

การประมาณน้ำท่ารายเดือนโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบ Reanalysis สำหรับพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัดในจังหวัดกาญจนบุรี

Estimating Monthly Runoff Using Reanalysis Precipitation Data for Ungauged

Areas in Kanchanaburi Province, Thailand

อภิรักษ์ พินพิพัฒน์,^{1,2} พลเพชร สมานมิตร,² ณัฐธยาน์ นามอินทร์² และ ชูพันธุ์ ชมภูจันทร^{2*}

Apirak Pinpipat,^{1,2} Polpech Samanmit,² Nuttaya Nam-in² and Chuphan Chompuchan^{2}*

Received 12 March 2025, Revised 25 April 2025, Accepted 19 May 2025

ABSTRACT

Estimating runoff for small-scale water resource development projects requires rainfall data from nearby stations. However, rain gauge stations are often sparse in mountainous areas. To address this issue, reanalysis precipitation data has been introduced for data-scarce regions. This study evaluates the performance of the WorldClim and CHELSA data by comparing them with observations from nine rain gauges in Kanchanaburi Province from 2000 to 2018. Results indicate that both datasets exhibit a strong correlation with gauges data, with CHELSA showing a slightly higher correlation coefficient ($r=0.84$) than WorldClim ($r=0.79$). Regarding accuracy, CHELSA demonstrates very good performance with a slight positive bias ($PBIAS=+4.16\%$), while WorldClim shows satisfactory performance but with a considerably higher positive bias ($PBIAS=+22.64\%$). Runoff estimates for six small-scale water resource projects, calculated using these reanalysis precipitation datasets, differ from those derived from gauge observations, with relative differences ranging from -28.82% to $+100.68\%$ for WorldClim and from -12.64% to $+87.39\%$ for CHELSA. This study highlights the potential of reanalysis precipitation data for hydrological applications in ungauged areas, supporting the planning and design of reservoir capacity and irrigable areas.

Keywords: Reanalysis precipitation data, Ungauged areas, Kanchanaburi province

บทคัดย่อ

การประเมินน้ำท่าสำหรับโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กจำเป็นต้องใช้ข้อมูลฝนจากสถานีใกล้เคียงโครงการ แต่ในพื้นที่ภูเขาที่มีสถานีอยู่ห่างไกล ปัจจุบันมีการนำข้อมูลฝนแบบ reanalysis มาใช้ในพื้นที่ที่มีข้อมูลจำกัด งานวิจัยนี้ได้ประเมินประสิทธิภาพของข้อมูล WorldClim และ CHELSA โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน 9 แห่ง ในจังหวัดกาญจนบุรี ช่วงปี พ.ศ. 2543 - 2561 ผลการวิจัยพบว่า ข้อมูลทั้งสองชุดมี

¹ สำนักงานทรัพยากรน้ำที่ 7 ต.ห้วยไผ่ อ.เมืองราชบุรี จ.ราชบุรี 70000

Office of Water Resources Region 7, Huai Phai, Mueang Ratchaburi, Ratchaburi 70000, Thailand.

² ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ต.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, 73140 Thailand.

* Corresponding author: Tel. 0-8176-52503, E-mail address: fengcpcc@ku.ac.th

ความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงกับข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝน โดย CHELSA มีความสัมพันธ์สูงกว่าเล็กน้อย ($r=0.84$) เมื่อเทียบกับ WorldClim ($r=0.79$) ในด้านความแม่นยำ พบว่า CHELSA มีประสิทธิภาพระดับดีมาก โดยมีความเอนเอียงเชิงบวกเล็กน้อย ($PBIAS=+4.16\%$) ส่วน WorldClim มีประสิทธิภาพระดับพอใช้ แต่มีแนวโน้มประเมินค่าสูงกว่าความเป็นจริงค่อนข้างชัดเจน ($PBIAS=+22.64\%$) เมื่อนำข้อมูล reanalysis มาใช้คำนวณปริมาณน้ำท่าในโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กจำนวน 6 โครงการ พบว่าให้ผลต่างจากการใช้ข้อมูลสถานีวัดน้ำฝน โดย WorldClim มีความแตกต่างระหว่าง -28.82% ถึง $+100.68\%$ ส่วน CHELSA มีความแตกต่างระหว่าง -12.64% ถึง $+87.39\%$ ผลการศึกษานี้แสดงศักยภาพของข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบ reanalysis สำหรับประยุกต์ทางอุทกวิทยาในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีวัดน้ำฝน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนและออกแบบความจุของอ่างเก็บน้ำหรือขนาดพื้นที่ชลประทาน

คำสำคัญ: ข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบ Reanalysis พื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัด จังหวัดกาญจนบุรี

บทนำ

การพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก อาทิ อ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก สระเก็บน้ำ แก้มลิง เป็นภารกิจส่วนหนึ่งของโครงการชลประทานจังหวัด โครงการเหล่านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำแก่ประชาชนในพื้นที่นอกเขตชลประทาน ข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่าผ่านหัวงาน (headworks) ในขั้นตอนการพิจารณาโครงการเบื้องต้น ตามแนวปฏิบัติของกรมชลประทานจะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดที่อยู่ใกล้กับตำแหน่งที่ตั้งของหัวงานและต้องเป็นข้อมูลที่บันทึกต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน อย่างไรก็ตาม บางครั้งข้อมูลปริมาณน้ำฝนอาจจะไม่สมบูรณ์หรือไม่ต่อเนื่องยาวนานเพียงพอต่อการประเมินปริมาณน้ำท่า นอกจากนี้ในพื้นที่ภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสลับซับซ้อน สถานีตรวจวัดอาจตั้งอยู่ไกลจากบริเวณหัวงาน อีกทั้งแนวสันเขายังอาจทำให้เกิดแนวเขตเงาฝนได้ ดังนั้นการเลือกใช้อ้างอิงข้อมูลจากสถานีที่อยู่ใกล้ที่สุดโดยไม่คำนึงถึงลักษณะภูมิประเทศ อาจนำไปสู่การได้รับข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ผิดไปจากความเป็นจริง (Stockham *et al.*, 2018)

ปัจจุบันมีการพัฒนาข้อมูลภูมิอากาศแบบ retrospective analysis (เป็นที่รู้จักโดยทั่วไปในชื่อย่อว่า reanalysis) ซึ่งเป็นข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้นโดยใช้เทคนิคการผสมกลมกลืนข้อมูล (data assimilation) ระหว่างแบบจำลองสภาพอากาศและข้อมูลตรวจวัดจากหลายแหล่ง เช่น สถานีตรวจอากาศภาคพื้นดิน

