



การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งภายใต้ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

วิทยานิพนธ์
ของ
ฉัตรภัช ศรีเนตร

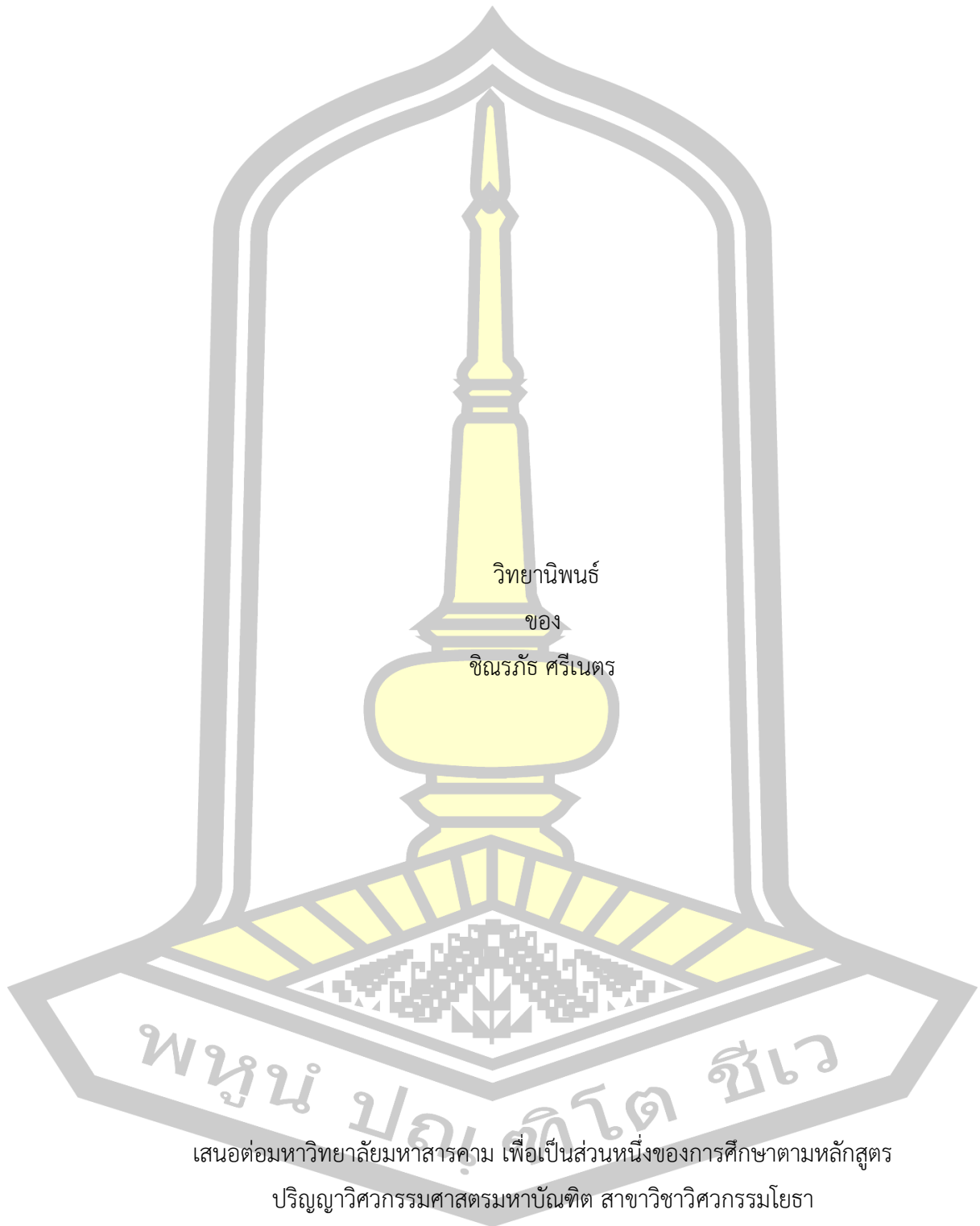
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

พฤษภาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งภายใต้ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ



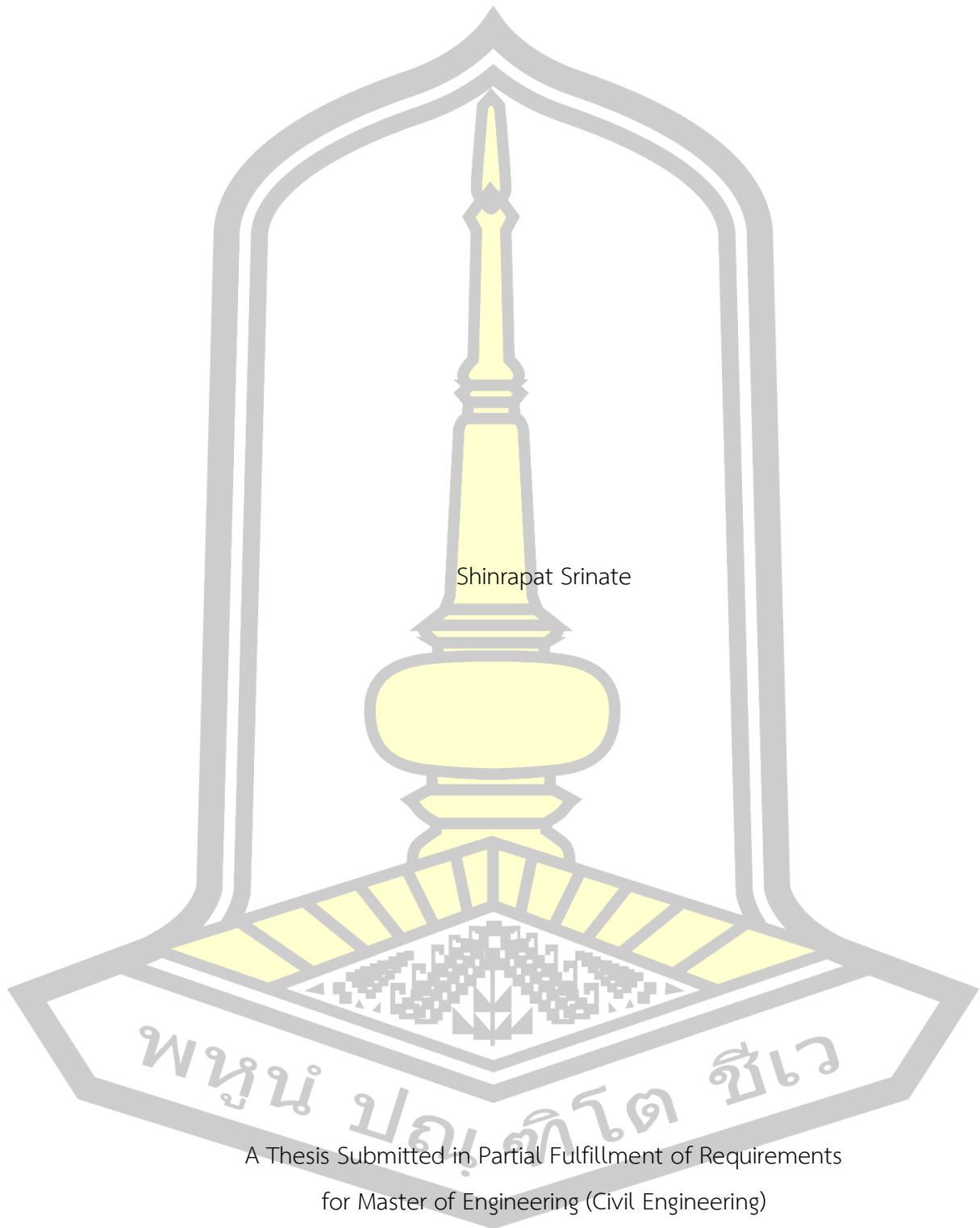
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

พฤษภาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

An assessment of drought risk areas under the impact of climate change



Shinrapat Srinate

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Civil Engineering)

May 2024

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายชินรภัธ ศรีเนตร แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. หริส ประสารฉ่ำ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. รัตนา หอมวิเชียร)

กรรมการ

(ศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

กรรมการ

(รศ. ดร. เรืองรุชดี ชีระโรจน์)

กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(ผศ. ดร. หริส ประสารฉ่ำ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(รศ. ดร. จักรมาส เล้าหวณิช)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รศ. ดร. กิริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งภายใต้ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ		
ผู้วิจัย	ชิณรภัช ศรีเนตร		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัตนา หอมวิเชียร		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2567

บทคัดย่อ

ห้วยสามหมอกเป็นลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำชีตอนบน ปัญหาของลุ่มน้ำนี้คือการขาดแคลนน้ำจนเกิดความแห้งแล้งเนื่องจากหลายสาเหตุ อาทิ ปริมาณฝนมีปริมาณน้อย แหล่งกักเก็บน้ำไม่เพียงพอหรือค่อนข้างตื้นเขิน และดินอุ้มน้ำได้น้อย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในอนาคตของลุ่มน้ำห้วยสามหมอกโดยใช้แบบจำลอง CMIP5 โดยแบ่งสถานการณ์ออกเป็น 2 สถานการณ์ ได้แก่ RCP4.5 และ RCP8.5 เพื่อประเมินระดับความรุนแรงในการเกิดความแห้งแล้งทางเกษตรกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยสามหมอก โดยการใช้ดัชนีความแห้งแล้งทางด้านเกษตรกรรมตามฤดูกาลมรสุม (Generalized Monsoon Index: GMI) ในการวิเคราะห์ระดับความรุนแรงในการเกิดความแห้งแล้งจากสภาวะความแห้งแล้งของพืชในอนาคต โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงปีอนาคต ได้แก่ ปีอนาคตอันใกล้ (ปี ค.ศ.2023-2042) ปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 (ปี ค.ศ.2043-2062) ปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 (ปี ค.ศ.2063-2082) และปีอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ.2083-2099)

ผลการศึกษาพบว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยสามหมอกปริมาณน้ำฝนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกช่วงปีอนาคต ทั้ง 4 ช่วง เมื่อพิจารณาสำหรับมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ สถานการณ์ RCP 4.5 ของทั้ง 4 ช่วงเวลา จากแบบจำลอง CNRM ดัชนี GMI มีค่าเท่ากับ 13.08 (แล้งมาก) สำหรับช่วงปีอนาคตอันใกล้ เท่ากับ 37.69 (ค่อนข้างแล้ง) ช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 เท่ากับ 75.67 และ 73.56 (ความชื้นสูงกว่าปกติ) สำหรับปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 และ ปีอนาคตอันไกล แบบจำลอง Miroc5 ดัชนี GMI มีค่าเท่ากับ 13.08 (แล้งมาก) สำหรับช่วงปีอนาคตอันใกล้ เท่ากับ 37.69 (ค่อนข้างแล้ง) ช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 เท่ากับ 62.31 และ 86.92 (ความชื้นสูงกว่าปกติ) สำหรับปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 และ ปีอนาคตอันไกล เมื่อพิจารณาสำหรับมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ สถานการณ์ RCP 4.5 ของทั้ง 4 ช่วงเวลา จากแบบจำลอง CNRM ดัชนี GMI มีค่าเท่ากับ 43.65 และ 49.71 (ปกติ) สำหรับช่วงปีอนาคตอันใกล้และช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 เท่ากับ 86.92 (ความชื้นสูงกว่าปกติ) สำหรับปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 และ เท่ากับ 19.71 (แล้ง

มาก) สำหรับปีอนาคตอันไกล แบบจำลอง Miroc5 ดัชนี GMI มีค่าเท่ากับ 74.23 (ความชื้นสูงกว่าปกติ) สำหรับช่วงปีอนาคตอันใกล้ เท่ากับ 37.69 (ค่อนข้างแล้ง) ช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 เท่ากับ 75.00 (ความชื้นสูงกว่าปกติ) สำหรับปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 และ 13.08 (แล้งมาก) สำหรับปีอนาคตอันไกล

เมื่อพิจารณาสำหรับมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ สถานการณ์ RCP 8.5 ของทั้ง 4 ช่วงเวลา จากแบบจำลอง CESM1_CAM5 ดัชนีภัยแล้ง GMI มีค่าเท่ากับ 13.08 (แล้งมาก) สำหรับช่วงปีอนาคตอันใกล้ เท่ากับ 86.92 (ความชื้นสูงกว่าปกติ) ช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 เท่ากับ 37.69 (ค่อนข้างแล้ง) สำหรับปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 และเท่ากับ 62.31 (ความชื้นสูงกว่าปกติ) ปีอนาคตอันไกล แบบจำลอง NorESM ดัชนี GMI มีค่าเท่ากับ 13.08 (แล้งมาก) สำหรับช่วงปีอนาคตอันใกล้ เท่ากับ 37.69 (ค่อนข้างแล้ง) ช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 เท่ากับ 70.38 และ 78.85 (ความชื้นสูงกว่าปกติ) สำหรับปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 และ ปีอนาคตอันไกล เมื่อพิจารณาสำหรับมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ สถานการณ์ RCP 8.5 ของทั้ง 4 ช่วงเวลา จากแบบจำลอง CESM1_CAM5 ดัชนีภัยแล้ง GMI มีค่าเท่ากับ 62.31 สำหรับช่วงปีอนาคตอันใกล้ เท่ากับ 37.69 (ค่อนข้างแล้ง) สำหรับช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 เท่ากับ 86.92 (ความชื้นสูงกว่าปกติ) สำหรับปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 และเท่ากับ 19.08 (แล้งมาก) สำหรับปีอนาคตอันไกล แบบจำลอง NorESM ดัชนีภัยแล้ง GMI มีค่าเท่ากับ 60.29 (ความชื้นสูงกว่าปกติ) สำหรับช่วงปีอนาคตอันใกล้ เท่ากับ 40.77 (ค่อนข้างแล้ง) ช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 เท่ากับ 85.87 (ความชื้นสูงกว่าปกติ) สำหรับปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 และ 13.08 (แล้งมาก) สำหรับปีอนาคตอันไกล

คำสำคัญ : ดัชนีความแห้งแล้งตามฤดูกาลมรสุม, ลุ่มน้ำห้วยสามหมอก, CMIP5

พูน ปณ ทิโต ชีเว

TITLE An assessment of drought risk areas under the impact of climate change

AUTHOR Shinrapat Srinate

ADVISORS Assistant Professor Rattana Hormwichian , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Civil Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham **YEAR** 2024
University

ABSTRACT

Huai Sam Mo is a sub basin of the upper Chi River basin. The problem of this basin is water shortage leading to drought due to many reasons such as low rainfall. Water storage is insufficient or relatively shallow. and the soil can hold little water This study aims to predict future rainfall in the Huai Sam Mo River Basin using the CMIP5 model by dividing the situation into two situations: RCP 4.5 and RCP 8.5 To assess the severity of agricultural drought in the Huai Sam Mo River Basin. By using the Generalized Monsoon Index (GMI) to analyze the severity of drought conditions in future crops Divided into 4 future years: the near future year (2023-2042), the mid-term future year 1 (2043-2062), the mid-term future year 2 (year 2020). 2063-2082) and the distant future (2083-2099)

The results of the study found that in the Huai Sam Mo river basin area, the amount of rainfall is likely to increase continuously in all 4 future periods when considering the southwest monsoon, RCP 4.5 situation for all 4 periods from the CNRM model, GMI index. has a value equal to 13.08 (very dry), for the near future year it is equal to 37.69 (somewhat dry), during the future year in the middle of period 1 it is equal to 75.67 and 73.56 (humidity is higher than normal) for the future year in the middle of period 2 and the future year that far Miroc5 model GMI index has a value of 13.08 (very dry) for the near future year, equal to 37.69 (somewhat dry), the future year in the middle of period 1 is equal to 62.31 and 86.92 (humidity above normal) for the future year in the middle of period 1. 2 and the distant

future Considering the northeast monsoon, the RCP 4.5 scenario for all 4 periods from the CNRM model, the GMI index is equal to 43.65 and 49.71 (normal) for the near future and for the mid-future period 1 is equal to 86.92 (high humidity). than normal) for the future year in the middle of period 2 and equal to 19.71 (very dry) for the distant future year. Miroc5 model GMI index is equal to 74.23 (humidity is higher than normal) for the near future year is equal to 37.69 (relatively dry). During the future year in the middle of period 1 is equal to 75.00 (humidity is higher than normal) for the future year in the middle of period 1. 2 and 13.08 (very dry) for the distant future year When considering the southwest monsoon, the RCP 8.5 situation for all 4 periods from the CESM1_CAM5 model, the GMI drought index has a value of 13.08 (extreme drought) for the near future year, equal to 86.92 (humidity above normal) during the middle future year. Period 1 is equal to 37.69 (relatively dry) for the future year in the middle of period 2 and equal to 62.31 (humidity is higher than normal) for the distant future year. When considering the northeastern monsoon, the RCP 8.5 situation of all 4 periods from the CESM1_CAM5 model, the GMI drought index is equal to 62.31 for the near future year, equal to 37.69 (somewhat dry), for the future year in the middle of period 1, equal to 86.92. (Higher than normal humidity) for the future year in the middle of period 2 and equal to 19.08 (very dry) for the distant future year. NorESM model GMI drought index is equal to 60.29 (humidity is higher than normal) for the near future year, equal to 40.77 (somewhat dry), during the middle future year period 1 is equal to 85.87 (humidity is higher than normal) for the middle future year. Period 2 and 13.08 (very dry) for the distant future years.

Keyword : Generalized Monsoon Index(GMI), Huai Sam Mor, CMIP5

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนา หอมวิเชียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ในการให้คำปรึกษา ให้ความรู้ แนะนำและเชิญเชิญการทำงานวิจัยนี้มาโดยตลอด ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทริส ประสารฉ่ำ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง และ รองศาสตราจารย์ ดร.เรืองรุชต์ ชีระโรจน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่เป็นสถาบันที่ให้ความรู้และให้ความช่วยเหลือในการศึกษาหาความรู้รวมทั้งการวิจัยอย่างดียิ่ง

ขอประณตน์อ้อมสักการบูรพคณาจารย์ผู้ก่อเกิดประโยชน์ศึกษาแก่ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณพนักงานของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตลอดทั้งเพื่อนนิสิตทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำต่าง ๆ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องที่เลี้ยงดู ให้กำลังใจ เป็นแรงผลักดันและสนับสนุนผู้วิจัยมาตลอด

ชินรภัธ ศรีเนตร

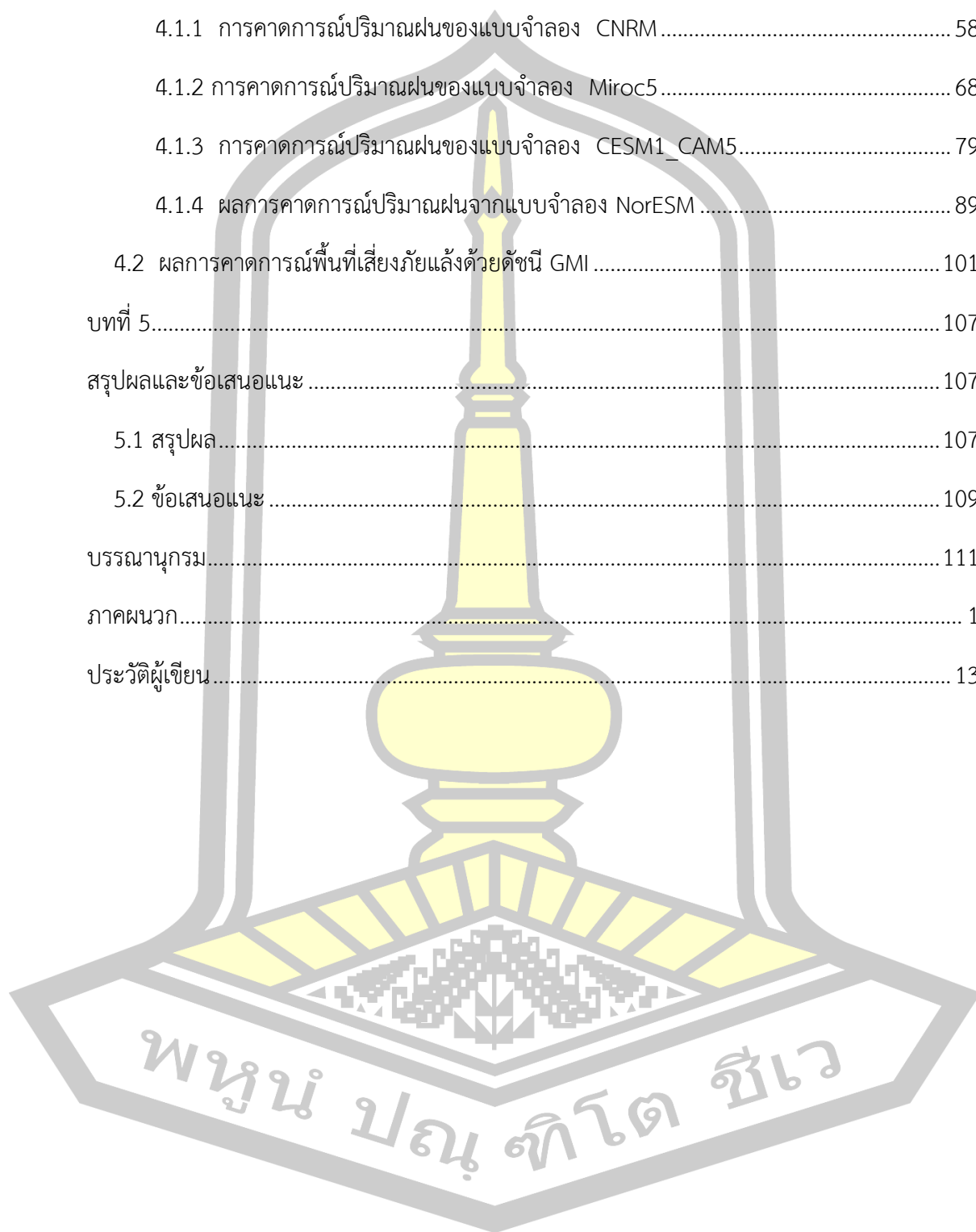


สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ค
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2.....	4
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วัฏจักรของน้ำ (Water Cycle).....	4
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับฝน.....	6
2.3 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate Change).....	9
2.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับโลกจากอดีตจนถึงปัจจุบัน.....	10
2.5 ภาพฉายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบเส้นตัวแทนความเข้มข้น (Representative Concentration Pathways, RCP).....	13
2.6 ภาพฉายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบเส้นตัวแทนเศรษฐกิจและสังคมร่วมหรือ (Shared Socioeconomic Pathways, SSP).....	17

2.7	ภัยแล้ง	19
2.8	ดัชนีภัยแล้ง.....	20
2.9	ดัชนีความแห้งแล้งตามฤดูกาลมรสุม (Generalized Monsoon Index: GMI).....	31
2.10	แบบจำลองทางอุทกวิทยา	33
2.10.1	แบบจำลองระบบภูมิอากาศของโลก (Global Climate Models: GCMS).....	33
2.10.2	แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Climate Models; RCMs)	34
2.10.3	แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ.....	35
2.10.4	แบบจำลองเชิงตัวเลข PRECIS (Providing REgional Climates for Impacts Studies).....	36
2.11	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2).....	41
2.12	ค่าความแม่นยำ (Nash-sutcliffe efficiency, NSE)	42
2.13	ร้อยละความเอนเอียงของการประมาณ (Percent bias, PBIAS).....	42
2.14	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	43
บทที่ 3	48
วิธีดำเนินการศึกษา	48
3.1	เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	48
3.2	ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	48
3.3	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	50
3.3.1	ปริมาณน้ำฝน	50
3.3.2	จำนวนวันฝนตก.....	52
3.3.3	การวิเคราะห์ระดับความแห้งแล้ง.....	53
บทที่ 4	55
ผลการศึกษา	55

4.1 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกภายใต้ CMIP5.....	55
4.1.1 การคาดการณ์ปริมาณฝนของแบบจำลอง CNRM.....	58
4.1.2 การคาดการณ์ปริมาณฝนของแบบจำลอง Miroc5.....	68
4.1.3 การคาดการณ์ปริมาณฝนของแบบจำลอง CESM1_CAM5.....	79
4.1.4 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนจากแบบจำลอง NorESM	89
4.2 ผลการคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งด้วยดัชนี GMI	101
บทที่ 5.....	107
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	107
5.1 สรุปผล.....	107
5.2 ข้อเสนอแนะ	109
บรรณานุกรม.....	111
ภาคผนวก.....	1
ประวัติผู้เขียน.....	13



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แนวโน้มและรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอดีตของโลก.....	11
ตารางที่ 2 แนวโน้มและรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอดีตของโลก (ต่อ).....	12
ตารางที่ 3 แนวโน้มและรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอดีตของโลก (ต่อ).....	12
ตารางที่ 4 แนวโน้มและรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกในอนาคต	16
ตารางที่ 5 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโลกช่วงปลายศตวรรษที่ 21 ภายใต้สถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 4 แบบ เมื่อเทียบกับช่วงปี ค.ศ. 1986 – 2005 (พ.ศ. 2529 - 2548).....	16
ตารางที่ 6 เกณฑ์ของค่าดัชนีระดับความแห้งแล้ง (ที่มา:กรมอุตุนิยมวิทยา 2555).....	22
ตารางที่ 7 สัมประสิทธิ์ Selyaninov.....	24
ตารางที่ 8 ดัชนีความชื้น PDSI.....	29
ตารางที่ 9 การเปลี่ยนหน่วยที่ได้จากผลการคำนวณ.....	39
ตารางที่ 10 หน่วยของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ.....	40
ตารางที่ 11 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	50
ตารางที่ 12 สถานีวัดน้ำฝนที่คัดเลือกใช้ในการวิเคราะห์.....	52
ตารางที่ 13 สถานีวัดน้ำฝนที่คัดเลือกใช้ในการวิเคราะห์.....	52
ตารางที่ 14 เกณฑ์ดัชนีความแห้งแล้ง GMIPct.....	54
ตารางที่ 15 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของ 20 แบบจำลอง CMIP5.....	56
ตารางที่ 16 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของ 20 แบบจำลอง CMIP5 (ต่อ).....	57
ตารางที่ 17 ตรวจสอบแบบจำลอง.....	57
ตารางที่ 18 ตรวจสอบแบบจำลอง (ต่อ).....	58
ตารางที่ 19 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในอนาคตของแบบจำลอง CNRM.....	68
ตารางที่ 20 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในอนาคตของแบบจำลอง Miroc5.....	78

ตารางที่ 21 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในอนาคตของแบบจำลอง CESM1_CAM5.....	89
ตารางที่ 22 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในอนาคตของแบบจำลอง NorESM.....	98
ตารางที่ 23 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนเมื่อเทียบกับปีฐานกรณี RCP 4.5	99
ตารางที่ 24 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนเมื่อเทียบกับปีฐานกรณี RCP 8.5	100
ตารางที่ 25 ผลการคาดการณ์ดัชนีภัยแล้ง GMI ของแบบจำลอง CNRM	102
ตารางที่ 26 ผลการคาดการณ์ดัชนีภัยแล้ง GMI ของแบบจำลอง Miroc5.....	103
ตารางที่ 27 ผลการคาดการณ์ดัชนีภัยแล้ง GMI ของแบบจำลอง CESM1_CAM5.....	103
ตารางที่ 28 ผลการคาดการณ์ดัชนีภัยแล้ง GMI ของแบบจำลอง NorESM.....	104
ตารางที่ 29 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 403002.....	2
ตารางที่ 30 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 403005.....	3
ตารางที่ 31 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 381003	4
ตารางที่ 32 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 381008.....	5
ตารางที่ 33 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 381025.....	6
ตารางที่ 34 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 360005.....	7
ตารางที่ 35 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 353011.....	7
ตารางที่ 36 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 360003.....	9
ตารางที่ 37 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 353013.....	10
ตารางที่ 38 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 360002.....	11
ตารางที่ 39 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 353009.....	12

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบที่ 1 วัฏจักรของน้ำ (USGS).....	7
ภาพประกอบที่ 2 ภาพจำลองการระเหย.....	9
ภาพประกอบที่ 3 การดูดซับและสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์.....	11
ภาพประกอบที่ 4 ภาพฉายการปล่อยแก๊สเรือนกระจกแบบใหม่.....	14
ภาพประกอบที่ 5 อนุกรมแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของพื้นผิวโลกจากการคาด ประมาณด้วยแบบจำลองภูมิอากาศ ภายใต้ภาพการณ์จำลอง ระหว่างปี ค.ศ.1950-2100 (พ.ศ.2493- 2643).....	17
ภาพประกอบที่ 6 พัฒนาการของความละเอียดเชิงพื้นที่ในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพ ภูมิอากาศ.....	36
ภาพประกอบที่ 7 ขอบเขตจังหวัดในลุ่มน้ำห้วยสามหมอก.....	49
ภาพประกอบที่ 8 สถานีน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา.....	51
ภาพประกอบที่ 9 ตำแหน่งพิกัดกริด GMIP5.....	55
ภาพประกอบที่ 10 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีอนาคตของแบบจำลอง CNRM.....	59
ภาพประกอบที่ 11 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของแบบจำลอง CNRM.....	59
ภาพประกอบที่ 12 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CNRM ในปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future).....	60
ภาพประกอบที่ 13 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CNRM ในปี ค.ศ. 2043-2062 (Mid Future 1).....	62
ภาพประกอบที่ 14 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CNRM ในปี ค.ศ. 2063-2082 (Mid Future 2).....	63
ภาพประกอบที่ 15 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CNRM ในปี ค.ศ. 2083-2099 (Far Future).....	64
ภาพประกอบที่ 16 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CNRM ในปี ค.ศ. 2023-2099..	65

ภาพประกอบที่ 17 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลอง CNRM.....	65
ภาพประกอบที่ 18 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนเฉลี่ยจากแบบจำลอง CNRM ในช่วงมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period).....	66
ภาพประกอบที่ 19 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีจากแบบจำลอง CNRM ในช่วงมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period).....	67
ภาพประกอบที่ 20 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีอนาคตของแบบจำลอง Miroc5	69
ภาพประกอบที่ 21 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของแบบจำลอง Miroc5	70
ภาพประกอบที่ 22 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง Miroc5 ในปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future).....	71
ภาพประกอบที่ 23 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง Miroc5 ในปี ค.ศ. 2043-2062 (Mid Future 1).....	72
ภาพประกอบที่ 24 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง Miroc5 ในปี ค.ศ. 2063-2082 (Mid Future 2).....	73
ภาพประกอบที่ 25 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง Miroc5 ในปี ค.ศ. 2083-2099 (Far Future).....	74
ภาพประกอบที่ 26 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง Miroc5 ในปี ค.ศ. 2023-2099	75
ภาพประกอบที่ 27 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลอง Miroc5.....	75
ภาพประกอบที่ 28 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนเฉลี่ยจากแบบจำลอง Miroc5 ในช่วงมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period).....	77
ภาพประกอบที่ 29 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีจากแบบจำลอง Miroc5 ในช่วงมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period).....	78
ภาพประกอบที่ 30 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีอนาคตของแบบจำลอง CESM1_CAM5	79
ภาพประกอบที่ 31 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของแบบจำลอง CESM1_CAM5.....	80
ภาพประกอบที่ 32 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในปี ค.ศ. 2023- 2042 (Near Future).....	81

ภาพประกอบที่ 33 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในปี ค.ศ. 2043-2062 (Mid Future 1).....	82
ภาพประกอบที่ 34 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในปี ค.ศ. 2063-2082 (Mid Future 2).....	83
ภาพประกอบที่ 35 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในปี ค.ศ. 2083-2099 (Far Future).....	84
ภาพประกอบที่ 36 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในปี ค.ศ. 2023-2099.....	85
ภาพประกอบที่ 37 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลอง CESM1_CAM5....	86
ภาพประกอบที่ 38 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนเฉลี่ยจากแบบจำลอง CEM1_CAM5 ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period).....	87
ภาพประกอบที่ 39 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีจากแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period).....	88
ภาพประกอบที่ 40 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีอนาคตของแบบจำลอง NorESM.....	89
ภาพประกอบที่ 41 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของแบบจำลอง NorESM.....	90
ภาพประกอบที่ 42 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future).....	91
ภาพประกอบที่ 43 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในปี ค.ศ. 2043-2062 (Mid Future 1).....	92
ภาพประกอบที่ 44 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในปี ค.ศ. 2063-2082 (Mid Future 2).....	93
ภาพประกอบที่ 45 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในปี ค.ศ. 2083-2099 (Far Future).....	94
ภาพประกอบที่ 46 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในปี ค.ศ. 2023-2099.....	95
ภาพประกอบที่ 47 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลอง NorESM.....	95

