

ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูน จังหวัดสกลนคร

The Forecasting Models for Amount of Water in Nam Un Dam, Sakon Nakhon Province

สุดาพรรณ อัจกล้า¹, ชันญกาญจน์ แสงประสาน^{2,*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร 47160

²สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร สกลนคร 47000

Sudapun Ajkla¹, Chanankarn Saengprasan^{2,*}

¹Department of Science and Mathematics, Faculty of Industry and Technology,

Rajamangala University of Technology Isan, Sakon Nakhon 47160

²Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology,

Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000

Received 29 March 2023; Received in revised 30 May 2023; Accepted 8 June 2023

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนรายวัน รายสัปดาห์ และรายเดือน ของเขื่อนน้ำอูน จังหวัดสกลนครด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณและเทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลา 4 วิธี ข้อมูลที่ใช้ในวิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณน้ำในเขื่อน (หน่วยล้านลูกบาศก์เมตร) พื้นที่ผิวน้ำ ปริมาณการระบายน้ำ และตัวแปรทางอุทกนิยามที่เกี่ยวข้อง ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2564 เก็บบันทึกโดยโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอูน จังหวัดสกลนคร สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนรายวัน รายสัปดาห์ และรายเดือน ผู้วิจัยทำการแบ่งข้อมูลทั้งหมดเป็น 2 ส่วน โดยแบ่งข้อมูล 12 คาบเวลาสุดท้าย ใช้ทดสอบประสิทธิภาพตัวแบบ ส่วนข้อมูลที่เหลือก่อนหน้านั้นใช้เพื่อสร้างตัวแบบ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบด้วยเกณฑ์ MAPE ต่ำสุด ผลการศึกษาพบว่า การพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนรายวันด้วยวิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์และวินเตอร์กรณีตัวแบบเชิงคูณ มีค่า MAPE ต่ำสุด รองลงมาคือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่ายครั้งละ 3 คาบเวลา การพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนรายสัปดาห์และรายเดือนด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเมื่อคัดเลือกรูปแบบด้วยวิธีทีละขั้น มีค่า MAPE ต่ำสุด รองลงมาคือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่ายครั้งละ 3 คาบเวลา

คำสำคัญ: การพยากรณ์; การถดถอยพหุคูณ; อนุกรมเวลา; เขื่อนน้ำอูน

Abstract

This study aimed to create forecasting models for the daily, weekly, and monthly water volumes of the Nam Un dam, Sakon Nakhon Province, using multiple regression analysis and the four-time series analysis techniques. The data consist of the water volume (in million cubic meters), water surface area, drainage volume, and related meteorological variables recorded by the Lam Num Un Irrigation Project from January 1, 2017, to November 30, 2021. To create the forecast models, the data were divided into two parts; the last 12 periods of data were used to compare the performance of the model, while the remaining data were used to create the model. The model's efficiency was assessed based on the lowest MAPE criteria. The results showed that the Holt and Winter's multiplicative method was the most accurate daily water volume forecasting model for the Nam Un dam, followed by the three-point simple moving average method. For weekly and monthly water volume forecasting models, the regression model had the lowest MAPE, followed by the three-point simple moving average method.

Keywords: Forecasting; Multiple regression; Time series; Nam Un Dam

1. บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีคุณค่าของโลก รวมถึงเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญในระบบเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตามจากการแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ ส่งผลให้เกิดภาวะการขาดแคลนน้ำ ภาวะน้ำท่วม มลพิษทางน้ำ เพื่อให้การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ จึงประกาศแผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี (พ.ศ. 2561 - 2580) [1] ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาพบว่า พื้นที่ร้อยละ 23 ของประเทศได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในหลากหลายรูปแบบ [2] พ.ศ. 2560 จังหวัดสกลนครเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมเกิดจากฝนตกหนักและต่อเนื่องหรือสภาพภูมิประเทศและการวางผังเมือง ซึ่งตัวเมืองเป็นแหล่งรองรับน้ำจากภูเขาและระบายลงหนองหารสกลนคร ก่อนระบายน้ำลงสู่ลำน้ำก่ำและไหลลงสู่แม่น้ำโขงที่จังหวัดนครพนม [3] เขื่อนน้ำอูนเป็นแหล่งรองรับน้ำจากเทือกเขาภูพานและ

น้ำฝน ที่มีความสำคัญต่อการอุปโภคบริโภคน้ำทั้งภาคเกษตรและภาคครัวเรือน แต่สกลนครมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงอยู่แล้ว กอปรกับปัญหาการระบายน้ำ ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมในบางพื้นที่ในจังหวัดสกลนคร โดยเฉพาะพื้นที่ลุ่มใกล้แหล่งน้ำ การบริหารจัดการน้ำในเขื่อนน้ำอูนจึงมีความสำคัญมากต่อการบริหารจัดการด้านชลประทาน รวมทั้งการบรรเทาอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำศรีสงคราม ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการวางแผนบริหารจัดการน้ำ คือ การคาดการณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนล่วงหน้า ดังนั้นการพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนด้วยตัวแบบทางสถิติเข้ามามีบทบาทสำคัญเพื่อช่วยในการวางแผนบริหารจัดการน้ำได้ [4]

