



การปรับแก้ความเอนเอียงของปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) รายเดือนแบบกริด ในภาคเหนือของไทยด้วยวิธี Quantile Mapping

Quantile Mapping for Bias Adjustment of Gridded Monthly Reference Crop Evapotranspiration (ET_o) in Northern Thailand

นพนภา บุญพิน^{1,2} เกศวรา สิทธิโชค² ธัญธร ออกวะลา² และ ชูพันธ์ ชมภูจันทร์²

Nopnapa Boonpin^{1,2}, Ketvara Sittichok², Thundorn Okwala² and Chuphan Chompuchan²

¹ ศูนย์ปฏิบัติการฝนหลวงภาคเหนือ จังหวัดตาก ประเทศไทย

² ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประเทศไทย

¹ Northern Royal Rainmaking Operation Center, Tak, Thailand

² Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Thailand

Received : 3 April 2024, Received in revised form : 4 July 2024, Accepted : 14 July 2024

Available online : 25 July 2024

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์และที่มา : ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) เป็นข้อมูลสำคัญในการบริหารจัดการน้ำโดยเฉพาะการประเมินความต้องการน้ำชลประทานและการวางแผนจัดสรรน้ำ แต่สถานีตรวจวัด ET_o ในประเทศไทยมีจำนวนจำกัด ชุดข้อมูล ET_o แบบกริดความละเอียดสูง เช่น CHELSA และ TerraClimate จึงเป็นทางเลือกในการใช้งาน อย่างไรก็ตามชุดข้อมูลดังกล่าวอาจมีความเอนเอียง งานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูล ET_o แบบกริดในพื้นที่ภาคเหนือของไทยด้วยวิธี Quantile Mapping

วิธีดำเนินการวิจัย : ทดสอบการแจกแจงความถี่ของข้อมูล ET_o จากนั้นใช้ข้อมูล ET_o รายเดือน จากสถานีอุตุนิยมวิทยา 7 แห่งในภาคเหนือของไทยเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับปรับแก้ความเอนเอียงของชุดข้อมูล ET_o แบบกริด CHELSA และ TerraClimate ด้วยวิธี Quantile Mapping ประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลก่อนและหลังการปรับแก้โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความเอนเอียง (PBIAS) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)

ผลการวิจัย : ผลการวิจัยพบว่าค่า ET_o ของข้อมูลทั้งหมดมีการแจกแจงแบบ Gumbel distribution ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากสถานีและข้อมูลแบบกริดแสดงให้เห็นว่ามีความเที่ยงของข้อมูลระดับสูงมาก (r > 0.8) ก่อนปรับแก้พบว่าทั้ง CHELSA และ TerraClimate ประเมินค่า ET_o สูงกว่าความเป็นจริง จากการปรับแก้ความเอนเอียงสามารถลดค่า PBIAS ให้อยู่ในช่วงน้อยกว่า ±10% แสดงให้เห็นว่ามีความแม่นยำระดับดีมาก

สรุปผลการวิจัย : ผลการศึกษาสรุปได้ว่าวิธี Quantile Mapping สามารถปรับแก้ความเอนเอียงของชุดข้อมูล ET_o แบบกริดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือในการใช้งานด้านต่าง ๆ เช่น การวางแผนชลประทาน การติดตามสถานการณ์ภัยแล้งและการศึกษาที่เกี่ยวข้องต่อไป

คำสำคัญ : การปรับแก้ความเอนเอียง ; ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ; วิธี Quantile Mapping ; CHELSA ; TerraClimate



Abstract

Background and Objectives : Reference crop evapotranspiration (ET_o) is essential for water management, especially for determining irrigation requirements and planning water allocation. Due to the limited number of ET_o monitoring stations in Thailand, high-resolution gridded ET_o datasets, such as CHELSA and TerraClimate, serve as alternative data sources. However, these datasets may contain biases. This research aims to correct the bias in gridded ET_o data in northern Thailand using the Quantile Mapping method.

Methodology : The probability distribution of the ET_o data was tested. Monthly ET_o data from seven meteorological stations in northern Thailand were used as reference data for the bias correction of the CHELSA and TerraClimate gridded ET_o datasets via the Quantile Mapping method. The reliability of the gridded ET_o datasets before and after correction was evaluated using percent bias (PBIAS) and correlation coefficient (*r*).

Main Results : Results showed that all ET_o data followed a Gumbel distribution. The strong positive correlation between station and gridded data ($r > 0.8$) indicated high precision. Before correction, both CHELSA and TerraClimate overestimated ET_o compared to observations. Bias correction successfully reduced the PBIAS to within $\pm 10\%$, indicating good accuracy.

Conclusions : The study concluded that Quantile Mapping effectively corrects bias in gridded ET_o data, enhancing their reliability for applications such as irrigation planning, drought monitoring, and related studies.

Keywords : bias adjustment ; reference crop evapotranspiration ; Quantile Mapping ; CHELSA ; TerraClimate

*Corresponding author. E-mail : fengcpcc@ku.ac.th

บทนำ

ปริมาณการใช้น้ำพืชเป็นข้อมูลที่สำคัญในงานด้านชลประทานทั้งด้านการออกแบบระบบชลประทาน การวางแผน และจัดส่งน้ำ การกำหนดการให้น้ำพืชตลอดจนการประเมินประสิทธิภาพการชลประทาน (Davis & Dukes, 2010 ; Salgado & Mateos, 2021 ; Santos *et al.*, 2010 ; Wu *et al.*, 2014) ปริมาณการใช้น้ำพืชในงานด้านการเกษตรและชลประทานจะหมายถึงปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ในการเจริญเติบโตซึ่งสามารถคำนวณหรือตรวจวัดจากการคายระเหย (Evapotranspiration) ปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการน้ำพืชคือช่วงอายุของพืชและสภาพอากาศในพื้นที่เพาะปลูกในขณะนั้น (Waller & Yitayew, 2016) องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ได้เสนอแนวทางการประเมินความต้องการน้ำพืชโดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การใช้น้ำพืช (Crop Coefficient, K_c) และปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference Crop Evapotranspiration, ET_o) โดยปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงจะเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ส่วนสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชจะเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุการเจริญเติบโตของพืช (Pereira *et al.*, 2015) ทั้งนี้ วิธี Penman–Monteith

(Allen *et al.*, 1998) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการคำนวณ ETo โดยทั่วไป อย่างไรก็ตาม สมการนี้ต้องการข้อมูลพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยาจำนวนมาก ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ พลังงานการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และความเร็วลม ซึ่งสถานีอุตุนิยมวิทยาหลายแห่งในประเทศไทยไม่สามารถตรวจวัดพารามิเตอร์ดังกล่าวได้ครบถ้วน ทำให้วิธี Penman-Monteith ไม่สะดวกในการใช้งานจริง ดังนั้น วิธีอื่นที่ใช้ข้อมูลน้อยกว่า อาทิ วิธี Priestley-Taylor วิธี Jensen-Haise วิธี Hargreaves-Samani วิธี Thornthwaite วิธีตรวจวัดจากดาวเทียมการระเหย (E-Pan) จึงเป็นวิธีทางเลือกในการคำนวณค่า ETo ภายใต้ข้อจำกัดของข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (Tameepattanapongsa & Thepprasit, 2015) ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้อาจมีความคลาดเคลื่อนในการประเมินค่า ETo อาจส่งผลกระทบต่อการจัดการน้ำชลประทานที่ถูกต้อง รวมทั้งส่งผลกระทบต่อการประหยัดน้ำและผลผลิตพืชได้ (Cruz-Blanco *et al.*, 2014)

