลประทาน โดยปริมาณน้ำที่ระบายจะต้องไม่เกินปริมาณน้ำที่สามารถระบายได้สูงสุด โดยมีเกณฑ์การบริหารจัดการน้ำอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์ และเกณฑ์การบริหารจัดการน้ำรายเดือนของอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำป่าสัก ดังรูปที่ 8 เมื่อกำหนดและจัดเตรียมข้อมูลเรียบร้อยแล้วขั้นตอนถัดไปคือการนำเข้าข้อมูลสู่แบบจำลอง เพื่อเป็นการตั้งค่าแบบจำลองและสิ่งคำนวณแบบจำลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์จากแบบจำลองทั้งสอง ได้แก่ ปริมาณน้ำท่า เป็นปริมาณน้ำท่าหลังจากปรับความต้องการใช้น้ำจากแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin และปริมาณน้ำท่าซึ่งเป็นผลลัพธ์จากแบบจำลอง SWAT

2.5.2 ขั้นตอนการดำเนินงานแบบจำลอง

ขั้นตอนการดำเนินงานของแบบจำลอง SWAT-*MIKE* แสดงดังรูปที่ 7 และสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1) เมื่อตั้งค่าแบบจำลองและสิ่งคำนวณผลลัพธ์จากแบบจำลอง SWAT เรียบร้อยแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนแรกคือ ปริมาณน้ำท่าก่อนการปรับความต้องการใช้น้ำ

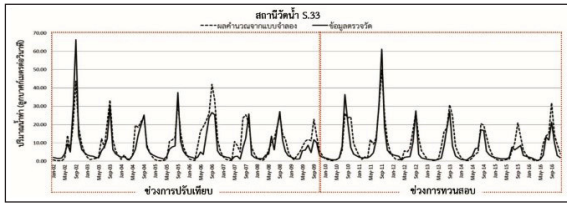
2) เปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลองจากปริมาณน้ำท่า โดยใช้ค่าตรวจวัดปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลสถานีตรวจวัดน้ำท่าพิจารณาค่าความแม่นยำของแบบจำลอง โดยเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความถูกต้องคือ R^2 และ NSE เป็นเกณฑ์การพิจารณา

3) หากพบว่า ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบ และทวนสอบ ปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำสาขาใดที่ได้จากแบบจำลอง SWAT มีค่าไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ R^2 และ NSE ซึ่งต้องมีค่ามากกว่า 0.55 ขึ้นไป จากตารางที่ 1 แสดงเกณฑ์การประเมินผลของแบบจำลอง โดยค่า NSE หากมีค่ามากกว่า 0.55 ขึ้นไปแสดงให้เห็นว่า ผลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าที่เชื่อถือได้ [10] ให้ทำการสิ่งคำนวณแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin ในลุ่มน้ำสาขาดังกล่าวในลำดับถัดไป โดยการพิจารณากิจกรรมการใช้น้ำทั้ง 3 กิจกรรม ที่กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อได้ปริมาณน้ำท่าหลังการปรับความต้องการใช้น้ำเรียบร้อยแล้ว นำผลลัพธ์ดังกล่าวกลับเข้าสู่การปรับพารามิเตอร์โดยแบบจำลอง SWAT อีกครั้งเมื่อผลลัพธ์ผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้ และได้ค่า R^2 และ NSE ที่สูงที่สุดจึงถือว่าจบขั้นตอนการเปรียบเทียบแบบจำลอง

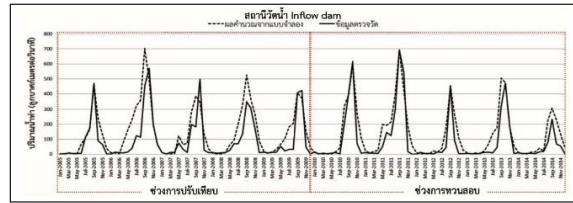
ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินผลของแบบจำลองโดยใช้ค่า NSE

เกณฑ์การประเมินผล	NSE
อยู่ในเกณฑ์ดีมาก (Very good)	$0.75 < NSE < 1.00$
อยู่ในเกณฑ์ดี (Good)	$0.65 < NSE < 0.75$
อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ (Satisfactory)	$0.55 < NSE < 0.65$
ไม่สามารถยอมรับได้ (Unsatisfactory)	$NSE < 0.55$

