

การประเมินสถานการณ์ CMIP6 ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิสูงสุดรายวันของประเทศไทย

ขวัญฤทัย เรณูหอม^{1,2}, ศิรพงศ์ สุขทวี², โสภา ชินเวทกิจวานิชย์¹, กมลวัฒน์ นาคะสรรค์¹, และสุวิสา มหาสันตนะ^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมสุขภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร

²กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร

* Corresponding author: suwisa.mah@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

แนวโน้มอุณหภูมิในอนาคตเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาเน้นศึกษาการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิในอดีต (Historical Period) จากแบบจำลอง Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) กับข้อมูลตรวจวัด อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลภาพถ่ายที่คาดการณ์ในอนาคต (Projection Period) กับข้อมูลตรวจวัดในช่วงการฉายภาพในอนาคตที่ผ่านมาแล้ว (สำหรับ CMIP6 ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2015) ยังคงมีอยู่อย่างจำกัด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุว่า แบบจำลอง CMIP6 ภายใต้สถานการณ์การระบายก๊าซเรือนกระจก Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) โดยเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากแบบจำลอง CMIP6 (7 GCMs, 4 สถานการณ์) เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดอากาศกรมอุตุนิยมวิทยา 120 แห่งทั่วประเทศ ในช่วงปี ค.ศ. 2015–2023 วิเคราะห์โดยใช้ Taylor diagram และสถิติต่างๆ ได้แก่ ค่าสหสัมพันธ์ (R value), MBE (Mean Bias Error), RMSE (Root Mean Square Error) และ MAE (Mean Absolute Error) ผลการศึกษาพบว่า MBE ส่วนใหญ่มีค่าติดลบ แสดงถึงแบบจำลองส่วนใหญ่มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าค่าจริง ค่าความสัมพันธ์ (R) อยู่ในช่วง 0.40–0.57 โดยแบบจำลอง CanESM5 ภายใต้ SSP3-7.0 ให้ค่า R สูงสุด (0.57) RMSE ต่ำสุด (2.04°C) และ MAE ต่ำสุด (1.58°C) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า SSP3-7.0 เป็นสถานการณ์ที่สามารถจำลองแนวโน้มใกล้เคียงกับอุณหภูมิของประเทศไทยมากที่สุดในช่วงปี ค.ศ. 2015–2023 อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ในประเทศไทยที่นำข้อมูล CMIP6 ไปศึกษามักมุ่งเน้นไปที่สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 ดังนั้นควรมีการพิจารณา SSP3-7.0 ในการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต เพื่อเพิ่มความครอบคลุมการวิเคราะห์ในบริบทของประเทศไทย

คำสำคัญ: CMIP6 / ประเทศไทย / อุณหภูมิ / SSPs / ภาพฉายภูมิอากาศ

Suitable CMIP6 Scenario for Daily Maximum Temperature Projections of Thailand

Khwanruthai Renuhom^{1,2} Sirapong Sooktaewee² Sopa Chinwetkitvanich¹ Kamonwat Nakason¹
and Suwisa Mahasandana^{1*}

¹*Department of Sanitary Engineering, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok, Thailand.*

²*Department of Climate Change and Environment, Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok, Thailand*

* *Corresponding author: suwisa.mah@mahidol.ac.th*

Abstract

Understanding future temperature projections is essential for assessing climate change impacts and devising effective mitigation strategies. In Thailand, although many studies have compared historical climate data from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) with observations, direct evaluation of projected temperature data with observations remains limited. This study aimed to determine which CMIP6 scenario most closely represented the maximum temperature (Tmax) over Thailand. By comparing daily temperature data from 7 Global Climate Models (GCMs) and 4 Shared Socioeconomic Pathway (SSPs) scenarios with actual observations from 120 meteorological stations across Thailand during 2015–2023 using Taylor diagram technique and comparing statistical values including correlation coefficient (R value), Mean Bias Error (MBE), Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Error (MAE). The MBE results indicated that most values are underestimated. The R value range was found from 0.40 to 0.57. The highest correlation, $R = 0.57$, was found from SSP3-7.0 of CanESM5 with the lowest RMSE (2.04) and MAE (1.58). This study suggested that SSP3-7.0 provided the best suitable performance in capturing Thailand's temperature conditions for the projected period 2015-2023 and closely aligning with observed data. However, most previous studies in Thailand have mainly focused on SSP2-4.5 and SSP5-8.5. Therefore, future studies must be also considered on SSP3-7.0 to improve the coverage and accuracy of climate impact analysis, especially in the context of Thailand.

