จ พ จ จซ บ จ จ จ ป Linear Scaling Quantile Mapping พ ด ผ

Performance assessment of bias correction for precipitation data from General Circulation Models using Linear Scaling and Quantile Mapping Method in the upper Chao Phraya River Basin

จด ด พ ด [1,2] ผ พ [2,1] จ พ ซ ผ จป

[1] *Office of the National Water Resources, Vibhavadi Rangsit Rd., Talat Bangkhen, Laksi, Bangkok*

[2] *Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakhon Pathom*

Corresponding author; E mail address fengjtv@ku.ac.th

พซป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการปรับแก้ความเอนเอียงของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่ โดยใช้ข้อมูลฝนตรวจวัดและข้อมูลฝนจาก Wu u q Sys q y] tu 8MS] 9ภายใต้ dxu cy x xq u v xu S ut] tu Y u s q y zus 8S] Y6) จำนวน 3 แบบจำลอง ได้แก่ Sq Uc] 5<S b] =S] 6-1 และ Y] =S] =5.0 ด้วยวิธี y uq csq y w 8 c9และ a q yu] q y w8a] 9ซึ่งทำการประเมินความแม่นยำโดยดัชนีทางสถิติประกอบด้วย b] cU< cU และ RY2c โดยกำหนดช่วงเวลาสอบเทียบและทวนสอบ ตั้งแต่ ค.ศ. 1995 - 2004 และ ค.ศ. 2005 - 2014 ตามลำดับ จากผลการวิจัยพบว่าวิธี c มีค่า b] cU< cU และ RY2c ช่วงสอบเทีย ้าดว

1 แล ล แก้

ทั้งปีของประเทศไทยอยู่ที่ 28.5 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2534-2563) หรือค่าปกติ 1.1 องศาเซลเซียส [3] นอกจากนี้ยังพบการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบฝนที่มีความแปรปรวนมากขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่ ประกอบด้วยลุ่มน้ำสาขา 4 ลุ่มน้ำ ได้แก่ ลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน เป็นพื้นที่ต้นน้ำที่สำคัญของประเทศไทย ครอบคลุมพื้นที่ประมาณร้อยละ 16 ของพื้นที่ประเทศ [4] พื้นที่ดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความมั่นคงด้านน้ำและอาหารของประเทศ เนื่องจากเป็นแหล่งน้ำต้นทุนหลักสำหรับการอุปโภคบริโภค การเกษตร และการผลิตพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่นี้จึงมีผลกระทบโดยตรงต่อการบริหารจัดการน้ำในภูมิภาคภาคกลางและทั่วประเทศ [5] การศึกษาเกี่ยวกับปริมาณน้ำฝนในอนาคตจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำและการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ

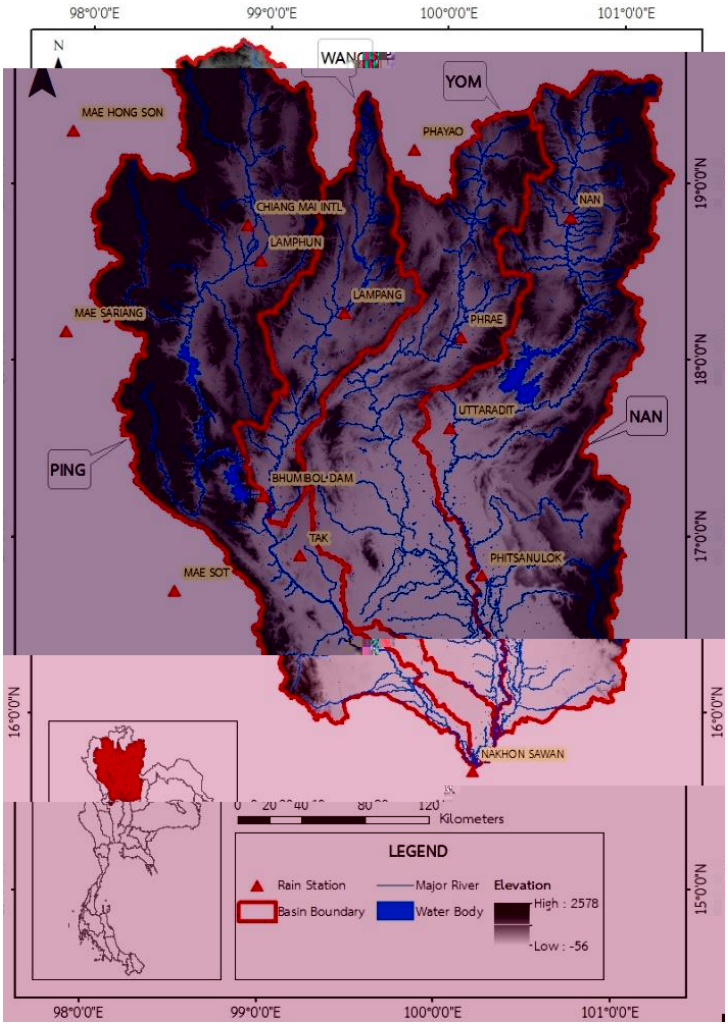
แบบจำลองภูมิอากาศโลก (W r q S y q u] t u KWS] 9 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตภายใต้สถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่แตกต่างกัน ภายใต้โครงการเปรียบเทียบแบบจำลองแบบคู่ควบ ระยะที่ 6 (S ut] t u Y u s q y zus xqu 6KS] Y6) อย่างไรก็ตาม แบบจำลองเหล่านี้ยังมีข้อจำกัดในการจำลองตัวแปรทางสภาพอากาศ โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนในระดับภูมิภาคและท้องถิ่น เนื่องจากความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ต่ำ รวมถึงโครงสร้างของแต่ละแบบจำลองที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ผลลัพธ์มีความแตกต่างกัน เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประเมินสภาพภูมิอากาศในอนาคต จำเป็นต้องใช้กระบวนการปรับแก้ความเอนเอียง (r y q s u s y 9เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศในระดับภูมิภาค [6] ในปัจจุบัน มีวิธีการปรับแก้ความเอนเอียงหลากหลายรูปแบบที่ถูกพัฒนาขึ้น [7] <[8]<[9] ตั้งแต่วิธีการอย่างง่าย เช่น y u q c s q y w ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก มีความเสถียรไม่ไวต่อข้อมูล y u และเหมาะสำหรับการวิเคราะห์แนวโน้มระยะยาว แต่มีข้อจำกัดสำคัญคือไม่สามารถปรับแก้ความแปรปรวนของข้อมูลทำให้ไม่เหมาะสมกับการวิเคราะห์เหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว [10]<[11] และวิธี T u q S x q w ซึ่งมีข้อดีในการรักษารูปแบบความผันแปรระยะสั้นของข้อมูลตรวจวัด เหมาะสำหรับการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดที่ต้องพึ่งพาข้อมูลตรวจวัดที่มีคุณภาพและครอบคลุม เป็นข้อจำกัดในพื้นที่ที่มีข้อมูลตรวจวัดไม่เพียงพอ และวิธีนี้อาจทำให้เกิดค่าที่ไม่สมเหตุสมผลทางกายภาพ เช่น ปริมาณน้ำฝนติดลบ [12]<[13]<[14] ไปจนถึงวิธีการที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น a q y u] q y w ที่มีประสิทธิภาพในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในกรณีสภาพอากาศสุดขั้ว ทั้งนี้สามารถประยุกต์ใช้กับตัวแปรหลายประเภท แต่ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับประสิทธิภาพของการปรับแก้ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพและปริมาณของข้อมูลที่ใช้สร้างฟังก์ชันการแจกแจงสะสม [15]<[16]<[17] และวิธี] y q y u R y q S u s y สามารถประยุกต์ใช้กับข้อมูลพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ ซึ่งวิธีนี้ต้องการข้อมูลที่มีคุณภาพสูงและมีความสมบูรณ์ [18]<[19] แต่ละวิธีมีหลักการ ข้อดี และข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ทำให้มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ตามลักษณะข้อมูลและวัตถุประสงค์ของวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการปรับแก้ความเอนเอียงระหว่างวิธี y u q c s q y w และวิธี a q y u] q y w สำหรับปรับแก้ความเอนเอียงข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก 3 แบบจำลอง ได้แก่ SQ Uc] 5<S b] =S] 6-1 และ Y] =S] 5-0 ในพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่ (ปิง วัง ยม น่าน) ผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปสร้างภาพฉายปริมาณน้ำฝนในอนาคต เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อทรัพยากรน้ำในอนาคต