และภาพถ่ายจากดาวเทียม เพื่อให้ได้ข้อมูลสภาพอากาศในรูปแบบกริด (grid) ที่มีความละเอียดและต่อเนื่องทั้งในเชิงพื้นที่และเวลารอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก (Baatz *et al.*, 2021; Bosilovich *et al.*, 2008) โดยมีงานวิจัยจำนวนมากที่ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบ reanalysis ในพื้นที่ที่มีข้อมูลปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอ ไม่สมบูรณ์ หรือไม่สามารรถเข้าถึงได้ (Garibay *et al.*, 2021) ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์มากมายทั้งในการประเมินปริมาณน้ำท่า (Wanzala *et al.*, 2022) การจำลองความเสี่ยงน้ำท่วม (McClean *et al.*, 2023) การประเมินความรุนแรงของภัยแล้ง (Zhan *et al.*, 2016) นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยจำนวนมากที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีของข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบ reanalysis ทั้งในระดับโลกและในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Sun *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2019; Ceglar *et al.*, 2017) อย่างไรก็ตาม การจะนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบ reanalysis มาใช้งานจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลในพื้นที่บางแห่งโดยเฉพาะในพื้นที่ภูเขา (Wang *et al.*, 2019)

จังหวัดกาญจนบุรีมีภูมิประเทศเป็นทิวเขา สลับกับหุบเขาทางด้านทิศเหนือและตะวันตกและมีที่ราบลุ่มแม่น้ำทางด้านทิศใต้และทิศตะวันออก มีจำนวนสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนค่อนข้างน้อยและกระจายตัวไม่ครอบคลุมทั้งจังหวัด ดังนั้นการใช้อ้างอิงข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบ reanalysis จึงเป็นทางเลือกที่สำคัญสำหรับงานวางแผนโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัด อย่างไรก็ตามข้อมูล

ปริมาณน้ำฝนแบบ reanalysis ส่วนมากจะมีขนาดกริดค่อนข้างใหญ่ เช่น NCEP1/NCEP2 ขนาดกริดประมาณ 323 กม. ERA-Interim ขนาดกริดประมาณ 78 กม. JRA-55 ขนาดกริดประมาณ 63 กม. MERRA ขนาดกริดประมาณ 28 กม. (Wang *et al.*, 2016) อาจไม่เหมาะสมหากนำมาใช้ในงานพัฒนาแหล่งน้ำที่มีพื้นที่รับน้ำฝนขนาดเล็ก ด้วยเหตุนี้ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบ reanalysis ที่ผ่านการลดมาตราส่วน (downscaling) ให้มีขนาดกริดเล็กลง เช่น WorldClim ขนาดกริดประมาณ 4.6 กม. และ CHELSA ขนาดกริดประมาณ 1 กม. (Delle Monache *et al.*, 2024) จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมมากกว่า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลปริมาณน้ำฝน WorldClim และ CHELSA สำหรับใช้ในการประมาณปริมาณน้ำท่ารายเดือนผ่านห้วงงานโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กในจังหวัดกาญจนบุรี ผลจากงานวิจัยนี้คาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กในพื้นที่อื่นๆ รวมทั้งการศึกษาทางอุทกวิทยาในพื้นที่ที่อยู่ห่างไกลหรือไม่มีสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

จังหวัดกาญจนบุรีอยู่ทางภาคตะวันตกของประเทศไทย มีเนื้อที่ประมาณ 19,483.147 ตร.กม. มีภูมิประเทศเป็นทิวเขาสลับกับหุบเขาทางด้านทิศเหนือและตะวันตกและมีที่ราบลุ่มแม่น้ำทางด้านทิศใต้และทิศตะวันออก ปัจจุบันศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคตะวันตก กรมชลประทาน มีสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีที่ยังใช้งานอยู่จำนวน 10 สถานี (Figure 1) โดยทางด้านทิศเหนือและตะวันตกของจังหวัดเป็นพื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าทุ่งใหญ่น้ำเขียวและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้งและเป็นมรดกโลกทำให้มีข้อจำกัดในการติดตั้งสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน

โครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กที่นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ได้เลือกโครงการที่มีผลการศึกษาโครงการเบื้องต้น (reconnaissance study) ในจังหวัดกาญจนบุรีที่มีการก่อสร้างแล้วจำนวน 6 โครงการ ได้แก่ โครงการแก้มลิงเขาหินตั้ง (Project A) โครงการ

แก้มลิงห้วยตลุง (Project B) โครงการแก้มลิงกองการสัตว์และเกษตรกรรมแห่งที่ 3 (Project C) โครงการฝายบ้านวังขยาย (Project D) โครงการฝายสหกรณ์นิคม (Project E) และโครงการฝายบ้านลุ่มผึ้ง 2 (Project F) (Figure 1) โดยใช้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากผลการศึกษาโครงการเบื้องต้นเปรียบเทียบกับผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าโดยใช้ข้อมูลฝนจากข้อมูล reanalysis โดยพิจารณาเลือกใช้ข้อมูลกริดที่อยู่ในบริเวณที่ตั้งของโครงการ

ข้อมูลและแหล่งข้อมูล

1. ข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนที่มีความสมบูรณ์ของข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2543 - 2561 (ค.ศ. 2000 - 2018) จากสถานีตรวจวัดในจังหวัดกาญจนบุรีของศูนย์อุทกวิทยาภาคตะวันตก กรมชลประทาน จำนวน 9 สถานี นำมาตรวจสอบความน่าเชื่อถือโดยวิธี Double Mass Curve โดยแต่ละสถานีจะใช้ค่าปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือนเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือนจากสถานีใกล้เคียง

2. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบ reanalysis ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ข้อมูลฝนรายเดือน WorldClim ซึ่งมีข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 - 2018 ขนาดกริดประมาณ 4.6 กม. หน่วยงานที่เผยแพร่ข้อมูลคือ Climatic Research Unit (CRU), University of East Anglia สหราชอาณาจักร ดาวน์โหลดข้อมูลได้จาก URL <https://worldclim.org/> (Fick and Hijmans, 2017) และข้อมูลฝนรายเดือน CHELSA ซึ่งมีข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 1979 - 2019 ขนาดกริดประมาณ 1 กม. หน่วยงานที่เผยแพร่ข้อมูลคือ Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL) สวิตเซอร์แลนด์ ดาวน์โหลดข้อมูลได้จาก URL <https://chelsa-climate.org/> (Karger *et al.*, 2017) โดยเลือกใช้ข้อมูลเฉพาะช่วงปี ค.ศ. 2000 - 2018 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัด

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. การประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบ reanalysis โดยนำข้อมูลฝนแบบกริด WorldClim และ CHELSA ช่วงปี ค.ศ. 2000 - 2018 บริเวณที่ตรงกับตำแหน่งพิกัดของสถานีวัด