Keywords: CMIP6 / Thailand / Temperature / SSPs / Climate Projection

1. บทนำ

อุณหภูมิโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เร่งให้เกิดภาวะโลกร้อน ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและนำไปสู่ผลกระทบรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มมากขึ้น [1] ปรากฏการณ์นี้ส่งผลกระทบต่อทั้งในด้านกายภาพ เศรษฐกิจ และสังคม ทั้งการละลายของธารน้ำแข็ง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ความรุนแรงของสภาพอากาศที่สุดขีด และการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ สำหรับประเทศไทย การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้เกิดภัยแล้งที่ยาวนานมากขึ้น น้ำท่วมรุนแรงมากขึ้น และความเสี่ยงด้านสุขภาพที่เพิ่มสูงขึ้นจากคลื่นความร้อน [2] เพื่อประเมินผลกระทบและวางแผนการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต โครงการ Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) ได้รับ การริเริ่ม โดย World Climate Research Programme (WCRP) เพื่อศึกษาแบบจำลองภูมิอากาศหลายแบบจำลองจากสถาบันทั่วโลก โครงการเริ่มต้นตั้งแต่ระยะที่ 1 (CMIP1) และดำเนินการอย่างต่อเนื่องถึงระยะที่ 6 (CMIP6) ซึ่งเป็นการจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตภายใต้เส้นทางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสถานการณ์การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม (Shared Socioeconomic Pathways: SSPs) ที่แตกต่างกัน ผลจากแบบจำลองเหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในศตวรรษที่ 21 และมีความจำเป็นในการวางแผนปรับตัวเพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ [3] มีการนำข้อมูลจากโครงการ CMIP ในระยะก่อนหน้าไปศึกษาวิจัยหลากหลายด้าน [4-6] รวมทั้งโครงการ CMIP6 เช่น การประเมินแนวโน้มฝนในอนาคต [7] การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวโลกในระดับภูมิภาค [8] การศึกษาความเสี่ยงด้านสุขภาพจากคลื่นความร้อน [9] และการวางแผนปรับตัวด้านการเกษตร [10] เป็นต้น ซึ่งสะท้อนถึงความสำคัญของชุดข้อมูล CMIP6 ในการสนับสนุนการวางนโยบายและการวิจัยเพื่อการรับมือกับสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง

แบบจำลอง CMIP6 มีการจัดแบ่งช่วงเวลาการศึกษาออกเป็น 2 ระยะหลัก ได้แก่ ช่วงเวลาในอดีต (historical) ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ปี ค.ศ. 1850 ถึง 2014 และ ช่วงภาพฉายอนาคต (projection) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2015 เป็นต้นไป อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มักให้ความสำคัญกับการเปรียบเทียบแบบจำลองในช่วงเวลาในอดีต โดยมีเป้าหมายเพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของแบบจำลองจากการเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริง โดยได้มีการศึกษาวิเคราะห์ความสามารถของแบบจำลอง CMIP6 ในการคาดการณ์ปริมาณฝนในภาคใต้ของประเทศไทย โดยเปรียบเทียบข้อมูลแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัดจริงในช่วงปี ค.ศ. 1985–2014 โดยพบว่าแบบจำลองส่วนใหญ่ยังมีความเบี่ยงเบนจากข้อมูลจริงในบางพื้นที่ [7] และการประเมินแบบจำลอง CMIP6 จำนวน 13 แบบจำลองในช่วงเวลาในอดีต (ค.ศ. 2000–2014) โดยใช้ตัวชี้วัดทางสถิติเพื่อประเมินความสามารถของแบบจำลองในการจำลองอุณหภูมิของประเทศไทย [8] รวมทั้งมีการศึกษาการเปรียบเทียบข้อมูลแบบจำลองจากโครงการ CMIP6 จำนวน 27 แบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัด ในการจำลองปริมาณฝนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ครอบคลุมช่วงปี ค.ศ. 1975–2014 [11] ซึ่งยังคงเป็นช่วงเวลาในอดีต ในขณะที่การศึกษาในช่วง projection สำหรับช่วงเวลาที่ผ่านมาแล้ว สามารถนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงที่เกิดขึ้นแล้วบางส่วน เช่น ปี ค.ศ. 2015–2023 ยังคงมีอยู่อย่างจำกัด

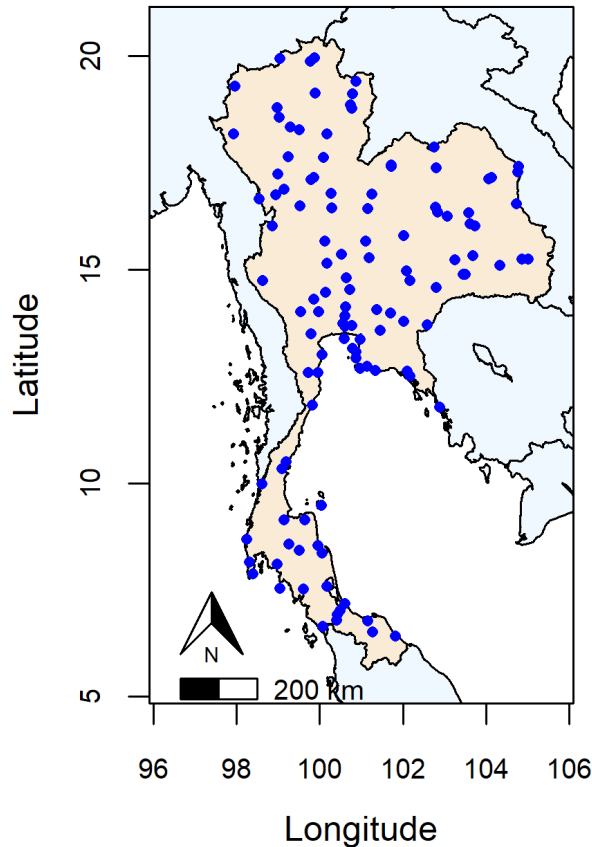
การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินสถานการณ์ภาพฉาย CMIP6 ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิสูงสุดรายวันของประเทศไทย โดยเปรียบเทียบข้อมูล 7 แบบจำลองจากโครงการ CMIP6 ภายใต้ 4 สถานการณ์ (SSPs) ได้แก่ SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 และ SSP5-8.5 กับข้อมูลตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา 120 สถานีทั่วประเทศในช่วงปี ค.ศ. 2015–2023 ซึ่งเป็นช่วงต้นของช่วงภาพฉาย (projection) ที่สามารถใช้ตรวจสอบกับข้อมูลจริงที่เกิดขึ้นแล้ว เพื่อระบุว่าแบบจำลองใดและสถานการณ์ใดที่สามารถจำลองแนวโน้มอุณหภูมิของประเทศไทยได้สอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากที่สุด และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมในการศึกษาผลกระทบ การประเมินความเสี่ยง รวมถึงการวางแผนปรับตัวและนโยบายด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินสถานการณ์ภาพฉาย CMIP6 ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิสูงสุดรายวันของประเทศไทย ในช่วงปี ค.ศ. 2015–2023

