



การคาดการณ์การตอบสนองทางอุทกวิทยาต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: ความแปรปรวนของปริมาณน้ำ
ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง

**HYDROLOGICAL FORECASTED RESPONSES TO CLIMATE CHANGE: INFLOW VARIABILITY
AT HUAI LUANG RESERVOIR**

อิสรา โปพิลา^{1*}

^{1*} นักศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

^{*}Corresponding author, E-Mail: esara_po@kkumail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงภายใต้ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยใช้แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก ได้แก่ CanESM CESM2 และ GFDL-ESM4 ภายใต้สценARIOS SSP 245 และ SSP 585 ระหว่างปี พ.ศ. 2566 ถึง พ.ศ. 2643 จากนั้นได้นำแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS มาใช้ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง แบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS ผ่านการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองในช่วงปี พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2563 ตามลำดับ โดยมีค่า R^2 และ NSE มากกว่า 0.55 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยในอนาคตมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำไหลลงอ่างในอดีต โดยแบบจำลอง GFDL-ESM4 SSP245 มีแนวโน้มลดลงมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 38.68 ของปริมาณน้ำไหลลงอ่างเฉลี่ย ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการกำหนดนโยบายการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำให้มีความยืดหยุ่น เช่น การวางแผนจัดสรรน้ำเพื่อการเกษตรและการอุปโภคบริโภค ตลอดจนการเตรียมความพร้อมรับมือกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก; อ่างเก็บน้ำห้วยหลวง; แบบจำลองอุทกวิทยา

ABSTRACT

This study aims to forecast the reservoir's inflow under climate change impacts using global climate models, namely CanESM, CESM2, and GFDL-ESM4, under the SSP245 and SSP585 scenarios. Between 2023 and 2100. Afterwards, the HEC-HMS model was used to forecast the reservoir's inflow. The model was calibrated and validated for the periods 2011–2013 and 2016–2020, yielding R^2 and NSE values more than 0.55, respectively, indicating satisfactory model performance. The results show that the future average inflow of the reservoir tends to decrease compared to the observed inflow. For example, the GFDL-ESM4 under the SSP245

scenario tends to decrease about 38.68 percent. These findings suggest that climate change may significantly impact water resource management in the region. In summary, this study provides essential insights to support the formulation of adaptive water resource management policies, particularly in planning water allocation for agriculture and domestic use, as well as enhancing preparedness to effectively respond to climate-induced impacts.

Keywords: Global climate models; Huai Luang Reservoir; Hydrological Model

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ส่งผลกระทบต่อการหมุนเวียนของน้ำทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย รายงานจากคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) ระบุว่ากิจกรรมของมนุษย์มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรน้ำ ส่งผลให้ปริมาณฝนตกเพิ่มขึ้นและเกิดฝนตกหนักบ่อยครั้ง นำไปสู่ความเสี่ยงต่ออุทกภัยมากขึ้น [1] ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาค เช่น ในลุ่มน้ำโขง อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบฝน ทำให้เกิดความแปรปรวนของปริมาณน้ำท่า เพิ่มความท้าทายต่อการบริหารจัดการน้ำและการวางแผนทรัพยากรน้ำในอนาคต [2]

การบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำภายใต้สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง การประเมินปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำจึงมีความสำคัญ งานวิจัยจำนวนมากอาศัยแบบจำลองอุทกวิทยาในการประเมินปริมาณน้ำท่า Chakilu และคณะ [3] ประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำบลูไน (Blue Nile) ตอนบน ประเทศเอธิโอเปีย ด้วยแบบจำลองอุทกวิทยา SWAT จากการศึกษาคาดการณ์ว่าอาจเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมและน้ำแล้งที่รุนแรงขึ้น นอกจากนี้แบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT ได้ถูกใช้ประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำซาร์รีเนห์ (Zarrineh) ประเทศอิหร่าน [4] ลุ่มน้ำเมอร์รัมบิดจี (Murrumbidgee) ประเทศออสเตรเลีย และลุ่มน้ำคลองสวนหมาก ประเทศไทย [5] แบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS เป็นอีกหนึ่งแบบจำลองที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยในลุ่มน้ำห้วยสังกะ จังหวัดกาฬสินธุ์ [6] และลุ่มน้ำโก-ลก จังหวัดนราธิวาส [7] ได้นำแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS มาประเมินปริมาณน้ำท่าในเหตุการณ์น้ำหลาก

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง [8-10] พื้นที่ตอนล่างของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงมักประสบปัญหาเหตุการณ์น้ำท่วมและน้ำแล้ง ส่งผลกระทบต่อภาคเกษตรกรรม อุปโภคบริโภค และอุตสาหกรรม ดังนั้น การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงภายใต้สภาพการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศให้มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีเครื่องมือในการประเมินปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง โดยใช้แบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS ในการประเมินปริมาณน้ำท่าจากปริมาณฝนของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (Global Climate Models) ได้แก่ CanESM CESM2 และ GFDL-ESM4 ภายใต้ฉากทัศน์ SSP 245 และ SSP 585 จากโครงการ Coupled Model Intercomparison Project, Phase 6 (CMIP6) ของ IPCC (AR6) สำหรับช่วงปี พ.ศ. 2566 ถึง พ.ศ. 2643 [11] ผลการศึกษายจะช่วยสนับสนุนการวางแผนและนโยบายด้านการจัดการทรัพยากรน้ำให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในอนาคต

2. วิธีดำเนินการวิจัย

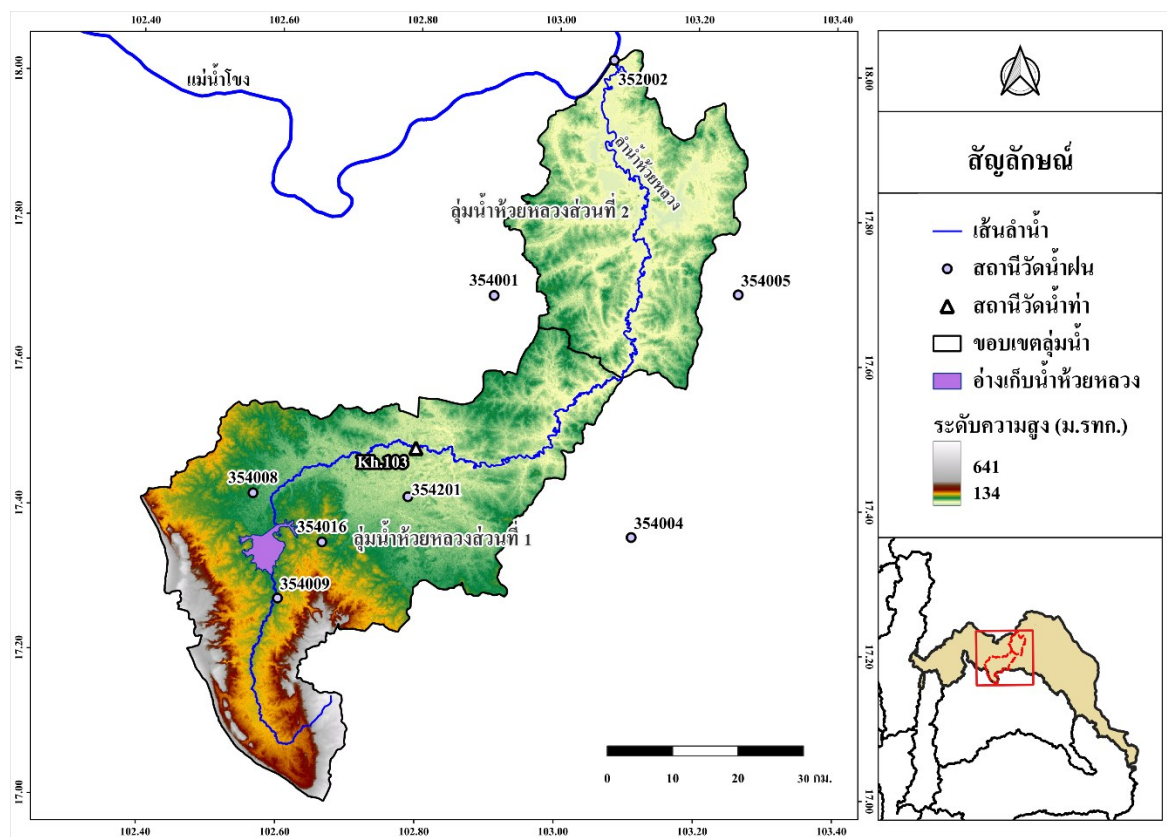
2.1 พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำห้วยหลวงเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำโขงตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งออกเป็น 2 ลุ่มน้ำย่อย ได้แก่ ลุ่มน้ำห้วยหลวงส่วนที่ 1 และลุ่มน้ำห้วยหลวงส่วนที่ 2 มีขนาดพื้นที่รับน้ำรวม 3,444 ตร.กม. ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ลุ่มน้ำมีระดับความสูงระหว่าง 134 ถึง 641 ม.รทก. และมีอาณาเขตรอบคลุมพื้นที่ 3 จังหวัด ได้แก่ หนองคาย หนองบัวลำภู และอุดรธานี มีลำน้ำสายหลักคือ ลำน้ำห้วยหลวง มีความยาวประมาณ 294 กม. โดยมีต้นกำเนิดอยู่บนเทือกเขาภูพานน้อย อำเภอหนองแสง จังหวัดอุดรธานี ไหลผ่าน 3 จังหวัดลงสู่แม่น้ำโขงที่อำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย [9]

อ่างเก็บน้ำห้วยหลวงมีหัวงานตั้งอยู่ที่ ละติจูด 17.376 องศาเหนือ ลองจิจูด 102.602 องศาตะวันออก อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงตอนบน และเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำโขงตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่เหนืออ่างเก็บน้ำ 666 ตร.กม. มีความจุที่ระดับเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ 135 ล้าน ลบ.ม. มีสถานีวัดน้ำท่า Kh.53 เป็นสถานีวัดน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ [12] โดยสามารถแสดงตำแหน่งอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง รวมถึงรายละเอียดของลุ่มน้ำห้วยหลวง ดังรูปที่ 1

