

การฉายภาพอนาคตของปริมาณฝนภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
ในพื้นที่โครงการเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก

Future projections of rainfall under Climate Change in the Eastern Economic Corridor

พลเพชร สมานมิตร, จุติเทพ วงษ์เพ็ชร*, เกศวรา สิริโชค และ บัญชา ขวัญยืน

Polpech Samanmit, Jutithep Vongphet*, Ketvara Sittichok and Bancha Kwanyuen

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University

* Corresponding author e-mail: fengjtv@ku.ac.th

(Received: 30 September 2020, Revised: 26 April 2021, Accepted: 6 May 2021)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างภาพฉายอนาคตของปริมาณฝนภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยแบบจำลอง CanESM2 ภายใต้สถานการณ์จำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 3 กรณี ได้แก่ RCP2.6 RCP4.5 และ RCP8.5 แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ระยะเวลาอนาคตอันใกล้ปัจจุบัน (ค.ศ.2020 – 2035) และระยะเวลาอนาคตอันไกลจากปัจจุบัน (ค.ศ.2036 – 2099) ด้วยเทคนิคการลดมาตราส่วนทางสถิติและประมาณค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยเทคนิค Inverse Distance Weighting ในรูปแบบรายจังหวัดที่ครอบคลุมพื้นที่โครงการเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor; EEC) จากผลการวิจัย พบว่า ภาพฉายอนาคตของปริมาณฝนสะสมรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ทั้ง 3 กรณี มีอัตราการเพิ่มขึ้นในระยะเวลาอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกลจากปัจจุบันโดยเฉลี่ยร้อยละ 12, 11, 11 และ ร้อยละ 10, 14, 22 สำหรับกรณี RCP2.6 RCP4.5 และ RCP8.5 ตามลำดับ โดยจังหวัดที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ จังหวัดชลบุรี จังหวัดระยอง และจังหวัดฉะเชิงเทรา ตามลำดับ ซึ่งผลการวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลสนับสนุนการพัฒนาแนวทางการปรับตัวอย่างเหมาะสมในการบริหารจัดการน้ำภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตสำหรับพื้นที่การศึกษาต่อไป

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, โครงการเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก, การลดมาตราส่วนทางสถิติ, ภาพฉายอนาคตของปริมาณฝน

Abstract

The objective of research is to generate future projection of rainfall under climate change using CanESM2 scenarios with RCP2.6 RCP4.5 and RCP8.5 for two time periods: short period (2020 – 2035) and long period (2036 – 2099). The Statistical downscaling technique and applied inverse distance weighting method in the Eastern Economic Corridor were used in this study. The result shows that rainfall projection of all three-case increased for both periods. Average increase of the rainfall was 12, 11, 11 (%) and 10, 14, 22 (%) for RCP2.6 RCP4.5 and RCP8.5 respectively. The maximum increased was Chonburi province followed by Rayong and Chachoengsao, respectively. The result of this research will be beneficial for water management and climate change adaptation approaches under climate change in future for the study area.

Keywords: Climate Change, Eastern economic corridor, Statistical Downscaling, Future projections of rainfall.

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ตามนิยามของ IPCC ในรายงานฉบับที่ 5 ระบุว่า อุณหภูมิโลกเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 2°C ภายในปี ค.ศ. 2100 น้ำทะเลเฉลี่ยทั่วโลกเพิ่มสูงขึ้น 0.19 m ปริมาณแก๊สเรือนกระจกเพิ่มสูงขึ้น 40% เมื่อเทียบกับยุคก่อนปฏิวัติอุตสาหกรรม เกิดคลื่นความร้อนแห้งแล้งยาวนานหรือเกิดฝนตกหนักในบางพื้นที่ (IPCC, 2014) ซึ่งเป็นผลกระทบสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างยิ่ง (อภิรักษ์ พัทธวิภาส, 2553) โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงของฝนในลักษณะของความถี่ การกระจายตัว และความผันแปรของปริมาณฝน (Ashraf & Ahrens, 2014) อีกทั้งปริมาณฝนเป็นตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้ง คือ ดัชนีความแห้งแล้งของฝนที่ต่างจากค่าปกติ (SPI) ซึ่งมีการใช้ประเมินความแห้งแล้งในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น ลุ่มน้ำลี้กัต ประเทศมาเลเซีย (Huang et al., 2016) ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับปริมาณฝนจึงมีความสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของฝนในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา คือ แบบจำลองภูมิอากาศโลก (General Circulation Models, GCMs) (Bonsal & Prowse, 2005) ซึ่งใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชั้นบรรยากาศ มหาสมุทร และ พื้นที่ผิวโลก ในรูปแบบของ Grid Cell ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ ประมาณ $200 - 500\text{ Km}$ (เกศวรา สิทธิโชค และคณะ, 2561) เพื่อสะดวกต่อการศึกษาระดับพื้นที่เป้าหมาย จึงจำเป็นต้องประยุกต์ใช้เทคนิคการย่อส่วน (Downscaling Technique) โดยเลือกวิธีย่อส่วนด้วยวิธีการทางสถิติ (Statistical downscaling method) (พัลลภ สุวรรณมัลย์ และคณะ, 2562) งานวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก CanESM2 (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis) ภายใต้โครงการ Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) ซึ่งมีการใช้งานในทั้งในประเทศอินเดีย (Ashraf & Ahrens, 2014) ประเทศมาเลเซีย (Huang et al., 2016) ประเทศเอธิโอเปีย (Gebremedhin et al., 2018) และประเทศไทย (เกศวรา สิทธิโชค และคณะ, 2561; พัลลภ สุวรรณมัลย์ และคณะ, 2562; พลเพชร สมานมิตร และคณะ, 2562; พลเพชร สมานมิตร และคณะ, 2563)

โครงการเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor; EEC) เป็นพื้นที่สำคัญต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศไทยซึ่งอยู่ในช่วงเตรียมการเพื่อรองรับการเกิดขึ้นของโครงการ EEC โดยน้ำฝนถือเป็นต้นทุนของน้ำต้นทุนซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อพื้นที่ดังกล่าวเป็นอย่างยิ่ง และเป็นองค์ประกอบในการประเมินความต้องการน้ำและสมดุลน้ำ โดยที่ผ่านมามีการศึกษาเกี่ยวกับการฉายภาพอนาคตของปริมาณฝนในพื้นที่ EEC (พลเพชร สมานมิตร และคณะ, 2562)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำภาพฉายอนาคตของปริมาณฝนรายเดือนและรายปีเชิงพื้นที่ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่โครงการเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ซึ่งประเมินการเปลี่ยนแปลงภายใต้สถานการณ์จำลองการปล่อยแก๊สเรือนกระจก 3 สถานการณ์ ได้แก่ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 โดยพิจารณาจากช่วงข้อมูลตั้งแต่ปี 2020 – 2099 โดยแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ระยะเวลาอนาคตอันใกล้ปัจจุบัน (Short period) คือ ช่วงปี ค.ศ. 2020 – 2035 และระยะเวลาอนาคตอันไกลจากปัจจุบัน (Long period) ช่วงปี ค.ศ. 2036 – 2099 เนื่องจากอยู่ในช่วงเวลาของแผนการพัฒนาแหล่งน้ำและแผนการก่อสร้าง 20 ปี ตามยุทธศาสตร์ชาติในการพัฒนาโครงการเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก ซึ่งมีการศึกษาอยู่ในปัจจุบันโดยสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, 2562) เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำและการวิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้ง (Drought Index) ในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของพื้นที่การศึกษาต่อไป