จากข้อจำกัดของข้อมูลตรวจวัดของสถานีอุตุนิยมวิทยาทำให้ในหลายประเทศใช้งานข้อมูลภูมิอากาศแบบกริดเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีรายละเอียดที่จำเป็นสำหรับการประมาณค่า ETo รวมทั้งสามารถทดแทนค่า ETo ในพื้นที่ที่ข้อมูลไม่เพียงพอหรือไม่มีสถานีตรวจวัด (Blankenau *et al.*, 2020) ตัวอย่างข้อมูล ETo แบบกริดที่ถูกพัฒนาขึ้นมาและเผยแพร่ฟรี อาทิ ERA5 (ECMWF Reanalysis v5), GLDAS (Global Land Surface Assimilation System), GLEAM (Global Land Evaporation Amsterdam Model) (Xu *et al.*, 2024) อย่างไรก็ตามข้อมูลเหล่านี้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 0.25° (ขนาดความกว้างจุดภาพประมาณ 27 กม.) ซึ่งค่อนข้างหยาบและมีข้อจำกัดในการใช้งานในพื้นที่ที่มีการใช้ที่ดินหลากหลายหรือในภูมิภาคที่มีความซับซ้อน ปัจจุบันมีข้อมูล ETo แบบกริดความละเอียดสูงซึ่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ภูมิอากาศในระดับภูมิภาคและท้องถิ่น เช่น TerraClimate ความละเอียดเชิงพื้นที่ 1/24° (ขนาดความกว้างจุดภาพประมาณ 4 กม.) (Abatzoglou *et al.*, 2018) CHELSA ความละเอียดเชิงพื้นที่ 30 arc sec (ขนาดความกว้างจุดภาพประมาณ 1 กม.) (Karger *et al.*, 2017) เป็นต้น

ปัญหาของการใช้งานข้อมูลภูมิอากาศแบบกริดในระดับท้องถิ่นคือข้อมูลอาจมีความคลาดเคลื่อนอย่างเป็นระบบ (Systematic Error) หรือความเอนเอียง (Bias) ผ่องแผ้ว ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของข้อมูล (Moorhead *et al.*, 2015 ; Wu *et al.*, 2020) โดยเฉพาะในพื้นที่ภูเขาที่มีสถานีตรวจอากาศจำนวนน้อยและกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น จึงควรตรวจสอบข้อมูลก่อนนำไปใช้งาน (De Keyser *et al.*, 2023) ซึ่งหากข้อมูลมีความเอนเอียงสามารถปรับแก้ความเอนเอียงได้หลายวิธี ซึ่งวิธี Quantile Mapping เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลภูมิอากาศ (Bennett *et al.*, 2013 ; Switanek *et al.*, 2017) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูล ETo รายเดือนแบบกริดความละเอียดสูง ได้แก่ TerraClimate และ CHELSA โดยใช้วิธี Quantile Mapping โดยเลือกพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยเป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากเป็นพื้นที่ภูเขาสลับซับซ้อนและมีพื้นที่เกษตรกรรมกระจายอยู่บนที่ราบระหว่างภูเขาตลอดทั้งภูมิภาค ในขณะที่ข้อมูลสภาพอากาศที่ตรวจวัดได้จากสถานีมีค่อนข้างจำกัด (Ueangsawat *et al.*, 2016) ผลจากงานวิจัยนี้คาดว่าจะได้ข้อมูล ETo แบบกริดที่มีความน่าเชื่อถือซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงความต้องการน้ำชลประทาน การติดตามสถานการณ์ภัยแล้งทางการเกษตรบริเวณภาคเหนือของไทยต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

ภาคเหนือของประเทศไทยตามการแบ่งภาคของประเทศไทยในทางอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย 15 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง พะเยา น่าน แพร่ อุดรดิตต์ สุโขทัย ตาก กำแพงเพชร พิษณุโลก พิจิตร และ เพชรบูรณ์ (Figure 1) ลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นป่าไม้และทิวเขาสูงสลับกับที่ราบระหว่างหุบเขา อุณหภูมิรายปีอยู่ระหว่าง 20 – 34 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนรายปีอยู่ระหว่าง 600 – 1,000 มิลลิเมตร โดยมีฝนตกชุกในช่วงฤดูฝน คือตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม (Trisurat *et al.*, 2010)

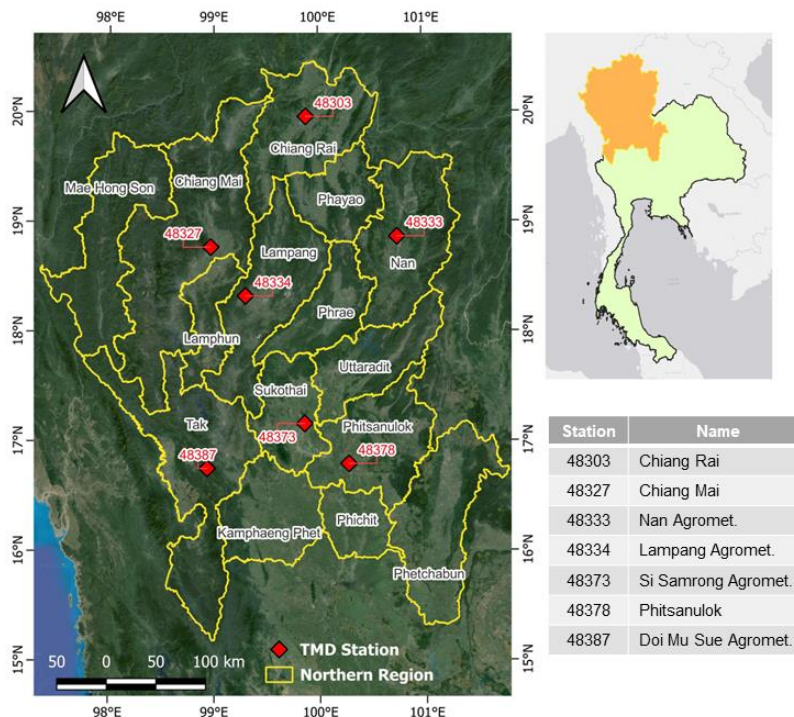


Figure 1 Northern region of Thailand

2. ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o)

2.1 ข้อมูลสภาพอากาศรายเดือนจากสถานีอุตุนิยมวิทยา : ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ชั่วโมงแสงแดด และความเร็วลม รวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยา 7 สถานี ได้แก่ สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงราย สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเชียงใหม่ สถานีตรวจอากาศเกษตรจังหวัดลำปาง สถานีตรวจอากาศเกษตรดอยมูเซอจังหวัดตาก สถานีตรวจอากาศเกษตรจังหวัดน่าน สถานีตรวจอากาศเกษตรศรีสำโรงจังหวัดสุโขทัย และสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดพิษณุโลก นำมาคำนวณ ET_o โดยวิธี Penman Monteith ดังแสดงในสมการที่ 1 ข้อมูล ET_o รายเดือนที่คำนวณแล้วจะถูกแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2549 – 2558 (ค.ศ. 2006 – 2015) ใช้เพื่อปรับเทียบ (Calibration) หาพารามิเตอร์สำหรับปรับแก้ความ



เอนเอียงของข้อมูล ETo แบบกริด ส่วนที่สองคือข้อมูลช่วงปี พ.ศ.2559 - 2561 (ค.ศ. 2016 – 2018) ใช้เพื่อการตรวจสอบความสมเหตุสมผล (Validation) ของการปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูล (Table 1)

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

- โดย ET_o = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง [$mm \text{ day}^{-1}$]
 R_n = พลังงานการแผ่รังสีดวงอาทิตย์สุทธิที่พื้นผิว [$MJ \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$]
 G = พลังงานความร้อนที่ถ่ายลงดิน [$MJ \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$]
 T = อุณหภูมิอากาศ [$^{\circ}C$]
 u_2 = ความเร็วลมที่ระดับความสูง 2 เมตร จากผิวดิน [$m \text{ s}^{-1}$]
 $e_s - e_a$ = ค่า Vapor Pressure Deficit (VPD) ของความดันไอน้ำ [kPa]
 Δ = ความชันของโค้งความดันไอน้ำอิ่มตัว [$kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$]
 γ = ค่า Psychrometric Constant [$kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$]