ตัวแบบการพยากรณ์มีหลายวิธีที่เป็นเครื่องมือสำคัญในงานเกี่ยวกับด้านทรัพยากรน้ำ ปัจจุบันนักวิจัยศึกษาการประเมินปริมาณน้ำด้วยการพยากรณ์หลากหลายวิธี เช่น การประมาณค่าปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำอูนด้วยแบบจำลอง SWAT [5] หรือจะทำการ

พยากรณ์ระดับน้ำในเขื่อนรายวัน โดยใช้เทคนิคเหมือนข้อมูลร่วมกับเทคนิคการทางสถิติ [6][7] จากเทคนิควิธีข้างต้นเหล่านั้น จะใช้ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์มาช่วยสร้างตัวแบบ แต่เทคนิคการวิเคราะห์หอนุกรมเวลาสามารถสร้างตัวแบบการพยากรณ์แบบประหยัดได้โดยไม่ต้องอาศัยตัวแปรอื่นๆ เช่น การพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำรายปีด้วยการวิเคราะห์หอนุกรมเวลาโดยใช้ตัวแบบ ARMA [8][9][10] การพยากรณ์การปล่อยน้ำหรือระดับน้ำในเขื่อนด้วยวิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์และวินเตอร์ [11][12][13] การพยากรณ์ปริมาณการผลิตน้ำประปาด้วยวิธีการเคลื่อนที่ สองครั้ง [14] ซึ่งตัวแบบหอนุกรมเวลายังคงเป็นวิธีการที่มีความแม่นยำใช้ในการพยากรณ์ได้ดี และมีความเหมาะสมในการพยากรณ์เกี่ยวกับข้อมูลด้านภูมิอากาศ [15]

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น จะเห็นว่าการพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนในอดีตด้วยตัวแบบ SWAT [4] ต้องใช้ตัวแปรช่วยจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำเสนอตัวแบบทางสถิติที่ประหยัดตัวแปรการคำนวณไม่ซับซ้อน และมีความแม่นยำ สามารถใช้พยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูน รายวัน รายสัปดาห์ และรายเดือนของเขื่อนน้ำอูนจังหวัดสกลนครในปัจจุบัน ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยและตัวแบบหอนุกรมเวลาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนเปอร์เซ็นต์สัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ต่ำสุด ให้ได้ตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนในระยะสั้น เพื่อประโยชน์สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อจะใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนการบริหารการจัดการน้ำของเขื่อนน้ำอูนทั้งในปัจจุบันและในอนาคตได้

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

น้ำอูนเป็นสาขาที่สำคัญที่สุดของแม่น้ำสงครามในตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีต้นน้ำอยู่ใน

ทิวเขาภูพานจังหวัดสกลนคร ไหลลงแม่น้ำโขงที่จังหวัดนครพนม เนื่องจากที่ราบสองฝั่งแม่น้ำอูนมีลักษณะเป็นแอ่ง ดังนั้น ในเวลาฝนตกหนักจึงถูกท่วมเป็นประจำ บริเวณที่ราบแถบนี้มีการเพาะปลูกมากทั้งข้าวและพืชอื่นๆ แต่ในเวลาฝนตกน้ำก็ท่วมเกิดอุทกภัย ทำให้พืชผลเสียหายเป็นประจำ และช่วงหน้าแล้งก็ขาดน้ำ ไม่เพียงพอในการเพาะปลูก กรมชลประทานจึงสร้างเขื่อนเก็บน้ำขึ้นที่บ้านหนองบัว อำเภอพังโคน และอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร นั่นคือ เขื่อนน้ำอูนซึ่งเป็นเขื่อนดินกันแม่น้ำอูน อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร ห่างจากตัวจังหวัดประมาณ 54 กิโลเมตร เริ่มก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2510 ตัวเขื่อนสร้างเสร็จ พ.ศ. 2517 งานระบบส่งน้ำเสร็จ พ.ศ. 2524 ตัวเขื่อนน้ำอูน มีความสูง 29.50 เมตร สันเขื่อนยาว 3,000 เมตร เก็บน้ำได้ 520 ล้านลูกบาศก์เมตร ใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะ ปลูกในฤดูฝน 185,800 ไร่ ในฤดูแล้ง 63,000 ไร่ และช่วยบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำอูน อยู่ในความดูแลของกรมชลประทาน [16]

2.2 เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ

2.2.1 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ [4] เป็นการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรตามที่มีตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว ได้ตัวแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon \quad (1)$$

โดย Y_i คือ ค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรตาม

β_0 คือ จุดตัดแกน Y

X_{i1} คือ ค่าสังเกตที่ i ของตัวแปรอิสระ

β_1 คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ X_{i1}

ε คือ ค่าคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของประชากร β_0 และ β_1 ที่ไม่ทราบค่า จะประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Method of Least Squares) ได้สัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวอย่าง และสร้างสมการ

พยากรณ์คือ $\hat{Y}_t = a + b_1X_1 + b_2X_2 \dots + b_kX_k$ ในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีการคัดเลือกแบบทีละขั้น (Stepwise Selection)

2.2.2 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา

การวิเคราะห์อนุกรมเวลา คือ การพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time series forecasting) ที่อาศัยข้อมูลในอดีต เพื่อคาดการณ์ข้อมูลใหม่ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตโดยอาศัยหลักการทางสถิติ อาจกำหนดเป็นรายวัน รายสัปดาห์ รายเดือนหรือรายปีก็ได้ และส่วนประกอบอนุกรมเวลา ได้แก่ 1. รูปแบบแนวโน้ม (Trend Pattern) 2. รูปแบบวัฏจักร (Cyclical Pattern) 3. รูปแบบฤดูกาล (Seasonal Pattern) และ 4. รูปแบบผิดปกติ (Irregular Pattern) ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบที่ต่างกัน ย่อมมีวิธีการพยากรณ์ที่ต่างกัน สามารถสร้างตัวแบบอนุกรมเวลาได้ [4] ดังนี้