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันระหว่างข้อมูลตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 120 สถานี ที่กระจายตัวอย่างครอบคลุมในทุกภูมิภาคของประเทศไทย (แสดงในรูปที่ 1) กับข้อมูลภาพถ่ายอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากแบบจำลองภูมิอากาศจากโครงการ CMIP6 จำนวน 7 แบบจำลอง ภายใต้ 4 สถานการณ์ในช่วงปี ค.ศ. 2015–2023



รูปที่ 1 แสดงขอบเขตการศึกษา

ข้อมูลภาพถ่ายจากแบบจำลอง CMIP6 ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลที่เพิ่มความละเอียดเชิงพื้นที่ (Statistical Downscaling) สำหรับประเทศไทย โดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) เพื่อให้เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ประเทศไทยมากยิ่งขึ้น แบบจำลองจากโครงการ CMIP6 ที่ใช้ในการศึกษามีจำนวน 7 แบบจำลอง รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1 [8,11] ภายใต้ภาพถ่าย 4 สถานการณ์ (SSPs) ได้แก่ SSP1-2.6 (แนวทางการพัฒนาแบบยั่งยืนปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับต่ำ), SSP2-4.5 (แนวทางการพัฒนาแบบปานกลาง), SSP3-7.0 (แนวทางที่มีความขัดแย้งด้านภูมิรัฐศาสตร์และการพัฒนาอย่างไม่ทั่วถึง) และ SSP5-8.5 (แนวทางที่เน้นการเติบโตทางเศรษฐกิจและใช้พลังงานฟอสซิลเป็นหลัก)

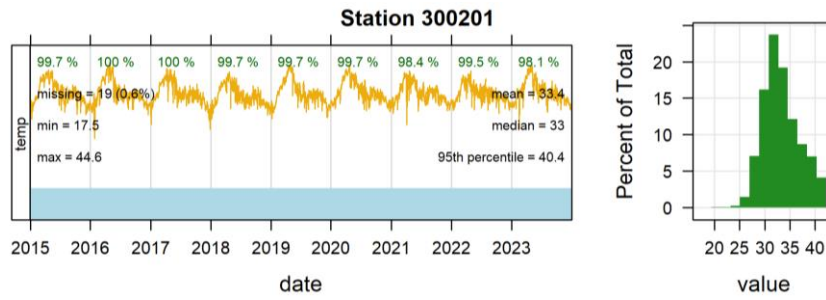
ตารางที่ 1 แบบจำลอง CMIP6 ที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ	ชื่อแบบจำลอง	ชื่อเต็มแบบจำลอง	หน่วยงาน	ความละเอียดเชิงพื้นที่ (ลองจิจูด x ละติจูด)	การเพิ่มความละเอียดเชิงพื้นที่ (Statistic downscaling) (ลองจิจูด x ละติจูด)
1	CESM2	Community Earth System Model version2	National Center of Atmospheric Research (NCAR), USA	1.25 x 0.94	0.05 x 0.05
2	MRI-ESM2-0	The Meteorological Research Institute Earth System Model Version 2.0	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), Germany	1.12 x 1.12	0.05 x 0.05
3	BCC-CSM2-MR	the Beijing Climate Center - Climate System Model version 2 - the medium-resolution version	Beijing Climate Center of China Meteorological Administration (BCC-CMA), China	1.12 x 1.12	0.05 x 0.05
4	CanESM2	The second-generation Canadian Earth System Model	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCMA), Canada	2.81 x 2.79	0.05 x 0.05
5	CMCC-ESM2	The Euro-Mediterranean Centre on Climate Change - Earth System Model	Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Italy	1.25 x 0.94	0.05 x 0.05
6	EC-Earth3	The Earth system model version3	EC-EARTH consortium, The Netherlands/Ireland	0.70 x 0.70	0.05 x 0.05
7	IPSL-CM6A-LR	the Institut Pierre-Simon Laplace - climate model Version 6A - low resolution	Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), France	2.5 x 1.3	0.05 x 0.05

4. วิธีการศึกษา

4.1 ข้อมูลและการเตรียมข้อมูล

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากสองแหล่งหลัก ประกอบด้วย แหล่งที่หนึ่งคือ ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 120 สถานี ครอบคลุมช่วงปี ค.ศ. 2015–2023 โดยดำเนินการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากแต่ละสถานี ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติเบื้องต้น [12] คือ เทคนิค Boxplot เพื่อแสดงการกระจายตัวของข้อมูลจาก 120 สถานี และเทคนิค Summary Plot เพื่อวิเคราะห์ค่าพื้นฐาน เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่ามัธยฐาน ของแต่ละสถานี แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2 และแหล่งที่สองคือ ข้อมูลภาพถ่ายอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากแบบจำลองภูมิอากาศ CMIP6 ประกอบด้วยแบบจำลองจำนวน 7 แบบจำลอง ภายใต้ภาพฉาย 4 สถานการณ์ (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 และ SSP5-8.5) นำข้อมูลทั้งสองมาจัดเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สอดคล้องกัน เพื่อให้สามารถนำข้อมูลจริงและมาข้อมูลจากแบบจำลองเปรียบเทียบกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค summary plot