2. พ จ จ จ

2.1

พื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่ แสดงดังรูปที่ A ประกอบด้วยลุ่มน้ำสาขาสำคัญ D สาย ได้แก่ ปิง วัง ยม และน่าน ตั้งอยู่ในพิกัดภูมิศาสตร์ประมาณละติจูดที่ Æ C ถึง B และลองจิจูดที่ I H ถึง A A C U ครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือของไทยจนถึงนครสวรรค์ ซึ่งเป็นจุดบรรจบของแม่น้ำทั้ง D สาย (ต้นแม่น้ำเจ้าพระยา) มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นกึ่งเขตร้อนที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมทั้งสองฤดู ส่งผลให้มีฤดูกาลชัดเจน C ฤดู คือ ฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) ฤดูฝน (มิถุนายน-ตุลาคม) และฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) ภูมิประเทศเป็นเทือกเขาสูงสลับกับที่ราบหุบเขา พื้นที่ร้อยละ F ปกคลุมด้วยป่าไม้เบญจพรรณ ป่าดิบเขา และป่าสนเขา ทำให้เป็นแหล่งต้นน้ำสำคัญด้วยลักษณะภูมิศาสตร์ดังกล่าว พื้นที่นี้จึงมีความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาพบแนวโน้มอุณหภูมิสูงขึ้น ฝนแปรปรวน และสภาพอากาศรุนแรงเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงด้านน้ำ อาหาร วิถีชีวิตชุมชน และความหลากหลายทางชีวภาพในระบบนิเวศต้นน้ำแห่งนี้



พ 1 พื้นที่ศึกษา

2.2

2.2.1

ปริมาณน้ำฝนตรวจวัดรายวัน ในช่วงปี ค.ศ.1995 – 2014 รวบรวมจากเว็บไซต์ของ q y q suq ys q t Q xu ys Qt yy q y 8 QQ9โดยใช้เทคโนโลยีดาวเทียมและสถานีตรวจวัดเพื่อเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศ หน่วยงานนี้มีบทบาทสำคัญในการติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พยากรณ์อากาศ และสนับสนุนข้อมูลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรและรับมือภัยพิบัติทางธรรมชาติ รายละเอียดของสถานีอุตุนิยมวิทยาที่ใช้สำหรับการศึกษานี้แสดงรายละเอียดดังตารางที่ Aซึ่งข้อมูลปริมาณน้ำฝนตรวจวัดผ่านการตรวจสอบความกลมกลืนของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันแต่ละสถานีด้วยวิธี T r u] q S u และวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูล มีค่าระหว่าง 0.998 – 1.000 โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ระหว่าง 1022.728 – 1483.032 มม.?ปี ปริมาณน้ำฝนสูงสุดระหว่าง 1463.790 – 2228.726 มม.?ปี ปริมาณน้ำฝนต่ำสุดระหว่าง 420.535 – 797.537 มม.?ปี ประกอบด้วย 14 สถานี ได้แก่ 1.] QU Wc 2. Q Q 3.] QUcQbYQ W 4.S YQ W] QYYd 5. Q] Q W6. Q] e 7. bQU8. Q 9.eddQbQTYd 10.] QUc d 11.dQ[12.R e] YR TQ] 13. YdcQ e [และ 14. Q[cQg Q

2.2.2 General Circulation Models, GCMs

แบบจำลองภูมิอากาศโลก (Wu u q Sys q y] tu <WS] 9 เป็นแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์และสถิติเป็นการจำลองภูมิอากาศอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงระดับก๊าซเรือนกระจกแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก ซึ่งคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกจะอธิบายสภาพภูมิอากาศในรูปแบบกริด (wyt su 9ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก จากการศึกษา [y 6 cut u 82013) [20] ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองเหล่านี้ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายและการวางแผนการปรับตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการติดตามวัฏจักรคาร์บอนและการประเมินความเสี่ยงด้านภูมิอากาศในระดับภูมิภาค โดยงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก 3 แบบจำลอง ได้แก่ Sq Uc] 5, S b] =S] 6-1 และ Y] = S] 5-0 เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่นิยมใช้ในทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [21], [22] แสดงรายละเอียดดังตารางที่ B ซึ่งเป็นชุดข้อมูล buq q y ซึ่งใช้ข้อมูลในช่วงปี ค.ศ.1995 - 2014

2.2.3

เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก จึงต้องทำการปรับแก้ความเอนเอียง (r yq s us y 9เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศในระดับพื้นที่