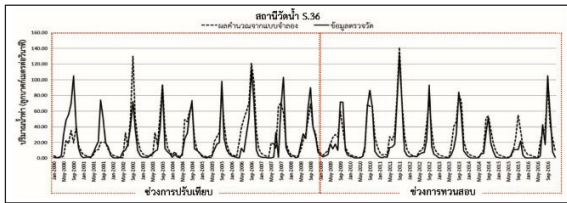
4) พิจารณาสมดุลน้ำของกลุ่มน้ำ ประกอบด้วย ปริมาณน้ำผิวดิน ปริมาณน้ำคายระเหย ปริมาณใต้ดิน และปริมาณการใช้น้ำเพื่อเปลี่ยนแปลงในเขตรากพืช ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากแบบจำลอง SWAT ถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการศึกษา



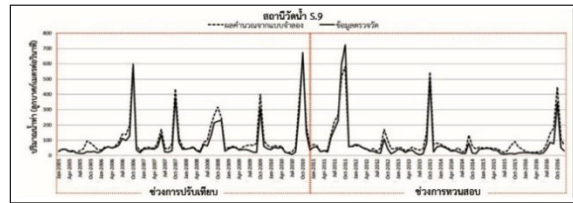
รูปที่ 9 ผลการสอบเทียบและทวนสอบปริมาณน้ำรายเดือนที่สถานีวัดน้ำ S.33 (ช่วง พ.ศ. 2545-2559)



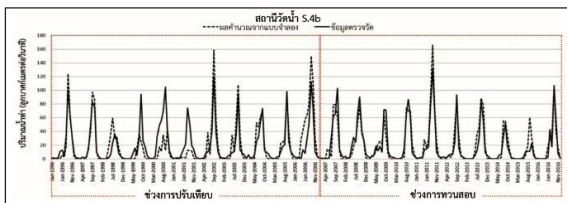
รูปที่ 12 ผลการสอบเทียบและทวนสอบปริมาณน้ำรายเดือนที่สถานีวัดน้ำ Inflow dam (ช่วง พ.ศ. 2548-2557)



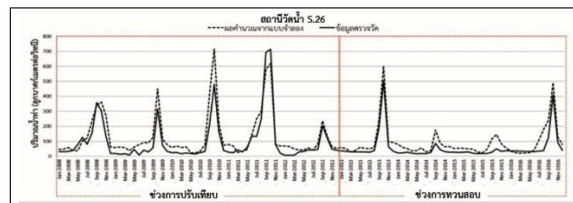
รูปที่ 10 ผลการสอบเทียบและทวนสอบปริมาณน้ำรายเดือนที่สถานีวัดน้ำ S.36 (ช่วง พ.ศ. 2543-2559)



รูปที่ 13 ผลการสอบเทียบและทวนสอบปริมาณน้ำรายเดือนที่สถานีวัดน้ำ S.9 (ช่วง พ.ศ. 2548-2559)



รูปที่ 11 ผลการสอบเทียบและทวนสอบปริมาณน้ำรายเดือนที่สถานีวัดน้ำ S.4B (ช่วง พ.ศ. 2539-2559)



รูปที่ 14 ผลการสอบเทียบและทวนสอบปริมาณน้ำรายเดือนที่สถานีวัดน้ำ S.26 (ช่วง พ.ศ. 2551-2559)

3. ผลการทดลอง

ผลการทดลองประกอบไปด้วยผลการปรับเทียบและทวนสอบแบบจำลอง SWAT-MIKE และสมมูลน้ำ อธิบายได้ดังนี้

3.1 ผลการปรับเทียบและทวนสอบแบบจำลอง SWAT-MIKE

ผลการปรับเทียบและทวนสอบแบบจำลอง SWAT-MIKE โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดปริมาณน้ำท่าจากสถานีตรวจวัดน้ำท่าทั้ง 6 สถานี ได้แก่ สถานี S.33, S.36, S.4b, Inflow Pasak Dam, S.9 และ S.26 พบว่า ทุกจุดที่ทำการปรับเทียบแบบจำลองมีค่า R^2 มากกว่า 0.60 ค่า NSE มากกว่า 0.55 ซึ่งผลการสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลองที่จุดตรวจวัดน้ำท่าทั้ง 6 สถานี อยู่ใน