2. พื้นที่ศึกษาและข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 พื้นที่การวิจัย

พื้นที่การศึกษา คือ พื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor; EEC) ครอบคลุมพื้นที่ 3 จังหวัด ได้แก่ ฉะเชิงเทรา ชลบุรี และระยอง เมื่อพิจารณา Grid cell ของแบบจำลองภูมิอากาศโลก (General Circulation Models, GCMs) พบว่าอยู่ใน Grid cell ที่ X37 – Y37 ซึ่งเป็นพื้นที่สำคัญต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศไทย และอยู่ในช่วงเตรียมการเพื่อรองรับโครงการ EEC อย่างเต็มรูปแบบ โดยงานวิจัยนี้ศึกษาจาก



รูปที่ 1 พื้นที่การศึกษา

สถานีตรวจวัดฝนจำนวน 6 สถานี ซึ่งเป็นสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยา 4 สถานี ได้แก่ เชาอีโต้, กรุงเทพมหานคร, ชลบุรี/สัตหีบ และ พัทธนา และสถานีของกรมชลประทาน 2 สถานี ได้แก่ 030333 จังหวัดฉะเชิงเทรา และ 060131 จังหวัดจันทบุรี เนื่องจากเป็นสถานีที่มีข้อมูลสมบูรณ์ที่สุด แสดงดังรูปที่ 1

2.2 ปริมาณฝนตรวจวัด

ข้อมูลปริมาณฝนตรวจวัดโดยสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 4 สถานี และสถานีตรวจวัดของกรมชลประทานจำนวน 2 สถานี ซึ่งเป็นข้อมูลรายวัน โดยตรวจสอบความกลมกลืนของข้อมูลด้วยวิธี Double Mass Curve รูปแบบฝนรายปีของสถานีที่เลือกพิจารณา พบว่า มีความกลมกลืนของข้อมูลสูงและไม่ต้องปรับแก้เนื่องจากไม่มีการย้ายตำแหน่งสถานี และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation; R) ของข้อมูลฝนตรวจวัดแต่ละสถานีมีค่าอยู่ระหว่าง 0.66 - 0.76 (พลเพชร สมานมิตร และคณะ, 2563) โดยข้อมูลฝนตรวจวัดในช่วงปี ค.ศ.1980 - 2019 มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1,100 - 1,800 (mm/year) และเติมข้อมูลตรวจวัดที่ขาดหายด้วยวิธีอัตราส่วนปกติ (Normal-Ratio Method)

2.3 แบบจำลองภูมิอากาศโลก (General Circulation Models, GCMs)

แบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ประยุกต์ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตซึ่งเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก CanESM2 predictors: CMIP5 experiments ที่พัฒนาโดย Environment and Climate Change Canada ด้วยวิธี Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma) เนื่องจากเป็นที่

นิยมอย่างแพร่หลายทั้งต่างประเทศ (Asharaf & Ahrens, 2014; Huang et al., 2016; Gebremedhin et al., 2018) และประเทศไทย (เกศวรา สิทธิโชค และคณะ, 2561; พัลลภ สุวรรณมาลัย และคณะ, 2562; พลเพชร สมานมิตร และคณะ, 2562; พลเพชร สมานมิตร และคณะ, 2563) และเป็นแบบจำลองที่โปรแกรมลดมาตราส่วนทางสถิติ (Statistical Downscaling ; SDSM) รองรับการลดมาตราส่วนทางสถิติ ซึ่งเป็นชุดข้อมูล Reanalysis แบบ gridded ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก ภายใต้สถานการณ์จำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 3 แบบ ประกอบด้วย RCP2.6 คือ การใช้มาตรการลดก๊าซเรือนกระจกที่เข้มงวด RCP4.5 คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับปานกลาง และ RCP8.5 คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสูง

3. วิธีการดำเนินการ

3.1 การลดมาตราส่วนทางสถิติ

1) การคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณฝนตรวจวัดด้วยวิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise Selection) โดยมีขั้นตอน คือ คัดเลือกตัวแปรอิสระทีละ 1 ตัว ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระที่มีนัยสำคัญต่อการทำนายตัวแปรตามมากที่สุดเข้าสู่ตัวแบบการถดถอยเป็นตัวแรกเมื่อ $p\text{-value} < p_{in}$ กำหนดให้ $p_{in} = 0.05$ และ $p_{out} = 0.10$ โดยคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่ตัวแบบการถดถอยเมื่อผ่านเงื่อนไขและหยุดคัดเลือกต่อเมื่อ $p\text{-value} \geq p_{in}$ อีกทั้งมีการตรวจสอบระดับนัยสำคัญระหว่างตัวแปรอิสระตัวต่อมากับตัวก่อนหน้าในการทำนายตัวแปรตามซึ่งทำให้เกิดวิธีการคัดเลือกแบบลดตัวแปรหากเป็นไปได้ ในกรณีระดับนัยสำคัญของตัวแปรอิสระตัวต่อมากับตัวก่อนหน้าทำให้ $p\text{-value} \geq p_{in}$ ทั้งนี้โปรแกรมจะทำการซ้ำตามนิยามและหยุดการคัดเลือกต่อเมื่อไม่สามารถนำตัวแปรอิสระเข้าสู่ตัวแบบการถดถอยหรือไม่สามารถนำตัวแปรอิสระได้ออกจากตัวแบบการถดถอยได้อีก (รัฐพงศ์ ชัยเอิก และคณะ, 2560)

2) การลดมาตราส่วนทางสถิติ (Statistical Downscaling ; SDSM) ซึ่งสามารถลดมาตราส่วนในระดับสถานี (Jam et al., 2017; Gebremedhin et al., 2018) โดยตรงทำให้มีความละเอียดสูงจากผลการคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณฝนตรวจวัด ซึ่งมีจำนวนตัวแปรที่แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 1 โดยทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple

Regression Analysis) แล้วทำการสอบเทียบและทวนสอบผลการลดมาตราส่วนทางสถิติและตรวจสอบความแม่นยำด้วยดัชนีทางสถิติในหัวข้อ 3.2 โดยผลจากการลดมาตราส่วนทางสถิติสามารถนำไปสร้างภาพฉายอนาคต เช่น งานวิจัยในการสร้างภาพฉายการเกิดฝนในอนาคต (Yamal et al., 2002; Wilby et al., 2001)

3.2 การตรวจสอบความแม่นยำสำหรับการลดมาตราส่วนทางสถิติ

การประเมินผลการสอบเทียบและทวนสอบด้วยดัชนีทางสถิติ ประกอบด้วย

1) ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2) เป็นดัชนีที่แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Liner Regression) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หากเข้าใกล้ 0 คือ ตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์ตามกันน้อย แต่ถ้าเข้าใกล้ 1 คือ ตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์ตามกันมาก แสดงสูตรคำนวณดังสมการที่ (1)

$$R^2 = \left(\frac{COV(O,M)}{\sqrt{VAR(O)VAR(M)}} \right)^2 \quad (1)$$

2) Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) เป็นดัชนีแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนระหว่างค่าการลดมาตราส่วนทางสถิติ (SDSM) กับค่าตรวจวัด ใช้คาดคะเนความแม่นยำ หากเข้าใกล้ 1 แสดงว่าผลการลดมาตราส่วนทางสถิติมีความแม่นยำสูงและมีความแปรปรวนน้อยเมื่อเทียบกับค่าตรวจวัด แต่หากเข้าใกล้ 0 แสดงถึงผลการลดมาตราส่วนทางสถิติมีความแม่นยำน้อยและมีความแปรปรวนเมื่อเทียบกับค่าตรวจวัดสูง แสดงสูตรคำนวณดังสมการที่ (2)