Table 1 Monthly climate data from Thai Meteorology Department (TMD) stations

Code	Station Name	Elevation (M.S.L)	Available Data	Calibration Data	Validation Data
48303	Chiang Rai	312	2000 - 2018	2006 - 2015	2016 - 2018
48327	Chiang Mai	390	2000 - 2018	2006 - 2015	2016 - 2018
48333	Nan Agromet.	264	2006 - 2018	2006 - 2015	2016 - 2018
48334	Lampang Agromet.	315	2006 - 2018	2006 - 2015	2016 - 2018
48373	Si Samrong Agromet.	54	2006 - 2018	2006 - 2015	2016 - 2018
48378	Phitsanulok	44	2000 - 2018	2006 - 2015	2016 - 2018
48387	Doi Mu Sue Agromet.	863	2000 - 2018	2006 - 2015	2016 - 2018

2.2 ชุดข้อมูล ETo รายเดือนแบบกริดความละเอียดสูง

ชุดข้อมูล CHELSA (Climatologies at High-resolution for the Earth's Land Surface Areas) พัฒนาโดยสถาบันวิจัยป่าไม้ หิมะ และภูมิทัศน์สวิส (WSL) เป็นชุดข้อมูลสภาพอากาศรายเดือน ขนาดกริดประมาณ 1 กม. X 1 กม. ซึ่งได้จากการลดขนาด (Downscaling) ชุดข้อมูลสภาพอากาศ ERA5 (ECMWF Reanalysis v5) ผ่านกระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจากภูมิประเทศ (Orographic Correction) ด้วยข้อมูลระดับความสูง GMTED2010 (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010) และปรับแก้ความเอนเอียง (Bias Correction) ด้วยชุดข้อมูลสถานี GHCN (Global Historical

Climatology Network) (Karger *et al.*, 2017) ปัจจุบันชุดข้อมูล CHELSA มีการปรับปรุงเป็น Version 2.1 สามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จาก URL <https://chelsa-climate.org/downloads/>

ชุดข้อมูล TerraClimate พัฒนาโดย Climatology Lab, University of California, Merced เป็นชุดข้อมูลสภาพอากาศรายเดือน ขนาดกริดประมาณ 4 กม. X 4 กม. ได้จากการผสมผสานชุดข้อมูลสภาพอากาศ CRU Ts4.0 (Climate Research Unit time series data version 4.0) และชุดข้อมูล JRA-55 (Japanese 55-year Reanalysis) ร่วมกับชุดข้อมูลภูมิอากาศความละเอียดสูง WorldClim โดยมีการตรวจสอบความสมเหตุสมผล (Validation) ของข้อมูล TerraClimate ด้วยชุดข้อมูลสถานี GHCN, SNOTEL, RAWS และ FLUXNET (Abatzoglou *et al.*, 2018) ปัจจุบันข้อมูล TerraClimate ให้บริการทั้งการดาวน์โหลดโดยตรงได้จาก URL https://climate.northwestknowledge.net/TERRACLIMATE/index_directDownloads.php รวมทั้งให้บริการผ่าน THREDDS Data Server (TDS) และ Google Earth Engine

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การประเมินความน่าเชื่อถือของชุดข้อมูล ETo แบบกริด: นำข้อมูล ETo แบบกริดจากชุดข้อมูล CHELSA และ TerraClimate เฉพาะกริดที่มีพิกัดตรงกับสถานีอุตุนิยมวิทยา มาเปรียบเทียบกับข้อมูล ETo ของสถานี โดยถือว่าข้อมูล ETo ของสถานีเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง วิเคราะห์ความเที่ยง (Precision) และความแม่นยำ (Accuracy) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และค่าเปอร์เซ็นต์ความเอนเอียง (PBIAS) ดังสมการที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยจะประเมินเปรียบเทียบผลทั้งก่อนและหลังการปรับแก้ความเอนเอียง

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})(G_i - \bar{G})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2][\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2]}} \quad (2)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - S_i)}{\sum_{i=1}^n S_i} \times 100\% \quad (3)$$

โดย	S_i	= ค่า ETo จากสถานี (Station) ของกรมอุตุนิยมวิทยา
	\bar{S}	= ค่าเฉลี่ย ETo จากสถานี (Station) ของกรมอุตุนิยมวิทยา
	G_i	= ค่า ETo แบบกริด (Grid) จากชุดข้อมูล CHELSA / TerraClimate
	\bar{G}	= ค่าเฉลี่ย ETo แบบกริด (Grid) จากชุดข้อมูล CHELSA / TerraClimate

ค่า r เป็นค่าที่บอกระดับความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ETo จากสถานีและข้อมูล ETo แบบกริด โดยค่า r ที่มีค่าเป็น 1 จะหมายถึง ETo จากสถานีและข้อมูลแบบกริดมีความสัมพันธ์โดยตรง ถ้า r มีค่าเป็น 0 หมายความว่า ข้อมูล ETo จากทั้งสองกลุ่มไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ส่วนค่า PBIAS เป็นดัชนีประเมินความแตกต่างระหว่าง ETo จากข้อมูลแบบกริดและสถานี จากสมการที่ 3 เมื่อกำหนดให้ข้อมูล ETo จากสถานีถือว่าเป็นข้อมูลจริงที่ตรวจวัดได้ ดังนั้น PBIAS ที่มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าข้อมูล

แบบกริดมีความน่าเชื่อถือ (ไม่มีความเอนเอียง) ส่วน PBIAS ที่มีค่าเป็นบวก จะหมายถึงข้อมูลแบบกริดประเมิน ETo ได้สูงกว่าความเป็นจริง (Overestimate) และ PBIAS ที่มีค่าเป็นลบจะหมายถึงข้อมูลแบบกริดประเมิน ETo ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง (Underestimate) สำหรับการแปลความหมายของค่า r และ PBIAS เป็นระดับต่าง ๆ ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Performance rating as a function of r and PBIAS (de Oliveira-Júnior *et al.*, 2021)

Correlation Coefficient (r)	Rating	PBIAS	Rating
0.0 - 0.1	Very Low		
0.1 - 0.3	Low	$PBIAS \leq \pm 10\%$	Very Good
0.3 - 0.5	Moderate	$\pm 10\% < PBIAS \leq \pm 15\%$	Good
0.5 - 0.7	High	$\pm 15\% < PBIAS \leq \pm 25\%$	Satisfactory
0.7 - 0.9	Very High	$PBIAS \leq \pm 25\%$	Unsatisfactory
0.9 - 1.0	Almost Perfect		

เนื่องจากข้อมูลกริด ETo ของ CHELSA และ TerraClimate มีขนาดกริดไม่เท่ากัน (Figure 2) ดังนั้นเพื่อลดความเอนเอียงของข้อมูลที่เกิดจากความแตกต่างของขนาดกริด จึงใช้การสร้างพื้นที่ Buffer ขนาดรัศมี 10 กิโลเมตรจากตำแหน่งพิกัดสถานีอุตุนิยมวิทยาโดยใช้โปรแกรม QGIS เพื่อกำหนดขอบเขตสำหรับคำนวณข้อมูลกริด ETo เฉลี่ยในพื้นที่ Buffer ด้วยคำสั่ง Zonal Statistics และนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดของสถานี

3.2 การปรับแก้ความเอนเอียงของชุดข้อมูล ETo แบบกริดด้วยวิธี *Quantile Mapping*: โดยการทดสอบสมมติฐานว่าข้อมูล ETo จากสถานีและข้อมูล ETo แบบกริดมีฟังก์ชันการแจกแจงความถี่แบบเดียวกัน จากนั้นจึงสร้างกราฟความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF) และประมาณค่าพารามิเตอร์ของ CDF ของทั้งสองชุดข้อมูล เพื่อสร้างฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) จากนั้นจับคู่ CDF ของทั้งสองชุดข้อมูลที่ควอนไทล์เดียวกันและทำการปรับแก้ข้อมูล ETo แบบกริดด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน (Velasquez *et al.*, 2020) (Figure 3)