1) วิธี yuq csq y wเป็นเทคนิคการปรับแก้ความเอนเอียงข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกให้มีความสอดคล้องกับข้อมูลจากการตรวจวัด โดยอาศัยอัตราส่วนระหว่างข้อมูลแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัด จากนั้นใช้ค่าอัตราส่วนดังกล่าวในการปรับแก้ข้อมูลจากแบบจำลอง ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านอุทกวิทยาและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยอาศัยอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยระหว่างข้อมูลตรวจวัดจริงกับข้อมูลจากแบบจำลองในช่วงเวลาอ้างอิง ดังสมการที่ (A)

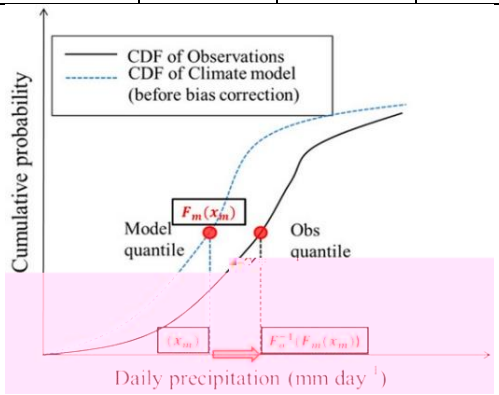
$$x'_{mod}(d) = x_{mod}(d) \times \frac{\mu_m(x_{obs}(d))}{\mu_m(x_{mod}(d))} \qquad 8A9$$

โดยที่ $x'_{mod}(d)$ Jปริมาณฝนรายวันจากแบบจำลองหลังการปรับแก้

$x_{obs}(d)$ Jปริมาณฝนตรวจวัดรายวัน

ผ พ B แบบจำลองภูมิอากาศโลกสำหรับการวิจัยนี้

Y y y ?S	] tu	c q yq bu y 8 9	T q y
Sq qt yq Su u v S y q u] tu y wq t Q q y<f ys yq< Sq qt q	Sq Uc] E	E E	AIE=B AD
Su u q y q tu bus xu s xu] wy u < Vq su	S b] =S] F=A	BE BE	AIE=B AD
Y y u v u ys q] q xu q ys <b yq	Y] =S] E=	A A	AIE=B AD



พ 2 การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนข้อมูลด้วยวิธี a q yu] q y w

3. ป จ

การศึกษาในครั้งนี้มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 3 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1

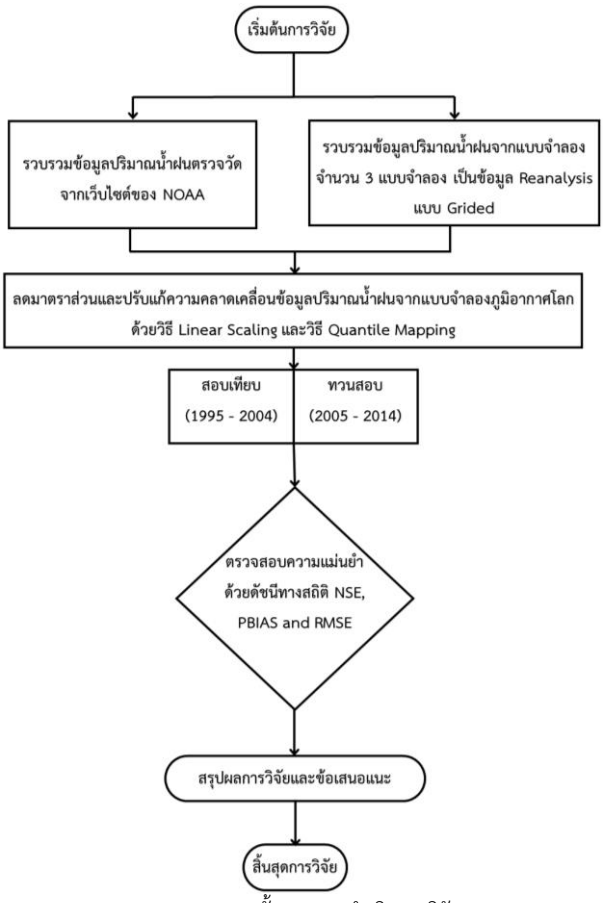
1) รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนตรวจวัดจำนวน 14 สถานี จากเว็บไซต์ของ QQ จำนวน 14 สถานีและข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก จำนวน 3 ชุดข้อมูล รูปแบบข้อมูล buq q y ในช่วงปี ค.ศ.1995 – 2014 โดยแบ่งออกเป็นช่วงสอบเทียบ (ปี ค.ศ.1995 – 2004) และช่วงทวนสอบ (ปี ค.ศ.2005 – 2014)

2) ดำเนินการลดมาตราส่วนทางสถิติข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก 3 ชุดข้อมูลไปยังตำแหน่งสถานีตรวจวัด

3) ปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก ด้วยวิธี y uq csq y wและวิธี a q yu] q y w โดยหาค่าพารามิเตอร์ของฝนรายวันในแต่ละเดือนจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนตรวจวัดและข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกในช่วงเวลาสอบเทียบแล้วดำเนินการประยุกต์ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองในช่วงทวนสอบ

4) คำนวนปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Y u u Ty q su g uyw x y w8Tg 9ซึ่งคำนวณด้วยค่าน้ำหนักถ่วงตามระยะทางระหว่างตำแหน่งที่ต้องการประมาณปริมาณน้ำฝนกับตำแหน่งของสถานีตรวจวัด วิธีนี้เหมาะสำหรับการประมาณข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่อย่างต่อเนื่อง เช่น ปริมาณน้ำฝน

5) ประเมินความแม่นยำของการปรับแก้ความเอนเอียงข้อมูลปริมาณน้ำฝนทั้งสองวิธีด้วยดัชนีทางสถิติ 3 ดัชนี ได้แก่ b] cU< cU และ RYQc



พ แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2

การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลสภาพอากาศจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกสามารถประเมินได้โดยใช้ดัชนีทางสถิติหลากหลายชนิด ทั้งนี้ การประเมินประสิทธิภาพของการปรับแก้ไม่สามารถดำเนินการได้ด้วยดัชนีทางสถิติเพียงชนิดเดียว เนื่องจากดัชนีทางสถิติแต่ละประเภทมีความเหมาะสมในการประเมินเฉพาะแง่มุมที่แตกต่างกัน ดังนั้น การใช้ดัชนีทางสถิติหลายชนิดร่วมกันจึงมีความจำเป็นเพื่อให้สามารถประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองได้อย่างครอบคลุมและแม่นยำมาก ในการศึกษาครั้งนี้ ประสิทธิภาพของแบบจำลองสภาพอากาศที่เลือกและวิธีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนประเมินโดยใช้ตัวบ่งชี้ดัชนีทางสถิติ 3 ชนิด ได้แก่ b] uq c qu U (b] cU9; q x=c s yxu Uwy s yu s (cU9และ u su Ryq (RYQc9