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

3) รากที่สองของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (Root Mean Square Error; RMSE) เป็นดัชนีแสดงความคลาดเคลื่อนของข้อมูลตรวจวัดกับข้อมูลการลดมาตราส่วนทางสถิติ (SDSM) แสดงสูตรคำนวณดังสมการที่ (3)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - O_i)^2} \quad (3)$$

โดยที่ O คือ ปริมาณฝนตรวจวัด, M คือ ปริมาณฝนจากแบบจำลอง, $COV(O,M)$ คือ ความแปรปรวนระหว่างปริมาณฝนตรวจวัดกับแบบจำลอง และ VAR คือ ความแปรปรวนของข้อมูล

3.3 การฉายภาพอนาคตของปริมาณฝนภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การฉายภาพอนาคตของปริมาณฝนจากการลดมาตราส่วนทางสถิติ (SDSM) จากแบบจำลอง CanESM2 ประกอบด้วย RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ระยะเวลาอนาคตอันใกล้ปัจจุบัน (Short period) คือ ช่วงปี ค.ศ.2020 – 2035 และระยะเวลาอนาคตอันไกลจากปัจจุบัน (Long period) ช่วงปี ค.ศ.2036 – 2099 เนื่องจากเป็นเกณฑ์ของงานวิจัยที่อ้างอิงและใช้งานในกลุ่มน้ำของประเทศไทย (เกตุวรา สิริโชค และคณะ, 2561; สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, 2562) แล้วประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Inverse Distance Weighting (IDW) (สุเพชร จิรัชจรกุล, 2555) ในรูปแบบรายจังหวัดที่ครอบคลุมพื้นที่โครงการเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ได้แก่ ฉะเชิงเทรา ชลบุรี และระยอง

4. ผลลัพธ์และการอภิปรายผล

4.1 ผลการคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกกับข้อมูลฝนตรวจวัด

จากการคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลฝนตรวจวัดด้วยวิธีคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise Selection) พบว่า ตัวแปรภูมิอากาศโลกที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลฝนตรวจวัดทั้ง 6 สถานี ได้แก่ ตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูง 500 hPa (nceps500gl), ตัวแปรความสัมพันธ์ของความเร็วลมที่ระดับความสูง 500 hPa (ncepp5_zgl) และตัวแปรปริมาณน้ำฝน (ncepprcpgl) ซึ่งแต่ละสถานีมีจำนวนตัวแปรภูมิอากาศโลกที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลฝนตรวจวัดรายวันที่แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 1

4.2 การประเมินผลการสอบเทียบและทวนสอบด้วยดัชนีทางสถิติ

การประเมินผลการสอบเทียบและทวนสอบด้วยดัชนีทางสถิติ 3 ตัวแปร ดังหัวข้อที่ 3.2 โดยช่วงสอบเทียบพิจารณาจากค่า R^2 พบว่า ทุกสถานีมีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรภูมิอากาศโลกกับข้อมูลฝนตรวจวัดรายเดือนในระดับสูง (> 0.65) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2540) ทุกสถานี คือ $R^2 = 0.61 - 0.77$ ส่วนค่า NSE แสดงให้เห็นว่ามีความแม่นยำในระดับสูง (0.65 – 0.74) ถึงสูงมาก (0.75 – 1.00) (Moriassi et al., 2007) ทุกสถานี (NSE = 0.60 – 0.80) ส่วนความคลาดเคลื่อนประเมินด้วยค่า

RMSE พบว่า ทุกสถานีมีความคลาดเคลื่อนน้อย ในส่วนของช่วง ทวนสอบ เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 พบว่า มีความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรภูมิอากาศโลกกับข้อมูลฝนตรวจวัดรายเดือนในระดับ ค่อนข้างสูง (0.40 – 0.64) 4 สถานี ($R^2 = 0.57 - 0.62$) และ ปานกลาง (0.20 – 0.39) 2 สถานี ($R^2 = 0.35 - 0.47$) สำหรับ ค่า NSE แสดงให้เห็นว่าความแม่นยำอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

(0.50 – 0.64) 4 สถานี (NSE = 0.47 – 0.60) และค่อนข้างต่ำ (< 0.50) 2 สถานี (NSE = 0.24 – 0.30) แต่ผลจากสองสถานี จะถูกนำไปเฉลี่ยเชิงพื้นที่ ซึ่งจากผลความแม่นยำของสถานีส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยความคลาดเคลื่อนจากค่า RMSE แสดงให้เห็นว่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยทุกสถานีแสดง ดังตารางที่ 2 และ รูปที่ 2

ตารางที่ 1 ตัวแปรภูมิอากาศโลกที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลปริมาณฝนตรวจวัดของสถานีต่าง ๆ (พลเพชร สมานมิตร และคณะ, 2563)

ตัวแปรทำนาย	ความหมาย	สถานี 1	สถานี.2	สถานี 3	สถานี 4	สถานี 5	สถานี 6
ncepmslpgl	ความดันที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง				●	●	●
ncepp1_fgl	ความเร็วลมที่ระดับความสูง 1,000 hPa			●	●	●	●
ncepp1_ugl	ทิศทางการลมในแนวละติจูดที่ระดับความสูง 1,000 hPa						
ncepp1_vgl	ทิศทางการลมในแนวลองจิจูดที่ระดับความสูง 1,000 hPa			●		●	
ncepp1_zgl	ความสัมพันธ์ของความเร็วลมจริงที่ระดับความสูง 1,000 hPa	●		●	●	●	●
ncepp1thgl	ทิศทางของลมที่ระดับความสูง 1,000 hPa	●	●	●			
ncepp1zhgl	ความแตกต่างของลมที่ระดับความสูง 1,000 hPa	●	●	●			●
ncepp5_fgl	ความเร็วลมที่ระดับความสูง 500 hPa			●		●	
ncepp5_ugl	ทิศทางการลมในแนวละติจูดที่ระดับความสูง 500 hPa	●				●	
ncepp5_vgl	ทิศทางการลมในแนวลองจิจูดที่ระดับความสูง 500 hPa	●	●				
ncepp5_zgl	ความสัมพันธ์ของความเร็วลมที่ระดับความสูง 500 hPa	●	●	●	●	●	●
ncepp5thgl	ทิศทางของลมที่ระดับความสูง 500 hPa						
ncepp5zhgl	ความแตกต่างของลมจริงที่ระดับความสูง 500 hPa		●				
ncepp8_fgl	ความเร็วลมที่ระดับความสูง 850 hPa	●		●			
ncepp8_ugl	ทิศทางการลมในแนวละติจูดที่ระดับความสูง 850 hPa						
ncepp8_vgl	ทิศทางการลมตามแนวลองจิจูดที่ระดับความสูง 850 hPa	●	●	●	●		●
ncepp8_zgl	ความสัมพันธ์ของความเร็วลมจริงที่ระดับความสูง 850 hPa			●	●	●	●
ncepp8thgl	ทิศทางของลมที่ระดับความสูง 850 hPa	●		●	●	●	●
ncepp8zhgl	ความแตกต่างของลมจริงที่ระดับความสูง 850 hPa	●	●			●	
ncepp500gl	ศักยภาพแรงโน้มถ่วงของโลกที่ระดับความสูง 500 hPa		●		●		
ncepp850gl	ศักยภาพแรงโน้มถ่วงของโลกที่ระดับความสูง 850 hPa		●	●			
ncepprcpgl	ปริมาณน้ำฝน	●	●	●	●	●	●
nceps500gl	ความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูง 500 hPa	●	●	●	●	●	●
nceps850gl	ความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูง 850 hPa			●	●	●	●
ncepslumgl	ความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความสูง 1,000 hPa	●				●	
nceptempgl	อุณหภูมิเฉลี่ยที่ระดับความสูง 2 m			●	●		