ภาพประกอบที่ 48 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนเฉลี่ยจากแบบจำลอง NorESM ในช่วงมรสุม
 ตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period)..... 96

ภาพประกอบที่ 49 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีจากแบบจำลอง NorESM ในช่วงมรสุม
 ตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period)..... 97

ภาพประกอบที่ 50 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนจากแบบจำลองทั้งสี่แบบจำลอง 101

ภาพประกอบที่ 51 ภาพแสดงค่าดัชนีภัยแล้ง GMI เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้
 105

ภาพประกอบที่ 52 ภาพแสดงค่าดัชนีภัยแล้ง GMI เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุม
 ตะวันออกเฉียงเหนือ..... 106



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำ ถือได้ว่าเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิตของพืชและสัตว์บนโลกรวมทั้งมนุษย์ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตเป็นแหล่งกำเนิดของพืชและสัตว์น้ำ ทำให้เกิดความอุดมสมบูรณ์แก่สิ่งมีชีวิตทั้งหมด น้ำใช้เพื่อประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ทั้งในด้านการอุปโภคบริโภค ด้านเกษตรกรรม และด้านอุตสาหกรรม ความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่างๆ ย่อมแตกต่างกันออกไป ทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพ น้ำที่มนุษย์ใช้บริโภคต้องสะอาดปราศจากเชื้อโรคและสารพิษเจือปน คุณสมบัติของน้ำที่ใช้ในการเกษตรย่อมแตกต่างกันไปตามประเภทของพืชและสัตว์ และด้านอุตสาหกรรมน้ำที่ใช้ย่อมแตกต่างกันออกไปแล้วแต่ประเภทของกิจกรรม ปริมาณการใช้น้ำในแต่ละช่วงเวลาในแต่ละพื้นที่ก็มีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความจำเป็นของผู้ใช้และความอุดมสมบูรณ์ของน้ำโดยตรง น้ำส่วนที่มีความสำคัญสำหรับมนุษย์มากที่สุดคือ น้ำจืด อย่างไรก็ตามน้ำจืดในโลกมีอยู่ร้อยละ 2.5 ของปริมาณน้ำทั้งหมดบนโลก และปริมาณ 2 ใน 3 ของน้ำจืดนั้นเป็นน้ำแข็งในรูปของธารน้ำแข็งอยู่ที่ขั้วโลกทั้งสองขั้ว ซึ่งความต้องการน้ำมักจะมีมากกว่าปริมาณน้ำจืดที่มีอยู่ในโลก และหลายพื้นที่มักจะประสบปัญหาความต้องการใช้น้ำที่มีมากขึ้น ถึงแม้ว่าน้ำเป็นทรัพยากรที่เกิดทดแทนได้เองโดยธรรมชาติสามารถเกิดหมุนเวียนได้เรื่อย ๆ ไม่มีวันหมดสิ้น เมื่อแสงแดดส่องมาบนพื้นโลก น้ำจากทะเลและมหาสมุทรก็จะระเหยเป็นไอน้ำลอยขึ้นสู่เบื้องบนเนื่องจากไอน้ำมีความเบากว่าอากาศ เมื่อไอน้ำลอยสู่เบื้องบนแล้ว จะได้รับความเย็นและกลั่นตัวกลายเป็นละอองน้ำเล็ก ๆ ลอยจับตัวกันเป็นกลุ่มเมฆ เมื่อจับตัวกันมากขึ้นและกระทบความเย็นก็จะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำตกลงสู่พื้นโลก น้ำบนพื้นโลกจะระเหยกลายเป็นไอน้ำอีกเมื่อได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ไอน้ำจะรวมตัวกันเป็นเมฆและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำกระบวนการเช่นนี้ เกิดขึ้นเป็นวัฏจักรหมุนเวียนต่อเนื่องกันตลอดเวลา เรียกว่า วัฏจักรน้ำ ทำให้มีน้ำเกิดขึ้นบนผิวโลกอยู่เสมอ จึงเสมือนว่าทรัพยากรน้ำน่าจะมีวันขาดแคลนหรือมีเพียงพอแก่ความต้องการของมนุษย์ แต่โดยข้อเท็จจริงในบางพื้นที่หรือบางช่วงเวลาก็มีปัญหาการขาดแคลนน้ำ นอกจากนั้นในบางพื้นที่หรือในบางช่วงเวลาอาจเกิดปัญหาปริมาณน้ำมากเกินไปหรือน้ำท่วมได้ โดยมีระดับความรุนแรงแตกต่างกันไปตามลักษณะของพื้นที่ ปริมาณน้ำฝนที่ได้รับ และปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยทั่วไปปัญหาของทรัพยากรน้ำที่มีผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ที่สำคัญ มี 2 ประการ ได้แก่ ปัญหาในด้านคุณภาพของน้ำ และปัญหาในด้านปริมาณของ

น้ำ ปัญหาด้านคุณภาพของน้ำ สาเหตุที่พบบ่อย ได้แก่ การทิ้งสิ่งของและการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำสกปรกและเน่าเหม็นจนไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ มักเกิดตามชุมชนใหญ่ๆ ที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำ หรือท้องถิ่นที่มีโรงงานอุตสาหกรรม การชะล้างสิ่งปกคลุมผิวดินแล้วไหลลงสู่แหล่งน้ำมากกว่าปกติ มีทั้งสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในกิจการต่าง ๆ ซึ่งทำให้น้ำขุ่นได้ง่ายโดยเฉพาะในฤดูฝนรวมทั้งน้ำมีแร่ธาตุเจือปนอยู่มากจนไม่เหมาะแก่การใช้ประโยชน์ก็เป็นอีกปัจจัยและยังรวมถึงปัญหาการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างไม่เหมาะสม เช่น ใช้มากเกินความจำเป็น โดยเฉพาะเมื่อเกิดภาวะขาดแคลนน้ำ หรือการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้มากจนดินทรุด เป็นต้น ส่วนปัญหาด้านปริมาณของน้ำ ได้แก่ ปัญหาด้านการจัดหาน้ำให้เพียงพอกับความต้องการของแต่ละท้องถิ่นอันเกิดจากปัญหาการขาดแคลนน้ำจืด ซึ่งเป็นน้ำที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์มากที่สุด และปัญหาความเสียหายซึ่งเกิดขึ้นเพราะมีปริมาณน้ำมากเกินไป อันได้แก่ ปัญหาน้ำท่วมซึ่งเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ ปัญหาการขาดแคลนน้ำ หรือปัญหาความต้องการใช้น้ำจืดในแต่ละท้องถิ่นย่อมแตกต่างกันออกไป หรือแม้แต่ในท้องถิ่นเดียวกันก็ตาม ถ้าต่างฤดูกาลกันความต้องการน้ำสำหรับใช้ก็ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ความเจริญของท้องถิ่น และมาตรฐานการครองชีพของประชากรก็มีส่วนกำหนดปริมาณการใช้น้ำ ท้องถิ่นใดมีความเจริญมาก ประชากรมีมาตรฐานการครองชีพสูง ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภคก็จะสูงตามไปด้วย สาเหตุของการขาดแคลนน้ำในประเทศไทย เมื่อพิจารณาถึงปริมาณน้ำฝนและแหล่งน้ำต่าง ๆ แล้ว ปรากฏว่ามีบางท้องถิ่นพบปัญหาการขาดแคลนน้ำเป็นอย่างมากและปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำในบางพื้นที่หรือบางช่วงเวลานั้น มีทั้งปัจจัยทางธรรมชาติและที่มนุษย์เป็นผู้กระทำปัจจัยทางธรรมชาติที่ก่อให้เกิดปัญหาความแห้งแล้งมีหลายประการ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละท้องถิ่นไม่เท่ากัน การกระจายของฝนก็ไม่สม่ำเสมอตลอดปี จะมีฝนตกมากในบางฤดูเท่านั้น นอกจากนั้นในพื้นที่เดียวกันปริมาณน้ำฝนที่ตกในแต่ละปีก็ไม่เท่ากัน นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย อาทิ คุณสมบัติของดิน บางพื้นที่มีดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทรายความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ จึงกักเก็บน้ำไว้ไม่ได้ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศยังเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภัยแล้ง

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศเฉลี่ยในพื้นที่หนึ่ง เช่น อุณหภูมิ ลม ฝน เป็นต้น ไม่ว่าจะมาจากความเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ หรือ กิจกรรมของมนุษย์ก็ตาม โดยเฉพาะสภาวะที่อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกสูงขึ้นหรือที่เรียกว่า ภาวะโลกร้อน (Global Warming) นั้นเกิดจากก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) ในชั้นบรรยากาศมีปริมาณเพิ่มขึ้นมากเกินไปไม่สมดุลกันเป็นเหตุให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิโลกไม่สามารถสะท้อนความร้อนออกไปสู่ชั้นบรรยากาศได้ตามปกติ และเมื่อไม่สามารถสะท้อนความร้อนออกไปสู่ชั้นบรรยากาศได้จึงทำให้โลกมีอุณหภูมิที่

สูงขึ้นยิ่งขึ้น ๆ จึงเป็นที่มาของการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกอย่างรุนแรง

ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนและผลกระทบในอนาคตจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยสามหมอกโดยใช้แบบจำลอง CMIP5 และประเมินภัยแล้งด้วยดัชนีภัยแล้งในการวิเคราะห์ปัญหาภัยแล้งเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับการตัดสินใจ และการวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ศึกษาได้อย่างเหมาะสมในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนภายใต้สถานการณ์จำลองภูมิอากาศในอนาคต
2. เพื่อศึกษาการประเมินสถานการณ์ภัยแล้งในพื้นที่ศึกษา
3. เพื่อศึกษาสถานการณ์ภัยแล้งเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกภายใต้สถานการณ์จำลองภูมิอากาศในอนาคต

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. พื้นที่ศึกษาที่นำมาเป็นกรณีตัวอย่าง คือ ลุ่มน้ำห้วยสามหมอก
2. การวิเคราะห์ใช้แบบจำลอง CMIP5 สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในอนาคต
3. การวิเคราะห์ความแห้งแล้งโดยใช้ดัชนีความแห้งแล้งตามฤดูกาลผสมในการหาค่าดัชนีความแห้งแล้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนภายใต้สถานการณ์จำลองภูมิอากาศในอนาคต
2. ได้ทราบถึงการประเมินสถานการณ์ภัยแล้งในพื้นที่ศึกษา
3. ได้ทราบถึงสถานการณ์ภัยแล้งเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกภายใต้สถานการณ์จำลองภูมิอากาศในอนาคต

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาจำเป็นต้องมีการศึกษาพื้นที่ที่ทำการศึกษา สภาพทางอุทกนิยมนวิทยา สภาพการ
ใช้ที่ดิน ทฤษฎีที่มีความสำคัญ แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา ตลอดทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็น
ข้อมูลในการทำการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วยรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

1. วัฏจักรของน้ำ (Water Cycle)
2. ทฤษฎีเกี่ยวกับฝน
3. การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ
4. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับโลกจากอดีตจนถึงปัจจุบัน
5. ภาพฉายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบเส้นตัวแทนความเข้มข้น
(Representative Concentration Pathways, RCP)
6. ภาพฉายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบเส้นตัวแทนเศรษฐกิจและสังคม
ร่วมหรือ (Shared Socioeconomic Pathways, SSP)
7. ภัยแล้ง
8. ดัชนีภัยแล้ง
9. ดัชนีความแห้งแล้งตามฤดูกาลมรสุม
10. แบบจำลองทางอุทกวิทยา
11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัฏจักรของน้ำ (Water Cycle)

วัฏจักรของน้ำ (Water Cycle) หรือ วัฏจักรของอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle) (Douville et al., 2021) หมายถึง วงจรการเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำ โดยน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่งภายในอาณาจักรของน้ำ (Hydrosphere) เช่น การเปลี่ยนแปลงระหว่างชั้นบรรยากาศ น้ำพื้นผิวดิน ฝืนน้ำ น้ำใต้ดิน และ พืช กระบวนการเปลี่ยนแปลงนี้ สามารถแยกได้เป็น 4 ประเภทคือ การระเหยเป็นไอ (Evaporation) หยาดน้ำฟ้า (Precipitation) การซึม (Infiltration) และ การเกิดน้ำท่า (Runoff)

การระเหย (Evaporation) เป็นกระบวนการที่น้ำมีการเปลี่ยนแปลงจากสถานะของของเหลวไปเป็นก๊าซในอากาศ โดยเฉพาะบนพื้นผิวของสิ่งมีชีวิต และผิวน้ำ เมื่อน้ำร้อนขึ้น โมเลกุลของน้ำมีพลังงานมากขึ้น ซึ่งจะทำให้โมเลกุลน้ำหลุดจากพื้นผิวน้ำไปสู่อากาศในรูปของก๊าซอะไโรลด์ ทำให้เกิดการระเหย

การคายน้ำของพืช (Transpiration) เป็นกระบวนการที่น้ำถูกดูดขึ้นมาผ่านรากของพืช และจะไหลขึ้นไปยังใบ และส่วนต่างๆ ของพืช โดยจะมีการคายน้ำออกมาผ่านรูของใบเป็นระยะๆ ซึ่งนี่เป็นหนึ่งในกระบวนการที่สร้างความชื้นในอากาศ การรวมกันระหว่างกระบวนการระเหยและการคายน้ำของพืชเรียกว่า Evapotranspiration ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการวัดปริมาณน้ำที่ถูกสูญเสียจากระบบนิเวศน์ไปยังอากาศในรูปของก๊าซน้ำ และมีผลต่อสภาพอากาศและสภาพแวดล้อมต่างๆ ในพื้นที่นั้นๆ ด้วย

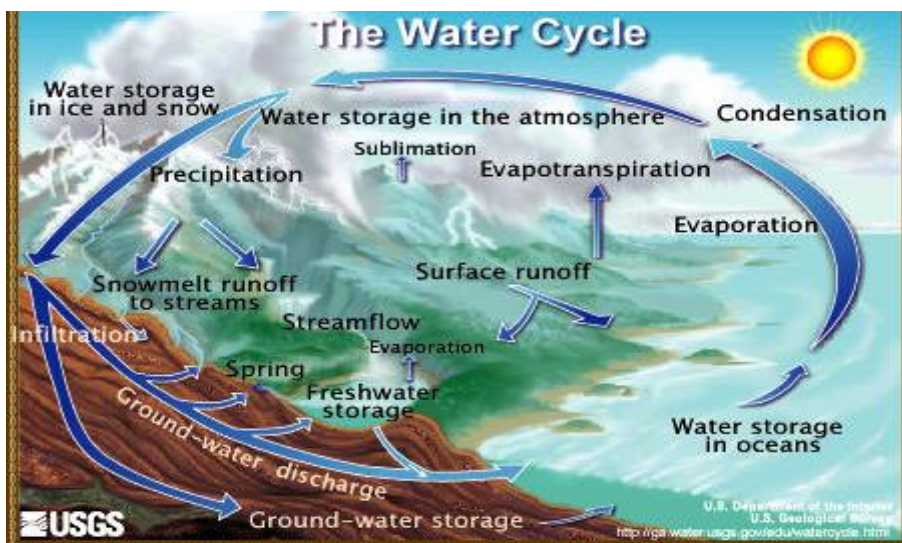
หยาดน้ำฟ้า (Precipitation) (Trenberth, 2011) เป็นการตกลงมาของน้ำในบรรยากาศสู่พื้นผิวโลก โดยละอองน้ำในบรรยากาศจะรวมตัวกันเป็นก้อนเมฆ แล้วมีการรวมตัวกันจนสามารถกลั่นตัวเป็นตกลงสู่ผิวโลกทั้งในลักษณะที่เป็น ฝน หิมะ และ ลูกเห็บ การซึม (Infiltration) จากน้ำบนพื้นผิวลงสู่ดินเป็นน้ำใต้ดิน อัตราการซึมจะขึ้นอยู่กับประเภทของดิน หิน และ ปัจจัยประกอบอื่นๆ น้ำใต้ดินนั้นจะเคลื่อนตัวช้า และอาจไหลกลับขึ้นบนผิวดิน หรือ อาจถูกกักอยู่ภายใต้ชั้นหินเป็นเวลาหลายพันปี โดยปกติแล้วน้ำใต้ดินจะกลับเป็นน้ำที่ผิวดินบนพื้นที่ที่อยู่ระดับต่ำกว่า ยกเว้นในกรณีของบ่อน้ำบาดาลน้ำท่า (Runoff) (Sitterson et al., 2018) หรือ น้ำไหลผ่านเป็นการไหลของน้ำบนผิวดินไปสู่มหาสมุทร น้ำไหลลงสู่แม่น้ำและไหลไปสู่มหาสมุทร ซึ่งอาจจะถูกกักชั่วคราวตาม บึง หรือ ทะเลสาบ ก่อนไหลลงสู่มหาสมุทร น้ำบางส่วนกลับกลายเป็นไอก่อนจะไหลกลับลงสู่มหาสมุทร โดยทั่ว ๆ ไป น้ำมาจาก 3 แหล่งด้วยกัน คือ น้ำฝนเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญของไทย การพิจารณาถึงแหล่งน้ำจากน้ำฝนนั้น จะพิจารณาเพียงด้านปริมาณน้ำฝนรวมทั้งปีอย่างเดียวจะไม่เป็นการเพียงพอ จะต้องพิจารณาถึงด้านการกระจายของน้ำฝนด้วยว่ามีการกระจายสม่ำเสมอตลอดทั้งปีหรือไม่ การเกษตรของไทยนั้นอาศัยน้ำจากน้ำฝนเป็นส่วนใหญ่ พื้นที่ที่อยู่ในเขตชลประทานนั้นมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จากสถิติของกรมชลประทานปี พ.ศ. 2544 ประเทศไทยมีพื้นที่ที่อยู่ในเขตชลประทานเพียงร้อยละ 24.03 ของเนื้อที่ถือครองทางการเกษตร (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร) การเพาะปลูกพืชส่วนใหญ่จึงเป็นการเพาะปลูกตามฤดูกาล ในบางครั้งความไม่แน่นอนของฝนก็ได้ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชผลเป็นอย่างมาก น้ำผิวน้ำหรือน้ำท่า ได้แก่ น้ำที่ขังหรือที่ไหลอยู่ตามผิวน้ำผิวดิน เช่น น้ำในแม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง ห้วย ลำธาร และอ่างเก็บน้ำ ปริมาณของน้ำผิวน้ำจะมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับปริมาณน้ำฝน เพราะน้ำฝนที่ตกลงมาบางส่วนจะซึมลงใต้ดิน บางส่วนจะไหลไปตามผิวน้ำผิวดินลงสู่แม่น้ำ ลำธารหรือขังอยู่ตามแอ่ง ตามที่ลุ่มต่าง ๆ บางส่วนจะระเหยกลับสู่บรรยากาศ ในช่วงฤดูฝนจะพบว่าแหล่งน้ำผิวน้ำทั่ว ๆ ไป จะมีระดับน้ำสูงกว่าในช่วงฤดูหนาวหรือฤดูร้อน แหล่งน้ำผิวน้ำหรือน้ำท่านั้น

มีทั้งแหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น แหล่งน้ำธรรมชาติ ได้แก่ แม่น้ำ ลำธาร ห้วย หนอง บึง กว๊าน ประเทศไทยอยู่ในเขตอากาศร้อนชื้น ได้รับปริมาณน้ำฝนค่อนข้างมาก จึงมีแหล่งน้ำชนิดนี้ปรากฏอยู่เป็นจำนวนมาก แหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น แหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ อ่างเก็บน้ำต่างๆ ทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ รวมทั้งคลองชลประทาน คูคลองส่งน้ำขนาดต่างๆ

น้ำใต้ดิน หมายถึง น้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเนื้อดิน หรือเนื้อหินชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีบริเวณอยู่ตั้งแต่ระดับผิวดินลงไป โดยอาจแบ่งออกเป็นน้ำในดิน (Soil Water) ได้แก่ น้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างของเนื้อดิน อีกประเภทหนึ่งได้แก่น้ำใต้ดิน (Underground Water) เป็นน้ำที่อยู่ในระดับลึก อาจแทรกอยู่ในชั้นทรายละเอียดถึงหยาบ หรือชั้นกรวด ปิดกั้นด้วยหินเนื้อแน่น ไม่ซึมน้ำ หรือขังอยู่ในรอยแตก รอยร้าวหรือโพรงหินเนื้อแน่นไม่ซึมน้ำ แหล่งน้ำใต้ดินที่สำคัญของประเทศไทย ส่วนมากมักอยู่ในเขตที่ราบลุ่มน้ำทั่ว ๆ ไป เช่นที่ราบลุ่มน้ำภาคกลางตอนล่าง ได้แก่บริเวณกรุงเทพมหานคร และจังหวัดใกล้เคียงโดยรอบ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีน้ำบาดาลมากที่สุดและใหญ่ที่สุดของประเทศ นอกจากนั้นแหล่งน้ำบาดาลยังอาจมีปริมาณมากได้ในบริเวณแอ่งของกลุ่มน้ำขนาดใหญ่ต่างๆ เช่น แอ่งแม่ปิง จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน แอ่งแม่วัง จังหวัดลำปาง รวมทั้งบริเวณใกล้ริมฝั่งแม่น้ำขนาดใหญ่ เช่นพื้นที่บริเวณริมฝั่งแม่น้ำโขง ตั้งแต่เขตจังหวัดหนองคายไปจนถึงนครพนม เป็นต้น

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับฝน

น้ำฝนถือเป็นข้อมูลที่สำคัญของวัฏจักรน้ำ และเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญในด้านการวางแผนในการปฏิบัติงานและเกี่ยวกับการออกแบบด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำรวมถึงการนำไปใช้และป้องกันภัยพิบัติอันเนื่องมาจากน้ำฝน น้ำมีความสำคัญต่อมนุษย์ ทั้งด้านการเกษตรหรือแม้แต่อุตสาหกรรม วัฏจักรน้ำ คือ การเคลื่อนย้ายน้ำจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง หรือจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่ง โดยอาจเปลี่ยนสถานะ (ของแข็ง ของเหลวและก๊าซ) หรือไม่เปลี่ยนสถานะก็ได้ ซึ่งในที่สุดก็จะหมุนเวียนกลับมาสู่ที่เดิม หรือระบบเดิม ซึ่งสอดคล้องกับกฎข้อที่ 1 ของเทอร์โมไดนามิกส์ แสดงถึงการอนุรักษ์พลังงาน (Chow. 1988) วัฏจักรน้ำที่สมบูรณ์ที่สุด โดยเริ่มจาก เมฆ (Cloud) ฝน (Precipitation) การตก(Interception) การตกผ่าน (Throughfall) การไหลบ่า (Overland Flow) การไหลในลำน้ำ (Stream flow) การแทรกซึม (Infiltration) การซึมลึก (Percolation) การซึมออก (Exfiltration) การคายระเหย (Evaporation) เมฆ (Cloud) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบที่ 1 วัฏจักรของน้ำ (USGS) (Force & Administration, 2005)

เมฆ (Cloud) คือ ไอน้ำที่กลั่นตัวรวมกันเข้าเป็นกลุ่มก้อน อาจมีสภาพเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ของน้ำหรือน้ำแข็งหรือทั้งสองอย่างปนกันลอยอยู่ในอากาศ สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ในกลุ่มของผลสมน้ำอาจมีอนุภาคใหญ่ ๆ ของน้ำแข็งปนอยู่ด้วย หรืออาจมีอนุภาคที่ไม่มีน้ำหรืออนุภาคที่เป็นของแข็งตัวอย่าง เช่น ก๊าซ ผงฝุ่น หรือควัน ฯลฯ ซึ่งเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมปนอยู่ด้วย

เมฆเกิดจาก อากาศร้อนซึ่งสามารถดูดซับเอาไอน้ำไว้ได้มาก ซึ่งมักจะเรียกว่าอากาศชื้นลอยตัวขึ้นและเย็นลง ไอน้ำในอากาศกลั่นตัวกลายเป็นเมฆเราสามารถมองเห็นได้ เมฆ มีหลายชนิดแต่มีบางชนิดเท่านั้นที่มีฝนตกลงมาโดยจะลอยตัวอยู่ในอากาศเฉยๆแต่มีลักษณะอากาศที่ทำให้ละอองน้ำรวมตัวกันเป็นเม็ดน้ำใหญ่ขึ้นและมีน้ำหนักมากขึ้น กระแสอากาศหรือลมไม่สามารถจะพัดให้เม็ดน้ำนั้นลอยตัวอยู่ในอากาศได้มันจึงตกลงมาเป็นฝนหรือหิมะขาวๆหรือบางที่เป็นลูกเห็บตกลงมาบนพื้นโลก ละอองน้ำในเมฆจะมีขนาด 0.01-0.02 มิลลิเมตรหรือเท่ากับ 10 ถึง 20 ไมครอน สามารถลอยอยู่ในบรรยากาศเป็นเมฆ เมื่อละอองน้ำในเมฆเกิดการรวมตัวกันโตจนมีเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 1 มิลลิเมตร (1,000 ไมครอน) หรือใหญ่กว่า มันจะตกลงมาจากเมฆปกติ แล้วเม็ดฝน1เม็ดจะเกิดจากละอองน้ำในเมฆรวมกันมากกว่า1ล้านเม็ด จึงมีปัญหว่าละอองน้ำในเมฆเหล่านั้นรวมตัวกันเป็นฝนหนึ่งเม็ดได้อย่างไรซึ่งความรู้ในการรวมตัวนี้ไม่มีใครทราบอย่างสมบูรณ์ และทราบตามทฤษฎีใหญ่ๆของการรวมตัวของละอองน้ำในเมฆ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2559) จนกลายเป็นเม็ดฝนใน 2 กรรมวิธี คือ

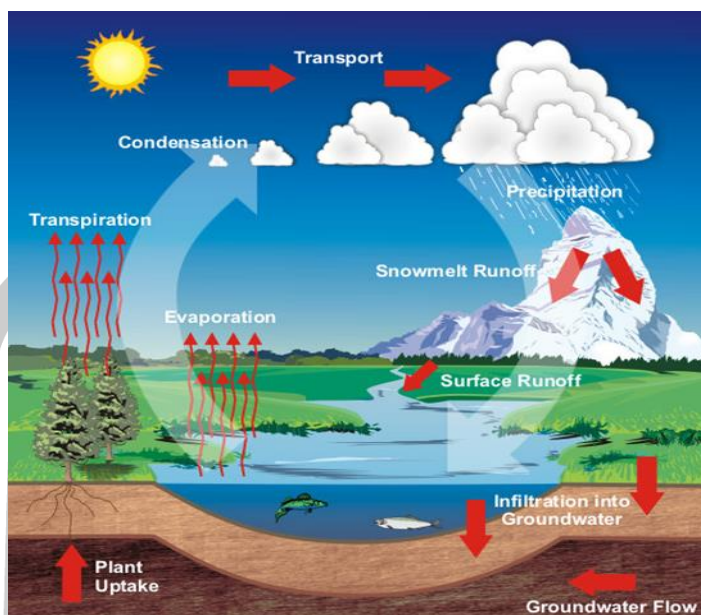
1. กรรมวิธีการชนกันแล้วรวมตัวกันเป็นกรรมวิธีของฝนในเขตร้อน
2. กรรมวิธีผลึกน้ำแข็ง ฝนที่เกิดจากกรรมวิธีนี้จะเกิดขึ้นในเมฆซึ่งมีไอน้ำ ผลึกน้ำแข็งและน้ำ (Supercooled Water) ปนกันอยู่ ซึ่งทั้งสามสภาวะอยู่ด้วยกันในเมฆที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศา ไอ

น้ำจะกลั่นตัวลงบนผลึกน้ำแข็งเพราะความดันไอน้ำของเม็ดน้ำสูงกว่าความดันไอน้ำของผลึกน้ำแข็ง ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีเม็ดโตขึ้นอย่างรวดเร็ว โดมาก ๆ จนตกลงมาเป็นหิมะ (ต่ำกว่า 0 องศา) เป็นฝนธรรมดา (สูงกว่า 0 องศา) และถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศา ก็จะระเหยไปเป็นไอน้ำ กระบวนการนี้เกิดขึ้นซ้ำๆ กัน ดังนั้น การกลั่นตัวของไอน้ำเป็นเมฆหรือหมอก ต้องอาศัยอนุภาคกลั่นตัว การเกิดฝนหรือน้ำฟ้าต้องอาศัยเมฆขนาดใหญ่หรือผลึกน้ำแข็ง

ฝน (Rain) เป็นน้ำฟ้าชนิดหนึ่งที่เกิดจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เกิดจาก อนุภาคของไอน้ำขนาดต่างๆ ในก้อนเมฆเมื่อมีขนาดใหญ่ขึ้นจนไม่สามารถลอยตัวอยู่ในก้อนเมฆได้ก็จะตกลงมาเป็นฝน ฝนจะตกลงมายังพื้นดินได้นั้นจะต้องมีเมฆเกิดในท้องฟ้าก่อน เมฆมีอยู่หลายชนิด มีเมฆบางชนิดเท่านั้นที่ทำให้มีฝนตก เราทราบแล้วว่าไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นเมฆก็ต่อเมื่อมีอนุภาคกลั่นตัวเล็กๆ อยู่เป็นจำนวนมากเพียงพอและไอน้ำจะเกาะตัวบนอนุภาคเหล่านี้รวมกันทำให้เกิดเป็นเมฆ เมฆจะกลั่นตัวเป็นน้ำฝนได้ก็ต่อเมื่ออนุภาคแข็งตัว (Freezing nuclei) หรือเม็ดน้ำขนาดใหญ่ซึ่งจะดึงเม็ดน้ำขนาดเล็กมารวมตัว กันจนเป็นเม็ดฝน สภาวะของน้ำที่ตกลงมาจากท้องฟ้าอาจเป็นลักษณะของฝน ฝนละออง หิมะหรือลูกเห็บ ซึ่งเรารวมเรียกว่าหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ซึ่งจะตกลงมาในลักษณะไหนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศในพื้นที่นั้น ๆ หยาดน้ำฟ้าต้องเกิดจากเมฆ แต่เมื่อมีเมฆไม่จำเป็นต้องมีหยาดน้ำฟ้าเสมอไป

การระเหย (Evaporation) หมายถึง การที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไออย่างช้าๆ และเกิดขึ้นเฉพาะผิวหน้าของของเหลวเท่านั้น เมื่อของเหลวได้รับพลังงานความร้อนพอที่จะทำให้โมเลกุลมีพลังงานจลน์สูงพอจนเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลได้ โมเลกุลก็จะหลุดออกจากของเหลวกลายเป็นไอ ในทางตรงกันข้ามถ้าไอคายพลังงานความร้อนออกมา โมเลกุลก็จะมีพลังงานจลน์น้อยลง ทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่ช้าลง ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากขึ้น และในที่สุดจะสามารถทำให้โมเลกุลรวมกันเป็นสารในสถานะของเหลว การที่สารเปลี่ยนสถานะจากไอหรือแก๊สเป็นของเหลว เรียกว่า การควบแน่น หรือการกลั่นตัว (Condensation) นอกจากนั้นการระเหยยังสามารถเกิดได้ทุกๆ อุณหภูมิที่ยังมีของเหลวนั้นอยู่ เช่น น้ำสามารถระเหยได้ที่อุณหภูมิ 0-100 °C ที่ความดัน 1 บรรยากาศ

พูนุ ปณุกิตโต ชิว



ภาพประกอบที่ 2 ภาพจำลองการระเหย (NASA,2019)

อุณหภูมิ (Temperature) หมายถึง การวัดค่าเฉลี่ยของพลังงานจลน์ซึ่งเกิดขึ้นจากอะตอมแต่ละตัว หรือแต่ละโมเลกุลของสสาร เมื่อเราใส่พลังงานความร้อนให้กับสสาร อะตอมของมันจะเคลื่อนที่เร็วขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น แต่เมื่อเราลดพลังงานความร้อน อะตอมของสสารจะเคลื่อนที่ช้าลง ทำให้อุณหภูมิลดลงต่ำ (Wikipedia 2564)

