วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 32, ฉบับที่ 3 ก.ค.–ก.ย. 2565
The Journal of KMUTNB., Vol. 32, No. 3, Jul.–Sep. 2022

บทความวิจัย

การเปรียบเทียบแนวทางการลดมาตราส่วนทางสถิติสำหรับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

พัลลภ สุวรรณมาลัย
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง สำนักงานชลประทานที่ 13 กรมชลประทาน
จุติเทพ วงษ์เพ็ชร์* และ เกศวรา สิทธิโชค
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09 5340 8167 อีเมล: fengjtv@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.01.004
รับเมื่อ 15 เมษายน 2563 แก้ไขเมื่อ 2 กรกฎาคม 2563 ตอบรับเมื่อ 5 ตุลาคม 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 13 มกราคม 2565
© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของแนวทางการลดมาตราส่วนทางสถิติสำหรับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ซึ่งคำนวณโดยสมการ Penman-Monteith ในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ซึ่งประกอบด้วย 2 แนวทาง ได้แก่ 1) การลดมาตราส่วนทางสถิติของปัจจัยสภาพภูมิอากาศท้องถิ่นสำหรับการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Statistical Downscaling to ETo Penman-Monteith; SD-PM) และ 2) การลดมาตราส่วนทางสถิติของปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงโดยตรง (ETo Penman-Monteith to Statistical Downscaling; PM-SD) โดยกระบวนการสอบเทียบและทวนสอบเพื่อตรวจพิสูจน์ความแม่นยำของแนวทางการลดมาตราส่วน ดำเนินการโดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณโดยสภาพภูมิอากาศตรวจวัด และค่าที่ได้จากกระบวนการการลดมาตราส่วนทางสถิติทั้ง 2 แนวทาง โดยกำหนดช่วงเวลาสำหรับการสอบเทียบและการทวนสอบตั้งแต่ ค.ศ. 1987–1997 และ ค.ศ. 1998–2005 ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า แนวทาง PM-SD มีความแม่นยำในการลดมาตราส่วนทางสถิติสำหรับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงมากกว่าแนวทาง SD-PM ซึ่งบ่งชี้โดยดัชนีทางสถิติซึ่งประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อน และค่าร้อยละความเอนเอียงของการประมาณ ดังนั้นแนวทาง PM-SD จึงมีความเหมาะสมในการสร้างภาพฉายอนาคตสำหรับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนการพัฒนามาตรการการปรับตัวภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับการบริหารจัดการน้ำชลประทานในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การลดมาตราส่วนทางสถิติ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

การอ้างอิงบทความ: พัลลภ สุวรรณมาลัย, จุติเทพ วงษ์เพ็ชร์ และ เกศวรา สิทธิโชค, "การเปรียบเทียบแนวทางการลดมาตราส่วนทางสถิติสำหรับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 32, ฉบับที่ 3, หน้า 530–541, ก.ค.–ก.ย. 2565.

Research Article

Comparison of Statistical Downscaling Approaches for Reference Crop Evapotranspiration under Impact of Climate Change in the Song Phi Nong Operation and Maintenance Project

Phunlop Suwanmalai
Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, Thailand
Song Phi Nong Operations and Maintenance Project, Regional Irrigation Office 13, Royal Irrigation Department, Suphan Buri, Thailand
Jutithep Vongphet* and Ketvara Sittichok
Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 09 5340 8167, E–mail: fengjtv@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.01.004
Received 15 April 2020; Revised 2 July 2020; Accepted 5 October 2020; Published online: 13 January 2022
© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The objective of this research is to compare the accuracy of statistical downscaling approaches for the reference crop evapotranspiration calculated using the Penman-Monteith's Equation in the Song Phi Nong Operations and Maintenance Project. These two different approaches were 1) statistical downscaling of local meteorological factors which were inputted to calculate reference crop evapotranspiration (Statistical Downscaling to ETo Penman-Monteith; SD-PM) and 2) direct statistical downscaling of reference crop evapotranspiration (ETo Penman-Monteith to Statistical Downscaling; PM-SD). A comparison of continuous simulation between the calculated and observed reference crop evapotranspiration values were included for 1987–1997 and 1998–2005 as calibrated and validated processes, respectively. The calculated values with two different approaches were selected to assess the accuracy of the downscaled calculations. As a result, PM-SD has proven to be more reliable than another approach indicated by the values of the correlation coefficient, the coefficient of determination, the mean square error, the root mean square error and the percent bias. In conclusion, PM-SD method is suitable for the estimation of reference crop evapotranspiration, which is a part of an adaptation and mitigation plan for irrigation water management under a climate change situation in the Song Phi Nong operation and maintenance project.

Keywords: Climate Change, Statistical Downscaling, Reference Crop Evapotranspiration

Please cite this article as: P. Suwanmalai, J. Vongphet, and K. Sittichok, "Comparison of statistical downscaling approaches for reference crop evapotranspiration under impact of climate change in the Song Phi Nong operation and maintenance project," *The Journal of KMUTNB*, vol. 32, no. 3, pp. 530–541, Jul.–Sep. 2022 (in Thai).

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อการเกษตรเป็นอย่างมาก ซึ่งพืชส่วนใหญ่จะมีผลผลิตที่สมบูรณ์ในช่วงสภาพอากาศที่เหมาะสม โดยพืชในเขตร้อนหลายชนิดมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้ผลผลิตลดลงได้ [1] โดยการบริหารจัดการน้ำชลประทานได้รับผลกระทบโดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝน พร้อมด้วยความรุนแรงของเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขีด อาทิ ภัยแล้ง อุทกภัย ซึ่งพบว่า เขตร้อนและกึ่งเขตร้อนจะได้รับผลกระทบจากการลดลงของผลผลิตทางการเกษตรถึง 30 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีปริมาณน้ำฝนที่ลดลง การเปลี่ยนแปลงของแมลงศัตรูพืช และการทนอุณหภูมิสูงสุดของพืช ซึ่งก่อให้เกิดผลระยะยาวจากปริมาณน้ำฝนที่ลดน้อยลง และความต้องการน้ำชลประทานที่มากขึ้น ภัยแล้งอาจเกิดบ่อยขึ้นและทวีความรุนแรงมากขึ้น [2]