หมายเหตุ : สถานี 1 คือ 030333, สถานี 2 คือ 060131, สถานี 3 คือ กรุงเทพมหานคร, สถานี 4 คือ ชลบุรี/สัตหีบ, สถานี 5 คือ เขาสวนผึ้ง และ สถานี 6 คือ พัทลุง

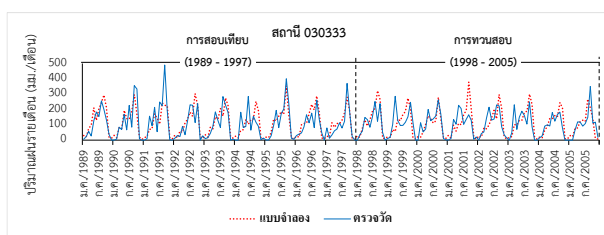
4.3 ภาพฉายอนาคตของปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่

แสดงผลการฉายภาพอนาคตของปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่รายจังหวัดที่ครอบคลุม พื้นที่การศึกษา ได้แก่ ฉะเชิงเทรา ชลบุรี และระยอง ภายใต้ 3 กรณี ได้แก่ RCP2.6

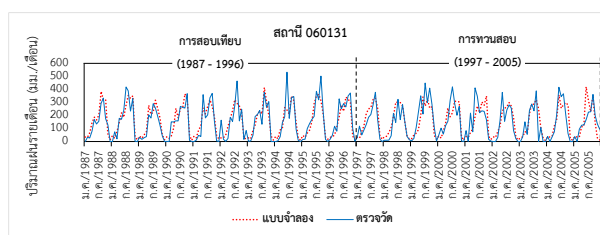
ไกลจากปัจจุบัน (Long period) ค.ศ.2036 – 2099 เปรียบเทียบกับปริมาณฝนตรวจวัดเฉลี่ยเชิงพื้นที่ช่วงเวลา ค.ศ.1980 – 2019 แสดงดังรูปที่ 3 ถึง รูปที่ 5 จากการเปรียบเทียบของจังหวัด ฉะเชิงเทรา ทั้งระยะเวลานานคือนานใกล้ปัจจุบันและระยะเวลา

ตารางที่ 2 ผลการสอบเทียบและทวนสอบจากการลดมาตราส่วนทางสถิติของข้อมูลปริมาณฝนแต่ละสถานี (พลเพชร สมานมิตร และคณะ, 2563)

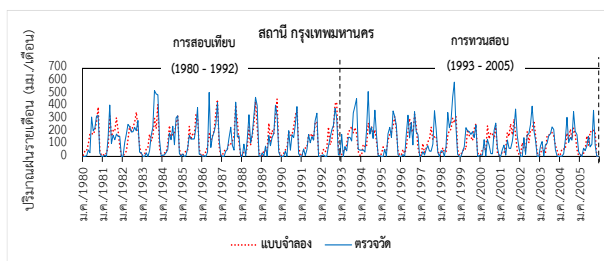
สถานี	การสอบเทียบ			การทวนสอบ		
	R ²	NSE	RMSE	R ²	NSE	RMSE
030333	0.61	0.60	64.90	0.47	0.30	66.80
060131	0.77	0.77	65.39	0.62	0.59	81.87
กรุงเทพมหานคร	0.73	0.73	70.58	0.53	0.52	87.50
ชลบุรี/สัตหีบ	0.70	0.70	58.21	0.35	0.24	88.47
เขาอีโต้	0.74	0.73	75.81	0.57	0.47	100.54
พัทลุง	0.71	0.70	47.67	0.57	0.56	60.02



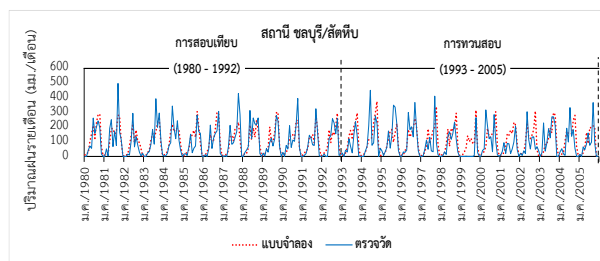
(ก)



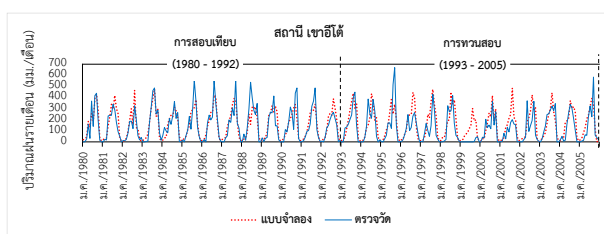
(ข)



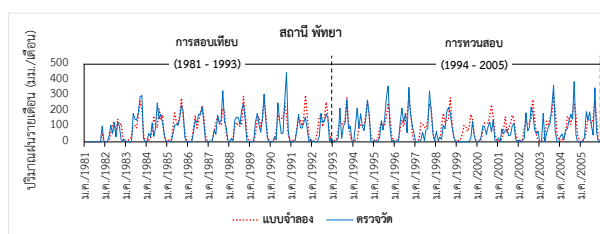
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

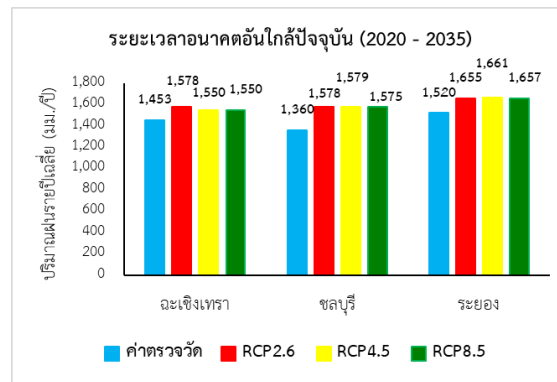
รูปที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณฝนตรวจวัดกับปริมาณฝนจากการลดมาตราส่วนทางสถิติของสถานีต่าง ๆ (พลเพชร สมานมิตร และคณะ, 2563)

RCP4.5 และ RCP8.5 แบ่งเป็น ระยะเวลานานคือนานใกล้ปัจจุบัน (Short period) คือ ค.ศ. 2020 – 2035 และระยะเวลานานคือนาน