2.3 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate Change)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) หมายถึงการเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศอันเป็นผลจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของบรรยากาศโลกโดยตรงหรือโดยอ้อมและที่เพิ่มเติมจากความแปรปรวนของสภาวะอากาศตามธรรมชาติที่สังเกตได้ในช่วงระยะเวลาเดียวกัน ได้แก่ อุณหภูมิความชื้นปริมาณน้ำฝนฤดูกาลซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่จะต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศในบริเวณที่สิ่งมีชีวิตนั้นอาศัยอยู่ การกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีมากขึ้นในปัจจุบันเนื่องจากสภาพภูมิอากาศกำลังเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วโดยนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมในช่วง 200 ปีที่ผ่านมาเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) หรือภาวะโลกร้อน (Global Warming) ภาวะโลกร้อนนี้มีผลต่อการอยู่รอด

ของสิ่งมีชีวิตเนื่องจากอุณหภูมิโดยรวมสูงขึ้นทำให้ฤดูกาลต่างๆเปลี่ยนแปลงไปสิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปได้ก็จะค่อยๆตายลงและอาจสูญพันธุ์ไปในที่สุดสำหรับผลกระทบต่อมนุษย์นั้นอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นอาจทำให้บางพื้นที่กลายเป็นทะเลทรายประชาชนขาดแคลนอาหารและน้ำดื่มบางพื้นที่ประสบปัญหาน้ำท่วมหนักเนื่องจากฝนตกรุนแรงขึ้นน้ำแข็งขั้วโลกและบนยอดเขาสูงละลายทำให้ปริมาณน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นพื้นที่ชายฝั่งทะเลได้รับผลกระทบโดยตรงอาจทำให้บางพื้นที่จมหายไปอย่างถาวรดังนั้นปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจึงเป็นปัญหาสำคัญที่มวลมนุษยชาติจะต้องร่วมมือกันป้องกันและ เสริมสร้างความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น

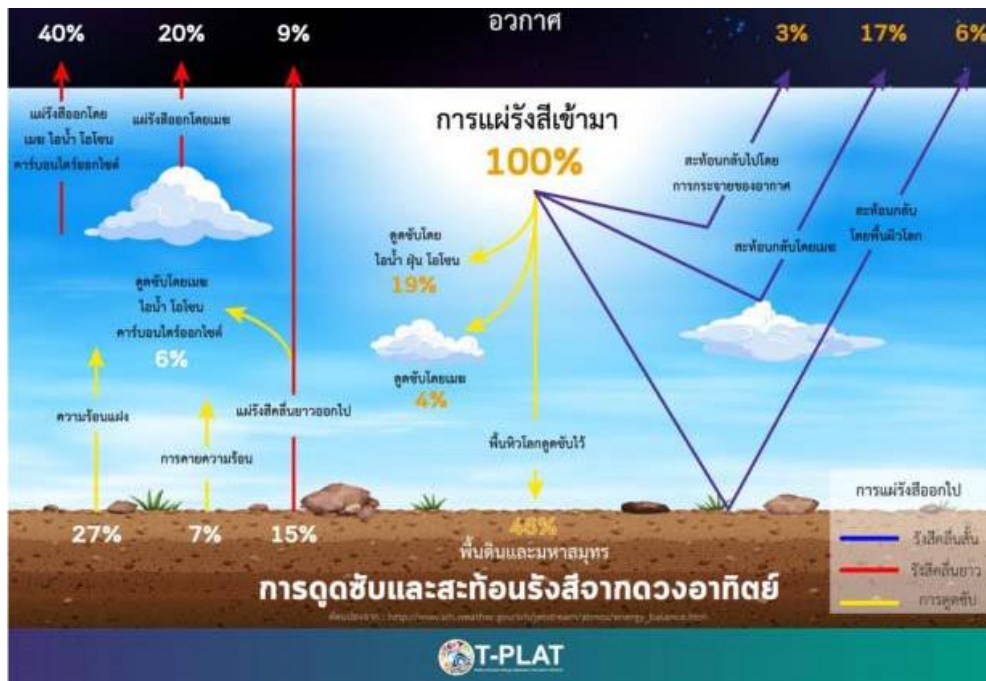
การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ คือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอันเป็นผลทางตรงหรือทางอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้องค์ประกอบของบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไปนอกเหนือจากความผันแปรตามธรรมชาติ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2559) ความหมายที่ใช้ในคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศคือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไม่ว่าจะเนื่องมาจากความผันแปรตามธรรมชาติหรือกิจกรรมของมนุษย์

1) กรมอุตุนิยมวิทยา นิยามว่า การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศคือการเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศเฉลี่ย (Average Weather) ในพื้นที่หนึ่งลักษณะอากาศเฉลี่ยหมายถึงความรวมถึงลักษณะทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับอากาศเช่นอุณหภูมิฝนลม เป็นต้น

2) กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นิยามว่า การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศหมายถึงผลโดยตรงหรือโดยอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศโลกและเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าการเปลี่ยนแปลงจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในช่วงเดียวกัน

2.4 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับโลกจากอดีตจนถึงปัจจุบัน

จากรายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 2: องค์ความรู้และข้อมูลข่าวสารปัจจุบันด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ซึ่งจัดทำโดยคณะทำงานกลุ่มที่ 1 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย หรือ ในปัจจุบัน คือ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ได้สรุปรายงานข้อค้นพบสำคัญในรายงานฉบับที่ 5 ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (IPCC) ในประเด็นหลัก ๆ การดูดซับและสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ ดังภาพประกอบที่ 3



ภาพประกอบที่ 3 การดูดซับและสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ (T-PLAT, 2565)

ตารางที่ 1 แนวโน้มและรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอดีตของโลก

การเปลี่ยนแปลง	รายละเอียด
อุณหภูมิ	ในช่วงปี ค.ศ.1880 – 2012 (พ.ศ.2423 – 2555) อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นแผ่นดินและมหาสมุทรโลกเพิ่มขึ้นจากปี ค.ศ.1850 (พ.ศ. 2393) 0.85°C บ่งชี้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลกได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงสามทศวรรษที่ผ่านมาและสูงกว่าทุก ๆ ทศวรรษก่อนหน้านี้
	ข้อมูลการตรวจวัดระหว่างปี ค.ศ.1983 – 2012 (พ.ศ. 2526 – 2555)
	บ่งชี้ว่า ซีกโลกเหนือมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าเมื่อ 1,400 ปีที่ผ่านมา

ตารางที่ 2 แนวโน้มและรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอดีตของโลก (ต่อ)

การเปลี่ยนแปลง	รายละเอียด
	ในช่วงปี ค.ศ.1901 – 2012 (พ.ศ. 2444 – 2555) พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเพิ่มขึ้นทุกภูมิภาคของโลกยกเว้นในบริเวณมหาสมุทรแอตแลนติกเหนือบางพื้นที่
สภาวะสุดขีดของสภาพอากาศด้านอุณหภูมิ	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยมีอัตราการเพิ่มขึ้นสูงสุดในบริเวณขั้วโลกของทวีปเอเชียและบางส่วนของทวีปแอฟริกา
หยาดน้ำฟ้า	ปริมาณความร้อนในระบบภูมิอากาศโลกมากกว่า 90 % ถูกสะสมในมหาสมุทรโดยอุณหภูมิเฉลี่ยของมหาสมุทรบริเวณผิวน้ำจนถึงระดับความลึก 75 เมตรช่วงปี ค.ศ.1971 – 2010 (พ.ศ. 2514 – 2553) เพิ่มขึ้น 0.11°C ต่อทศวรรษหรือเพิ่มขึ้นแล้ว 0.44°C ในรอบ 40 ปี ที่ผ่านมา
สภาวะสุดขีดของลมฟ้าอากาศด้านหยาดน้ำฟ้า	ปริมาณหยาดน้ำฟ้าเฉลี่ยเฉพาะบริเวณละติจูดกลาง (ระหว่าง 50 – 60 องศาเหนือและใต้) ทางซีกโลกเหนือ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน
	การเปลี่ยนแปลงปริมาณหยาดน้ำฟ้าในระยะยาวทั้งการเพิ่มขึ้นและลดลงบริเวณเขตละติจูดอื่น ๆ ยังไม่พบแนวโน้มชัดเจน
พื้นที่ปกคลุมด้วยน้ำแข็ง	แผ่นน้ำแข็งกรีนแลนด์และแอนตาร์กติกา มีขนาดลดลงอย่างต่อเนื่องช่วงปี ค.ศ. 1992 – 2011 (พ.ศ. 2535 – 2554)
	การสูญเสียแผ่นน้ำแข็งเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงปี ค.ศ. 2002 – 2011 (พ.ศ. 2545 – 2554)

ตารางที่ 3 แนวโน้มและรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอดีตของโลก (ต่อ)

การเปลี่ยนแปลง	รายละเอียด
	ธารน้ำแข็ง ทะเลน้ำแข็งอาร์กติก และพื้นที่หิมะปกคลุมในฤดูใบไม้ผลิบริเวณซีกโลกเหนือมีขนาดลดลงอย่างต่อเนื่อง
ระดับน้ำทะเล	ค่าเฉลี่ยรายปีของขนาดพื้นที่ทะเลน้ำแข็งอาร์กติกลดลงในอัตรา 3.5 – 4.1 % ต่อทศวรรษ หรือลดลง 11.6 – 13.5 % ใน 33 ปีที่ผ่านมา (ค.ศ. 1979 – 2012 หรือ พ.ศ. 2522 – 2555)
	ระดับน้ำทะเลสูงสุดของโลกในอดีตเมื่อ 129,000 – 116,000 ปีที่ผ่านมา มีระดับสูงกว่าปัจจุบันอย่างน้อย 5 เมตร
	โดยแผ่นน้ำแข็งบริเวณกรีนแลนด์ มีส่วนทำให้ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นระหว่าง 1.4 – 4.3 เมตร

2.5 ภาพฉายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบเส้นตัวแทนความเข้มข้น (Representative Concentration Pathways, RCP)

ภาพฉายการปล่อยแก๊สเรือนกระจกแบบใหม่ ที่เรียกว่า เส้นตัวแทนความเข้มข้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ Representative Concentration Pathway (RCP) ได้ถูกรวบรวมและพัฒนาเพื่อใช้ในรายงานการประเมินฉบับที่ 5 ของ IPCC (The Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ AR5) ภาพฉายการปล่อยแก๊สเรือนกระจกแบบใหม่นี้ มี 4 สถานการณ์ คือ RCP2.6 RCP4.5 RCP6 และ RCP8.5 สะท้อนระดับการปล่อยแก๊สเรือนกระจก 4 ระดับ โดยชื่อแต่ละภาพฉายเขียนแทนด้วย RCP และค่าตัวเลขที่กำหนดต่อท้ายแสดงถึงเป้าหมายโดยประมาณในปี ค.ศ. 2100 (พ.ศ. 2643) ที่ปริมาณความร้อนจากการแผ่รังสีจะเพิ่มเป็น 2.6 , 4.5 , 6.0 , และ 8.5 มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด

ปล่อยแก๊สเรือนกระจกแบบ RCP โดยแบ่งออกเป็น 4 สถานการณ์คือ RCP2.6 RCP4.5 RCP6 และ RCP8.5 ดังนี้

RCP 2.6 เป็นภาพฉายที่มองโลกในแง่ดีที่สุด โดยทุกประเทศผลักดันนโยบายภูมิอากาศอย่างเร่งด่วน ในภาพฉายนี้การปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วโลกจะถึงจุดยอดในปี ค.ศ. 2020 ก่อนที่จะค่อยๆ ลดลงเหลือศูนย์ในปี ค.ศ. 2080 ส่วนความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศจะสูงสุดที่ 440 ส่วนต่อล้านส่วนในกลางคริสต์ศตวรรษ

RCP 4.5 เป็นภาพฉายว่าการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถึงจุดยอดในกลางคริสต์ศตวรรษหรืออีกราว 30 ปีข้างหน้า โดยจะสูงกว่าระดับการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในปี ค.ศ. 2000 ราว 50 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศจะสูงสุดที่ 520 ส่วนต่อล้านส่วนใน ค.ศ. 2070

RCP 6.0 เป็นภาพฉายที่แสดงสถานการณ์ที่ค่อนข้างเลวร้าย โดยการปล่อยแก๊สเรือนกระจกจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าในปี ค.ศ. 2060 ก่อนจะลดลงอย่างรวดเร็ว ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศจะยังคงเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แม้จะสิ้นคริสต์ศตวรรษนี้ โดยมีค่าอยู่ที่ 620 ส่วนต่อล้านส่วน

RCP 8.5 เป็นภาพฉายที่แสดงสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด โดยคาดการณ์ว่าการปล่อยแก๊สเรือนกระจกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกระทั่งกลางคริสต์ศตวรรษนี้ โดยปี ค.ศ. 2100 จะมีความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศมีค่าอยู่ที่ 950 ส่วนต่อล้านส่วน ขณะที่การปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปีจะค่อนข้างคงที่ที่ราว 30 กิกะตัน เกือบเป็นสี่เท่าของการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 8 กิกะตันต่อปีในปี ค.ศ. 2000

จากรายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานการณ์ภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 2: องค์ความรู้และข้อมูลข่าวสารปัจจุบันด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ซึ่งจัดทำโดยคณะทำงานกลุ่มที่ 1 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย หรือสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ได้สรุปรายงานข้อค้นพบสำคัญในรายงานฉบับที่ 5 ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (IPCC) ในประเด็นหลักด้านแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกในอนาคต ซึ่งสามารถสรุปการคาดประมาณได้ ดังตารางที่ 4-5

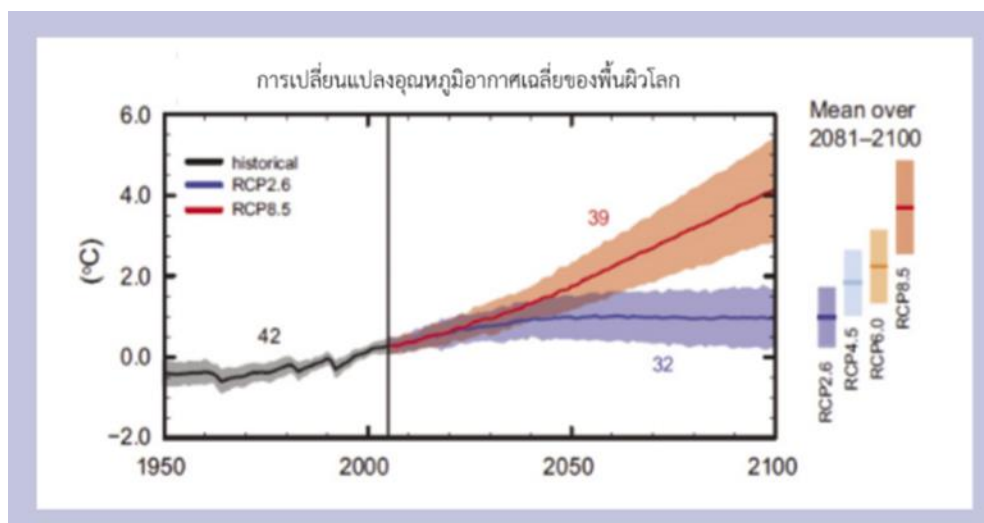
ตารางที่ 4 แนวโน้มและรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกในอนาคต

การเปลี่ยนแปลง	รายละเอียด
อุณหภูมิ	-การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลกช่วงปลายศตวรรษที่ 21 ช่วงปี ค.ศ. 2081 – 2100 (พ.ศ. 2624 – 2643) เมื่อเทียบกับ ช่วงปี ค.ศ. 1986 – 2005 (พ.ศ.2529 – 2548) พบว่า อุณหภูมิมีแนวโน้มสูงขึ้น แสดงตารางที่ 3 และ ภาพประกอบ 4
	-การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลกเมื่อสิ้นสุดศตวรรษที่ 21 จะเพิ่มขึ้นมากกว่า 5°C เมื่อเทียบกับปี ค.ศ. 1850 – 1900 (พ.ศ. 2390 – 2443) ในทุกสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ตารางที่ 5 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโลกช่วงปลายศตวรรษที่ 21 ภายใต้สถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 4 แบบ เมื่อเทียบกับช่วงปี ค.ศ. 1986 – 2005 (พ.ศ. 2529 - 2548)

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลก (°C)	สถานการณ์การปล่อยแก๊สเรือนกระจก
0.3 - 1.7	การลดแก๊สเรือนกระจกที่เข้มงวด (RCP 2.6)
1.1 - 2.6	การลดแก๊สเรือนกระจกปานกลาง และกำหนดค่าปริมาณการแผ่รังสีคงที่ ที่ 4.5 วัตต์ต่อตารางเมตร (RCP 4.5)
1.4 - 3.1	การลดแก๊สเรือนกระจกปานกลาง และกำหนดค่าปริมาณการแผ่รังสีคงที่ ที่ 6.0 วัตต์ต่อตารางเมตร (RCP 6.0)
2.6 - 4.8	สถานการณ์การปล่อยแก๊สเรือนกระจกในระดับสูง (RCP 8.5)

พหุ ประสิทธิภาพ ชีวะ



ภาพประกอบที่ 5 อนุกรมแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของพื้นผิวโลกจากการคาดการณ์ด้วยแบบจำลองภูมิอากาศ ภายใต้ภาพการณ์จำลอง ระหว่างปี ค.ศ.1950-2100 (พ.ศ.2493-2643) (IPCC, 2014)

หมายเหตุ

RCP2.6 หมายถึง พื้นที่ที่ใช้มาตรการที่ลดก๊าซเรือนกระจกอย่างเข้มงวด

RCP4.5 หมายถึง พื้นที่ที่ใช้มาตรการที่ลดก๊าซเรือนกระจกปานกลาง โดยกำหนดค่าปริมาณการแผ่รังสีคงที่ ที่ 4.5 วัตต์ต่อตารางเมตร

RCP6 หมายถึง พื้นที่ที่ใช้มาตรการที่ลดก๊าซเรือนกระจกปานกลาง โดยกำหนดค่าปริมาณการแผ่รังสีคงที่ ที่ 6 วัตต์ต่อตารางเมตร

RCP8.5 หมายถึง พื้นที่ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับที่สูง (RCP 8.5) ระหว่างปี ค.ศ. 1950 – 2100 (พ.ศ. 2493 – 2643) เปรียบเทียบกับช่วงปี ค.ศ. 1986 – 2005 (พ.ศ. 2529 – 2548)

2.6 ภาพฉายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบเส้นตัวแทนเศรษฐกิจและสังคมร่วมหรือ (Shared Socioeconomic Pathways, SSP)

ในรายงานการประเมินฉบับที่ 6 ของ IPCC (Riahi et al., 2017) จะเพิ่มเติมมิติทางเศรษฐกิจและสังคมเพื่อสร้างภาพฉายเส้นตัวแทนเศรษฐกิจและสังคมร่วมหรือ SSP (Shared Socioeconomic Pathways) ที่ให้ความสำคัญกับการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงจำนวนประชากร

การเติบโตทางเศรษฐกิจ (PRECIS, 2002) การศึกษา การกลายสภาพเป็นเมือง และระดับการพัฒนาของเทคโนโลยี โดยแบ่งออกเป็น 5 ภาพฉายประกอบด้วย

1) เส้นทางการยั่งยืน (Sustainability) ทั่วโลกค่อยๆ เปลี่ยนผ่านสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน ให้มีความสำคัญกับการพัฒนาที่เข้าถึงทุกคนแบบเสมอหน้า เคารพข้อจำกัดของทรัพยากรธรรมชาติ เปลี่ยนผ่านจากระบบเศรษฐกิจที่ให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจสู่ความเป็นอยู่ที่ดีของประชาชน ความเหลื่อมล้ำลดลงทั้งในและต่างประเทศ ในฉากทัศน์นี้ จะเผชิญกับความท้าทายในบรรเทาและปรับตัวเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับต่ำ

2) ทางสายกลาง (Middle of the Road) โลกดำเนินไปโดยที่เทรนด์ทางสังคม เศรษฐกิจและเทคโนโลยีไม่ได้เปลี่ยนแปลงมากนัก การพัฒนาและรายได้ยังคงเพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่มีความเท่าเทียม บางประเทศก้าวหน้าแต่หลายประเทศถูกทิ้งไว้ข้างหลัง สิ่งแวดล้อมเผชิญกับความเสื่อมโทรม แม้ว่าความเข้มข้นในการใช้ทรัพยากรและพลังงานจะลดลง ในฉากทัศน์นี้ จะเผชิญกับความท้าทายในการบรรเทาและปรับตัวเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับกลาง

3) ความขัดแย้งในระดับภูมิภาค (Regional Rivalry) เกิดกระแสชาตินิยม ความกังวลในด้านการแข่งขัน ความมั่นคง และความขัดแย้งระดับภูมิภาคทำให้ทุกประเทศให้ความสำคัญกับปัญหาภายในประเทศเป็นหลัก นโยบายเปลี่ยนทิศทางการมุ่งเน้นความมั่นคงในระดับภูมิภาคและระดับชาติ ทุกประเทศมุ่งเน้นการบรรลุความมั่นคงทางอาหารและพลังงาน โดยมองข้ามการพัฒนาด้านอื่นๆ เช่น การศึกษา เทคโนโลยี รวมถึงสิ่งแวดล้อม ในฉากทัศน์นี้ จะเผชิญกับความท้าทายในการบรรเทาและปรับตัวเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับสูง

4) โลกเหลื่อมล้ำ (Inequality) ความเหลื่อมล้ำในการลงทุนด้านทุนมนุษย์ผนวกกับโอกาสทางเศรษฐกิจทำให้เกิดการแบ่งแยกในหมู่ประเทศ รวมถึงประชากรภายในประเทศเองระหว่างกลุ่มสังคมร่ำรวยที่สามารถเข้าถึงทรัพยากรระดับนานาชาติและกลุ่มสังคมยากจนที่ไม่ได้รับการศึกษาที่ดี และหาเลี้ยงชีพโดยการใช้แรงงาน ความเหลื่อมล้ำที่สูงขึ้นทำให้ความไม่สงบบ่อยครั้ง นโยบายด้านสิ่งแวดล้อมจะเน้นประเด็นระดับท้องถิ่นโดยเฉพาะพื้นที่ที่มีประชาชนรายได้ปานกลางถึงสูงอยู่อาศัย ในฉากทัศน์นี้ จะเผชิญกับความท้าทายในการบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศค่อนข้างต่ำ แต่การปรับตัวเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับสูง

5) การพัฒนาโดยเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil-fueled Development) ฉากทัศน์นี้จะเป็นโลกใบที่ศรัทธาในการแข่งขันของตลาด นวัตกรรม และการมีส่วนร่วมของสังคมเพื่อสร้างเทคโนโลยีใหม่ๆ และพัฒนาทุนมนุษย์สู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน ตลาดจะเป็นหนึ่งเดียวกันมากขึ้นทั่วโลก มีการลงทุนอย่างเข้มข้นทั้งในด้านสุขภาพและการศึกษา แต่การพัฒนาดังกล่าวพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก แต่ใช้นวัตกรรมเพื่อจัดการสังคมและสิ่งแวดล้อมให้เป็นระเบียบ หรือกระทั่งวิศวกรรมโลก (geo-engineering) ที่จะดัดแปลงระบบธรรมชาติโดยใช้เทคโนโลยี ในฉากทัศน์นี้ จะเผชิญกับความท้าทาย

ในการบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับสูง แต่การปรับตัวเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศค่อนข้างต่ำ

2.7 ภัยแล้ง

ภัยแล้ง (Drought) เป็นภัยธรรมชาติ หรือปรากฏการณ์ที่เกิดในช่วงเวลาซึ่งอากาศแห้ง ผิดปกติหรือขาดฝน ทำให้เกิดความขาดแคลนน้ำใช้ และถ้ามีความรุนแรงอาจทำให้พืชผลตลอดจนสิ่งมีชีวิตต่างๆ เสียหาย ความรุนแรงของความแห้งแล้งมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับสภาวะฝนแล้งหรือความแห้งแล้งของลมฟ้าอากาศ ซึ่งเกิดจากการมีฝนตกน้อยกว่าปกติ หรือฝนไม่ตกตามฤดูกาล ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำใช้ พืชพันธุ์ต่าง ๆ ขาดน้ำหล่อเลี้ยง ขาดความชุ่มชื้น ทำให้พืชผลไม่สมบูรณ์ หรือเจริญเติบโตให้ผลตามปกติ เกิดความเสียหาย และเกิดความขาดแคลนทั่วไป ความรุนแรงของฝนแล้ง ขึ้นอยู่กับความชื้นในอากาศ ความชื้นในดิน ระยะเวลาที่เกิดความแห้งแล้ง และความกว้างใหญ่ของพื้นที่ที่เกิดความแห้งแล้ง จะเห็นได้ว่า สภาวะฝนแล้งก็คือ การที่ปริมาณฝนที่ได้รับไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงนับได้ว่า ฝนเป็นตัวประกอบสำคัญ และมีอิทธิพลต่อความแห้งแล้งชัดเจนกว่าข้อมูลอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ (ปราณี, 2532) เช่น อุณหภูมิ ความชื้น หรือการระเหยของน้ำ เป็นต้น

ความแห้งแล้งมีลักษณะการเกิด 3 แบบคือ

1) ความแห้งแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยา (Meteorological drought) เกิดเนื่องจากการมีฝนตกน้อยกว่าปกติ หรือมีจำนวนวันที่ฝนตกน้อยผิดปกติ เป็นบริเวณกว้างและเป็นระยะเวลานานต่อเนื่องกัน

2) ความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา (Hydrological drought) เกิดเนื่องจากปริมาณน้ำท่า (ในแม่น้ำลำคลอง หนอง บึงและอ่างเก็บน้ำต่าง ๆ) มีน้อยกว่าระดับปกติ หรือระดับน้ำใต้ดินลดลง

3) ความแห้งแล้งเชิงเกษตรกรรม (Agricultural drought) มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับความแห้งแล้งเชิงอุตุนิยมวิทยาและความแห้งแล้งเชิงอุทกวิทยา เป็นสภาวะที่พืชขาดน้ำซึ่งเกิดเนื่องจากปริมาณฝนรวมและการกระจายตัวของฝนน้อยผิดปกติ การระเหยของน้ำจริง (Actual evapotranspiration) มีมากกว่าศักยภาพการระเหย (Potential evapotranspiration) และความชื้นในดินมีน้อย ทำให้ระดับน้ำใต้ดินและแหล่งน้ำผิวดินลดลง จึงทำให้ผลผลิตการเกษตร (พืชพันธุ์และสัตว์เลี้ยง) ลดน้อยลงผลกระทบจากความแห้งแล้งผลผลิตน้อยลง ในขณะที่ราคาสินค้าสูงขึ้น ทำให้รัฐต้องสูญเสียงบประมาณเพื่อช่วยผู้ประสบภัยแล้ง นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกษตรกรไม่มีงานทำ ต้องอพยพเข้ามาหางานทำในเมืองใหญ่ๆ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาด้านเศรษฐกิจ ปัญหาชุมชน และบางทีก็เพิ่มปัญหาทางด้านอาชญากรรมขึ้น ถ้าไม่สามารถหางานทำได้

ลักษณะของภัยแล้งโดยทั่วไป ประเทศไทยจัดอยู่ในเขตภูมิอากาศชื้น และแห้ง (Wet and Dry Climate) หรือที่รู้จักกันในการจำแนกเขตภูมิอากาศของ Koppen มีช่วงแห้งแล้งระยะสั้น ความชื้นในดินไม่เพียงพอให้พืชได้เจริญเติบโตไม่หยุดชะงัก และมีช่วงแห้งแล้งระยะยาว ความชื้นในดินหมดไป จนกระทั่งพืชบางชนิดต้องตายไป หรือไม่ก็ต้องปรับตัว โดยวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้ดำรงชีพได้ในช่วงที่แห้งแล้ง ดังนั้น ความแห้งแล้งจึงเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นเป็นปกติซึ่งต้องยอมรับ และเตรียมการเพื่อแก้ไข ทั้งนี้ภาวะความแห้งแล้งของลมฟ้าอากาศ สามารถแบ่งตามระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นได้ ดังนี้

1) ความแห้งแล้งอย่างเบา หรือช่วงฝนทิ้ง (Dry Spell) เป็นสภาวะความแห้งแล้ง ที่มีฝนตกเฉลี่ยไม่ถึงวันละ 1 มม. เป็นเวลาต่อเนื่องกันถึง 15 วันในช่วงฤดูฝน (สนิท, 2510) ความแห้งแล้งแบบนี้เกิดขึ้นตามภาคต่าง ๆ ในประเทศไทยเสมอ ในตอนต้นฤดูฝน ระหว่างเดือนมิถุนายน และกรกฎาคม

2) ความแห้งแล้งปานกลางหรือความแห้งแล้งชั่วคราว (Partial Drought) เป็นช่วงฝนแล้ง ที่มีฝนตกในฤดูฝนเฉลี่ยไม่เกินวันละ 0.25 มม. เป็นเวลานานต่อเนื่องกันไม่น้อยกว่า 29 วัน (สนิท, 2510 และ Smith,1984) ความแห้งแล้งแบบนี้เกิดขึ้นถึงขั้นขาดแคลนน้ำ มีผลกระทบต่ออารักสิกรรม ความเป็นอยู่ของประชาชน และเศรษฐกิจของประเทศ แต่ไม่ค่อยได้เกิดขึ้นในประเทศไทยบ่อยนัก

3) ความแห้งแล้งอย่างรุนแรงหรือความแห้งแล้งสมบูรณ์ (Absolute Drought) เป็นความแห้งแล้งที่ฝนไม่ตกในฤดูฝน ต่อเนื่องกันไม่น้อยกว่า 15 วัน หรืออาจมีตกบ้างแต่ไม่มีวันใดที่มีฝนตกถึง 0.25 มม. (สนิท, 2510 และ Smith,1984) นับเป็นภัยธรรมชาติที่รุนแรงที่สุด มีพืชพรรณต่างๆ ล้มตายเรื่อย ๆ ทำให้ไม่มีผลผลิต สภาวะแห้งแล้งแบบนี้ ยังไม่เคยปรากฏในประเทศไทย

2.8 ดัชนีภัยแล้ง

ดัชนีความแห้งแล้ง คือ ดัชนีที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่มีผลกระทบสะสมเกิดขึ้นเป็นระยะเวลานานและมีความผิดปกติของความชื้นที่ลดลงและขาดแคลน จากการศึกษาในเรื่องราวของดัชนีความแห้งแล้งที่ผ่านมาของนายตันเคล โซทาน หน่วยงานอุตุนิยมวิทยาฮังการี และได้ทำการรวบรวมพิจารณาจัดกลุ่มดัชนีความแห้งแล้งที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันอยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ 6 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 ความผิดปกติของปริมาณฝน (Precipitation anomaly) รูปแบบของความแห้งแล้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝนในช่วงเวลาก่อนหน้านั้นซึ่งอาจเป็น 3-4 สัปดาห์ถึงหลายๆ ปีความแห้งแล้งเกิดขึ้นภายหลังฤดูฝนที่ผิดปกติหรือขึ้นกับช่วงเวลา ตัวอย่าง เช่น ความแห้งแล้งทางการเกษตรควรมีความต่อเนื่องของช่วงเวลาในฤดูหนาวและฤดูร้อนที่แห้ง ดัชนีความแห้งแล้งที่ง่ายที่สุด คือ การคำนวณค่าเบี่ยงเบนที่แตกต่างไปจากค่าปกติของฝน สามารถวิเคราะห์จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือ

สามารถหาค่าเบี่ยงเบนโดยเปรียบเทียบจากค่าปกติเพื่อการเปรียบเทียบที่ดีกว่าดัชนีความแห้งแล้งที่ดี จะไม่สามารถสมมุติขึ้นได้ โดยที่ไม่มีการเปรียบเทียบกับค่าของ ผลผลิตก่อนที่จะตั้งค่าให้ใกล้เคียง สภาพแวดล้อมให้มากที่สุด แล้วจึงกำหนดนิยามของดัชนี ในระดับความรุนแรงต่าง ๆ ที่มีการกระจาย นั้นขึ้นมา

