



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การเปรียบเทียบวิธีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของปริมาณฝนจากแบบจำลอง ภูมิอากาศโลกเพื่อประเมินปริมาณฝนภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ CMIP6

Comparison of bias correction methods for general circulation rainfall projections under CMIP6 climate change scenarios

รวีพร นฤดีศรีอุทัย ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์ เกศวรา สิทธิโชค*

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครปฐม 73140

Raweepohn Narudeesri-utai Chuphan Chompuchan Ketvara Sittichok*

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

* Corresponding author.

E-mail: fengkrs@ku.ac.th; Telephone: 06 2514 4739

วันที่รับบทความ 13 มิถุนายน 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 9 กันยายน 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 27 ธันวาคม 2567

วันที่ตอบรับบทความ 28 มกราคม 2568

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการปรับแก้ค่าทางสถิติของปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก 11 แบบจำลอง จำนวน 3 วิธี ได้แก่ Linear Scaling (LS), Local Intensity Scaling (LOCI) และ Distribution mapping (DM) โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CMhyd และนำผลที่ได้ไปประเมินการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ CMIP6 (SSP5-8.5) ในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย จากสถานีตรวจวัดฝนทั้งสิ้นจำนวน 15 สถานีในช่วงปี ค.ศ. 1980 – 2014 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากทุกแบบจำลองภูมิอากาศโลกร่วมกัน วิธี LS มีค่าสถิติวิเคราะห์ดีที่สุดที่เหมาะสมในการนำมาคาดการณ์ปริมาณฝนในอนาคต นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์แนวโน้มปริมาณฝนภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ด้วยวิธี Mann-Kendall trend test (MK) และ Sen's slope (SS) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าพื้นที่ภาคใต้ส่วนใหญ่มีแนวโน้มของปริมาณฝนรายปีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจำนวน 8 สถานี และปริมาณฝนตามฤดูกาลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจำนวน 7 สถานี ทั้งในฤดูฝนและฤดูร้อน และเมื่อประเมินปริมาณฝนเฉลี่ยของพื้นที่ภาคใต้ภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5 โดยแบ่งเป็น 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงปี ค.ศ. 2015-2039 (Near-future), 2040-2069 (Mid-future) และ 2070-2100 (Far-future) พบว่าปริมาณฝนทั้ง 3 ช่วงเวลามีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเท่ากับร้อยละ 0.60, 5.87 และ 8.16 ตามลำดับ

คำสำคัญ

วิธีปรับแก้ความคลาดเคลื่อน การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ-CMIP6 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก ภาพฉายปริมาณฝนในอนาคต ภาคใต้ประเทศไทย

Abstract

The study conducted a comparison of three bias correction methods, namely linear scaling (LS), local intensity scaling (LOCI), and distribution mapping (DM). The CMhyd application was utilized to perform bias correction on rainfall datasets obtained from 11 global climate models. The observed rainfall data collected from 15 rain gauges in the southern region of Thailand between 1980 and 2014 were subsequently projected under climate change CMIP6 SSP5-8.5 scenario. Results

revealed that the LS approach presented the most precise predictions in comparison to the observed data. Analysis of rainfall trends under climate change scenario using the Mann-Kendall trend test (MK) and Sen's slope (SS) at a 0.05 significance level revealed a substantial increase in annual rainfall at 8 out of 15 stations during the rainy season, and at 7 stations during dry season. The study area experienced a 0.60% increase in average rainfall under SSP5-8.5 during the near-future period of 2015-2039. This increase further rose to 5.87% during the mid-future period of 2040-2069 and reached 8.16% during the far-future period of 2070-2100.

Keywords

bias correction; climate change-CMIP6; general circulation models; future projections of rainfall; southern Thailand

1. บทนำ

ภาคใต้เป็นภูมิภาคหนึ่งของประเทศไทยตั้งอยู่บนคาบสมุทรมาลายูขนานด้วยอ่าวไทยทางฝั่งตะวันออก และทะเลอันดามันทางฝั่งตะวันตก สำหรับในส่วนของสภาพภูมิอากาศพบว่าอยู่ภายใต้อิทธิพลของภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน (Tropical monsoon climate) และได้รับอิทธิพลของลมมรสุมอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้มีฝนตกตลอดปี และเป็นภูมิภาคที่มีฝนตกมากที่สุด เมื่อพิจารณาจากลักษณะภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ ภูมิภาคนี้จึงมีความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศตามธรรมชาติ และผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่อาจเกิดขึ้นโดยพบว่านอกเหนือจากอิทธิพลของลมมรสุมประจำฤดูกาลที่พัดเข้าสู่ภาคใต้แล้ว ผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ซึ่งพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น พายุมีความรุนแรงมากขึ้น ปริมาณฝนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นและลดลงในบางพื้นที่ [1] และมีการเกิดฝนตกนอกฤดูกาล ซึ่งปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นและรูปแบบการเกิดฝนนอกฤดูกาลส่งผลให้เกิดปัญหาอุทกภัยที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อประชาชนในพื้นที่ และเป็นสาเหตุให้ระบบเศรษฐกิจในภาพรวมของทั้งประเทศเสียหาย

ปัจจุบันมีการศึกษาและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยอาศัยแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (General Circulation Models, GCMs) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาระบบภูมิอากาศโลกทั้งในอดีตและอนาคตอย่างแพร่หลาย นักวิจัยจากหลายสถาบันทั่วโลกได้พัฒนาแบบจำลอง GCMs อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี ค.ศ. 1995 จนถึงปัจจุบัน เพื่อพัฒนาแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้สำหรับจำลองระบบภูมิอากาศ [2] แม้ว่าการใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลกจะประสบความสำเร็จในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองบางส่วนยังคง

มีข้อจำกัดเนื่องจากค่าความละเอียดเชิงพื้นที่ ตัวอย่างเช่น ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกส่วนใหญ่เมื่อนำมาศึกษาในพื้นที่ระดับท้องถิ่นยังคงมีความละเอียดไม่เพียงพอซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอธิบายสภาพภูมิอากาศก่อนการนำมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่ [3]

วิธีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเป็นวิธีการทางสถิติซึ่งสามารถทำได้ด้วยหลายวิธีด้วยกัน โดยการปรับแก้ปริมาณฝนวิธีที่นิยมใช้ ได้แก่ Linear Scaling (LS) และ Distribution mapping (DM) ซึ่งจากการทบทวนการศึกษาค้นคว้าเปรียบเทียบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ผ่านมา พบว่า Crochemore และคณะ [4] ได้ปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติประกอบด้วยสองวิธีหลักได้แก่ LS และ DM เพื่อเปรียบเทียบตลอดจนการใช้ Empirical distribution และ Gamma distribution ของข้อมูลรายเดือนและรายวัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายฤดูกาลในพื้นที่ 16 ลุ่มน้ำของประเทศฝรั่งเศส พบว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำโดยส่วนใหญ่วิธี Empirical distribution และ LS มีประสิทธิภาพที่ดีในการปรับความเอนเอียงรายปีและรายเดือน ส่งผลให้มีความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของข้อมูลปริมาณฝนและอัตราการไหลมากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นสำหรับในประเทศไทย วินัย และคณะ [5] ได้มีการใช้เทคนิคปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี LS เพื่อเพิ่มความละเอียด และลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง นำมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้หรือคาบการเกิดร่วมกับภาวะวิกฤตภัยแล้ง 10 ดัชนีในประเทศไทย

นอกจากเทคนิคการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลอง Climate Model data for hydrologic modeling (CMhyd) เพื่อ

ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับโลกและระดับภูมิภาคเพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดย Zhang และคณะ [6] ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง CMhyd ในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเพื่อศึกษาผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงพลศาสตร์การไหลของแม่น้ำแกรนด์ และแม่น้ำเทมส์ของแอ่งทะเลสาบอีรีทางตอนเหนือ ด้วยวิธี LS, DM, Local Intensity Scaling (LOCI), Power Transformation (PT) และ Variance Scaling (VS) พบว่าวิธี LS แสดงประสิทธิภาพการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าวิธี PT และ DM มีประสิทธิภาพสูงที่สุด Siabi และคณะ [7] ได้ศึกษาผลกระทบต่อปริมาณฝนและอุณหภูมิในเขตมหานครอัครา ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ CMIP6 สถานการณ์ SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 และ SSP5-8.5 และ Senganatham และคณะ [8] ได้ประเมินพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม คงเซโดน จังหวัดสาละวัน สปป.ลาว จากแบบจำลอง MPI-ESM-MR ภายใต้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับปานกลาง (RCP4.5) และระดับสูงมาก (RCP8.5) โดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง CMhyd ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี DM และ LS ตามลำดับ นอกจากนี้สำหรับประเทศไทยยังพบว่าแบบจำลอง CMhyd ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานของ กิตติเวช [9] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่งผลมาจากการเกิดอุทกภัย ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำพองตอนล่าง โดยได้มีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี LS ภายใต้สถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก RCP4.5 และ RCP8.5

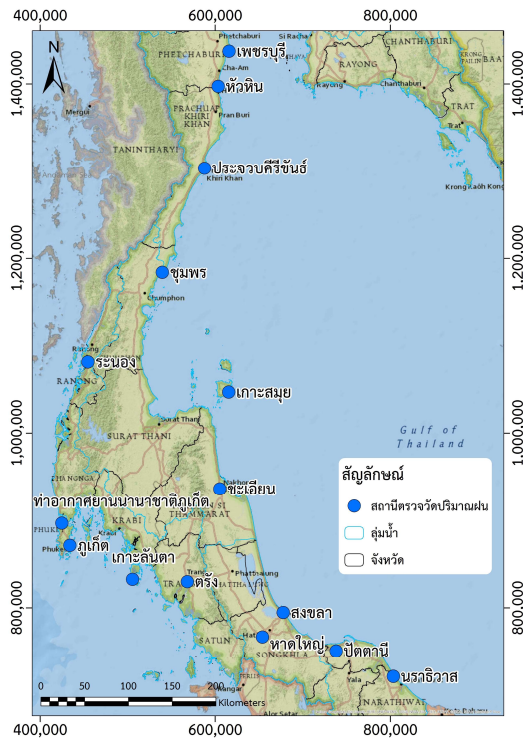
เพื่อให้การประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความแตกต่างของวิธีการปรับแก้ค่าทางสถิติทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ Linear Scaling, Local Intensity Scaling และ Distribution mapping โดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง CMhyd และนำค่าสถิติวิเคราะห์ดีที่สุดมาวิเคราะห์ปริมาณฝนในอนาคตในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ CMIP6 สถานการณ์ SSP5-8.5 (Shared Socioeconomic Pathways: SSP) ซึ่งเป็นกรณีที่เส้นทางอนาคตมีการได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ (Radiative forcing) และมีความเข้มข้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สูงที่สุด เพื่อ

ประเมินถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยที่อาจได้รับหากมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สูง ซึ่งผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งในการประกอบการวางแผนการใช้ทรัพยากรน้ำเพื่อเตรียมรับมือกับปัญหาทางด้านภัยแล้งและน้ำท่วม ตลอดจนการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ต่อไปในอนาคต

2. วิธีการศึกษา

2.1 พื้นที่ศึกษา

ภาคใต้ เป็นภูมิภาคหนึ่งของประเทศไทย ตั้งอยู่บนคาบสมุทรมาลายู ขนาบด้วยอ่าวไทยทางฝั่งตะวันออก และทะเลอันดามันทางฝั่งตะวันตก (รูปที่ 1) มีเนื้อที่รวม 73,848 ตารางกิโลเมตร ทุกจังหวัดของภาคมีพื้นที่ติดชายฝั่งทะเล ยกเว้นจังหวัดยะลาและจังหวัดพัทลุง สำหรับในส่วนของสภาพภูมิอากาศ พบว่าอยู่ภายใต้อิทธิพลของภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน (Tropical monsoon climate) แต่เนื่องจากได้รับอิทธิพลของลมมรสุม จึงทำให้มีฝนตกตลอดปีและเป็นภูมิภาคที่มีฝนตกมากที่สุด โดยมีปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีของทั้งพื้นที่อยู่ในช่วงระหว่าง 1,482.46 - 3,071.54 มิลลิเมตร โดยจังหวัดที่ตั้งอยู่ทางด้านตะวันตกของภาคจะมีฝนตกมากกว่าจังหวัดที่ตั้งอยู่ทางด้านตะวันออกของภาค เมื่อพิจารณาข้อมูลรายจังหวัด พบว่าจังหวัดระนองมีปริมาณฝนตกเฉลี่ยมากที่สุดประมาณ 4,026.27 มิลลิเมตร และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (พื้นที่บริเวณสถานีหัวหิน) มีปริมาณฝนตกเฉลี่ยน้อยที่สุดประมาณ 933.84 มิลลิเมตร และจากข้อมูลสถิติที่ผ่านมาพบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่จังหวัดตรัง 39.7 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเคียดต่ำสุดที่จังหวัดชุมพร 12.12 องศาเซลเซียสจากกรมอุตุนิยมวิทยา

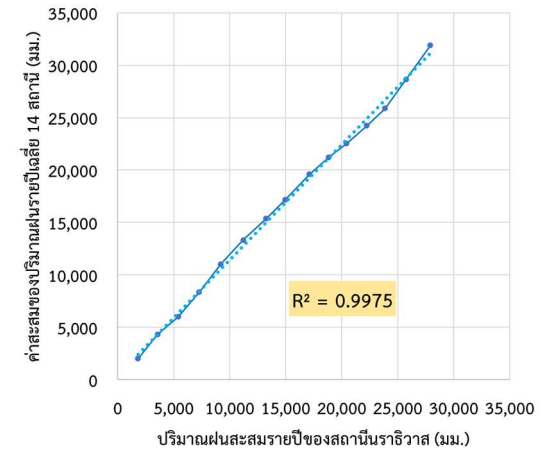
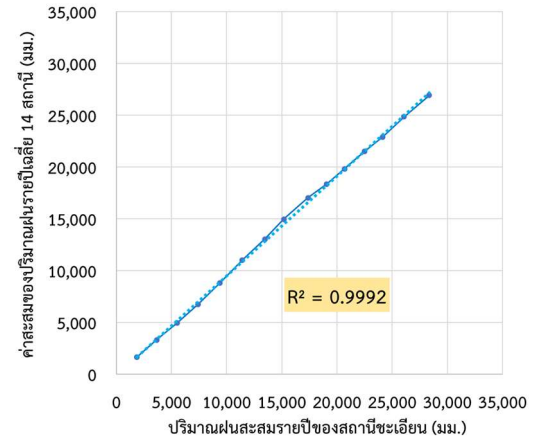


รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา

2.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

2.2.1 ข้อมูลฝนตรวจวัด

การศึกษานี้ได้รวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายวันในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยเป็นเวลา 43 ปี ระหว่างปี พ.ศ. 2523 – 2565 (ค.ศ. 1980 – 2022) จาก National Centers for Environmental Information (NCEI) จำนวน 15 สถานี และได้มีการประเมินถึงข้อมูลปริมาณฝนที่ขาดหาย (% Missing Data) ของแต่ละสถานี โดยมีรายละเอียดสถานี ตำแหน่งที่ตั้ง และข้อมูลที่ขาดหาย แสดงดังตารางที่ 1 และรูปที่ 1 นอกจากนี้ยังได้มีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณฝนรายปีโดยวิธีการเส้นโค้งทับทวี (Double mass curve) ซึ่งผลการตรวจสอบปริมาณฝนโดยวิธีเส้นโค้งทับทวี ตัวอย่างของสถานีชะเอียนและนราธิวาส แสดงดังรูปที่ 2 พบว่าค่า R^2 ของทุกสถานีมีค่าประมาณ 0.9



รูปที่ 2 ตัวอย่างผลการตรวจสอบปริมาณฝนโดยวิธีเส้นโค้งทับทวี

ตารางที่ 1 ข้อมูลสถานีตรวจวัด

ลำดับ	ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูงจาก ระดับน้ำทะเล	ข้อมูลที่ ขาดหาย (ร้อยละ)
		(N)	(E)	(ม.รทก.)	
1	ชะเอียน	8.47	99.96	13.41	0.31
2	ชุมพร	10.71	99.36	5.48	4.36
3	หาดใหญ่	6.93	100.39	27.43	1.55
4	หัวหิน	12.64	99.95	18.89	2.88
5	เกาะลันตา	7.53	99.05	3.00	8.29
6	เกาะสมุย	9.47	100.05	5.00	1.70
7	นราธิวาส	6.52	101.74	4.87	2.77
8	ปัตตานี	6.79	101.15	2.43	1.13
9	ประจวบคีรีขันธ์	11.79	99.80	3.04	1.28
10	เพชรบุรี	13.00	100.07	3.77	1.55
11	ภูเก็ต	7.88	98.40	4.00	1.28
12	ท่าอากาศยาน นานาชาติภูเก็ต	8.11	98.32	24.99	3.38
13	ระนอง	9.78	98.59	17.37	2.50
14	สงขลา	7.19	100.61	3.65	1.62
15	ตรัง	7.51	99.62	20.42	1.41

2.2.2 ข้อมูลฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก

การศึกษาครั้งนี้ได้นำข้อมูลปริมาณฝนรายวันจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (Global Circulation Models, GCMs) ตั้งแต่ในช่วงอดีตที่ผ่านมา (ค.ศ. 1980 - 2014) จนถึงอนาคต (ค.ศ. 2015 - 2100) จาก CMIP6 มาใช้ในการศึกษา โดยได้มีการคัดเลือกแบบจำลอง GCMs จากผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาเกี่ยวกับการคาดการณ์ปริมาณฝนในงานวิจัยต่าง ๆ ร่วมกับการพิจารณาความละเอียดของผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 100 กิโลเมตร พบว่าแบบจำลอง GCMs ที่มีประสิทธิภาพสูงและนิยมนำมาใช้ในการศึกษามีจำนวน 11 แบบจำลอง เช่นเดียวกันกับงานวิจัยในประเทศไทยของ Sittichok [10] ได้ศึกษาปริมาณฝนในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ AR6 ในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก วินัย และคณะ [5] ได้วิเคราะห์ความเป็นไปได้หรือคาบการเกิดร่วมกับการวิเคราะห์ฝนสุดขั้ว 10 ดัชนี โดยรายละเอียดของแบบจำลอง GCMs ที่เลือกใช้แสดงดังตารางที่ 2 สำหรับกรณีสถานการณ์คาดการณ์ปริมาณฝนในอนาคตในการศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาสถานการณ์ SSP5-8.5 ซึ่งเป็นกรณีที่เส้นทางอนาคต โดยคาดการณ์ว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกระทั่งกลางคริสต์ศตวรรษนี้โดยในปี 2100 จะมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเท่ากับ 950 ส่วนต่อล้านส่วน ขณะที่การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปีจะค่อนข้างคงที่ราว 30 กิกะตัน หรือสามารถประเมินได้ประมาณสี่เท่าของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 8 กิกะตันต่อปีในปี 2000 [5]

นอกจากการพิจารณาข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกในแต่ละแบบจำลอง จากการศึกษาที่ผ่านมา ยังพบว่าเมื่อพิจารณาผลลัพธ์ของทุกแบบจำลองร่วมกัน (Multi-model Ensemble Method) ผลที่ได้จะมีค่าสถิติวิเคราะห์ดีกว่าเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลอง [11-15] ดังนั้นการศึกษานี้จะมีการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของแบบจำลองร่วมกัน (Ensemble mean) ร่วมด้วย

ตารางที่ 2 รายละเอียดของแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก

ลำดับ	แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก	สถาบัน
1	CESM2-WACCM	National Center of Atmospheric Research (NCAR), USA
2	CMCC-CM2-SR5	Euro-Mediterranean Centre on Climate Change Coupled Climate Mode, Italy
3	CMCC-ESM2	Euro-Mediterranean Centre on Climate Change Coupled Climate Model, Italy
4	EC-Earth3	Consortium of European research institution and researchers, Europe
5	EC-Earth3-Veg	Consortium of European research institution and researchers, Europe
6	INM-CM4-8	Institute for Numerical Mathematics, Russia
7	INM-CM5-0	Institute for Numerical Mathematics, Russia
8	MPI-ESM1-2-HR	Max Planck Institute for Meteorology, Germany
9	MRI-ESM2-0	Meteorological Research Institute, Japan
10	NorESM2-MM	Norwegian Climate Center, Norway
11	TaiESM1	Taiwan Earth System Model, Taiwan

2.3 วิธีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อน

เนื่องจากปริมาณฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกส่วนใหญ่มีค่าความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำ ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ในการศึกษาในพื้นที่ที่มีขนาดเล็ก หรือนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับข้อมูลสถานีตรวจวัดอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ จึงควรทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของผลจากแบบจำลองก่อนการศึกษา [16] สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้มีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้วยโปรแกรม CMhyd โดยเลือกวิธีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อน (Bias Correction) ทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ Linear scaling (LS), Local intensity scaling (LOCL) และ