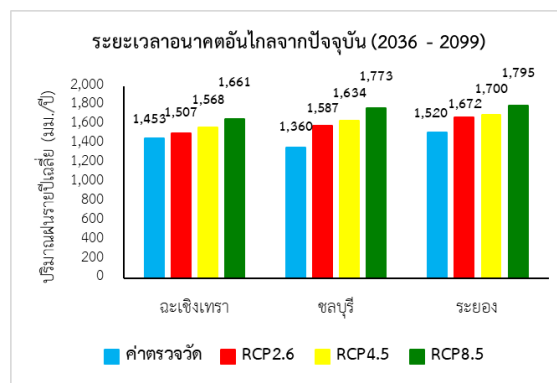
อนาคตนานไกลจากปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยกรณี RCP2.6 เพิ่มขึ้นร้อยละ 3 – 9 ส่วนกรณี RCP4.5 เพิ่มขึ้นร้อยละ 6 – 8

และกรณี RCP8.5 เพิ่มขึ้นร้อยละ 6 – 14 ในส่วนของจังหวัดชลบุรี ทั้งระยะเวลาอนาคตอันใกล้ปัจจุบันและระยะเวลาอนาคตอันไกลจากปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยกรณี RCP2.6 เพิ่มขึ้นร้อยละ 16 – 17 ส่วนกรณี RCP4.5 เพิ่มขึ้นร้อยละ 16 – 20 และกรณี RCP8.5 เพิ่มขึ้นร้อยละ 15 – 30 ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีร้อยละการเพิ่มขึ้นมากที่สุด และจังหวัดระยอง มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับสองจังหวัดแรกทั้งระยะเวลาอนาคตอันใกล้ปัจจุบันและระยะเวลาอนาคตอันไกลจากปัจจุบัน โดยกรณี RCP2.6 เพิ่มขึ้นร้อยละ 8 – 10 ส่วนกรณี RCP4.5 เพิ่มขึ้นร้อยละ 9 – 12 และกรณี RCP8.5 เพิ่มขึ้นร้อยละ 9 – 12 จากการพิจารณาผลรูปที่ 3 จึงกล่าวได้ว่าในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทุกกรณีมีโอกาสที่ปริมาณฝนรายปีจะเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนักซึ่งขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของฝนแต่ละจังหวัดด้วย แต่ผลในรูปที่ 3 เป็นค่าเฉลี่ย เพื่อให้เห็นความแปรปรวนตามช่วงเวลาอนาคตในปีต่าง ๆ จึงแสดงผลต่อไปในรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 พิจารณาปริมาณฝนตรวจวัดเฉลี่ยเชิงพื้นที่กับภาพฉายอนาคตของปริมาณฝนรายปีช่วงปี ค.ศ.2006 – 2019 พบว่า มีแนวโน้มทั้งเหมือนและแตกต่างกับทั้ง 3 กรณี ทั้งเชิงปริมาณและความแปรปรวนที่เพิ่มขึ้นและลดลงที่แตกต่างกันในแต่ละปี ซึ่งความแตกต่างนี้เกิดขึ้นภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่แตกต่างกัน สำหรับการกระจายตัวของปริมาณฝนเชิงพื้นที่ทั้งปริมาณฝนตรวจวัดเฉลี่ยเชิงพื้นที่ และภาพฉายอนาคตของปริมาณฝนรายปีเชิงพื้นที่ทั้งระยะเวลาอนาคตอันใกล้ปัจจุบัน และ ระยะเวลาอนาคตอันไกลจากปัจจุบัน มีรูปแบบการกระจายตัวที่ยังคงเป็นลักษณะเดิม คือพื้นที่แถบที่ติดทะเลของจังหวัดชลบุรีและระยองจะเป็นส่วนที่มีปริมาณฝนน้อยและเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ มายังตอนกลางของพื้นที่และมีปริมาณฝนมากที่สุดในแถบที่ติดกับจังหวัดจันทบุรีที่มีปริมาณฝนรายปีมาก (1,500 – 2,500 mm/year) ซึ่งมีอิทธิพลต่อพื้นที่การศึกษาด้วย แต่ในอนาคตปริมาณฝนจะมีความแตกต่างกัน คือ การเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในแต่ละกรณี ได้แก่ RCP2.6 RCP4.5 และ RCP8.5 แสดงดังรูปที่ 5



(ก)



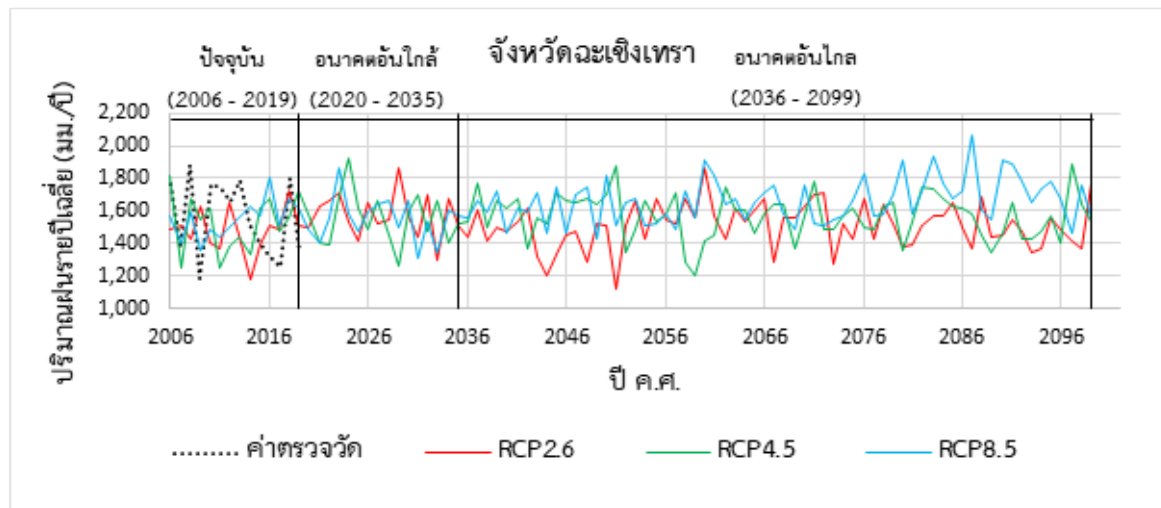
(ข)

รูปที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่กรณีต่าง ๆ

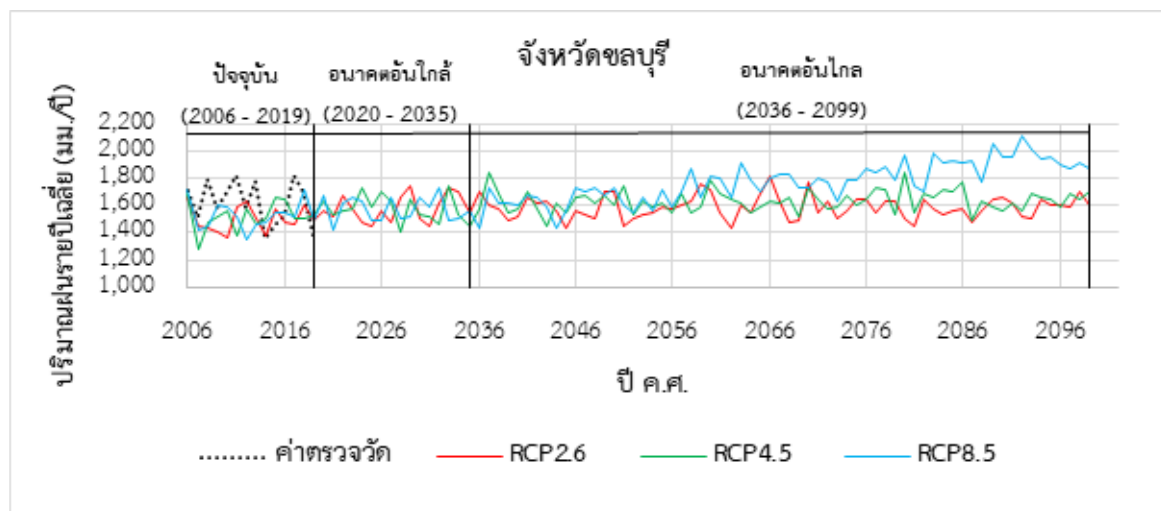
4.4 ภาพฉายอนาคตของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยเชิงพื้นที่