น้ำฝน แต่เนื่องจากข้อมูล WorldClim และ CHELSA มีขนาดกริดที่ไม่เท่ากัน (Figure 2) จึงใช้วิธีการสร้าง buffer ขนาดรัศมี 4 กม. จากจุดพิกัดที่ตั้งของสถานี แล้วใช้คำสั่ง Zonal Statistics ในโปรแกรม QGIS เพื่อหาค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนแบบกริดในพื้นที่ buffer ดังกล่าวจากนั้นนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้ไปเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัด แล้วตรวจสอบความเที่ยง (precision) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) และความแม่นยำ (accuracy) ด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ความเอนเอียง (PBIAS) ดังสมการต่อไปนี้

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

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - S_i)}{\sum_{i=1}^n S_i} \times 100\% \quad (2)$$

โดย

S_i = ปริมาณน้ำฝนจากสถานี (station)

$\bar{S}$ = ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจากสถานี (station)

G_i = ปริมาณน้ำฝนแบบกริด (grid)

$\bar{G}$ = ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยแบบกริด (grid)

ค่า r มีค่าระหว่าง -1 ถึง +1 หากมีค่าเข้าใกล้ 1 หรือ -1 แสดงว่าข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีและข้อมูล reanalysis มีความสัมพันธ์กันอย่างมากในเชิงบวกหรือเชิงลบ หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองกลุ่มมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ส่วนค่า PBIAS เมื่อกำหนดให้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดถือว่าเป็นข้อมูลจริงที่ตรวจวัดได้ ดังนั้น PBIAS ที่มีค่าเท่ากับ 0

แสดงว่าข้อมูล reanalysis มีความน่าเชื่อถือ (ไม่มีความเอนเอียง) ส่วนค่า PBIAS ที่มีค่าเป็นบวก จะหมายถึงข้อมูล reanalysis ประเมินค่าปริมาณน้ำฝนได้สูงกว่าความเป็นจริง (overestimate) และค่า PBIAS ที่มีค่าเป็นลบจะหมายถึงข้อมูล reanalysis ประเมินค่าปริมาณน้ำฝนได้ต่ำกว่าความเป็นจริง (underestimate) โดยสามารถแปลผลเป็นระดับประสิทธิภาพได้ดังแสดงใน Table 1 (Moriassi *et al.*, 2007)

2. การประเมินปริมาณน้ำท่าผ่านหัวงานโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กตามแนวปฏิบัติของกรมชลประทานจะพิจารณาจากพารามิเตอร์ขนาดพื้นที่รับน้ำ ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนและสัมประสิทธิ์น้ำท่ารายเดือน (runoff coefficient, R.O.C.) ดังแสดงในสมการที่ 3 ทั้งนี้ สัมประสิทธิ์น้ำท่ารายเดือนจะขึ้นอยู่กับปริมาณฝนรายเดือนและลักษณะของภูมิประเทศของบริเวณนั้น ๆ โดยอ่านค่าได้จาก Figure 3 วิธีการนี้มีข้อจำกัดสำหรับใช้งานได้ในพื้นที่รับน้ำที่มีขนาดไม่เกิน 2,000 ตร.กม. (ไพโรจน์ และจานุวัตร, 2538)

$$Inflow = \frac{R.O.C}{100} \times (R \times A \times 1000) \quad (3)$$

โดย

Inflow = ปริมาณน้ำท่ารายเดือน (ลบ.ม.)

R.O.C. = สัมประสิทธิ์น้ำท่ารายเดือน (%)

R = ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน (มม.)

A = พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)

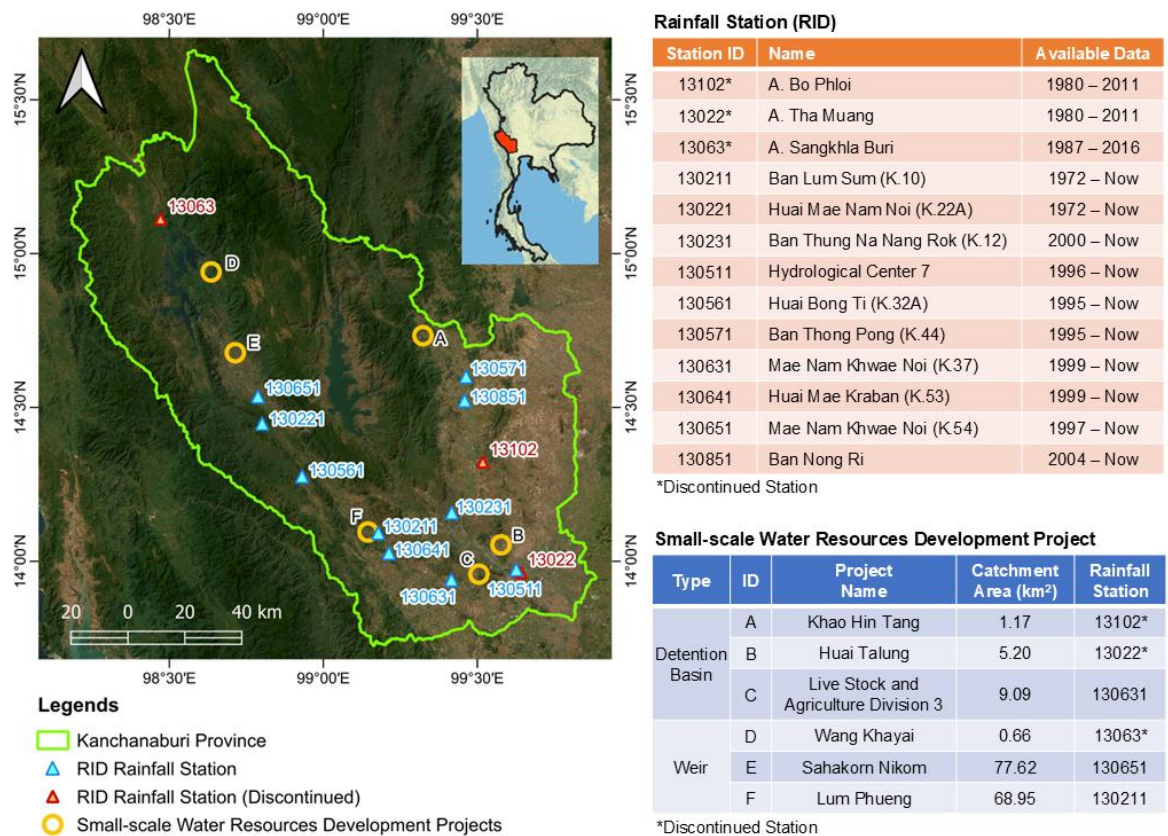


Figure 1 Location map of Royal Irrigation Department (RID) rain gauge stations in Kanchanaburi Province and study areas of small-scale water resource development projects