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

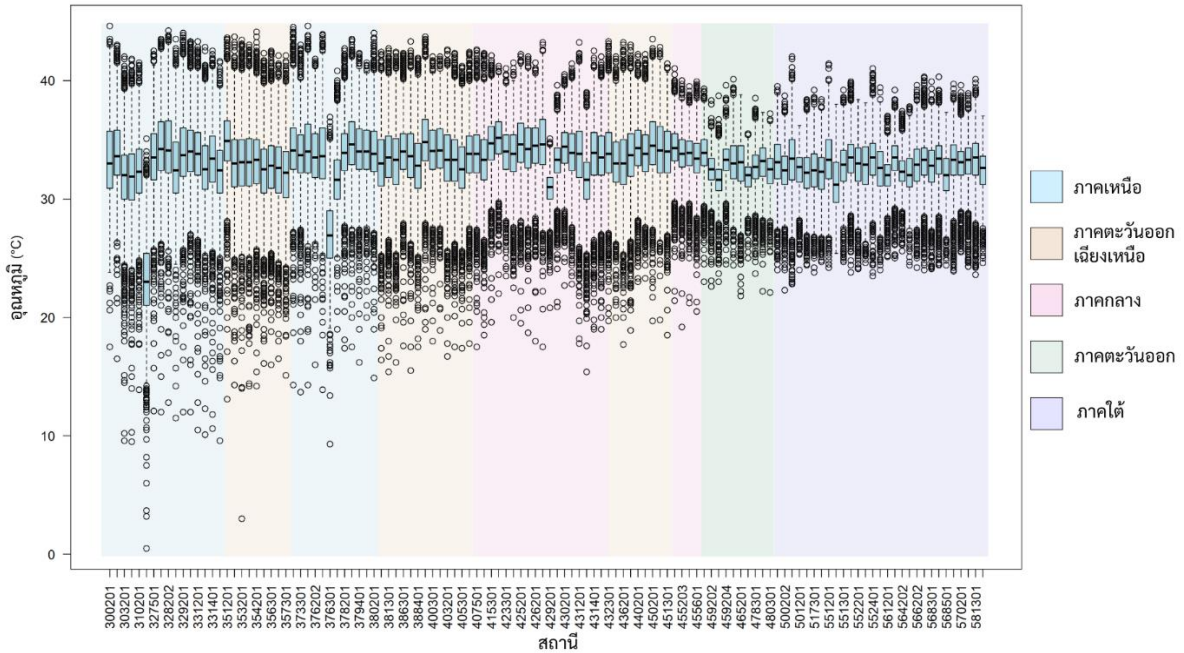
ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จัดเตรียมแล้วโดยใช้โปรแกรม R [13] ในการคำนวณค่าทางสถิติเพื่อประเมินความแม่นยำของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด โดยใช้ตัวชี้วัดทางสถิติหลัก 4 รายการ ได้แก่ ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: R) เพื่อวัดความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างข้อมูลตรวจวัดกับข้อมูลจากแบบจำลอง, ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Bias Error: MBE) เพื่อระบุว่าข้อมูลจากแบบจำลองมีแนวโน้มสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าจริง, ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE) เพื่อแสดงระดับความคลาดเคลื่อนโดยไม่พิจารณาทิศทาง และ ค่ารากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error: RMSE) เพื่อแสดงความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างค่าอุณหภูมิจากแบบจำลองกับค่าจริง โดยเทคนิค Taylor Diagram [14] ผลการวิเคราะห์จะถูกนำเสนอในรูปแบบกราฟและดำเนินการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ระหว่างข้อมูลตรวจวัดจริงและแบบจำลองที่ให้ค่าทางสถิติที่ดีที่สุด

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากสถานีตรวจวัด

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันของสถานีตรวจวัดอากาศจำนวน 120 แห่งทั่วประเทศไทย ในช่วงปี ค.ศ 2015 – 2023 ด้วยเทคนิค boxplot [12] แสดงดังรูปที่ 3 โดยหมายเลขสถานีส่วนใหญ่จากซ้ายไปขวาจะเรียงตามภูมิภาคของประเทศไทย ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกและภาคใต้ พบว่า ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุดรายวันทั่วประเทศอยู่ที่ประมาณ 33.12 องศาเซลเซียส โดยมีบางสถานีที่มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศอย่างชัดเจน ได้แก่ สถานีหมายเลข 327202 ดอยอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ และสถานีหมายเลข 3673041 ดอยมูเซอ จังหวัดตาก ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่สูง ส่งผลให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นที่โดยรอบ เมื่อเปรียบเทียบตามภูมิภาค พบว่าพื้นที่ภาคตะวันออกและภาคใต้มีช่วงการกระจายตัวของอุณหภูมิแคบกว่าภาคอื่น ๆ ซึ่งอาจเกิดจากอิทธิพลของทะเลและความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง ช่วยลดความผันแปรของอุณหภูมิระหว่างวัน