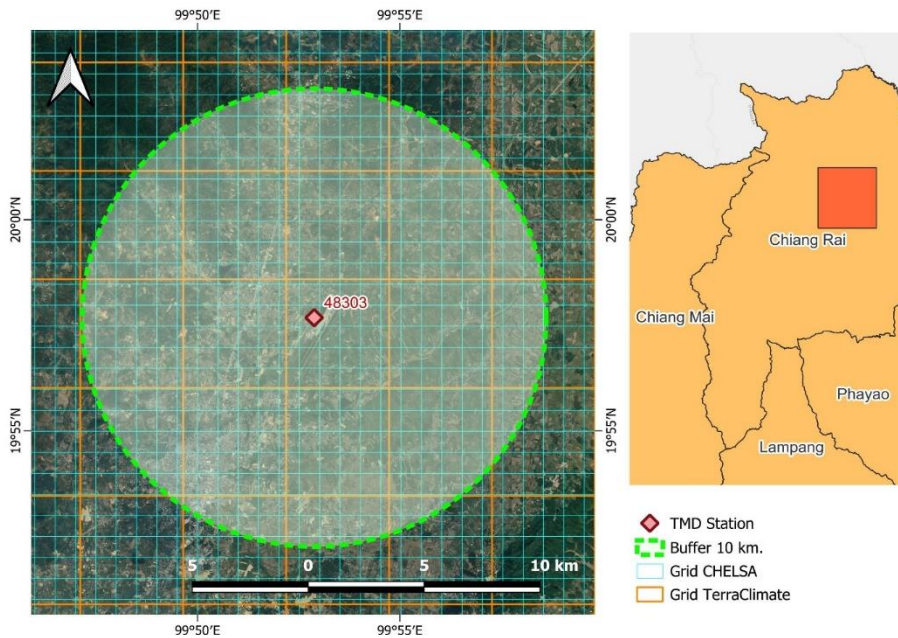


Figure 2 Comparison of TMD station 48303 (Chiang Rai) 10 km. buffer and gridded ETo data.

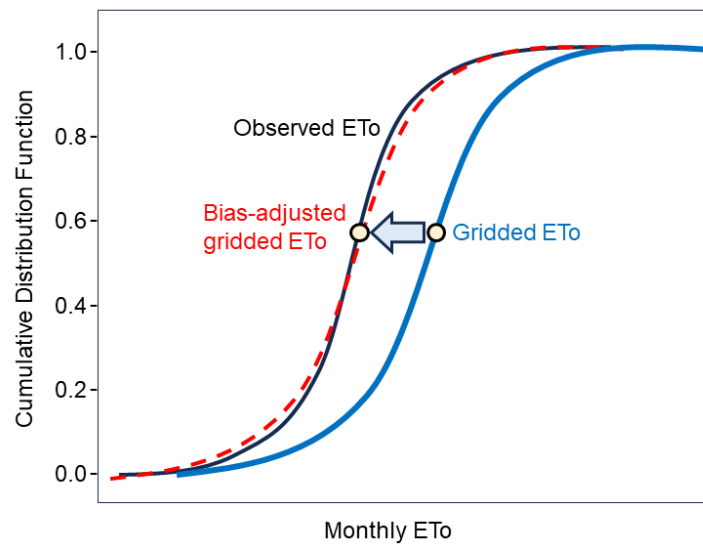


Figure 3 Quantile mapping for bias adjustment of gridded ETo (Modified from Velasquez *et al.* (2020))

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูล ETo ของทุกสถานีและ ETo แบบกริดในพื้นที่ Buffer ที่ตำแหน่งตรงกับสถานีมาสร้างกราฟแจกแจงความถี่แบบ Gumbel (Gumbel Distribution) แยกเป็นรายเดือนและเลือกใช้ One-simple Kolmogorov-Smirnov Test (K-S Test) ซึ่งเป็นเครื่องมือสถิติทดสอบแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ที่นิยมใช้โดยทั่วไปในการศึกษาตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา (Alam *et al.*, 2018) ทำการทดสอบ Goodness-of-Fit ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และหาค่าพารามิเตอร์ Location (μ) และพารามิเตอร์ Scale (β) ของข้อมูล ETo สถานีและ ETo แบบกริด เพื่อนำมาคำนวณฟังก์ชันถ่ายโอน (h) ค่าพารามิเตอร์ μ และ β ดังสมการที่ 4 และ 5 จากนั้นแปลงค่า ETo แบบกริดให้เป็น CDF ดังสมการที่ 6 โดยใช้เครื่องมือ Raster Calculator ในโปรแกรม QGIS แล้วคำนวณ Inverse CDF ข้อมูล ETo แบบกริดโดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน h_μ และ h_β ในการปรับแก้ค่า μ_G และ β_G ดังสมการที่ 7

$$h_\mu = \frac{\mu_S}{\mu_G} \quad (4)$$

$$h_\beta = \frac{\beta_S}{\beta_G} \quad (5)$$

$$F_G = e^{-e^{-(x_G - \mu_G)/\beta_G}} \quad (6)$$

$$x'_G = F_G^{-1} = h_\mu \mu_G - h_\beta \beta_G \ln(-\ln(F_G)) \quad (7)$$

โดย F_G และ F_G^{-1} = CDF และ Inverse CDF ของ ETo จากข้อมูลแบบกริด
 x_G และ x'_G = ค่า ETo จากข้อมูลแบบกริด และ ETo ข้อมูลแบบกริดที่ปรับแก้ความเอนเอียงแล้ว
 μ_S และ μ_G = ค่าพารามิเตอร์ Location จากข้อมูล ETo สถานีและข้อมูล ETo แบบกริด
 β_S และ β_G = ค่าพารามิเตอร์ Scale จากข้อมูล ETo สถานีและข้อมูล ETo แบบกริด
 h_μ และ h_β = ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) พารามิเตอร์ μ และ β

สำหรับค่า μ และ β คำนวณด้วยวิธีโมเมนต์ ซึ่งค่า μ จะมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ย (Mean) ของข้อมูล ETo ส่วนค่า β จะมีค่าประมาณ $(\pi \times \sigma)/\sqrt{6}$ โดย σ คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของข้อมูล ETo

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบ Goodness-of-Fit ด้วย K-S Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงใน Table 3 พบว่า การแจกแจงความถี่แบบ Gumbel เหมาะสมสำหรับข้อมูล ETo ของสถานีอุตุนิยมวิทยาทั้งหมด และข้อมูล ETo แบบกริดเกือบทั้งหมด ยกเว้นช่วง Calibration ข้อมูล CHELSA เดือนมีนาคมและข้อมูล TerraClimate เดือนมีนาคม เมษายนและสิงหาคม ทดสอบ

Goodness-of-Fit ไม่ผ่านที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการแจกแจงความถี่ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละเดือนอาจแตกต่างกันไปตามวิธีการประมาณค่าและสถานี แต่ในขั้นตอนการปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลแบบกริดเป็นการปรับแก้ในภาพรวมทั้งพื้นที่ซึ่งจะพิจารณาจากข้อมูลส่วนใหญ่ (Majority) (Wan Zin *et al.*, 2009) ดังนั้นจึงถือว่าข้อมูล ETo รายเดือนในพื้นที่ภาคเหนือของไทยมีการแจกแจงแบบ Gumbel

ผลการประเมินความน่าเชื่อถือของชุดข้อมูลกริด ETo ก่อนและหลังการปรับแก้ความเอนเอียง ดังแสดงใน Figure 4 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างค่า ETo จากสถานีและจากข้อมูลแบบกริดทั้งในช่วง Calibration และ Validation ทั้งหมดมีค่ามากกว่า 0.8 เมื่อพิจารณาค่า r ในแต่ละสถานีดังแสดงใน Table 4 พบว่าค่า r ทั้งหมดมีค่ามากกว่า 0.8 ทั้งก่อนและหลังการปรับแก้ความเอนเอียงซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความเที่ยงของข้อมูลระดับสูงมาก อย่างไรก็ตามค่า r ก่อนและหลังการปรับแก้ความเอนเอียงมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากในงานวิจัยนี้เน้นที่กระบวนการปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลซึ่งจะทำให้ข้อมูลมีความแม่นยำ (Accuracy) มากขึ้นแต่จะไม่ส่งผลกระทบต่อความเที่ยง (Precision) ของข้อมูลมากนัก