การคาดการณ์แนวโน้มสภาพภูมิอากาศในอนาคต จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (General Circulation Model; GCM) สามารถอธิบายแนวโน้มของการกระจายตัวขององค์ประกอบทางภูมิอากาศที่สำคัญ เช่น ฝน อุณหภูมิ ณ บริเวณละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) ต่างๆ เป็นการอธิบายความเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางภูมิอากาศตามระบบของอุทกวิทยา [3] อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการหมุนเวียนภูมิอากาศ โดยปกติจะมีมาตราส่วนมากกว่า 2.0 องศา ทั้งละติจูดและลองจิจูด หรือมากกว่า 200 ตารางกิโลเมตร ซึ่งเป็นมาตราส่วนที่ไม่มีความละเอียดเพียงพอต่อการศึกษาผลกระทบในระดับพื้นที่ลุ่มน้ำหรือระดับสถานี [4]

แบบจำลองลดมาตราส่วนทางสถิติที่ได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ แบบจำลอง Statistical DownScaling Model; SDSM [5] เป็นวิธีการลดมาตราส่วนทางสถิติของผลลัพธ์แบบจำลองภูมิอากาศโลก โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศระดับโลกกับตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่นในระดับสถานีตรวจวัด ซึ่งสามารถดำเนินการลดมาตราส่วนในแบบจำลองภูมิอากาศโลกลงมาในระดับลุ่มน้ำ และระดับสถานีได้โดยตรง โดยมีตัวอย่างการประยุกต์ เช่น ประยุกต์แบบจำลองการลดมาตราส่วนสถิติเพื่อจำลองข้อมูลภูมิอากาศสำหรับการสร้างแบบจำลองการไหลของข้อมูลในควิเบก [6] การคาดการณ์อุณหภูมิและปริมาณฝนในลุ่มน้ำปิงตอนบนภายใต้สมมติฐานการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก [7]

ตัวอย่างของการดำเนินการฉายภาพอนาคตของปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงภายใต้การพิจารณาผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในลุ่มน้ำ Hanjiang ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ด้วยแนวทางที่แตกต่างจำนวน 3 แนวทาง ได้แก่ 1) การลดมาตราส่วนทางสถิติของปัจจัยสภาพภูมิอากาศท้องถิ่นสำหรับการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงด้วยสมการของ Penman-Monteith (Statistical Downscaling to ETo Penman-Monteith; SD-PM) 2) การลดมาตราส่วนทางสถิติของปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงซึ่งคำนวณโดยสมการของ Penman-Monteith ETo Penman-Monteith to Statistical Downscaling; PM-SD) และ 3) การลดมาตราส่วนทางสถิติของปัจจัยสภาพภูมิอากาศท้องถิ่นสำหรับการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงด้วยสมการของ Hargreaves (Statistical Downscaling to ETo Hargreaves; SD-HG) [8] แต่อย่างไรก็ตาม แนวทางการลดขนาดมาตราส่วนทางสถิติสำหรับค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่มีความเหมาะสมอาจมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่การศึกษาขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูล และความสัมพันธ์ของตัวแปรภูมิอากาศระดับโลก และตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่นในระดับสถานีตรวจวัดของพื้นที่นั้นๆ ดังนั้นการคัดเลือกแนวทางการลดขนาดมาตราส่วนทางสถิติจึงมีความจำเป็นต่อการสร้างภาพฉายอนาคตของค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่มีความถูกต้องแม่นยำและสอดคล้อง ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการคำนวณปริมาณความต้องน้ำชลประทาน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของแนวทางการลดขนาดมาตราส่วนทางสถิติสำหรับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงซึ่งคำนวณด้วยสมการของ Penman-Monteith ในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกในการฉายภาพอนาคตของปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและการประเมินความต้องการน้ำชลประทานภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นพื้นที่ซึ่งเคยได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์สภาพภูมิอากาศสุดขีด (ภัยแล้ง)

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 พื้นที่การวิจัย

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องเป็นส่วนหนึ่งของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ มีแหล่งน้ำที่สำคัญ คือ เขื่อนวชิราลงกรณ์และเขื่อนศรีนครินทร์ โดยรับน้ำชลประทานจากเขื่อนทดน้ำแม่กลอง มีพื้นที่ในความรับผิดชอบทั้งหมดจำนวน 370,688 ไร่ เป็นพื้นที่ชลประทานจำนวน 310,125 ไร่ ครอบคลุมพื้นที่ 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอสองพี่น้อง อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี และอำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี โดยมีสถานีอุตุนิยมเกษตรอู่ทอง พิกัด ละติจูด 14° 18' 13.0" N ลองจิจูด 100° 8' 20.0" E ระดับความสูง 6 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ณ อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

ข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลก NCEP ซึ่งดำเนินการรวบรวมจาก National Centers for Environmental Prediction (NCEP) และ The National Center for Atmospheric Research (NCAR) เป็นชุดข้อมูล Reanalysis แบบ Gridded ทั่วโลกที่แสดงสถานะของชั้นบรรยากาศของโลกตั้งแต่ ค.ศ. 1961–2005 ซึ่งรวบรวมข้อมูล NCEP โดยอ้างอิงจากค่าพิกัดของสถานีอุตุนิยมเกษตรอู่ทอง ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่ศึกษา ในช่วง Grid Box X37–Y38 ของแบบจำลองภูมิอากาศโลกซึ่งแสดงดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาและช่วงตาราง CMIP5

2.2 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

ข้อมูลภูมิอากาศที่มีความจำเป็นในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration; ETo) ตามสมการของ Penman-Monteith ประกอบด้วย 1) อุณหภูมิสูงสุด 2) อุณหภูมิต่ำสุด 3) ความเร็วลมเฉลี่ย 4) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และ 5) ความยาวนานแสงแดด โดยที่สมการดังกล่าวแสดงดังสมการที่ (1) [9]

$$ETo = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

ETo คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (mm.·d^{-1}) R_n คือ ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่พืชได้รับ (MJ·m^{-2}·d^{-1}) G คือ Flux ค่าความร้อนของพื้นดิน (MJ·m^{-2}·d^{-1}) T คือ อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย (℃) Δ คือ ค่าความลาดเทของเส้นโค้งแรงดันไอ (kPa·℃$^{-1}$) γ คือ ค่าคงที่ของ Psychrometric (kPa·℃$^{-1}$) U_2 คือ ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 ม. (m·s^{-1}) ($e_s - e_a$) คือ ค่าความต่างของแรงดันไอ (kPa) และ 900 คือ แฟกเตอร์ปรับแก้