3.2.1 Root Mean Square Error (RMSE

b] cU เป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความแตกต่างระหว่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัดจริง โดยคำนวณจากรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน ค่า b] cU มีหน่วยเดียวกับข้อมูลที่วิเคราะห์ (เช่น มิลลิเมตร) หากค่า b] cU ต่ำแสดงถึงความแม่นยำสูงของแบบจำลอง แสดงสูตรคำนวณดังสมการที่ (E9

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(M_i - O_i)^2} \qquad (E9$$

3.2.2 Nash-Sutcliffe Efficiency NSE

cU เป็นค่าสถิติที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของการปรับแก้ความเอนเอียง โดยเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัด มีค่าตั้งแต่ -∞ ถึง 1 โดยค่า 1 แสดงถึงข้อมูลจากการปรับแก้ความเอนเอียงที่สมบูรณ์แบบ ค่า 0 แสดงถึงการปรับแก้ความเอนเอียงให้ผลลัพธ์แม่นยำเท่ากับการใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลตรวจวัด ค่า cU ที่ต่ำกว่า 0 บ่งชี้ว่าการปรับแก้ความเอนเอียงนั้นมีประสิทธิภาพต่ำกว่าการใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลตรวจวัด โดยคำนวณดังสมการที่ (F9

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \qquad \text{8F9}$$

3.2.3 Percent Bias (PBIAS

RYQc ค่าสถิติที่วัดแนวโน้มของข้อมูลจากแบบจำลองว่ามีค่าสูงหรือต่ำกว่าข้อมูลตรวจวัด แสดงในรูปของร้อยละ ค่า RYQc เป็นบวกแสดงว่าแบบจำลองประมาณค่าน้ำฝนต่ำกว่าความเป็นจริง (t u u y q y 9ส่วนค่าลบแสดงว่าแบบจำลองประมาณค่าสูงกว่าความเป็นจริง (u u y q y 9 ค่า RYQc ที่ใกล้ศูนย์บ่งชี้ถึงความแม่นยำสูงของแบบจำลองในการประมาณปริมาณน้ำฝนโดยรวม ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ 7

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - M_i)}{\sum_{i=1}^{n} O_i} \times 100\% \qquad \text{8G9}$$

3.2.4 Correlation Coefficient (R

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (S u q y S uwxyu Kb9 เป็นค่าทางสถิติที่วัดความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปริมาณน้ำฝนตรวจวัดและข้อมูลจากแบบจำลอง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง -A ถึง +A ซึ่งแสดงถึงทิศทางและความเข้มของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ถ้าค่าเข้าใกล้ A หมายถึงข้อมูลมีความสัมพันธ์ระหว่างกันสูง คำนวณได้ดังสมการที่ 8

$$R = \frac{\sum(M_i - \bar{M})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum(M_i - \bar{M})^2 \sum(O_i - \bar{O})^2}} \qquad \text{8H9}$$

โดย M_i J ข้อมูลจากแบบจำลอง

O_i J ข้อมูลตรวจวัดรายวัน

$\bar{O}$ J ค่าเฉลี่ยของข้อมูลตรวจวัด

ผ พ เกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพด้วยดัชนีทางสถิติ KBEmKBFm

ระดับความน่าเชื่อถือ 8ระดับความสัมพันธ์)	cU	RYQc 85 9	b
ดีมาก (สูงมาก)	N xEE	L A	xG = A>
ดี (สูง)	xFE cU xEE	A RYQc L AE	xE = xFI
พอใช้ 8ปานกลาง)	xE cUL xFE	AE RYQc L BE	xC = xDI
ไม่ดี (ต่ำ)	L xE	RYQc BE	> = xBI

4. จ จ

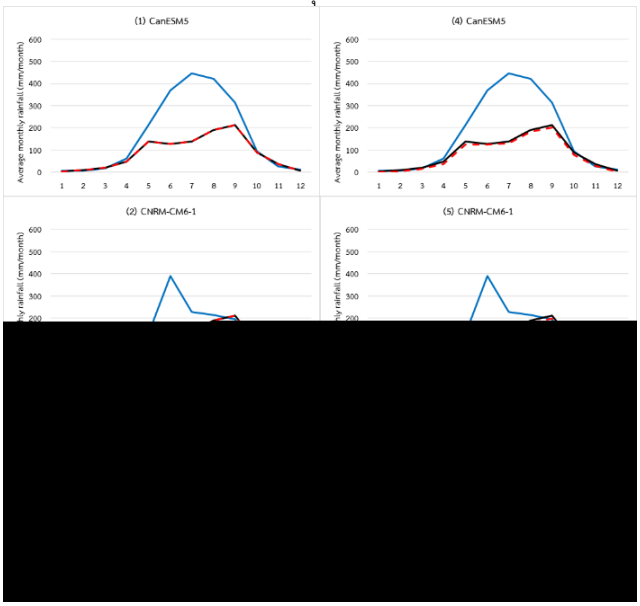
4.1

ผลการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก จำนวน 3 แบบจำลอง ได้แก่ Sq Uc] 5<S b] =S] 6-1 และ Y] =S] 5-0 ในพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่ ด้วยวิธี y uq csq y w และ a q yu] q y w ในช่วงปี ค.ศ. 1995–2014 โดยแบ่งออกเป็นช่วงสอบเทียบ (1995–2004) และช่วงทวนสอบ (2005–2014) จำนวน 14 สถานี โดยแสดงในรูปแบบปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Y u u Ty q su g uywx y w8Tg 9

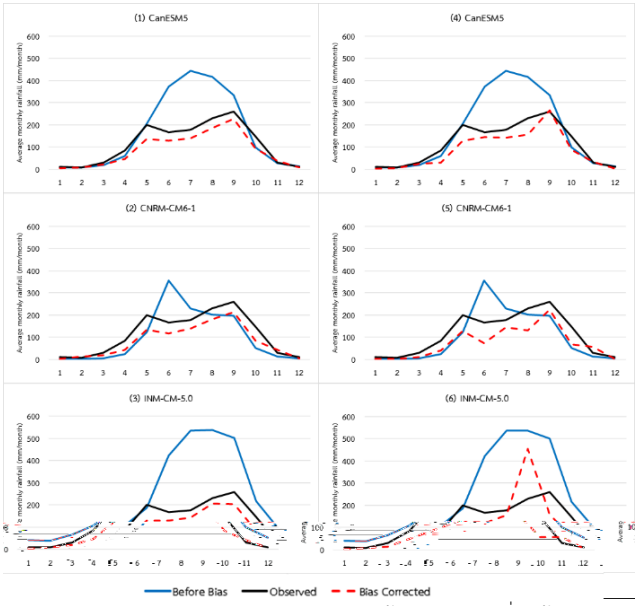
ผลการวิจัยพบว่า การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี y uq csq y w สามารถปรับให้แนวโน้มของข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองมีความสอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดได้ดีกว่าวิธี a q yu] q y w ทั้งในช่วงสอบเทียบและช่วงทวนสอบ โดยเฉพาะแนวโน้มของปริมาณฝนรายเดือนหลังการปรับแก้แสดงความสอดคล้องใกล้เคียงกับข้อมูลจริงอย่างมีนัยสำคัญ รูปที่ 4 และ 5 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ผ่านการปรับแก้ด้วย y uq csq y w มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล (uq q y 9 ใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัด และมีความสม่ำเสมอระหว่างปีมากกว่าวิธี a q yu] q y w