1) **วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย** (Single Moving Average) เป็นการพยากรณ์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในอดีต k คาบเวลา เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างช้าๆ ดังนี้

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{1}{k} \sum_{i=t-k+1}^t Y_i \quad (2)$$

โดย \hat{Y}_{t+1} คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t+1$

k คือ จำนวนข้อมูลในอดีตก่อนจะพยากรณ์

Y_i คือ ค่าสังเกต ณ เวลา i

2) **วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังอย่างง่าย** (Single Exponential Smoothing: SES) ใช้การถ่วงน้ำหนักกับค่าสังเกตล่าสุดและค่าพยากรณ์ล่าสุด เพื่อทำการพยากรณ์ค่าในอนาคต ดังนี้

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1-\alpha) \hat{Y}_t \quad (3)$$

โดย \hat{Y}_{t+1} คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t+1$

α คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

Y_t คือ ค่าสังเกต ณ เวลา t

\hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

3) **วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์** (Holt's Exponential Smoothing) เป็นวิธีพยากรณ์ที่มีค่าพารามิเตอร์ 2 ค่า และเหมาะกับข้อมูลที่มีส่วนประกอบค่าระดับและแนวโน้ม แต่ไม่มีฤดูกาล ดังนี้

สมการประมาณค่าระดับ (Level) คือ

$$L_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \dots\dots\dots (4)$$

สมการประมาณค่าแนวโน้ม (Trend) คือ

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1} \dots\dots\dots (5)$$

และทำการพยากรณ์ค่าในอนาคต ดังนี้

$$\hat{Y}_{t+p} = L_t + pT_t \dots\dots\dots (6)$$

โดย L_t, L_{t-1} คือ ค่าประมาณค่าระดับ ณ คาบเวลา t และ $t-1$ ตามลำดับ

α คือ ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับประมาณค่าระดับ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

T_t, T_{t-1} คือ ค่าประมาณค่าแนวโน้ม ณ คาบเวลา t และ $t-1$ ตามลำดับ

β คือ ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับประมาณค่าแนวโน้ม มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

p คือ จำนวนคาบเวลาที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า

\hat{Y}_{t+p} คือ ค่าพยากรณ์ล่วงหน้า ณ คาบเวลา $t+p$

4) **วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์และวินเทอร์** (Holt-Winter's Exponential Smoothing) เป็นวิธีพยากรณ์ที่มีค่าพารามิเตอร์ 3 ค่า เพิ่มจากวิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์ คือ ข้อมูลมีส่วนประกอบของฤดูกาลด้วย ดังนั้นการรวมส่วนประกอบของอนุกรมเวลาจะมีสองรูปแบบ ได้แก่ ตัวแบบเชิงบวกเหมาะกับข้อมูลที่มีลักษณะฤดูกาลคงที่ และตัวแบบเชิงคูณจะเหมาะกับข้อมูลลักษณะฤดูกาลไม่คงที่ ดังนี้

- กรณีตัวแบบเชิงบวก (Additive Model)

สมการประมาณค่าระดับ (Level) คือ $L_t = \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1-\alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$ (7)

สมการประมาณค่าแนวโน้ม (Trend) คือ $T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$ (8)

สมการประมาณค่าฤดูกาล (Seasonality) คือ $S_t = \gamma(Y_t - L_{t-1} - T_{t-1}) + (1-\gamma)S_{t-s}$ (9)

และทำการพยากรณ์ค่าในอนาคต ดังนี้

$$\hat{Y}_{t+p} = L_t + pT_t + S_{t-s+p} \dots\dots\dots (10)$$

- กรณีตัวแบบเชิงคูณ (Multiplicative Model)

สมการประมาณค่าระดับ (Level) คือ $L_t = \frac{\alpha Y_t}{S_{t-s}} + (1-\alpha)(L_{t-1} + T_{t-1})$ (11)

สมการประมาณค่าแนวโน้ม (Trend) คือ $T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$ (12)

สมการประมาณค่าฤดูกาล (Seasonality) คือ $S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_{t-1} + T_{t-1}} + (1-\gamma)S_{t-s}$ (13)

และทำการพยากรณ์ค่าในอนาคต ดังนี้

$$\hat{Y}_{t+p} = (L_t + pT_t) S_{t-s+p} \dots\dots\dots(14)$$

ทั้งตัวแบบเชิงบวกและเชิงคูณ ความหมายของสัญลักษณ์เพิ่มเติม ดังนี้

γ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับประมาณค่าฤดูกาล มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

S_t, S_{t-s}, S_{t-s+p} คือ ค่าประมาณส่วนประกอบฤดูกาล ณ คาบเวลา $t, t-s$ และ $t-s+p$ ตามลำดับ

s คือ จำนวนคาบของฤดูกาล

2.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบ

การพยากรณ์จะมีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงมากน้อยเพียงใด เมื่อความคลาดเคลื่อนอาจเป็นได้ทั้งจำนวนจริงลบและบวก สามารถวัดความถูกต้องแม่นยำของการพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนเปอร์เซ็นต์สัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) ดังนี้