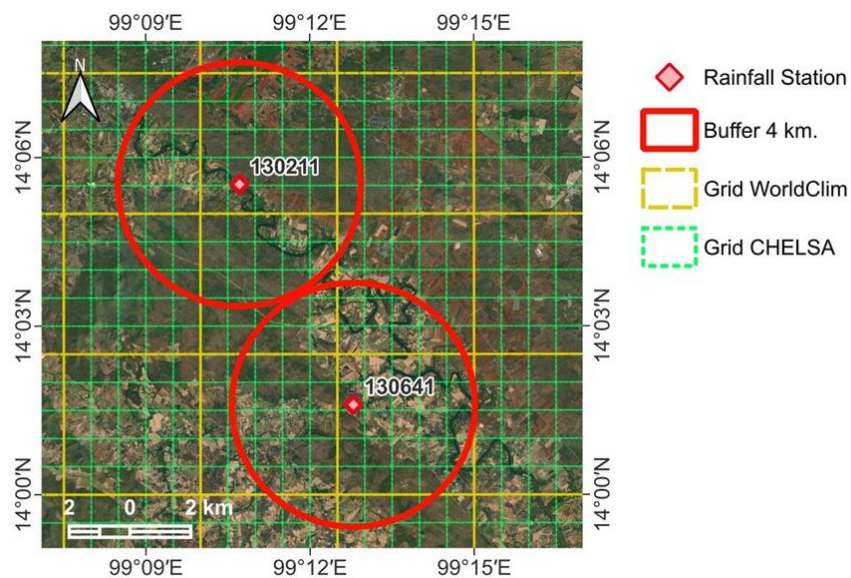


Figure 2 Example of WorldClim and CHELSA grid sizes and 4-km buffer distance

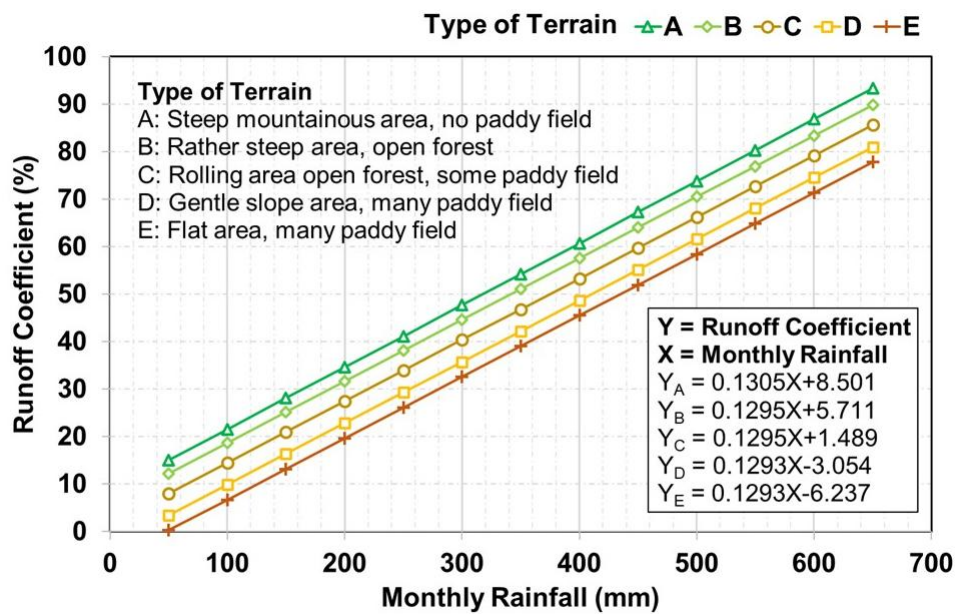


Figure 3 Monthly runoff coefficient according to RID guidelines

Table 1 PBIAS performance ratings

Performance Rating	PBIAS (%)
Very Good	$PBIAS \leq \pm 10\%$
Good	$\pm 10\% < PBIAS \leq \pm 15\%$
Satisfactory	$\pm 15\% < PBIAS \leq \pm 25\%$
Unsatisfactory	$PBIAS > \pm 25\%$

ผลและวิจารณ์

ผลการประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนแบบ reanalysis ดังแสดงใน Figure 4 พบว่าข้อมูล reanalysis มีความสัมพันธ์กันโดยตรงอย่างมากกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัด โดยข้อมูล WorldClim มีค่า r เท่ากับ 0.79 ส่วนข้อมูล CHELSA มีค่า r เท่ากับ 0.84 แสดงให้เห็นว่าข้อมูล WorldClim และ CHELSA มีความเที่ยง (precision) ในระดับสูงมาก

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความแม่นยำ (accuracy) ของข้อมูลด้วยค่า PBIAS พบว่าข้อมูล WorldClim มีค่าเท่ากับ 22.64% ดังแสดงใน Figure 4(A) จะเห็นว่าปริมาณน้ำฝนจากข้อมูล WorldClim มีความเอนเอียง (bias) และมีค่าสูงกว่าความเป็นจริง (overestimate) แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ความแม่นยำของข้อมูลในระดับพอเพียงในการนำไปใช้ประโยชน์ได้

(satisfactory) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Salvacion *et al.* (2018) ที่ประเมินปริมาณฝนรายเดือนจากข้อมูล WorldClim ในประเทศฟิลิปปินส์ซึ่งพบว่ามีความสูงค่าความเป็นจริงเช่นกันแต่อยู่ในเกณฑ์ประสิทธิภาพที่ยอมรับได้ ส่วนข้อมูล CHELSA มีค่า PBIAS เท่ากับ 4.16% ดังแสดงใน Figure 4(B) อยู่ในเกณฑ์ความแม่นยำของข้อมูลระดับดีมาก โดยมีค่าปริมาณน้ำฝนสูงกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ de Oliveira-Júnior *et al.* (2021) ที่ประเมินปริมาณฝนรายเดือนจากข้อมูล CHELSA ในภาคเหนือของประเทศไทยซึ่งพบว่าอยู่ในเกณฑ์ความแม่นยำของข้อมูลระดับดีมากเช่นกัน โดยมีค่าปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าความเป็นจริงเล็กน้อย ผลจากการประเมินประสิทธิภาพของข้อมูล WorldClim และ CHELSA แสดงให้เห็นว่าข้อมูล CHELSA มีประสิทธิภาพที่ดีมากกว่าข้อมูล WorldClim ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย

ของ Osejo *et al.* (2019) และงานวิจัยของ Hemp and Hemp, (2024)

จาก Figure 5 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PBIAS ของข้อมูล reanalysis ในแต่ละสถานีกับค่าระดับความสูงของสถานีที่ตรวจวัดพบว่า

ความสัมพันธ์เชิงบวก โดย WorldClim มีค่า r เท่ากับ 0.74 ส่วน CHELSA มีค่า r เท่ากับ 0.52 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fierke *et al.* (2024) ซึ่งพบว่าข้อมูล WorldClim และ CHELSA จะมีความแม่นยำน้อยลงในพื้นที่ภูเขาสูงหรือภูมิประเทศสลับซับซ้อน