สำหรับวิธี a q yu] q y w แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการปรับแก้ค่าฝนเฉลี่ยรายเดือนให้ใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัด โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนที่มีปริมาณฝนสูง ซึ่งสามารถสะท้อนลักษณะการกระจายของข้อมูลได้ดี นอกจากนี้วิธี a q yu] q y w ยังเหมาะสำหรับปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติ

จากการเปรียบเทียบภาพรวม จึงสรุปได้ว่า วิธี y uq csq y w มีประสิทธิภาพในการปรับแก้แนวโน้มของข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองได้ดีกว่าในพื้นที่ศึกษานี้ โดยเฉพาะเมื่อต้องการศึกษาแนวโน้มฝนในระยะยาวหรือวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในระดับลุ่มน้ำ



พ 4 กราฟปริมาณฝนรายเดือนจากการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนข้อมูลของแต่ละแบบจำลอง ด้วยวิธี y uq csq y w 8A9-8C9 และวิธี a q yu] q y w 8D9-8F9 ช่วงสอบเทียบ (A I E B D9



พ 5 กราฟปริมาณฝนรายเดือนจากการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนข้อมูลของแต่ละแบบจำลอง ด้วยวิธี yuq csq y w8A9-8C9 และวิธี a q yu] q y w8D9-8F9 ช่วงทวนสอบ (200E B 1D9

4.2

เพื่อประเมินเสถียรภาพของวิธีการปรับแก้ความเอนเอียงในเชิงข้อมูลสภาพภูมิอากาศ งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบแนวโน้มของปริมาณน้ำฝนรายเดือนจากข้อมูลตรวจวัดจริง (r u ut 9 และข้อมูลจากแบบจำลองที่ผ่านการปรับแก้ด้วยวิธี yuq csq y w และ a q yu] q y w ดังแสดงในรูปที่ 7

ผลการวิเคราะห์พบว่า การปรับแก้ด้วยวิธี yuq csq y w แนวโน้มของปริมาณฝนรายเดือนมีความสอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดได้ดีในทุกฤดูกาล โดยเฉพาะช่วงฤดูฝน (มิถุนายน–ตุลาคม) ซึ่งข้อมูลจากแบบจำลองสามารถจำลองรูปแบบของการกระจายตัวของฝนได้ใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดมากที่สุด ทั้งในแง่ของปริมาณและช่วงเวลาของปริมาณฝนสูงสุด สำหรับวิธี a q yu] q y w แม้จะสามารถปรับแก้ให้ใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดได้ในบางช่วงฤดูฝน แต่พบความผันผวนของปริมาณฝนรายเดือนมากกว่า โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อน (มีนาคม–พฤษภาคม) และฤดูหนาว (พฤศจิกายน–กุมภาพันธ์) ที่ปริมาณฝนมีค่าน้อย ข้อมูลที่ผ่านการปรับแก้อาจเบี่ยงเบนจากข้อมูลตรวจวัดอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการเปรียบเทียบดังกล่าว ชี้ให้เห็นว่าวิธี yuq csq y w มีความเสถียรในการรักษาแนวโน้มตามฤดูกาลได้ดีกว่าวิธี a q yu] q y w ทั้งในด้านรูปแบบของการกระจายตัวของปริมาณฝนและช่วงเวลาของการเกิดเหตุการณ์ฝนสูงสุด

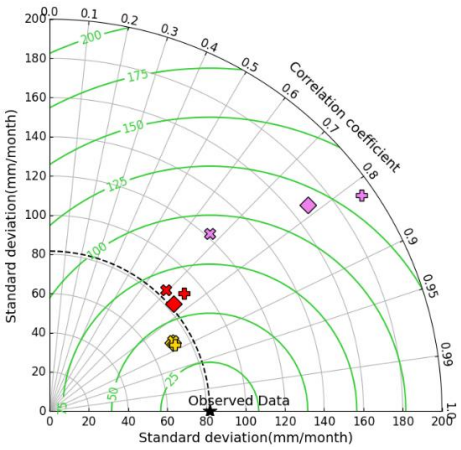
4.3

จากการประเมินประสิทธิภาพของการปรับแก้ความคลาดเคลื่อน โดยใช้ดัชนีทางสถิติ 3 ชนิด ได้แก่ b] cU< cU และ RYQc ซึ่งประเมินทั้งช่วงสอบเทียบและช่วงทวนสอบ ผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 4 และ 5 รวมถึง dq Tyqwq รูปที่ 6

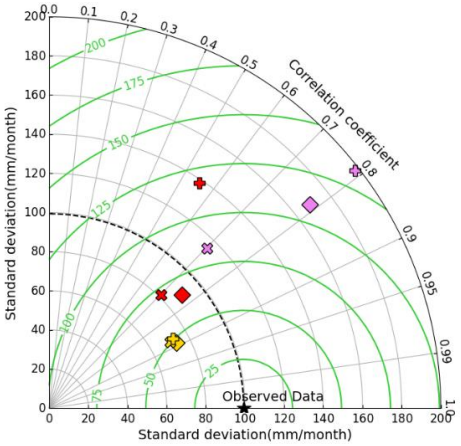
ผลการวิเคราะห์ช่วงสอบเทียบ (1995–2004) พบว่า การปรับแก้ด้วยวิธี yuq csq y w มีค่า b] cU อยู่ระหว่าง 38.149 – 40.681 มม. ค่า cU อยู่ในช่วง 0.752 – 0.782 และค่า RYQc เท่ากับ 0.044 – 0.095% สำหรับวิธี a q yu] q y w มีค่า b] cU< cU และ RYQc เท่ากับ 58.452 – 66.151 มม.<0.343 – 0.487 และ 4.495 – 9.101% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลกราฟ dq Tyqwq ในรูปที่ 6 (1) ที่วิธี yuq csq y w มีค่า c q tq t Tu yq y และ S u q y S uwys yu ใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดมากกว่า