Distribution mapping (DM) (สมการที่ 1-5) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอย่างแพร่หลาย และผลลัพธ์ที่ได้มีประสิทธิภาพ [4-10]

1) Linear Scaling (LS)

$$P_{hst,m,d}^{cor} = P_{hst,m,d} \times \frac{\mu(P_{obs,m})}{\mu(P_{hst,m})} \quad (1)$$

2) Local Intensity Scaling (LOCI)

$$s_m = \frac{\mu(P_{obs,m,d} | P_{obs,m,d} > 0)}{\mu(P_{hst,m,d} | P_{hst,m,d} < P_{thres,m})} \quad (2)$$

$$P_{hst,m,d}^{cor} = \begin{cases} P_{hst,m,d} \times s_m & P_{hst,m,d} > P_{thres,m} \\ 0 & P_{hst,m,d} < P_{thres,m} \end{cases} \quad (3)$$

3) Distribution mapping (DM)

$$f_Y(x|\alpha,\beta) = x^{\alpha-1} * \frac{1}{\beta^\alpha * \Gamma(\alpha)} * e^{-\frac{x}{\beta}} ; x \geq 0; \beta, \alpha > 0 \quad (4)$$

$$P_{hst,m,d}^{cor} = f_Y^{-1}(f_Y(P_{LOCI,hst,m,d} | \alpha_{LOCI,hst,m}, \beta_{LOCI,hst,m}) | \alpha_{obs,m}, \beta_{obs,m}) \quad (5)$$

โดยที่ $P_{hst,m,d}^{cor}$ คือปริมาณฝนรายวันที่ได้จากการปรับแก้ความคลาดเคลื่อน (Corrected rainfall) $P_{hst,m,d}$ คือปริมาณฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (Rainfall from original GCM) $P_{thres,m}$ คือเกณฑ์ความเข้มของฝน (Rainfall intensity threshold) d คือวัน (daily time series) m คือเดือน, $m = 1,2,3,...,12$ μ คือ ค่าเฉลี่ย (mean) s_m คือ แฟคเตอร์สำหรับปรับ (Scaling factor) Γ คือฟังก์ชันแกมมา (Gamma function) α คือพารามิเตอร์บอกรูปร่าง (shape paramet) β คือพารามิเตอร์บอกขนาด (Scale parameter) F_Y คือฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบแกมมา (Gamma cumulative distribution function) F_Y^{-1} คือส่วนกลับของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบแกมมา (inverse function of F_Y)

2.4 การตรวจสอบความถูกต้องทางสถิติของวิธีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อน

ค่าดัชนีทางสถิติถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัดกับปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ ซึ่งประกอบด้วย

1) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) เป็นดัชนีที่แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Liner Regression) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หากเข้าใกล้ 0 คือตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์ตามกันน้อย แต่ถ้าเข้าใกล้ 1 คือตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์ตามกันมาก แสดงวิธีการคำนวณดังสมการที่ (6)

$$R^2 = \left(\frac{COV(O_i, P_i)}{\sqrt{VAR(O_i) VAR(P_i)}} \right)^2 \quad (6)$$

2) ค่าความแม่นยำ (Nash-Sutcliffe Efficiency, NSE) เป็นดัชนีแสดงความสัมพันธ์ของความแปรปรวนระหว่างข้อมูลจากการปรับแก้ ค่ากับข้อมูลตรวจวัด ใช้คาดคะเนความแม่นยำ หากเข้าใกล้ 1 แสดงว่าข้อมูลจากแบบจำลองมีความแม่นยำสูง และมีความแปรปรวนน้อยเมื่อเทียบกับค่าตรวจวัด แต่หากเข้าใกล้ 0 แสดงถึงข้อมูลจากแบบจำลองมีความแม่นยำน้อย และมีความแปรปรวนเมื่อเทียบกับค่าตรวจวัดสูง แสดงวิธีการคำนวณดังสมการที่ (7)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (7)$$

3) ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) เป็นดัชนีแสดงความคลาดเคลื่อนของข้อมูลตรวจวัดกับข้อมูลจากแบบจำลอง แสดงวิธีการคำนวณดังสมการที่ (8)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (8)$$

4) ร้อยละความเอนเอียงของการประมาณ (Percent Bias, PBIAS) เป็นดัชนีที่วัดแนวโน้มโดยเฉลี่ยของข้อมูลจากร้อยละของความแตกต่างระหว่างข้อมูลตรวจวัดกับข้อมูลจากแบบจำลอง ถ้าหากมีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึงการคาดคะเนค่ามีความน่าเชื่อถือ ถ้ามีค่าเป็นบวก หมายถึงค่าจากแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าค่าจริง แสดงวิธีการคำนวณดังสมการที่ (9)

$$PBIAS = 100 \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (9)$$

โดยที่ O_i คือปริมาณฝนจากการตรวจวัด $\bar{O}_i$ คือค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนจากการตรวจวัด P_i คือปริมาณฝนจากแบบจำลอง $COV(O_i, P_i)$ คือความแปรปรวนระหว่างปริมาณฝนจากการตรวจวัดกับแบบจำลอง และ VAR คือความแปรปรวนของข้อมูล

2.5 การวิเคราะห์แนวโน้มของปริมาณฝน

เมื่อทำการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเสร็จสิ้น จากนั้นปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองจะถูกนำมาวิเคราะห์แนวโน้มของปริมาณฝนเพื่อประเมินถึงแนวโน้มของปริมาณฝนที่จะเกิดขึ้นต่อไปภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ SSP5-8.5 โดยวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มของปริมาณฝน ได้แก่ วิธี Mann-Kendall (MK) และ Sen's slope (SS) โดยวิธี MK เป็นการทดสอบทางสถิติแบบไม่มีพารามิเตอร์ ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายสำหรับการใช้วิเคราะห์หาแนวโน้มของอนุกรมเวลาของข้อมูลทางด้านอุทกวิทยา [17] ในการจัดกลุ่มแนวโน้มที่มีนัยสำคัญของแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นและแนวโน้มที่ลดลง และสำหรับอนุกรมเวลา $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis, H_0) คือตัวอย่างของ n เป็นตัวแปรสุ่มที่ไม่ต้องการเงื่อนไขความเป็นอิสระและการแจกแจงเดียวกัน สมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis, H_1) สำหรับการทดสอบแบบสองทิศทางจะมีการแจกแจงของ x_k และ x_j ซึ่งจะมีค่าไม่

เหมือนกันกับทุกค่าของ k โดย $j \leq n$ ด้วย $k \neq j$ ค่าสถิติทดสอบ MK(S) แสดงสูตรคำนวณดังสมการที่ (10) และ (11) [18]

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (10)$$

$$\text{เมื่อ} \quad \text{sign}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{for } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{for } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{for } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (11)$$

ค่า S จะถูกประมาณเป็นการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distributed) จะทำให้ได้ค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวน ดังสมการที่ (12) และ (13)

$$E(S) = 0 \quad (12)$$

$$V_0(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^m t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (13)$$

โดย t_j คือจำนวนชุดข้อมูลในกลุ่ม j , n คือจำนวนชุดข้อมูล และ m คือจำนวนซ้ำของกลุ่มข้อมูลที่มีค่าเท่ากัน

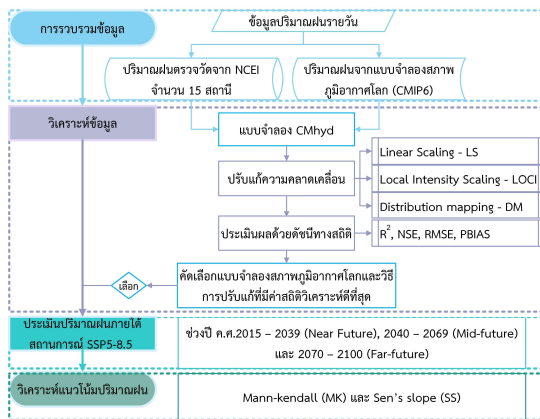
การแจกแจงความเอนเอียง S และแนวโน้มที่มีนัยสำคัญสามารถทดสอบได้โดยการเปรียบเทียบค่าตัวแปรมาตรฐาน Z ในสมการที่ (14) ด้วยการแจกแจงปกติของตัวแปรสุ่มที่ระดับนัยสำคัญที่ต้องการด้วยการเพิ่มหรือลดหน่วย [19]

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{Var}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (14)$$

ค่า Z ที่เป็นบวกแสดงถึงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า Z เป็นลบแสดงถึงแนวโน้มที่ลดลง ในการศึกษาวิเคราะห์แนวโน้มอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หรือระดับนัยสำคัญ 0.05 ($p\text{-value} = 0.05$) แสดงว่า ถ้าค่า $p\text{-value}$ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 จะถือว่าแนวโน้มดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้นยังมีการวิเคราะห์หาค่าของ SS เพื่อประเมินถึงขนาดของแนวโน้ม แสดงวิธีการคำนวณดังสมการที่ (15)

$$SS = \text{Median} \left(\frac{Ya - Yb}{a - b} \right); a > b \quad (15)$$

โดยที่ Ya คือข้อมูล ณ เวลาที่ a, Yb คือข้อมูล ณ เวลาที่ b และ n คือผลรวมของข้อมูล จะได้ $\left(\frac{Ya - Yb}{a - b} \right)$ มีค่าเท่ากับ $\frac{n(n-1)}{2}$. คู่ และค่า SS ที่เป็นบวกแสดงถึงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า SS เป็นลบแสดงถึงแนวโน้มที่ลดลง ดังรูปที่ 3 แสดงภาพรวมของขั้นตอนการศึกษา



รูปที่ 3 ภาพรวมของขั้นตอนการศึกษา

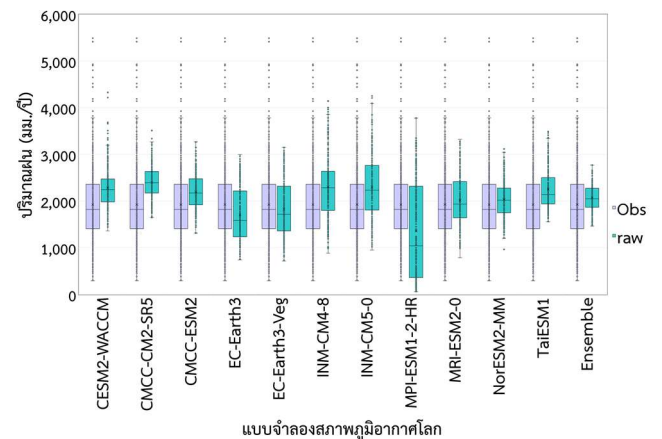
3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ความแตกต่างปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดและแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก

จากการวิเคราะห์ปริมาณฝนตรวจวัดทั้งสิ้น 15 สถานี กับปริมาณฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกทั้งสิ้น 11 แบบจำลอง ในช่วงอดีตระหว่างปี ค.ศ. 1980 - 2014 ดังรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าปริมาณฝนตรวจวัดเฉลี่ยรายปีกับปริมาณฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกมีความแตกต่างกันอยู่ในช่วงระหว่าง -563.43 มม. (ร้อยละ 29.29) ถึง 478.95 มม. (ร้อยละ 24.9) โดยพบว่าค่าเฉลี่ยจากจำลองส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งแบบจำลองที่มีปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีสูงสุด ได้แก่ แบบจำลอง CMCC-CM2-SR5 (2,402.4 มม.) ในขณะที่แบบจำลอง MPI-ESM1-2-HR ให้ค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีต่ำที่สุด (1,360.02 มม.) และมีการกระจายตัวของข้อมูลสูงสุด และเมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองมาพิจารณา

ร่วมกัน พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณฝนรายปีจากแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณฝนตรวจวัดเท่ากับ 145.03 มม. (ร้อยละ 7.54)

นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาปริมาณฝนรายเดือน พบว่าปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดมีค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 158.02 มม. และ 167.06 มม. ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนสูงกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด ยกเว้นแบบจำลอง EC-Earth3, EC-Earth3-Veg และ MPI-ESM1-2-HR โดยความแตกต่างของปริมาณฝนตรวจวัดกับปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองทั้งหมดอยู่ระหว่าง -41.95 มม. (ร้อยละ 26.55) ถึง 44.84 มม. (ร้อยละ 28.37) เมื่อพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่าแบบจำลองส่วนใหญ่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัด และเมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองมาพิจารณาร่วมกัน พบว่า ค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนมีค่าเท่ากับ 171.66 มม. ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัด และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 73.18 มม.



รูปที่ 4 เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณฝนตรวจวัด (Obs) กับปริมาณฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ (raw) และผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลองร่วมกัน (Ensemble mean) ก่อนปรับแก้ความคลาดเคลื่อนช่วงปี ค.ศ. 1980 - 2014

3.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของผลลัพธ์จากวิธีการปรับแก้ค่าทางสถิติ

จากหัวข้อที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างที่ค่อนข้างมากของปริมาณฝนที่ได้จากการตรวจวัดกับแบบจำลองภูมิอากาศ ดังนั้นการนำปริมาณฝนจากแบบจำลองไปใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณฝนในอนาคต จึงมีความ

จำเป็นต้องทำการปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อน ในการศึกษาครั้งนี้ได้
มีการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CMhyd โดยใช้วิธีการปรับแก้

ความคลาดเคลื่อน (Bias Correction) ทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ LS,
LOCI และ DM

		Linear Scaling												Local intensity												Distribution Mapping												
RMSE	Cha ian	0.1	0.3	0.35	0.23	0.3	0.35	0.26	0.25	0.27	0.14	0.18	0.48	0.1	0.27	0.31	0.21	0.27	0.31	0.24	0.23	0.25	0.13	0.17	0.47	0.1	0.19	0.22	0.13	0.19	0.17	0.12	0.2	0.17	0.15	0.12	0.44	
	Chumphon	0.05	0.15	0.14	0.16	0.18	0.17	0.13	0.04	0.1	0.05	0.07	0.28	0.05	0.13	0.12	0.15	0.17	0.15	0.12	0.04	0.09	0.05	0.06	0.27	0.05	0.07	0.07	0.1	0.12	0.08	0.06	0.04	0.06	0.04	0.05	0.24	
	Hat Yai INTL	0.06	0.21	0.21	0.17	0.22	0.22	0.21	0.01	0.18	0.06	0.09	0.29	0.06	0.19	0.18	0.16	0.2	0.16	0.16	0.01	0.16	0.06	0.09	0.28	0.05	0.12	0.09	0.1	0.15	0.04	0.05	0.04	0.12	0.08	0.06	0.27	
	Hua Hin	0.05	0.19	0.19	0.23	0.23	0.28	0.29	0.25	0.21	0.1	0.14	0.38	0.05	0.17	0.17	0.21	0.21	0.24	0.25	0.24	0.21	0.1	0.13	0.38	0.06	0.1	0.12	0.11	0.13	0.12	0.06	0.18	0.17	0.1	0.12	0.32	
	Ko Lanta	0.16	0.46	0.43	0.37	0.39	0.39	0.36	0.03	0.41	0.19	0.18	0.44	0.15	0.43	0.4	0.33	0.33	0.34	0.31	0.03	0.37	0.18	0.18	0.43	0.14	0.32	0.25	0.17	0.23	0.18	0.18	0.06	0.25	0.18	0.15	0.44	
	Ko Samui	0.07	0.15	0.2	0.16	0.25	0.21	0.21	0.23	0.21	0.08	0.07	0.32	0.07	0.14	0.18	0.14	0.23	0.19	0.2	0.21	0.19	0.08	0.06	0.32	0.06	0.07	0.13	0.09	0.17	0.11	0.14	0.15	0.13	0.07	0.04	0.3	
	Narathiwat	0.15	0.37	0.4	0.39	0.43	0.44	0.33	0.25	0.34	0.18	0.18	0.53	0.15	0.35	0.37	0.37	0.41	0.41	0.3	0.25	0.32	0.18	0.17	0.52	0.15	0.25	0.27	0.26	0.31	0.21	0.15	0.24	0.25	0.18	0.12	0.51	
	Pattani	0.05	0.32	0.3	0.22	0.31	0.31	0.26	0.24	0.25	0.12	0.13	0.38	0.05	0.28	0.26	0.19	0.27	0.26	0.23	0.22	0.22	0.12	0.11	0.37	0.04	0.2	0.19	0.1	0.19	0.1	0.11	0.15	0.14	0.12	0.08	0.35	
	Prachuap	0.02	0.13	0.12	0.1	0.11	0.12	0.12	0.04	0.11	0.02	0.04	0.19	0.02	0.11	0.1	0.08	0.09	0.09	0.09	0.04	0.1	0.02	0.04	0.18	0.03	0.06	0.06	0.04	0.07	0.05	0.04	0.04	0.08	0.02	0.04	0.1	
	Phetchaburi	0.09	0.37	0.33	0.36	0.48	0.46	0.38	0.3	0.19	0.09	0.21	0.51	0.09	0.35	0.31	0.34	0.46	0.41	0.34	0.28	0.18	0.09	0.2	0.51	0.13	0.27	0.24	0.23	0.34	0.22	0.18	0.24	0.15	0.13	0.2	0.49	
	Phuket	0.11	0.3	0.31	0.24	0.27	0.29	0.29	0.29	0.32	0.07	0.16	0.38	0.11	0.28	0.29	0.21	0.25	0.25	0.26	0.25	0.29	0.07	0.16	0.38	0.13	0.16	0.17	0.12	0.17	0.12	0.15	0.17	0.22	0.09	0.12	0.36	
	Phuket INTL	0.17	0.42	0.42	0.37	0.35	0.38	0.33	0.35	0.31	0.13	0.19	0.51	0.17	0.39	0.39	0.33	0.31	0.33	0.29	0.32	0.27	0.13	0.18	0.5	0.17	0.27	0.24	0.22	0.23	0.16	0.16	0.21	0.19	0.15	0.14	0.47	
	Ranong	0.22	0.63	0.59	0.56	0.61	0.4	0.39	0.13	0.56	0.2	0.36	0.66	0.22	0.62	0.58	0.54	0.59	0.4	0.39	0.13	0.55	0.19	0.35	0.65	0.31	0.48	0.46	0.40	0.46	0.36	0.36	0.19	0.42	0.19	0.36	0.66	
	Songkhla	0.11	0.4	0.44	0.39	0.44	0.45	0.34	0.1	0.35	0.15	0.18	0.51	0.1	0.38	0.41	0.37	0.41	0.4	0.3	0.09	0.33	0.15	0.18	0.5	0.12	0.28	0.32	0.27	0.29	0.2	0.11	0.15	0.25	0.17	0.14	0.49	
	Trang	0.11	0.33	0.35	0.23	0.28	0.28	0.27	0.04	0.23	0.16	0.13	0.38	0.1	0.29	0.31	0.19	0.24	0.23	0.23	0.04	0.2	0.16	0.12	0.37	0.11	0.19	0.18	0.12	0.15	0.11	0.11	0.07	0.11	0.17	0.07	0.36	
NSE	Cha ian	-1.9	0.09	0.22	-0.1	0.05	0.26	0	-0.2	0	-1.3	-0.3	0.47	-2	0	0.12	-0.2	-0.1	0.15	-0.2	-0.2	-0.1	-1.3	-0.4	0.46	-0.9	-0.5	-0.3	-0.8	-0.6	-0.7	-1.1	-0.4	-0.6	-0.7	-0.8	0.42	
	Chumphon	-2.5	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.4	-2.1	-0.7	-1.5	-0.7	0.25	-2.6	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-2.2	-0.8	-1.6	-0.8	0.24	-1.2	-1	-1	-0.8	-1.1	-0.9	-1.2	-1.4	-1.7	-1.2	-1.2	-1.2	0.19	
	Hat Yai INTL	-1.3	0.12	0.13	0	0.09	0.19	0.13	-4.4	-0.1	-0.8	-0.3	0.27	-1.4	0.04	0.04	-0.1	0	0.04	0	-4.4	-0.2	-0.8	-0.4	0.26	-0.9	-0.5	-0.6	-0.6	-0.4	-0.7	-2	-1.8	-0.7	-0.7	-1	0.23	
	Hua Hin	-1.2	-0.1	0	0.08	0.11	0.21	0.18	0.05	-0.2	-0.8	-0.4	0.38	-1.2	-0.1	-0.1	0.01	0.03	0.08	0.05	0	-0.2	-0.9	-0.5	0.37	-0.6	-0.7	-0.5	-0.7	-0.5	-1	-0.6	-0.4	-0.5	-0.4	-0.5	0.3	
	Ko Lanta	-0.5	0.44	0.41	0.32	0.35	0.36	0.27	-3	0.38	-0.4	-0.1	0.43	-0.5	0.4	0.36	0.23	0.24	0.26	0.14	-3.1	0.29	-0.4	-0.2	0.42	-0.6	0.07	-0.2	-0.4	-0.2	-0.5	-0.9	-1.3	-0.2	-0.2	-0.6	0.43	
	Ko Samui	-1	-0.1	0.03	-0.1	0.1	0.03	-0.1	0.01	0	-0.8	-0.6	0.31	-1.1	-0.2	0	-0.1	0.04	-0.1	-0.3	-0.1	-0.1	-0.9	-0.6	0.3	-1.1	-0.9	-0.3	-0.6	-0.4	-0.8	-0.9	-0.5	-0.6	-0.9	0.26		
	Narathiwat	-0.7	0.27	0.33	0.3	0.37	0.42	0.2	-0.2	0.19	-0.3	-0.1	0.53	-0.7	0.22	0.27	0.25	0.33	0.37	0.13	-0.2	0.13	-0.4	-0.2	0.52	-0.6	-0.3	-0.2	-0.2	0.01	-0.5	-0.9	-0.3	-0.3	-0.3	-0.7	0.5	
	Pattani	-1.2	0.24	0.2	0.02	0.2	0.25	0.11	0.03	0.05	-0.6	-0.3	0.37	-1.3	0.14	0.11	-0.1	0.09	0.13	0	-0.1	-0.1	-0.7	-0.4	0.36	-1.3	-0.4	-0.4	-1	-0.5	-1	-1.1	-0.5	-0.7	-0.7	-1	0.31	
	Prachuap	-0.8	0	0	-0.1	-0.1	0	-0.1	-1	-0.3	-1	-0.5	0.17	-0.9	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-1.1	-0.4	-1.1	-0.6	0.15	-0.7	-0.7	-0.6	-0.7	-0.6	-0.9	-1.3	-1	-0.7	-0.9	-0.8	0.12	
	Phetchaburi	-1.7	0.23	0.15	0.21	0.43	0.39	0.26	0	-0.3	-1.2	-0.5	0.5	-1.6	0.17	0.08	0.16	0.39	0.28	0.14	-0.1	-0.4	-1.1	-0.5	0.5	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4	0.02	-0.7	-0.8	-0.4	-0.6	-0.3	0.48		
	Phuket	-0.9	0.23	0.23	0.08	0.14	0.2	0.13	0.18	0.2	-1.3	-0.3	0.36	-1	0.17	0.17	0	0.06	0.1	0.03	0.09	0.11	-1.3	-0.3	0.35	-0.6	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.8	-1	-0.4	-0.3	-0.5	-0.7	0.31	
	Phuket INTL	-0.9	0.38	0.36	0.26	0.24	0.31	0.16	0.25	0.16	-1.2	-0.3	0.51	-1	0.32	0.3	0.18	0.15	0.22	0.05	0.16	0.05	-1.3	-0.4	0.5	-0.6	-0.1	-0.3	-0.3	-0.3	-0.8	-1.1	-0.4	-0.5	-0.5	-0.8	0.46	
	Ranong	-1.3	0.62	0.56	0.53	0.59	0.11	0.14	-2.2	0.52	-0.9	-0.2	0.65	-1.3	0.6	0.55	0.49	0.56	0.1	0.13	-2.2	0.49	-0.9	0.08	0.65	0.01	0.35	0.33	0.15	0.3	0.11	0.03	-0.7	0.14	-0.1	0.1	0.65	
	Songkhla	-1.4	0.31	0.39	0.31	0.39	0.43	0.24	-1.9	0.15	-0.6	-0.9	0.65	-1.4	0.25	0.33	0.26	0.34	0.34	0.14	-2	-0.1	-0.6	-0.2	0.49	-0.7	-0.2	0	-0.1	0	-0.4	-0.9	-0.3	-0.4	-0.5	0.48		
	Trang	-1.1	0.28	0.3	0.05	0.17	0.21	0.1	-3.5	0.04	-0.6	-0.3	0.37	-1.1	0.2	0.22	-0.1	0.04	0.07	-0.1	-3.6	-0.1	-0.7	-0.4	0.36	-0.9	-0.3	-0.4	-0.7	-0.6	-0.9	-1.4	-1.4	-0.8	-0.5	-1.1	0.33	
PBias	Cha ian	233	128	118	140	130	115	136	144	135	206	157	97	236	134	125	147	137	123	144	148	142	208	162	98	188	166	155	182	170	174	194	160	172	176	184	101	
	Chumphon	219	123	124	127	121	123	137	201	147	147	186	154	99	220	129	131	132	126	130	145	204	152	187	159	100	173	163	155	164	156	170	178	189	171	172	184	103
	Hat Yai INTL	200	121	121	130	123	116	120	299	135	175	151	110	202	126	127	135	129	130	131	300	141	177	155	111	183	160	166	161	154	214	222	217	169	169	184	113	
	Hua Hin	136	93	91	87	85	80	82	88	98	125	109	71	136	96	94	90	89	87	89	92	100	125	111	72	115	119	109	116	109	127	115	107	110	111	112	76	
	Ko Lanta	194	117	120	129	126	125	134																														