ช่วงระหว่างยอมรับได้ถึงดีมาก (ตารางที่ 2 และ 3 แสดงผลที่ได้จากการทวนสอบและสอบเทียบแบบจำลองของแต่ละสถานีและรูปที่ 9-14)

ตารางที่ 2 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง

สถานีวัดน้ำท่า	ผลการสอบเทียบแบบจำลอง	
	R^2	NSE
S.33	0.75	0.69
S.36	0.60	0.56
S.4B	0.66	0.55
Inflow Dam	0.76	0.58
S.9	0.96	0.91
S.26	0.88	0.86

ตารางที่ 3 ผลการทวนสอบแบบจำลอง

สถานีวัดน้ำท่า	ผลการทวนสอบแบบจำลอง	
	R ²	NSE
S.33	0.80	0.75
S.36	0.89	0.84
S.4B	0.85	0.81
Inflow Dam	0.86	0.79
S.9	0.95	0.92
S.26	-	-

จากผลการสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลองของ สถานี S.33 สถานี S.36 สถานี S.4b และจุดตรวจวัด Inflow-dam ในบางปีพบว่า ค่าปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองสูงเกินกว่า ค่าปริมาณน้ำท่าตรวจวัด เป็นผลจากการปรับค่าพารามิเตอร์ CN2.mgt, SOL_AWC.sol และ ESCO.hru ในการปรับเทียบ แบบจำลองจำเป็นต้องปรับค่าพารามิเตอร์ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย โดยการเฉลี่ยค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ โดยรวมในลุ่มน้ำทำให้ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองในช่วง Flood Peak มีค่าสูงเกินกว่าค่าปริมาณน้ำท่าตรวจวัดได้ และพบว่า สถานี S.9 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก (R² และ NSE มากกว่า 0.90) เนื่องจากสถานีตรวจวัดน้ำท่าดังกล่าวอยู่ท้าย จุดที่ตั้งของเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ซึ่งเป็นเขื่อนที่มีการควบคุม การปล่อยน้ำทำให้ปริมาณน้ำท่าของแบบจำลองบริเวณ ดังกล่าวถูกควบคุมโดยปริมาณน้ำท่าเขื่อน

การปรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง SWAT ในการ ศึกษาครั้งนี้ปรับโดยการแยกตามพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 8 ลุ่มน้ำ ในแต่ละลุ่มน้ำใช้พารามิเตอร์ไม่เท่ากัน ตารางที่ 4 ได้แสดง ค่าพารามิเตอร์ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำสุดจนถึงสูงสุดที่ใช้ในการศึกษา การประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำป่าสัก และพารามิเตอร์ที่มี ความอ่อนไหวต่อแบบจำลองลุ่มน้ำ 5 อันดับแรก โดยลำดับ จากพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวมากไปจนถึงน้อย ได้แก่ SOL_K.sol, LAT_TTIME.hru, CN2.mgt, GW_DELAY.gw และ SOL_AWC().sol ในส่วนของแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin ประกอบด้วยพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ 1) Surface and Root Zone Parameter 2) Groundwater Parameters

3) Snow Module Parameters และ 4) Irrigation Module Parameter ไม่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ใดๆ ของแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin

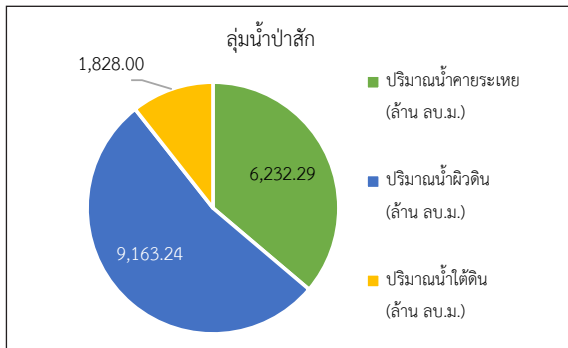
ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง SWAT