- ดัชนีปริมาณฝน (Precipitation Index) คือความแตกต่างของปริมาณฝนกับค่าเฉลี่ยของ ปริมาณฝน คำนวณจากสูตร

$$\Delta P = P - m(P) \quad (1)$$

เมื่อ ΔP คือ ดัชนีปริมาณฝน
 P คือ ปริมาณฝนรวมในระยษนาน

$m(P)$ คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนระยษนาน หรือค่ามาตรฐาน หรือค่าปกติทาง ภูมิอากาศในช่วงเวลานาน ความผิดปกติของภูมิภาคหรือบริเวณพื้นที่กว้างใหญ่ที่ไม่มีความเป็น อันหนึ่งอันเดียวกันกับเงื่อนไขทางภูมิอากาศที่มีลักษณะแตกต่างกัน ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกัน ได้ เพื่อหลีกเลี่ยง ปัญหาดังกล่าวนี้ จึงแนะนำถึงความสัมพันธ์กับจำนวนหรือมาตรฐานดังนี้

- ความสัมพันธ์ของปริมาณฝนรวม (Relative Precipitation Sum) คือ อัตราส่วนร้อยละของ ปริมาณฝนต่อค่าเฉลี่ยของปริมาณฝน คำนวณจากสูตร

$$RP = \frac{P}{mP} \quad (2)$$

เมื่อ RP คือ ร้อยละของความสัมพันธ์ของปริมาณฝนรวม

- ความสัมพันธ์ผิดปกติ (Relative Precipitation Anomaly) คือร้อยละความผิดปกติ ของ ปริมาณฝนต่อหนึ่งหน่วยของปริมาณฝนเฉลี่ยคำนวณจากสูตร

$$AI = \frac{P - m(P)}{m(P)} \quad (3)$$

เมื่อ AI คือ ความสัมพันธ์ผิดปกติ

- ดัชนีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานผิดปกติ (Standardized anomaly Index) คือ ความผิดปกติของ ปริมาณฝนต่อหนึ่งหน่วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณฝน คำนวณจากสูตร

$$SAI = \frac{P - m(P)}{d(P)} \quad (4)$$

เมื่อ SAI คือ ดัชนีฝนที่ผิดปกติจากมาตรฐาน

$d(P)$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณฝน

- ค่าเฉลี่ยมาตรฐานผิดปกติ (Average Standard Anomaly) คือ ค่าเฉลี่ยของความผิดปกติของปริมาณฝนต่อหนึ่งหน่วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณฝน คำนวณจากสูตร

$$ASA = \frac{\sum \frac{\Delta PK}{dPK}}{K} \quad (5)$$

เมื่อ ΔP คือ ปริมาณฝนที่แตกต่างไปจากค่าเฉลี่ย
 dP คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณฝน
 K คือ จำนวนข้อมูล

กลุ่มที่ 2 ความแห้งแล้งบรรยากาศ (Atmospheric drought) เป็นสัญญาณที่เป็นมาตรฐานของช่วงเวลาแห้งแล้งที่ความชื้นในบรรยากาศมีปริมาณน้อยขาดแคลนไอน้ำที่ทำให้อิ่มตัวตามปกติ ลักษณะของการวิเคราะห์คุณสมบัติของความแห้งแล้งบรรยากาศ เช่น บางช่วงเวลาการวิเคราะห์ปกติจะสั้นกว่า 1 เดือน บางครั้งไม่กี่วัน แต่จำนวนวันต้องติดต่อกัน ซึ่งสามารถบอกถึงสาเหตุที่จะก่อให้เกิดเหตุร้ายเพียงไม่กี่ประเภทก็ได้ ดัชนีนี้ยังไม่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป เช่น (Selyaninov) แต่บางครั้งจะมีคุณค่าที่สามารถแนะนำการปฏิบัติงานด้านชลประทานเป็นอย่างมากในรูปแบบที่ง่ายที่สุด ทางสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยาเรียกว่า

- การขาดแคลนปริมาณความชื้นที่จะทำให้บรรยากาศอิ่มตัว (saturated deficit: d) คือ ปริมาณความชื้นที่จะทำให้บรรยากาศอิ่มตัวใน ขณะนั้น คำนวณจากสูตร

$$d = E - e = E(1 - f) \quad (6)$$

เมื่อ E คือ ความกดไอน้ำที่จุดอิ่มตัว (hPa)
 f คือ ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ
 e คือ ความกดไอน้ำที่ตรวจวัดได้ (hPa)

ตารางที่ 6 เกณฑ์ของค่าดัชนีระดับความแห้งแล้ง (ที่มา:กรมอุตุนิยมวิทยา 2555)

เกณฑ์ของค่าดัชนี (hPa)	ระดับความแห้งแล้ง
20-29	แห้งแล้งน้อย(weak)
30-39	แห้งแล้งปานกลาง (moderate)
40-49	แห้งแล้งรุนแรง (intensive)
>50	แห้งแล้งรุนแรงมาก(intensive dry spell)

กลุ่มที่ 3 ดัชนีความแห้งแล้ง (Aridity index) เป็นดัชนีที่มีคุณสมบัติเกี่ยวข้องกับภูมิอากาศมีสัมพันธ์กับปริมาณฝนที่ไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้บริหารจัดการกับพืช สำหรับสถานีหนึ่งๆ จะมีระดับความน่าจะเป็นปกติ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยการประยุกต์หรือเลือกค่าที่ใกล้เคียงจากการกระจายตามสมมุติฐานของการประมาณค่ามาตรฐานของศักยภาพการคายระเหยซึ่งสามารถพบดัชนีความแห้งแล้งชนิดนี้มากมายหลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดคือ การประมาณค่าการระเหยโดยใช้อุณหภูมิชนิดเดียวหรืออุณหภูมิรวมและdegree days ทฤษฎีพื้นฐานที่อยู่ในรูปแบบดัชนีความแห้งแล้งได้แก่

- อัตราส่วนการคายระเหยต่อปริมาณฝน (Bristov, 1987; Budyko, 952) ความแตกต่างของดัชนีความแห้งแล้งเป็นค่าประมาณของการระเหยหรือการคายระเหย ซึ่งมีสูตรการคำนวณจาก

$$\frac{PE}{P} \quad \text{หรือ} \quad \frac{P}{\frac{Rn}{L}} \quad (7)$$

เมื่อ PE คือ การคายระเหยที่กระจายอยู่ในรูปของฝน

Rn คือ สมดุลพลังงานแสงอาทิตย์

L คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

- ดัชนีปริมาณฝนของกลาง(Lang's rainfall index) คือ อัตราส่วนของปริมาณฝน เฉลี่ยรายปีต่ออุณหภูมิเฉลี่ยรายปี คำนวณจากสูตร

$$R = \frac{P}{T} \quad (8)$$

เมื่อ R คือ ดัชนีปริมาณฝนของกลาง

P คือ ปริมาณฝนรวมในช่วงเวลาที่ศึกษา

T คือ อุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ศึกษา

- ดัชนีความแห้งแล้งของ เดอ มาโทนนี (De Martonne aridity index) จะมี 2 สูตร ในการคำนวณ

สูตรที่ 1
$$IB = \frac{12P}{T+10} \quad (9)$$

สูตรที่ 2
$$Ia = \frac{P}{T+10} \quad (10)$$

เมื่อ Ia และ IB คือ ดัชนีความแห้งแล้งของ เดอ มาโทนนี

- ดัชนีความแห้งแล้งของโทรวเวท (Thornthwaite index: TI) จะคำนวณเป็นรายเดือนมีสูตรดังนี้

$$TI = 165 \left[\frac{P}{T+12.2} \right]^{\frac{10}{9}} \quad (11)$$

ดัชนี Lang's rainfall index, De Martonne aridity index และ Thornthwaite index ทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นดัชนีสำหรับการเกษตรที่มีความแตกต่างของ degree days อีกชนิดหนึ่ง ของกลุ่มที่ใช้ประมาณค่า degree days ในดัชนี Selyaninov index ซึ่งเป็นดัชนีที่รู้จักคือ hydro-thermal index จะใช้ข้อมูลรายวันในการคำนวณช่วงเวลาการศึกษา

- สัมประสิทธิ์ของ Selyaninov 's hydro-thermal คำนวณจากสูตร

$$HTK = \frac{P}{\sum_{T \geq 10} T} \quad (12)$$

เมื่อ T คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรายวันที่มากกว่า 10°C

ตารางที่ 7 สัมประสิทธิ์ Selyaninov (ที่มา:กรมอุตุนิยมวิทยา 2555)

สัมประสิทธิ์ Selyaninov	ระดับความแห้งแล้ง
0.4-0.7	แห้งแล้งมาก (very dry)
0.7-1.0	แห้งแล้ง (dry)
1.0-1.3	มีความชื้นไม่พอเพียง (insufficiently wet)
>1.3	มีความชื้น (wet)

- ดัชนีความแห้งแล้งของเพด (Ped's Drought index: PDI1) ใช้ศึกษาเกี่ยวกับความแปรปรวนของกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับดวงอาทิตย์ซึ่งจะใช้ข้อมูลเป็นรายเดือนของอุณหภูมิและ ฝน ซึ่งมีสูตรการคำนวณจากสูตร

$$PDI1 = \frac{\Delta T}{d(T)} - \frac{\Delta P}{d(P)} \quad (13)$$

เมื่อ ΔT คือ ความผิดปกติของอุณหภูมิ

ΔP คือ ความผิดปกติของฝน

$d(T)$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิ

$d(P)$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของฝน

ไม่ใช่แต่อุตุนิยมวิทยาเพื่อการเกษตรเท่านั้นแต่ยังมีการศึกษาถึงการถ่ายเทพลังงานใกล้ผิวดิน ที่เป็นที่รู้จักกันคือ

- อัตราส่วนของโบเวน (Bowen ration) (Skvortsov, 1950) มีความสัมพันธ์ระหว่างการถ่ายเทความร้อนแฝงและความร้อนที่รู้สึกได้ เพราะว่ามีความยุ่งยากในการตรวจวัดจึงได้แปลง อยู่ในรูปของการคำนวณดังนี้

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (14)$$

เมื่อ β คือ ดัชนี อัตราส่วนของโบเวน
 H คือ sensible heat flux ($\text{Wm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
 LE คือ latent heat flux ($\text{Wm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่น ๆ อีกมาก เช่น

- Potential water deficit $PE - P$
- Potential evaporation ratio, reciprocal of aridity index $\frac{PE}{P}$
- Aridity index, moisture availability index $\frac{P}{PE}$
- Relative evaporation $\frac{ET}{PE}$

กลุ่มที่ 4 ดัชนีความชื้นในดิน (Soil moisture index) ใช้ตรวจวัดหรือคำนวณข้อมูลความชื้นในดิน (Budagovsky, 1956) สามารถหาดัชนีความแห้งแล้งได้จากสูตร

- ความสัมพันธ์ความชื้นที่มีอยู่ในดิน(Relative soil moisture content) ดังนี้

$$\text{RSMI} = \frac{W}{\text{AWC}} \quad (15)$$

เมื่อ RSMI คือ Relative soil moisture index
 W คือ ความชื้นในดินที่แท้จริง
 AWC คือ ความชื้นในดินที่อิ่มตัวที่ความลึกของดิน 1 เมตร หรือกำหนดให้ตามความลึกของรากพืช

- ดัชนีความแห้งแล้งของเพด 2 (Ped's Drought index2: PDI2) ได้นำเอาแนวคิดของค่ามาตรฐานของปริมาณความชื้นในดินมาคำนวณด้วยกับ PDI1 จึงได้สูตรที่ 2 ดังนี้

$$\text{PDI2} = \frac{\Delta T}{d(T)} - \frac{\Delta P}{d(P)} - \frac{\Delta W}{d(W)} \quad (16)$$

เมื่อ $d(w)$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความชื้นในดิน

- ดัชนีความชื้นในดินแบบสมดุลน้ำ (Soil Moisture Index Based on Water Balance, SMI) หาได้จากองค์ประกอบและชนิดของดิน และเงื่อนไขความชื้นในดิน ได้แก่ ความชื้นในดินที่มีอยู่จริง (Soil Moisture, SM) ความชื้นในดินที่ความจุสนาม (Field Capacity, FC)

และความชื้นในดินที่จุดแห้งเหี่ยว (Wilting Point, WP) ในพื้นที่ที่ตรวจวัด ตามการกำหนดของ V. Sridhar และคณะ (2008) ดังนี้

$$SMI = \left[\frac{5(SM-WP)}{(FC-WP)} - 5 \right] \quad (17)$$

ค่า SMI มีค่าอยู่ระหว่าง มากกว่า - 1 ถึง น้อยกว่า - 5

กลุ่มที่ 5 ดัชนีที่มีความเชื่อมโยง (Combined or Recursive indices) เป็นดัชนีที่อธิบายถึงความชื้นโดยมีเงื่อนไขที่มีความสัมพันธ์กับช่วงระยะเวลายาวนานโดยการรวมค่าความสัมพันธ์ของสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยาที่มีอยู่ที่มีภาพขรุขระของเงื่อนไขที่ขัดแย้งกันในช่วงระยะเวลาที่ศึกษาสิ่งทีกล่าวมาทั้งหมดนี้มีผลกระทบสะสมที่เกิดขึ้นเป็นเวลานานของความชื้นที่ขาดแคลนในเดือนต่อเดือนนั้นควรมีคุณสมบัติที่มีการกระจาย ดัชนีที่ได้มีการพิสูจน์และใช้ประโยชน์ได้สูงเพื่อหาค่าความแห้งแล้งหรือช่วงเวลาแห้งแล้งซึ่งขึ้นอยู่กับค่าจริงที่เกิดขึ้นก่อนหน้านั้นสัมพันธ์กับการผันแปรทางอุตุนิยมวิทยาซึ่งเราเรียกวิธีการนี้ว่า Recursive indices ได้แก่

- Foley's anomaly index: FAI เป็นการรวมฝนรายเดือนที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันคำนวณได้จากสูตร

$$FAI_1 = \Delta P_1 \quad (18)$$

$$FAI_K = FAI_{K-1} + \Delta P_K \quad (19)$$

เมื่อ ΔP_K คือ ค่าความแตกต่างของค่ามาตรฐานกับค่าที่แท้จริงของฝนในเดือนที่ k ในที่สุดจะสามารถหาลำดับอนุกรมของดัชนีรายปีที่ให้ค่าแนวโน้มความแห้งแล้งจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไปยังเป้าหมายได้ (Fensham and Holman, 1999)

- Bhalme-Mooley Drought Index: BMDI ได้พิจารณาและดัดแปลงวิธีการของ Palmer Drought Severity Index: PDSI (Alley, 1984) ที่เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ปริมาณฝนรายเดือนในดัชนี Bhalme-Mooley Drought Index: BMDI ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$i_0 = 0 \quad (20)$$

$$I_k = c_1 i_{k-1} + \frac{SAI_k}{c_2} \quad (21)$$

$$BMDI = \frac{\sum_1^n i_k}{n} \quad (22)$$

เมื่อ c_1, c_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ภูมิภาคของพื้นที่ที่กำหนด

SAI คือ standardized precipitation anomaly index (Bhalme and Mooley, 1980)

คำนวณได้จากช่วงเวลาของพืช จะเริ่มในเดือนเมษายน ถึงกันยายน สุดท้ายจะได้ค่า 1 ค่า ที่หามาได้จากทั้งปี ที่จะเป็นตัวบ่งบอกถึงสถานะการณ์ของความแห้งแล้ง

Palmer Drought Severity Index: PDSI เป็นดัชนีที่ใช้ทั่ว ๆ ไปและเป็นที่ยอมรับ ซึ่งเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์สารประกอบของความสมดุลของน้ำผิวดินและเปรียบเทียบกับค่าที่แท้จริงทางด้านภูมิอากาศหรือค่าศักยภาพทางฟิสิกส์ การคำนวณ PDSI ขึ้นตอนหลาย ๆ ขั้นตอนที่พิจารณาถึงฝนรายเดือน การคายระเหย และความชื้นในดิน โดยทั่วไปมีอยู่หลายวิธีที่สามารถคำนวณค่าศักยภาพการคายระเหยของน้ำ ตัวแปรที่เป็นปัจจัยสำคัญของสมดุลของน้ำและเช่นเดียวกันกับขั้นตอนการคำนวณ PDSI, Palmer (Alley,1984) ได้ประยุกต์รูปแบบของโทรนเวต (Thornthwaite-formula) ซึ่งมีคุณสมบัติทางภูมิอากาศมาเกี่ยวข้องด้วย ต่อมา BlaneyCriddle method จัดทำการประมาณค่าที่ดีกว่า(Alley,1984) โดยเฉพาะทางเลือกของพืชที่กำหนด PDSI เป็นมาตรฐานที่แตกต่างของภูมิภาคและช่วงเวลาซึ่งใช้ประโยชน์ในการประเมินสำหรับพื้นที่กว้างกับภูมิอากาศที่แตกต่างกันซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 การนับค่าที่เกี่ยวข้องกับน้ำ(Hydrological accounting) เริ่มคำนวณด้วย สมดุลของน้ำทางภูมิอากาศโดยใช้อนุกรมของฝนรายเดือนและอุณหภูมิรายเดือนที่ได้มีการบันทึกไว้ ขบวนการที่มีความชำนาญที่จะนับความชื้นที่เก็บอยู่ในดิน โดยการหารด้วยดิน 2 ระดับที่ไม่มีกฎเกณฑ์ ในดินชั้นบนมีสมมุติฐานว่าประกอบด้วยความชื้นที่ใช้ประโยชน์ที่ความจุของสนาม การสูญเสียที่เกิดในชั้นต่ำกว่าขึ้นอยู่กับความจุของความชื้นเริ่มแรก เช่นเดียวกับการคำนวณค่าศักยภาพของการคายระเหยของน้ำ (PE) และการใช้ประโยชน์จากน้ำที่มีความจุเต็มที่ (AWC) การไหลของน้ำสมมุติว่าเกิดขึ้นได้ทั้ง 2 ระดับรวมถึงการรวมความจุความชื้น AWC สำหรับค่า PE หาได้ จากการรวมกันของค่าศักยภาพมากกว่า 3 ค่า ได้แก่ potential recharge คือจำนวนความชื้นที่ต้องการ ที่ทำให้ดินมีความจุในการอุ้มน้ำ Potential loss คือจำนวนความชื้นที่สามารถสูญหายไปจากดิน โดยการคายระเหยของน้ำระหว่าง ช่วงเวลาที่ฝนมีค่าเป็นศูนย์ Potential runoff คือค่าความแตกต่างระหว่างฝนกับ potential recharge
- ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ทางด้านภูมิอากาศ (Calculation of climatic coefficients) คำนวณจากแบบจำลองสมดุลของน้ำสำหรับช่วงเวลาที่มีการบันทึกสภาพอากาศที่ใช้ประโยชน์ ค่าสัมประสิทธิ์รายเดือนจะถูกคำนวณเป็น

สัดส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยภูมิอากาศของค่าจริงกับค่าศักย์ของการระเหย recharge การไหลของน้ำ และการสูญหาย ตามลำดับได้แก่ $\alpha = ET / PE$, $\beta = \text{actual} / \text{potential recharge}$, $\gamma = \text{actual} / \text{potrunoff}$, $\delta = \text{loss}$

- ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณค่า CAFEC (Climatically Appropriate For Existing Condition) สัมประสิทธิ์ถูกใช้หาปริมาณของฝนที่ต้องการสำหรับ CAFEC ตัวอย่างเช่น ค่าปกติของสภาพอากาศระหว่างแต่ละเดือน
- ขั้นตอนที่ 4 ดัชนีความชื้นที่ผิดปกติ (Moisture anomaly Index) ความแตกต่างระหว่างค่าจริงของฝนกับ CAFEC ของฝนเป็นตัวบ่งชี้ถึงการขาดแคลนน้ำหรือน้ำส่วนเกินใน เดือนนั้นและสถานีนั้นซึ่งมีสมการ คือ $D = P - I$, เมื่อ D คือ ค่าแตกต่างของฝนกับค่าCAFEC ของฝน P คือ ปริมาณฝน และ I คือ ปริมาณฝนที่เป็นค่าปกติ ดัชนีความชื้นที่ผิดปกติ (Indices of Moisture Anomaly) มีสมการคือ $Z = K(j)D$ เมื่อ K(j) คือ ค่าน้ำหนักที่กำหนดให้(weighting factor)
- ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณความแห้งแล้งรุนแรง ในขั้นตอนสุดท้ายนี้ ดัชนี Z ที่เป็นลำดับอนุกรมเวลาถูกวิเคราะห์เพื่อพัฒนาเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการเริ่มต้นและสิ้นสุดของช่วงเวลา ของความแห้งแล้งและรูปแบบที่ตั้งขึ้นไว้จากการสังเกตในการหาค่า PDSI ดัชนีความแห้งแล้งรุนแรงของพาร์มเมอร์(Palmer drought severity index) มีสูตรใน การคำนวณดังนี้

$$PDSI = PDSI_{k-1} + \frac{Z_k}{3} - 0.103 PDSI_{k-1} \quad (23)$$

หรือ

$$PDSI_k = \frac{Z_k}{3} + 0.897 PDSI_{k-1} \quad (24)$$

เมื่อ Z คือ ดัชนีความชื้นที่ผิดปกติ สมการ PDSI จะใช้ข้อมูลรายเดือนขึ้นอยู่กัข้อมูลเดือนก่อนหน้านั้นและความชื้นที่ผิดปกติของเดือนจริง เป็นสาเหตุที่มีความสัมพันธ์โดยอัตโนมัติของ PDSI โดยทั่วไป ลำดับช่วงของอนุกรมเวลา PDSI อยู่ระหว่าง -9 และ +9 จะกำหนดให้ค่าที่มากกว่า 4 และ 6 เป็นรุนแรง และอยู่ในเงื่อนไขวิกฤติ ค่าที่กำหนดอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพภูมิประเทศของภูมิภาคของโลก ขณะที่ครั้งแรกได้กำหนดช่วงการกระจายไว้อยู่ระหว่าง -4 และ 4 ซึ่งเป็นการพิจารณาเหตุการณ์ที่เข้าใกล้จุดวิกฤติ โดยที่เหตุการณ์ความแห้งแล้งเกิดขึ้นค่า PDSI ที่คำนวณได้จะมีค่าเป็นลบ ในขณะที่เป็นบวกจะหมายถึงมีความชื้น การเปรียบเทียบค่าดัชนีความแห้งแล้งอื่นๆแล้ว PDSI สามารถแปลงใช้ประโยชน์ได้หลายๆ แบบ และสามารถจำลองความชื้นในดินใน

แต่ละเดือน และเปรียบเทียบความรุนแรงของเหตุการณ์ความแห้งแล้งในภูมิภาคที่มีภูมิอากาศและฤดูกาลที่แตกต่างกันได้และมีการจัดระดับความรุนแรงดังนี้

ตารางที่ 8 ดัชนีความชื้น PDSI (ที่มา;กรมอุตุนิยมวิทยา 2555)

PDSI	ระดับความรุนแรงของความแห้งแล้ง
4.0 < PDSI	ชื้นมากเข้าขั้นวิกฤติ(extreme wet)
3.0 < PDSI < 4.0	ชื้นมาก(very wet)
2.0 < PDSI < 3.0	ชื้นปานกลาง(moderate wet)
1.0 < PDSI < 2.0	ชื้นเล็กน้อย(slightly wet)
0.5 < PDSI < 1.0	ชื้นในช่วงเวลาหนึ่ง(wet spell)
-0.5 < PDSI < 0.5	ปกติ(normal)
-1.0 < PDSI < -0.5	แห้งเล็กน้อย(slightly dry)
-2.0 < PDSI < -1.0	แห้งแล้งไม่มาก(mild drought)
-3.0 < PDSI < -2.0	แห้งแล้งปานกลาง(moderate drought)
-4.0 < PDSI < -3.0	แห้งแล้งรุนแรง(severe drought)
PDSI < -4.0	แห้งแล้งเข้าขั้นวิกฤติ(extreme drought)

นอกจากดัชนี PDSI แล้วยังมีดัชนีอื่นๆที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันนี้ได้แก่

- ดัชนีมาตรฐานของฝน (Standardized Precipitation Index: SPI)
- ดัชนีน้ำต้นทุนที่ผิวน้ำ (Surface Water Supply Index: SWSI)
- ดัชนีความแห้งแล้งน้ำการได้ (Reclamation Drought Index: RDI)
- ดัชนีความแห้งแล้งของปาร์มเมอร์ (Palmer Drought Index: PDI)
- ดัชนีความชื้นการเพาะปลูกของปาร์มเมอร์ (Palmer Crop Moisture Index: CMI)
- ดัชนีความแห้งแล้งของKeetch-Byram (Keetch-Byram Drought Index: KBDI)

กลุ่มที่ 6 ดัชนีที่ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกล (Indices based on remotely sensed information) การสะท้อนกลับของพืชมีความแตกต่างจากแร่ธาตุที่อยู่ในดินเป็นส่วนใหญ่ (Wangneret al., 1996) หาได้จากการดูดกลืนของคลอโรฟิลล์ในช่วงคลื่นสีน้ำเงินและแดงที่ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้รังสีจะถูกระบายออกไปจาก ใบพืช เหตุผลโดยทั่วไปการสะท้อนกลับสูงจะขึ้นอยู่กับรูปทรงและขนาดของใบพืช สิ่งที่ขัดแย้งกันคือพืชมีการสะท้อนกลับที่ต่ำในช่วงคลื่น visible ที่มาก

ที่สุดเป็นลำดับสองเล็กน้อยรอบๆ 0.55 ไมโครเมตร เมื่อพืชมีความเครียดเมื่อขาดน้ำเช่นเดียวกับสิ้นสุดช่วงเวลาการปลูกพืช การดูดกลืนคลอโรฟิลล์น้อยลงและมีอัตราส่วนของช่วงคลื่นอินฟราเรดกับสีแดงหรือการสะท้อนของ visible ลดลง อัตราส่วนนี้เรียกว่า

- ดัชนีพืช (Vegetation Index) ซึ่งมีสูตรการ คำนวณดังนี้

$$\text{Vegetation Index} = \frac{\text{NIR}}{\text{VIS}} \quad (25)$$

เมื่อ NIR คือ รังสีสะท้อนช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้
VIS คือ รังสีสะท้อนช่วงคลื่นสีแดงหรือช่วง visible

- การตรวจวัดทางสรีรศาสตร์ของพืชในทางปฏิบัติ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) บ่อยครั้งจะถูกนำมาใช้กำหนดสถานะของพืช เพราะว่าสถานะของพืชขึ้นอยู่กับสถานะของน้ำต้นตุน

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{VIS}}{\text{NIR} + \text{VIS}} \quad (26)$$

เราสามารถใช่ NDVI เป็น ดัชนีความแห้งแล้ง ความเครียดเกิดจากการขาดแคลนน้ำ เป็นผลในการลดลงของขนาดดัชนีพืช NDVI มีความยุ่งยากที่จะตีความในกรณีของพืชต่างๆ เพราะว่าการสะท้อนกลับของความยาวคลื่นของดินส่วนมากจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

อุณหภูมิของผิวพื้นสามารถตรวจวัดจากการสำรวจระยะไกล ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิใกล้ผิวพื้นและผิวพื้นเป็นตัวชี้อัตราส่วนของ latent และ heat flux ต่อมาได้มีการประมาณค่าโดย Jackson et al., 1981, 1984

- ดัชนีมาตรฐานที่เรียกว่า Crop Water Stress Index (CWSI) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{CWSI} = \frac{\text{PE} - \text{ET}}{\text{PE}} \quad (27)$$

เมื่อ PE คือ ศักย์การคายระเหยของน้ำ

ET คือ การระเหยของน้ำแท้จริง

การสำรวจอุณหภูมิผิวพื้นจากระยะไกล ร่วมกับสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยาตัว

อื่นๆ เป็น พื้นฐานของ CWSI (Bristow, 1987) ที่ใช้ประโยชน์สำหรับแนะนำระบบทางชลประทาน และ ความต่อเนื่องของค่ารายวันสามารถใช้เป็นดัชนีความแห้งแล้งด้วยความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวพื้นและใกล้ผิวพื้น (Idso et al., 1981; Seguin et al., 1994) เป็นตัวบ่งบอกถึงความแห้งแล้งอย่างเดียว การใช้ภาพของ degree day สามารถหา

- Stress Degree Day (SDD) จากสูตร

$$SDD = \sum_k (Tc - Ta) \quad (28)$$

เมื่อ Tc คือ อุณหภูมิพื้นผิว (canopy) จากการสำรวจระยะไกล

TA คือ อุณหภูมิอากาศมาตรฐานที่เป็นช่วงเวลาต่อเนื่องของช่วงแห้ง

การศึกษาวิจัยเรื่องดัชนีความแห้งแล้งสำหรับประเทศไทยมีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างข้อมูลดัชนีความแห้งแล้งเชิงพื้นที่ในบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยค่าดัชนีความแห้งแล้งในอดีตจนถึงปัจจุบันจะเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อประกอบการตัดสินใจในการลดความเสี่ยงภัยจากภัยแล้งบริเวณประเทศไทย การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาดัชนีความแห้งแล้งในหลาย ๆ วิธี เพื่อที่จะสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือบ่งบอกสถานะของภัยแล้งได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้ดัชนีความแห้งแล้งตามฤดูกาลมรสุม (Generalized Monsoon Index : GMI) เป็นเครื่องมือในการศึกษา

2.9 ดัชนีความแห้งแล้งตามฤดูกาลมรสุม (Generalized Monsoon Index: GMI)

เป็นดัชนีความแห้งแล้งทางด้านเกษตรที่แสดงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับพืชที่กำลังเจริญเติบโต อันเนื่องมาจากการขาดแคลนความชื้น โดยแบ่งระยะการเจริญเติบโตของพืชได้ 4 ระยะ ดังนี้ คือ ระยะเริ่มต้นปลูก (Planting) ระยะเติบโตทางลำต้น (Vegetative) ระยะออกดอกและ ระยะเจริญเติบโตของผลและเมล็ด (Flowering/Reproductive) และระยะเติบโตเต็มที่ของผลผลิต (Maturity) ซึ่งในแต่ละระยะมีความต้องการน้ำไม่เท่ากันหากเปรียบเทียบกันแล้วความต้องการน้ำมากที่สุดคือ ช่วงระยะออกดอกและระยะเจริญเติบโตของผลและเมล็ด รองลงมาคือช่วงระยะเติบโตเต็มที่ของผลผลิต ส่วนระยะเริ่มต้นปลูกและระยะเจริญเติบโตทางลำต้นนั้นมีความต้องการน้ำน้อยที่สุด โดยจะกำหนดน้ำหนักของการใช้น้ำของพืชในอัตราส่วน 1/8: 1/8: 1/2: 1/4 ตามลำดับในสมการการคำนวณค่า GMI ซึ่งเป็นการศึกษาพัฒนามาจาก Yield Monsoon Index (YMI) โดย Achutuni, Steyaert และ Sakimoto (1982) การวิเคราะห์ค่า GMI จะมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณฝนรายเดือนในระหว่างช่วงฤดูมรสุมนั้นๆ ซึ่งประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิด คือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (Southwest Monsoon: SW) พัดปกคลุมประเทศไทยประมาณกลาง เดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ส่วนมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (Northeast Monsoon : NE) พัดปกคลุมประเทศไทย ช่วงประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ โดยค่า GMI ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้คำนวณได้จาก

$$GMI_{SW} = 0.125P6 + 0.125P7 + 0.5P8 + 0.25P9 \quad (29)$$

เมื่อ P6 คือ ฝนรายเดือนของเดือนมิถุนายน

P7 คือ ฝนรายเดือนของเดือนกรกฎาคม

P8 คือ ฝนรายเดือนของเดือนสิงหาคม

P9 คือ ฝนรายเดือนของเดือนกันยายน

GMI_{SW} ใช้ในช่วงที่เกิดมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ระหว่างเดือนมิถุนายนจนถึงกันยายน โดยจะคำนวณค่า GMI_{SW} เมื่อสิ้นเดือนมิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม และกันยายน โดยมีค่า GMI_{SW} เมื่อสิ้นเดือนดังกล่าว ตามลำดับดังนี้