ผลจากการตรวจสอบความถูกต้องทางสถิติ แสดงดังรูปที่ 5 เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองส่วนใหญ่ ยกเว้นแบบจำลอง CESM2-WACCM, MPI-ESM1-2-HR, NorESM2-MM และ TaiESM1 พบว่าวิธี LS มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการตรวจวัดรายเดือนสูงกว่าวิธีอื่น พิจารณาจากค่า R^2 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.6-1 และอยู่ในช่วง 0.3-0.5 โดยมีจำนวนสถานีที่ได้ผลลัพธ์อยู่ในช่วงดังกล่าวเท่ากับร้อยละ 2 และร้อยละ 50 ของข้อมูลทั้งหมด ตามลำดับ รองลงมาคือวิธี LOCI ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.6-1 และอยู่ในช่วง 0.3-0.5 โดยมีจำนวนสถานีที่ได้ผลลัพธ์อยู่ในช่วงดังกล่าวเท่ากับร้อยละ 1 และร้อยละ 41 ของข้อมูลทั้งหมด แต่สำหรับวิธี DM พบว่าไม่มีสถานีที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.6-1 และมีสถานีที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.3-0.5 เท่ากับร้อยละ 11 ของข้อมูลทั้งหมดตามลำดับ ส่วนค่า NSE แสดงให้เห็นว่าวิธี LS มีความแม่นยำสูงที่สุดในขณะที่วิธี DM มีค่าส่วนใหญ่เข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลจากแบบจำลองมีความแม่นยำน้อย และมีความแปรปรวนเมื่อเทียบกับค่าตรวจวัดสูง เมื่อพิจารณาค่า RMSE ซึ่งแสดงความคลาดเคลื่อนของข้อมูล พบว่าวิธี DM มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด รองลงมาคือวิธี LOCI และวิธี LS ตามลำดับ สำหรับการพิจารณาค่า PBIAS พบว่าวิธี LS กับวิธี LOCI มีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ ยกเว้นวิธี DM ส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบ แสดงว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าค่าจริง

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากทุกแบบจำลองร่วมกัน (Ensemble) พบว่าวิธี LS มีค่าสถิติวิเคราะห์ดีที่สุดเหมาะสมในการนำมาวิเคราะห์ปริมาณฝนในอนาคต โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการตรวจวัดกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง (R^2) สูงกว่าค่าที่ได้จากแต่ละแบบจำลอง โดยสถานีตรวจวัดฝนจำนวน 11 สถานี มีค่าอยู่ในช่วง 0.38 – 0.66 ซึ่งอยู่ในช่วงค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานีระนองมีความสัมพันธ์ระดับสูงโดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.66 ซึ่งจากงานวิจัยของ พวงรัตน์ [20] แสดงให้เห็นว่าหากค่า R^2 มีค่ามากกว่า 0.65 ถือว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลตรวจวัดกับข้อมูลจากแบบจำลองอยู่ในระดับสูง ส่วนค่า NSE ส่วนใหญ่มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด แสดงว่าข้อมูลมีความแม่นยำสูง และมีความแปรปรวนน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานีราชีवास เพชรบุรี ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต ระนอง และสงขลา มีค่า NSE

มากกว่า 0.5 ถือว่าเป็นที่น่าพอใจ (Satisfactory) [8] ส่วนค่า RMSE พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ซึ่งมีค่ารายเดือนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 62 – 117 มม. และค่า PBIAS พบว่าส่วนใหญ่มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนอื่น

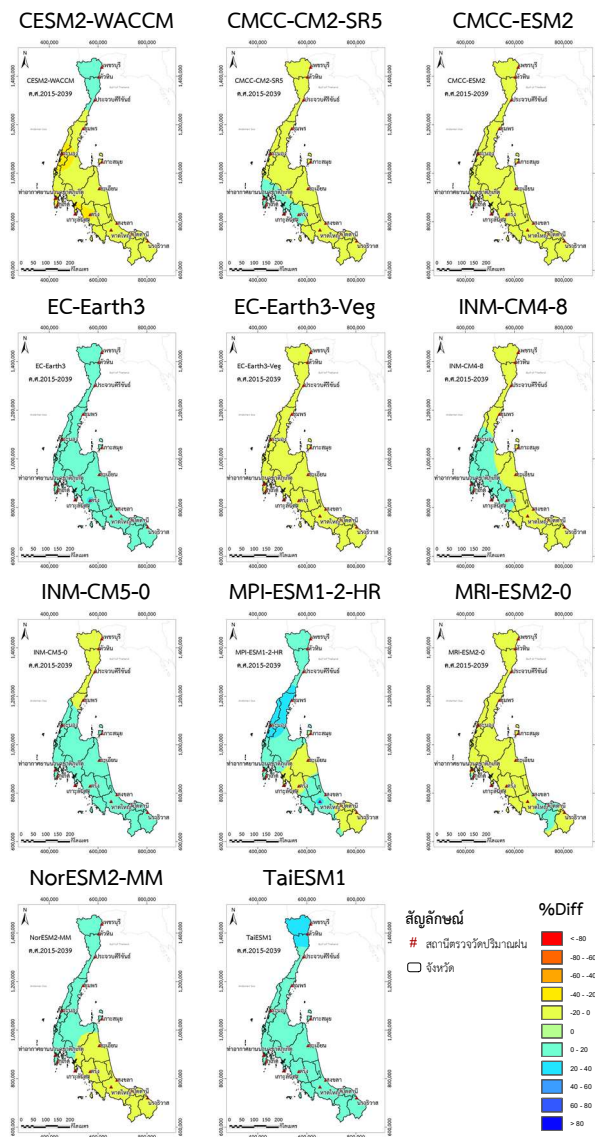
3.3 ผลการประเมินความแตกต่างของปริมาณฝนภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5 ของแต่ละแบบจำลอง