2.2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก

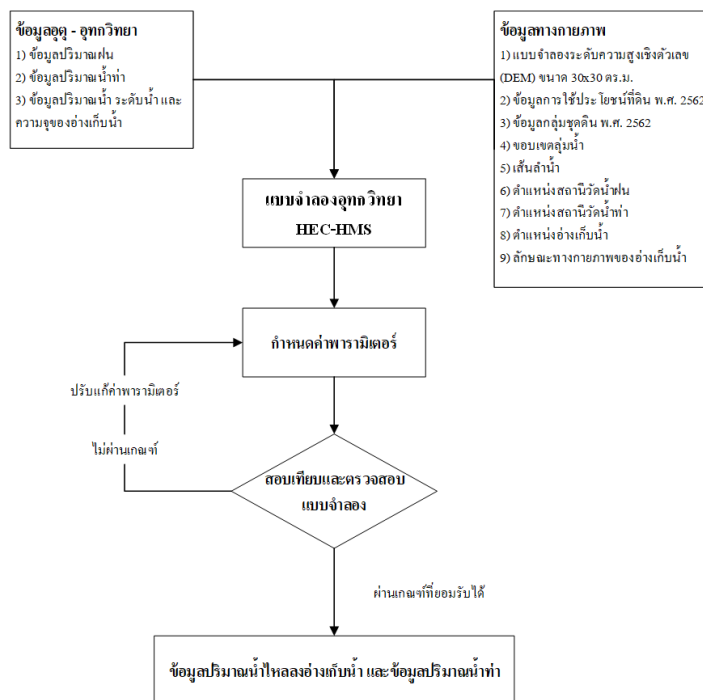
แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จำลองการไหลเวียนของภูมิอากาศโลก ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการทางกายภาพและระบบย่อยที่เกิดภายในภูมิอากาศโลก ซึ่งปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้ในการคาดการณ์สภาพเหตุการณ์ภูมิอากาศในอนาคตที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศโลกและเส้นตัวแทนเศรษฐกิจและสังคมร่วม (Shared Socioeconomic Pathways, SSP) ตามรายงานประเมินสถานการณ์ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศฉบับที่ 6 (The Sixth Assessment Report: AR6) [11] โดยงานวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองภูมิอากาศโลก 3 แบบจำลอง ได้แก่ CanESM CESM2 และ GFDL-ESM4 มาใช้ในการคาดการณ์ปริมาณฝนเนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ให้ค่าปริมาณฝนที่ดีที่สุดในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ตามลำดับ [13] สำหรับฉากทัศน์เลือกใช้ครั้งนี้ ได้แก่ ฉากทัศน์ SSP 245 เนื่องจากเป็นฉากทัศน์ในอนาคตที่คาดการณ์ว่าการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดมากที่สุด และเลือกฉากทัศน์ SSP 585 เนื่องจากเป็นฉากทัศน์ในอนาคตที่คาดการณ์ว่าการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด [14]



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา [15]

3 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

ในการศึกษานี้มีขั้นตอนการศึกษา 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย การเก็บรวบรวมข้อมูล การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา และการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองอุทกวิทยา โดยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทางกายภาพ ได้แก่ แบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข (DEM) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และแผนที่กลุ่มชุดดิน สำหรับทำการสร้างลุ่มน้ำย่อยในแบบจำลองอุทกวิทยา และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา อุทกวิทยา ได้แก่ ข้อมูลปริมาณฝน ข้อมูลปริมาณน้ำท่า และข้อมูลปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง สำหรับทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ค่าดัชนีทางสถิติ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) และสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของแนช-สตัลฟีฟ (Nash-Sutcliffe Efficiency, NSE) ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง จากนั้น นำแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS ที่ได้ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพแบบจำลองแล้วไปคาดการณ์ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงในอนาคตต่อไป โดยสามารถแสดงลำดับขั้นตอนการศึกษาดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลปริมาณฝนรายวันในช่วงปีฐาน ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน กรมอุตุนิยมวิทยา ในช่วงปี พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2565 ในส่วนข้อมูลปริมาณฝนรายวันในอนาคตได้เลือกช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึง พ.ศ. 2643 จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก ได้แก่ CanESM CESM2 และ GFDL-ESM4 ฉากทัศน์ SSP 245 และ SSP 585 ตามลำดับ ณ ตำแหน่งเดียวกับสถานีวัดน้ำฝน กรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 8 สถานี ดังรูปที่ 1

ข้อมูลปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำจากสถานีวัด ณ อ่างเก็บน้ำห้วยหลวง จากกรมชลประทานที่ 5 ช่วงปี พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2563 สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองอุทกวิทยา

ข้อมูลทางกายภาพในการสร้างแบบจำลองทางอุทกวิทยา ได้แก่ แบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข (DEM) ที่มีความละเอียด 30x30 ตร.ม. ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และแผนที่กลุ่มชุดดิน พ.ศ. 2562 จากกรมแผนที่ดิน