แสดงผลเป็นกราฟแท่งเปรียบเทียบระหว่างปริมาณฝนรายเดือนตรวจวัดเชิงพื้นที่กับภาพฉายอนาคตของปริมาณฝนรายเดือนกรณี RCP2.6 RCP4.5 และ RCP8.5 แบ่งเป็นระยะเวลาอนาคตอันใกล้ปัจจุบัน (Short period) คือ ช่วงปี ค.ศ.2020 – 2035 และ ระยะเวลาอนาคตอันไกลจากปัจจุบัน (Long period) ช่วงปี ค.ศ.2036 – 2099 แสดงดังรูปที่ 6

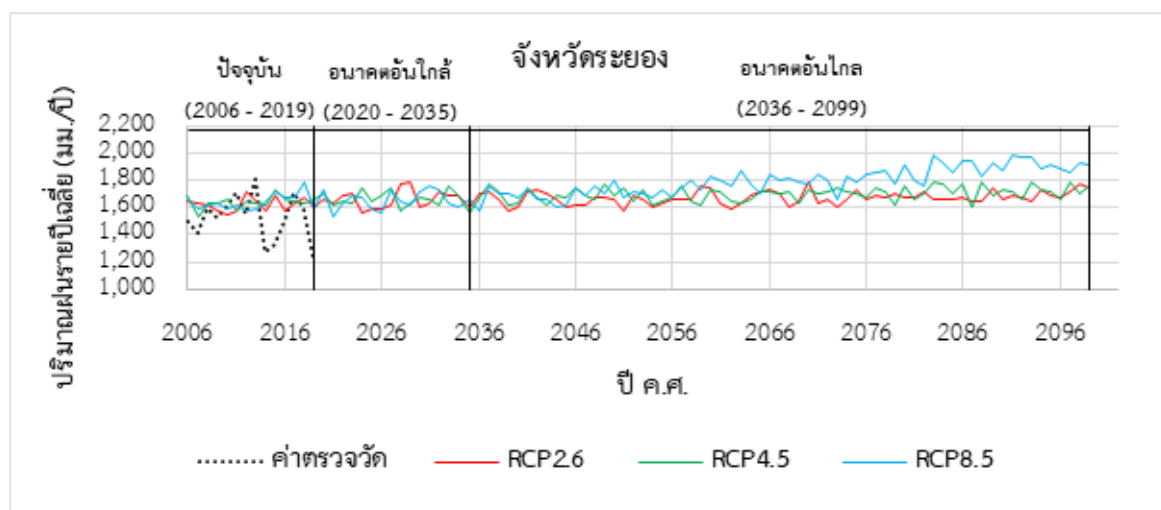
พิจารณาจังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่า ทั้งระยะเวลาอนาคตอันใกล้ปัจจุบันและระยะเวลาอนาคตอันไกลจากปัจจุบัน มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกัน โดยมีปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยลดลงมากที่สุดในเดือนพฤศจิกายน (เปลี่ยนแปลงร้อยละ 61 – 70) ส่วนช่วงเดือนที่ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นมากที่สุดคือเดือนกันยายน (เปลี่ยนแปลงร้อยละ 38 – 89) โดยปริมาณฝนรายเดือนตรวจวัดเชิงพื้นที่ของจังหวัดฉะเชิงเทราจะมีปริมาณฝนมากที่สุดในเดือนกันยายน ซึ่งภาพฉายอนาคตของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยมีแนวโน้มเช่นเดียวกับปริมาณฝนตรวจวัดเชิงพื้นที่



(ก)



(ข)

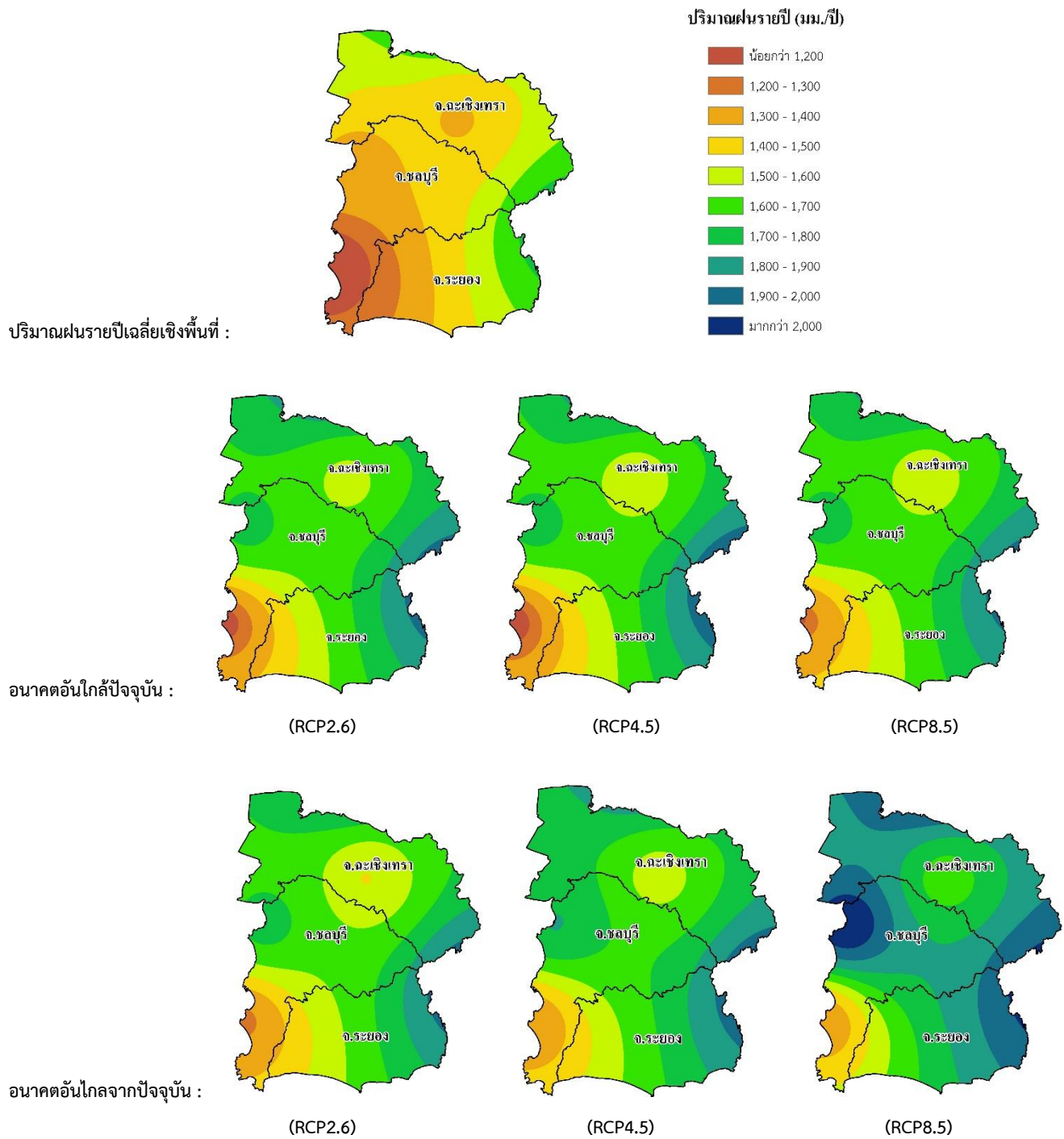


(ค)