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - F_i}{Y_i} \right| \times 100\% \quad (15)$$

โดย Y_i คือ ค่าข้อมูลจริง ณ คาบเวลา i

F_i คือ ค่าพยากรณ์ ณ คาบเวลา i

n คือ จำนวนข้อมูล

2.4 ข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในวิเคราะห์ประกอบด้วยตัวแปรตามคือ ปริมาณน้ำในเขื่อน (Y หน่วยล้านลูกบาศก์เมตร) ตัวแปรอิสระ ได้แก่ (1) อัตราการระเหยของน้ำ (Evap หน่วยล้านลูกบาศก์เมตร) (2) ปริมาณน้ำฝน ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนจากสถานีโครงการ (RF₁ หน่วยมิลลิเมตร) ปริมาณน้ำฝนจากสถานีตอน 7 (RF₂ หน่วยมิลลิเมตร) ปริมาณน้ำฝนจากสถานีกุดบาก (RF₃ หน่วยมิลลิเมตร) และปริมาณน้ำฝนรวม 3 สถานี (RF₄ หน่วยมิลลิเมตร) (3) พื้นที่ผิวน้ำในเขื่อน (Area หน่วยตารางกิโลเมตร) (4) ระดับน้ำล้น (SW หน่วยเมตร) (5) ปริมาณการระบายน้ำทางด้านซ้ายและด้านขวาของเขื่อน ได้แก่ น้ำที่ส่งทางอาคารรวม (Out₁ หน่วยลูกบาศก์เมตร) ปริมาณน้ำออก (Out₃ หน่วยลูกบาศก์เมตร) และ (6) ปริมาณการใช้น้ำประปาในเขตพื้นที่รับผิดชอบ (Out₂ หน่วยลูกบาศก์เมตร) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2560 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2564 เก็บบันทึกโดยโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอุ่ม จังหวัดสกลนคร

ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอุ่มรายวัน รายสัปดาห์ และรายเดือน ซึ่งเป็นข้อมูลจากการเฉลี่ยในช่วงคาบเวลานั้นๆ และแบ่งข้อมูลเป็นสองส่วน ส่วนแรกใช้สร้างตัวแบบ ส่วนที่สองใช้เป็นข้อมูลทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบ ดังนี้

ข้อมูลรายวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 18 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 จำนวน 1,783 ค่า ข้อมูลทดสอบคือ วันที่ 19-30 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 จำนวน 12 ค่า

ข้อมูลรายสัปดาห์ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึง 244 จำนวน 244 ค่า ข้อมูลทดสอบ คือ สัปดาห์ที่ 245 ถึง 256 จำนวน 12 ค่า

ข้อมูลรายเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 จำนวน 47 ค่า ข้อมูลทดสอบ คือ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 จำนวน 12 ค่า

เมื่อทำการพยากรณ์น้ำในเขื่อนน้ำอุ่มทั้งแบบรายวัน รายสัปดาห์ และรายเดือน โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ 5 ตัวแบบ ประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ 2) วิธีเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย เมื่อเฉลี่ยเคลื่อนที่เท่ากับ 3, 4 และ 5 คาบเวลา 3) วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังอย่างง่าย 4) วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์ 5) วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์และวินเตอร์ แล้วใช้ข้อมูลทดสอบตรวจสอบความแม่นยำของตัวแบบการพยากรณ์แต่ละวิธี ด้วยเกณฑ์ค่า MAPE ต่ำสุด ทั้งนี้ทำการวิเคราะห์ด้วย MS Excel และโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอุ่มรายวัน

การเคลื่อนไหวของปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอุ่มรายวัน (Figure 1)

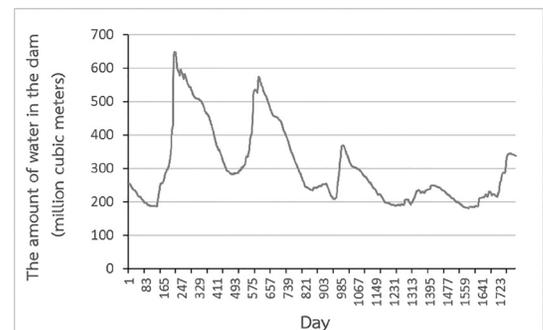


Figure 1 The daily amount of water in Nam Un Dam since January 1, 2017 to November 18, 2021 (million cubic meters).

ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอุ่มรายวัน ดังนี้ 1) การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณคือ $\hat{Y}_i = -221.150 + 8.564 Area_i - 9.783 SW_i + 0.046 RF_{1i}$, $R^2 = 0.993$ 2) วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย เมื่อใช้จำนวนคาบเวลาในการเฉลี่ยเท่ากับ 3 คาบเวลาจะให้ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเมื่อเทียบกับการเฉลี่ยเคลื่อนที่เท่ากับ 4 และ 5 คาบเวลา 3) วิธีปรับเรียบแบบ

เลขชี้กำลังอย่างง่าย ได้ค่า $\hat{\alpha} = 0.998$ 4) วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์ได้ค่า $\hat{\alpha} = 0.998$ และ $\hat{\beta} = 0.7$ และ 5) วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์และวินเตอร์ กรณีตัวแบบเชิงคูณ เมื่อ $\hat{\alpha} = 0.999$ $\hat{\beta} = 0.377$ และ $\hat{\gamma} = 0.997$ ให้ความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าตัวแบบเชิงบวก

เมื่อนำข้อมูลทดสอบคือข้อมูลรายวันของวันที่ 19- 30 พฤศจิกายน พ.ศ.2564 มาทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบที่สร้างจากวิธีพยากรณ์ทั้ง 5 วิธี โดยพิจารณา

จากค่า MAPE ผลดังตารางที่ 1 เมื่อ Reg, MA3, SES, Holt และ Holt Winter หมายถึง ค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนรายวันด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่ายเมื่อใช้จำนวนคาบเวลาในการเฉลี่ยเท่ากับ 3 คาบเวลา วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังอย่างง่าย วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์และวินเตอร์ ตามลำดับ

Table 1 The predicted value of daily volume water in the dam with five forecasting methods.