3.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา

แบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS ย่อมาจาก Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System เป็นแบบจำลองที่ออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับจำลองกระบวนการทางอุทกวิทยาของระบบโครงข่ายลุ่มน้ำ ในประเทศไทยแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS ถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องและแม่นยำในการหาคำนวณทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำ [16] โดยในการศึกษานี้ใช้แบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS สำหรับทำการจำลองปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในแต่ละลุ่มน้ำย่อยและจำลองปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำ โดยกระบวนการการเกิดน้ำท่าในแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS สามารถคำนวณ

ได้จากส่วนประกอบต่างๆในการสร้างปริมาณน้ำท่า ได้แก่ วิธีการสูญเสีย (Loss method) วิธีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝน ส่วนเกิน (Transform method) วิธีปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow method) และวิธีการเคลื่อนที่ของน้ำในลำน้ำ (Routing method)

3.2.1 วิธีการสูญเสีย (Loss method)

ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธี Initial and constant-rate ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณฝนและความสามารถในการรองรับน้ำของดิน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (1)$$

$$CN = \frac{25,400}{S + 254} \quad (2)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณฝนส่วนเกิน (มม.) P คือ ปริมาณฝน (มม.) S คือ ศักยภาพการสูญเสียสูงสุด (มม.) I_a คือ การสูญเสียเริ่มต้น (มม.) โดยมีความสัมพันธ์กับ S คือ $I_a = 0.2S$ และ CN คือ ค่าแบริ่งนัมเบอร์ ในระบบหน่วยวัดระหว่างประเทศ (System International Unit, SI)

3.2.2 วิธีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน (Transform method)

ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธี Snyder Unit Hydrograph ซึ่งใช้หาค่าอัตราการไหลสูงสุด และช่วงเวลาในการเกิดอัตราการไหลสูงสุดจาก Lag time และ Rainfall duration สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$t_p = CC_t \left(\frac{LL_c}{\sqrt{S}} \right)^N \quad (3)$$

เมื่อ t_p คือ ช่วงเวลาการตกของฝนส่วนเกิน (ชั่วโมง) C คือ ค่าคงที่ 2.75 สำหรับหน่วย SI C_t คือ ค่าสัมประสิทธิ์ลุ่มน้ำ (1.8 ถึง 2.2) L คือ ความยาวของเส้นลำน้ำสายหลักจากจุดออกกลุ่มน้ำถึงเส้นสันปันน้ำ (กม.) L_c คือ ความยาวของเส้นลำน้ำสายหลักจากจุดออกกลุ่มน้ำถึงจุดเซนทรอยด์ (Centroid) ของกลุ่มน้ำ (กม.) S คือ ความลาดชันของกลุ่มน้ำ และ N คือ เลขยกกำลัง โดยทั่วไปใช้ค่า 0.33

3.2.3 วิธีประมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow method)

ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้วิธี Exponential recession เป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้บ่อยครั้งในการศึกษาการระบายน้ำจากแหล่งกักเก็บตามธรรมชาติในลุ่มน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$Q_t = Q_0 k^t \quad (4)$$

เมื่อ Q_t คือ ปริมาณการไหลได้ผิวดิน ณ เวลา t (ลบ.ม.ต่อวินาที) Q_0 คือ ปริมาณการไหลได้ผิวดินเริ่มต้น (ลบ.ม.ต่อวินาที) k คือ ค่าคงที่การสลายแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล และ t คือ ช่วงเวลา (วินาที)

3.2.4 วิธีการเคลื่อนที่ของน้ำในลำน้ำ (Routing method)

ในการจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำในลำน้ำ สามารถหาได้จากแบบจำลองมัสคิงกัม (Muskingum) ที่เหมาะสำหรับการจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำในลำน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5

$$Q_t = \left(\frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-x) + \Delta t} \right) I_t + \left(\frac{\Delta t + 2KX}{2K(1-x) + \Delta t} \right) I_{t-1} + \left(\frac{2K(1-x) - \Delta t}{2K(1-x) + \Delta t} \right) Q_{t-1} \quad (5)$$

เมื่อ Q_t คือ อัตราการไหลออก ณ เวลา t (ลบ.ม.ต่อวินาที) I_t คือ อัตราการไหลเข้า ณ เวลา t (ลบ.ม.ต่อวินาที) K คือ ระยะเวลาการเดินทางของน้ำในลำน้ำ (ชั่วโมง) X คือ ค่าน้ำหนักไร้มิติ และ Δt ผลต่างของเวลา (ชั่วโมง)

3.3 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองอุทกวิทยา

ประสิทธิภาพของแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS ในการประเมินปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ดำเนินการโดยการเปรียบเทียบระหว่างผลปริมาณน้ำท่าที่คำนวณจากแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS กับข้อมูลปริมาณน้ำท่าตรวจวัดจากสถานีที่อ่างเก็บน้ำด้วยดัชนีทางสถิติ ได้แก่ R^2 NSE ดังสมการที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{OBS,i} - \overline{Q_{OBS}})(Q_{SIM,i} - \overline{Q_{SIM}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{OBS,i} - \overline{Q_{OBS}})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{SIM,i} - \overline{Q_{SIM}})^2}} \right)^2 \quad (6)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{OBS,i} - Q_{SIM,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{OBS,i} - \overline{Q_{OBS}})^2} \quad (7)$$