พารามิเตอร์		ค่า พารามิเตอร์	หน่วย
SOL_K.sol	ความซึมได้ของน้ำ (Saturated hydraulic conductivity)	12.09–51.97	-
LAT_TTIME.hru	เวลาในการเดินทางของน้ำ ใต้ดินลงสู่ลำน้ำ (Lateral flow travel time)	744	วัน
CN2.mgt	ค่า Curve number	52–82	-
GW_DELAY.gw	ค่าการหน่วงเวลาการไหล ของน้ำใต้ดิน (Groundwater delay)	17.09–86.76	วัน
GW_REVAP.gw	ค่าสัมประสิทธิ์น้ำใต้ดินที่ไหล ออกจากชั้น shallow aquifer ไปสู่ชั้นเขตรากพืช (Groundwater “revap” coefficient)	0.02–0.023	-
SOL_AWC().sol	ปริมาณความชื้นที่ดินสามารถ เก็บไว้ได้ (Available water capacity of the soil layer)	70.215	มิลลิเมตรน้ำ/ มิลลิเมตรดิน

โดยจากผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ได้แสดงถึงประสิทธิภาพ ของแบบจำลองโดยใช้ค่า NSE เป็นค่าประเมินพบว่า หากค่า ของ NSE ที่ได้จากการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง มีค่ามากกว่า 0.75 แสดงว่าแบบจำลองนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก ซึ่งการสอบเทียบแบบจำลองในครั้งนี้ผลที่ได้ของทั้ง 6 สถานี อยู่ในช่วงระหว่างยอมรับได้ถึงดีมาก

3.2 สมดุลน้ำในวัฏจักรอุทกวิทยา

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT-MIKE เพื่อ ประเมินสมดุลน้ำในวัฏจักรอุทกวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก (รูปที่ 15) ซึ่งผลจากการศึกษาสรุปได้ว่า จากปริมาณฝนที่ตกลง ในลุ่มน้ำทั้งสิ้น 17,224 ล้าน ลบ.ม. จำแนกได้เป็นปริมาณน้ำคาย ระเหย (Evapotranspiration; ET) เกิดขึ้นประมาณ 9,163.2 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นร้อยละ 53 เกิดเป็นปริมาณน้ำผิวดิน (Water



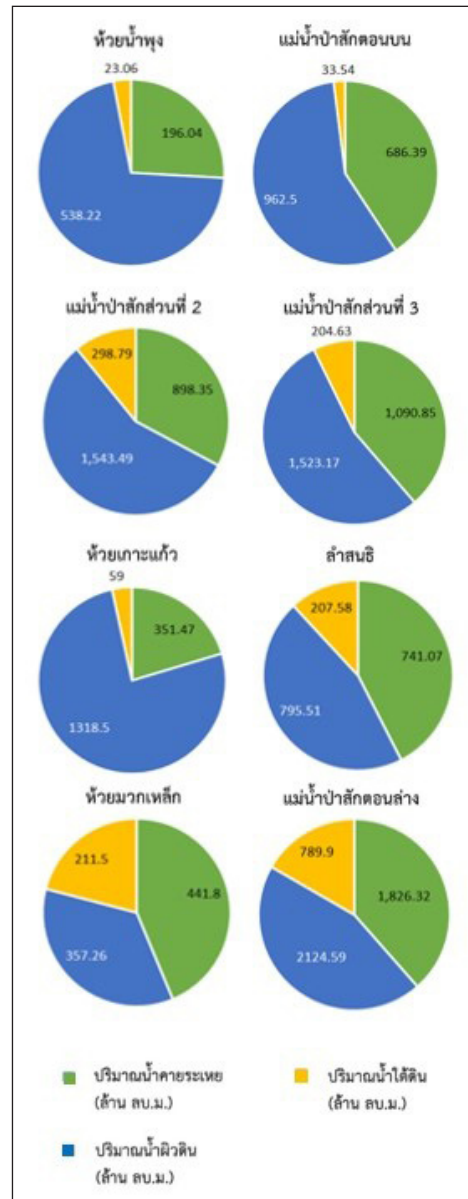
รูปที่ 15 สมดุลน้ำเฉลี่ยรายปีของวัฏจักรอุทกวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก

yield, WYLD) เท่ากับ 6,232.3 ล้าน ลบ.ม. คิดเป็นร้อยละ 36 และมีปริมาณน้ำที่กักเก็บอยู่ชั้นใต้ดิน (Net Recharge, Net RCHG) เท่ากับ 1,828.0 ล้าน ลบ.ม. หรือคิดเป็นร้อยละ 11