Day	Y	Reg	MA3	SES	Holt	Holt Winter ^r
19	341.25	343.61	341.67	341.25	340.80	341.45
20	341.25	343.61	341.46	341.25	340.36	341.66
21	340.63	343.11	341.25	341.25	339.91	340.88
22	340.63	343.11	341.04	341.25	339.47	340.11
23	340.63	343.11	340.84	341.25	339.02	339.58
24	340.00	342.61	340.63	341.25	338.58	339.29
25	339.38	342.11	340.42	341.25	338.13	339.15
26	338.75	341.52	340.00	341.25	337.68	339.35
27	338.13	341.02	339.38	341.25	337.24	339.55
28	338.13	341.02	338.75	341.25	336.79	338.77
29	337.50	340.52	338.34	341.25	336.35	338.01
30	337.50	340.52	337.92	341.25	335.90	337.48
	MAPE	0.79%	0.19%	0.52%	0.33%	0.16%

Table 1 พบว่า การพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนรายวันด้วยวิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์และวินเตอร์ กรณีตัวแบบเชิงคูณ มีค่า MAPE ต่ำสุด

รองลงมาคือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่ายเมื่อใช้การเฉลี่ยเคลื่อนที่เท่ากับ 3 คาบเวลา (Figure 2)

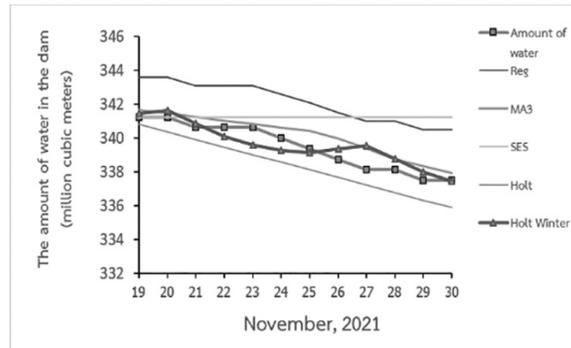


Figure 2 The daily amount of water in Nam Un Dam and the forecast value with five forecasting methods.

3.2 ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนรายสัปดาห์

การเคลื่อนไหวของปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูน รายสัปดาห์ (Figure 3)

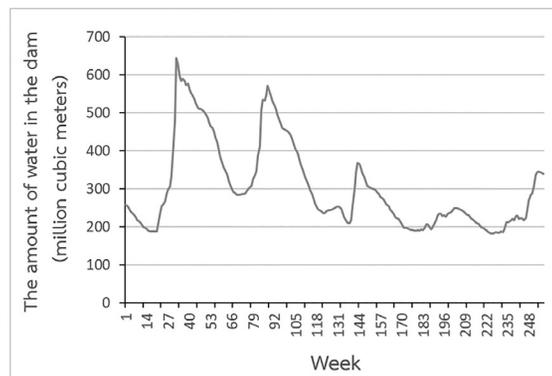


Figure 3 The 256 weekly amount of water in Nam Un Dam (million cubic meters).

ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนรายสัปดาห์ ดังนี้ 1) การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเมื่อคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีทีละขั้น คือ $\hat{Y}_i = -216.630 + 8.493Area_i$, $R^2 = 0.993$ 2) วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย ใช้จำนวนคาบเวลาในการเฉลี่ยเท่ากับ 3 คาบเวลา ให้ความคลาดเคลื่อน MAPE = 0.0711 ต่ำสุด 3) วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังอย่างง่าย ได้ค่า $\hat{\alpha} = 0.998$ 4) วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์ได้ค่า $\hat{\alpha} = 0.998$, $\hat{\beta} = 0.5$ และ 5) วิธีปรับเรียบ

แบบเลขชี้กำลังของโฮลต์และวินเตอร์ กรณีตัวแบบเชิงบวก $\hat{\alpha}$ เมื่อ = 0.999, $\hat{\beta} = 0.313$ และ $\hat{\gamma} = 0.974$ ให้ความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าตัวแบบเชิงคูณ

เมื่อนำข้อมูลทดสอบรายสัปดาห์ จากวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2564 (สัปดาห์ที่ 245) ถึงวันที่ 27 พฤศจิกายน พ.ศ.2564 (สัปดาห์ที่ 256) จำนวน 12 ค่า มาทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบที่สร้างจากวิธีพยากรณ์ทั้ง 5 วิธี โดยพิจารณาจากค่า MAPE (Table 2)

Table 2 The predicted value of weekly volume water in the dam with five forecasting methods.