เมื่อ $Q_{OBS,i}$ คือ ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากสถานีตรวจวัด (ลบ.ม.ต่อวินาที) ณ วันที่ i $Q_{SIM,i}$ คือ ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง ณ วันที่ i (ลบ.ม.ต่อวินาที) $\overline{Q_{OBS}}$ คือ ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากสถานีตรวจวัดเฉลี่ย (ลบ.ม.ต่อวินาที) $\overline{Q_{SIM}}$ คือ ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง (ลบ.ม.ต่อวินาที) โดย ค่า R^2 เป็นค่าทางสถิติที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองปัจจัย ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ยิ่งค่าเข้าใกล้หนึ่งแสดงว่าความสัมพันธ์ตัวแปรทั้งสองมีความน่าเชื่อถือ และค่า NSE เป็นค่าสถิติที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองอุทกวิทยา โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่สังเกตได้จริง โดยที่ค่า 1 หมายถึงแบบจำลองมีความแม่นยำสมบูรณ์แบบ ค่า NSE ที่สูงบ่งชี้ว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพดีในการจำลองข้อมูลโดยค่า R^2 และ NSE มีค่ามากกว่า 0.50 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ มากกว่า 0.60 อยู่ในเกณฑ์ดี และมากกว่า 0.75 อยู่ในเกณฑ์ดีมาก [17]

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนบริเวณพื้นที่รับน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงรายปีในช่วงปีฐาน (ปี พ.ศ. 2544 ถึง พ.ศ. 2565) พบว่า มีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย 1,346.7 มม. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 407.5 มม. และค่าแปรผันของปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีอยู่ในช่วง 748.8 ถึง 2,227.6 มม. ในปี พ.ศ. 2545 และ พ.ศ. 2561 ตามลำดับ และจากผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนบริเวณพื้นที่รับน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงรายปีในช่วงอนาคตจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก พ.ศ. 2566 ถึง พ.ศ. 2643 จากแบบจำลอง ได้แก่ CanESM CESM2 และ GFDL-ESM4 ฉากทัศน์ SSP 245 และ SSP 585 ตามลำดับ พบว่า ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 3 ซึ่งแบบจำลอง GFDL-ESM4 ฉากทัศน์ SSP 245 มีแนวโน้มลดลงมากที่สุด โดยมีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย 1,073.4 มม. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 281.9 มม. และค่าแปรผันของปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีอยู่ในช่วง 506.9 ถึง 1,901.3 มม. ในปี พ.ศ. 2572 และ พ.ศ. 2641 ตามลำดับ พีรวัฒน์ และคณะ [18] ได้นำแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก CSIRO-Mk3.6.0 และ MRI-CGCM3 ภายใต้อิทธิพล IPCC AR4 และ IPCC AR5 มาวิเคราะห์ปริมาณฝนในอนาคต พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2589 ภายใต้อิทธิพลน้ำห้วยหลวง พบว่า ปริมาณฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกจาก IPCC AR6 ที่นำ SSP มาเป็นส่วนหนึ่งในการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคต

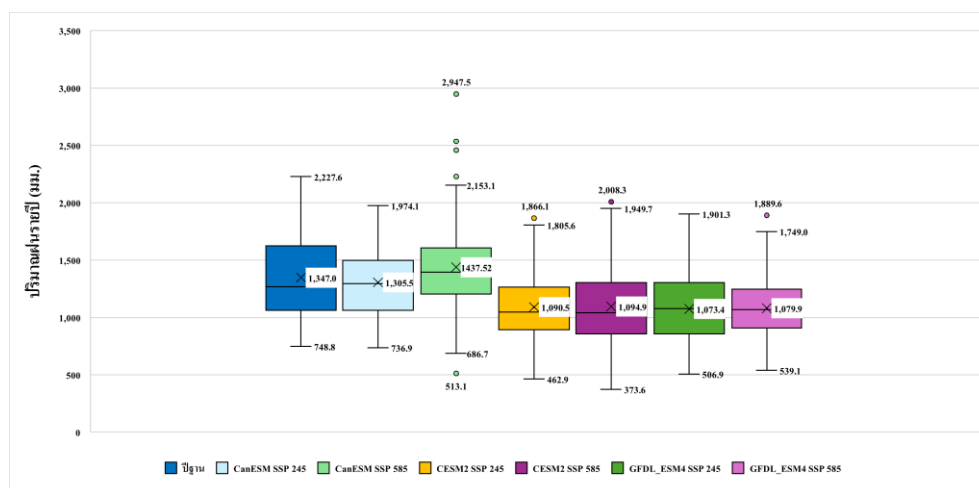
4.2 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS

ผลการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำท่าที่คำนวณจากแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS กับปริมาณน้ำท่าตรวจวัด ณ สถานีอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ในช่วงการสอบเทียบ (ปี พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2556) และ การตรวจสอบ (ปี พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2563) แสดงดังรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ เหตุผลที่เลือกทั้งสองช่วงดังกล่าว เนื่องจากในปี พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2558 มีข้อมูลตรวจวัดน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำไม่สมบูรณ์ สำหรับพารามิเตอร์ที่มีผลกับการสอบเทียบแบบจำลองมากที่สุด คือ ค่าการสูญเสียเริ่มต้นและคงที่

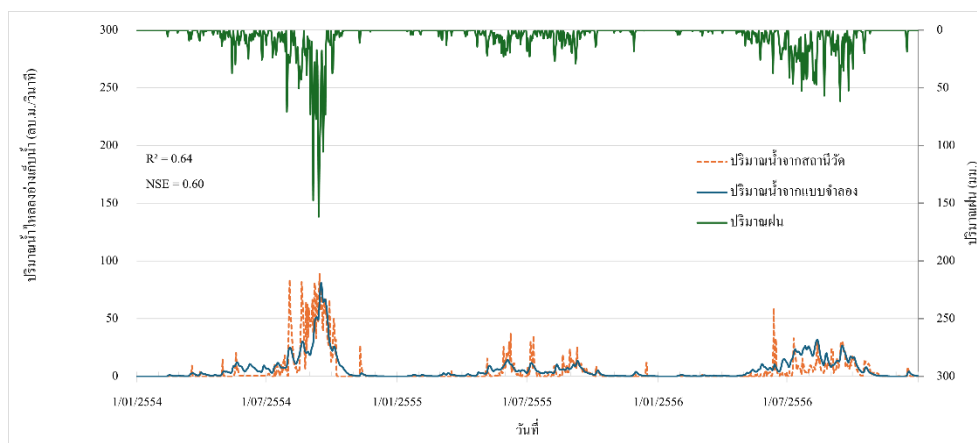
(เปอร์เซ็นต์ห้ามซึมผ่าน; Impervious %) ค่าที่ใช้ 4.48 ถึง 63.61 % ค่าการสูญเสียเริ่มต้น (Initial Loss) ค่าที่ใช้ 4.42 ถึง 34.70 มม. อยู่ในช่วงที่แบบจำลองยอมให้ใช้

จากการสอบเทียบแบบจำลองอุทกวิทยาในช่วงปี พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2556 พบว่าผลการสอบเทียบได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.64 และค่า NSE เท่ากับ 0.60 มม. ซึ่งค่าเหล่านี้อยู่ในช่วงเกณฑ์ดีและยอมรับได้ ตามลำดับ [17] โดยค่า R^2 ที่ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่จำลองกับค่าจริง โดยค่า R^2 เท่ากับ 0.64 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดีระหว่างค่าจำลองและค่าจริง ส่วนค่า NSE เท่ากับ 0.60 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการจำลองการไหลของน้ำรายวันอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ดังแสดงในรูปที่ 4

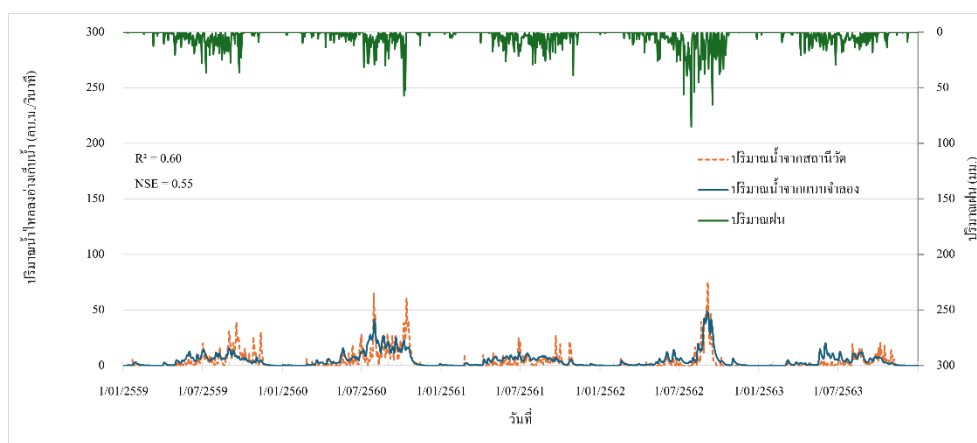
จากการตรวจสอบผลการจำลองในช่วงปี พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2563 พบว่าแบบจำลองมีค่า R^2 เท่ากับ 0.60 และค่า NSE เท่ากับ 0.55 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงเกณฑ์ที่ยอมรับได้ [17] โดยค่า R^2 เท่ากับ 0.60 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ยอมรับได้ระหว่างค่าจำลองและค่าจริง ในขณะที่ค่า NSE เท่ากับ 0.55 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการจำลองการไหลของน้ำรายวันอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ดังแสดงในรูปที่ 5 ค่าผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองนี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความแม่นยำในการทำนายการไหลของน้ำในพื้นที่ที่ศึกษาในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยสามารถใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและปัจจัยอื่นๆ ในการคำนวณการไหลของน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีระหว่างปีฐานกับปีอนาคต (พ.ศ. 2566 ถึง พ.ศ. 2643)