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนเชิงพื้นที่เปรียบเทียบกับปริมาณฝนตรวจวัด โดยแบ่งเป็น 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงปี ค.ศ. 2015 – 2039 (near- future), 2040 – 2069 (mid-future) และ 2070 – 2100 (far-future) แสดงดังรูปที่ 6 ถึงรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองแต่ละแบบจำลองให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันในช่วงเวลาคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศเดียวกัน รายละเอียดในแต่ละช่วงเวลาแสดงดังนี้

ช่วง near-future (รูปที่ 6) พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของผลลัพธ์จากแบบจำลอง EC-Earth3, INM-CM5-0, MPI-ESM1-2-HR, NorESM2-MM และ TaiESM1 มีแนวโน้มของปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่แบบจำลอง CESM2-WACCM, CMCC-CM2-SR5, CMCC-ESM2, EC-Earth3-Veg, INM-CM4-8 และ MRI-ESM2-0 มีพื้นที่ส่วนใหญ่แสดงแนวโน้มของปริมาณฝนที่ลดลง ซึ่งหากพิจารณาในรายสถานีเปรียบเทียบกับปริมาณฝนตรวจวัด พบว่าสถานีชุมพรมีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นสูงสุด ร้อยละ 38.73 และสถานีระนองมีปริมาณฝนลดลงต่ำสุด ร้อยละ 28.18 จากแบบจำลอง MPI-ESM1-2-HR และ CESM2-WACCM ตามลำดับ

สำหรับในช่วงของ mid-future (รูปที่ 7) พบว่าปริมาณฝนในพื้นที่ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาจากผลลัพธ์ที่ได้ของแบบจำลอง CESM2-WACCM, EC-Earth3, INM-CM5-0, MPI-ESM1-2-HR และ NorESM2-MM ในขณะที่แบบจำลอง CMCC-CM2-SR5, CMCC-ESM2, EC-Earth3-Veg, INM-CM4-8 และ TaiESM1 มีพื้นที่ส่วนใหญ่แสดงแนวโน้มของปริมาณฝนที่ลดลง โดยเมื่อพิจารณาในรายสถานีเปรียบเทียบกับปริมาณฝนตรวจวัด พบว่าสถานีชุมพรมีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นสูงสุด ร้อยละ 91.13 และสถานีประจวบคีรีขันธ์มีปริมาณฝนลดลงต่ำสุด ร้อยละ 16.63 จากแบบจำลอง MPI-ESM1-2-HR และ INM-CM4-8 ตามลำดับ

ช่วง far-future (รูปที่ 8) พบว่าแนวโน้มของปริมาณฝนจากแบบจำลอง EC-Earth3, EC-Earth3-Veg, INM-CM5-0, MPI-ESM1-2-HR และ NorESM2-MM ในพื้นที่ส่วนใหญ่เพิ่มขึ้น ในขณะที่แบบจำลอง CESM2-WACCM, CMCC-CM2-SR5, CMCC-ESM2, INM-CM4-8, MRI-ESM2-0 และ TaiESM1 ให้ผลลัพธ์ในพื้นที่ส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง โดยในช่วง far-future เมื่อเปรียบเทียบกับช่วง mid- และ near-future พบว่าช่วง far-future มีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นสูงสุด ณ สถานีหาดใหญ่ และปริมาณฝนลดลงต่ำสุด ณ สถานีระนอง จากแบบจำลอง MPI-ESM1-2-HR และ CESM2-WACCM ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณฝนตรวจวัด

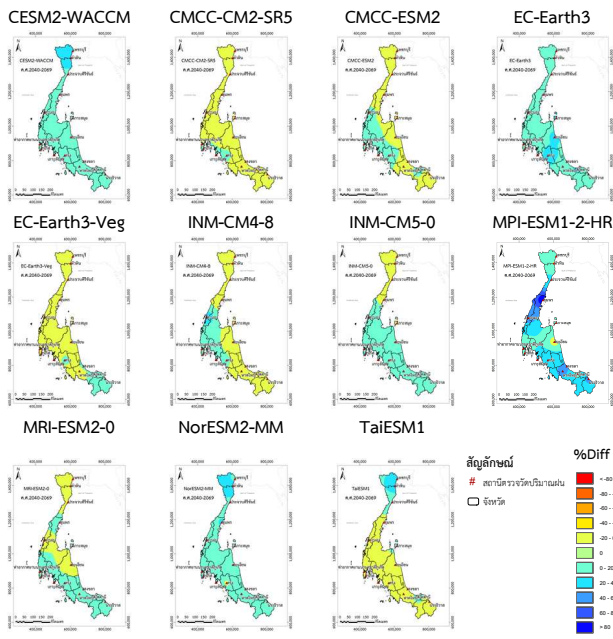


รูปที่ 6 แผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อน ช่วงปี ค.ศ. 2015 – 2039 (near future) เมื่อเทียบกับปริมาณฝนตรวจวัด

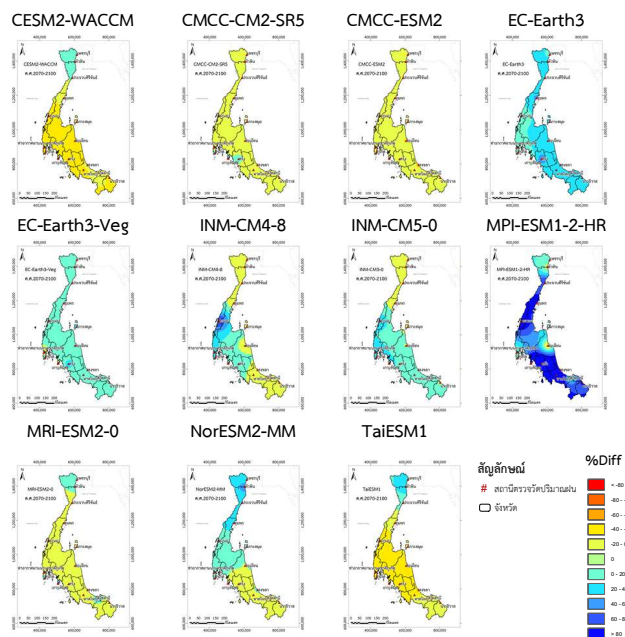
จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนทั้ง 15 สถานี และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนในแต่ละช่วงเวลา (near-, mid-, far-future) พบว่าแบบจำลอง EC-Earth3, EC-Earth3-Veg, INM-CM4-8, INM-CM5-0 และ MPI-ESM1-2-HR ปริมาณฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกช่วงเวลา โดยเมื่อเปรียบเทียบช่วง mid-future กับ near-future พบว่าปริมาณฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.28, 1.87, 1.81, 0.55 และ 20.95 ตามลำดับ และช่วง far-future เมื่อเปรียบเทียบกับช่วง mid-future ปริมาณฝนยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 10.88, 11.39, 11.25, 3.26 และ 44.64 ตามลำดับ

ในขณะที่แบบจำลอง CMCC-CM2-SR5 และ TaiESM1 มีแนวโน้มของปริมาณฝนลดลงอย่างต่อเนื่องทุกช่วงเวลา โดยเมื่อเปรียบเทียบช่วง mid-future กับ near-future พบว่าปริมาณฝนมีแนวโน้มลดลงร้อยละ 1.96 และ 11.14 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบช่วง far-future กับ mid-future ปริมาณฝนยังคงมีแนวโน้มลดลงอีกร้อยละ 2.22 และ 14.69 ตามลำดับ ส่วนอีก 4 แบบจำลอง ได้แก่ CESM2-WACCM, CMCC-ESM2, MRI-ESM2-0 และ NorESM2-MM ในแต่ละช่วงเวลามีการเพิ่มขึ้นและลดลงไม่ต่อเนื่องกัน โดยช่วง mid-future เมื่อเปรียบเทียบกับ near-future ปริมาณฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 21.76, 8.89, 3.32 และ 9.77 ตามลำดับ แต่ในช่วง far-future เมื่อเปรียบเทียบกับ mid-future ปริมาณฝนกลับมีแนวโน้มที่ลดลงร้อยละ 31.18, 11.32, 3.06 และ 3.55 ตามลำดับ

จากผลการปรับแก้ค่าทางสถิติของแต่ละแบบจำลองข้างต้นจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของข้อมูลในบางสถานีและบางแบบจำลองไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากแบบจำลอง GCM แต่ละแบบจำลองมีกระบวนการที่ใช้ในการคำนวณที่แตกต่างกันส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองมีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถเห็นได้จากการเปรียบเทียบผลปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองก่อนการปรับแก้ค่าทางสถิติในหัวข้อที่ 3.1 ที่แสดงค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรวมถึงการกระจายตัวของข้อมูลของแต่ละแบบจำลองที่ต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยทั่วไปจึงนิยมใช้การหาค่าเฉลี่ยของแบบจำลอง GCM (Ensemble) ในหลายแบบจำลอง [11-15]



รูปที่ 7 แผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อน ช่วงปี ค.ศ. 2040 – 2069 (mid-future) เมื่อเทียบกับปริมาณฝนตรวจวัด



รูปที่ 8 แผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศหลังปรับแก้ความคลาดเคลื่อน ช่วงปี ค.ศ. 2070 – 2100 (far-future) เมื่อเทียบกับปริมาณฝนตรวจวัด

3.4 การวิเคราะห์แนวโน้มฝน ในพื้นที่ภาคใต้ภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5

การวิเคราะห์แนวโน้มปริมาณฝน ด้วยวิธี Mann-Kendall trend test (MK) และ Sen's slope (SS) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับการหาแนวโน้มของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ โดยแบ่งพิจารณาเป็นปริมาณฝนรายปี กับปริมาณฝนตามฤดูกาล พบว่าพื้นที่ภาคใต้มีเพียง 2 ฤดู คือ ฤดูฝนหรือฤดูมรสุม และฤดูร้อนหรือฤดูท่องเที่ยว โดยในการวิเคราะห์แนวโน้มฝนในครั้งนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ปริมาณฝนใน 2 รูปแบบ ได้แก่ การวิเคราะห์แนวโน้มปริมาณฝนภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5 กับปริมาณฝนตรวจวัดจากสถานี และการวิเคราะห์ร่วมกับปริมาณฝนจากการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนรายละเอียดดังนี้