การกระจายตัวของข้อมูลอุณหภูมิตรวจวัด

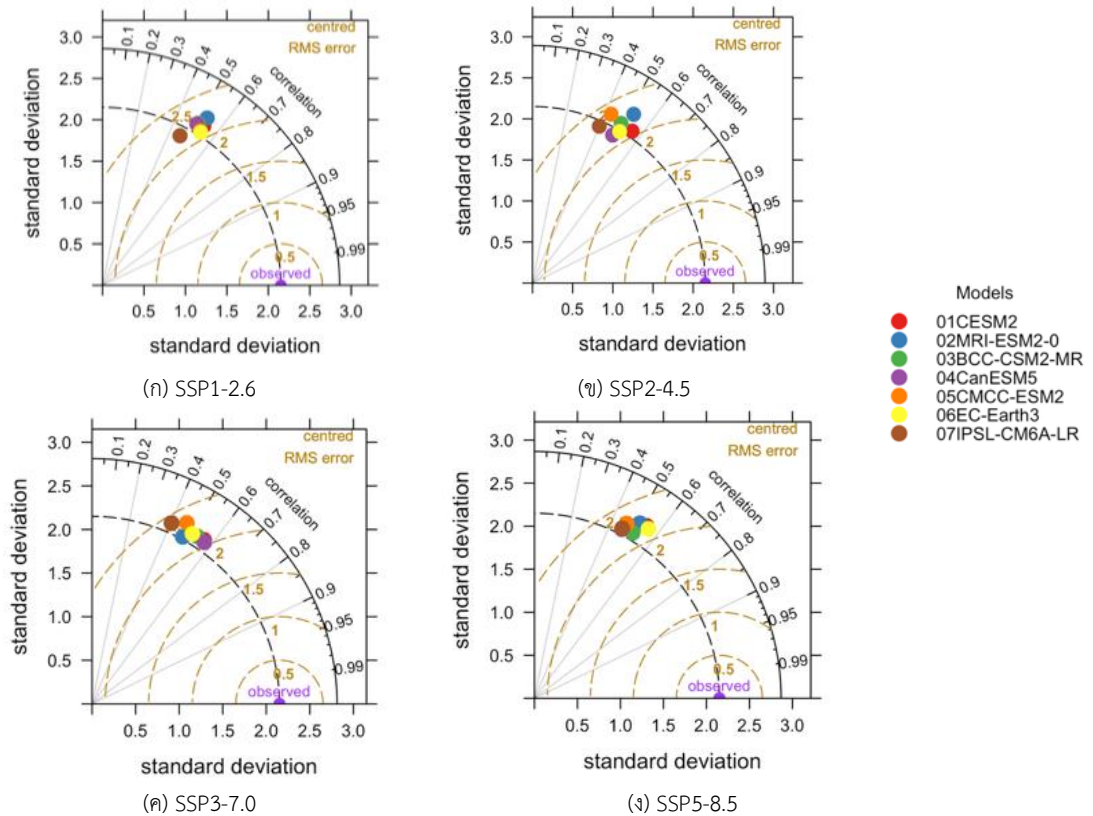


รูปที่ 3 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลตรวจวัด

5.2 ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากแบบจำลอง CMIP6 ภายใต้แต่ละสถานการณ์

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง CMIP6 จำนวน 7 แบบจำลอง ภายใต้ 4 สถานการณ์ (SSPs) ได้แก่ SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 และ SSP5-8.5 ดำเนินการโดยใช้ Taylor Diagram เพื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติระหว่างแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัดจริง ได้แก่ ค่า R, ค่า RMSE และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) จากรูปที่ 4 (ก) SSP1-2.6 พบว่าแบบจำลองส่วนใหญ่อยู่ในช่วงค่า R ประมาณ 0.5 ค่า RMSE ประมาณ 2.2 และค่า SD ส่วนใหญ่มากกว่าข้อมูลตรวจวัดจริง ซึ่งบ่งชี้ว่าแบบจำลองมีความแปรปรวนของอุณหภูมิสูงกว่าความเป็นจริง แบบจำลอง IPSL-CM6A-LR มีค่า R ต่ำที่สุด (0.46) และค่า SD ต่ำกว่าค่าจากข้อมูลจริง แสดงถึงความไม่สอดคล้องกับแนวโน้มอุณหภูมิจริงและความแปรปรวนที่ต่ำกว่าแบบจำลองอื่น รูปที่ 4 (ข) แสดง SSP2-4.5 พบว่า จุดข้อมูลของแบบจำลองมีการกระจายตัวมากขึ้นเมื่อเทียบกับ SSP1-2.6 แบบจำลอง CESM2 แสดงค่า R สูงสุดที่ 0.56 ซึ่งสื่อถึงความสัมพันธ์กับข้อมูลจริงที่ดีที่สุดในสถานการณ์นี้ ในขณะที่ IPSL-CM6A-LR ยังคงให้ค่า R ต่ำสุดที่ 0.40 รูปที่ 4 (ค) แสดง SSP3-7.0 พบว่า แบบจำลองทั้งหมดมีค่า SD สูงกว่าข้อมูลจริง โดยแบบจำลอง CanESM5 และ CESM2 แสดงค่า R สูงสุดที่ 0.57 และ 0.56 ตามลำดับ สะท้อนถึงความสามารถในการจำลองแนวโน้มอุณหภูมิสูงสุดรายวันได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากที่สุด ขณะที่ IPSL-CM6A-LR ยังคงแสดงผลต่ำสุด เช่นเดียวกับสถานการณ์อื่น และรูปที่ 4 (ง) แสดง SSP5-8.5 พบว่า แบบจำลองส่วนใหญ่มีค่า SD สูงกว่าค่าจริง และมีการกระจายตัวของค่าผลลัพธ์มากขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ SSP1-2.6 โดยแบบจำลอง EC-Earth3 ($R = 0.56$) และ CESM2 ($R = 0.55$) มีค่าความสัมพันธ์สูงสุด ขณะที่ IPSL-CM6A-LR ยังคงให้ค่า R ต่ำสุดที่ 0.46

โดยจากการประเมินการจำลองปริมาณฝนในภาคใต้ของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 1985–2014 ยังพบว่าแบบจำลอง IPSL-CM6A-LR ให้ผลลัพธ์ที่คลาดเคลื่อนจากข้อมูลจริงสูง ซึ่งเป็นแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลการศึกษา [7] รวมทั้งมีการศึกษาการเปรียบเทียบแบบจำลอง CMIP6 จำนวน 27 แบบจำลองในการจำลองปริมาณฝนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบว่าแบบจำลอง CESM2 และ EC-Earth3 มีความแม่นยำสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา โดยเฉพาะในประเทศไทย ลาว และเวียดนาม [11] และในจากการศึกษานี้ได้แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลอง CESM2 และ EC-Earth3 ภายใต้ SSP5-8.5 ให้ค่าความสัมพันธ์สูงเช่นเดียวกันกับปริมาณฝน