2.3 แบบจำลองลดมาตราส่วนทางสถิติ (SDSM)

แบบจำลองการหมุนเวียนอากาศที่นำมาใช้ คือ แบบจำลอง The Second Generation Canadian Earth System Model (CanESM2) พัฒนาโดยวิธี Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma)

ของ Environment and Climate Change Canada ซึ่งแบบจำลองภูมิอากาศโลกดังกล่าวถูกพัฒนาจากรายงาน Fifth Assessment Report (AR5) ซึ่งจัดทำรายงานโดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC)

แบบจำลองลดมาตราส่วนที่ใช้งานในปัจจุบัน แบ่งออกเป็น 2 วิธีการ คือแบบจำลองลดมาตราส่วนแบบพลศาสตร์ (Dynamic Downscaling; DD) และแบบจำลองลดมาตราส่วนทางสถิติ (Statistical Downscaling; SD) ซึ่งแต่ละประเภทอธิบายได้ ดังนี้

แบบจำลองลดมาตราส่วนแบบพลศาสตร์ใช้ข้อมูลภูมิอากาศของแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Climate Models; RCM) อธิบายการกระจายขององค์ประกอบของภูมิอากาศด้วยขบวนการทางพลศาสตร์ ซึ่งใช้ข้อมูลกับองค์ประกอบที่เป็นจริงระดับพื้นที่ หรือระดับลุ่มน้ำเข้าไว้ด้วยกัน [4]

แบบจำลองลดมาตราส่วนทางสถิติเป็นแบบจำลองลดมาตราส่วนของผลลัพธ์ของแบบจำลองภูมิอากาศ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศระดับโลกกับตัวแปรภูมิอากาศระดับท้องถิ่น สามารถลดมาตราส่วนลงมาระดับสถานีได้ ทำให้มีความละเอียดสูงและผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปวิเคราะห์ และประยุกต์ใช้ได้วิธีการลดมาตราส่วนแบบถดถอย หลักการขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปรภูมิอากาศระดับโลก และระดับท้องถิ่น [5]

การเปรียบเทียบแบบจำลองระหว่างแบบจำลองลดมาตราส่วนแบบพลศาสตร์กับแบบจำลองลดมาตราส่วนทางสถิติมีความสามารถใกล้เคียงกัน สามารถนำเสนอลักษณะทั่วไปของภูมิอากาศในลุ่มน้ำนั้นได้ แต่ลักษณะของภูมิอากาศที่ได้ยังไม่ตรง (Bias) เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลภูมิอากาศที่ได้บักทึกไว้ วิธีแบบจำลองลดมาตราส่วนทางสถิติมีข้อได้เปรียบแบบจำลองลดมาตราส่วนแบบพลศาสตร์สำหรับการใช้งานมีความยืดหยุ่นต่อใช้ปรับใช้ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของปัญหาต่างๆ มีค่าใช้จ่ายในการคำนวณที่ต่ำ และผลลัพธ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความเสี่ยงได้ [10]

2.4 กระบวนการลดมาตราส่วนทางสถิติ (SDSM)

กระบวนการลดมาตราส่วนทางสถิติ ดำเนินการโดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) ซึ่งแสดงดังสมการที่ (2)

$$Y = B0 + B1X1 + B2X2 + \ldots + Xq + \epsilon \qquad (2)$$

เมื่อ Y คือ ตัวแปรตาม

$X1,X2,\ldots<Xq$ คือ ตัวแปรอิสระ

$B0$ คือ ค่าของ Y เมื่อ X ทุกค่าเท่ากับศูนย์ หรือจุดตัดแกน Y

$B1,B2,\ldots,Bq$ คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วน (Partial Regression Coefficient)

ϵ คือ ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

โดยกำหนดให้ตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่น ซึ่งประกอบด้วย 1) อุณหภูมิสูงสุด 2) อุณหภูมิต่ำสุด 3) ความเร็วลมเฉลี่ย 4) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และ 5) ความยาวนานแสงแดด และค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงเป็นตัวแปรตาม และตัวแปรภูมิอากาศโลกทั้ง 26 ตัวแปร เป็นตัวแปรอิสระ (ตารางที่ 2) และดำเนินการคัดเลือกตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่นแต่ละตัวโดยวิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise Regression Procedure) ซึ่งเป็นการคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกซึ่งผสมผสานกันทั้งแบบวิธีนำเข้า (Forward Selection Procedure) และวิธีขจัดออก (Backward Elimination Procedure) โดยกำหนดให้ค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (p-value) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 สำหรับกระบวนการคัดเลือกตัวแปรแบบวิธีนำเข้า และมีค่า p-value มากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 สำหรับกระบวนการคัดเลือกตัวแปรแบบถอยหลัง

2.5 แนวทางการลดมาตราส่วนทางสถิติสำหรับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

การเปรียบเทียบความถูกต้องแม่นยำของแนวทางการลดมาตราส่วนทางสถิติสำหรับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ซึ่งดำเนินการศึกษาจำนวน 2 แนวทาง ได้แก่

แนวทางที่ 1 การลดมาตราส่วนทางสถิติของตัวแปรสภาพภูมิอากาศท้องถิ่นที่จำเป็นต่อการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง โดยแนวทางดังกล่าวประเมินความแม่นยำโดยการเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงซึ่งคำนวณโดยใช้ตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่นที่ผ่านการลดมาตราส่วนทางสถิติ และค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณจากข้อมูลตรวจวัดของตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่น

แนวทางที่ 2 การลดมาตราส่วนทางสถิติของปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง *ETo* Penman-Monteith to Statistical Downscaling (PM-SD) ซึ่งดำเนินการลดมาตราส่วนของปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงซึ่งคำนวณจากข้อมูลตรวจวัดของตัวแปรสภาพภูมิอากาศท้องถิ่น โดยแนวทางนี้ประเมินความแม่นยำโดยการเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงซึ่งได้จากการลดมาตราส่วนทางสถิติโดยตรงและค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณจากปัจจัยภูมิอากาศท้องถิ่นตรวจวัด