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนจากข้อมูลตรวจวัดกับปริมาณฝนในอนาคตภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5 จากผลลัพธ์ของทุกแบบจำลองร่วมกัน (Ensemble) แสดงดังตารางที่ 3 พบว่าปริมาณฝนรายปีและปริมาณฝนรายฤดูกาลของพื้นที่ภาคใต้ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นอย่างน้อยสำคัญจำนวน 8 สถานี และ 7 สถานี ตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ภาคใต้บริเวณฝั่งตะวันออก ได้แก่ สถานีชุมพรหาดใหญ่ นราธิวาส ประจวบคีรีขันธ์ และสถานีสงขลา และภาคใต้ฝั่งตะวันตก ได้แก่ เกาะลันตา ระนอง และตรัง ยกเว้นสถานีชะเอียน ภูเก็ต และท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต ที่มีแนวโน้มของปริมาณฝนรายปี และปริมาณฝนในฤดูฝนลดลง

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนในช่วงอดีตที่ได้จากการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนกับปริมาณฝนในอนาคตภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5 จากตารางที่ 4 พบว่า ปริมาณฝนรายปีของพื้นที่ภาคใต้ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นอย่างน้อยสำคัญ จำนวน 8 สถานี ได้แก่ สถานีชุมพรหาดใหญ่ นราธิวาส ประจวบคีรีขันธ์ สงขลา เกาะลันตา ระนอง และตรัง

เมื่อพิจารณาปริมาณฝนในแต่ละฤดูกาล พบว่าปริมาณฝนในฤดูฝนของพื้นที่ภาคใต้ฝั่งตะวันออกส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง โดยสถานีชะเอียนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่พื้นที่ภาคใต้ฝั่งตะวันตกส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จำนวน 3 สถานี ได้แก่ สถานีเกาะลันตา ระนอง และตรัง ซึ่งตรงข้ามกับแนวโน้มของปริมาณฝนในฤดูร้อน

ตารางที่ 3 แนวโน้มของปริมาณฝนด้วยวิธี Mann-Kendall trend test (MK) และ Sen's slope (SS) จากข้อมูลปริมาณฝนตรวจวัดกับปริมาณฝนภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5 ช่วงปี ค.ศ. 1980 - 2100

สถานี	ภาคใต้ฝั่งตะวันออก								
	ปริมาณฝนรายปี			ปริมาณฝนในฤดูฝน			ปริมาณฝนในฤดูแล้ง		
	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่า Z	Sen's Slope (มม./ปี)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่า Z	Sen's Slope (มม./ปี)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่า Z	Sen's Slope (มม./ปี)
ชะเอม	1,917.33	-0.70	-0.54	1,259.48	-1.47	-0.91	657.85	2.04*	0.39
ชุมพร	1,891.29	2.91*	2.33	994.67	2.97*	1.64	896.62	1.99*	0.76
หาดใหญ่	1,854.25	3.23*	2.86	1,095.15	0.24	0.15	759.10	5.11*	2.30
หัวหิน	926.50	1.17	0.55	492.23	3.13*	1.10	434.27	-1.81	-0.36
เกาะสมุย	1,735.25	0.87	0.58	1,154.93	0.53	0.32	580.32	0.67	0.13
นราธิวาส	2,409.02	2.40*	2.25	1,597.43	0.08	0.09	811.60	7.52*	2.52
ปัตตานี	1,676.67	0.93	0.53	1,017.06	0.02	0.01	659.62	3.96*	0.90
ประจวบคีรีขันธ์	1,165.95	3.17*	1.85	648.81	3.86*	1.59	517.14	2.18*	0.55
เพชรบุรี	952.73	0.79	0.37	450.99	3.14*	1.09	501.74	-1.51	-0.40
สงขลา	2,018.25	3.44*	3.23	1,362.74	0.77	0.61	655.51	6.07*	2.20

* มีแนวโน้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

สถานี	ภาคใต้ฝั่งตะวันตก								
	ปริมาณฝนรายปี			ปริมาณฝนในฤดูฝน			ปริมาณฝนในฤดูแล้ง		
	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่า Z	Sen's Slope (มม./ปี)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่า Z	Sen's Slope (มม./ปี)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่า Z	Sen's Slope (มม./ปี)
เกาะลันตา	2,154.10	2.35*	2.30	1,747.04	2.39*	2.00	407.06	1.05	0.30
ภูเก็ต	2,105.63	-0.33	-0.33	1,608.44	-0.48	-0.33	497.19	0.45	0.14
ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต	2,435.58	-0.68	-0.61	1,846.35	-1.09	-0.76	589.23	-0.23	-0.06
ระนอง	4,106.29	3.03*	4.51	3,654.44	2.95*	4.35	451.85	0.07	0.02
ตรัง	2,202.03	4.15*	3.97	1,595.62	4.22*	3.12	606.41	1.27	0.49

* มีแนวโน้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

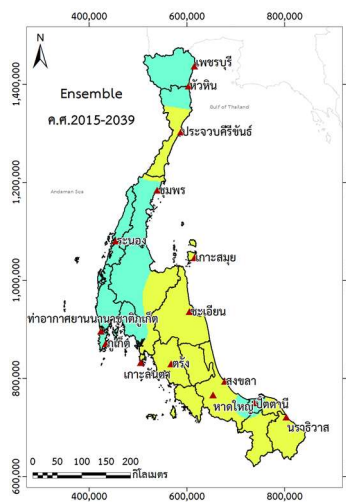
ตารางที่ 4 แนวโน้มของปริมาณฝนด้วยวิธี Mann-Kendall trend test (MK) และ Sen's slope (SS) ที่ได้จากการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนกับปริมาณฝนภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5 ช่วงปี ค.ศ. 1980 - 2100

สถานี	ภาคใต้ฝั่งตะวันออก								
	ปริมาณฝนรายปี			ปริมาณฝนในฤดูฝน			ปริมาณฝนในฤดูแล้ง		
	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่า Z	Sen's Slope (มม./ปี)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่า Z	Sen's Slope (มม./ปี)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่า Z	Sen's Slope (มม./ปี)
ชะเอม	1,915.14	-1.22	-0.78	1,257.48	-2.22*	-1.19	657.66	3.13*	0.42
ชุมพร	1,889.19	3.31*	2.20	993.49	2.99*	1.47	895.70	2.17*	0.62
หาดใหญ่	1,850.90	4.02*	2.62	1,091.36	-0.18	-0.08	759.53	7.02*	2.08
หัวหิน	926.56	1.61	0.55	491.90	3.80*	0.99	434.67	-3.82*	-0.47
เกาะสมุย	1,733.80	-0.11	-0.06	1,153.67	-0.36	-0.13	580.13	0.75	0.09
นราธิวาส	2,405.48	3.01*	2.07	1,593.17	-0.32	-0.18	812.31	8.30*	2.29
ปัตตานี	1,696.55	0.25	0.12	1,029.15	-1.53	-0.66	667.40	6.26*	0.74
ประจวบคีรีขันธ์	1,164.42	3.39*	1.36	647.33	4.40*	1.24	517.09	0.02	0.01
เพชรบุรี	956.98	0.54	0.22	452.10	3.06*	0.89	504.88	-3.33*	-0.63
สงขลา	2,017.64	3.46*	2.47	1,361.13	-0.39	-0.22	656.51	7.47*	2.00

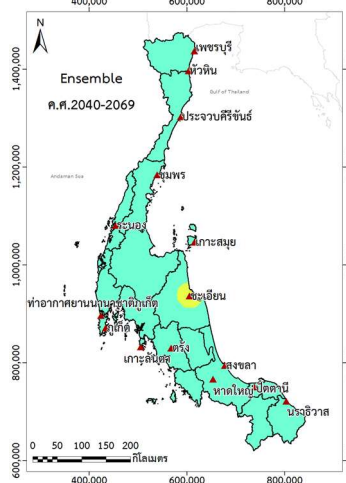
* มีแนวโน้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

สถานี	ภาคใต้ฝั่งตะวันตก								
	ปริมาณฝนรายปี			ปริมาณฝนในฤดูฝน			ปริมาณฝนในฤดูแล้ง		
	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่า Z	Sen's Slope (มม./ปี)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่า Z	Sen's Slope (มม./ปี)	ค่าเฉลี่ย (มม.)	ค่า Z	Sen's Slope (มม./ปี)
เกาะลันตา	2,150.23	2.75*	2.05	1,743.56	2.88*	1.79	406.67	-0.13	-0.02
ภูเก็ต	2,141.16	-1.00	-0.50	1,636.20	-0.58	-0.26	504.97	-1.48	-0.24
ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต	2,431.90	-1.01	-0.62	1,844.01	-0.62	-0.31	587.89	-1.44	-0.28
ระนอง	4,102.19	3.24*	4.17	3,651.25	3.54*	4.21	450.94	-0.63	-0.11
ตรัง	2,199.34	4.89*	3.66	1,595.05	5.55*	2.94	604.30	0.64	0.18

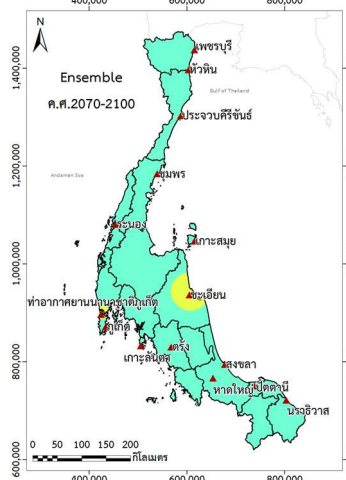
* มีแนวโน้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)



(ก) ช่วงปี ค.ศ.2015 - 2039



(ข) ช่วงปี ค.ศ.2040 - 2069



(ค) ช่วงปี ค.ศ.2070 - 2100

รูปที่ 9 แผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนจากผลลัพธ์ของทุกแบบจำลองร่วมกัน (Ensemble mean) เมื่อเทียบกับปริมาณฝนตรวจวัด

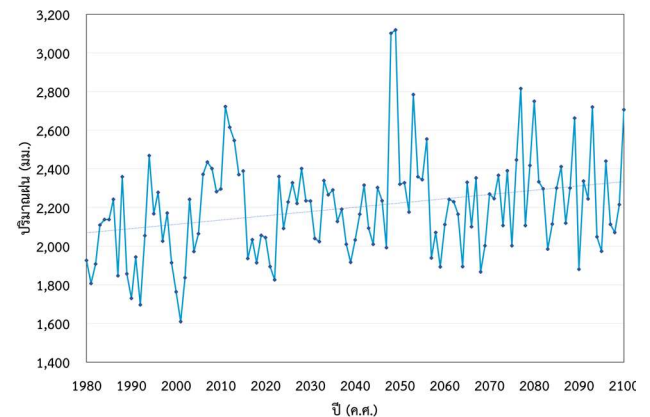
โดยปริมาณฝนในฤดูร้อนของพื้นที่ภาคใต้ฝั่งตะวันออกส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จำนวน 6 สถานี ได้แก่ สถานีชะเอียน ชุมพร หาดใหญ่ นราธิวาส ปัตตานี และสงขลา ในขณะที่พื้นที่ภาคใต้ฝั่งตะวันตกเกือบทุกสถานีมีแนวโน้มลดลง