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนมิถุนายน } GMI6 = 0.125P6$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนกรกฎาคม } GMI7 = 0.125P6 + 0.125P7$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนเดือนสิงหาคม } GMI8 = 0.125P6 + 0.125P7 + 0.5P8$$

$$\text{เมื่อสิ้นเดือนเดือนกันยายน } GMI9 = 0.125P6 + 0.125P7 + 0.5P8 + 0.25P9$$

ส่วนค่า GMI ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือคำนวณได้จาก

$$GMI_{NE} = 0.125P10 + 0.125P11 + 0.5P12 + 0.25P1 \quad (30)$$

เมื่อ P10 คือ ฝนรายเดือนของเดือนตุลาคม

P11 คือ ฝนรายเดือนของเดือนพฤศจิกายน

P12 คือ ฝนรายเดือนของเดือนธันวาคม

P1 คือ ฝนรายเดือนของเดือนมกราคม

GMI_{NE} ใช้ในช่วงที่เกิดมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือระหว่างเดือนตุลาคมจนถึงมกราคม โดยจะคำนวณค่า GMI_{NE} เมื่อสิ้นเดือนตุลาคม พฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม โดยมีค่า GMI_{NE} เมื่อสิ้นเดือนดังกล่าว ตามลำดับดังนี้

$$GMI10 = 0.125P10 \text{ เมื่อสิ้นเดือนตุลาคม}$$

$$GMI11 = 0.125P10 + 0.125P11 \text{ เมื่อสิ้นเดือนพฤศจิกายน}$$

$$GMI12 = 0.125P10 + 0.125P11 + 0.5P12 \text{ เมื่อสิ้นเดือนธันวาคม}$$

$$GMI1 = 0.125P10 + 0.125P11 + 0.5P12 + 0.25P1 \text{ เมื่อสิ้นเดือนมกราคม}$$

2.10 แบบจำลองทางอุทกวิทยา

จกกล (2546) คำว่า “แบบจำลอง (models)” เริ่มนำเข้ามาใช้แทนคำว่า “ทฤษฎี (theory)” และคำว่า “สูตร (formula)” ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 หมายถึงความพยายามที่จะเลียนแบบกระบวนการที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ ในปัจจุบันมีการพัฒนาแบบจำลองทางอุทกวิทยาไว้มากมาย แบ่งตามลักษณะและข้อจำกัดต่างๆของแบบจำลองได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

Physical Model เป็นการสร้างแบบจำลองที่เลียนแบบของจริง นิยมสร้างเพื่อใช้ในการทดลองทางชลศาสตร์ โดยสร้างให้มีรูปร่างใกล้เคียงกับของจริง แต่มีขนาดเล็กกว่าและมีมาตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อที่จะทำการทดลองและเก็บข้อมูลแล้วนำไปใช้คำนวณแก้ไขปัญหา

Mathematical Model (Hanavan, 1964) เป็นการนำตัวอักษรมาใช้แทนค่าตัวแปรและใช้ตัวเลข เครื่องหมาย และสัญลักษณ์ต่างๆมาใช้เป็นตัวแทนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านั้น ซึ่งสมการคณิตศาสตร์ที่ได้จะเป็นตัวแทนของกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งภายในระบบเพื่อใช้ประเมินค่าผลที่จะเกิดขึ้น ซึ่งแบบจำลอง NAM ก็จัดอยู่ในประเภทนี้ด้วย Becker และ Serban ได้แบ่งประเภทของแบบจำลองทางอุทกวิทยาตามลักษณะของผลลัพธ์เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

แบบจำลองแบบ Deterministic ให้ผลลัพธ์ที่ชัดเจนในลักษณะที่แน่นอนว่าจะมีค่าเป็นเท่าใด

แบบจำลองแบบ Stochastic ให้ผลลัพธ์ในลักษณะที่ไม่ชัดเจนและไม่แน่นอน โดยอาจแสดงในรูปของความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ (Probabilistic) หรือในรูปของอนุกรมเวลา (Time Series)

2.10.1 แบบจำลองระบบภูมิอากาศของโลก (Global Climate Models: GCMs)

เป็นแบบจำลองที่รวมเอาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางอุทกนิยมิวิทยาของบรรยากาศและสมุทรศาสตร์โดยแบบจำลองทางภูมิอากาศตัวแรก ได้เกิดขึ้นที่ NOAA's Geophysical Fluid Dynamics Laboratory มหาวิทยาลัย Princeton ประเทศสหรัฐอเมริกา ในช่วงปลายคริสต์ทศวรรษ 1960 ปัจจุบันได้มีหลายหน่วยงานที่พัฒนาแบบจำลองภูมิอากาศขึ้นมา โดยใช้พื้นฐานแนวคิดคล้าย ๆ กันเช่น HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model, Version 3) ที่ถูกพัฒนาขึ้นที่ Hadley Centre ประเทศอังกฤษโดยการรวมเอาแบบจำลองบรรยากาศ HadAM3 ซึ่งคำนวณที่ความละเอียดทุกๆ 2.5×3.75 องศาในแนวละติจูดและลองจิจูดเข้ากับแบบจำลองสมุทรศาสตร์ Had M3 ซึ่งคำนวณที่ความละเอียดทุกๆ 1.25×1.25 องศาในแนวละติจูดและลองจิจูดโดยในการรวมแบบจำลองได้คำนึงถึงการถ่ายเทความร้อน ความชื้น และโมเมนตัมระหว่างพื้นผิวที่สัมผัสกันระหว่างบรรยากาศกับมหาสมุทรหรือแบบจำลองที่พิจารณา แต่ผลของการไหลเวียนของบรรยากาศ

เพียงอย่างเดียวอย่าง ECHAMM4 ที่พัฒนามาจากแบบจำลอง European Centre for Medium Range Weather Forecast: ECMWF โดย Max Planck Institute for Meteorology และ German Climate Computing Centre ประเทศเยอรมัน

แม้ว่าการใช้แบบจำลอง GCMS เพื่อการทำนายการเปลี่ยนแปลงสภาวะภูมิอากาศของโลกจะพัฒนาขึ้นและเป็นที่ยอมรับอย่างมาก แต่สำหรับภูมิภาคหรือประเทศขนาดเล็กที่มีพื้นที่ไม่มากการใช้ GCMS จะไม่สามารถอธิบายถึงลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ต่างๆได้เนื่องจากความละเอียดในการคำนวณของ GCMS มีไม่มากพอทำให้จำนวนตารางกริดของการคำนวณน้อยเกินไปที่จะแสดงลักษณะเฉพาะของพื้นที่ได้เช่นภาคเหนือของประเทศไทยเมื่อคำนวณด้วยแบบจำลอง GCM. HadAM3 ซึ่งคำนวณที่ความละเอียดทุกๆ 2.5×3.75 องศา ในแนวละติจูดและลองจิจูด จะมีจุดที่แสดงเพียง 2 จุดเท่านั้น คือ ภาคเหนือฝั่งตะวันตกรวมถึงบางส่วนของประเทศพม่า 1 จุดและฝั่งตะวันออก รวมถึงบางส่วนของประเทศลาวเป็นจุดที่ 2 ดังนั้นการที่จะศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของภูมิภาคในภูมิภาคหนึ่งหรือประเทศใดประเทศหนึ่งจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการในการเพิ่มความละเอียดของการคำนวณที่ในทางการใช้แบบจำลองเรียกว่ากระบวนการ “Down Scale” ซึ่งวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมี 3 วิธี ได้แก่ วิธีการทางสถิติวิธีการทางพลศาสตร์และวิธีผสมผสานระหว่างสถิติและพลศาสตร์ (IPCC, 2007)

2.10.2 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Climate Models; RCMs)

เทคนิคของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศภูมิภาคแบบซ้อนใน (Nested Regional Climate Modeling) ประกอบด้วยการใช้เงื่อนไขเริ่มต้นที่เป็นข้อมูลอุตุนิยมวิทยาซึ่งเป็นอิสระกับเวลาและอยู่รอบนอกของพื้นที่ศึกษาพร้อมทั้งเงื่อนไขขอบพื้นผิวในการขับเคลื่อน RCMs ซึ่งมีความละเอียดสูงข้อกำหนดดังกล่าวได้จากแบบจำลอง GCMS หรือการตรวจวัดโดยตรงและยังสามารถใช้ก๊าซเรือนกระจกและละอองลอยเป็นแรงบังคับเทคนิคดังกล่าวถูกประยุกต์ใช้ในลักษณะทิศทางเดียวกล่าวคือผลการสร้างภาพจำลองด้วย RCMs จะไม่ใช้ในการขับเคลื่อน GCMS หลักการของเทคนิคนี้คือการใช้แบบจำลองระดับโลกในการจำลองแบบการตอบสนองของการหมุนเวียนระดับโลกต่อแรงบังคับสเกลใหญ่ และ RCMs เพื่อคำนึงถึงแรงบังคับจากส่วนย่อยของ GCMS ในเชิงกายภาพ เช่นลักษณะภูมิประเทศที่ซับซ้อนพื้นที่ที่ไม่เสมอกันการปกคลุมดินที่ไม่สม่ำเสมอ (Inhomogeneity) และเพิ่มสมรรถนะการจำลองแบบการหมุนเวียนของบรรยากาศและตัวแปรภูมิอากาศในสเกลที่ละเอียดมากขึ้นเทคนิคแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศภูมิภาคแบบซ้อนนี้มีต้นกำเนิดจากการพยากรณ์อากาศการใช้ RCMs ในการศึกษาด้านภูมิอากาศในปัจจุบัน RCMs ถูกประยุกต์ใช้ในการศึกษาด้านภูมิอากาศอย่างหลากหลายตั้งแต่บรรพภูมิอากาศ (Palaeoclimate) จนถึงการ

เปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจากการกระทำของมนุษย์ RCMS สามารถให้ผลที่มีความละเอียดสูงในระดับ 10-20 กิโลเมตรหรือต่ำกว่าครอบคลุมช่วงเวลาทศวรรษและมีความสามารถในการแสดงให้เห็นกลไกการตอบสนองของภูมิอากาศในสเกลระดับภูมิภาค

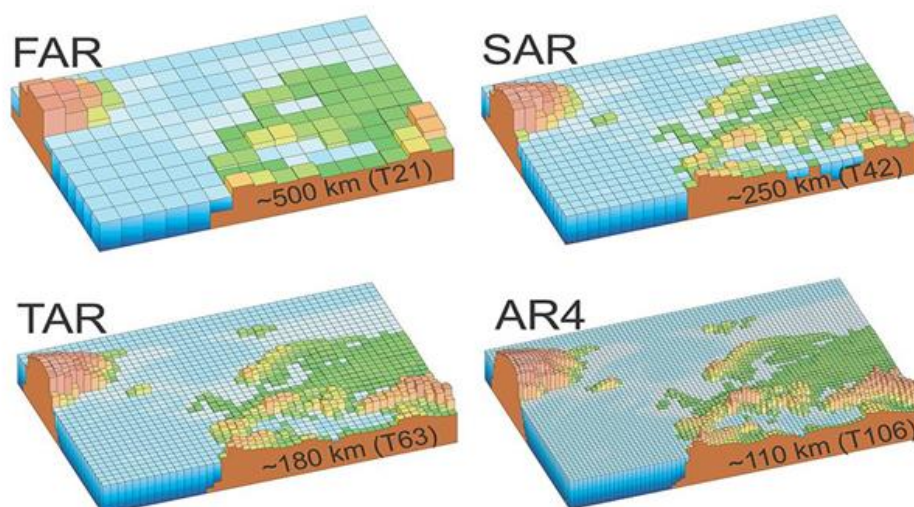
2.10.3 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศใช้สมการเพื่อเป็นตัวแทนกระบวนการหรือปฏิสัมพันธ์ที่ทำให้เกิดภูมิอากาศโลก ได้แก่ ชั้นบรรยากาศ มหาสมุทร พื้นดิน ภูมิภาคที่ปกคลุมด้วยน้ำแข็ง และการสะท้อนแสง โดยต้องคำนึงถึงกฎทางฟิสิกส์ เคมี และกลไกทางชีววิทยาเพื่อประกอบสร้างระบบภูมิอากาศของโลก

โดยมีสมการที่เป็นพื้นฐานในสร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนี้

- สมการที่หนึ่ง คือสมการพื้นฐานข้อแรกของเทอร์โมไดนามิกส์ หรือกฎอนุรักษ์พลังงาน (law of conservation of energy) ที่พลังงานสามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ แต่ไม่สามารถสร้างหรือทำให้พลังงานหายไปได้ในระบบปิด ซึ่งแหล่งพลังงานที่สร้างความร้อนให้กับชั้นบรรยากาศโลกคือแสงอาทิตย์
- สมการที่สอง คือกฎของสเตฟาน-โบลต์ซมันน์ (Stefan-Boltzmann Law) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างรังสีที่แผ่ออกมากับอุณหภูมิของวัตถุ กฎดังกล่าวนี้ได้ใช้เป็นเครื่องมือที่แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของแก๊สเรือนกระจกที่ช่วยควบคุมอุณหภูมิบนพื้นผิวโลกให้อุ่นขึ้นราว 33 องศาเซลเซียส
- สมการที่สาม คือสมการที่อธิบายพลวัตของสิ่งที่เกิดขึ้นในระบบสภาพอากาศ เช่น สมการคลอเซียส-แคลเปรอง (Clausius-Clapeyron) ซึ่งแสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศกับแรงดันไอน้ำสูงสุด
- สมการที่สี่ คือสมการของการเคลื่อนที่ของไหลของ Navier-Stokes ซึ่งจับความเร็ว ความดัน อุณหภูมิ และความหนาแน่นของแก๊สในบรรยากาศและน้ำในมหาสมุทร

เมื่อรวบรวมชุดสมการได้แล้ว นักวิทยาศาสตร์ได้ตัดแบ่งโลกออกเป็นเสี้ยวรูปสี่เหลี่ยมหรือที่เรียกว่า “ความละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution)” รูปสี่เหลี่ยมมีขนาดเล็กเท่าไร ก็จะใช้เวลาคำนวณมากขึ้นเท่านั้น นอกจากตัดแบ่งในเชิงพื้นที่แล้วจะต้องพิจารณาการตัดแบ่งเชิงเวลาเช่นกัน เพราะเวลาในแบบจำลองจะซับซ้อนเป็นช่วง ไม่ได้ไหลต่อเนื่อง เช่น ในโลกความเป็นจริง (รพีพัฒน์ อิงคสิทธิ์)



ภาพประกอบที่ 6 พัฒนาการของความละเอียดเชิงพื้นที่ในแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (The Hadley Centre, 2002)

2.10.4 แบบจำลองเชิงตัวเลข PRECIS (Providing REgional Climates for Impacts Studies)

เป็นแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (RCM) (The Hadley Centre, 2002) ที่พัฒนาขึ้นที่ The Met Office Hadley Centre for Climate Prediction and Research ประเทศอังกฤษโดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้ได้กับทุกพื้นที่ทั่วโลกโดยคำนวณได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลประสิทธิภาพสูงเพื่อตอบสนองความต้องการของประเทศต่างๆที่มีความประสงค์จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของภูมิภาคตัวเองโดยมีพื้นฐานการพัฒนาจากแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาครุ่นที่ 3 ของ Hadley Centre โดยเน้นการพัฒนาไปที่ความสะดวกของการทำงานและการแสดงผลแก่ผู้ใช้แบบจำลอง PRECIS สามารถให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศที่ดีกว่าแบบจำลอง GCMs โดยมีความละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่ประมาณ 0.22 องศาหรือประมาณ 25 กิโลเมตรและสามารถ Re-Scale ได้ถึงประมาณ 20 x 20 ตารางกิโลเมตร (อำนาจชิตโรสงและคณะ, 2553)

2.10.4.1 รายละเอียดทางเทคนิคของ PRECIS

การจำลองบรรยากาศภายในแบบจำลองประกอบด้วย

1. พลศาสตร์ประกอบด้วยกรจำลองการไหลเวียนของบรรยากาศในทางอุณหภูมิมหิตาและเทอร์โมไดนามิกของบรรยากาศรวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นบริเวณผิวพื้นและการรบกวนการไหลเวียนของบรรยากาศเนื่องจากอิทธิพลของความสูงของพื้นที่

2. วัฏจักรของซัลเฟอร์ในบรรยากาศพิจารณาการกระจายตัวและช่วงชีวิตของผงซัลเฟตในบรรยากาศซึ่งอยู่บนพื้นฐานของความหนาแน่นและปริมาณการปลดปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งจากธรรมชาติและมนุษย์

3. เมฆและหยาดน้ำฟ้าพิจารณาการเกิดเมฆก่อตัวทางตั้งและเมฆแผ่นขนาดใหญ่จากผลของหยาดน้ำฟ้ารวมถึงปริมาณรังสีที่บรรยากาศได้รับ

4. กระบวนการในการรับและแผ่รังสีภายในแบบจำลองจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความชื้นความหนาแน่นคุณสมบัติของก๊าซในบรรยากาศความหนาแน่นของซัลเฟตฝุ่นควันแขวนลอยในบรรยากาศเมฆการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณรังสีที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของปี

5. คุณสมบัติของพื้นดินพิจารณาถึงการปกคลุมดินในแง่ผลกระทบต่อการใช้พลังงานของอากาศการรับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์หยาดน้ำฟ้าการปลดปล่อยพลังงานความร้อนและความชื้นกลับสู่บรรยากาศการไหลบ่าของน้ำที่เกิดจากฝนอุณหภูมิตามความลึกของดินความสามารถในการรองรับและการดูดซึมน้ำ

2.10.4.2 เงื่อนไขบริเวณขอบเขตของการคำนวณ แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. ขอบเขตบนพื้นผิวของการคำนวณต้องการข้อมูลนำเข้าเฉพาะในบริเวณที่ปกคลุมด้วยน้ำเท่านั้นโดยปัจจัยที่ต้องการ ได้แก่ อุณหภูมิบริเวณพื้นพื้นผิวและการปกคลุมของน้ำแข็งตลอดช่วงเวลาที่ทำการคำนวณด้วยแบบจำลอง 2. ขอบเขตด้านข้างของการคำนวณต้องการข้อมูลทางพลศาสตร์ของบรรยากาศที่ขอบของการคำนวณประกอบด้วยข้อมูลความกดอากาศที่ผิวพื้นลมอุณหภูมิความชื้นและข้อมูลทางเคมีของบรรยากาศสำหรับขอบเขตด้านบนของการคำนวณต้องการเพียงข้อมูลปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์เท่านั้น

2.10.4.3 การนำ PRECIS Model มาใช้ในการคาดหมายลักษณะภูมิอากาศของประเทศไทย

หลังจากที่ทางศูนย์เครือข่ายฯ ได้ศึกษาและทดลองใช้แบบจำลอง PRECIS มาระยะหนึ่งจึงได้พิจารณานาเอาแบบจำลองดังกล่าวมาใช้ในการคาดหมายลักษณะภูมิอากาศในรอบ 100 ปีข้างหน้าของประเทศไทยโดยมีรายละเอียดของการทำงานดังนี้

1. กำหนดพื้นที่คำนวณระหว่างละติจูด 0-35 องศาเหนือลองจิจูด 90-112 องศาตะวันออกด้วยความละเอียดของการคำนวณทุกๆ 0.22 x 0.22 องศาหรือประมาณ 25 x 25 กม. / หนึ่งพื้นที่คำนวณ

2. กำหนดช่วงเวลาในการคำนวณแบ่งช่วงเวลาของการคำนวณตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960-1989 และ ค.ศ. 2010-2100 ออกเป็นช่วง ๆ ละ 10 ปีโดยแต่ละช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

กำหนดให้แบบจำลองเริ่มทำการคำนวณก่อนเวลาที่จะนำไปใช้ 2 ปีเพื่อให้แบบจำลองได้เข้าสู่ภาวะสมดุลย์ของข้อมูลเริ่มต้นและขอบเขตที่ได้รับจาก GCMS ก่อนที่จะถึงช่วงเวลาที่จะใช้ผลการคำนวณ

3. รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิอากาศในอนาคตเลือกใช้ชุดข้อมูลจาก GCMS ECHAM4 ในรูปแบบของการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบ A2 และ B2 โดยที่ทาง Hadley Ceiler ผู้พัฒนา Software PRECIS ได้จัดเตรียมชุดข้อมูลดังกล่าวในรูปแบบที่ Software PRECIS สามารถใช้งานได้มาพร้อมแล้ว

4. การกำหนดรูปแบบของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณในเบื้องต้นกำหนดไว้สำหรับเผยแพร่ใน 4 รูปแบบ ได้แก่

- ผลการคำนวณในลักษณะของ Text Files ซึ่งให้ผลการคำนวณในทุกจุดที่พื้นที่คำนวณครอบคลุมถึงแบบรายวันในตัวแปรปริมาณน้ำฝนอุณหภูมิสูงสุดอุณหภูมิต่ำสุดทิศทางและความเร็วลมปริมาณรังสีคลื่นสั้น / หน่วยพื้นที่ที่ตกกระทบผิวพื้น
- การสรุปผลการคำนวณในลักษณะของ GIS ซึ่งในเบื้องต้นจะทำเฉพาะบางตัวแปรเท่านั้น อย่างไรก็ตามในส่วนของการตัดตัวแปรที่จะเผยแพร่หลังจากเสร็จสิ้นโครงการอาจจะทำการเพิ่มเติมได้อีกหากเป็นความต้องการของผู้ใช้นอกจากนี้ในส่วนของการที่ได้จาก PRECIS ซึ่งเป็นรูปแบบเฉพาะของแบบจำลองทั้งในส่วนของการจัดเก็บข้อมูลรูปแบบของพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณรวมถึงหน่วยของตัวแปรต่างๆที่ใช้ซึ่งในเบื้องต้นได้พิจารณาแล้วเห็นว่ายังไม่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริงหรือเผยแพร่ได้โดยตรงจึงได้มีการปรับรูปแบบของผลลัพธ์จากแบบจำลองดังนี้
- ดัดขอบของพื้นที่การคำนวณเนื่องจากข้อจำกัด ของทุกแบบจำลองจะอยู่ที่ความผิดพลาดบริเวณพื้นที่ขอบของการคำนวณที่เรียกกันว่า Boundary Error ดังนั้นเมื่อแบบจำลองได้คำนวณเสร็จจึงได้ตัดบริเวณขอบของการคำนวณออก 2 กริดหรือ 0.44 องศาหรือประมาณ 50 กม.
- เนื่องจากในแบบจำลองมีการกำหนดแผนที่ด้วยวิธี Polar Projection ซึ่งมองว่าเส้นลองจิจูดทุกเส้นไปบรรจบกันบริเวณขั้วโลกทำให้ระยะห่างระหว่างเส้นลองจิจูดที่ละติจูดต่างกันจะไม่เท่ากันโดยที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรนั้นระยะห่างระหว่างเส้นลองจิจูดแต่ละเส้นจะมากที่สุดและค่อยๆแคบลงไปจนถึงขั้วโลกทั้ง 2 ด้าน แต่การกำหนดจุดของการคำนวณในแบบจำลองเป็นแบบขนาดของแต่ละกริดคงที่เมื่อเลือกจำนวนกริดของการคำนวณในแนวตะวันออกตะวันตกแล้วจะทำให้จำนวนลองจิจูดที่ปรากฏในบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรมีน้อยกว่าจำนวนลองจิจูดในบริเวณที่ละติจูดที่สูงกว่าซึ่งหากนำผลดังกล่าวมาแสดงโดยตรงอาจจะสร้างความลำบากให้กับผู้ใช้ที่ไม่คุ้นเคยรวมถึงแบบจำลองอื่น ๆ ที่มีรูปแบบของการกำหนดแผนที่แบบ Mercater ที่

ให้ระยะห่างของลองจิจูดเท่ากันทั่วโลกแบบแผนที่ที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปโดยวิธีการในการคลี่แผนที่จาก Polar Projection เป็น Mercator Projection นั้นใช้ Software ที่มีอยู่ในส่วนประกอบของ PRECIS เองโดย Software ดังกล่าวจะทำการ Interpolate ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการที่แตกต่างกันในตัวแปรแต่ละชนิด (รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถอ่านได้ที่ UM Documentation: The Full Scientific and Technical Manual of The Unified Model) ผลที่ได้จากการคลี่แผนที่นี้ ได้แก่ การปรับพื้นที่ซึ่งเป็นผลของการคำนวณให้อยู่ในตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดตามระบบ Mercator รวมทั้งทำให้ความละเอียดของการคำนวณถูกปรับลงมาอยู่ที่ 0.20 องศาหรือประมาณ 20 กิโลเมตร

- การเปลี่ยนรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลจากแบบฐาน 2 ซึ่งเป็นรูปแบบการจัดเก็บที่ทำให้สามารถเก็บข้อมูลจำนวนมากให้อยู่ในแฟ้มข้อมูลขนาดเล็กได้ แต่มีข้อเสียคือ Binary File นี้อยู่ใน Format ที่ไม่เป็นที่คุ้นเคยของกลุ่มผู้ใช้จึงได้จัดทำเป็นแฟ้มข้อมูลแบบ ASCII หรือ Text File ที่แม้ว่าจะมีขนาดของแฟ้มข้อมูลใหญ่กว่า แต่ทำให้มีความสะดวกต่อการนำไปใช้ของผู้ใช้ทั่วไปมากยิ่งขึ้นด้วยโดยให้รูปแบบของการจัดเก็บข้อมูลเป็นลักษณะตารางโดยในแต่ละแถวจะเป็นข้อมูลรายวันของตัวแปรที่กำหนดของแต่ละกริดที่ได้จากแบบจำลองโดย 1 แฟ้มข้อมูลจะเป็นข้อมูลรายวันของ 1 ตัวแปรทั้งพื้นที่ที่คำนวณ 1 ปี ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การเปลี่ยนหน่วยที่ได้จากผลการคำนวณ

ตัวแปร	หน่วยจาก PRECIS	สมการ	หน่วยที่ได้
อุณหภูมิ (T)	เคลวิน (K)	$T(^{\circ}\text{C}) = T(^{\circ}\text{K}) - 273.15$	เซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)
ปริมาณน้ำฝน (P)	กิโลกรัม/ตร.ม.วินาที ($\text{kg}/\text{m}^2\text{-s}$)	$P(\text{mm}) = P(\text{kg}/\text{m}^2\text{-s})$	มม. (mm)
ทิศทางลม (Wdir)	Wind U,V componenet	$W_{\text{dir}} = 2\pi$ $\text{ArcTAN}(U/V)*360$	องศาจากทิศเหนือ
ความเร็วลม	Wind U,V componenet	$W_{\text{speed}} = \text{SQRT}(U^2+V^2)$	เมตร/วินาที (m/s)

- หาค่าอื่น ๆ ที่คาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 หน่วยของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

ข้อมูล	เกณฑ์	หน่วย
จำนวนวันฝนตก	มีปริมาณน้ำฝน/วัน มากกว่า 3 มม.	วัน
จำนวนวันอากาศร้อน	มีอุณหภูมิสูงสุดของวันสูงกว่าหรือเท่ากับ 35 °C	วัน
จำนวนวันอากาศเย็น	มีอุณหภูมิต่ำสุดของวันต่ำกว่า 16 °C	วัน

2.10.5 แบบจำลองภูมิอากาศโลกภายใต้ CMIP5

การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต จำเป็นต้องอาศัยแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (General Circulation Models or GCMs) เพื่อทำการจำลองสภาพภูมิอากาศอันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงระดับก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (GCMs) เป็นการจำลองกระบวนการทางฟิสิกส์ของชั้นบรรยากาศ มหาสมุทร น้ำแข็งในทะเลหรือน้ำแข็งบริเวณขั้วโลกเหนือ น้ำแข็งบริเวณขั้วโลกใต้และผืนดิน โดยจำลองทางหลักการคณิตศาสตร์ของการไหลวนของบรรยากาศและมหาสมุทร โดยอาศัยพื้นฐานของสมการ นาเวียร์ - สโตกส์ (Navier - Stoke Equation) ในแกนวงหมุนของโลกด้วยเงื่อนไขของอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) ที่เกี่ยวข้อง เช่น การแผ่รังสีความร้อนแฝง เป็นต้น แบบจำลองยังใช้หลักการระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) ในการรวบรวมความหลากหลายของการเคลื่อนที่ของของไหล ทางเคมีและสมการทางชีวภาพ ความสัมพันธ์ของสมการเหล่านี้เป็นพื้นฐานการจำลองสภาพภูมิอากาศโลกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สลับซับซ้อน การประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกเป็นการทำความเข้าใจและการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต รวมถึงการพยากรณ์อากาศ การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment) ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอีกด้วย แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกจะอธิบายสภาพภูมิอากาศโดยใช้กริดโลก (Grid Cells) ที่มีลักษณะเป็นสามมิติ โดยมีความละเอียดในแกนนอน (Horizontal Resolution) อยู่ระหว่าง 100 ถึง 300 กิโลเมตรและมีความละเอียดในแกนตั้ง (Vertical Resolution) อยู่ระหว่าง 10 ชั้นถึง 20 ชั้น ในชั้นบรรยากาศและมากกว่า 30 ชั้นในชั้นมหาสมุทร จะ

เห็นได้ว่าแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก จะมีลักษณะความละเอียดเชิงพื้นที่ค่อนข้างหยาบ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการศึกษาและประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ยิ่งไปกว่านั้น กระบวนการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับเมฆ มีขนาดสเกลที่เล็กจึงไม่สามารถทำการจำลองได้ ต้องทำการกำหนดตัวแปรเสริม (parametrizations) เพื่อใช้ในการรวมกระบวนการต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น การพัดพาความร้อน (convection) กระบวนการผิวดิน (land surface processes) ค่า albedo และอุทกวิทยา (hydrology) รวมถึงการปกคลุมของ 3-2 เมฆ (cloud cover) นี้เป็นหนึ่งที่มาของความไม่แน่นอน (uncertainty) ในการจำลองสภาพภูมิอากาศโลกในอนาคต

2.11 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2)

เป็นการนำปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่ได้จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่ได้จากสถานีอุทกวิทยา โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2) เป็นเกณฑ์วัดความถูกต้อง ในการตรวจสอบแบบจำลองนั้นเพื่อให้แน่ใจว่าที่ทำการเปรียบเทียบสามารถใช้ประเมินน้ำฝนในปีต่าง ๆ ได้จริงซึ่งการตรวจสอบแบบจำลองทำได้โดยการป้อนข้อมูลฝนรายวันและอัตราการระเหยรายวันในปี พ.ศ. ที่ต้องการทราบปริมาณน้ำฝนโดยการตรวจสอบแบบจำลองนี้จะดูที่ค่า R^2 เป็นหลัก ถ้าค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากเท่าใดการประเมินน้ำฝนยิ่งมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยที่ค่า R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) หาได้จากสมการด้านล่าง

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{err}}{SS_{tot}} \quad (31)$$

The explained sum of squares; $SS_{err} = \sum(R_i - r_i)^2$

The total sum of squares; $SS_{tot} = \sum(R_i - R_m)^2$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(R_i - r_i)^2}{\sum(R_i - R_m)^2} \quad (32)$$

เมื่อ R_i = ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดน้ำฝน

r_i = ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากการแบบจำลอง

R_m = ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนเฉลี่ย

ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า กลุ่มข้อมูลทั้งสองเข้ากันได้ดี เมื่อค่าเข้าใกล้ 0 กลุ่มข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อย

2.12 ค่าความแม่นยำ (Nash-sutcliffe efficiency, NSE)

ค่าความแม่นยำ คือ ค่าดัชนีที่นิยมใช้ในการบอกค่าความแม่นยำของแบบจำลอง (Model accuracy) หรือประสิทธิภาพ-ประสิทธิผลของแบบจำลอง (Model performance) ในการคาดคะเนค่าที่ต้องการ โดยที่ NSE จะมีค่าอยู่ระหว่าง $-\infty$ ถึง 1 ปกติถ้าค่า NSE อยู่ระหว่าง 0 - 1 ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ แต่ถ้าค่า NSE น้อยกว่า 0 จะถือว่าแบบจำลองไม่มีประสิทธิภาพ ดังแสดงในสมการที่ (33)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Robs - Rsim)^2}{\sum_{i=1}^n (Robs - Robs)^2} \quad (33)$$

2.13 ร้อยละความเอนเอียงของการประมาณ (Percent bias, PBIAS)