2.6 การตรวจพิสูจน์ค่าความแม่นยำ

กระบวนการสอบเทียบและทวนสอบดำเนินการเพื่อปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์สมการถดถอยบางส่วนของสมการการถดถอยเชิงพหุคูณซึ่งแสดงดังสมการที่ (2) และตรวจพิสูจน์ความแม่นยำของสมการที่ประยุกต์ใช้สำหรับการลดมาตราส่วนทางสถิติโดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าตรวจวัดของตัวแปรสภาพภูมิอากาศท้องถิ่น และค่าที่ได้จากกระบวนการลดมาตราส่วนทางสถิติซึ่งเป็นค่ารายวันเฉลี่ย โดยกำหนดช่วงเวลาของการสอบเทียบและการทวนสอบตั้งแต่ ค.ศ. 1987–1997 และ ค.ศ. 1998–2005 ตามลำดับ สำหรับค่าความสัมพันธ์ทางสถิติที่ใช้ประเมินความแม่นยำของการลดมาตราส่วนทางสถิติประกอบด้วย

1) ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficent; *r*) คือ ดัชนีสำหรับประเมินความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสภาพภูมิอากาศโลกกับตัวแปรภูมิอากาศภูมิอากาศท้องถิ่น ดังสมการที่ (3)

$$r = \frac{\sum OP - n\overline{O}\overline{P}}{\sqrt{\sum O_i^2 - n\overline{O}^2}\sqrt{\sum P_i^2 - n\overline{P}^2}} \quad (3)$$

โดยที่ O คือ ค่าตรวจวัด P คือ ค่าที่ได้จากกระบวนการลดมาตราส่วนทางสถิติ $\overline{O}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าตรวจวัด $\overline{P}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากกระบวนการลดมาตราส่วนทางสถิติ และ n คือ จำนวนตัวแปร ซึ่งการพิจารณาเกณฑ์การแปลผลความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การพิจารณาเกณฑ์การแปลผลความสัมพันธ์ [11]

สหสัมพันธ์ (*r*)	ระดับความสัมพันธ์
>0.81	ความสัมพันธ์สูง
0.61 ถึง 0.80	ความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง
0.41 ถึง 0.60	ความสัมพันธ์ปานกลาง
0.20 ถึง 0.41	ความสัมพันธ์ค่อนข้างต่ำ
<0.20	ความสัมพันธ์ต่ำ

2) ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2) คือ ดัชนีสำหรับประเมินความสัมพันธ์ของข้อมูลจากการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น (Liner Regression) โดยมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ค่าที่ใกล้ 1 ความหมายคือตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้มาก และค่าที่ใกล้ 0 หมายความคือ ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้น้อย ดังสมการที่ (4)

$$R^2 = \left(\frac{COV(O,P)}{\sqrt{VAR(O)VAR(P)}} \right)^2 \quad (4)$$

3) ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Square Error; *MSE*) คือ ดัชนีสำหรับประเมินความคาดเคลื่อนของค่าที่ได้จากกระบวนการลดมาตราส่วนทางสถิติกับข้อมูลตรวจวัด ดังสมการที่ (5)

$$MSE = \sum_{i=1}^{n} (P_i - O_i)^2 \quad (5)$$

4) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error; *RMSE*) คือ ดัชนีสำหรับประเมินความคลาดเคลื่อนค่าที่ได้จากกระบวนการลดมาตราส่วนทางสถิติกับข้อมูลตรวจวัดดังสมการที่ (6)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2} \quad (6)$$

5) ร้อยละความเอนเอียงของการประมาณ (Percent Bias; *PBIAS*) คือ ดัชนีสำหรับประเมินแนวโน้มโดยเฉลี่ยของข้อมูลความแตกต่างระหว่างตัวแปรสภาพภูมิอากาศโลกที่ทำการลดมาตราส่วนทางสถิติกับตัวแปรสภาพภูมิอากาศท้องถิ่นในรูปแบบร้อยละ หากค่าเข้าใกล้ 0 สามารถแปลความหมายทางสถิติได้ว่าค่าที่ได้จากกระบวนการลดมาตราส่วนทางสถิติมีความน่าเชื่อถือ ถ้ามีค่าเป็นบวก คือ ค่าที่ได้จากกระบวนการลดมาตราส่วนทางสถิติมีค่าต่ำกว่าค่าจริงคำนวณได้ดังสมการที่ (7)

$$PBIAS = 100\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^{n}O_i} \quad (7)$$

3. ผลการทดลอง

3.1 การคัดเลือกตัวแปรสภาพภูมิอากาศโลก

การคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลก หรือตัวแปรอิสระในสมการถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปรสำหรับการลดมาตราส่วนทางสถิติดำเนินการคัดเลือกด้วยวิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise Regression Procedure) พบว่าตัวแปรภูมิอากาศโลกมีค่าสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่นหรือตัวแปรตาม โดยที่ตัวแปรสภาพภูมิอากาศท้องถิ่นที่มีจำนวนตัวแปรภูมิอากาศโลกที่มีค่าสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญสูงสุด คือ อุณหภูมิสูงสุด ซึ่งมีตัวแปรภูมิอากาศโลกที่มีค่าสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญจำนวน 20 ตัวแปร ในขณะที่อุณหภูมิต่ำสุดและความยาวนานแสงแดดมีจำนวนตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญจำนวน 18 ตัวแปร ความเร็วลมเฉลี่ยมีจำนวนตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญจำนวน 15 ตัวแปร และความชื้นสัมพัทธ์มีจำนวนตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญจำนวน 13 ตัวแปร ตามลำดับ โดยที่ตัวแปรภูมิอากาศโลกที่ได้รับการคัดเลือกร่วมกันสำหรับตัวแปรสภาพภูมิอากาศท้องถิ่นทั้ง 5 ตัวแปร มีจำนวน 2 ตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรความเร็วลมที่ความสูง 1,000 hPa (ncepp1_fgl) และความชื้นสัมพัทธ์ที่ความสูง 500 hPa (nceps500gl) ซึ่งทั้ง 2 ตัวแปรนี้ยังได้รับการคัดเลือกสำหรับแนวทาง PM-SD อีกด้วย โดยที่วิธี PM-SD มีจำนวนตัวแปรที่มีค่าสหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญรวมตัวแปรข้างต้น 2 ตัวแปร เป็นจำนวนทั้งสิ้น 15 ตัวแปร อย่างไรก็ตามตัวแปรที่คัดเลือกโดยวิธีการคัดเลือกแบบมีขั้นตอนที่ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่า *ETo* ได้แก่ ตัวแปรทิศทางลมที่ความสูง 1,000 hPa (ncepp1thgl) ซึ่งรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2