เมื่อวิเคราะห์ร้อยละความแตกต่างของปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี โดยพิจารณาจากสัดส่วนของปริมาณฝนแต่ละสถานี ซึ่งแบ่งเป็น 3 ช่วงเวลา รายละเอียดดังตารางที่ 5 และรูปที่ 9 พบว่าปริมาณฝนในช่วง near-future ส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลง จำนวน 9 สถานี ในขณะที่ช่วง mid-future จนถึง ช่วง far-future ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจำนวน 10 สถานี เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงอดีตที่ผ่านมา (ค.ศ. 1980 - 2014) ซึ่งผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์แนวโน้มปริมาณฝนด้วยวิธี MK และ SS ข้างต้น ส่วนอีก 5 สถานี แสดงให้เห็นว่าในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีโอกาสเกิดความแปรปรวนของปริมาณฝนในพื้นที่ในแต่ละช่วงเวลา โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนรายปีที่เพิ่มขึ้นช่วง mid-future จากช่วง near-future แต่ลดลงช่วง far-future

ตารางที่ 5 ความแตกต่างของปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีในแต่ละช่วงเวลา

ลำดับ สถานี	ผลลัพธ์ของทุกแบบจำลองร่วมกัน (Ensemble)		
	ร้อยละของความแตกต่าง (%Diff) SSP5-8.5 ช่วงปี ค.ศ.		
	2015 - 2039	2040 - 2069	2070 - 2100
1 ชะเอียน	-4.35	-1.75	-5.48
2 ชุมพร	0.03	8.89	10.33
3 หาดใหญ่	-0.08	4.77	15.43
4 หัวหิน	2.74	5.07	7.09
5 เกาะลันตา	-1.11	6.39	12.94
6 เกาะสมุย	-0.64	2.98	0.16
7 นราธิวาส	-4.63	3.13	3.44
8 ปัตตานี	0.94	5.97	3.20
9 ประจวบคีรีขันธ์	-3.12	1.46	9.59
10 เพชรบุรี	1.08	1.08	1.96
11 ภูเก็ต	6.39	10.55	4.54
12 ท่าอากาศยานนานาชาติภูเก็ต	-0.41	3.51	-2.15
13 ระนอง	2.60	7.36	12.20
14 สงขลา	-0.31	4.82	12.03
15 ตรัง	-0.07	8.37	17.57

พิจารณาจากค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนด้วยวิธี Thiessen method แสดงดังรูปที่ 10 พบว่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้ง 3 ช่วงเวลา โดยในช่วง near-future, mid-future และ far-future เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.60, 5.87 และ 8.16 ตามลำดับ โดยในช่วงปี ค.ศ. 2048 - 2049 พบว่าปริมาณฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงสุดมากถึงร้อยละ 46.06 ถึงร้อยละ 46.87 เมื่อเทียบกับปริมาณฝนตรวจวัด



รูปที่ 10 แนวโน้มปริมาณฝนเฉลี่ยภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

4. สรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความแตกต่างของวิธีการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ LS, LOCI และ DM โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม CMhyd พบว่าผลลัพธ์ของทุกแบบจำลองร่วมกัน (Ensemble Mean) ด้วยวิธี LS มีค่าสถิติวิเคราะห์ดีที่สุด ซึ่งมีกระบวนการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตติเวช [9] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่งผลมาจากการเกิดอุทกภัย ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำพองตอนล่าง และงานวิจัยของ Senganatham และคณะ [8] ที่ได้ประเมินพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วม คงเขโดน จังหวัดสกลนคร สปป.ลาว โดยใช้โปรแกรม CMhyd และปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี LS

จากการประเมินปริมาณฝนภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5 โดยวิเคราะห์แนวโน้มปริมาณฝนในอนาคต ด้วยวิธี MK และ SS ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าพื้นที่ภาคใต้ส่วนใหญ่มีแนวโน้มของปริมาณฝนรายปีเพิ่มขึ้นจำนวน 12 สถานีจาก 15 สถานี โดยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจำนวน 8 สถานี ได้แก่

สถานีชุมพร หาดใหญ่ นราธิวาส ประจวบคีรีขันธ์ สงขลา เกาะลันตา ระนอง และตรัง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Humphries และคณะ [21] ได้ประเมินแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก CMIP6 ที่เหมาะสมสำหรับคาดการณ์ปริมาณฝนในภาคใต้ประเทศไทยภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5 และจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนด้วยวิธี Thiessen method แสดงให้เห็นว่าในปี ค.ศ. 2048, 2049, 2053, 2077 และ 2080 มีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นจากปี ค.ศ. 2011 (พ.ศ. 2554) ซึ่งเป็นปีที่เกิดอุทกภัยและดินถล่มครั้งใหญ่ในพื้นที่ เท่ากับร้อยละ 13.94, 14.58, 2.33, 3.47 และ 1.07 ตามลำดับ ส่วนในปี ค.ศ. 2093 มีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นเท่ากับปี ค.ศ. 2011 (ประมาณ 2,721.90 มม.) ดังนั้นพื้นที่ภาคใต้โดยเฉพาะพื้นที่บริเวณดังกล่าวควรให้ความสำคัญกับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น เช่น ในพื้นที่ที่มีการคาดการณ์ถึงปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นควรให้ความสำคัญกับจัดการน้ำเพื่อป้องกัน และลดผลกระทบจากอุทกภัย เช่น การจัดหาแนวทางการระบายน้ำลงทะเล และการสร้างแนวระบายน้ำในพื้นที่เสี่ยงภัย ในขณะที่พื้นที่ที่คาดการณ์ว่าปริมาณฝนลดลงควรให้ความสำคัญต่อการขาดแคลนน้ำ การจัดสรรน้ำ ผลผลิตทางการเกษตร การหาพื้นที่กักเก็บน้ำให้เพียงพอใช้สำหรับกิจกรรมต่าง ๆ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ได้วิเคราะห์แนวโน้มปริมาณฝนภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5 เท่านั้น ซึ่งในอนาคตควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ CMIP6 ในกรณีอื่น ๆ เพื่อให้การวิเคราะห์แนวโน้มครอบคลุมต่อสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในทุกสถานการณ์ในพื้นที่ภาคใต้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] McFarlane D, Stone R, Martens S, Thomas J, Silberstein R, Ali R, et al. Climate change impacts on water yields and demands in south-western Australia. *Journal of Hydrology*. 2012;475: 488-498.
- [2] Edwards PN. History of climate modeling. *WIREs Climate Change*. 2010;2(1): 128-139.
- [3] เทพไท ไชยทอง, สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์. การปรับความคลาดเคลื่อนของปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศภายใต้แบบจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก A2 และ B2. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*. 2016: 153-164.
- [4] Crochemore L, Ramos MH, Pappenberger F. Bias correcting precipitation forecasts to improve the skill of seasonal streamflow forecasts. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2016; 20(9): 3601-3618.
- [5] วินัย เชาวนวิวัฒน์, กนกศรี ศรีนภาพกร, สมพินิจ เหมืองทอง. การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อค่าดัชนีฝนสุดขั้วของประเทศไทยด้วยค่าความเป็นไปได้. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ*. 2564; (26): 1-13.
- [6] Zhang B, Shrestha N, Daggupati P, Rudra R, Shukla R, Kaur B, et al. Quantifying the Impacts of Climate Change on Streamflow Dynamics of Two Major Rivers of the Northern Lake Erie Basin in Canada. *Sustainability*. 2018; 10(8).
- [7] Siabi E, Awafo E, Kabo-bah AT, Derkyi N, Akpoti K, Mortey E, et al. Assessment of Shared Socioeconomic Pathway (SSP) Climate Scenarios and its Impacts on the Greater Accra Region. *Urban Climate*. 2022;49:2023.
- [8] Senganatham N, Kaewrueng S, Miphokasap P, Tasaduak S, Rattanapichai W. Flood Risk Assessment under Climate Change: Study Case Khongsedon Floodplain, Salavan Province, Lao PDR. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*. 2023; 33(3).
- [9] กิตติเวช ชันติยวิชัย. โครงการการเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและเหตุการณ์น้ำท่วม ในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำพองตอนล่าง: ผลกระทบและความเสียหาย. รายงานวิจัย; 2563.
- [10] Sittichok K. Future rainfall characteristics under AR6 climate change scenarios, case study of Pasak River basin, Thailand. In *21st International Scientific Conference Engineering for Rural Development*. Jelgava; 2022. p. 70-79.

- [11] Chhin R, Yoden S. Ranking CMIP5 GCMs for model ensemble selection on regional scale: Case study of the Indochina region. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2018; 123(17): 8949-8974.
- [12] Kamworapan S, Surussavadee C. Evaluation of CMIP5 global climate models for simulating climatological temperature and precipitation for Southeast Asia. *Advances in Meteorology*. 2019; 2019: 1-18.
- [13] Mohobane T, Mantel S, Hughes DA. An assessment of the skill of downscaled GCM outputs in simulating historical patterns of rainfall variability in South Africa. *Hydrology Research*. 2014; 45(1): 134-147.
- [14] Kumar DN, Raju KS. Ranking general circulation models for India using TOPSIS. *Journal of Water and Climate Change*. 2015; 6(2): 288-299.
- [15] Raju KS, Nagesh KD. Ranking of global climate models for India using multicriterion analysis. *Climate Research*. 2014; 60(2): 103-117.
- [16] Islam MN, Rafiuddin M, Ahmed AU, Kolli RK. Calibration of PRECIS in employing future scenarios in Bangladesh. *International Journal of Climatology*. 2008; 28(5): 617-628.
- [17] Sheng Y, Chun YW. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *WARM Journal*. 2004; 18(3): 201-218.
- [18] Kahya E, Kalaycı S. Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*. 2004; 289(1-4): 128-144.
- [19] Kendall MG. *Rank Correlation Methods*. 4 th Edition, Charles Griffin, London. 1975.
- [20] พวงรัตน์ ทวีรัตน์. *วิธีการวิจัยทางพฤกษศาสตร์และสังคมศาสตร์*. สำนักพิมพ์กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร วิโรฒ ประสานมิตร; 2540.
- [21] Humphries UW, Waqas M, Hlaing PT, Dechpichai P, Wangwongchai A. Assessment of CMIP6 GCMs for selecting a suitable climate model for precipitation projections in Southern Thailand. *Results in Engineering*. 2024; 23.