Week	Y	Reg	MA3	SES	Holt	Holt Winter
245	221.61	218.88	220.65	217.25	214.62	216.38
246	241.18	244.21	220.01	217.25	211.99	211.84
247	266.42	274.17	226.68	217.25	209.35	211.31
248	282.88	292.91	243.07	217.25	206.72	214.41
249	287.32	297.95	263.49	217.25	204.09	211.49
250	297.42	308.43	278.88	217.25	201.46	207.07
251	333.39	340.38	289.21	217.25	198.82	206.93
252	343.48	348.85	306.05	217.25	196.19	206.06
253	344.47	349.66	324.77	217.25	193.56	201.52
254	343.84	349.15	340.45	217.25	190.93	200.99
255	341.61	347.26	343.93	217.25	188.29	204.09
256	339.74	345.71	343.31	217.25	185.66	201.17
MAPE		2.21%	7.11%	26.89%	32.22%	29.85%

Table 2 พบว่าการพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อน
น้ำอูนรายสัปดาห์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ
เมื่อคัดเลือกรูปแบบด้วยวิธีทีละชั้น มีค่า MAPE

ต่ำสุด รองลงมาคือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่ายครึ่งละ
3 คาบเวลา (Figure 4)

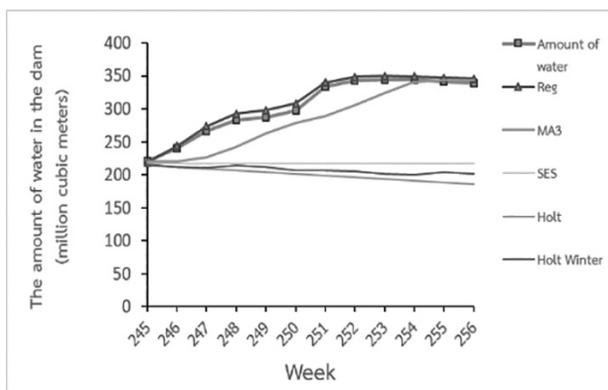


Figure 4 The weekly amount of water in Nam Un Dam and the forecast value with five forecasting methods.

3.3 ตัวแบบพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนรายเดือน

การเคลื่อนไหวของปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนรายเดือน (Figure 5)

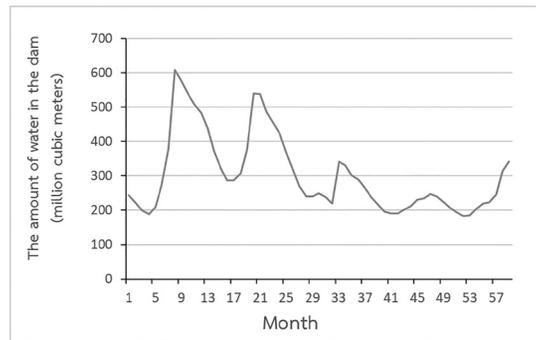


Figure 5 The 59 monthly amount of water in Nam Un Dam (million cubic meters).

ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูน รายเดือน ดังนี้ 1) การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ เมื่อ คัด เลือ ก ตัว แปร ด้วย วิธี ที ละ ชั น คือ $\hat{Y}_i = -224.021 + 8.594 Area_i$, $R^2 = 0.994$ 2) วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย ใช้จำนวนคาบเวลาในการเฉลี่ยเท่ากับ 3 คาบเวลา ให้ความคลาดเคลื่อน MAPE = 0.1247 ต่ำสุดในบรรดาวิธีการค่าเฉลี่ยอย่างง่าย 3) วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังอย่างง่ายได้ค่า $\hat{\alpha} = 0.998$ 4) วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์ได้ค่า $\hat{\alpha} = 0.997$,

$\hat{\beta} = 0.001$ และ 5) วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์และวินเตอร์ กรณีตัวแบบเชิงคูณ เมื่อ $\hat{\alpha} = 0.501$, $\hat{\beta} = 0.001$ และ $\hat{\gamma} = 0.999$ ให้ความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าตัวแบบเชิงบวก

เมื่อนำข้อมูลทดสอบคือข้อมูลเฉลี่ยรายเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2564 จำนวน 12 เดือน มาทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบที่สร้างจากวิธีพยากรณ์ทั้ง 5 วิธี โดยพิจารณาจากค่า MAPE (Table 3)

Table 3 The predicted value of monthly volume water in the dam with five forecasting methods.

Month	Y	Reg	MA3	SES	Holt	Holt Winter
ธ.ค. 63	240.01	243.66	238.14	248.30	245.03	207.31
ม.ค. 64	224.43	222.78	241.10	248.30	241.75	178.83
ก.พ. 64	208.18	200.95	237.58	248.30	238.48	151.45
มี.ค. 64	194.71	182.65	224.20	248.30	235.20	129.70
เม.ย. 64	183.25	164.60	209.10	248.30	231.93	114.24
พ.ค. 64	185.69	168.64	195.38	248.30	228.66	111.61
มิ.ย. 64	203.08	193.56	187.88	248.30	225.38	116.34
ก.ค. 64	220.01	216.85	190.67	248.30	222.11	127.01
ส.ค. 64	223.62	221.66	202.92	248.30	218.83	143.60

Month	Y	Reg	MA3	SES	Holt	Holt Winter
ก.ย. 64	245.95	249.42	215.57	248.30	215.56	183.74
ต.ค. 64	314.42	324.71	229.86	248.30	212.29	191.80
พ.ย. 64	341.88	349.63	261.33	248.30	209.01	184.80
	MAPE	3.77%	12.47%	18.80%	16.05%	33.59%