Table 3 Goodness-of-Fit result using K-S Test

Calibration Data (2006-2015)				Validation Data (2016-2018)			
Station	CHELSA	TerraClimate	Station	CHELSA	TerraClimate		
Jan	✓	✓	Jan	✓	✓		
Feb	✓	✓	Feb	✓	✓		
Mar	✓	✗	Mar	✓	✓		
Apr	✓	✓	Apr	✓	✓		
May	✓	✓	May	✓	✓		
Jun	✓	✓	Jun	✓	✓		
Jul	✓	✓	Jul	✓	✓		
Aug	✓	✓	Aug	✓	✓		
Sep	✓	✓	Sep	✓	✓		
Oct	✓	✓	Oct	✓	✓		
Nov	✓	✓	Nov	✓	✓		
Dec	✓	✓	Dec	✓	✓		

สำหรับค่า PBIAS ก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูล ETo แบบกริดทั้งในช่วง Calibration และ Validation มีค่าเป็นบวกทั้งหมด (Figure 4) ซึ่งหมายถึงค่า ETo จากชุดข้อมูลแบบกริดประเมินได้สูงกว่าค่า ETo จากสถานี (Overestimate) ทั้งนี้ เมื่อปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลแล้ว ในขั้นตอนการ Calibration จะเห็นว่าวิธี Quantile Mapping สามารถปรับแก้ PBIAS มีค่าอยู่ที่ 0.00% และในขั้นตอนการ Validation เมื่อใช้พารามิเตอร์ μ และ β และฟังก์ชันถ่ายโอนชุดเดียวกับขั้นตอน



การ Calibration มาทดสอบซ้ำเพื่อตรวจสอบความสมเหตุสมผล พบว่าค่า PBIAS ของชุดข้อมูล CHELSA มีค่า -7.31% และชุดข้อมูล TerraClimate มีค่า -8.74% ซึ่งถือว่า PBIAS อยู่ในช่วง $\pm 10\%$ อยู่ในเกณฑ์ความแม่นยำของข้อมูลระดับดีมาก

ส่วนค่า PBIAS ในแต่ละสถานี (Table 4) พบว่าก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลส่วนมากมีค่า PBIAS เป็นบวก โดยชุดข้อมูล CHELSA มี 3 สถานีที่มีค่า PBIAS สูงเกินกว่า 25% อยู่ในเกณฑ์ความแม่นยำในระดับไม่พอเพียงสำหรับนำไปใช้งานได้ (Unsatisfactory) ส่วนชุดข้อมูล TerraClimate มี 2 สถานีที่มีค่า PBIAS ระหว่าง 15% - 25% อยู่ในเกณฑ์ความแม่นยำในระดับพอเพียงสำหรับนำไปใช้งานได้ (Satisfactory) แต่ยังมีค่าความเอนเอียงแฝงอยู่บ้าง ทั้งนี้ เมื่อปรับแก้ความเอนเอียงแล้วพบว่าค่า PBIAS ในทุกสถานีมีค่าน้อยกว่า 15% อยู่ในเกณฑ์ความแม่นยำของข้อมูลระดับดี แสดงให้เห็นว่าวิธี Quantile Mapping มีประสิทธิภาพในการปรับลดความเอนเอียงของชุดข้อมูล ETo แบบกริดได้

จาก Figure 5 แสดงให้เห็นค่าเฉลี่ยรายเดือนของ ETo จากชุดข้อมูล CHELSA และ TerraClimate สำหรับแต่ละสถานีก่อนและหลังการปรับค่าความเอนเอียง พบว่า โดยภาพรวมส่วนใหญ่ค่า ETo แบบกริดลดลงมาใกล้เคียงกับ ETo ของสถานี และจากตารางแสดงค่า ETo เฉลี่ยรายปีพบว่า ETo ชุดข้อมูล CHELSA ลดลงจาก 1,469.9 – 1,758.6 มิลลิเมตรต่อปี เป็น 1,217.9 – 1,518.4 มิลลิเมตรต่อปี (ลดลง 13.7 – 17.1%) ส่วน ETo ชุดข้อมูล TerraClimate ลดลงจาก 1,385.5 – 1,506.8 มิลลิเมตรต่อปี เป็น 1,255.0 – 1,418.3 มิลลิเมตรต่อปี (ลดลง 5.9 – 9.4%)

Table 4 Reliability evaluation of gridded ETo datasets before and after bias adjustment at each TMD station.

Station Code	CHELSA				TerraClimate			
	Correlation Coefficient (r)		PBIAS		Correlation Coefficient (r)		PBIAS	
	Before Adjustment	After Adjustment	Before Adjustment	After Adjustment	Before Adjustment	After Adjustment	Before Adjustment	After Adjustment
48303	0.92	0.92	19.40%	-0.53%	0.89	0.86	7.00%	-1.53%
48327	0.89	0.90	4.51%	-13.24%	0.90	0.87	-0.29%	-8.43%
48333	0.86	0.92	35.54%	13.60%	0.87	0.88	22.9%0	13.25%
48334	0.86	0.93	26.45%	5.36%	0.87	0.89	20.00%	11.38%
48373	0.91	0.94	32.98%	14.36%	0.91	0.91	11.97%	5.21%
48378	0.92	0.93	9.61%	-6.70%	0.92	0.91	-0.04%	-5.30%
48387	0.93	0.93	20.60%	1.99%	0.93	0.90	12.45%	2.66%

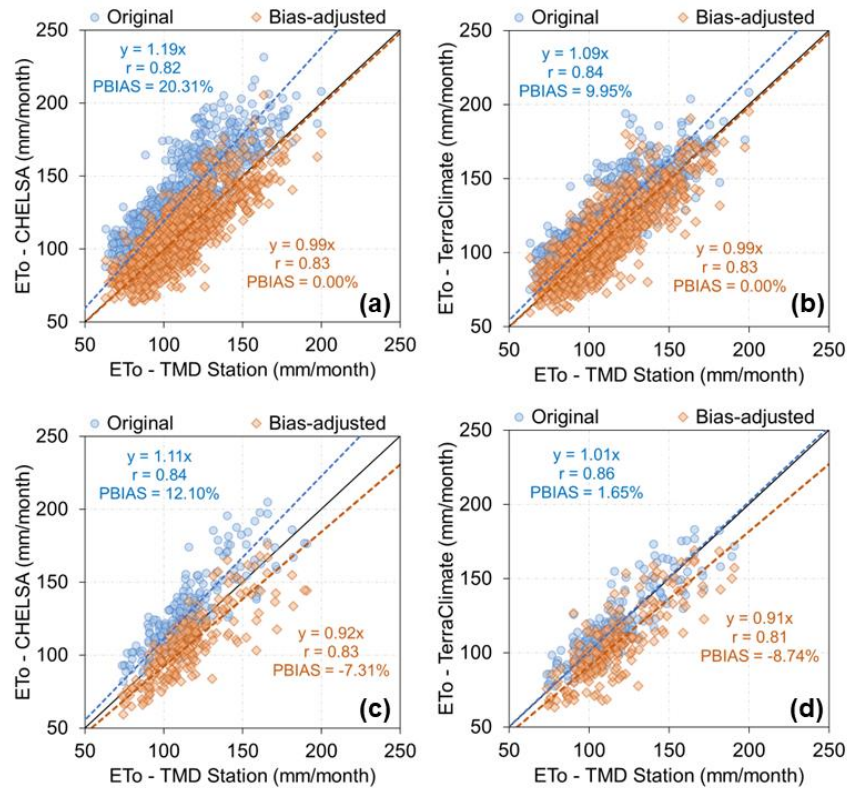


Figure 4 Relationship between gridded ETo datasets and ETo from TMD stations, calibration period of 2000-2015 (a), (b) and validation period of 2016-2018 (c), (d).