3.2 การประเมินความแม่นยำของการลดมาตราส่วนทางสถิติของวิธี SD-PM

ผลการประเมินความแม่นยำของการลดมาตราส่วนของวิธี SD-PM แสดงดังตารางที่ 3 ได้มีการประเมินค่าของตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่นทั้งสิ้นจำนวน 5 ตัวแปร พบว่าในช่วงการสอบเทียบมีค่า r ของตัวแปรทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ที่สูง (0.798–0.949) ในขณะที่ค่า R^2 ของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมีค่าที่ใกล้เคียงกัน (0.901–0.955) แต่ค่า R^2 ของความชื้นสัมพัทธ์ และความยาวนานแสงแดดมีค่าที่ต่ำลง โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.637–0.71 ผลของ *MSE* และ *RMSE* มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยความชื้นสัมพัทธ์และความยาวนานแสงแดดมีค่า *MSE* และ *RMSE* สูงและต่ำที่สุดตามลำดับ และผลจากการประเมิน *PBIAS* พบว่า ตัวแปรทั้ง 5 ตัวแปร มีค่าใกล้เคียงศูนย์แสดงถึงผลที่ได้มีค่าที่น่าเชื่อถือ

สำหรับผลการประเมินช่วงการทวนสอบพบว่า r และ R^2 ที่ได้มีค่าที่ต่ำกว่าในช่วงการสอบเทียบแบบจำลองทุกตัวแปร โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวแปรความยาวนานแสงแดดที่มีค่า R^2 ลดต่ำลงเป็นอย่างมาก ค่า *MSE* และ *RMSE* มีค่าที่แตกต่างจากช่วงการสอบเทียบเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ผลที่ได้จากการประเมิน *PBIAS* พบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับผลที่ได้จาก R^2 โดยค่า *PBIAS* ที่สูงที่สุดได้แก่ ตัวแปรความยาวนานแสงแดด

ผลจากการประเมินค่า *ETo* โดยวิธีการ SD-PM พบว่าช่วงสอบเทียบมีผลของค่า r อยู่ในระดับความสัมพันธ์ที่สูง

ตารางที่ 2 การคัดเลือกตัวแปรตัวภูมิอากาศโลกที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่น [12]

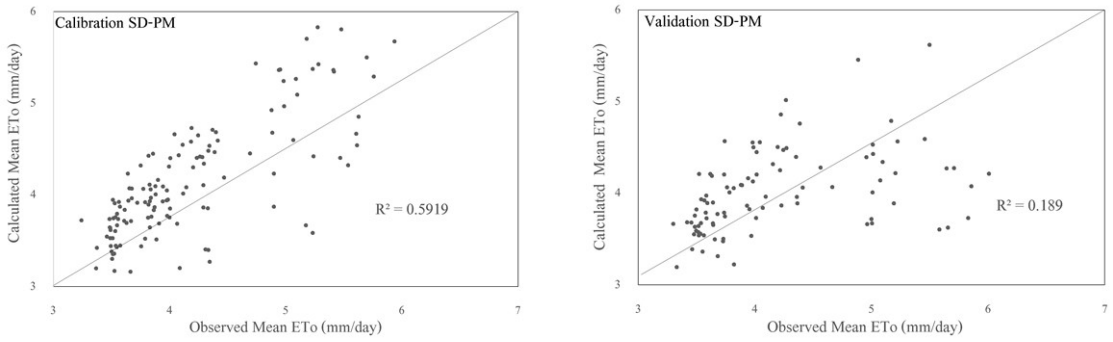
PREDICTORS	ความหมายตัวแปรภูมิอากาศโลก	T_{max}	T_{MIN}	RH	U	Sun	ETo^{PM-SD}
ncepmslpgl	ความดันระดับน้ำทะเลปานกลาง	●	●			●	●
ncepp1_fgl	ความเร็วลมที่ความสูง 1,000 hPa	●	●	●	●	●	●
ncepp1_ugl	ทิศทางลมตามแนวละติจูดที่ความสูง 1,000 hPa		●	●			
ncepp1_vgl	ทิศทางลมตามแนวลองจิจูดที่ความสูง 1,000 hPa	●	●		●	●	●
ncepp1_zgl	ความสัมพันธ์ความเร็วลมจริงที่ความสูง 1,000 hPa		●				●
ncepp1thgl	ทิศทางลมที่ความสูง 1,000 hPa						
ncepp1zhgl	ความแตกต่างของลมจริงที่ความสูง 1,000 hPa		●		●	●	
ncepp5_fgl	ความเร็วลมที่ความสูง 500 hPa	●	●	●	●		●
ncepp5_ugl	ทิศทางลมตามแนวละติจูดที่ความสูง 500 hPa	●		●	●		●
ncepp5_vgl	ทิศทางลมตามแนวลองจิจูดที่ความสูง 500 hPa				●		●
ncepp5_zgl	ความสัมพันธ์ความเร็วลมจริงที่ความสูง 500 hPa	●	●	●			
ncepp500gl	ศักยภาพแรงโน้มถ่วงของโลกที่ความสูง 500 hPa	●	●	●	●	●	
ncepp5thgl	ทิศทางลมที่ความสูง 500 hPa	●				●	
ncepp5zhgl	ความแตกต่างของลมจริงที่ความสูง 500 hPa					●	
ncepp8_fgl	ความเร็วลมที่ความสูง 850 hPa	●	●	●	●	●	
ncepp8_ugl	ทิศทางลมตามแนวละติจูดที่ความสูง 850 hPa	●	●		●	●	
ncepp8_vgl	ทิศทางลมตามแนวลองจิจูดที่ความสูง 850 hPa	●	●	●	●	●	
ncepp8_zgl	ความสัมพันธ์ความเร็วลมจริงที่ความสูง 850 hPa	●	●		●	●	
ncepp850gl	ศักยภาพแรงโน้มถ่วงของโลกที่ความสูง 850 hPa	●					●
ncepp8thgl	ทิศทางลมที่ความสูง 850 hPa	●	●	●			●
ncepp8zhgl	ความแตกต่างของลมจริงที่ความสูง 850 hPa	●			●	●	●
nceppprcpgl	ปริมาณน้ำฝน	●	●			●	●
nceps500gl	ความชื้นสัมพัทธ์ที่ความสูง 500 hPa	●	●	●	●	●	●
nceps850gl	ความชื้นสัมพัทธ์ที่ความสูง 850 hPa	●		●		●	●
ncepshumgl	ความชื้นสัมพัทธ์ที่ความสูง 1,000 hPa	●	●		●	●	●
nceptempgl	อุณหภูมิเฉลี่ยที่ความสูง 2 เมตร	●	●	●	●		●