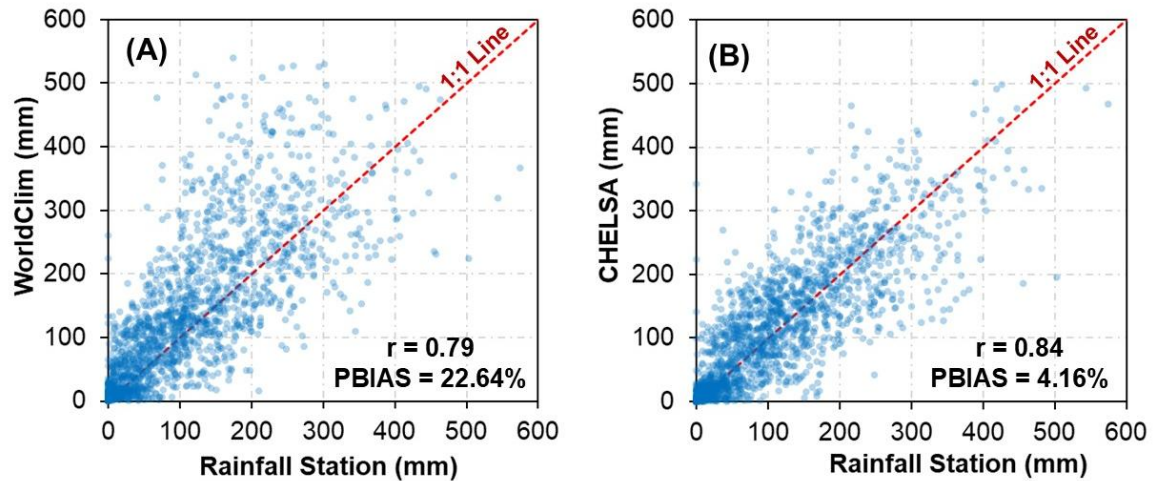


Figure 4 Relationship between monthly rainfall from rain gauges and reanalysis precipitation data: (A) WorldClim and (B) CHELSA

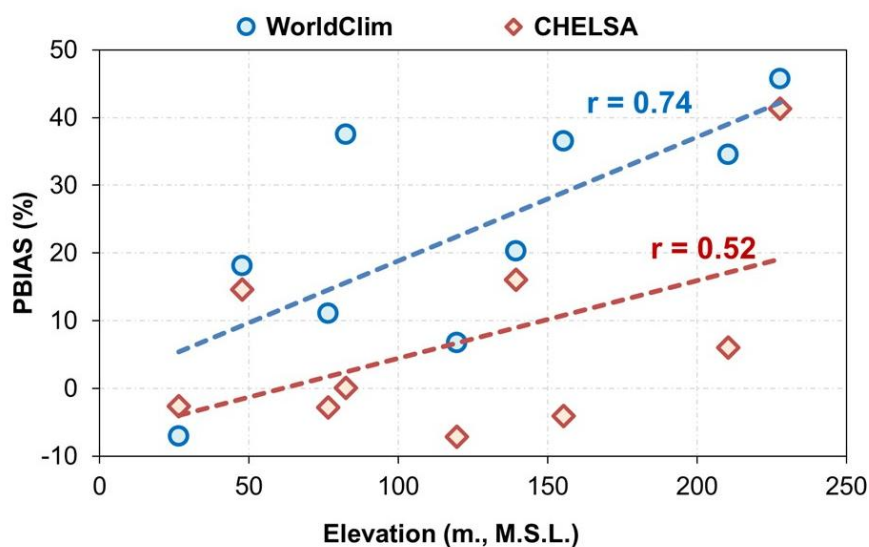


Figure 5 Relationship between PBIAS of reanalysis precipitation data and rain gauge elevation

เมื่อพิจารณาจาก Figure 6 แสดงให้เห็นปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนเปรียบเทียบระหว่างสถานีตรวจวัดแต่ละสถานีกับข้อมูล WorldClim และ CHELSA พบว่าโดยภาพรวมข้อมูล WorldClim และ CHELSA มีรูปแบบการกระจายของฝนรายเดือนสอดคล้องไปในทางเดียวกับสถานีตรวจวัด อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าในกลุ่มสถานีตรวจวัดทางด้านทิศ

ตะวันตกของจังหวัด (สถานี 130651 สถานี 130221 และสถานี 130561) ข้อมูล WorldClim ประเมินปริมาณฝนในช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม – ตุลาคม) สูงกว่าสถานีตรวจวัดอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเกิดจากอิทธิพลของแนวภูเขาขวางทางลม (orographic effect) ซึ่งจะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อภูมิอากาศในระดับท้องถิ่น (Dumont *et al.*, 2022) จากลักษณะภูมิ

ประเทศของจังหวัดกาญจนบุรีที่มีแนวเทือกเขาตะนาวศรีกั้นพรมแดนระหว่างประเทศไทยกับประเทศเมียนมาร์ทางด้านทิศตะวันตกทอดยาวลงไปทางด้านทิศใต้ในช่วงฤดูฝนที่มีลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากทะเลอันดามันพัดเข้ามาทำให้อากาศชื้นและเมฆปะทะกับแนวเทือกเขา โดยกลุ่มสถานีตรวจวัดตั้งก่่าวอยู่ในพื้นที่ทางด้านปลายลม (leeward side) ซึ่งวิธีการสร้างข้อมูล WorldClim และ CHELSA มีวิธีการจำลองการกระจายของฝนที่แตกต่างกัน โดยข้อมูล WorldClim ใช้เทคนิคการประมาณค่าเชิงพื้นที่ข้อมูลภูมิอากาศด้วยวิธี Thin-plate Splines ร่วมกับข้อมูลระดับความ

สูงภูมิประเทศและระยะทางห่างจากชายฝั่ง (Fick and Hijmans, 2017) แต่ไม่มีการพิจารณา orographic effect ในขณะที่ข้อมูล CHELSA สร้างมาจากแบบจำลองที่มีการพิจารณาทั้งปัจจัยระดับความสูงภูมิประเทศและผลกระทบของ orographic effect (Karger *et al.*, 2017) ความแตกต่างของหลักการพื้นฐานนี้ส่งผลให้ CHELSA มีความอ่อนไหวน้อยกว่า WorldClim โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีภูมิประเทศซับซ้อนอย่างเทือกเขาตะนาวศรีทางด้านตะวันตกของจังหวัดกาญจนบุรี จึงทำให้ข้อมูล CHELSA มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าข้อมูล WorldClim