จาก Figure 6 แสดงตัวอย่างค่า ETo แบบกริดเชิงพื้นที่ในเดือนเมษายน พ.ศ. 2559 จะเห็นว่าช่วงก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงของชุดข้อมูลของ CHELSA และ TerraClimate ค่า ETo ในพื้นที่ภาคเหนือมีการกระจายอยู่ในช่วงประมาณ 140 – 200 มิลลิเมตร ความแตกต่างของค่า ETo ในเชิงพื้นที่จะแตกต่างกันไปตามปัจจัยต่าง ๆ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ การใช้ที่ดิน ความชื้นในดิน เป็นต้น (A et al., 2019; Mo et al., 2004) หลังจากปรับแก้ความเอนเอียงของชุดข้อมูลทั้งสองชุด พบว่าค่า ETo มีค่าลดลง โดยค่า ETo ของ CHELSA จะมีค่าลดลงมากกว่า TerraClimate อย่างชัดเจน เนื่องจาก ชุดข้อมูลของ CHELSA ก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงมีการประเมินค่า ETo สูงกว่าความเป็นจริงมากกว่า TerraClimate ที่ประเมินค่า ETo ใกล้เคียงกับสถานีตรวจวัด ดังนั้น เมื่อทำการปรับแก้ด้วยฟังก์ชันถ่ายโอนจึงส่งผลให้ค่า ETo ของ CHELSA มีค่าลดลงมากกว่า TerraClimate อย่างเห็นได้ชัด

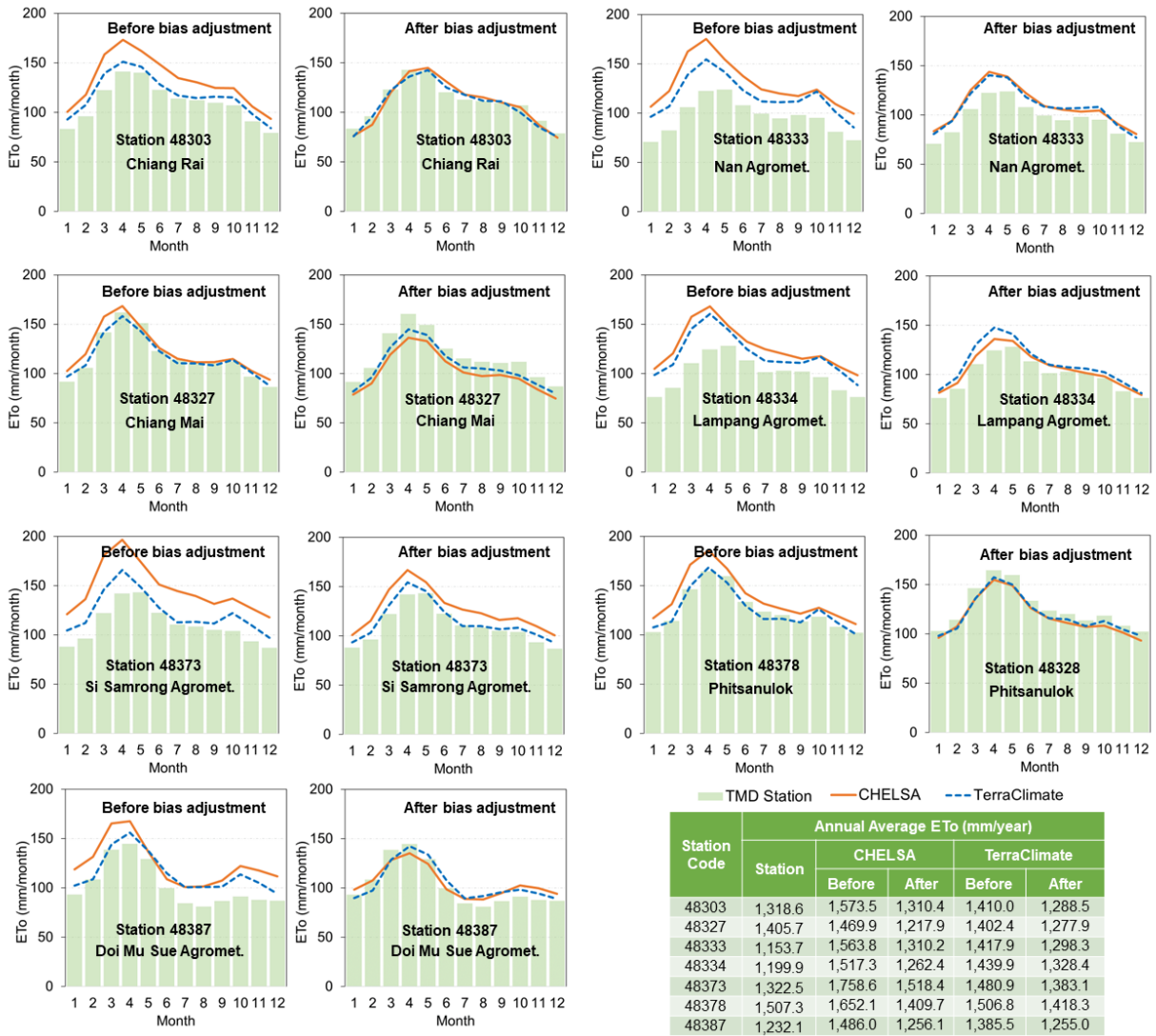


Figure 5 Monthly average ETo from CHELSA and TerraClimate datasets before and after bias adjustment

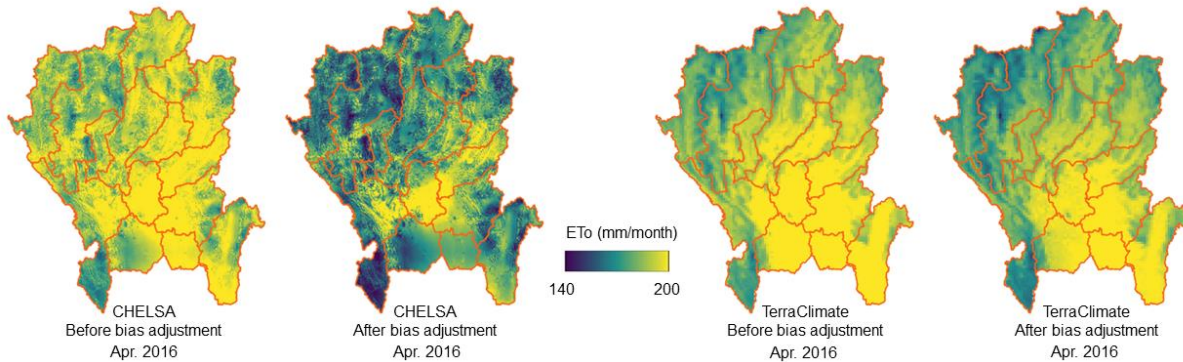


Figure 6 Distribution ET₀ from CHELSA and TerraClimate datasets before and after bias adjustment

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการประเมินค่า PBIAS ของข้อมูล ET₀ แบบกริดก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงทั้งของ CHELSA และ TerraClimate ซึ่งพบว่ามีความสูงเกินกว่าความเป็นจริงทั้งสองชุดข้อมูล เนื่องจากชุดข้อมูล CHELSA ใช้ชุดข้อมูลสภาพอากาศ ERA5 เป็นข้อมูลหลัก จากผลการศึกษาของ Xu *et al.* (2024) พบว่าข้อมูล ERA5 ประเมินค่ารังสีแสงอาทิตย์สุทธิ (Net Radiation) ได้สูงกว่าความเป็นจริง ส่งผลให้การคำนวณ ET₀ มีความสูงเกินกว่าความเป็นจริงด้วย ส่วนชุดข้อมูล TerraClimate ประเมิน ET₀ ได้สูงกว่าสถานีเล็กน้อย (1.65 – 9.95%) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ansari *et al.* (2022) ซึ่งประเมิน ET₀ จาก TerraClimate ในประเทศปากีสถานได้สูงกว่าสถานีเล็กน้อยเช่นกัน (7.6 – 12.6%) ทั้งนี้ข้อสังเกตว่าชุดข้อมูล TerraClimate ก่อนการปรับแก้ความเอนเอียงมีค่า PBIAS อยู่ในช่วงต่ำกว่า $\pm 10\%$ ซึ่งถือได้ว่าชุดข้อมูล TerraClimate อยู่ในเกณฑ์ความแม่นยำของข้อมูลระดับดีมาก อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาของ Ruhoff *et al.* (2022) พบว่า การประเมิน ET₀ จาก TerraClimate มีแนวโน้มสูงเกินกว่าความเป็นจริงโดยเฉพาะในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นซึ่งจะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือน้อยลงเนื่องจากมีความแม่นยำต่ำ ดังนั้นการปรับแก้ความเอนเอียงของชุดข้อมูล TerraClimate จึงยังคงมีความจำเป็น