รูปที่ 4 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำไหลลงอ่างในช่วงปี พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2556



รูปที่ 5 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำไหลลงอ่างในช่วงปี พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2563

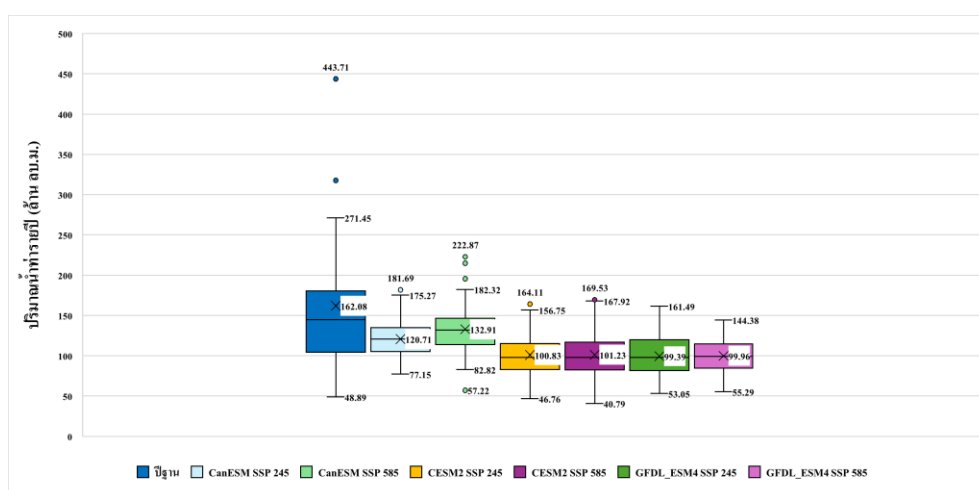
จากผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงในช่วงปีฐาน และในอนาคตจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก พบว่า ปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างรายปีเฉลี่ยในอนาคตมีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 6 เนื่องจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้มีปริมาณแนวโน้มของน้ำท่าลดลงโดยปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำรายปีเฉลี่ยจากแบบจำลอง CanESM SSP 585 CanESM SSP 245 CESM SSP 585 CESM2 SSP 245 GFDL-ESM4 SSP 585 และ GFDL-ESM4 SSP 245 มีปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำเฉลี่ยลดลง 29.17 41.37 60.85 61.25 62.13 และ 62.69 ล้าน ลบ.ม.ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 18.00 25.52 37.54 37.79 38.33 และ 38.68 ตามลำดับ ส่งผลกระทบต่อการบริหารจัดการน้ำท้ายอ่างเก็บน้ำและจากข้อมูลแผนการบริหารจัดการน้ำและการเพาะปลูกพืชฤดูแล้งและฤดูฝน ในช่วง 5 ปีย้อนหลัง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2565 มีแผนการจัดสรรน้ำเฉลี่ย 50.88 และ 71.52 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ รวม 122.40 ล้าน ลบ.ม. [19-20] เมื่อพิจารณาจากการจัดสรรน้ำที่ผ่านมา พบว่า จากการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำในอนาคตจากแบบจำลอง CanESM SSP 585 มีปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย 132.91 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี ซึ่งเพียงพอต่อการใช้น้ำในทุกกิจกรรม ซึ่งหากมีการใช้น้ำในปริมาณเท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำอาจจะไม่เพียงพอต่อการใช้น้ำในทุก

กิจกรรม จึงจำเป็นจะต้องมีการวางแผนจัดสรรน้ำให้สอดคล้องกับปริมาณน้ำต้นทุน เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการในทุกภาคส่วนอย่างทั่วถึงและเป็นธรรม โดยคำนึงถึงลำดับความสำคัญในการจัดสรรน้ำ เพื่ออุปโภค บริโภคและการประปา เพื่อการรักษาระบบนิเวศน์ เพื่อการเกษตร และเพื่ออุตสาหกรรม ตามลำดับ [19-20]

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงเฉลี่ยรายปีในอนาคคมิแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มปริมาณฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกที่แสดงค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนระหว่างปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่า ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนถึงความท้าทายสำคัญในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ โดยเฉพาะภายใต้บริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลให้ความมั่นคงด้านน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อรองรับสถานการณ์ดังกล่าว จำเป็นต้องมีการวางแผนบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงให้มีประสิทธิภาพและความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการจัดสรรน้ำให้สอดคล้องกับฤดูกาลและปริมาณน้ำต้นทุนที่ลดลง การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบระบายน้ำและการใช้น้ำในภาคเกษตรกรรม รวมถึงการเตรียมมาตรการรองรับในช่วงฤดูแล้ง เช่น การจัดทำแผนสำรองน้ำ หรือการใช้น้ำหมุนเวียนให้เกิดประโยชน์สูงสุด