รูปที่ 4 เปรียบเทียบปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่รายจังหวัดกรณีต่าง ๆ

ในส่วนของจังหวัดชลบุรีและระยอง ทั้งระยะเวลาอนาคตอันใกล้ปัจจุบันและระยะเวลาอนาคตอันไกลจากปัจจุบัน มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงภาพรวมเหมือนกัน แต่เดือนที่มีปริมาณฝนลดลงมากที่สุดมีความแตกต่างกัน โดยอนาคตอันใกล้ เดือนมกราคมมีการเปลี่ยนแปลงลดลงร้อยละ 21 – 30

ส่วนระยะเวลาอนาคตอันไกลจากปัจจุบัน เดือนกันยายนเปลี่ยนแปลงลดลงร้อยละ 16 – 33 ส่วนเดือนที่มีปริมาณฝนเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทั้งระยะเวลาอนาคตอันใกล้ปัจจุบันและระยะเวลาอนาคตอันไกลจากปัจจุบันเหมือนกัน คือ พฤษภาคม (มากกว่าร้อยละ 62) เมื่อพิจารณาเดือนที่มีปริมาณฝนตรวจวัด

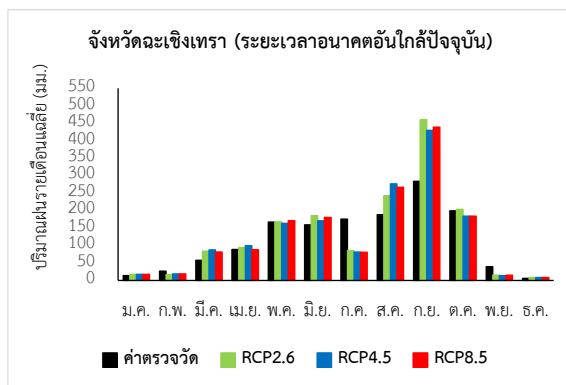


รูปที่ 5 แผนที่การกระจายตัวของปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ที่กรณีต่าง ๆ

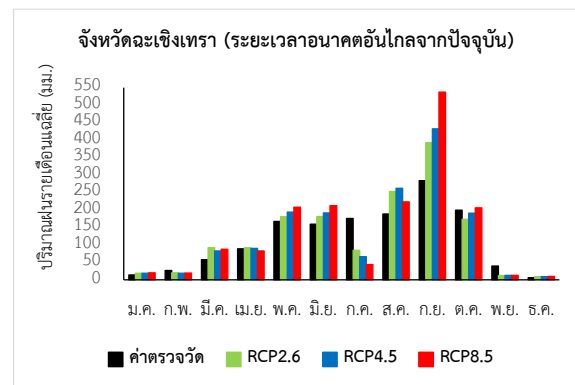
รายเดือนเฉลี่ยเชิงพื้นที่ที่สูงที่สุด คือ กันยายน แต่จากภาพฉายอนาคตของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยมีการเปลี่ยนช่วงเดือนที่มีปริมาณฝนสูงสุดเป็นเดือนพฤษภาคมและเดือนตุลาคม

แสดงให้เห็นว่าในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามนิยามของ RCPs มีโอกาสเกิดความแปรปรวนของปริมาณฝนในพื้นที่การศึกษา ซึ่งหากพิจารณาในรูปแบบ

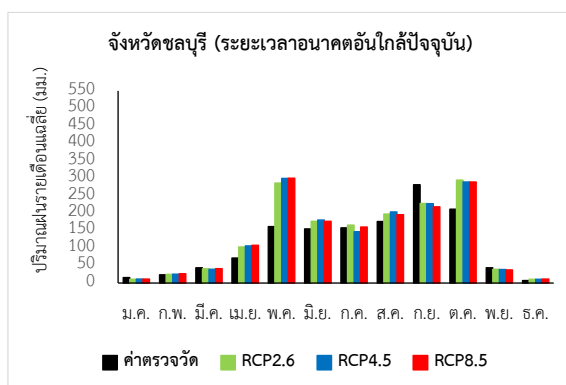
ปริมาณฝนรายปีมีโอกาสมากขึ้นและก็อาจลดลงสลับช่วงกันในอนาคตแต่ละปี แต่เมื่อพิจารณาในรูปแบบปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย แสดงให้เห็นว่าอาจมีการเปลี่ยนแปลงช่วงเดือนที่ฝนตกทั้งเดือนที่มีปริมาณฝนตกน้อยและเดือนที่มีปริมาณฝนตกมากหรืออาจมีแนวโน้มเหมือนสถานการณ์ปัจจุบันดังเช่นจังหวัดฉะเชิงเทรา



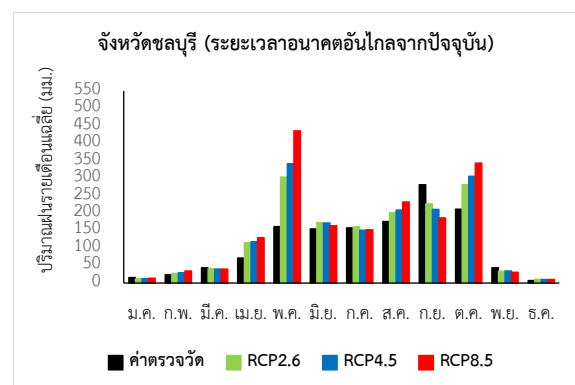
(ก)



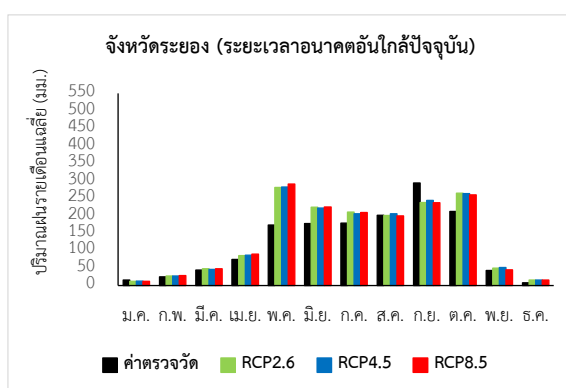
(ข)



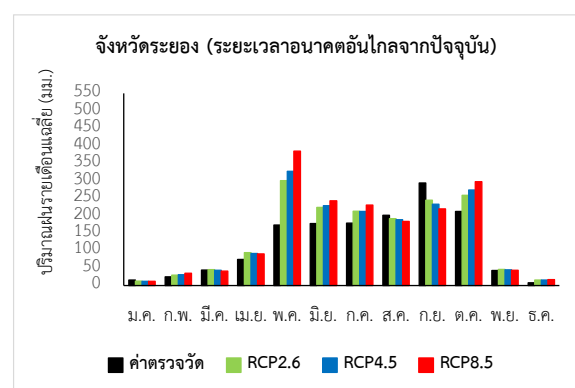
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