ร้อยละความเอนเอียงของการประมาณ คือ ค่าดัชนีที่วัดแนวโน้มโดยเฉลี่ยของข้อมูลจากร้อยละความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าจากกาคาดคะเน ถ้าหากมีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึงการคาดคะเน ค่ามีความน่าเชื่อถือ ถ้าค่าเป็นบวกบ่งบอกถึงการจำลองให้ผลต่ำกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริงและหากค่าเป็นลบ บ่งบอกถึงการจำลองที่ให้ค่าสูงกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง ดังแสดงในสมการ (34)

$$PBIAS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Robs - Rsim)}{\sum_{i=1}^n Robs} \times 100 \quad (34)$$

เมื่อ i แทน ลำดับข้อมูล

n แทน จำนวนข้อมูลทั้งหมด

Robs แทน ค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัด

Robs แทน ค่าเฉลี่ยของข้อมูลตรวจวัด

Rsim แทน ค่าที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลอง

Rsim แทน ค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลอง

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วศัน สดศรี และประภาพรรณ ชี้อัสต์ย (2560) ติดตามสถานการณ์ภัยแล้งทางการเกษตร โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษากระเสียว จังหวัดสุพรรณบุรี ผลการศึกษาพบว่า จุดวิกฤตที่ทำให้เกิดสภาวะแห้งแล้งทางการเกษตร คือ พื้นที่ Severe มีสภาพแล้งปานกลางถึงรุนแรง จากแผนที่แสดงค่า SMI นำเสนอภาพแผนที่ที่ระดับความลึก 30 และ 60 เซนติเมตร แบ่งความแล้งทางการเกษตรออกเป็น 4 ระดับ (สีเข้มไปสีอ่อนตามลำดับ) ได้แก่ ระดับปกติ แล้งเล็กน้อย แล้งปานกลาง และแล้งรุนแรง (Normal less Intense Moderate และ Severe) โดยในพื้นที่ Severe นี้จะเป็นพื้นที่ซึ่งความชื้นในดินลดลงน้อยกว่าร้อยละ 50 ของ Available Moisture Capacity ที่จะทำให้เกิดความลำบากในการดูดน้ำไปใช้และจะส่งผลต่อผลผลิตของพืช โดยกำหนดการให้น้ำของพืชนั้น

อภิชาติ และคณะ (2524) กล่าวว่าอาจต้องให้น้ำเมื่อดินยังมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลืออยู่ร้อยละ 65 – 70 ดังนั้นจากภาพแผนที่ก็อาจพิจารณาการเริ่มให้น้ำแก่พื้นที่เพาะปลูกที่อยู่ในพื้นที่ Moderate ในการวิเคราะห์จะนำตัวอย่างดินมาหาค่า Soil Moisture ด้วยวิธีการวัดความชื้นแล้วนำผลการทดสอบตัวอย่างดินมาคำนวณค่าดัชนีความชื้นในดิน(SMI) นำผลการคำนวณค่าดัชนีความชื้นในดินชนิดข้อมูลจุด (Point Data) มาแปลงเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) โดยใช้วิธีการแทรกค่า (Interpolation Methods) แล้วจัดทำแผนที่แสดงค่าดัชนีความชื้นในดิน แล้วรวบรวมข้อมูลปริมาณฝนและค่าระเหยน้ำรายวันในช่วงเวลาเดียวกับการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อเปรียบเทียบการใช้ค่าความชื้นดินที่ได้จากการประมาณค่าระบบสมมูลน้ำกับค่าที่ได้จากการตรวจจริง จากผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีความชื้นในดินที่ได้จากการวัดค่าความชื้นจริงกับค่าที่ได้จากการประมาณค่าระบบสมมูลน้ำด้วยการวิเคราะห์ถดถอยในครั้งนี้ เห็นได้ชัดว่าที่ระดับ 60 เซนติเมตร มีโอกาสอธิบายความผันแปรของค่า SMI ที่หาได้จากค่าความชื้นจริง และสามารถใช้ค่าความชื้นที่ได้จากสมมูลน้ำไปประกอบการคำนวณค่า SMI เพื่อใช้ติดตามสภาวะแห้งทางการเกษตรโดยเฉพาะพืชไร่ได้

อภันตรี ยุทธพันธ์ กลุ่มวิชาการอุตุนิยมหาวิทยาลัยเกษตร และสำนักพัฒนาอุตุนิยมหาวิทยาลัย (2551) ศึกษาค่าดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชในประเทศไทย ผลของการศึกษาพบว่า พื้นที่การเกษตรของประเทศไทยนั้นส่วนใหญ่ต้องอาศัยความชื้นในดินที่มาจากฝน ซึ่งปริมาณและการกระจายของฝนในแต่ละช่วงเวลาและพื้นที่จะแตกต่างกัน ในบางครั้งจะมีปริมาณฝนมากเกินไปก่อให้เกิดความเสียหายแก่พืช หรือบางครั้งจะเกิดฝนทิ้งช่วง ทำให้พืชขาดแคลนน้ำได้ ในการศึกษาวิเคราะห์จะจัดเตรียมข้อมูลปริมาณฝน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความหนาแน่นแสงแดดรายวัน คำนวณค่าความน่าจะเป็นของปริมาณฝนที่ระดับ 75 % จากข้อมูลปริมาณฝนสะสมราย 10 วัน ของสถานีอุตุนิยมหาวิทยาลัยทั่วประเทศ จำนวน 54 สถานี โดยวิธี ranking order method โดยจะนำข้อมูลที่น่ามาใช้ในการศึกษานี้ ใช้คาบ 25 ปี เนื่องมาจากข้อจำกัดของข้อมูลความเร็วลม

คำนวณค่าดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชราย 10 วัน จากสมการหาค่าของ MAI และ นำเสนอด้วยโปรแกรม Arcview จากผลการศึกษาดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชช่วง 10 วัน บริเวณประเทศไทยตอนบนมีความชื้นในดินที่จะสามารถเพาะปลูกพืชเมื่อดินได้รับน้ำฝนมากพอ ระหว่างต้นเดือนพฤษภาคม - กลางเดือนตุลาคม ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แต่ช่วงที่ดินมีความชื้นพอเพียงสำหรับความต้องการของพืชเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงสุดจะอยู่ในช่วงต้นเดือนสิงหาคม - ปลายเดือนกันยายน แต่มีบางพื้นที่ ซึ่งในช่วงดังกล่าวดินมีความชื้นมากเกินไป ซึ่งต้องดำเนินการระบายน้ำออก เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อพืชและผลผลิตลดลง ส่วนภาคใต้นั้น ระยะเวลาที่ดินมีความชื้นเนื่องจากฝนที่จะสามารถเพาะปลูกพืชได้จะนานกว่าบริเวณประเทศไทยตอนบน ซึ่งอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคม - ปลายเดือนธันวาคม จากการศึกษาวิเคราะห์นี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการตัดสินใจดำเนินกิจกรรมทางการเกษตรต่างๆ ได้ในระดับหนึ่ง เช่น การกำหนดระยะเวลาเพาะปลูก การวางแผนกักเก็บน้ำเพื่อนำไปใช้ในเวลาที่ความชื้นลดลง

Reiji Kimura and Masao Moriyama(2020) การศึกษานี้ได้ตรวจสอบความเหมาะสมของดาวเทียมที่ใช้ดัชนีความแห้งแล้ง (satellite-based aridity index:SbAI) เพื่อวัดปริมาณการใช้น้ำและการเจริญเติบโตของทุ่งหญ้าในประเทศจีนและมองโกเลีย SbAI มีความสัมพันธ์อย่างมากกับค่าสะสมปริมาณน้ำในดินลดลงในรากของพืชและการเปลี่ยนแปลงในพืชผล จากสภาวะโลกร้อนที่เพิ่มมากขึ้นทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและปริมาณฝนในพื้นที่ที่แห้งแล้งลดลง ซึ่งสร้างความเสียหายให้กับ การเกษตร การเลี้ยงปศุสัตว์และสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ ไม่เพียงแต่ในพื้นที่เท่านั้น แต่ยังรวมถึงในภูมิภาคใกล้เคียง เช่น ญี่ปุ่น และเกาหลี โดยเฉพาะในประเทศจีนและมองโกเลีย เป็นทุ่งหญ้าตามธรรมชาติและเป็นแหล่งทำมาหากินหลักคือการเลี้ยงปศุสัตว์บนทุ่งหญ้า ข้อมูลอุณหภูมิมหาวิทยาลัยในพื้นที่แห้งแล้งนั้นมีจำกัด โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝน ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในค่าจำลองของ SWC ด้วยความละเอียดและความถี่สูง ข้อมูลดาวเทียมจึงมีข้อดีในการเฝ้าระวังการเจริญเติบโตของพืชในพื้นที่แห้งแล้ง คือ การถ่ายภาพความละเอียดปานกลางด้วยวิธี Spectroradiometer (MODIS) และ Copernicus Missions ได้ให้ข้อมูลตั้งแต่ปี 2543 และ 2557 ไว้ว่าช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆเป็นเวลานานเป็นเรื่องปกติในภูมิภาคที่แห้งแล้ง ดัชนีความแห้งแล้งSbAI ซึ่งใช้ในการติดตามสภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช คำนวณ Thermal inertia จากความแตกต่างของอุณหภูมิผิวดิน จากกลางวันถึงกลางคืน เพื่อตรวจวัดความแห้งแล้งและความชื้น และSbAI ได้รับการตรวจสอบและใช้เพื่อระบุความสัมพันธ์ของสภาพดินและความแห้งแล้งในเอเชียตะวันออกเฉียงเหนือและทั่วโลก โดยใช้วิธีการ Effective cumulative temperature (ECT) แทนที่อุณหภูมิสำหรับคำนวณSbAI ที่คำนวณได้จากข้อมูลดาวเทียมเพื่อติดตามการเจริญเติบโตของพืชและความชื้นในดินในเอเชียตะวันออกเฉียงเหนือโดยเน้นที่ทุ่งหญ้าธรรมชาติของจีนและมองโกเลีย พื้นที่ศึกษาอำเภอเงินมู่ในประเทศจีน มีค่า NDVI ค่อยๆเพิ่มขึ้นจาก 0.35 ถึง 0.4 ในเดือนสิงหาคม ยอดรวมปริมาณน้ำฝนตั้งแต่

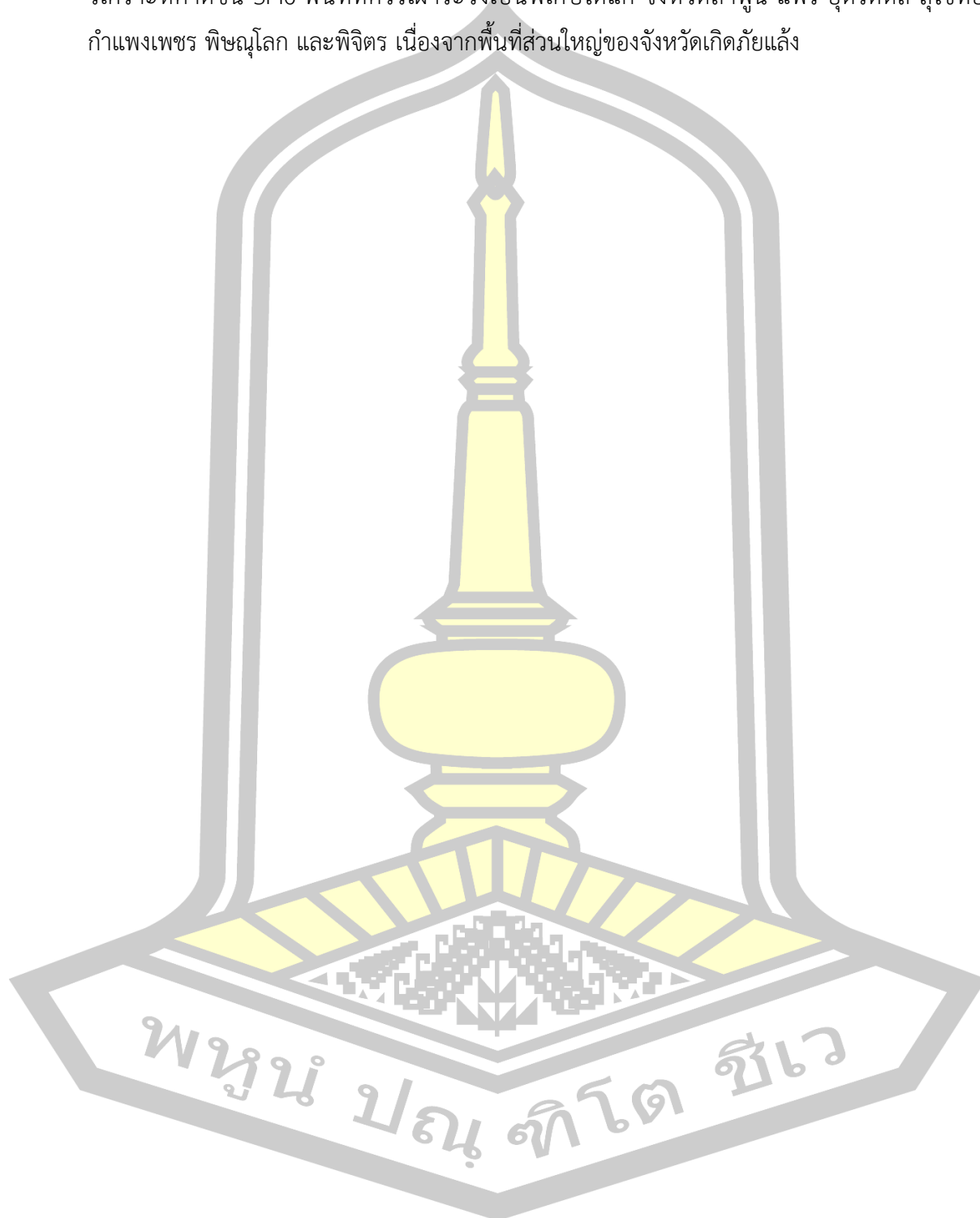
เดือนมีนาคมถึงสิงหาคมอยู่ที่ 215 ม.ม. ในปี 2548 309 ม.ม. ในปี 2549 และ 303 ม.ม. ในปี 2550 แม้ว่าปริมาณน้ำฝนรวมในปี 2550 สูงกว่าในปี 2548 NDVI ต่ำสุดในเดือนสิงหาคม 2550 สาเหตุนี้เกิดจากความชื้นของฝนและทำให้ความชื้นในดิน สูงขึ้นในเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม (DOY 152 ถึง 212) ในเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคม SWC เข้าใกล้ความจุสนาม (0.19 m 3 m -3) และอยู่ในระดับสูงในปี 2548 และ 2549 แต่ต่ำกว่า (<0.15 m 3 m -3) ในปี 2550 ปริมาณน้ำฝนเข้มข้นในเดือนมิถุนายนถึงกรกฎาคมทำให้พืชพรรณเพิ่มขึ้นอย่างมากในทุ่งหญ้าของมองโกเลียและจีน เราใช้ดัชนีความอึมตัวของดาวเทียม (SbAI) ที่คำนวณจากข้อมูลดาวเทียมสะสมซึ่งกันและกัน SbAI (CRSbAI) เพื่อติดตาม SWC และการเจริญเติบโตของทุ่งหญ้าในเอเชียตะวันออกเฉียงเหนือเปรียบเทียบกับในทุ่งหญ้าธรรมชาติในจีนมู่ ประเทศจีน

พิชิตพร ผลเกิดดี (2562) ได้ทำการศึกษาตั้งแต่ปี พ.ศ.2556 - 2560 โดยเปรียบเทียบเชิงเวลานั้นคือ การหาความแตกต่างระหว่างภาพถ่าย 4 ช่วงเวลาได้แก่ ช่วงฤดูเดียวกันและปีเดียวกัน เลือกศึกษาฤดูร้อน คือ เดือนมกราคมกับเดือนกุมภาพันธ์ ช่วงเดือนเดียวกันแต่ต่างปี คือ เดือนกุมภาพันธ์กับเดือนกุมภาพันธ์ในปีถัดไป ช่วงฤดูเดียวกันแต่ปีต่างกัน เลือกศึกษาฤดูฝน คือ เดือนตุลาคมกับเดือนตุลาคมในปีถัดไป และช่วงเวลาที่ต่างฤดูในปีอุทกศาสตร์เดียวกัน คือ เดือนที่อยู่ในช่วงฤดูฝนกับเดือนที่อยู่ในฤดูร้อนปีถัดไป จึงได้เลือกเดือนตุลาคมมาเทียบความแตกต่างกับเดือนมกราคมที่อยู่ติดกัน โดยการนำภาพถ่ายในแต่ละช่วงเวลามาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า NDVI ค่า NDWI และค่า EVI ทำให้ได้ผลการศึกษาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนตามฤดูกาลของค่า NDVI ค่า NDWI และค่า EVI ค่า NDVI หรือค่าดัชนีความแตกต่างพืชพรรณที่วัดได้ในพื้นที่ศึกษาที่ช่วงเวลา 5 ปี โดยเริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 - 2560 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.070 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.072 ในปี พ.ศ.2556 และต่ำสุดที่ 0.066 ในปี พ.ศ.2559 ค่า NDVI รายเดือนจะมีค่าต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ และสูงสุดในเดือนกันยายนและตุลาคม ทั้งนี้ค่า NDVI ในแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกันไปตามปริมาณน้ำฝนที่เกิดในพื้นที่นั้น ค่า NDWI หรือค่าดัชนีความชื้นในช่วง 5 ปีที่ทำการศึกษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.054 โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.057 ในปี พ.ศ.2556 และต่ำสุดที่ 0.051 ในปี พ.ศ. 2559 ค่า NDWI รายเดือนมีค่าต่ำสุดในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ และมีค่าสูงตลอดช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนพฤศจิกายน ค่า EVI เฉลี่ยในช่วง 5 ปี มีค่าเท่ากับ 0.048 ค่าสูงสุดอยู่ในปี พ.ศ.2557 มีค่าเท่ากับ 0.049 ค่าต่ำสุดอยู่ในปี พ.ศ.2559 มีค่าเท่ากับ 0.045 ค่า EVI รายเดือนจะมีค่าต่ำสุดอยู่ในเดือนกุมภาพันธ์ และมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่องจนสูงสุดในเดือนกันยายน ค่า NDWI และค่า EVI ในแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกันออกไปตามปริมาณน้ำฝนในแต่ละพื้นที่เช่นเดียวกับค่า NDVI กล่าวคือหากพื้นที่ไหนมีปริมาณน้ำฝนมาก จะทำให้ความสมบูรณ์ของพืชพรรณ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และความชื้นที่มีในพืชพรรณจะมีค่ามากจึงทำให้มีการสะท้อนออกมามีค่าสูง แต่หากพื้นที่ไหนปริมาณน้ำฝนน้อยก็จะทำให้พืชมีความสมบูรณ์น้อยลง ความชื้นในพืชน้อย

ปริมาณคลอโรฟิลล์ในพีชก็จะมีค่าลดลงตามไปด้วย จึงทำให้ค่า NDVI NDWI และค่า EVI ที่สะท้อนออกมาต่ำลง จึงทำให้พื้นที่นั้นมีความแห้งแล้งมากกว่าพื้นที่ที่มีค่า NDVI NDWI และค่า EVI ที่มีค่าสูง

วรลักษณ์ ไก่งามและชาคริต โชติอมรศักดิ์(2561)จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลน้ำฝนทั้ง 2 ชุดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลน้ำฝนรูปแบบกริดพบว่า ค่า r มีค่าตั้งแต่ 0.826-0.983 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลน้ำฝนทั้ง 2 ชุดมีความสัมพันธ์กันในระดับสูงจนถึงสูงมาก หรือกล่าวได้ว่าข้อมูลน้ำฝนรูปแบบ กริดจาก CRU นั้น มีประสิทธิภาพสามารถเป็นตัวแทนของข้อมูลน้ำฝนตรวจวัดของสถานีตรวจอากาศกรมอุตุนิยมวิทยา ดังนั้นการศึกษา ครั้งนี้จึงได้ใช้ข้อมูลน้ำฝนรูปแบบ กริดจาก CRU มาศึกษาแทนข้อมูลน้ำฝนจากข้อมูลตรวจวัดเนื่องจากมีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ละเอียดกว่าและมีข้อมูลที่ครบถ้วนมากกว่าข้อมูลตรวจวัดจากสถานีตรวจอากาศ ในส่วนของ การวิเคราะห์คุณลักษณะของ ภัยแล้งในช่วงฤดูฝนบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยทั้งในเชิงพื้นที่ และเชิงเวลา ตั้งแต่ปี ค.ศ.1980-2017 โดยใช้ค่าดัชนี SPI3 และดัชนี SPI6 จากการวิเคราะห์ค่าดัชนี SPI3 ของเดือนกรกฎาคมพบว่าปีที่เกิด ภัยแล้งระดับรุนแรงถึงรุนแรงมาก($SPI3 \leq -1.50$) มีทั้งหมด 14 ปี คิดเป็น 36.84% ของช่วงเวลาศึกษา โดยปี ค.ศ.2015 มีพื้นที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือ 97.10% รองลงมาได้แก่ ปี ค.ศ.1987 มีพื้นที่ได้รับผลกระทบ 47.35% ของพื้นที่ศึกษา ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าดัชนี SPI6 ของเดือนตุลาคมพบว่าปีที่เกิดภัยแล้งระดับรุนแรงถึงรุนแรงมาก ($SPI6 \leq -1.50$) มีทั้งหมด 15 ปี คิดเป็น38.47% ของช่วงเวลาศึกษา โดยปี ค.ศ.2015 มีพื้นที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือ 92.27% รองลงมาได้แก่ ปี ค.ศ.1993 มีพื้นที่ได้รับผลกระทบ 42.44% ของพื้นที่ศึกษา โดยปี ค.ศ.1982, 1987, 1991, 1992, 1993, 1996, 1997,1998, 2003, 2012 และ 2015 รวมทั้งหมด 11 ปีมีพื้นที่เกิดภัยแล้งระดับรุนแรงถึงรุนแรงมากทั้งในระดับค่าดัชนีSPI3 และดัชนี SPI6 โดยปี ค.ศ.1982, 1987, 1991, 1992,1997, 1998 และ 2015 เป็นปีที่เกิดปรากฏการณ์ เอลนีโญ สอดคล้องกับตาราง Oceanic Nino Index (ONI)¹⁶ ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดปรากฏการณ์เอนโซโดยปีที่มีค่าเฉลี่ย 3 เดือนของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงกว่าปกติตั้งแต่ 0.5 องศาเซลเซียสขึ้นไป ติดต่อกันอย่างน้อย 5 เดือนแสดงว่าเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญส่งผลกระทบก่อให้เกิดความแห้งแล้งบริเวณภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตัวอย่างเช่น ภัยแล้งที่เกิดขึ้นในประเทศอินโดนีเซียและฟิลิปปินส์ ซึ่งสาเหตุ ส่วนใหญ่เป็นผลกระทบมาจากปรากฏการณ์เอลนีโญนอกจากนี้รูปแบบของการเกิดภัยแล้งบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยในช่วงฤดูฝนตลอดช่วงเวลาศึกษาทั้งหมด 38 ปีมีพื้นที่เกิดภัยแล้งทุกช่วงระดับความรุนแรงกระจายตัวเป็นกระจุกอยู่ทั่วบริเวณภาคเหนือเกือบทุกปี โดยเฉพาะในปีที่เกิดปรากฏการณ์ เอลนีโญซึ่งส่วนใหญ่มักจะพบพื้นที่เกิดภัยแล้งระดับรุนแรงทั้งภัยแล้งช่วงต้นฤดูฝนและภัยแล้งตลอดฤดูฝน โดยภัยแล้งช่วงต้นฤดูฝนจากการวิเคราะห์ค่าดัชนี SPI3 พื้นที่ที่ควรเฝ้าระวังเป็นพิเศษได้แก่ จังหวัดเชียงราย แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ พะเยา และน่าน เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เกิดภัยแล้งระดับรุนแรงถึงรุนแรงมากทั้งในปี ค.ศ.1987 และ2015 ซึ่งเป็น 2

ปีที่มีพื้นที่ได้รับผลกระทบมากกว่า 25% ของพื้นที่ศึกษา นอกจากนี้ภัยแล้งตลอดฤดูฝนจากการวิเคราะห์ค่าดัชนี SPI6 พื้นที่ที่ควรเฝ้าระวังเป็นพิเศษได้แก่ จังหวัดลำพูน แพร่ อุตรดิตถ์ สุโขทัย กำแพงเพชร พิษณุโลก และพิจิตร เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดเกิดภัยแล้ง



บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

การดำเนินการจัดการวิจัยเพื่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกด้วยแบบจำลอง CMIP5 และประเมินสถานการณ์ภัยแล้ง มีดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. ข้อมูลปริมาณน้ำฝน
2. ข้อมูลภูมิอากาศอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง
3. ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ GIS
4. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนด้วยแบบจำลอง CMIP5
5. การวิเคราะห์ความแห้งแล้งด้วยดัชนี Generalized Monsoon Index (GMI)

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำห้วยสามหมอก ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ $15^{\circ} 58'$ ถึง $16^{\circ} 16'$ เหนือ และเส้นแวงที่ $102^{\circ} 05'$ ถึง $102^{\circ} 25'$ ตะวันออก มีพื้นที่ทั้งหมด 746.88 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 466,800 ไร่

2. ขอบเขตลุ่มน้ำห้วยสามหมอกครอบคลุมพื้นที่ 6 อำเภอ ใน 2 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดชัยภูมิ

อำเภอภูเขียว

อำเภอแก้งคร้อ

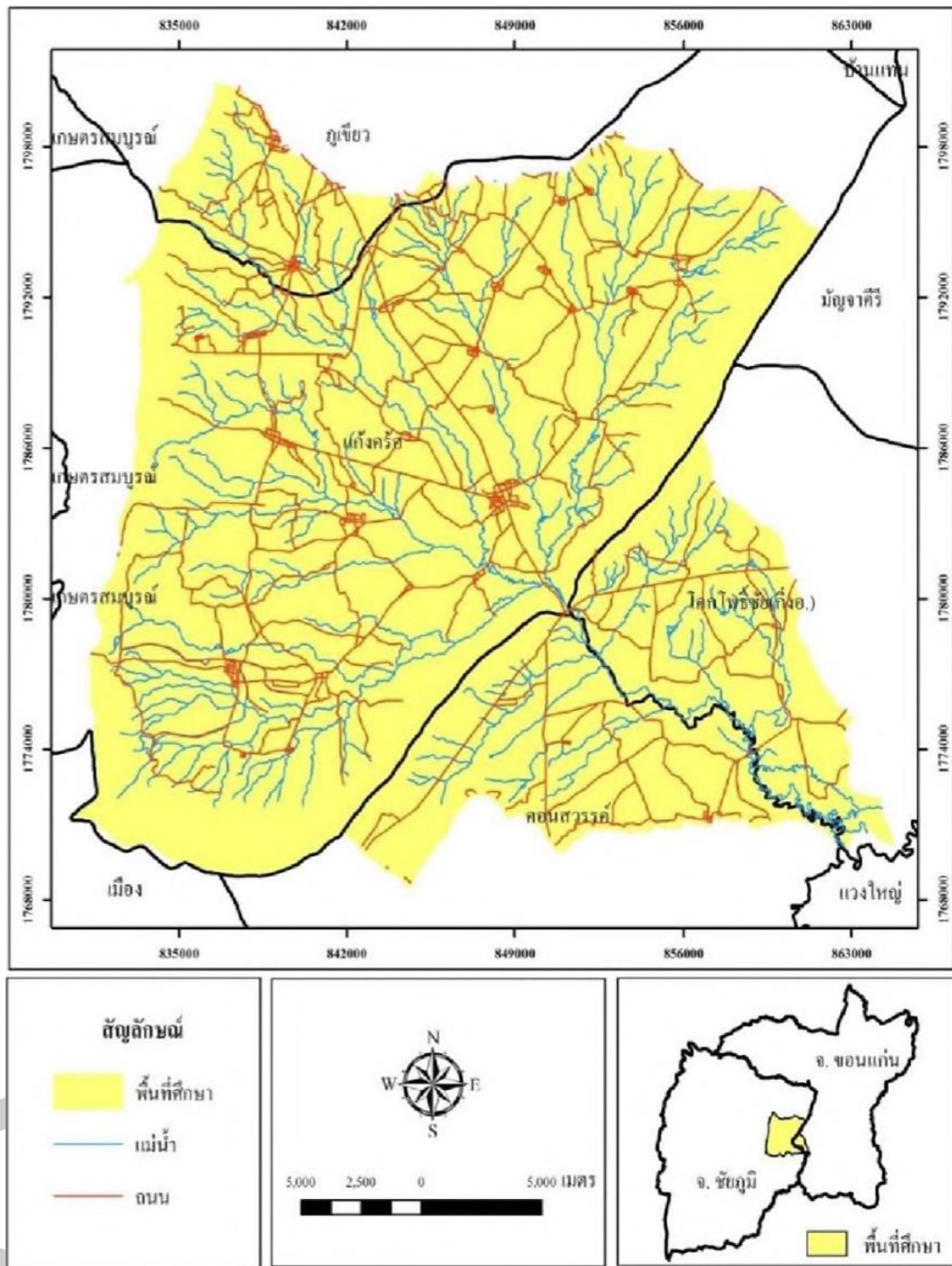
อำเภอกอนสวรรค์

อำเภอเมืองชัยภูมิ

จังหวัดขอนแก่น

อำเภอมัญจาคีรี

อำเภอโคกโพธิ์ไชย



ภาพประกอบที่ 7 ขอบเขตจังหวัดในกลุ่มน้ำห้วยสามหมอก (กรมอุตุนิยมวิทยา 2559)

3 ข้อมูลอุตุนิมวิทยาของพื้นที่ได้ศึกษาได้แก่ปริมาณน้ำฝน และจำนวนวันฝนตก

ตารางที่ 11 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ	รายการข้อมูล	ที่มา	ปี	ลักษณะ
1	ปริมาณน้ำฝน	กรมอุตุนิมวิทยา	2495- 2563	ข้อมูลรายเดือน

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝน หาปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำสาขา และวิเคราะห์ระดับความแห้งแล้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนรายปี เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญกับความเสี่ยงที่จะเกิดภัยแล้ง พื้นที่บริเวณที่มีปริมาณฝนรายปีมาก จะมีความเสี่ยงในการเกิดภัยแล้งน้อยกว่า การศึกษามีรายละเอียดดังนี้

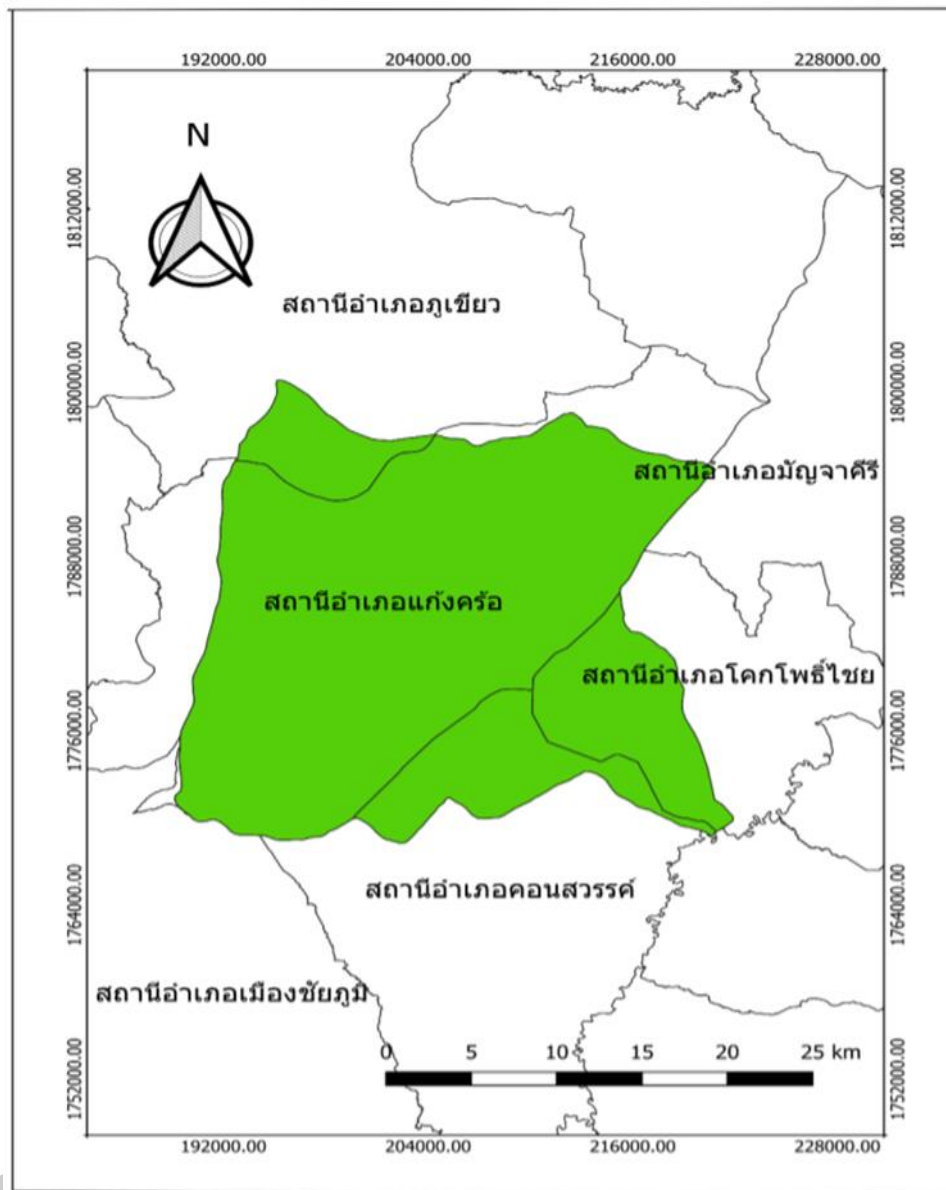
3.3.1.1 การรวบรวมข้อมูล ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายเดือน จากกรมอุตุนิมวิทยา ที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำห้วยสามหมอกและใกล้เคียง