นอกจากนี้ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคาดการณ์ปริมาณน้ำไหลลงอ่างในอนาคต การศึกษาครั้งต่อไปควรดำเนินการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงทั้งในระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศที่ผ่านการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนแล้ว เช่น MPI-ESM1-2-LR, NorESM2-LM และ IPSL-CM6A-LR ที่จัดทำโดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (สสน.) ควบคู่กับการประเมินผลกระทบจากการใช้ที่ดินในพื้นที่ เพื่อสนับสนุนการกำหนดนโยบายและแนวทางการจัดการน้ำที่มีความยืดหยุ่น สอดคล้องกับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และสามารถดำเนินการได้อย่างยั่งยืน



รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย รวมทั้งสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) สำหรับข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก เพื่อดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2021. Available from: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> [Accessed 24 Feb. 2025].
- [2] Mekong River Commission. *Climate Change*, 2025. Available from: <https://www.mrcmekong.org/climate-change/> [Accessed 24 Feb. 2025].
- [3] Chakilu, G.G. Szegedi, S. and Túri, Z. The dynamic of hydrological extremes under the highest emission climate change scenario in the headwater catchments of the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrology*, 2023, 34(4), 467-480.
- [4] Nakhaei, P. Kisi, O. Nakhaei, M. Fathollahi-Fard, A.M. and Gheibi, M. Assessment of climate change on river streamflow under different representative concentration pathways. *Journal of Environmental Management*, vol. 366, 1 Aug. 2024, pp. 121754-121, Elsevier BV.
- [5] Nuchnoo, W. Lohpaisankrit, W. and Prasanchum, H. Evaluation of daily and monthly streamflow simulation by SWAT model in the khlong suan mak watershed. *Engineering Journal of Research and Development*, 2022, 34(1), pp 65-75
- [6] Lohpaisankrit, W. Hiranwattananon, T. and Tumma, N. Application of a rainfall-runoff model for flood generation in the Huai Sangka catchment, Thailand. *Engineering and Applied Science Research*, 2021, 48(2), pp 121-130
- [7] Kaewthong, N. Yeepanoa, B and Dittakit, P. Study of flooding volume in the Kolok Basin, Narathiwat province. *Engineering and Applied Science Research*, 2019, 7(1), pp 101-113
- [8] Pawattana, C. Vansarochana, A. Hormwichian, R. and Piman, T. *Study of trends in water balance changes, flooding, and water shortages in the Huai Luang River Basin due to climate change*. Thailand Science Research and Innovation, 2016.
- [9] Rachiwong, S. *Impacts of climate change on flooding in the Huai Luang River Basin. Master of Engineering Thesis*, Khon Kaen University, 2018.
- [10] Wuttichaikitcharoen, P. Plangoen, P. and Muangthong, S. Simulation study of runoff volume in the Huai Luang River basin using the SWAT model. *Academic Journal, Chulachomklao Royal Military Academy*, 2016.
- [11] Noh, S. J. Lee, G. Kim, B. Lee, S. Jo, J. and Woo, D.K. Climate change impact assessment on water resources management using a combined multi-model approach in South Korea. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 53(2024), pp. 101842-13
- [12] Royal Irrigation Department. *History*, 2021. Available from: <https://huailuang.rid.go.th/> [Accessed 24 Feb. 2025].
- [13] Chaowiwat, W. Kamma, J. and Sarinnapakorn, K. Assessing the impact of climate change on rainfall in Thailand by using linear scaling bias correction technique. *26th National Convention on Civil Engineering*, Online, June 2021, pp WRE16-1-WRE16-7
- [14] U-ngoen, S. Prathomsakul, T. Phosri, P. and Chomphuchan, C. Impact of climate change under the CMIP6 scenario on the usable rainfall in the transmission project area. *7th Conference on Natural Resources, Geoinformation and Environment (NATGEN7)*, Phitsanulok, December 2022, pp 426-436
- [15] Office of the National Water Resources. *Download data for 22 main basins*, 2021.
- [16] Kaewthong, N. Dittakit, P. Nagrod, S. and Buathongchua, C. Application of HEC-HMS and HEC-RAS mathematical models to study flood mitigation methods of Cha-uat District, Nakhon Si Thammarat Province. *Journal of Engineering and Technology Mahasarakham University*, 2019, 39(3), pp 264-272

- [17] Mendoza, J. A. C. Alcazar, T.A.C. and Medina, S.A.Z. Assessing model parameters sensitivity and uncertainty of streamflow, sediment, and nutrient transport using SWAT. *Air, Soil and Water Research*, 2019, 6(1). pp 61-72
- [18] Plangoen, P. Muangthong, S. and Wuttichaikitcharoen, P. *Runoff change in Huai Luang watershed and impact on water storage in the Huai Luang reservoir under influence of climate change*. Thailand Science Research and Innovation, 2017.
- [19] Royal Irrigation Department. *Water Allocation and Crop Planting Plan for the Rainy Season in Irrigation Areas*, 2022.
- [20] Royal Irrigation Department. *Water Allocation and Crop Planting Plan for the Dry Season in Irrigation Areas*, 2022.