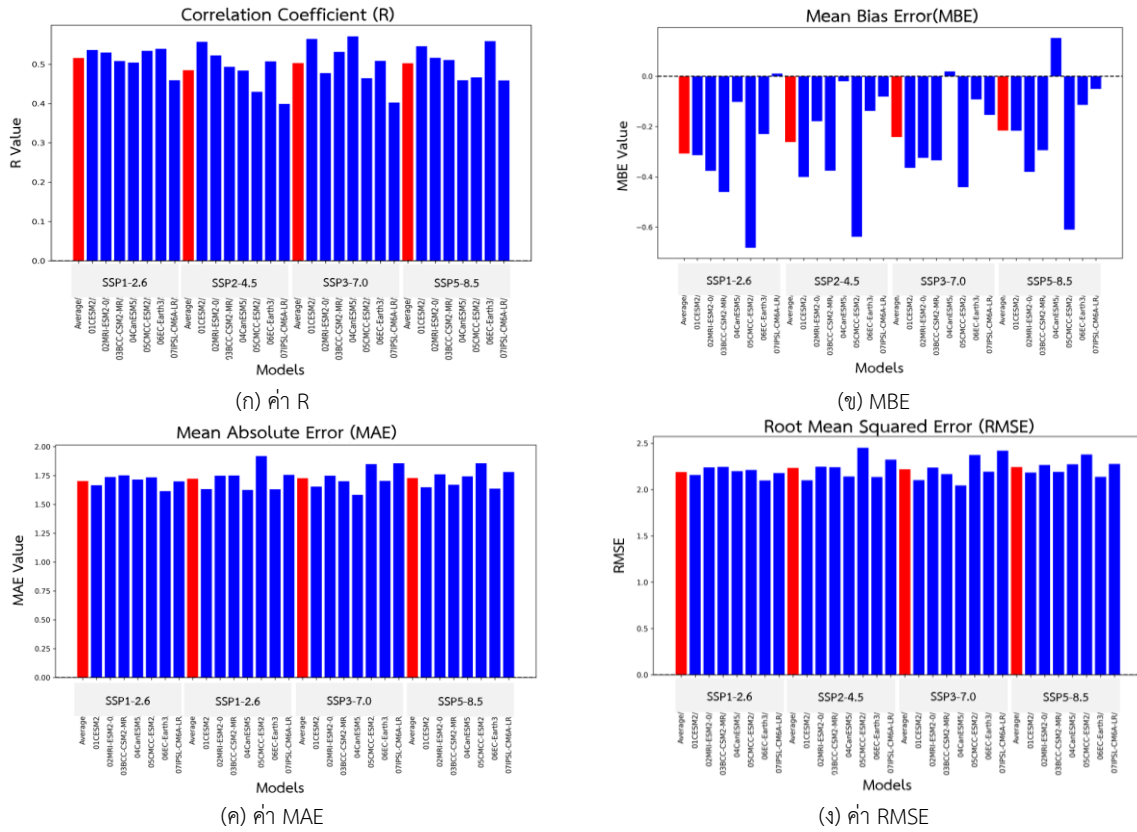
รูปที่ 4 แสดงการประเมินแบบจำลอง CMIP6 ภายใต้สถานการณ์ (ก) SSP1-2.6 (ข) SSP2-4.5 (ค) SSP3-7.0 และ (ง) SSP5-8.5

5.3 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของแบบจำลอง CMIP6

จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของแบบจำลองภูมิอากาศ CMIP6 จำนวน 7 แบบจำลอง ภายใต้ 4 สถานการณ์ SSPs ได้แก่ SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 และ SSP5-8.5 โดยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่า R, ค่า MBE, ค่า MAE และค่า RMSE ดังรูปที่ 5 (ก) แสดง ค่า R พบว่า แบบจำลอง CESM2 แสดงค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลจริงสูงที่สุดในหลายสถานการณ์ ขณะที่แบบจำลอง IPSL-CM6A-LR ให้ค่า R ต่ำที่สุดในทุกสถานการณ์ โดยสถานการณ์ SSP3-7.0 มีแบบจำลอง CanESM5 และ CESM2 ที่ให้ค่า R สูงสุดถึง 0.57 และ 0.56 ตามลำดับ รูปที่ 5 (ข) แสดงค่า MBE พบว่า โดยรวมแล้วแบบจำลองส่วนใหญ่มีค่า MBE ติดลบ ซึ่งสะท้อนถึงแนวโน้มในการประเมินอุณหภูมิต่ำกว่าค่าจริง สำหรับแบบจำลอง IPSL-CM6A-LR ภายใต้ SSP1-2.6 ให้ค่า MBE ต่ำที่สุด (ต่ำกว่า 0 อย่างชัดเจน) ในขณะที่แบบจำลอง CanESM5 ภายใต้ SSP2-4.5 และ SSP3-7.0 ให้ค่า MBE ใกล้เคียงศูนย์ที่สุด (ประมาณ ± 0.02) ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำสูง รูปที่ 5 (ค) แสดง ค่า MAE พบว่าแบบจำลอง CanESM5 ภายใต้ SSP3-7.0 มีค่า MAE ต่ำที่สุดที่ 1.58°C บ่งชี้ว่าเป็นแบบจำลองที่ให้ค่าคาดการณ์ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุดในภาพรวม และรูปที่ 5 (ง) แสดง ค่า RMSE พบว่า แบบจำลอง CanESM5 ภายใต้ SSP3-7.0 ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุดที่ 2.04°C แสดงถึงความแม่นยำสูงสุดในการจำลองแนวโน้มอุณหภูมิสูงสุดรายวันของประเทศไทย เมื่อเทียบกับแบบจำลองและสถานการณ์อื่น ๆ