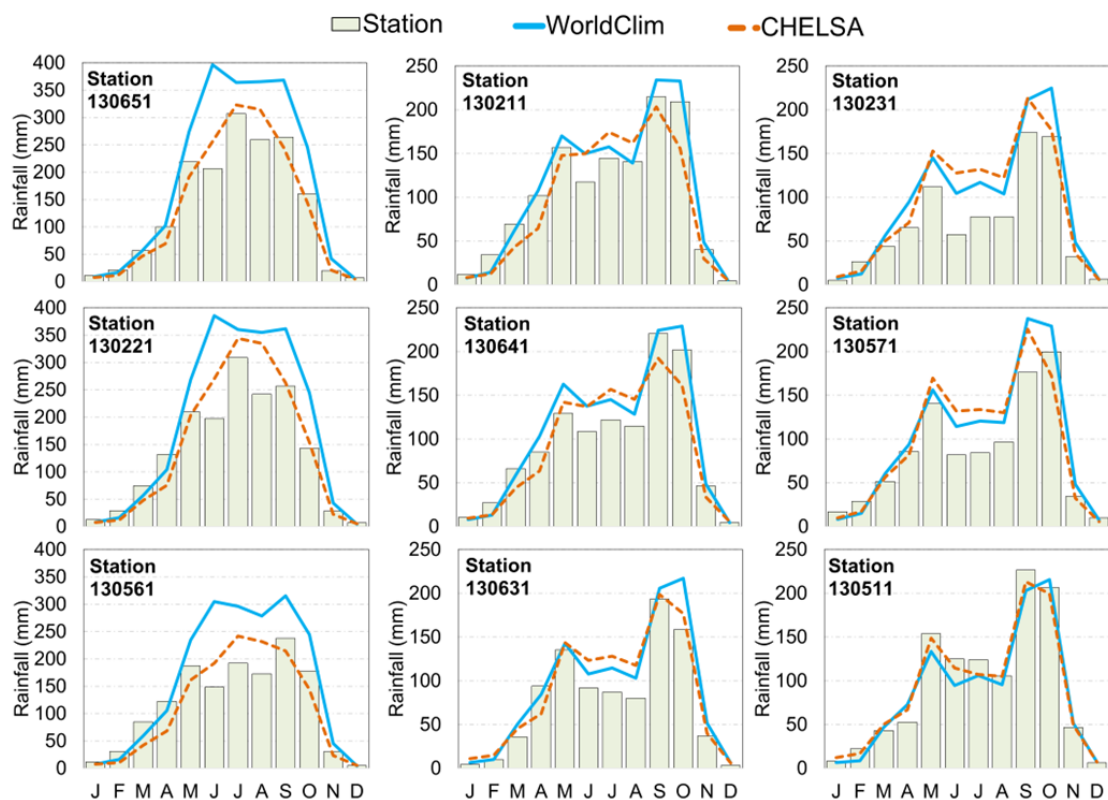


Figure 6 Comparison of average monthly rainfall between rain gauge stations and Reanalysis datasets (WorldClim and CHELSA)

ผลการประเมินปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนผ่านห้วงงานโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กดังแสดงใน Figure 7 แสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างการใช้ข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนกับข้อมูล reanalysis โดย CHELSA ให้ผลการคำนวณแตกต่างระหว่าง -12.64% ถึง +87.39% และ WorldClim ให้ผลแตกต่างระหว่าง -28.82% ถึง +100.68% ทั้งนี้ ความคลาดเคลื่อนในข้อมูลฝนจะส่งผลโดยตรงต่อความน่าเชื่อถือของ

ปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้ เมื่อวิเคราะห์ในรายละเอียดพบว่าสามารถแบ่งโครงการออกได้เป็นสองกลุ่มตามระยะห่างจากสถานีวัดน้ำฝน กลุ่มแรกคือโครงการแก้มลิงกองการสัตว์และเกษตรกรรมแห่งที่ 3 (Project C) และโครงการฝายบ้านลุ่มผึ้ง 2 (Project F) เป็นโครงการที่ตั้งอยู่ใกล้กับสถานีวัดน้ำฝนมากที่สุด จะเห็นว่ามี ความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าเพียง $\pm 25\%$ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้ข้อมูลจากสถานี

วัดน้ำฝนและข้อมูล reanalysis กลุ่มที่สองคือโครงการที่ตั้งอยู่ห่างจากสถานีวัดน้ำฝน ได้แก่ โครงการแก้มลิงเขาหินตั้ง (Project A) โครงการแก้มลิงห้วยตลุง (Project B) โครงการฝายบ้านวังขยาย (Project D) และโครงการฝายสหกรณ์นิคม (Project E) ซึ่งมีความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าระหว่าง -28.82% ถึง +100.68% เมื่อเทียบระหว่างการใช้อัตราข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนกับข้อมูล reanalysis ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Subyani (2004) ที่พบว่าความไม่แน่นอนในการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนจะเพิ่มขึ้นตามระยะห่างจากสถานีวัดน้ำฝน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีภูมิประเทศซับซ้อนและมีรูปแบบการกระจายตัวของฝนที่ไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างที่หลากหลายนี้ อาจเกิดจากอิทธิพลของปัจจัยเฉพาะพื้นที่ของแต่ละโครงการย่อย เช่น ลักษณะภูมิประเทศ (ความสูงชัน ทิศทางลาดเท) ขนาดพื้นที่รับน้ำที่แตกต่างกัน หรือรูปแบบฝนเชิงพื้นที่ (spatial rainfall pattern)

ด้วยข้อจำกัดดังกล่าว การใช้อัตราข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ห่างไกลจากหัวงานจึงอาจไม่สามารถสะท้อนปริมาณฝนที่แท้จริงในพื้นที่โครงการได้ โดยเฉพาะในจังหวัดกาญจนบุรีที่มีภูมิประเทศเป็นภูเขาสลับซับซ้อนและมีการกระจายตัวของสถานีวัดน้ำฝนที่ไม่สม่ำเสมอ ในกรณีนี้ การใช้อัตราข้อมูล reanalysis ที่มีความครอบคลุมพื้นที่อย่างต่อเนื่องและสามารถให้ข้อมูลตรงตำแหน่งที่ตั้งโครงการจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม โดยเฉพาะข้อมูล CHELSA ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง (1 กม.) และให้ค่า PBIAS ที่ต่ำ (+4.16%) แสดงถึงความสามารถในการจำลองปริมาณฝนได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

ดังนั้นหากนำข้อมูลฝนรายเดือนแบบ reanalysis มาใช้ในการออกแบบโครงการ กรณีที่ประเมินปริมาณน้ำท่าได้มากกว่าการใช้อัตราข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนอาจพิจารณาเพิ่มขนาดความจุกักเก็บของแหล่งน้ำได้มากขึ้น จะทำให้มีปริมาณน้ำกักเก็บที่เพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นหรืออาจขยายพื้นที่รับประโยชน์ของโครงการได้มากขึ้น ส่วนกรณีที่ประเมินปริมาณน้ำท่าได้น้อยกว่าการใช้อัตราข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนอาจพิจารณาลดขนาดความจุกักเก็บของแหล่งน้ำหรือลดพื้นที่รับประโยชน์ของโครงการเพื่อป้องกันความเสี่ยงจากการขาดแคลนแหล่งน้ำ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยความเหมาะสมในด้านอื่นๆ ด้วย เช่น ความพร้อมของที่ดิน งบประมาณ และความต้องการของประชาชนในพื้นที่ เป็นต้น