หมายเหตุ : ค่าตรวจวัด = ปริมาณฝนตรวจวัดรายเดือนเฉลี่ย, ระยะเวลาอนาคตอันใกล้ปัจจุบัน = ช่วงปี ค.ศ.2020 - 2035 และ ระยะเวลาอนาคตอันไกลจากปัจจุบัน = ช่วงปี ค.ศ. 2036 - 2099

รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบภาพฉายอนาคตของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยกรณีต่าง ๆ เมื่อเทียบกับปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยตรวจวัด

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบต่อปริมาณฝน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่รองรับการพัฒนาโครงการเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลอง CanESM2 ภายใต้ 3 สถานการณ์ คือ RCP2.6, RCP4.5 และ RCP8.5 โดยแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ระยะเวลาอนาคตอันใกล้ปัจจุบัน (Short period) คือ ช่วงปี ค.ศ.2020 – 2035 และระยะเวลาอนาคตอันไกลจากปัจจุบันไกล (Long period) ช่วงปี ค.ศ.2036 – 2099 ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จากภาพฉายอนาคตของปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยเชิงพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณฝนตรวจวัดรายปีเฉลี่ย โดยกรณี RCP2.6 เพิ่มขึ้นร้อยละ 3 – 17 ส่วนกรณี RCP4.5 เพิ่มขึ้นร้อยละ 6 – 20 และกรณี RCP8.5 เพิ่มขึ้นร้อยละ 6 – 30 เมื่อพิจารณาภาพฉายอนาคตของปริมาณฝนรายเดือนเชิงพื้นที่ในส่วนของจังหวัดชลบุรีและระยอง พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเดือนที่เกิดปริมาณฝนสูงสุดจากเดือนกันยายนเป็นพฤษภาคมและตุลาคม แต่จังหวัดฉะเชิงเทรายังคงเกิดปริมาณฝนสูงสุดในเดือนกันยายนเช่นเดิม สำหรับผลการวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำในอนาคตระยะยาว เพื่อเตรียมพร้อมในการปรับตัวภายใต้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนในอนาคตได้อย่างเหมาะสม และเป็นข้อมูลสนับสนุนงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีการดำเนินการวิจัยในพื้นที่การศึกษาต่อไป

จากผลการวิจัยนี้สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในการวิจัยต่อเนื่อง เช่น การวิเคราะห์ดัชนีความแห้งแล้ง (Drought Index) ซึ่งมีการวิเคราะห์ในรูปแบบข้อมูลรายเดือนหรือรายปี รวมถึงสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำทำในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือเป็นข้อมูลประกอบการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำภาคเกษตรกรรมในส่วนของการคำนวณฝนใช้การ ดังนั้น เมื่อผ่านกระบวนการนำข้อมูลจากงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์แล้วจะทำให้สามารถวิเคราะห์สมดุลน้ำและการขาดแคลนน้ำเพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำของพื้นที่การศึกษาต่อไป ทั้งนี้ยังสามารถพัฒนาผลการวิจัยให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น คือ การปรับค่าอคติ (Bias Correction) ซึ่งทำให้ปริมาณฝนรายเดือนมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นและอาจสามารถวิเคราะห์ได้ถึงฝนรายวันได้

แต่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำในรูปแบบรายฤดูกาลหรือรายปีและไม่มีมีการปรับแก้ค่าอคติเชิงวิเคราะห์ในรูปแบบฝนรายเดือนและฝนรายปี

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยและคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ในการให้คำแนะนำสำหรับกระบวนการวิจัย จึงขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง ที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

7. เอกสารอ้างอิง

เกศวรา สิทธิโชค, จุติเทพ วงษ์เพ็ชร, นิธิรัตน์ สงวนเดือน และ ไซยาพงษ์ เทพประสิทธิ์. (2561). *ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำทำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัลลภ สุวรรณมาลัย, จุติเทพ วงษ์เพ็ชร และ เกศวรา สิทธิโชค. (2562). การคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศโลกที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลสภาพภูมิอากาศท้องถิ่นที่มีอิทธิพลต่อความต้องการน้ำของพืชในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง. *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 20* (น. 179-185). สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.

พลเพชร สมานมิตร, จุติเทพ วงษ์เพ็ชร, ทรงศักดิ์ ภัทราวุฒิชัย และ บัญชา ขวัญยืน. (2562). การลดมาตราส่วนทางสถิติสำหรับฝนรายวันภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: กรณีศึกษาสถานีอุตุนิยมวิทยาชลบุรี-สัตหีบ. *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 16* (น. 373-382). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

พลเพชร สมานมิตร, จุติเทพ วงษ์เพ็ชร, เกศวรา สิทธิโชค และ บัญชา ขวัญยืน. (2563). การลดมาตราส่วนทางสถิติสำหรับฝนรายเดือนภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่โครงการ

- เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก. การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 4 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา (น.362-369). https://www.src.ku.ac.th/conference/Proceeding_2020
- พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2540). วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. สำนักพิมพ์กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- รัฐพงศ์ ชัยเอิก, ปริม ชูคากร และ วรณพร จันโทภาส. (2560). วิธีการคัดเลือกตัวแปรในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สุเพชร จิระจกุล. (2555). เรียนรู้ระบบภูมิสารสนเทศด้วยโปรแกรม ArcGIS Desktop 9.3.1. ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. (2562). โครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนหลักการพัฒนาและจัดการทรัพยากรน้ำภาคตะวันออก. http://www.onwr.go.th/?page_id=3924
- อภินันท์ พิชโรภาสวัฒนกุล. (2553). ผลกระทบและแนวทางการปรับตัวของเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลังต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ กรณีศึกษา: จังหวัดนครราชสีมา. วารสารเศรษฐศาสตร์และนโยบายสาธารณะ, 8(16), 18-27.
- Asharaf, S. & Ahrens, B. (2014). Indian Summer Monsoon Rainfall Processes in Climate Change Scenarios. *American Meteorological Society*, 28, 5414-5429.
- Bonsal, B. R. & Prowse, T. D. (2005). Regional Assessment of GCM-Simulated Current Climate over Northern Canada. *The Arctic Institute of North America*, 59, 115-128.
- Gebremedhin, M. A., Abraha, A. Z. & Fenta, A. A. (2018). Changes in future climate indices using Statistical Downscaling Model in the upper Baro basin of Ethiopia. *Theor Appl Climatol*, 133, 39-46.
- Huang, Y. F., Ang, J. T., Tionga, Y. J., Mirzaei, M. & Mat, M. Z. (2016). Drought Forecasting using SPI and EDI under RCP-8.5 Climate Change Scenarios for Langat River Basin, Malaysia. *Procedia Engineering*, 154, 710-717.
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: *Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. Geneva. Switzerland.
- Jam, A. S., Reihan, M. K., Saravi, M. M., Bazrafshan, J. & Sigaroudi, S. K. (2017). Investigation of Climate Change Effect on Drought Characteristics in the Future Period using the HadCM3 model (Case Study: Khoy Station, Northwest of Iran). *Desert*, 22(1), 43-50.
- 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. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885-900.
- Yamal, B., Comrie, A. C., Frakes, B. & Brown, D. P. (2002). Developments and prospects in synoptic climatology. *The 21th International Journal of Climatology* (pp. 1923-1950). <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.675>
- Wilby, R. L., Dawson, C. W. & Barrow, E. M. (2001). SDSM a decision support tool the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17(2), 145-157.