สำหรับช่วงทวนสอบ (2005–2014) พบว่า วิธี yuq csq y w มีค่า b] cU< cU และ RYQc อยู่ในช่วง 54.786 – 58.562 มม.< 0.652 – 0.696 และ 23.334 – 26.207% ซึ่งแม้ว่าค่า RYQc จะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงสอบเทียบ แต่ค่า cU ยังคงอยู่ในระดับดีตามเกณฑ์การประเมิน (cU N 0.65) ในขณะที่ a q yu] q y w มีค่า b] cU อยู่ในช่วง GA-ECC AAH-BEF มม. ค่า cU เท่ากับ - >DAH >DHA และค่า RYQc มีค่าระหว่าง AD> CD ถึง CE> BB5 แสดงถึงประสิทธิภาพลดลงอย่างชัดเจน โดยเฉพาะแบบจำลอง Y] =S] 5-0 ที่ได้ค่า cU ติดลบในช่วงทวนสอบ (cU M=0.418) ซึ่งแสดงถึงความล้มเหลวในการปรับแก้ข้อมูลในช่วงดังกล่าว ถึงแม้ค่า cU จะบ่งชี้ถึงความแม่นยำที่ดี แต่ค่า RYQc ที่เกิน 25% สะท้อนว่ามีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลจริงค่อนข้างมาก ซึ่งทำให้ข้อมูลเหมาะสำหรับการใช้งานในด้านการบริหารจัดการน้ำในช่วงเวลาสั้น ๆ มากกว่าการวิเคราะห์ระยะยาว

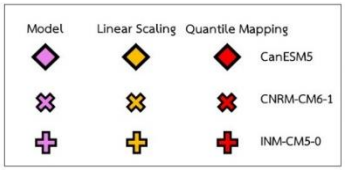
จากผลการวิเคราะห์ดัชนีทางสถิติชี้ให้เห็นว่า วิธี yuq csq y w มีความเสถียรและให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่า a q yu] q y w ทั้งในด้านค่าเฉลี่ยและการคงแนวโน้มเชิงฤดูกาลของข้อมูลปริมาณน้ำฝน ทั้งนี้การเลือกใช้วิธีการปรับแก้ควรพิจารณาตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาว่าเน้นความแม่นยำเชิงแนวโน้มหรือการวิเคราะห์เหตุการณ์สุดขั้วเป็นหลัก



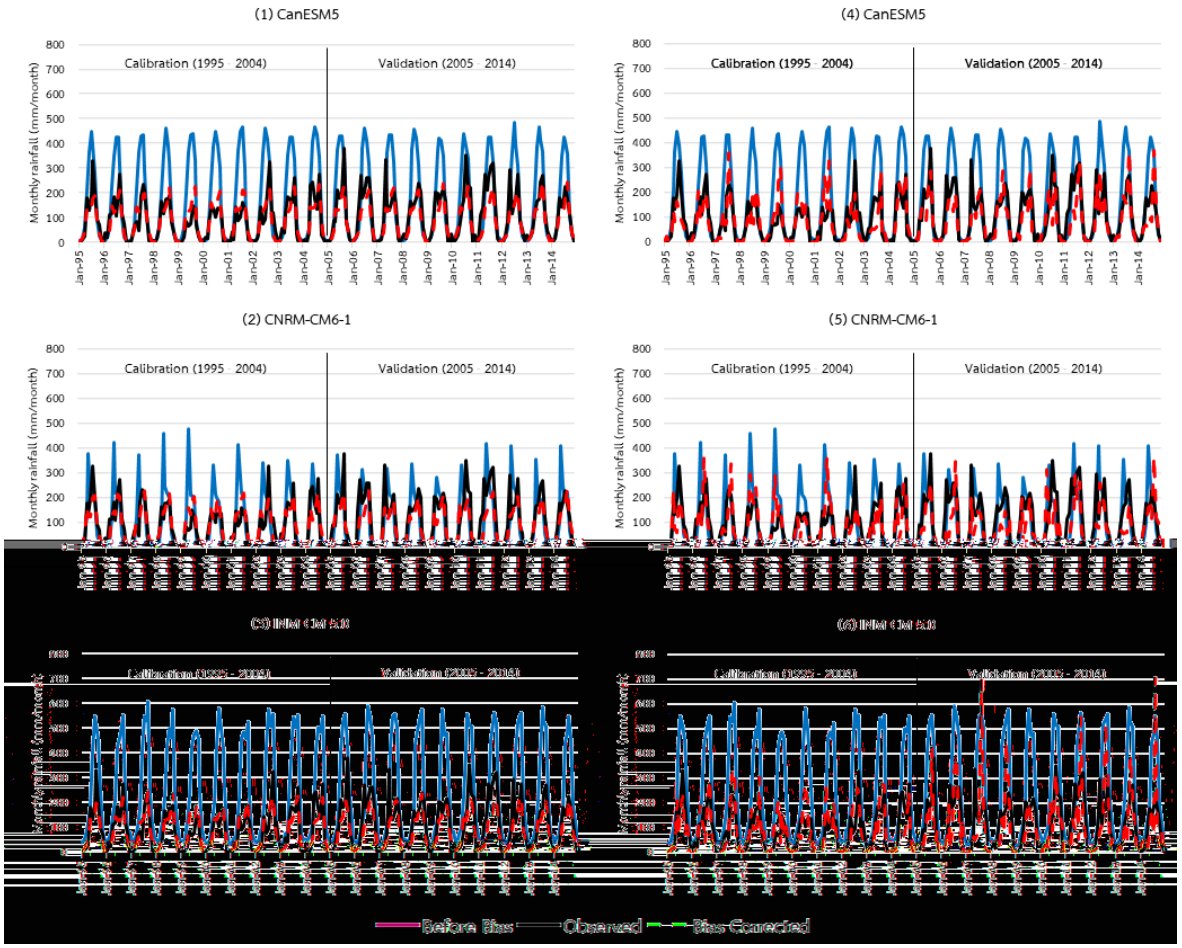
8A9 ช่วงสอบเทียบ (ปี ค.ศ.1995 – 2004)



8B9 ช่วงทวนสอบ (ปี ค.ศ.2005 – 2014)



พ 6 dq t yqwq ของปริมาณฝนรายเดือนจากการปรับแก้ความเอนเอียง ด้วยวิธี yuq csq y wและวิธี a q yu] q y wของแต่ละแบบจำลอง (1) ช่วงสอบเทียบ (ปี ค.ศ.1995 20049และ (2) ช่วงทวนสอบ (ปี ค.ศ.2005 20149