3.3.1.2 พิจารณาคัดเลือกสถานีวัดน้ำฝนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สภาวะฝนแล้ง ในลุ่มน้ำห้วยสามหมอกโดยมีหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกว่า จะต้องเป็นสถานีที่มีความยาวของข้อมูลมากพอ และตำแหน่ง สถานีต้องกระจายทั่วทั้งพื้นที่ในเขตลุ่มน้ำห้วยสามหมอก ซึ่งมีขั้นตอนการในการคัดเลือกดังนี้

1) ตรวจสอบความต่อเนื่องและความยาวของข้อมูลในแต่ละสถานีว่ามีความต่อเนื่องของข้อมูล

2) เมื่อตรวจสอบความต่อเนื่องและความยาวของข้อมูลแล้ว จึงทำการคัดเลือกสถานีที่มีข้อมูล ยาวมาทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยพิจารณาจากข้อมูลฝนของทุก ๆ ปี ในแต่ละสถานีว่ามีความผิดปกติหรือไม่ เช่น ไม่มีฝนตกเลยในช่วงฤดูฝนทำให้ฝนรายปีมีค่าต่ำมาก ๆ หรือ ข้อมูลฝนราย เดือนในหลาย ๆ เดือนในคนละปี มีข้อมูลซ้ำกัน

3) เมื่อตรวจสอบความต่อเนื่องและความยาวของข้อมูลและความถูกต้องของข้อมูล จึงทำการ คัดเลือกสถานีที่มีข้อมูลนานและต่อเนื่องและความถูกต้องของพิกัดสถานีแล้วจึงเลือกคัดเลือกสถานีที่ นำมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยพิจารณาให้สถานีวัดน้ำฝนครอบคลุมที่สุดโดยสถานีที่คัดเลือก 6 สถานี



ภาพประกอบที่ 8 สถานีน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา



ตารางที่ 12 สถานีวัดน้ำฝนที่คัดเลือกใช้ในการวิเคราะห์

รหัสสถานี	สถานี	พิกัดสถานี		คาบการเก็บข้อมูล	
		พิกัดทาง ตะวันออก	พิกัดทาง เหนือ	เริ่ม พ.ศ.	ถึง พ.ศ.
381005	อำเภอแม่จาศรี	237705	1784179	2552	2561
381022	อำเภอโคกโพธิ์ไชย	1651	1022356	2552	2561
403002	อำเภอภูเขียว	194060	1811721	2523 - 2552	2548- 2561
403008	อำเภอกอนสวรรค์	155554	1021652	2518 - 2552	2548- 2561
403009	สถานีทดลองหม่อนไหม ชัยภูมิ อ. เมือง	182775	1749583	2518 - 2552	2548- 2561
ENR.42	บ้านแก้งคร้อ อ.แก้งคร้อ	207648	1781789	2550	2563

ตารางที่ 13 สถานีวัดน้ำฝนที่คัดเลือกใช้ในการวิเคราะห์

รหัสสถานี	สถานี	พื้นที่ตารางกิโลเมตร	ร้อยละของพื้นที่
381005	อำเภอแม่จาศรี	735.8	17.8
381022	อำเภอโคกโพธิ์ไชย	238.8	5.8
403002	อำเภอภูเขียว	801.8	19.4
403008	อำเภอกอนสวรรค์	468.1	11.3
403009	สถานีทดลองหม่อนไหมชัยภูมิ อ. เมือง	1305.3	31.6
ENR.	บ้านแก้งคร้อ อ.แก้งคร้อ	582.2	14.1
รวม		4132.1	100%

3.3.2 จำนวนวันฝนตก

จำนวนวันฝนตกต่อปี เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญกับความเสี่ยงที่จะเกิดภัยแล้ง พื้นที่บริเวณที่มีจำนวนฝนตกมาก จะมีความเสี่ยงในการเกิดภัยแล้งน้อย การศึกษาจำนวนวันสูงสุดที่มีปริมาณฝนตกต่อปีของแต่ละสถานีวัดน้ำฝนที่นำมาวิเคราะห์ในกลุ่มน้ำห้วยสามหมอก

3.3.3 การวิเคราะห์ระดับความแห้งแล้ง

การวิเคราะห์ค่า GMI จะมีค่าขึ้นอยู่กับปริมาณฝนรายเดือนในระหว่างช่วงฤดูมรสุมนั้นๆ ในส่วนของประเทศไทยเนื่องจากว่าในช่วงประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ถือว่าเป็นช่วงที่ประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และเป็นช่วงฤดูเพาะปลูกของพืชโดยทั่วไป ฉะนั้นค่า GMI ที่ใช้จึงเป็นค่า GMI ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยพิจารณาจากปริมาณฝนตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายนค่า GMI ดังกล่าวคำนวณได้จาก

$$GMI_{SW} = 0.125 P6 + 0.125 P7 + 0.5 P8 + 0.25 P9$$

- เมื่อ P6 คือ ฝนรายเดือนของเดือนมิถุนายน
 P7 คือ ฝนรายเดือนของเดือนกรกฎาคม
 P8 คือ ฝนรายเดือนของเดือนสิงหาคม
 P9 คือ ฝนรายเดือนของเดือนกันยายน

ค่า GMI_{SW} ใช้ในช่วงที่เกิดมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ระหว่างเดือนมิถุนายนจนถึงกันยายน โดยจำคำนวณค่า GMI_{SW} เมื่อสิ้นเดือนมิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม และกันยายน โดยมีค่า GMI_{SW} เมื่อสิ้นเดือนดังกล่าว ตามลำดับดังนี้

$$\text{สิ้นเดือนมิถุนายน } GMI6 = 0.125 P6$$

$$\text{สิ้นเดือนกรกฎาคม } GMI7 = 0.125 P6 + 0.125 P7$$

$$\text{สิ้นเดือนสิงหาคม } GMI8 = 0.125 P6 + 0.125 P7 + 0.5 P8$$

$$\text{สิ้นเดือนกันยายน } GMI9 = 0.125 P6 + 0.125 P7 + 0.5 P8 + 0.25 P9$$

ส่วนค่า GMI ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือคำนวณได้จาก

$$GMI_{NE} = 0.125P10 + 0.125P11 + 0.5P12 + 0.25P1$$

- เมื่อ P10 คือ ฝนรายเดือนของเดือนตุลาคม
 P11 คือ ฝนรายเดือนของเดือนพฤศจิกายน
 P12 คือ ฝนรายเดือนของเดือนธันวาคม
 P1 คือ ฝนรายเดือนของเดือนมกราคม

GMI_{NE} ใช้ในช่วงที่เกิดมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือระหว่างเดือนตุลาคมจนถึงมกราคม โดยจะคำนวณค่า GMI_{NE} เมื่อสิ้นเดือนตุลาคม พฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม โดยมีค่า GMI_{NE} เมื่อสิ้นเดือนดังกล่าว ตามลำดับดังนี้

$$GMI10 = 0.125P10 \text{ เมื่อสิ้นเดือนตุลาคม}$$

$GMI_{11} = 0.125P_{10} + 0.125P_{11}$ เมื่อสิ้นเดือนพฤศจิกายน

$GMI_{12} = 0.125P_{10} + 0.125P_{11} + 0.5P_{12}$ เมื่อสิ้นเดือนธันวาคม

$GMI_1 = 0.125P_{10} + 0.125P_{11} + 0.5P_{12} + 0.25P_1$ เมื่อสิ้นเดือนมกราคม

ค่า GMI ที่คำนวณได้จะมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร เพื่อความสะดวกในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการพิจารณาสภาวะพืช GMI จะถูกนำมาวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ไทล์ (percentile rank) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0-100 โดยนำค่า GMI มาเรียงลำดับจากน้อยไปมากและคำนวณค่า percentile rank

จากสูตร $GMI = (r \times 100) / (n + 1) \text{ pct}$

เมื่อ GMI_{pct} คือ percentile rank ของ GMI

r คือ ลำดับที่ของข้อมูลดิบ

n คือ จำนวนปีของข้อมูลของแต่ละสถานี

ตารางที่ 14 เกณฑ์ดัชนีความแห้งแล้ง GMI_{pct} . (ที่มา; วิรัช วรานุจิตต และคณะ. 2555. ดัชนีภัยแล้งสำหรับประเทศไทย 2555)

ค่าดัชนีความแห้งแล้ง GMI_{pct}	สภาวะของพืช
0 – 20	แล้งจัด(severe drought impact and possible crop failure)
21 – 30	แล้ง(drought impact on crops)
31 – 40	ค่อนข้างแล้ง(moderate drought impact on crops)
41 – 60	ปกติ(normal crops)
61 – 90	ความชื้นสูงกว่าค่าปกติ(Possible above normal crops)
91 - 100	ความชื้นเกินความต้องการ(possible excessive moisture)

พหุ ประถมศึกษา

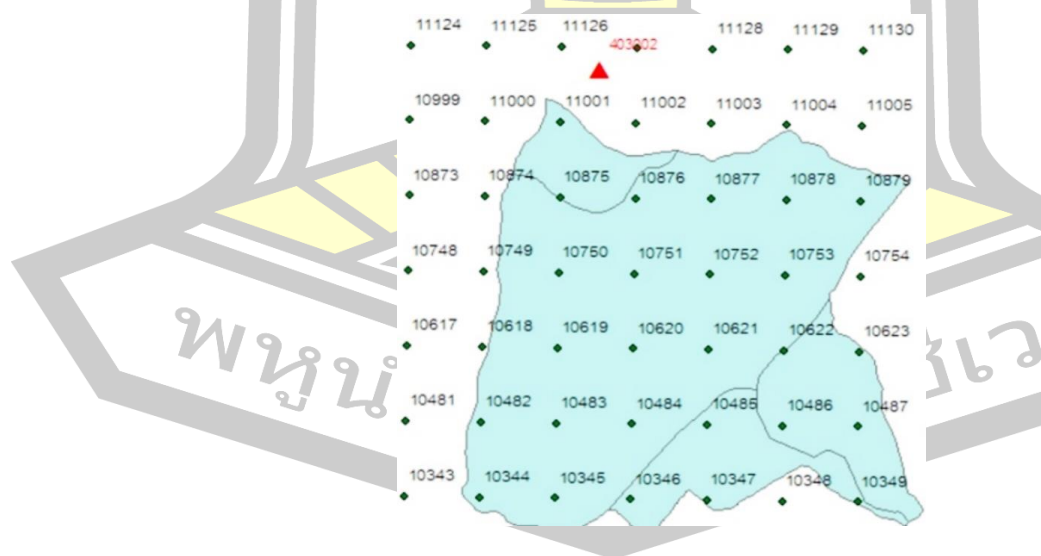
บทที่ 4

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาภัยแล้งเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกด้วยแบบจำลอง CMIP5 ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยสามหมอก โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ สูงสุด - ต่ำสุด จากกรมอุตุนิยมวิทยา ในช่วงปี ค.ศ.2009 - 2022 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ค่า Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) ค่า Root Mean Square Error (RMSE) และ ค่า Percent Bias (PBIAS) ของปริมาณน้ำฝนระหว่างสถานีตรวจวัดน้ำฝนกับแบบจำลองที่ต้องการศึกษาแล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วยค่าดังกล่าวแล้วมาเปรียบเทียบกับเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุดนำมาวิเคราะห์โดยใช้แผนที่เสี่ยงภัยแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยสามหมอกต่อไป

4.1 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากแบบจำลองภูมิอากาศโลกภายใต้ CMIP5

จากการรวบรวมข้อมูลฝน พบว่า สถานี 403002 เป็นสถานีที่มีข้อมูลครบสมบูรณ์และมีเปอร์เซ็นต์พื้นที่ครอบคลุมมากกว่าตารางที่ 10-11 โดยในการวิเคราะห์ข้อมูลฝนนี้จะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนของปีฐาน (ค.ศ. 2009 - 2022) จากสถานี 403002 อำเภอภูเขียว เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองโดยมีพิกัดกริดของแบบจำลองและตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนดังภาพประกอบข้างล่างนี้



ภาพประกอบที่ 9 ตำแหน่งพิกัดกริด GMIP5

เมื่อทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง CMIP5 กับปีฐาน เพื่อจะนำไปใช้ในคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตของพื้นที่ศึกษา พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของปีฐานระหว่างปี ค.ศ. 2009 – 2020 ของทั้ง 20 แบบจำลอง โดยเปรียบเทียบของข้อมูลปริมาณน้ำฝนปีฐานจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนของสถานีวัดน้ำฝน 403002 กับข้อมูลฝนที่ได้จากแบบจำลอง CMIP5 เป็นดังตารางที่ 15-16 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อการคาดการณ์ข้อมูลปริมาณฝนในการใช้ศึกษาภัยแล้งในอนาคต โดยในการศึกษาคั้งนี้จะคาดการณ์กรณี RCP4.5 และ RCP8.5 ซึ่ง RCP4.5 เป็นภาพฉายที่คาดการณ์ว่าการปล่อยแก๊สเรือนกระจกอยู่ในระดับปานกลาง และ RCP8.5 เป็นภาพฉายที่คาดการณ์ว่าการปล่อยแก๊สเรือนกระจกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสถานการณ์ที่รุนแรงที่สุด

ตารางที่ 15 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของ 20 แบบจำลอง CMIP5

แบบจำลอง	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	
	RCP4.5	RCP8.5
BCC_ESM	0.519	0.482
BNU	0.480	0.546
CanESM	0.410	0.470
CCSM4	0.454	0.452
CESM1_BGC	0.450	0.401
CESM1_CAM5	0.482	0.667
CNRM	0.678	0.426
CSIRO	0.402	0.395
EC_EARTH	0.467	0.508
FGOALS_g2	0.438	0.549
FGOAL_s2	0.438	0.487
GFDL	0.460	0.473
IPSL_CM5A_LR	0.467	0.350
IPSL_CM5A_MR	0.505	0.448
MIROC5	0.635	0.551
MIROC_ESM	0.523	0.528
MPI_ESM_LR	0.497	0.414

ตารางที่ 16 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของ 20 แบบจำลอง CMIP5 (ต่อ)

แบบจำลอง	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	
	RCP4.5	RCP8.5
MPI_ESM_MR	0.397	0.540
MRI_CGCM3	0.481	0.430
NorESM	0.509	0.670

จากตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) จะเห็นว่า มีแบบจำลองจำนวน 4 แบบจำลองจากทั้งหมด 20 แบบจำลองที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็นที่น่าพอใจ ได้แก่ CNRM และ Miroc5 ที่พื้นที่ใช้มาตรการที่ลดก๊าซเรือนกระจกปานกลางหรือ RCP 4.5 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ 0.678 และ 0.635 ตามลำดับ แบบจำลอง CESM1_CAM5 และ NorESM ที่พื้นที่ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับที่สูง หรือ RCP 8.5 โดยที่ค่าที่ได้คือ 0.667 และ 0.670 ตามลำดับ และได้นำแบบจำลองทั้ง 4 แบบจำลอง มาหาค่าความแม่นยำ (Nash-sutcliffe efficiency, NSE) และค่าร้อยละความเอนเอียงของการประมาณ (Percent bias, PBIAS) โดยที่ NSE จะมีค่าอยู่ระหว่าง $-\infty$ ถึง 1 ปกติถ้าค่า NSE อยู่ระหว่าง 0 – 1 แต่ถ้าค่า NSE น้อยกว่า 0 จะถือว่าแบบจำลองไม่มีประสิทธิภาพ โดยค่า NSE มีค่า 0.672, 0.619, 0.657 และ 0.661 สำหรับแบบจำลอง CNRM, Miroc5, CESM1_CAM5 และ NorESM ตามลำดับ โดยค่าถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ ส่วนค่าร้อยละความเอนเอียงของการประมาณ (Percent bias, PBIAS) ถ้าหากมีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึงการคาดคะเน ค่ามีความน่าเชื่อถือ ถ้าค่าเป็นบวกบ่งบอกถึงการจำลองให้ผลต่ำ กว่าค่าที่เกิดขึ้นจริงและหากค่าเป็นลบ บ่งบอกถึงการจำลองที่ให้ค่าสูงกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง โดยที่ค่า PBIAS ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 17-18

ตารางที่ 17 ตรวจสอบแบบจำลอง

GCMs	CNRM	Miroc5	CESM1_CAM5	NorESM
R^2	0.678	0.635	0.667	0.670
NSE	0.672	0.619	0.657	0.661

ตารางที่ 18 ตรวจสอบแบบจำลอง (ต่อ)

GCMs	CNRM	Miroc5	CESM1_CAM5	NorESM
RMSE	0.365	0.399	0.357	0.373
PBIAS	26.74	30.40	30.19	29.43

นำการคาดการณ์ปริมาณฝนจากแบบจำลองทั้ง 4 แบบจำลองมาพิจารณาแบ่งเป็นช่วง โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 ระยะทุกๆช่วง 20 ปี ได้แก่

ช่วงที่ 1 ช่วงอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ปี ค.ศ. 2023-2042)

ช่วงที่ 2 ช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062)

ช่วงที่ 3 ช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 2 (ปี ค.ศ. 2063-2082)

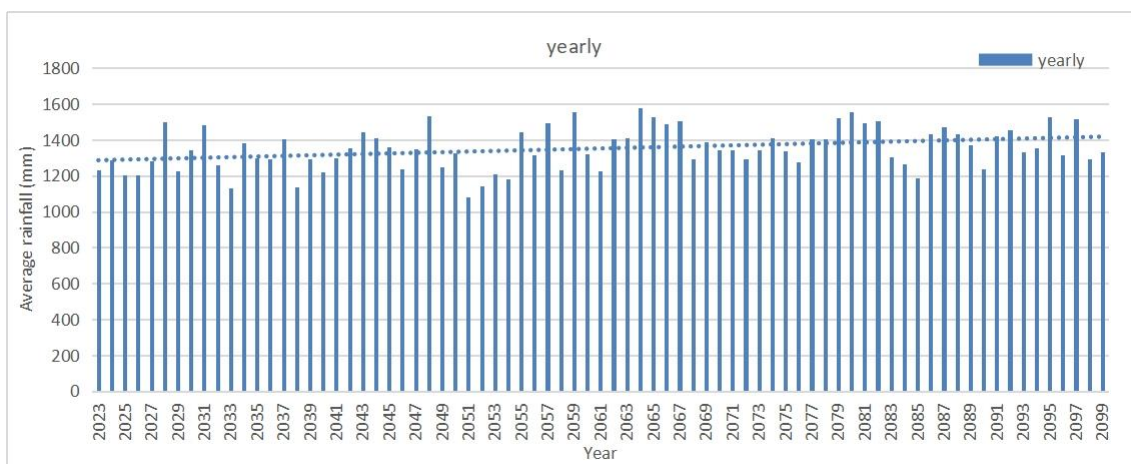
ช่วงที่ 4 ช่วงอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099)

พร้อมนำผลการคาดการณ์ของปริมาณฝนของแต่ละแบบจำลองมาเขียนกราฟเพื่อหาค่าแนวโน้มของปริมาณฝนที่แบบจำลองทำนาย ของทั้ง 4 แบบจำลอง

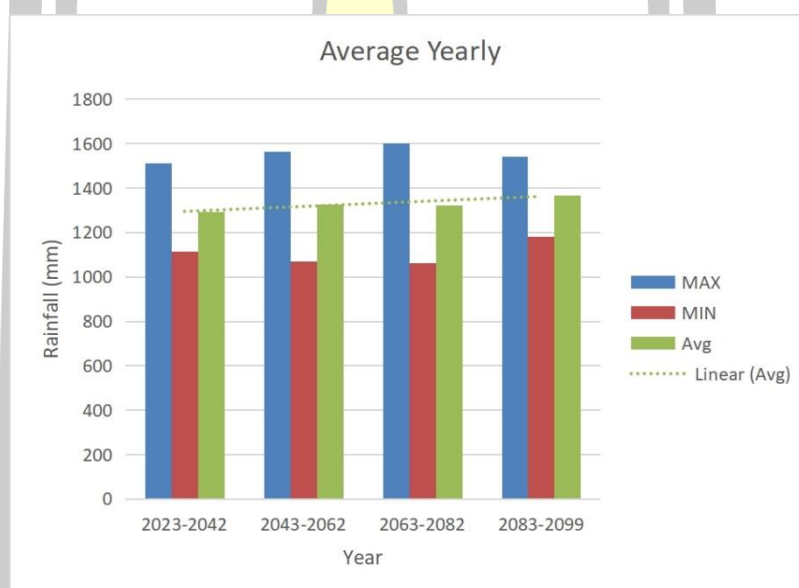
4.1.1 การคาดการณ์ปริมาณฝนของแบบจำลอง CNRM

การคาดการณ์ปริมาณฝนเป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำในหลายภูมิภาคทั่วโลก แบบจำลอง CNRM เป็นหนึ่งในเครื่องมือที่ใช้ในการคาดการณ์ปริมาณฝนในอนาคต โดยการวิเคราะห์ข้อมูลฝนที่ได้จากแบบจำลอง CNRM จะช่วยให้เราเข้าใจแนวโน้มของปริมาณฝนในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการทำนายด้วยแบบจำลอง CNRM เราสามารถเห็นว่าแนวโน้มที่ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลา เมื่อนำข้อมูลนี้มาเขียนกราฟ เราจะเห็นได้ชัดเจนว่าปริมาณฝนมีการเพิ่มขึ้นเป็นระยะๆ โดยที่ช่วงอนาคตอันใกล้ ปริมาณฝนเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลองจะอยู่ที่ประมาณ 1,300 มม.ต่อปี ในขณะที่ในอนาคตอันไกล ปริมาณฝนเฉลี่ยมีการเพิ่มขึ้นมายังประมาณ 1,500 มม.ต่อปี



ภาพประกอบที่ 10 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีอนาคตของแบบจำลอง CNRM



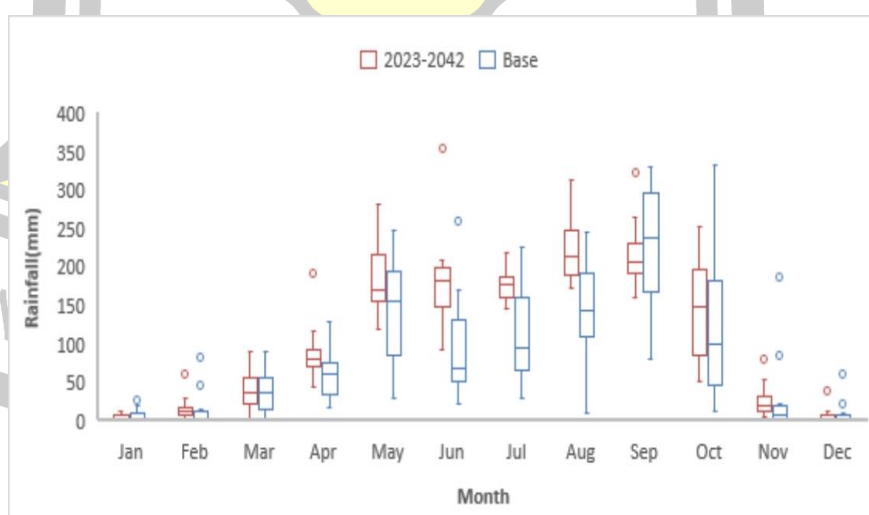
ภาพประกอบที่ 11 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของแบบจำลอง CNRM

จากภาพประกอบที่ 11 ที่แสดงปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงเวลาอนาคต จะเห็นว่าแนวโน้มที่ชัดเจนของการเพิ่มปริมาณฝนเมื่อเปรียบเทียบกับกันในช่วงเวลาต่าง ๆ ทั้ง 4 ช่วง เริ่มตั้งแต่ปีที่ 2023 ถึงปี 2099 โดยมีปริมาณฝนเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ประมาณ 1,100 มิลลิเมตร และปริมาณฝนเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 1,600 มิลลิเมตร แยกเป็นช่วงเวลาต่าง ๆ ดังนี้

1. ช่วงที่ 1 (Near Future: ปี ค.ศ. 2023-2042)
 - ปริมาณน้ำฝนสูงสุด: 1,512.63 มิลลิเมตร
 - ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด: 1,115.91 มิลลิเมตร

- ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย: 1,292.17 มิลลิเมตร
2. ช่วงที่ 2 (Mid-Term: ปี ค.ศ. 2043-2062)
 - ปริมาณน้ำฝนสูงสุด: 1,563.87 มิลลิเมตร
 - ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด: 1,070.34 มิลลิเมตร
 - ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย: 1,326.80 มิลลิเมตร
 3. ช่วงที่ 3 (Mid-Term: ปี ค.ศ. 2063-2082)
 - ปริมาณน้ำฝนสูงสุด: 1,599.26 มิลลิเมตร
 - ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด: 1,063.55 มิลลิเมตร
 - ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย: 1,322.77 มิลลิเมตร
 4. ช่วงที่ 4 (Long-Term: ปี ค.ศ. 2083-2099)
 - ปริมาณน้ำฝนสูงสุด: 1,539.93 มิลลิเมตร
 - ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด: 1,180.16 มิลลิเมตร
 - ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย: 1,368.48 มิลลิเมตร

จากการคาดการณ์ที่ใช้แบบจำลอง RCP 4.5 ชี้สรุปได้ว่าปริมาณน้ำฝนสูงสุดจะเกิดขึ้นในช่วงกลาง (Mid-Term) ช่วงที่ 2 (ปี ค.ศ. 2063-2082) ในขณะที่ปริมาณน้ำฝนต่ำสุดจะเกิดขึ้นในช่วงเดียวกัน อย่างไรก็ตาม องค์กรที่ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนรายปีและช่วงเวลานั้นๆ กล่าวถึงความแตกต่างในการแจกแจงปริมาณน้ำฝนรายปีในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน



ภาพประกอบที่ 12 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CNRM ในปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future)

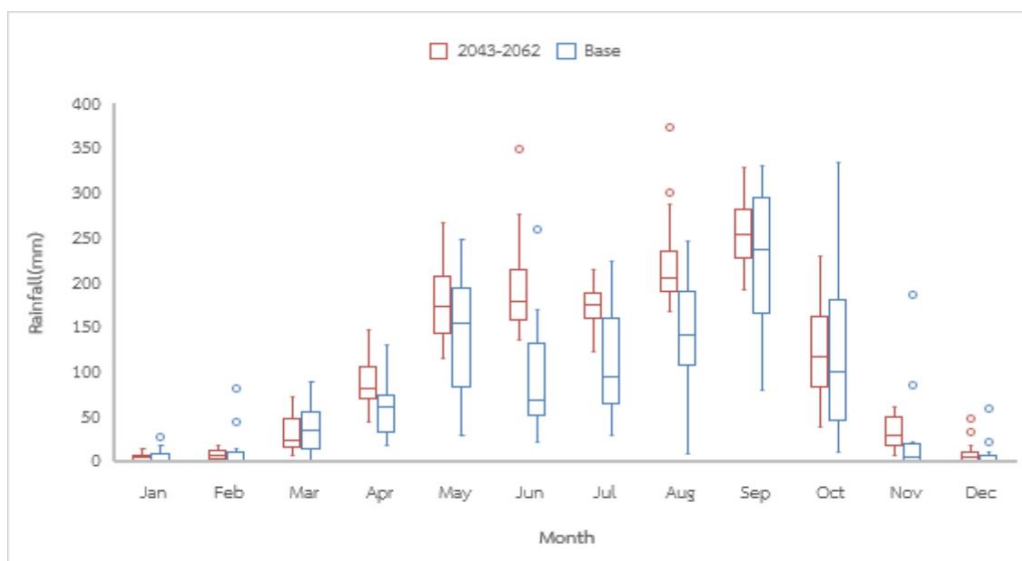
จากภาพประกอบที่ 12 ที่แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยระหว่างแบบจำลองกับปีฐาน เราสามารถสังเกตเห็นได้ว่าในช่วงอนาคตอันใกล้ โดยทั่วไปการกระจายตัวของข้อมูลนั้นมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างข้อมูลจากแบบจำลองและข้อมูลปีฐาน เหตุการณ์นี้ช่วยแสดงให้เห็นถึงความเชื่อถือได้ของแบบจำลองในการทำนายปริมาณน้ำฝนในอนาคต

อย่างไรก็ตาม จากการสังเกตพบว่าในบางเดือน ค่าปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของปีฐานมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการทำนายของแบบจำลอง โดยเฉพาะในบางเดือนเช่นเดือนกันยายน เป็นต้น อาจเกิดจากความไม่แม่นยำในการทำนายของแบบจำลองในบางช่วงเวลาที่เหตุการณ์พิเศษหรือเปลี่ยนแปลงที่ไม่ได้ถูกต้องที่สุดในข้อมูลปีฐาน

อย่างไรก็ดี ค่ากลางของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองในปีอนาคตอันใกล้ ๆ กับปีฐานมีค่าที่สูงขึ้น ซึ่งนั้นสามารถแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่การทำนายจากแบบจำลองมีความเพิ่มขึ้นตามเวลาผ่านไป ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการปรับปรุงและปรับแก้แบบจำลองให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในการทำนายสภาพภูมิอากาศในอนาคต

ในช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน ยกเว้นเดือนกันยายนเดือนเดียวที่ปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองและมีการกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานกระจายตัวมากกว่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง โดยปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนอยู่ที่ประมาณ 232.24 มิลลิเมตร ขณะที่ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลองมีค่าสูงสุดในเดือนสิงหาคมอยู่ที่ประมาณ 220.703 มิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยมีค่าสูงสุดของปีฐานมีค่ามากกว่าแบบจำลองในปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future) และในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์จะเป็นช่วงแล้งที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำหรืออาจไม่มีเลยในบางปีทั้งปีฐานและแบบจำลองในปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future)

พหุบัณฑิต ชีวะ



ภาพประกอบที่ 13 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CNRM ในปี ค.ศ. 2043-2062 (Mid Future 1)

การคาดการณ์ปริมาณฝนจากแบบจำลอง CNRM ในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1) มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับช่วงอนาคตอันใกล้มากขึ้น โดยมีลักษณะหลักดังนี้