Table 3 พบว่าการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ รองลงมาคือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่ายครึ่งละ 3 คาบ เมื่อคัดเลือกตัวแปรด้วยวิธีทีละชั้น มีค่า MAPE ต่ำสุด เวลา (Figure 6)

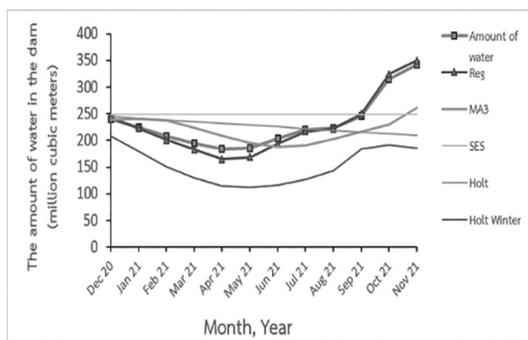


Figure 6 The monthly amount of water in Nam Un Dam and the forecast value with five forecasting methods.

สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนทั้งรายวัน รายสัปดาห์ และรายเดือนด้วยวิธีการพยากรณ์ทั้ง 5 วิธี ใช้เกณฑ์ MAPE ต่ำสุด (Table 4)

Table 4 The MAPE value from the five forecasting methods.

Methods	MAPE		
	Daily	Weekly	Monthly
Reg	0.0079	0.0221	0.0377
MA3	0.0085	0.0711	0.1247
MA4	0.0124	0.0859	0.1561
MA5	0.0124	0.1008	0.1500
SES	0.0052	0.2689	0.1880
Holt	0.0033	0.3222	0.4098
Holt winter: Additive	0.0020	0.2985	0.4098
Holt winter: Multiplicative	0.0016	0.3249	0.3359

4. สรุปและอภิปรายผล

การเคลื่อนไหวของปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนรายวัน พบว่า มีลักษณะเป็นกราฟรูปคลื่นที่มีส่วนสูงหรือแอมพลิจูดไม่คงที่ ทำให้การเคลื่อนไหวคล้ายกับมีลักษณะของอิทธิพลแนวโน้มและฤดูกาลเป็นส่วนประกอบของอนุกรมเวลา ทำให้ผลการวิจัยนี้ได้ตัวแบบพยากรณ์วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์และวินเตอร์กรณีตัวแบบเชิงคูณ เมื่อ $\alpha = 0.999$, $\beta = 0.377$ และ $\gamma = 1.00$ ให้ความคลาดเคลื่อน MAPE ต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับพยากรณ์ทั้ง 5 วิธี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาพฤฒพงศ์ เพ็งศิริ และคณะ [8] ที่พบว่า วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์และวินเตอร์เหมาะสมกับการระบายน้ำที่ประตูระบายน้ำ (ปตร.) เขื่อนพระรามหก และสอดคล้องกับข้อค้นพบของ C. Wongoutong [10] และสอดคล้องกับข้อเสนอแนะของกรินทร์ กาญจนานนท์ [4] ที่ว่า ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบของฤดูกาลไม่ชัดเจน อาจเนื่องจากความผิดพลาดของข้อมูลอนุกรมเวลา ข้อมูลในลักษณะนี้เหมาะกับตัวแบบพยากรณ์วิธีปรับเรียบแบบเลขชี้กำลังของโฮลต์และวินเตอร์กรณีตัวแบบเชิงคูณมากกว่าตัวแบบเชิงบวก สำหรับปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนจังหวัดสกลนคร บางช่วงเวลามีอิทธิพลของฤดูกาลไม่ชัดเจน เนื่องจากเป็นช่วงที่มีมรสุม เช่น ในปี พ.ศ.2560 เกิดน้ำท่วมในบางพื้นที่ ส่งผลต่อการระบายน้ำในเขื่อนและปริมาณน้ำในเขื่อนได้

สำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนรายสัปดาห์และรายเดือน ผลการศึกษาพบว่า การพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเหมาะสมที่สุด แต่ในการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่ตัวแบบได้เพียงตัวแปรเดียว นั่นคือ พื้นที่ผิวของน้ำในเขื่อน สามารถอธิบายความผันแปรของปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูนรายสัปดาห์ได้ร้อยละ 99.30 ($R^2 = 0.9930$, MAPE = 2.21%) สำหรับรายเดือน อธิบายได้ร้อยละ 99.40 ($R^2 = 0.9940$, MAPE = 3.77%) ซึ่งเป็นตัวแบบที่ประหยัดตัวแปรอิสระ แตกต่างจากผลศึกษาของวีรศักดิ์ พองเงิน