พ 7 กราฟเปรียบเทียบปริมาณฝนตรวจวัดกับปริมาณฝนจากการปรับแก้ความเอนเอียงข้อมูลปริมาณน้ำฝนของแต่ละแบบจำลอง ด้วยวิธี yuq csq y w8A9-8C9 และวิธี a q yu] q y w8D9-8F9

ผ พ D ดัชนีทางสถิติผลการปรับแก้ความเอนเอียง ในช่วงสอบเทียบ (ปี ค.ศ.1995 – 2004)

] u x t	] tu	b] cU	cU	RYQc
yuq csq y w	Sq Uc] E	CI >DI D	>GFF	> GH
	S b] =S] F=A	D >FHA	>GEB	>I E
	Y] =S] E=	CH>ADI	>GHB	> DD
a q yu] q y w	Sq Uc] E	EH>DEB	>DHG	I >A A
	S b] =S] F=A	FF>AE A	>GDC	H>FEH
	Y] =S] E=	FA>GHE	>DBG	D>DI E

ผ พ E ดัชนีทางสถิติผลการปรับแก้ความเอนเอียง ในช่วงทวนสอบ (ปี ค.ศ.2005 – 2014)

] u x t	] tu	b] cU	cU	RYQc
yuq csq y w	Sq Uc] E	ED>GHF	>FI F	BC><CD
	S b] =S] F=A	EH>EFB	>FEB	BF>B G
	Y] =S] E=	EG>HC	>FF A	BD>GEI
a q yu] q y w	Sq Uc] E	GA>ECC	>DHA	BD>GGF
	S b] =S] F=A	HA>HDD	>GB A	CE> BB
	Y] =S] E=	AAH>BEF	= >DAH	AD> CD

5.

จากการประเมินประสิทธิภาพของการปรับแก้ความเอนเอียงข้อมูลปริมาณน้ำน้ำฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก 3 แบบจำลอง ได้แก่ Sq Uc] E<S b] =S] F=Aและ Y] =S] 5-0 ด้วยวิธี yuq csq y w และวิธี a q yu] q y wในพื้นที่ตอนบนของลุ่มน้ำเจ้าพระยาใหญ่ (ปิง, วัง, ยม, น่าน) ซึ่งปรับแก้ในช่วงปี ค.ศ.1995 2014 โดยแบ่งเป็นช่วงสอบเทียบ (ปี ค.ศ.1995 2004) และช่วงทวนสอบ (ปี ค.ศ.2005 2014) พบว่า ในช่วงสอบเทียบและช่วงทวนสอบ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองที่ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนมีความสอดคล้องกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากการตรวจวัดที่ดีมากขึ้น ตลอดจนแนวโน้มของปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองหลังการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนมีความใกล้เคียงกับข้อมูลจากการตรวจวัด และการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี yuq csq y wเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าวิธี a q yu] q y wแม้ว่าจะมีข้อดีในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนข้อมูลสภาพอากาศสุดขั้ว จากการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี yuq csq y wแสดงถึงแบบจำลอง Y] =S] 5-0 ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในช่วงสอบเทียบ และแบบจำลอง Sq Uc] 5 ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในช่วงทวนสอบ สำหรับวิธี a q yu] q y wที่แบบจำลอง Sq Uc] 5 ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดทั้งในช่วงสอบเทียบและทวนสอบ

จากการศึกษาในครั้งนี้จึงมีข้อเสนอแนะถึงการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองด้วยวิธี yuq csq y wมีความเหมาะสมสำหรับการปรับแก้ความเอนเอียงข้อมูล ในกรณีที่ต้องการศึกษาแนวโน้มของปริมาณน้ำฝนในระยะยาว เช่น การวางแผนเชิงนโยบายด้านทรัพยากรน้ำในระดับลุ่มน้ำหรือระดับภูมิภาค ตลอดจนการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อทรัพยากรน้ำในภาพรวมในอนาคต เนื่องจากวิธีนี้มีความสามารถในการรักษาแนวโน้มของข้อมูลได้ดี ปรับค่าเฉลี่ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสำหรับงานที่ไม่เน้นการวิเคราะห์เหตุการณ์ฝนสุดขั้ว เนื่องจากสมมติฐานหลักของวิธีนี้ คือ ความแตกต่างเชิงปริมาณระหว่างข้อมูลจากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัดมีอัตราคงที่

สำหรับวิธี a q yu] q y wเป็นวิธีการปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลที่มีความแปรปรวนสูง และสามารถปรับแก้ข้อมูลฝนในช่วงที่มีเหตุการณ์ฝนตกหนักให้ใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดได้ดีกว่าวิธี yuq csq y wอย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษา พบว่า เมื่อใช้กับพื้นที่ที่มีข้อมูลฝนต่ำหรือข้อมูลขาดหาย วิธีนี้อาจทำให้ผลลัพธ์มีความไม่เสถียรและลดความแม่นยำในการประเมินค่าฝนเฉลี่ย วิธี a q yu] q y wจึงเหมาะกับการวิเคราะห์เหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว เช่น การประเมินความเสี่ยงน้ำท่วมฉับพลันหรือการวิเคราะห์ฝนตกหนักในพื้นที่เสี่ยงภัย หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีนี้ ควรมีการปรับรูปแบบการแจกแจงข้อมูลให้เหมาะกับลักษณะข้อมูลของพื้นที่ศึกษา เพื่อให้การปรับแก้ให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือมากขึ้น

นอกจากนี้ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงด้วยวิธีที่เหมาะสม ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าได้ โดยเฉพาะการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า และการวางแผนบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในอนาคต ทั้งนี้ ก่อนนำข้อมูลไปใช้งาน ควรมีการตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูลในเชิงปริมาณเฉลี่ยรายปี ความแปรปรวนตามฤดูกาล และพฤติกรรมของเหตุการณ์ฝนสุดขั้ว เพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลสามารถสะท้อนลักษณะของฝนในพื้นที่ศึกษาได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของผลการจำลอง

จผผจ จ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ทั้งด้านสถานที่ อุปกรณ์ และองค์ความรู้ที่มีคุณค่าต่องานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณนางสาวธัญวรรณ ทองสอดแสง เจ้าหน้าที่ภูมิสารสนเทศ สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ การสนับสนุนและความเชี่ยวชาญของทุกท่านมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

จ

kAm YSS>8B BA9>S y qusxq vwuB BAJdxu x ysq syu surq y> g ywW Ys yr y xu YSS cy x Q u u bu > Sq r ytvwu e yu y u > x J?t y> v?A >A AG?I GHA I AEGHI F

kBm y q <Q><6 cy vx s < >8B AF9> w=u u t q t qyqryy v q q t u u u usyyqy y dxqyq t> *Atmospheric Research*< AFI < >C A CAG> x J?t y> v?A >A AF?zeq u >B AE>A > AE

kCm กรมอุตุนิยมวิทยา (2024) . กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา.