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาแบบจำลอง CMIP6 ในการจำลองอุณหภูมิสุดขีดในประเทศจีน โดยพบว่า CanESM5, CESM2 และ EC-Earth3 ให้ผลที่สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดมากที่สุด ในขณะที่ IPSL-CM6A-LR แสดงผลที่เบี่ยงเบนสูงเช่นเดียวกับกรณีในประเทศไทย [12] และมีการเสนอว่าค่า RMSE และ MAE ที่ต่ำใน CanESM5 [13] อีกทั้งงานวิจัยภายในประเทศไทยที่ศึกษาแบบจำลอง CMIP6 ในการจำลองอุณหภูมิและปริมาณฝนในช่วง historical พบว่า CanESM5 และ CESM2 เป็นแบบจำลองที่ให้ค่า R สูงและมีค่า SD ต่ำที่สุด ขณะที่ IPSL-CM6A-LR ให้ผลที่เบี่ยงเบนจากข้อมูลจริงมากที่สุดในหลายตัวชี้วัดทางสถิติ [8] และศึกษาแบบจำลอง CMIP6 จำนวน 27 แบบจำลองในบริบทของเอเชีย

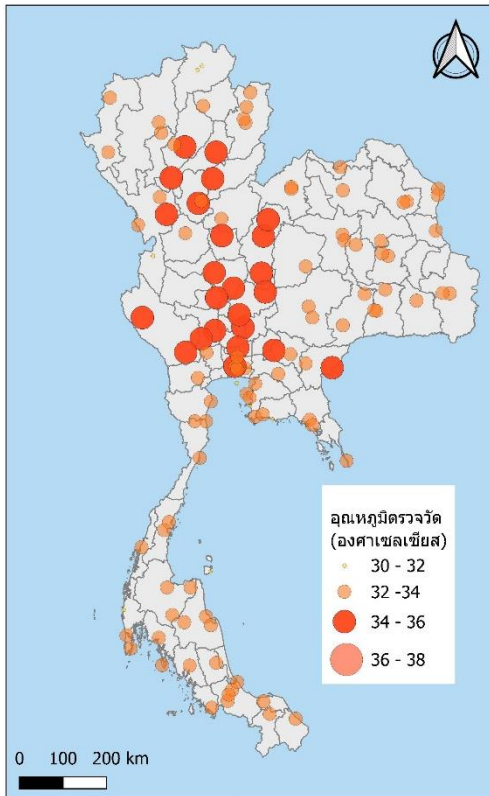
ตะวันออกเฉียงใต้ โดยพบว่า CESM2 และ EC-Earth3 เป็นแบบจำลองที่ให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากที่สุด ในบริเวณประเทศไทย ลาว และเวียดนาม [11]



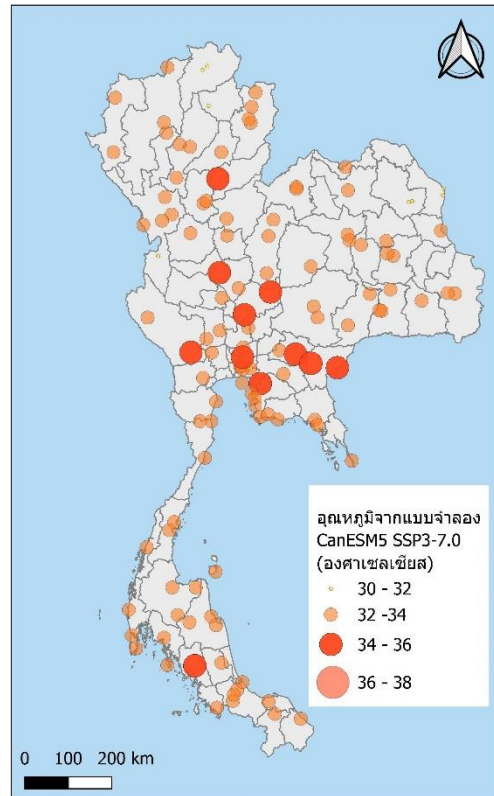
รูปที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ก) ค่า R (ข) ค่า MBE (ค) ค่า MAE และ (ง) ค่า RMSE

5.4 การเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ระหว่างข้อมูลตรวจวัดจริงและแบบจำลอง CanESM5 (SSP3-7.0)

จากการทำแผนที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดรายวัน ช่วงปี ค.ศ. 2015 – 2022 (รูปที่ 6) โดยเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลตรวจวัดจริง จากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา กับ ข้อมูลจากแบบจำลอง CanESM5 ภายใต้สถานการณ์ SSP3-7.0 ซึ่งเป็นแบบจำลองและสถานการณ์ภาพฉายที่ให้ค่าทางสถิติที่ดีที่สุด พบว่า ภาพรวมของทั้งประเทศ ค่าจากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับค่าจากข้อมูลตรวจวัดจริง ทั้งในด้านช่วงค่าเฉลี่ยและรูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ และพบความแตกต่างในบางพื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่บางส่วนของ ภาคเหนือ และ ภาคกลาง ของประเทศ ซึ่งข้อมูลตรวจวัดจริงมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าข้อมูลจากแบบจำลองประมาณ 1–2 องศาเซลเซียส แนวโน้มดังกล่าวอาจสะท้อนถึงผลกระทบจากลักษณะภูมิประเทศเฉพาะ เช่น พื้นที่ในหุบเขา หรือการสะสมความร้อนในเขตเมืองที่แบบจำลองยังมีความคาดเคลื่อน



(ก) อุณหภูมิตรวจวัดจริง



(ข) อุณหภูมิจากแบบจำลอง CanESM5 SSP3-7.0

รูปที่ 6 แสดงแผนที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดรายวันจาก (ก) อุณหภูมิตรวจวัดจริง และ (ข) อุณหภูมิจากแบบจำลอง CanESM5 SSP3-7.0