ตารางที่ 5 สมดุลน้ำในวัฏจักรอุทกวิทยาของลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำป่าสัก

ลุ่มน้ำสาขา	สมดุลน้ำในวัฏจักรอุทกวิทยาของลุ่มน้ำป่าสัก		
	ปริมาณน้ำคายระเหย (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำผิวดิน (ล้าน ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำใต้ดิน (ล้าน ลบ.ม.)
ห้วยน้ำพุ	196.04	538.22	23.06
แม่น้ำป่าสักตอนบน	686.39	962.5	33.54
แม่น้ำป่าสักส่วนที่ 2	898.35	1,543.49	298.79
แม่น้ำป่าสักส่วนที่ 3	1,090.85	1,523.17	204.63
ห้วยเกาะแก้ว	351.47	1,318.5	59.00
ลำสนธิ	741.07	795.51	207.58
ห้วยมวกเหล็ก	441.8	357.26	211.5
แม่น้ำป่าสักตอนล่าง	1,826.32	2,124.59	789.9

ผลจากการประเมินสมดุลน้ำของวัฏจักรอุทกวิทยาของ 8 ลุ่มน้ำย่อย ได้แก่ ห้วยน้ำพุ แม่น้ำป่าสักตอนบน แม่น้ำป่าสักส่วนที่ 2 แม่น้ำป่าสักส่วนที่ 3 ห้วยเกาะแก้ว ลำสนธิ ห้วยมวกเหล็ก และแม่น้ำป่าสักตอนล่าง แสดงดังตารางที่ 5 และดังรูปที่ 16 พบว่า ปริมาณน้ำฝนในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำ



รูปที่ 16 สมดุลน้ำเฉลี่ยรายปีของวัฏจักรอุทกวิทยาในพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำป่าสัก

ย่อยมีค่าการคายระเหยมากที่สุดในกลุ่มน้ำส่วนใหญ่โดยมีค่าประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณฝนทั้งหมด ยกเว้นแม่น้ำป่าสักส่วนที่ 3 ห้วยมวกเหล็ก และลุ่มน้ำป่าสักตอนล่างที่มีปริมาณน้ำผิวดินมากที่สุดคือ ประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณฝนทั้งหมด ในส่วนของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีค่าการคายระเหย

มาก เนื่องจากอิทธิพลของลักษณะการใช้ที่ดินชนิดป่าไม้ทั่วไปจึงทำให้การเกิดคายระเหยมีค่ามากกว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีลักษณะการใช้ที่ดินเป็นการเกษตร และอีกหนึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการคายระเหยคือ ปริมาณน้ำฝนที่ตกในบริเวณลุ่มน้ำนั้น หากบริเวณใดมีปริมาณน้ำฝนมากจะส่งผลให้มีการคายระเหยมากเช่นกัน และในส่วนของลุ่มน้ำป่าสักส่วนที่ 3 ที่มีปริมาณน้ำผิวดินมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับลุ่มน้ำย่อยที่เหลืออีก 7 ลุ่มน้ำ เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณน้ำฝนที่มีมากกว่าลุ่มน้ำย่อยอื่นๆ และกิจกรรมการใช้น้ำเพื่ออุปโภค-บริโภคเพื่ออุตสาหกรรมของลุ่มน้ำดังกล่าว สำหรับปริมาณน้ำใต้ดินและน้ำผิวดินพบว่า ลุ่มน้ำย่อยส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำผิวดินน้อยกว่าปริมาณน้ำใต้ดินยกเว้นลุ่มน้ำห้วยน้ำพุ และลุ่มน้ำห้วยเกาะแก้ว เนื่องจากอัตราการไหลซึมลงดิน ปริมาณน้ำใต้ดินจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ ช่วงเวลาที่ฝนตก (Time) ความลาดชันของพื้นที่ (Slope) ความพรุนของดินและหิน (Porosity) การซึมผ่าน (Permeability) ปริมาณของต้นไม้และความลาดเทของชั้นหินที่น้ำใต้ดินไหลอยู่