หมายเหตุ: T_{max} คือ อุณหภูมิสูงสุด (°C), T_{MIN} อุณหภูมิต่ำสุด (°C), RH ความชื้นสัมพัทธ์ (%), U ความเร็วลมเฉลี่ย (m s^{-1}), Sun ความยาวนานแสงแดด (hr), ETo ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (mmd^{-1})

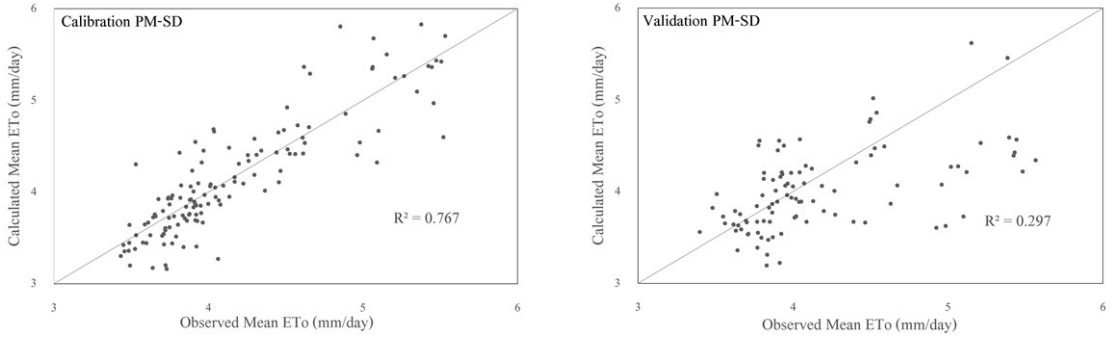
ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการตัวแปรช่วงสอบเทียบและทวนสอบ

Variables	Calibration					Validation				
	R^2	MSE	RMSE	r	PBIAS	R^2	MSE	RMSE	r	PBIAS
T_{max}	0.901	0.551	0.742	0.949	0.020	0.733	1.424	1.193	0.856	–0.604
T_{MIN}	0.955	0.294	0.542	0.977	0.100	0.848	1.037	1.018	0.921	1.168
RH	0.637	16.815	4.101	0.798	–0.135	0.344	16.487	4.060	0.587	–0.876
U	0.671	0.057	0.239	0.819	–0.080	0.194	0.208	0.456	0.440	–25.831
Sun	0.825	0.632	0.795	0.908	–0.100	0.618	1.474	1.214	0.786	–4.160
ETo^{SD-PM}	0.591	0.360	0.600	0.769	–0.602	0.189	0.455	0.675	0.435	–4.119
ETo^{PM-SD}	0.767	0.209	0.457	0.875	–0.214	0.296	0.258	0.508	0.544	–3.966

หมายเหตุ: T_{max} คือ อุณหภูมิสูงสุด (°C), T_{MIN} อุณหภูมิต่ำสุด (°C), RH ความชื้นสัมพัทธ์ (%), U ความเร็วลมเฉลี่ย (m s^{-1}), Sun ความยาวนานแสงแดด (hr), ETo ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (mm d^{-1})



รูปที่ 3 กราฟแสดงกระจายตัวการใช้น้ำของพืชอ้างอิงเฉลี่ยรายเดือนระหว่างข้อมูลตรวจวัดและข้อมูลที่คำนวณจากจำลองบนเส้นแนวโน้ม 45 องศา โดยวิธีการ SD-PM



รูปที่ 4 กราฟแสดงกระจายตัวการใช้น้ำของพืชอ้างอิงเฉลี่ยรายเดือนระหว่างข้อมูลตรวจวัดและข้อมูลที่คำนวณจากจำลองบนเส้นแนวโน้ม 45 องศา โดยวิธีการ PM-SD

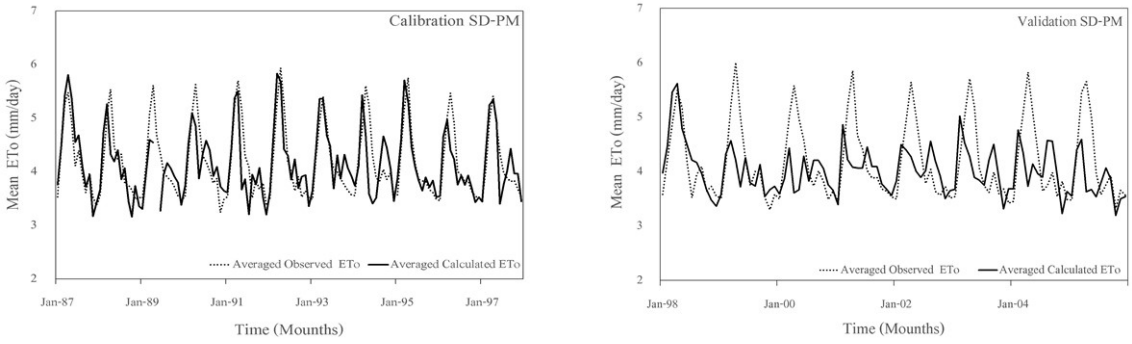
เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด และมีค่า R^2 อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงทวนสอบพบว่าค่า r และ R^2 จะมีค่าที่ต่ำลง นอกจากนั้น MSE และ $RMSE$ ในช่วงสอบเทียบมีค่าสูงกว่าช่วงทวนสอบเล็กน้อย ในขณะที่ $PBIAS$ ช่วงสอบเทียบมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากกว่าช่วงทวนสอบ (ตารางที่ 3) พบว่า ช่วงการสอบเทียบค่า r มีค่าความสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง (0.875) เช่นเดียวกันกับค่าของ R^2 (0.767) ในขณะที่ค่าของ MSE $RMSE$ มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แต่ในช่วงการทวนสอบพบว่า ค่า r และ R^2 มีค่าที่ลดลงในขณะที่ค่า MSE $RMSE$ และ $PBIAS$ มีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผลที่ได้ในช่วงของการสอบเทียบ