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสถานการณ์ CMIP6 ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิสูงสุดรายวันของประเทศไทย จำนวน 7 แบบจำลอง ภายใต้ 4 สถานการณ์ ในการจำลองอุณหภูมิสูงสุดรายวันของประเทศไทยในช่วงปี ค.ศ. 2015 - 2023 โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริงจากสถานีอุตุนิยมวิทยา 120 แห่งทั่วประเทศ ผ่านการวิเคราะห์เชิงสถิติ ได้แก่ ค่าสหสัมพันธ์ (R), ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MBE), ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE), ค่ารากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (RMSE) และการแสดงผลด้วยเทคนิค Taylor Diagram กราฟ และแผนที่ ผลการศึกษาพบว่าเห็นว่าการจำลอง CanESM5 ภายใต้สถานการณ์ SSP3-7.0 ให้ผลการจำลองที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดมากที่สุด โดยมีค่า R สูงสุด (0.57) และค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดทั้ง RMSE (2.04°C) และ MAE (1.58°C) ในขณะที่แบบจำลอง IPSL-CM6A-LR แสดงค่า R ต่ำที่สุดในทุกสถานการณ์ที่ศึกษา นอกจากนี้ ยังได้มีการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงพื้นที่โดยใช้แผนที่แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดรายวันในช่วงปี ค.ศ. 2015-2022 พบว่า ภาพรวมของข้อมูลจากแบบจำลอง CanESM5 SSP3-7.0 มีแนวโน้มสอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดในเกือบทุกพื้นที่ของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม มีบางพื้นที่โดยเฉพาะใน ภาคเหนือ และ ภาคกลาง ที่ข้อมูลตรวจวัดจริงมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าข้อมูลจากแบบจำลองประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะภูมิประเทศเฉพาะ หรือผลกระทบจากเกาะความร้อนในเขตเมืองที่แบบจำลองอาจยังไม่สามารถสะท้อนออกมาได้อย่างสมบูรณ์ และผลการศึกษาทั้งในเชิงสถิติและเชิงพื้นที่ สามารถสรุปได้ว่า แม้สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 จะเป็นที่ยอมรับใช้ในการศึกษาผลกระทบจากข้อมูล CMIP6 ในประเทศไทย แต่สถานการณ์ SSP3-7.0 โดยเฉพาะแบบจำลอง CanESM5 ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าในช่วงเวลาที่ศึกษา

ดังนั้น การนำข้อมูลจากแบบจำลอง CanESM5 ภายใต้ SSP3-7.0 ไปใช้ในการ ประเมินผลกระทบ การวางแผนการปรับตัว และการจัดทำนโยบายด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย ถือเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูง และควรได้รับการส่งเสริมให้เป็นหนึ่งในตัวเลือกหลักในการศึกษาวิจัยและการตัดสินใจเชิงนโยบายในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] IPCC. (2018). Global warming of 1.5°C. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [2] Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. (2024). Fourth Biennial Update Report: BUR4. Bangkok, Thailand.
- [3] Meinshausen, M., Nicholls, Z. R. J., Lewis, J., et al. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development*, 13, 3571–3605.
- [4] Supharatid, S. (2016). Skill of precipitation projection in the Chao Phraya river Basin by multi-model ensemble CMIP3-CMIP5. *Weather and Climate Extremes*, 12, 1–14.
- [5] Pattanyak, K. C., Kar, S. C., Dalal, M., et al. (2017). Projections of annual rainfall and surface temperature from CMIP5 models over the BIMSTEC countries. *Global and Planetary Change*, 152, 152–166.
- [6] Chotamonsak, C., Thanadolmethaphorn, P., & Lapyai, D. (2019). Evaluation and Projection of Changes in Temperature over Northern Thailand Based on CMIP5 Models. *EnvironmentAsia*, 12, 93–101.
- [7] Humphries, W., Waqas, M., et al. (2024). A comprehensive assessment of CMIP6 General Circulation Models for precipitation projections in Southern Thailand. *Climatic Change Journal*, 160, 1–18.
- [8] Kamworapan, S., Bich Thao, P. T., Gheewala, S. H., Pimonsree, S., & Prueksakorn, K. (2021). Evaluation of CMIP6 GCMs for simulations of temperature over Thailand and nearby areas in the early 21st century. *Heliyon*, 7(11), e08263. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08263>
- [9] Li, T., Horton, R. M., & Kinney, P. L. (2020). Projections of seasonal patterns in temperature-related deaths for Manhattan, New York. *Nature Climate Change*, 10, 1046–1051. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00952-4>
- [10] Mbow, C., Rosenzweig, C., et al. (2019). Food Security. In *Climate Change and Land: An IPCC Special Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- [11] Pimonsree, S., Kamworapan, S., Gheewala, S. H., Thongbhakdi, A., & Prueksakorn, K. (2023). Evaluation of CMIP6 GCMs performance to simulate precipitation over Southeast Asia. *Atmospheric Research*, 282, 106522. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106522>
- [12] Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer. <https://ggplot2.tidyverse.org>
- [13] R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- [14] Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D7), 7183–7192. <https://doi.org/10.1029/2000JD900719>
- [15] Liang, H., Wang, Y., Zhao, T., & Li, W. (2021). Evaluation of CMIP6 global climate models for simulation of temperature and precipitation in China. *Climate Dynamics*, 56(3–4), 869–886. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05512-0>
- [16] Zhou, T., Zhang, W., Lin, A., Chen, X., & Xu, Y. (2022). Performance of CMIP6 models in simulating extreme temperature events over China. *Theoretical and Applied Climatology*, 147(1), 193–210. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03720-3>