นอกจากนี้ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบ reanalysis ที่มีความแม่นยำ ครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างและมีความต่อเนื่องของข้อมูลที่ยาวนานยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ได้อย่างหลากหลาย โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัด (ungauged areas) หรือเข้าถึงยาก เช่น การประเมินสมดุลน้ำเบื้องต้น การวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่นอกเขตชลประทาน การติดตามสถานการณ์และประเมินความเสี่ยงภัยแล้งและน้ำท่วมในระดับท้องถิ่น การศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อทรัพยากรน้ำ การใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองทางนิเวศวิทยา หรือสนับสนุนการวางแผนโครงสร้างพื้นฐานอื่นๆ ในพื้นที่ห่างไกล

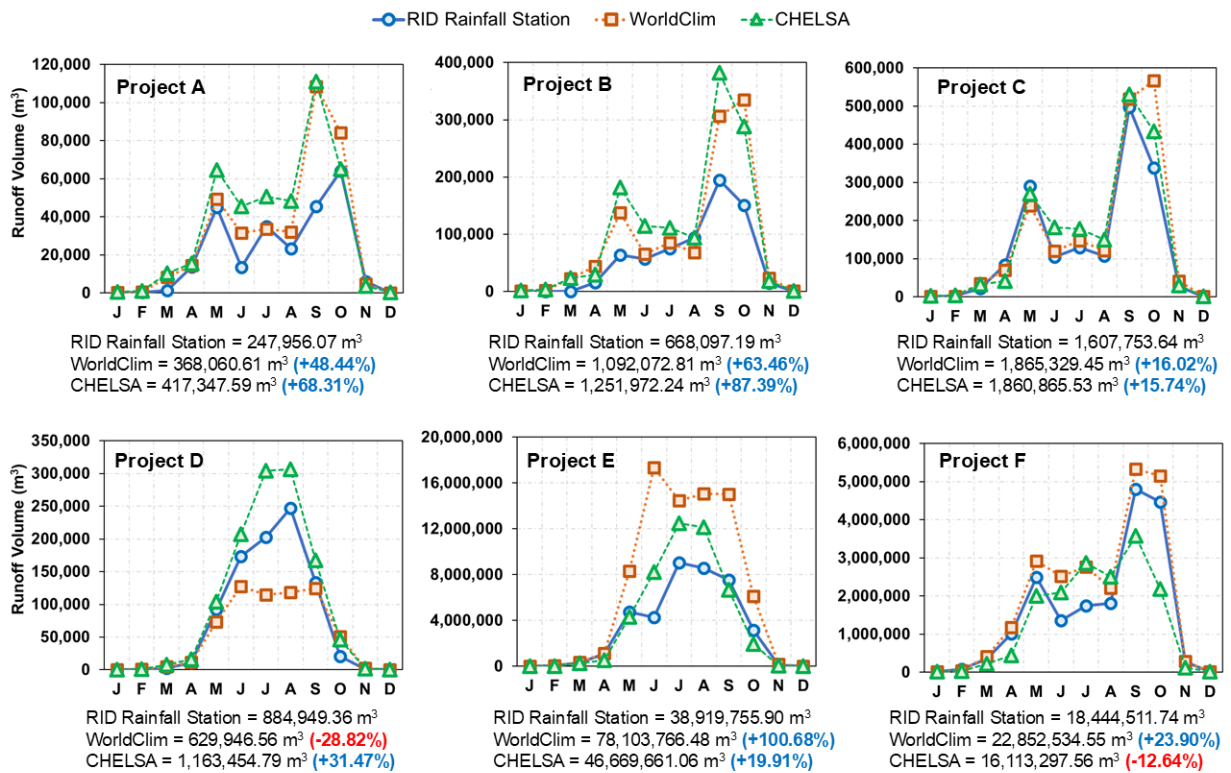


Figure 7 Monthly runoff assessment at project sites using different rainfall data sources

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบ reanalysis (WorldClim และ CHELSA) สำหรับการประมาณน้ำท่ารายเดือนในโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กในจังหวัดกาญจนบุรี ผลการวิจัยพบว่าทั้งสองข้อมูลมีความสัมพันธ์สูงกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัด โดยมีค่า r มากกว่า 0.7 แต่เมื่อพิจารณาความเอนเอียงของข้อมูลพบว่า WorldClim มีค่า PBIAS เท่ากับ 22.64% ส่วน CHELSA มีค่า PBIAS เท่ากับ 4.16% สรุปได้ว่าข้อมูล CHELSA มีความแม่นยำสูงกว่า WorldClim อย่างไรก็ตามทั้งสองข้อมูลมีแนวโน้มประเมินปริมาณน้ำฝนสูงกว่าความเป็นจริงเล็กน้อยโดยเฉพาะในพื้นที่ภูเขาสูง ทั้งนี้ ความคลาดเคลื่อนในข้อมูลฝนจะส่งผลโดยตรงต่อความน่าเชื่อถือของปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้

ในพื้นที่โครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กที่ไม่มีสถานีวัดน้ำฝนหรือสถานีตรวจวัดอยู่ห่างไกล การเลือกใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากข้อมูล CHELSA เป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสำหรับการประมาณค่าปริมาณน้ำท่าเบื้องต้น ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการ

นำไปใช้งานอาจพิจารณาใช้ค่า PBIAS ที่คำนวณได้จากงานวิจัยนี้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการปรับแก้ปริมาณน้ำฝนจากข้อมูล reanalysis ก่อนนำไปคำนวณปริมาณน้ำท่า เพื่อช่วยลดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบที่อาจเกิดขึ้น รวมทั้งนำช่วงของความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้มาใช้เป็นข้อมูลประกอบในการประเมินระดับความไม่แน่นอน (uncertainty assessment) ของผลการประมาณค่า หรือใช้สนับสนุนการพิจารณากำหนดค่าเผื่อเพื่อความปลอดภัย (safety factor) ในการออกแบบโครงสร้างทางชลศาสตร์ให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงการที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกลจากสถานีวัด หรือมีลักษณะภูมิประเทศที่ซับซ้อนซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของข้อมูล reanalysis

การศึกษานี้มีข้อจำกัดที่สำคัญคือการใช้วิธีสัมประสิทธิ์น้ำท่า (runoff coefficient) ในการคำนวณปริมาณน้ำท่า ซึ่งเป็นวิธีการอย่างง่ายที่ใช้กันทั่วไปในทางปฏิบัติสำหรับงานประเภทโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กในประเทศไทยเนื่องจากความสะดวกและต้องการข้อมูลน้อย แต่มีข้อจำกัดคืออาจไม่สามารถจำลองกระบวนการทางอุทกวิทยาที่ซับซ้อน

ได้ทั้งหมด เช่น ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน การซึมของน้ำลงดิน ความชื้นในดิน หรือการไหลของน้ำใต้ดิน ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลองทางอุทกวิทยาเชิงกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยระดับสากล

สำหรับงานวิจัยในอนาคตควรมีการพัฒนาเทคนิคการปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูล reanalysis ที่เฉพาะเจาะจงกับลักษณะภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษา ควรมีการเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำท่าระหว่างวิธีสัมประสิทธิ์น้ำท่ากับแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่ซับซ้อนมากขึ้น เพื่อประเมินความเหมาะสมของวิธีการที่ใช้ในบริบทของพื้นที่ที่มีข้อมูลจำกัด นอกจากนี้ ควรมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของข้อมูลปริมาณน้ำฝนแบบ reanalysis กับข้อมูลอื่นๆ ที่มีรายละเอียดและความละเอียดเชิงพื้นที่ที่แตกต่างกัน เพื่อเลือกใช้ข้อมูลที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคตะวันตก สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทานที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและฝ่ายพิจารณาโครงการ ส่วนวิศวกรรม สำนักชลประทานที่ 13 ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเล่มรายงานการศึกษาโครงการเบื้องต้น งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

เอกสารอ้างอิง

ไพโรจน์ เกรียงศิริ และ จานุวัตร เลิศศิลป์เจริญ. (2538). แนวทางการศึกษาการวางโครงการแหล่งน้ำขนาดเล็กของภาคเหนือประเทศไทยโดยใช้โปรแกรมสเปรดชีต. *วิศวกรรมสาร มก.*, 9(25), 75-114.

- Baatz, R., Hendricks Franssen, H. J., Euskirchen, E., Sihi, D., Dietze, M., Ciavatta, S., Fennel, K., Beck, H., De Lannoy, G., Pauwels, V. R. N., Raiho, A., Montzka, C., Williams, M., Mishra, U., Poppe, C., Zacharias, S., Lausch, A., Samaniego, L., Van Looy, K., Vereecken, H. (2021). Reanalysis in Earth System Science: Toward Terrestrial Ecosystem Reanalysis. *Reviews of Geophysics*, 59(3), 1–39. <https://doi.org/10.1029/2020RG000715>
- Bosilovich, M. G., Chen, J., Robertson, F. R., & Adler, R. F. (2008). Evaluation of global precipitation in reanalyses. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(9), 2279–2299. <https://doi.org/10.1175/2008JAMC1921.1>
- Ceglar, A., Toreti, A., Balsamo, G., & Kobayashi, S. (2017). Precipitation over monsoon Asia: A comparison of reanalyses and observations. *Journal of Climate*, 30(2), 465–476. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0227.1>
- 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>

- Delle Monache, D., Martino, G., Chiochio, A., Siclari, A., Bisconti, R., Maiorano, L., & Canestrelli, D. (2024). Mapping local climates in highly heterogeneous mountain regions: Interpolation of meteorological station data vs. downscaling of macroclimate grids. *Ecological Informatics*, 82, 102674. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102674>
- Dumont, M., Saadi, M., Oudin, L., Lachassagne, P., Nugraha, B., Fadillah, A., Bonjour, J.-L., Muhammad, A., Hendamawan, Dörfliger, N., & Plagnes, V. (2022). Assessing rainfall global products reliability for water resource management in a tropical volcanic mountainous catchment. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 40, 101037. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101037>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Fierke, J., Joelson, N. Z., Loguercio, G. A., Putzenlechner, B., Simon, A., Wyss, D., Kappas, M., & Walentowski, H. (2024). Assessing uncertainty in bioclimatic modelling: a comparison of two high-resolution climate datasets in northern Patagonia. *Regional Environmental Change*, 24(3), 110. <https://doi.org/10.1007/s10113-024-02278-5>
- Garibay, V. M., Gitau, M. W., Kiggundu, N., Moriasi, D., & Mishili, F. (2021). Evaluation of Reanalysis Precipitation Data and Potential Bias Correction Methods for Use in Data-Scarce Areas. *Water Resources Management*, 35(5), 1587–1602. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02804-8>
- Hemp, A., & Hemp, J. (2024). Weather or not—Global climate databases: Reliable on tropical mountains?. *PLOS ONE*, 19, 0299363. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299363>
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, 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, 170122. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Kim, I. W., Oh, J. H., Woo, S. M., & Kripalani, R. H. (2019). Evaluation of precipitation extremes over the Asian domain: observation and modelling studies. *Climate Dynamics*, 52(3), 1317–1342. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4193-4>
- McClean, F., Dawson, R., & Kilsby, C. (2023). Intercomparison of global reanalysis precipitation for flood risk modelling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(2), 331–347. <https://doi.org/10.5194/hess-27-331-2023>

- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model Evaluation Guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Osejo, B. B., Vargas, T. B., & Martinez, J. A. (2019). Spatial distribution of precipitation and evapotranspiration estimates from WorldClim and Chelsa datasets: Improving long-term water balance at the watershed-scale in the Urabá region of Colombia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 14(2), 105–117. <https://doi.org/10.2495/SDP-V14-N2-105-117>
- Salvacion, A. R., Magcale-Macandog, D. B., Cruz, P. C. S., Saludes, R. B., Pangga, I. B., & Cumagun, C. J. R. (2018). Evaluation and spatial downscaling of CRU TS precipitation data in the Philippines. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(3), 891–898. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0477-2>
- Stockham, A. J., Schultz, D. M., Fairman, J. G., & Draude, A. P. (2018). Quantifying the Rain-shadow Effect: Results from the Peak District, British Isles. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(4), 777–790. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0256.1>
- Subyani A. M. (2004). Geostatistical study of annual and seasonal mean rainfall patterns in southwest Saudi Arabia. *Hydrological Sciences Journal*, 49(5), 803–817. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.5.803.55137>
- Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S., & Hsu, K. L. (2018). A Review of Global Precipitation Data Sets: Data Sources, Estimation, and Intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, 56(1), 79–107. <https://doi.org/10.1002/2017RG000574>
- Wang, G. F., Zhang, X. W., & Zhang, S. Q. (2019). Performance of Three Reanalysis Precipitation Datasets over the Qinling-Daba Mountains, Eastern Fringe of Tibetan Plateau, China. *Advances in Meteorology*, 2019(1), 7698171. <https://doi.org/10.1155/2019/7698171>
- Wang, X. L., Feng, Y., Chan, R., & Isaac, V. (2016). Inter-comparison of extra-tropical cyclone activity in nine reanalysis datasets. *Atmospheric Research*, 181, 133–153. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.06.010>
- Wanzala, M. A., Ficchi, A., Cloke, H. L., Stephens, E. M., Badjana, H. M., & Lavers, D. A. (2022). Assessment of global reanalysis precipitation for hydrological modelling in data-scarce regions: A case study of Kenya. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41, 101105. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101105>
- Zhan, W., Guan, K., Sheffield, J., & Wood, E. F. (2016). Depiction of drought over sub-Saharan Africa using reanalyses precipitation data sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(18), 10,510–555,574. <https://doi.org/10.1002/2016JD024858>