จากผลการวิจัยนี้ สามารถนำข้อมูล ET₀ แบบกริดที่ปรับแก้ความเอนเอียงแล้ว ไปใช้ในงานด้านต่าง ๆ ได้หลากหลาย โดยเฉพาะงานประเภทที่ต้องการข้อมูล ET₀ แบบกริดที่มีความต่อเนื่องยาวนานของข้อมูล ในด้านการวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำในระดับลุ่มน้ำโดยทั่วไปต้องการทราบค่าเฉลี่ย ET₀ ที่ยาวนาน 20-30 ปีเพื่อวิเคราะห์สมดุลน้ำ การใช้ค่า ET₀ ที่ปรับแก้ความเอนเอียงแล้วจะช่วยให้การคำนวณสมดุลน้ำในลุ่มน้ำมีความคลาดเคลื่อนลดลง ลดความแปรปรวนระหว่างช่วงเวลา รวมทั้งสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาแนวโน้มของ ET₀ ได้ (Li *et al.*, 2014) ในด้านการวางแผนจัดสรรน้ำชลประทานในพื้นที่ชลประทาน ค่า ET₀ ที่ไม่มีการปรับแก้ความเอนเอียงอาจส่งผลให้การคำนวณความต้องการน้ำชลประทานสูงเกินกว่าความเป็นจริง การปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูล ET₀ จึงทำให้การประเมินความต้องการน้ำชลประทานแม่นยำใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการประเมินประสิทธิภาพการชลประทาน (Irrigation Efficiency) และผลิตภาพน้ำ (Water Productivity) อีกด้วย (Masaki *et al.*, 2015) ในด้านการติดตามสถานการณ์ภัยแล้ง ดัชนีภัยแล้งบางดัชนีที่ใช้

ค่า ETo ต่อเนื่องยาวนาน อาทิ SPEI และ EDDI ซึ่งมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่เสี่ยงทำให้เกิดภัยแล้ง การใช้ข้อมูล ETo แบบกริดที่มาจากคนละแหล่งข้อมูลอาจมีความคลาดเคลื่อนอย่างเป็นระบบ (Systematic Error) หรือความเอนเอียง (Bias) ที่แตกต่างกัน หากข้อมูลไม่ได้ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวอาจทำให้การประเมินความเสี่ยงภัยแล้งในเชิงพื้นที่เกิดความผิดพลาด ส่งผลต่อการบริหารจัดการและการวางแผนการทำงานต่อไป (Dewes *et al.*, 2017) นอกจากนี้ การปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูล ETo แบบกริดให้มีความน่าเชื่อถือและแม่นยำ สามารถเป็นแนวทางในการปรับแก้ความเอนเอียงข้อมูลแบบกริดอื่น ๆ อาทิ ฝน อุณหภูมิ ได้อีกด้วย

ในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการทดสอบการแจกแจงความถี่แบบ Gumbel เนื่องจากสามารถใช้รูปสมการ Inverse CDF แบบ Gumbel ในการคำนวณด้วยเครื่องมือ Raster Calculator ในโปรแกรม QGIS ได้สะดวก ทั้งนี้ ข้อมูล ETo สามารถทดสอบรูปแบบการกระจายข้อมูลแบบอื่น อาทิ Gamma, Exponential, GEV, Lognormal (Zhong *et al.*, 2022) รวมทั้งสามารถทดสอบวิธีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนวิธีอื่น นอกเหนือจากวิธี Quantile Mapping เช่น วิธี Linear Scaling วิธี Delta-change วิธี Power Transformation เป็นต้น (Teutschbein & Seibert, 2012)

ข้อมูล ETo แบบกริดของ CHELSA และ TerraClimate มีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกันบางประการ โดยข้อมูล CHELSA มีขนาดกริดประมาณ 1 กม. X 1 กม. ซึ่งมีความละเอียดสูงกว่า TerraClimate ที่มีขนาดกริดประมาณ 4 กม. X 4 กม. ดังนั้นข้อมูล CHELSA จะเหมาะกับการใช้งานในกรณีพื้นที่ที่มีความหลากหลายของการใช้ที่ดินหรือมีความผันแปรของข้อมูล ETo สูง อย่างไรก็ตาม ข้อมูล CHELSA มีข้อมูล ETo รายเดือนแค่ในช่วงปี พ.ศ. 2523 - 2561 (ค.ศ. 1980 - 2018) แต่ CHELSA จะมีข้อมูล ETo ที่ได้ Downscaling จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (General Circulation Models, GCMs) เพื่อประเมินแนวโน้ม ETo รายเดือนเฉลี่ยในอนาคตภายใต้สถานการณ์จำลอง (Scenario) ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอีกด้วย ในขณะที่ข้อมูล TerraClimate มีข้อมูล ETo รายเดือนช่วงปี พ.ศ. 2501 - 2565 (ค.ศ. 1958 - 2023) และจะมีการอัปเดตข้อมูล ETo รายเดือนในทุก ๆ ปี รวมทั้งมีการให้บริการผ่าน THREDDS Data Server (TDS) และ Google Earth Engine ซึ่งจะเหมาะสำหรับการใช้งานประเมินผลและติดตามสถานการณ์ผ่านแพลตฟอร์มบนคลาวด์และเว็บเซอวิส

สรุปผลการวิจัย

ข้อมูล ETo แบบกริดจากชุดข้อมูล CHELSA และ TerraClimate ก่อนการปรับแก้ความเอนเอียง มีค่า ETo สูงกว่าค่าจริงที่ตรวจวัดจากสถานีอุตุนิยมวิทยา โดย CHELSA จะ Overestimate มากกว่า TerraClimate เนื่องจาก CHELSA ใช้ข้อมูลสภาพอากาศ ERA5 เป็นข้อมูลหลัก ซึ่งมีการประเมินค่ารังสีแสงอาทิตย์สุทธิสูงกว่าความเป็นจริง ส่งผลให้ ETo มีค่าสูงตามไปด้วย การปรับแก้ความเอนเอียงด้วยวิธี Quantile Mapping สามารถลดค่า PBIAS ของข้อมูล ETo แบบกริดให้อยู่ในช่วงต่ำกว่า $\pm 10\%$ ซึ่งถือว่ามีความแม่นยำในระดับดีมาก หลังปรับแก้ความเอนเอียง ค่า ETo ของ CHELSA ลดลง 13.7 – 17.1% ในขณะที่ TerraClimate ลดลง 5.9 – 9.4% ข้อมูล ETo แบบกริดที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงแล้วจะมีความน่าเชื่อถือและแม่นยำสูงขึ้นเนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงที่ตรวจวัดจากสถานี



ข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้คือสามารถนำข้อมูล ETo แบบกริดที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงแล้วไปใช้ในงานด้านต่าง ๆ ที่ต้องการข้อมูล ETo แบบกริดที่มีความละเอียดสูงและต่อเนื่องยาวนาน อาทิ การวางแผนจัดการน้ำ การจัดสรรน้ำชลประทาน การติดตามสถานการณ์ภัยแล้ง ซึ่งคาดว่าจะป็นข้อมูลสนับสนุนงานดังกล่าวให้เกิดสัมฤทธิ์ผลที่ดีขึ้น นอกจากนี้ การศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลแบบกริดอื่น ๆ เช่น ฝน อุณหภูมิ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือก่อนนำไปใช้งานต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศ งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