3.3 การประเมินความแม่นยำของการลดมาตราส่วนโดยวิธี PM-SD

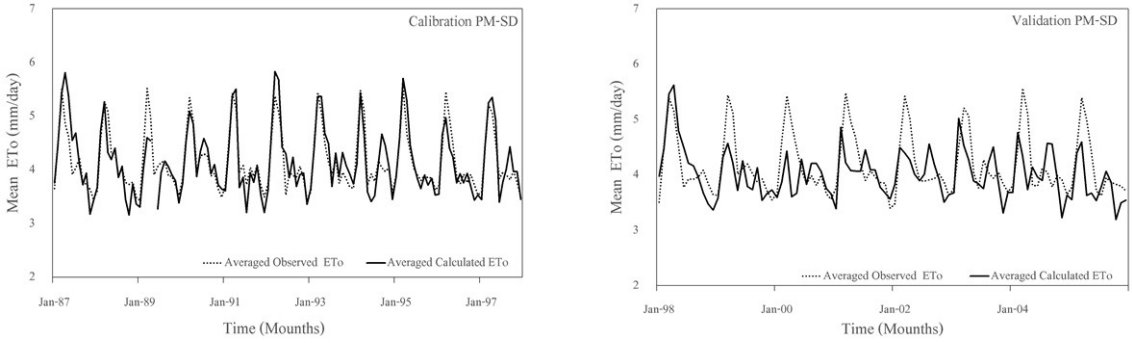
สำหรับวิธีการ PM-SD จะเป็นการประเมินค่า ETo ก่อนจากนั้นจึงนำค่า ETo ที่ได้มาลดมาตราส่วน ดังนั้นผลการประเมินที่เกิดขึ้นจะเป็นการประเมินเฉพาะค่า ETo ซึ่งจะแตกต่างจากวิธีที่ SD-PM ที่มีการประเมินตัวแปรท้องถิ่นอื่นที่เกี่ยวข้อง ผลที่ได้จากการประเมินค่า ETo โดยวิธี PM-SD

3.4 การเปรียบเทียบแนวทางการลดมาตราส่วนโดยวิธี SD-PM และ PM-SD

ผลการเปรียบเทียบแนวทางการลดลมาตราส่วนโดยวิธี SD-PM และ PM-SD จากตารางที่ 3 และรูปที่ 3–6 พบว่าทั้ง 2 วิธี จะให้ผลในช่วงของการสอบเทียบที่มีค่าความน่าเชื่อถือมากกว่าในช่วงของการทวนสอบ และจากดัชนีทางสถิติ



รูปที่ 5 เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงรายเดือนระหว่างข้อมูลตรวจวัดและข้อมูลแบบที่คำนวณจากจำลอง โดยวิธีการ SD-PM



รูปที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงรายเดือนระหว่างข้อมูลตรวจวัดและข้อมูลแบบที่คำนวณจากจำลอง โดยวิธีการ PM-SD

ทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าวิธี PM-SD แสดงผลลัพธ์ที่ดี และมีความน่าเชื่อถือมากกว่าการใช้วิธี SD-PM ในการลดมาตราส่วนของ ETo ซึ่งการกระจายตัวของผลการลดมาตราส่วน เมื่อเปรียบเทียบกับผลตรวจวัดแสดงในรูปที่ 3 และ 4 พบว่า วิธี SD-PM จะมีการกระจายตัวของข้อมูลที่สูงกว่าวิธี PM-SD ซึ่งสอดคล้องกับการแสดงผลทางสถิติข้างต้น นอกจากนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบผลในรูปแบบของอนุกรมเวลา (Time-seires) แสดงดังรูปที่ 5 และ 6 พบว่า ค่า ETo ที่คำนวณได้โดยส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่าค่าจากการตรวจวัดซึ่งจะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 2 วิธี และผลที่ได้จากการลดมาตราส่วนทั้ง 2 วิธี ในช่วงของการทวนสอบแบบจำลองมีค่าต่ำว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงการสอบเทียบแบบจำลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่มีค่า ETo มากกว่า 5 mm/day ซึ่งแสดงจากการกระจายตัวของข้อมูลซึ่งมีค่าต่ำกว่าเส้นแนวโน้ม 45 องศา สำหรับช่วงเวลาของการทวนสอบในรูปที่ 3 และ 4

เนื่องจากวิธี SD-PM จำเป็นต้องมีการเลือกตัวแปรสภาพภูมิอากาศโลกที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรท้องถิ่นในการคำนวณ ETo จำนวนทั้งสิ้น 5 ตัวแปร และทำการลดมาตราส่วนของตัวแปรท้องถิ่นแต่ละตัวแปร ซึ่งการคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกให้เหมาะสมสำหรับตัวแปรท้องถิ่นแต่ละตัวส่งผลต่อการประเมินค่าของ ETo ซึ่งการประเมินโดยวิธีของ PM-SD จะคัดเลือกตัวแปรเพียงชุดเดียวที่มีค่าความเหมาะสมกับ ETo ที่คำนวณได้จากตัวแปรท้องถิ่นที่ได้จากการตรวจวัด ดังนั้นวิธีการของ PM-SD จึงจะมีค่าที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากปัจจัยการเลือกตัวแปร

สภาพภูมิอากาศน้อยกว่าวิธีการของ SD-PM นอกจากนั้น วิธีการของ PM-SD จะก่อเกิดความคลาดเคลื่อนสุ่ม (€) จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณจากสมการทั้งสิ้น 5 สมการ ซึ่งอาจส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วิธีการ PM-SD ที่มีการสร้างสมการเชิงเส้นพหุคูณจากการคัดเลือกตัวแปรแล้วเพียง 1 สมการ

4. สรุป

การลดมาตราส่วนทางสถิติมีความสำคัญต่อการพัฒนาแผนการปรับตัว และการบริหารจัดการน้ำชลประทานภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเปรียบเทียบความแม่นยำของแนวทางการลดมาตราส่วนสำหรับปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องจำนวน 2 แนวทาง ประกอบด้วย แนวทางที่ 1 การลดมาตราส่วนทางสถิติของตัวแปรสภาพภูมิอากาศท้องถิ่นที่จำเป็นต่อการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ซึ่งเป็นการคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกที่เหมาะสมกับตัวแปรท้องถิ่นทั้งสิ้น 5 ตัว ที่ใช้ในการคำนวณ ETo ก่อนจะทำการลดมาตราส่วน และแนวทางที่ 2 การลดมาตราส่วนทางสถิติของปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ETo Penman-Monteith To Statistical Downscaling (PM-SD) ซึ่งเป็นการคำนวณ ETo ก่อนที่จะนำไปลดมาตราส่วนโดยการคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกที่เหมาะสม จากผลการศึกษาพบว่า วิธีการ PM-SD มีความแม่นยำมากกว่า วิธีการ SD-PM ซึ่งเป็นผลจากความเหมาะสมของตัวแปรภูมิอากาศโลกที่ได้รับการคัดเลือกมาใช้ในวิธีของ SD-PM ที่จำเป็นต้องมีการคัดเลือกให้เหมาะสมทั้งสิ้น 5 ตัวแปร ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมได้มากกว่าอีกวิธีหนึ่ง นอกจากนั้นการสร้างสมการเชิงเส้นพหุคูณสำหรับทุกตัวแปรก่อนที่จะนำมาคำนวณค่า ETo ยังส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มสูงขึ้น

การศึกษาในอนาคตเพื่อฉายภาพอนาคตของค่า ETo และการประเมินความต้องการน้ำชลประทานภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจำเป็นต้องคำนึงถึงความแม่นยำในช่วงฤดูแล้งหรือช่วงเวลาที่มีค่า ETo มากกว่า 5 mm/day เนื่องจากยังคงมีความคลาดเคลื่อนของค่า ETo ที่ได้จากเทคนิคการลดมาตราส่วนในกระบวนการทวนสอบอยู่ ซึ่งอาจมีการพิจารณาแนวทางการคัดเลือกตัวแปรรวมถึงการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรท้องถิ่นและตัวแปรภูมิอากาศโลกวิธีอื่นเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาค่าความเชื่อมั่นในการลดมาตราส่วน ETo ให้มีค่าที่สูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ทราบถึงแนวโน้มความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากการประเมินค่า ETo ที่ได้จากแบบจำลองหมุนเวียนอากาศที่แตกต่างกัน และนอกจากปัจจัย ETo แล้วปริมาณฝนใช้การยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน ดังนั้นการคำนึงถึงแนวทางในการลดมาตราส่วนทางสถิติสำหรับข้อมูลปริมาณน้ำฝนภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นในการประเมินปริมาณความต้องการน้ำชลประทานในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้เขียนขอขอบคุณกรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยาอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้สำหรับการอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] L. J. Wade, S. Fukai, B. K. Samson, A. Ali, and M. A. Mazid, “Rainfed lowland rice: Physical environment and cultivar requirements,” *Field Crops Research*, vol. 64, no. 1–2, pp. 3–12, 1999.

[2] D. J. Griggs and M. Noguer, “Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change,” *Weather*, vol. 57, no. 8, pp. 267–269, 2002.

[3] W. L. Gates, J. S. Boyle, C. Covey, C. G. Dease, C. M. Doutriaux, R. S. Drach, and T. J. Phillips, “An overview of the results of the atmospheric model intercomparison project (AMIP I),”

Bulletin of the American Meteorological Society, vol. 80, no. 1, pp. 29–56, 1999.

[4] C. Y. Xu, "From GCMs to river flow: A review of downscaling methods and hydrologic modelling approaches," *Progress in Physical Geography*, vol. 23, no. 2, pp. 229–249, 1999.

[5] R. L. Wilby, C. W. Dawson, and E. M. Barrow, "SDSM-a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts," *Environmental Modelling & Software*, vol. 17, no. 2, pp. 145–157, 2002.

[6] S. Gagnon, B. Singh, J. Rousselle, and L. Roy, "An application of the statistical downscaling model (SDSM) to simulate climatic data for streamflow modelling in Québec," *Canadian Water Resources Journal*, vol. 30, no. 4, pp. 297–314, 2005.

[7] T. PrikMak, "Prediction of temperature and rainfall amount in upper ping river basin under global climate change scenarios," M.S. thesis, Department of Water Resources Engineering, Kasetsart University, 2010 (in Thai).

[8] W. Wang, W. Xing, and Q. Shao, "How large are uncertainties in future projection of reference evapotranspiration through different approaches?," *Journal of Hydrology*, vol. 254, pp. 696–700, 2015.

[9] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, "Crop evapotranspiration– Guidelines for computing crop water requirements," Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy, 1998.

[10] R. L. Wilby, C. W. Dawson, and E. M. Barrow, "SDSM 4.2-A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts," Lancaster University, Lancaster/ Environment Agency of England and Wales, Lancaster, 2007.

[11] P.Thawirat, *Research Methods in Behavioral and Social Sciences*, Bangkok: Educational and Psychological Test Bureau, Srinakharinwirot University, 1997, pp. 144 (in Thai).

[12] P. Suwanmalai, J. Vongphet, and K. Sittichok, "Selection of global climate variable correlated to local climate data influencing crop water requirement in the Song Phi Nong operations and maintenance project," in *Proceedings the 20th TSAE International Conference*, 2019, pp. 179–185 (in Thai).