4. สรุป

จากลักษณะทางกายภาพที่ซับซ้อนและกิจกรรมการใช้น้ำที่หลากหลายของลุ่มน้ำโดยทั่วไป การนำแบบจำลอง SWAT และแบบจำลอง MIKE-HYDRO Basin ประยุกต์เข้าด้วยกันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้แบบจำลอง และผลลัพธ์ได้มากกว่าการเลือกใช้แบบจำลอง SWAT เพียงแบบจำลองเดียว เนื่องจากข้อจำกัดของแต่ละแบบจำลองที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จากผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ยังแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง SWAT-MIKE Basin สามารถใช้ได้ดีกับลุ่มน้ำป่าสัก ซึ่งเป็นลุ่มน้ำที่มีความหลากหลายทางภูมิประเทศ และกิจกรรมการใช้น้ำที่หลากหลายอีกด้วย

จากผลลัพธ์สมมูลในวัฏจักรอุทกวิทยาของลุ่มน้ำป่าสักในพบว่า ปริมาณน้ำคายระเหยมีค่ามากถึงร้อยละ 53 ของปริมาณน้ำฝน โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยมวกเหล็ก ลุ่มน้ำลำสนธิ และลุ่มน้ำป่าสักตอนบน เนื่องจากลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณดังกล่าว

ส่วนใหญ่เป็นประเภทป่าไม้ ถัดมาเป็นปริมาณน้ำผิวดินมีค่าร้อยละ 36 พบว่า เกิดขึ้นในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยเกาะแก้ว และห้วยน้ำพุ และปริมาณน้ำใต้ดินร้อยละ 11 พบในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยมวกเหล็ก ลุ่มน้ำแม่น้ำป่าสักตอนล่าง และลุ่มน้ำลำสนธิ ซึ่งผลลัพธ์จากข้อมูลสมมูลในวัฏจักรอุทกวิทยาของลุ่มน้ำป่าสักเป็นค่าตัวเลขที่มีความสำคัญอย่างมากในการวางแผนการบริหารจัดการระบบลุ่มน้ำและเพื่อเป็นการสร้างระบบลุ่มน้ำป่าสักในอนาคตให้มีศักยภาพมากยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะกรรมการภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่ให้คำปรึกษา และให้ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Jongwilaikasem, "Rainfall-Runoff model with data in the GIS," M.S. thesis, Department of civil engineering, Faculty of Engineering King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand, 2003 (in Thai).
- [2] P. W. Gassman, M. R. Reyes, C. H. Green, and J. G. Arnold, "The soil and water assessment tool: Historical development applications, and future research directions," *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, pp. 1211–1250, March. 2007.
- [3] R. Ang and C. Oeurng, "Simulating streamflow in an ungauged catchment of Tonlesap Lake basin in Cambodia using soil and water Assessment Tool (SWAT) model," *Water Science*, vol. 32, no. 1, pp. 89–101, 2018.
- [4] R. Santos, L. S. FERNANDES, R. Cortes, and F. Pacheco, "Analysis of hydrology and water allocation with swat and MIKE-HYDRO Basin in the



- Sabor River basin, Portugal,” *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, vol. 215, pp.347–355, 2018.
- [5] Department of Water Resources. (2005). *Basin-Pasak*. [Online] (in Thai). Available: <http://mekhala.dwr.go.th/knowledge-basinpasak.php>
- [6] Water Resources and Agriculture Informatics Institute. (February, 2012). Implementation of data collection and analysis, the development of the 25 river basin data warehouse system and the Pasak drought flood model data. Water Resources and Agriculture Informatics Institute. Bangkok, Thailand Available: <http://tiwrm.haii.or.th/web/attachments/25basins/12-pasak.pdf> (in Thai).
- [7] E. Khositsakulchai, *Crop Evapotranspiration Theory and Application*. Nakhon Pathom: Teaching materials of department of Irrigation Engineering at Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, 2003 (in Thai).
- [8] S. Koonthanakunwong, W. Chaowiwat, C. Suthathammajit, W. Wongkasemsan, D. Poonyangku, and W. Mesatian, *Thailand water usage situation*, Bangkok: Chulalongkorn Textbook Publishing Center, 2006 (in Thai).
- [9] National Hydroinformatics Data Center. (2020, January). *Pasak Dam*. [Online] (in Thai). Available: <http://thaiwater.net/water/dam/large>
- [10] D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van lieuw, and R. L. Binger, “Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations,” *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, pp. 885–900, 2007.