เอกสารอ้างอิง

- A, Y., Wang, G., Liu, T., Xue, B., & Kuczera, G. (2019). Spatial variation of correlations between vertical soil water and evapotranspiration and their controlling factors in a semi-arid region. *Journal of Hydrology*, 574, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.023>
- Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A. , & Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Scientific Data*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>
- Alam, M. A., Emura, K., Farnham, C., & Yuan, J. (2018). Best-fit probability distributions and return periods for maximum monthly rainfall in Bangladesh. *Climate*, 6(1), 9. <http://doi.org/10.3390/cli6010009>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56: Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ansari, R., Usman Liaqat, M., & Grossi, G. (2022). Evaluation of gridded datasets for terrestrial water budget assessment in the Upper Jhelum River Basin-South Asia. *Journal of Hydrology*, 613, 128294. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128294>



- Bennett, J. C., Grose, M. R., Corney, S. P., White, C. J., Holz, G. K., Katzfey, J. J., Post, D. A., & Bindoff, N. L. (2013). Performance of an empirical bias-correction of a high-resolution climate dataset. *International Journal of Climatology*, 34(7), 2189–2204. <https://doi.org/10.1002/joc.3830>
- Blankenau, P. A., Kilic, A., & Allen, R. (2020). An evaluation of gridded weather data sets for the purpose of estimating reference evapotranspiration in the United States. *Agricultural Water Management*, 242, 106376. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106376>
- Cruz-Blanco, M., Lorite, I. J., & Santos, C. (2014). An innovative remote sensing based reference evapotranspiration method to support irrigation water management under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*, 131, 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.09.017>
- Davis, S. L., & Dukes, M. D. (2010). Irrigation scheduling performance by evapotranspiration-based controllers. *Agricultural Water Management*, 98(1), 19–28. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.07.006>
- De Keyser, J., Hayes, D. S., Marti, B., Siegfried, T., Seliger, C., Schwedhelm, H., Anarbekov, O., Gafurov, Z., López Fernández, R. M., Ramos Diez, I., Alapfy, B., Carey, J., Karimov, B., Karimov, E., Wagner, B., & Habersack, H. (2023). Integrating Open-Source Datasets to Analyze the Transboundary Water–Food–Energy–Climate Nexus in Central Asia. *Water*, 15(19). <https://doi.org/10.3390/w15193482>
- de Oliveira-Júnior, J. F., Correia Filho, W. L. F., de Barros Santiago, D., de Gois, G., da Silva Costa, M., da Silva Junior, C. A., Teodoro, P. E., & Freire, F. M. (2021). Rainfall in Brazilian Northeast via in situ data and CHELSA product: mapping, trends, and socio-environmental implications. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(5), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09043-9>
- Dewes, C. F., Rangwala, I., Barsugli, J. J., Hobbins, M. T., & Kumar, S. (2017). Drought risk assessment under climate change is sensitive to methodological choices for the estimation of evaporative demand. *PLoS ONE*, 12(3), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174045>
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhrner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P., & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, 4, 1–20. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>



- Li, X., Wang, L., Chen, D., Yang, K. , & Wang, A. (2014). Seasonal evapotranspiration changes (1983–2006) of four large basins on the tibetan plateau. *Journal of Geophysical Research*, 119(23), 13,079-13,095. <https://doi.org/10.1002/2014JD022380>
- Masaki, Y., Hanasaki, N., Takahashi, K., & Hijioaka, Y. (2015). Propagation of biases in humidity in the estimation of global irrigation water. *Earth System Dynamics*, 6(2), 461–484. <https://doi.org/10.5194/esd-6-461-2015>
- Mo, X., Liu, S., Lin, Z., & Zhao, W. (2004). Simulating temporal and spatial variation of evapotranspiration over the Lushi basin. *Journal of Hydrology*, 285(1–4), 125–142. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.08.013>
- Moorhead, J., Gowda, P., Hobbins, M., Senay, G., Paul, G., Marek, T., & Porter, D. (2015). Accuracy Assessment of NOAA Gridded Daily Reference Evapotranspiration for the Texas High Plains. *Journal of the American Water Resources Association*, 51(5), 1262–1271. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12303>
- Pereira, L. S., Allen, R. G., Smith, M. , & Raes, D. (2015). Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. *Agricultural Water Management*, 147, 4–20. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.031>
- Ruhoff, A., de Andrade, B. C., Laipelt, L., Fleischmann, A. S., Siqueira, V. A., Moreira, A. A., Barbedo, R., Cyganski, G. L., Fernandez, G. M. R., Brêda, J. P. L. F., de Paiva, R. C. D., Meller, A., Teixeira, A. de A., Araújo, A. A., Fuckner, M. A. , & Biggs, T. (2022). Global Evapotranspiration Datasets Assessment Using Water Balance in South America. *Remote Sensing*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/rs14112526>
- Salgado, R. , & Mateos, L. (2021). Evaluation of different methods of estimating ET for the performance assessment of irrigation schemes. *Agricultural Water Management*, 243, 106450. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106450>
- Santos, C., Lorite, I. J., Tasumi, M., Allen, R. G. , & Fereres, E. (2010). Performance assessment of an irrigation scheme using indicators determined with remote sensing techniques. *Irrigation Science*, 28(6), 461–477. <https://doi.org/10.1007/s00271-010-0207-7>



- Switanek, B. M., Troch, A. P., Castro, L. C., Leuprecht, A., Chang, H. I., Mukherjee, R., & Demaria, M. C. E. (2017). Scaled distribution mapping: A bias correction method that preserves raw climate model projected changes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(6), 2649–2666. <https://doi.org/10.5194/hess-21-2649-2017>
- Temeepattanapongsa, S., & Theprasit, C. (2015). Comparison and recalibration of equations for estimating reference crop evapotranspiration in Thailand. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 49(5), 772–784.
- Teutschbein, C., & Seibert, J. (2012). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, 456–457, 12–29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052>
- Trisurat, Y., Alkemade, R. ,& Verburg, P. H. (2010). Projecting land-use change and its consequences for biodiversity in northern thailand. *Environmental Management*, 45(3), 626–639. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9438-x>
- Ueangawat, K., Nilsamranichit, S., & Jintrawet, A. (2016). Comparison of Estimation Methods for Daily Reference Evapotranspiration Under Limited Climate Data in Upper Northern Thailand. *Environment and Natural Resources*, 14(2), 10–23. <https://doi.org/10.14456/enrj.2016.9>
- Velasquez, P., Messmer, M. ,& Raible, C. C. (2020). A new bias-correction method for precipitation over complex terrain suitable for different climate states: A case study using WRF (version 3.8.1). *Geoscientific Model Development*, 13(10), 5007–5027. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-5007-2020>
- Waller, P. , & Yitayew, M. (2016). Crop Evapotranspiration. In P. Waller & M. Yitayew (Eds.), *Irrigation and Drainage Engineering* (pp. 89–104). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05699-9_6
- Wan Zin, W. Z., Jemain, A. A. , & Ibrahim, K. (2009). The best fitting distribution of annual maximum rainfall in Peninsular Malaysia based on methods of L-moment and LQ-moment. *Theoretical and Applied Climatology*, 96(3–4), 337–344. <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0044-2>



- Wu, B., Jiang, L., Yan, N., Perry, C. ,& Zeng, H. (2014). Basin-wide evapotranspiration management: Concept and practical application in Hai Basin, China. *Agricultural Water Management*, 145, 145–153.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.09.021>
- Wu, J., Lakshmi, V., Wang, D., Lin, P., Pan, M., Cai, X., Wood, E. F. , & Zeng, Z. (2020). The reliability of global remote sensing evapotranspiration products over Amazon. *Remote Sensing*, 12(14).
<https://doi.org/10.3390/rs12142211>
- Xu, C., Wang, W., Hu, Y. , & Liu, Y. (2024). Evaluation of ERA5, ERA5-Land, GLDAS-2.1, and GLEAM potential evapotranspiration data over mainland China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 51, 101651.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101651>
- Zhong, L., Chen, B., Wu, C., Yeh, P. J. F., Li, J., Lv, W., Zhao, J. , & Zhou, J. (2022). Identification and risk assessment of flash drought in the Pearl River basin based on the Standardized Evaporative Stress Ratio. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(3–4), 1513–1529. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04228-9>