kDm Tu q u v g qu bu su 8B BA9> *Thailand water resources management strategic plan 2017-2036*>] y y v q q bu su q t U y u <dxqyq t>

kEm] qysxq tuu<c>< q w< ><q t] u xq u < >8B BC9 7Y qs vs y qu sxq vwu q t uvwy q qyqy v u qy vq q u y dxqyq t r t sqyw u x t7<*ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*<BC8A9< >A= AE>https://doi.org/10.55164/ajstr.v27i1.250817

kFm [q q q <c><dxq < >slR><Wkuu qq<c> >< y uu<c> q t u q <[>82021). U q q y vS] Y6 W5] v y q y v u uq u u dxqyq t q t uqr quq y xu uq 21 su >*Heliyon*< 7(11)<u08263. x J?t y> v?10.1016/z>xu y >2021.u08263

kGm du sxruy<S>q t cuyu <Z>82012). Ryq s us y v uvwy q s y qu tu y q y v x t vwysq s y qu= sxq vwu y qs tyu J bu yu q t u q q y v t yxuu u x t > *Journal of Hydrology*< 456–457< >12–29. x J?t y> v?10.1016/z>x t >2012.05.052

kHm Sq <Q>Z>< c ryu< c>b> q t] t s <d>a>82015). Ryq s us y vW5] usyyqy r q yu q yw u t u x t u u u sxq vwu y q yu q t u u u O *Journal of Climate*< 28(17)< >6938–6959. x J?t y> v?A >AAGE?Z5 ¥T=AD= GED>A

kIm] q q <T>82016). *Bias correcting climate change simulations - a critical review*> *Current Climate Change Reports*, 2(4)< >211–220. x J?t y> v?A >A G? D FDA= AF= E =

kAm qv <d><Tqt <c><R <W><q t t x u<S>8B AC9>Ryq s us y v tqy usyyqy y qut r q uvwy q s y qu tu J q s qy v u x t > *International Journal of Climatology*< CC8F9< >ACFG ACHA> x J?t y> v?A >A B?z s>EAH

kAAmdxu u <] >Z><W r yu <Q>q t u usx <Q>82011). U ys q= q y ys q t sqyw q t u s us y v uvwy q s y qu tu q t y y qs xu s y qu sxq vwu yw q> *Climate Change*< 112(2)< >449-468. x J?t y> v?A >A G? A EHD= AA= BBD=D

kABmdu sxruy<S>q t cuyu <Z>82013). Y ryq s us y v uvwy q s y qu tu 8oS] 9 y q y y yu v = q y q s tyy O *Hydrology and Earth System Sciences*< 17(12)< >5061–5077. x J?t y> v?A >EA D?xu =AG=E FA= B AC

kACm q y <U>< r u<d>] >< <S>[>q t Sxq y <Q>Z>82013). Sq y q y q t r yq s us y vs y qu zus y v s tu y w Q y t uq y ut sq u t u U u>*Agricultural and Forest Meteorology*< 170< >19–31. x J?t y> v?A >A AF?zeq wv u >B AB>D> G

kADm] yq <a><i q w<T><i q w< >q t y<j >82016). U q r y x y wq q y vq x u x t v vq x v t q y w y Sxy q q y q uq r q ut q t y y ut x t vwsq tu > *Journal of Hydrology*< 541< >371–386. x J?t y> v?A >A AF?zeq x t >B AF>B>F

kAEmbqps¨q <Z><[q y<c>q t cs x <S>82016). T u q yu q y w v y q ut usyyqy s us v ryq u y q yy r q r yyyu q t u u w x O *Journal of Climate*< 29(5)< >1605–1615. x J?t y> v?10.1175/Z5 ¥T=15-0162.1

kAFm] q q < T> 82013). Ryq s us y < q yu q y w<q t t sqyw u yyy w xu y vq y y u>*Journal of Climate*< 26< >2137–2143. x J?t y> v?10.1175/Z5 ¥T=12-00821.1

kAGmW zqx< > q t uyu q < W> 82013). S q y w usyyqy ryq s us y u x t v x y w x=u y uvwy q s y qu y q y y w S c] =5] J Uwus u u u q u q t s y qu sxq vwu yw q>*Theoretical and Applied Climatology*< 114(3–4)< >511–529. x J?t y> v?10.1007/ 00704-013-0834-¨

kAHm] u u <Z><[x <Y><c qx <[>< q q q<[>< cuyu <Z>q t Sq < QZ> 8B A 9> Uwus v yq yq u q t yq yq u ryq s us y x t vwysq y qs zus y y q yu sq sx u >*Hydrology and Earth System Sciences*< BC8C9< >ACCI ACED>x J?t y> v?10.5194/xu =23-1339-2019

kAImf qs<] >q t V yutu y x < >82015).] y q yq u - Y u q yqr u< c q yq <q t du q -Ryq S us y >*Journal of Climate*< 28(1)< >218–237. x J?t y> v?10.1175/Z5 ¥T=14-00059.1

kBm[y< b> q t cut u < Z> 82013). b r u q t su q y yu y xu u S] Y5 s y qu tu zus y >

Nature Climate Change< 3(4)< >369–373. x J?t y> w10.1038/ s y q u1716

kBAm y <c><bqwxq q <c≠>< q<R>Z>q t w u < >ε>82023). Ryq u q q y y qyvq u c xuq Q yq y S] Y6 tu > *Journal of Hydrology*< 621< 129593. x J?t y> w10.1016/zzx t >2023.129593

kBBmc xq q yt < c>< qv w<Z>q t Q y q w<d>8B BA9> zus ut sxq wu y u u q u q t usy yq y u qy q t c xuq Q yq r S] YF tu >*Journal of Water and Climate Change*< k yum AC8A9< >ECG CEE> x J?t y> w10.2166/ ss>2021.031

kBGm[y < R>< [< >= > q t q < T> 82019). usy yq y u u r u s v y w q q qyq y tu yut v q uwy q s y q u tu y wq u ryq s us y sxu u. *Hydrology and Earth System Sciences*< 20< >2019–2034. x J?t y> w10.5194/xu =20-2019-2016

kBDmW t t < >< R u u < Z>R>< q wu < Z‰J> q t U wu = c q wu < d> 82012). dusx ysq uJ T sq y w bS] usy yq y xu q y squ y w q y ysq q v q y q s q y v u x t >*Hydrology and Earth System Sciences*< 16(9)< >3383