และคณะ [7] ที่พบว่า การพยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนกัวลม จังหวัดลำปางด้วยวิธีแบบจำลองต้นไม้เอ็มไพร์พี เมื่อใช้ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อน ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากเขื่อนและอัตราการระเหยน้ำเป็นตัวแปรช่วยทำนาย ได้ตัวแบบมีค่า $R^2 = 0.8338$ และ MAPE = 10.58% จะเห็นว่า ตัวแบบด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณมีความเหมาะสมที่ใช้พยากรณ์ปริมาณน้ำในเขื่อนน้ำอูน เมื่อใช้ตัวแปรอิสระ คือ พื้นที่ผิวของน้ำในเขื่อน อาจแตกต่างจาก W. J. Khai et al. [6] ที่ใช้ตัวแปรอิสระ คือ ปริมาณน้ำฝนในอดีต แต่สำหรับการวิจัยนี้ พื้นที่ผิวของน้ำในเขื่อนมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน ด้วยกระบวนการคัดเลือกตัวแปรเข้าสู่สมการถดถอยแบบทีละขั้น เพื่อป้องกันปัญหาที่ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันเอง (Multicollinearity) จึงคัดเลือกเพียงตัวแปรพื้นที่ผิวน้ำในเขื่อน ก็สามารถอธิบายปริมาณน้ำในเขื่อนรายสัปดาห์และรายเดือน ได้ร้อยละ 99.3 และร้อยละ 99.4 ตามลำดับ ทั้งนี้ความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์อาจแตกต่างกันไปในเชิงพื้นที่และระยะเวลาที่พยากรณ์แตกต่างกันไป ดังนั้น สำหรับการพยากรณ์น้ำในเขื่อนรายวันรายสัปดาห์และรายเดือนด้วยตัวแบบที่เหมาะสม จะช่วยเป็นข้อมูลในการวางแผนบริหารจัดการน้ำในระยะสั้นและระยะปานกลางได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอูน จังหวัดสกลนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้

6. References

- [1] Office of the National Water Resources, 2019,. *The 20-year Water Resource Management Master Plan (2018-2037)*, Thailand: Bangkok (in Thai)
- [2] Sangkarak, S., Rattanaphan, P., Phetrak, A., and Kittipongvises, S., 2020, Impacts

- of climate change on water resources and management, *Environmental Journal*, 24:(1), pp.1-8. (in Thai)
- [3] Impithuk, W., 2017, The Great Flood Crisis in Sakon Nakhon 2017 and Opportunities for Sustainable Development Available Source: <https://www.csc.ku.ac.th/th/wp-content/uploads/2017/08/>, March 26, 2022. (in Thai)
- [4] Kanthananon, K., 2018, *Statistical Forecasting*, 1st ed., Bangkok: Se-Education Public Company Limited. (in Thai)
- [5] Tongsiri, J. and Kangrang, A., 2018, Prediction of Future Inflow under Hydrological Variation Characteristics and Improvement of Nam Oon Reservoir Rule Curve using Genetic Algorithms, *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*. 37(6): 775-788. (in Thai)
- [6] Khai, W. J., Alraih, M., Ahmed, A. N., Fai, C. M., EL-SHAFIE A. and EL-SHAFIE, A., 2019, Daily Forecasting of Dam Waterlevels using Machine Learning, *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 10(6): 314-323.
- [7] Fongngen, W., Arreerard, W. and Phomasakha Na Sakolnakorn, P., 2018, Forecasting Daily Discharge in Kievlom Dam Using Data Mining Techniques, *Journal of Modern Management Science*, 10(2): 121-131. (in Thai)
- [8] Pengsiri, P., Sodsee, S. and Meesad. P., 2018, A Comparison of Optimal Drainage Methods based on Time Series Forecasting Technique, *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 37(5):715-725. (in Thai)
- [9] Castillo-Botón, C., Casillas-Pérez, D., Casanova-Mateo, C., Moreno-Saavedra, L. M., Morales-Díaz, B., Sanz-Justo, J., Gutiérrez, P. A. and Salcedo-Sanz, S., 2020, Analysis and Prediction of Dammed Water Level in a Hydropower Reservoir Using Machine Learning and Persistence-Based Techniques, *Journal of Water*, Basel, Switzerland. 12: 1-23.
- [10] Wongoutong, C., 2021, The Effect on Forecasting Accuracy of the Holt-Winters Method When Using the Incorrect Model on a Non-Stationary Time Series, *Thailand Statistician*, 19(3): 565-582.
- [11] Anuruddhika, M.L.P., Premarathna, L.P.N.D., Perera, K.K.K.R., Hansameenu, W.P.T., and Weerasinghe., V.P.A., 2021, The Holt-Winters' method for forecasting water discharge, in *Attanagalu Oya in International Conference on Applied and Pure Sciences*, 2021, University of Kelaniya, Sri Lanka. pp. 49-55.
- [12] Mgandu, F. A., Mkandawile, M., and Rashid, M., 2020, Trend Analysis and Forecasting of Water Level in Mtera Dam Using Exponential Smoothing. *International Journal of Mathematical Sciences and Computing (IJMSC)*. 6(4):26-34, DOI: 10.5815/ijMSC.2020.04.03
- [13] Goodwin, P., 2010, The Holt-Winters Approach to Exponential Smoothing: 50

- Years Old and Going Strong. Foresight: *International Journal of Applied Forecasting, International Institute of Forecasters*, 19: 30-33.
- [14] Khairina, D. M., Maharani, S., Widagdo, P. P., Ramlawati, and Hatta, H. R. (2020). Forecasting Model of Amount of Water Production Using Double Moving Average Method, in *the 3rd International Conference on Computer and Informatics Engineering (IC2IE)*, Yogyakarta, Indonesia, pp. 167-170, doi: 10.11109/IC2IE50715.2020.9274603.
- [15] Heydari, M., Ghadim, H. B., Rashidi, M., and Noori, M., 2020, Application of Holt-Winters Time Series Models for Predicting Climatic Parameters (Case Study: Robat Garah-Bil Station, Iran). *Pol. J. Environ. Stud.* 29(1): 617-627.
- [16] The Tourism Authority of Thailand (TAT), Available Source:<https://thai.tourismthailand.org/Attraction/> March 22, 2022. (in Thai)