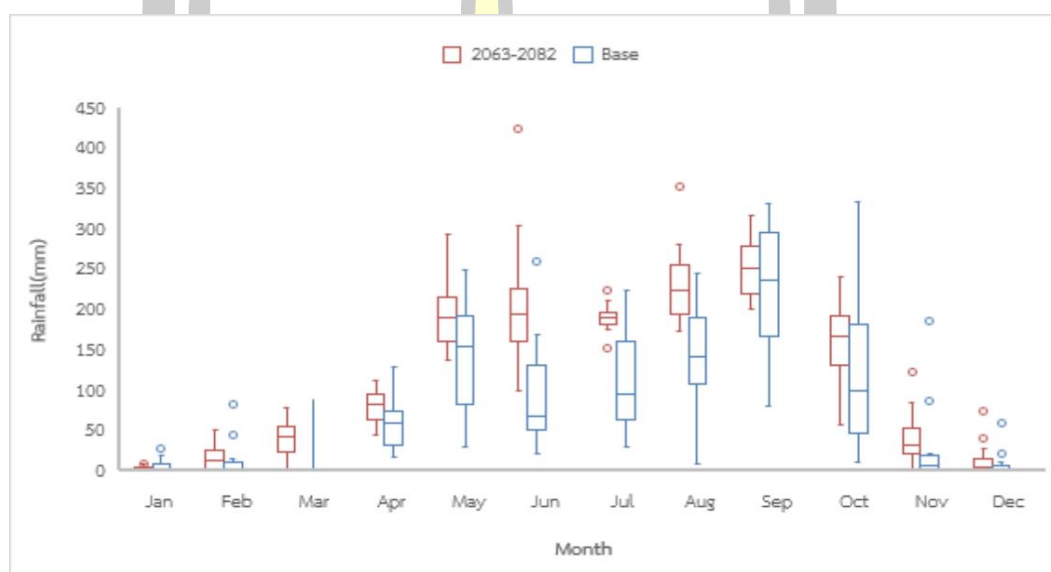
1. ปริมาณฝนเฉลี่ยจากแบบจำลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้น: หมายความว่าปริมาณฝนโดยเฉลี่ยที่คาดการณ์มาจากแบบจำลอง CNRM มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับข้อมูลปริมาณฝนในช่วงปีฐาน ซึ่งอาจแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนในระยะเวลาในอนาคตนั้น

2. การกระจายตัวมีน้อยกว่าปีฐาน: หมายความว่าปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละเดือนมีความสัมพันธ์ในการกระจายตัวที่น้อยลงเมื่อเทียบกับข้อมูลปริมาณฝนในช่วงปีฐาน นั่นหมายความว่าแม้จะมีการเพิ่มปริมาณฝนโดยเฉลี่ยในช่วงเวลาที่คาดการณ์มา แต่การกระจายของปริมาณฝนในแต่ละเดือนอาจมีความคงที่มากขึ้น ซึ่งอาจมีผลต่อการวิเคราะห์ความเสี่ยงและการจัดการสถานการณ์ที่เกิดจากปริมาณฝนในช่วงเวลานั้น

ดังนั้น การคาดการณ์ฝนจากแบบจำลอง CNRM ในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1) จึงมีความสำคัญในการวิเคราะห์แนวโน้มของฝนในอนาคตเพื่อให้สามารถวางแผนและปรับปรุงการจัดการสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจากสภาพอากาศได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการป้องกันและลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

ในช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน และการกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานกระจายตัวมากกว่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง โดยปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนอยู่ที่ประมาณ 232.24 มิลลิเมตร ขณะที่ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลองมี

ค่าสูงสุดในเดือนกันยายนเช่นเดียวกันอยู่ที่ประมาณ 257.03 มิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยมีค่าสูงสุดของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปีฐานในปี ค.ศ. 2043-2062 หรือในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1) และในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์จะเป็นช่วงแล้งที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำหรืออาจไม่มีเลยในบางปีทั้งปีฐานและแบบจำลองเช่นเดียวกันกับช่วงปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future)

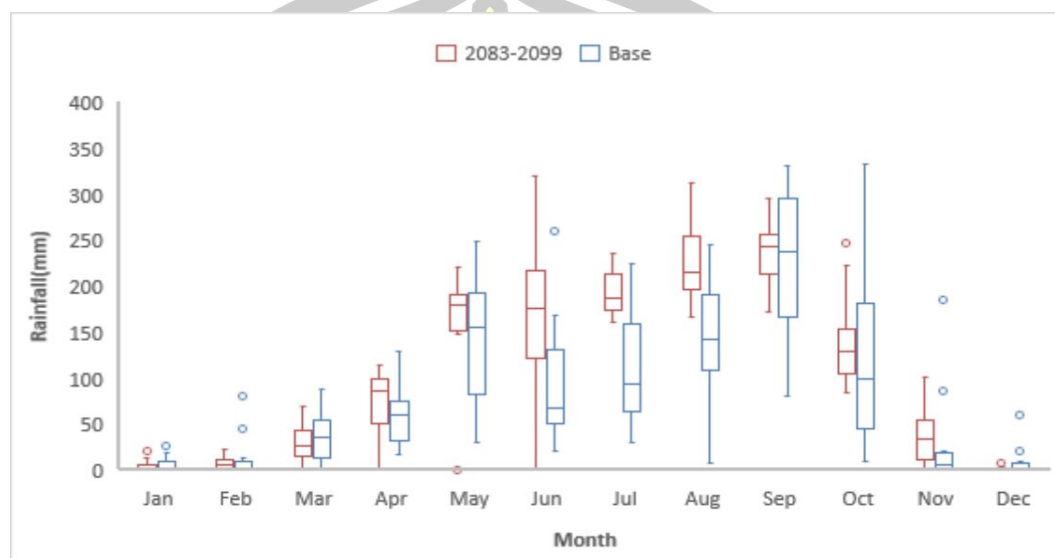


ภาพประกอบที่ 14 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CNRM ในปี ค.ศ. 2063-2082 (Mid Future 2)

การคาดการณ์ปริมาณฝนจากแบบจำลอง CNRM ในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 2 (Mid Future 2) มีลักษณะเดียวกับช่วงอนาคตอันใกล้และอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 คือปริมาณฝนเฉลี่ยจากแบบจำลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่การกระจายตัวมีน้อยกว่าปีฐาน

ในช่วงฤดูฝนของช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 2 (Mid Future 2) ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน และการกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานกระจายตัวมากกว่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลองมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนเช่นเดียวกันอยู่ที่ประมาณ 240.66 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยมีค่าสูงสุดของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปีฐาน และในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์จะเป็นช่วงแล้งที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำหรืออาจไม่มีเลยในบางปีทั้งปีฐาน

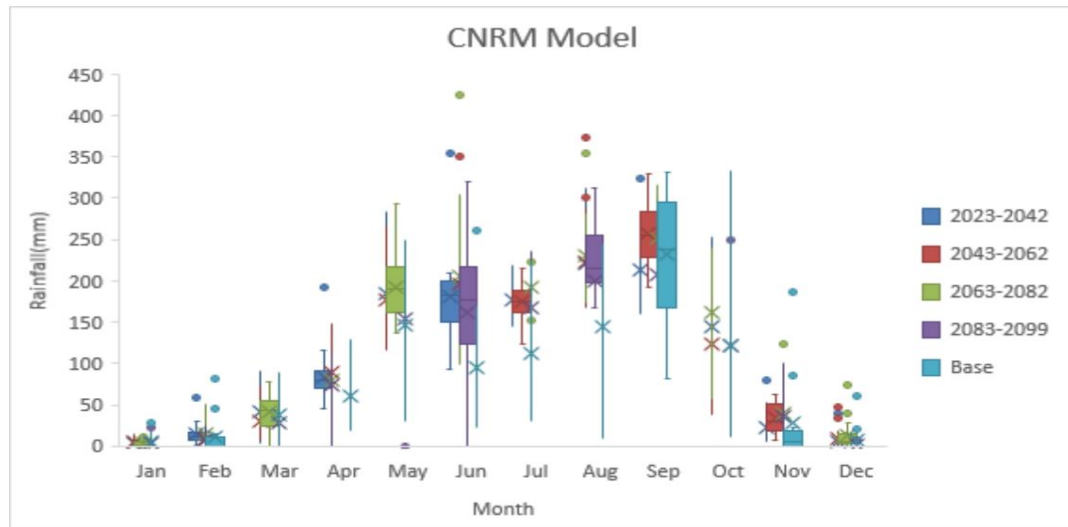
และแบบจำลองเช่นเดียวกันกับช่วงปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future) และปี ค.ศ. 2043-2062 หรือในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1)



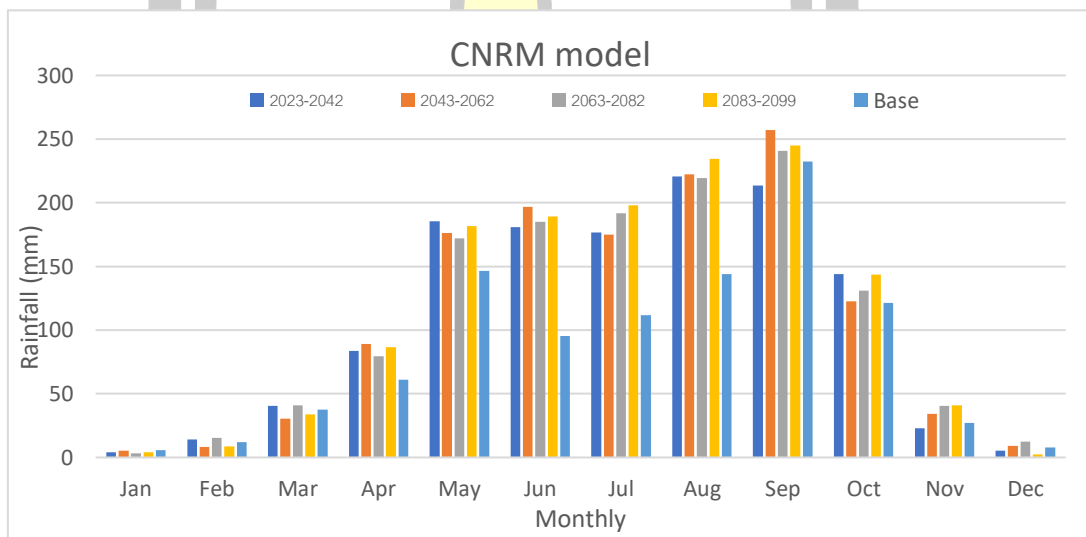
ภาพประกอบที่ 15 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CNRM ในปี ค.ศ. 2083-2099 (Far Future)

การคาดการณ์ปริมาณฝนจากแบบจำลอง CNRM ในช่วงอนาคตอันไกล (Far Future) มีปริมาณฝนเฉลี่ยจากแบบจำลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่การกระจายตัวมีน้อยกว่าปีฐาน

ในช่วงฤดูฝนของช่วงอนาคตอันไกล (Far Future) ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน เช่นเดียวกันกับช่วงอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 และมีการกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานกระจายตัวมากกว่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง โดยปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนอยู่ที่ประมาณ 232.24 มิลลิเมตร เช่นเดียวกับของแบบจำลองอยู่ที่ประมาณ 244.84 มิลลิเมตร ส่วนในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์หรือช่วงแล้งมีปริมาณน้ำฝนต่ำหรืออาจไม่มีเลยในบางปีทั้งปีฐานและแบบจำลองเช่นเดียวกันกับช่วงปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future) และปี ค.ศ. 2043-2062 หรือในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1) และปี ค.ศ. 2063-2082 หรือในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 2 (Mid Future 2)



ภาพประกอบที่ 16 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CNRM ในปี ค.ศ. 2023-2099

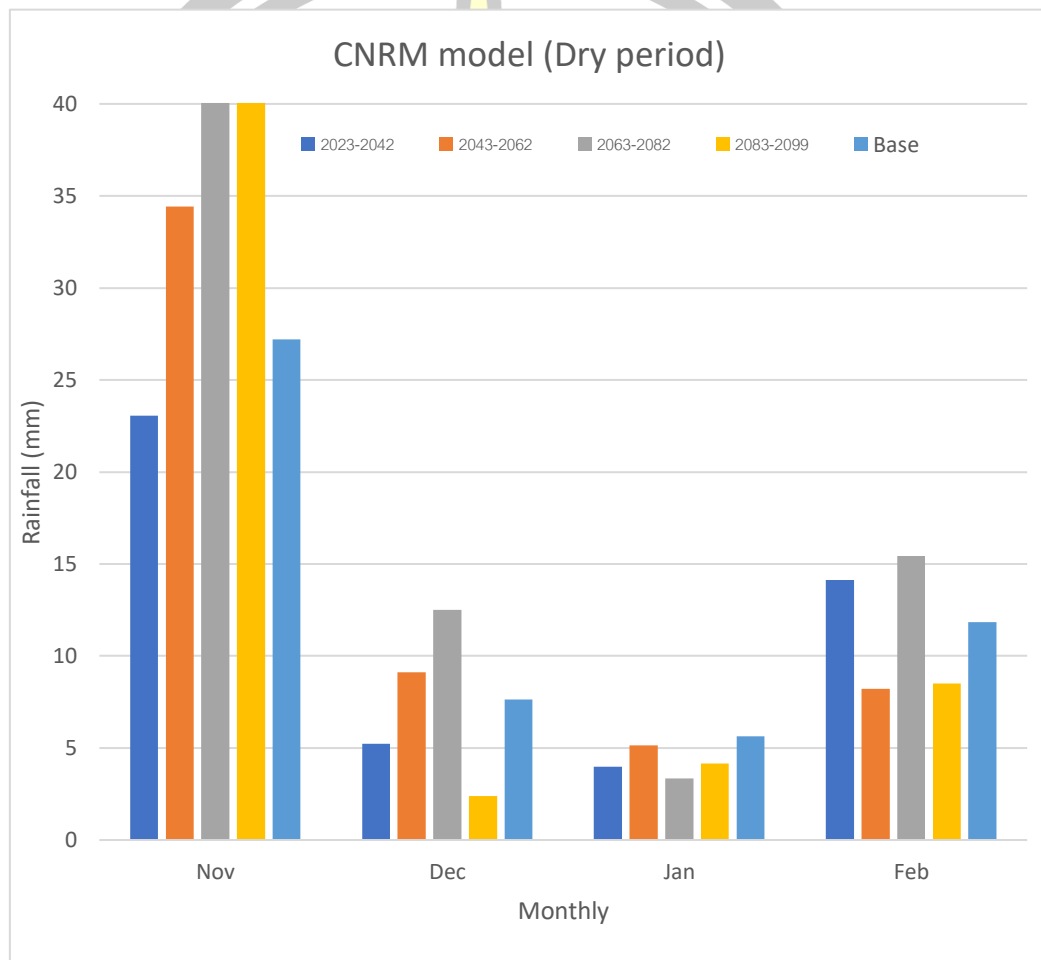


ภาพประกอบที่ 17 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลอง CNRM

เมื่อนำการคาดการณ์ฝนจากแบบจำลองมาพิจารณาเป็นช่วงปีมรสุม หรือช่วงหน้าฝนและหน้าแล้ง จะเห็นว่าช่วงหน้าฝน จะมีฝนมากกว่าปกติ ส่วนหน้าแล้งก็จะแล้งมากกว่าปกติ อย่างไรก็ตาม เป็นเพียงการทำนายจากแบบจำลอง ซึ่งค่าต่างๆอาจขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย

จากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของของปีฐานกับช่วงในอนาคตทั้ง 4 ช่วง ดังภาพประกอบที่ 17 พบว่า ช่วงฤดูฝนภาพฉายในอนาคตทั้ง 4 ช่วง มีแนวโน้มปริมาณน้ำฝนรายเดือนมากกว่าปีฐาน โดยเดือนกันยายนในอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) และมี

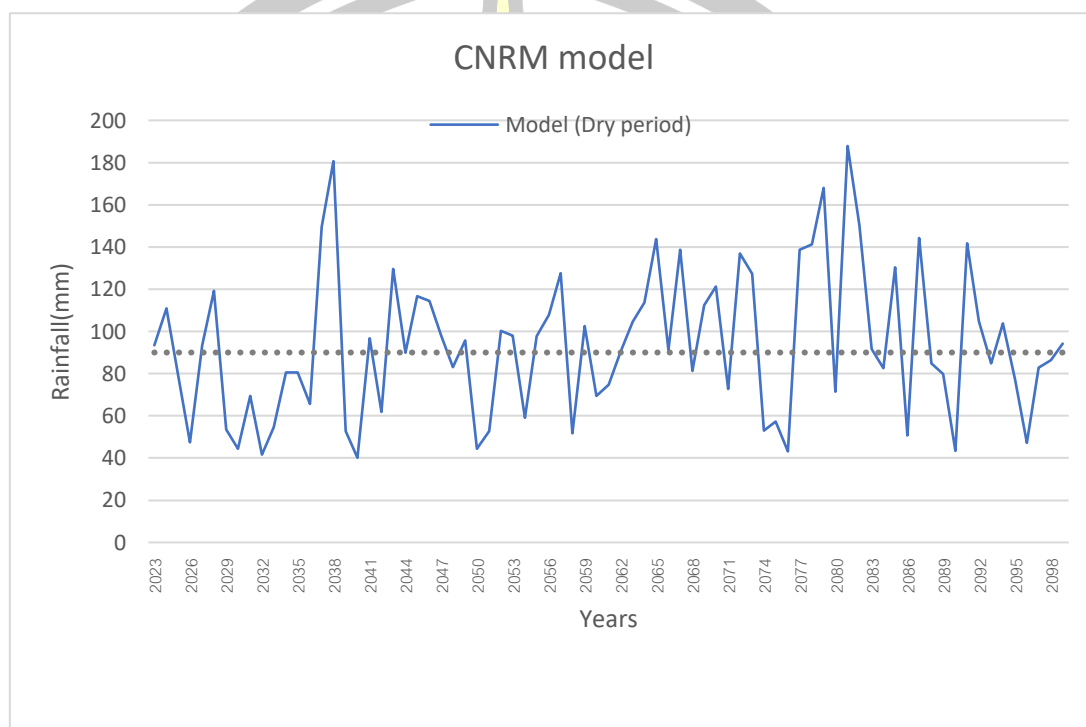
ปริมาณน้ำฝนสูงสุด ช่วงอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ปี ค.ศ. 2023-2042) ต่ำกว่าภาพฉายอื่นๆและต่ำกว่าปีฐานด้วยเช่นกัน ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนรายเดือนอยู่ในเกณฑ์ที่อาจจะเกิดฝนทิ้งช่วงได้ในช่วงเดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนมีนาคม



ภาพประกอบที่ 18 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนเฉลี่ยจากแบบจำลอง CNRM ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period)

จากปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยในช่วงแล้ง ดังภาพประกอบที่ 18 จะเห็นว่า ในเดือนพฤศจิกายน มีอยู่จำนวน 1 ภาพฉาย ที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปีฐาน คือ ช่วงอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ปี ค.ศ. 2023-2042) ในเดือนธันวาคมแบบจำลองจะมีฝนต่ำที่สุดคือ ภาพฉายในช่วงอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099) และมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปีฐานคือ ช่วงอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ปี ค.ศ. 2023-2042) และในช่วงอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099) ในเดือนมกราคมทั้ง 4 ภาพ

ฉายในอนาคตมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปีฐาน และในเดือนกุมภาพันธ์ 2 ภาพฉายมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปีฐาน ได้แก่ ช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) และช่วงอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099) ซึ่งในเดือนที่กล่าวมาแล้วนั้นมีโอกาสที่จะขาดแคลนน้ำกว่าปกติ



ภาพประกอบที่ 19 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีจากแบบจำลอง CNRM ในช่วงมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period)

การวิเคราะห์ช่วงแล้งในแบบจำลอง CNRM จากภาพประกอบที่ 19 ได้สำรวจความถี่ของปริมาณน้ำฝนที่ต่ำกว่าปกติในรายปีและพบว่ามีจำนวนรวม 30 ปี จากทั้งหมด 77 ปี ที่มีการตรวจสอบ นั่นหมายความว่าเกิดช่วงแล้งอย่างสังเกตเห็นได้ในช่วงเวลาที่กำหนด

เนื่องจากปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปกตินั้นเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้เกิดการแล้ง ช่วงเวลานี้มักจะมีฝนทิ้งช่วงติดต่อกันนานในช่วงเวลาที่มีการพิจารณา ตลอดจนเป็นที่น่าเป็นห่วงในการวางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำ การที่ช่วงเวลามีฝนน้อยเป็นระยะเวลายาวนาน 7 ปี ติดต่อกันเป็นสัญญาณที่ เกิดปัญหาใหญ่และมีความสำคัญอย่างมาก

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์นี้ช่วยให้ผู้วิจัยและผู้บริหารสามารถระบุและกำหนดมาตรการป้องกันและการจัดการในช่วงแล้งให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เช่น การวางแผนการใช้น้ำที่เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อเศรษฐกิจและสังคมในช่วงเวลาที่มีฝนน้อย ดังตารางที่ 20

ตารางที่ 19 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในอนาคตของแบบจำลอง CNRM

Year	MAX (mm)	MIN (mm)	Avg(mm)	%diff max	%diff min	%diff avg
Base years	1369.3	750	1002.5	-	-	-
2023-2042	1512.63	1115.91	1292.17	10.47	48.79	28.89
2043-2062	1563.87	1070.34	1326.80	14.21	42.71	32.35
2063-2082	1599.26	1063.55	1322.77	16.79	41.73	31.95
2083-2099	1539.93	1180.16	1368.48	12.46	57.35	36.51

จากข้อมูลที่ได้มีเกี่ยวกับแนวโน้มของปริมาณน้ำฝนในช่วงเดือนต่าง ๆ ของปีอนาคตในพื้นที่ศึกษา จะสามารถแยกเป็นช่วงตามฤดูกาลเพื่อทำความเข้าใจได้ลึกซึ้งขึ้น เริ่มจากช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายนที่มีน้อยหน้า โดยทั่วไปแล้วในช่วงนี้จะเป็นช่วงที่อากาศเริ่มเปลี่ยนจากฤดูหนาวมาเป็นฤดูร้อน ซึ่งมีแนวโน้มที่จะมีน้ำฝนน้อยลง เนื่องจากการลดการเกิดฝนในช่วงนี้ทำให้ปริมาณน้ำฝนไม่มาก

ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคม แนวโน้มของปริมาณน้ำฝนจะเริ่มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากเริ่มเข้าสู่ฤดูฝน ซึ่งมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น ซึ่งกราฟจะแสดงถึงการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณน้ำฝนในช่วงนี้ โดยแสดงให้เห็นว่าเริ่มมีฝนตกในช่วงนี้

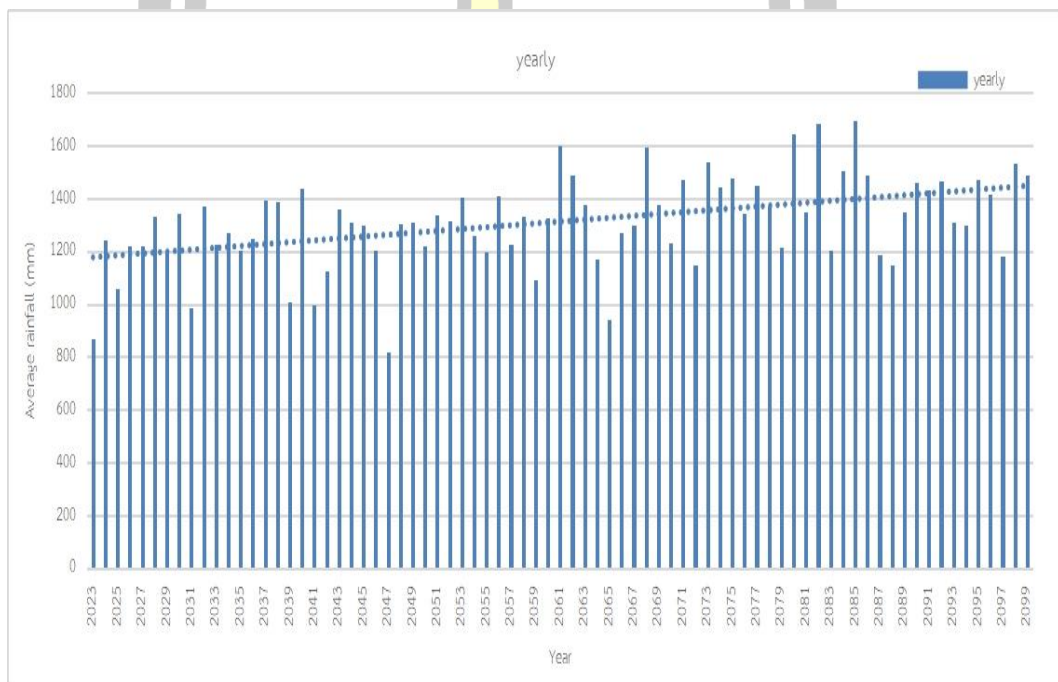
ส่วนในช่วงเดือนกันยายนถึงธันวาคม แนวโน้มของกราฟจะเริ่มลดลงเนื่องจากเริ่มเข้าสู่ฤดูหนาว ซึ่งจะทำให้มีการลดลงของปริมาณน้ำฝนอย่างเห็นได้ชัด เป็นการแสดงถึงการลดลงของปริมาณน้ำฝนในช่วงนี้ แสดงให้เห็นว่า พื้นที่นั้นอยู่ในช่วงฤดูหนาวที่มีการลดของปริมาณน้ำฝนลงอย่างต่อเนื่อง

4.1.2 การคาดการณ์ปริมาณฝนของแบบจำลอง Miroc5

จากภาพประกอบที่ 20 แสดงผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายปีในอนาคตของแบบจำลอง Miroc5 ซึ่งเป็นอีกหนึ่งชุดของแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์อนาคตของภูมิอากาศ การวิเคราะห์ข้อมูลนี้เป็นการศึกษาอย่างละเอียดและสำคัญเนื่องจากมันช่วยให้เราเข้าใจถึงแนวโน้มของ

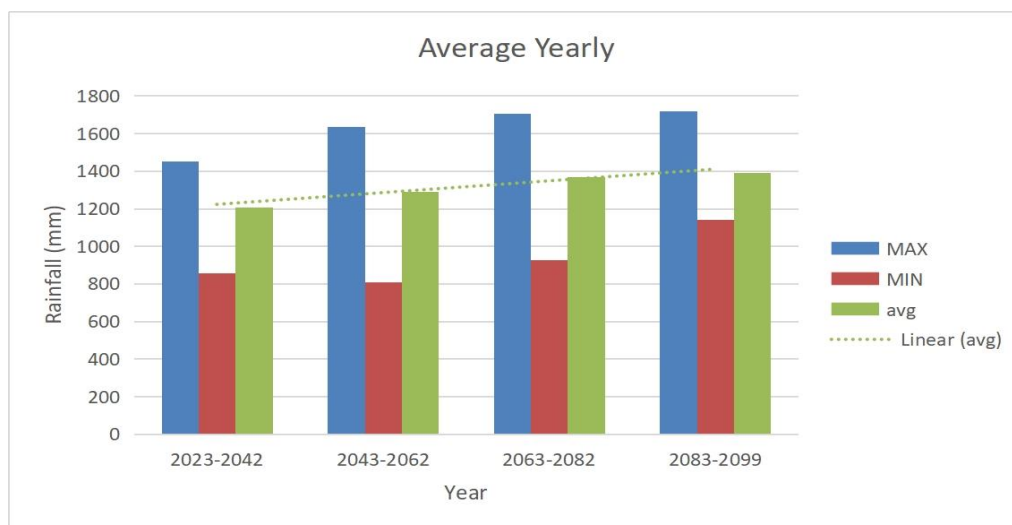
ฝนในอนาคตซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการวางแผนการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและป้องกันภัยพิบัติที่เกิดจากสภาพอากาศแปรปรวน

จากการวิเคราะห์พบว่า แบบจำลอง Miroc5 มีค่าปริมาณฝนเฉลี่ยในอนาคตที่น้อยกว่าแบบจำลอง CNRM เล็กน้อย โดยฝนเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 1,209.00 มม. และฝนเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 1,391.09 มม. ค่าเหล่านี้เป็นข้อมูลที่สำคัญที่ช่วยให้เราเข้าใจถึงความแตกต่างในการคาดการณ์ฝนระหว่างแบบจำลองต่าง ๆ ซึ่งอาจมีผลต่อการวางแผนและการดำเนินการที่ต้องการให้มีประสิทธิภาพในการจัดการภัยแล้งหรือภัยน้ำท่วมในอนาคต



ภาพประกอบที่ 20 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีอนาคตของแบบจำลอง Miroc5

พหุ ประ โท ชี เว



ภาพประกอบที่ 21 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของแบบจำลอง Miroc5

ช่วงที่ 1 ช่วงอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ปี ค.ศ. 2023-2042) ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1,453.35 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด 857.67 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,209.00 มิลลิเมตร

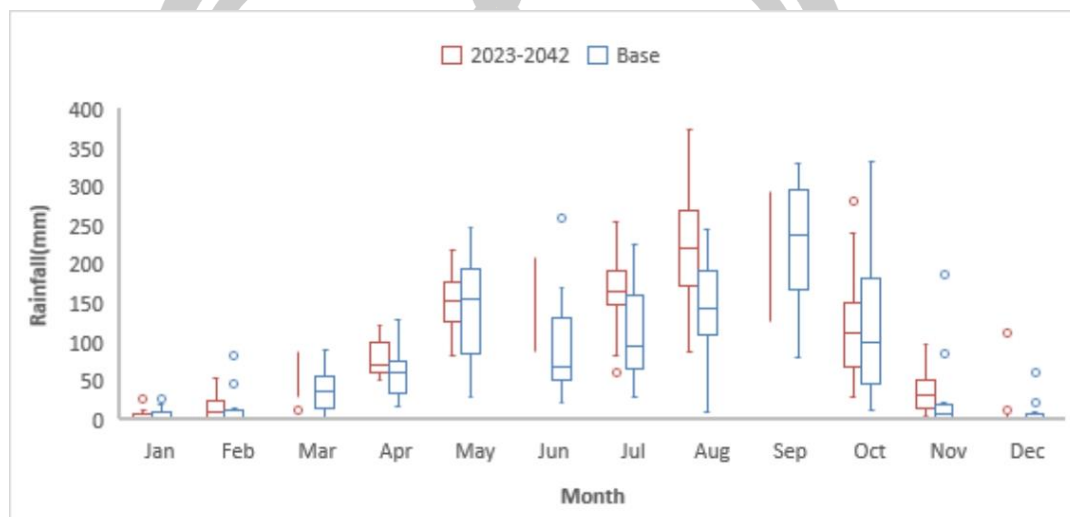
ช่วงที่ 2 ช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1,633.76 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด 807.51 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,291.60 มิลลิเมตร

ช่วงที่ 3 ช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 2 (ปี ค.ศ. 2063-2082) ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1,706.98 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด 928.74 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,370.7 มิลลิเมตร

ช่วงที่ 4 ช่วงอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099) ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1,717.03 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด 1,143.49 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,391.09 มิลลิเมตร จากการคาดการณ์กรณี RCP 4.5 ด้วยแบบจำลอง Miroc5 พบว่า ปริมาณน้ำฝนสูงสุดจะเกิดขึ้นในอนาคตอันไกล คือ ระหว่าง ปี ค.ศ. 2083-2099 และปริมาณน้ำฝนต่ำสุดเกิดขึ้นในอนาคตช่วงช่วงกลางช่วงที่ 1 คือ ระหว่าง ปี ค.ศ. 2043-2062 อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำฝนรายปีในอนาคตอันใกล้จะมีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับช่วงปีอื่น ๆ

จากภาพประกอบที่ 21 จะเห็นว่า ในการคาดการณ์ฝนในอนาคตของแบบจำลอง Miroc5 จากที่พื้นที่ใช้มาตรการที่ลดก๊าซเรือนกระจกปานกลางหรือ RCP 4.5 พบว่าปริมาณฝนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเริ่มตั้งแต่ฝนในอนาคตอันใกล้ (2023-2042) เรื่อยไปจนถึงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 (2043-2062) และปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 (2063-2083) ไปจนถึงปีอนาคตอันไกล (2083-2099)

การคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนของแบบจำลอง Miroc5 ในปีอนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2023-2042) พบว่าการกระจายตัวของฝนมีลักษณะใกล้เคียงกัน กราฟมีลักษณะเบ้ขึ้นคือการกระจายตัวของฝนเพิ่มขึ้น ส่วนค่ากลางของข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกันในกรณีของฤดูหนาวตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนไปจนถึงฤดูร้อนเดือนเมษายน แต่ก็มีบางเดือนที่ข้อมูลพื้นฐานสูงกว่าปีอนาคตที่ได้จากแบบจำลอง ได้แก่ เดือนพฤษภาคม กันยายนและตุลาคม อย่างไรก็ตามแนวโน้มของข้อมูลก็ยังเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

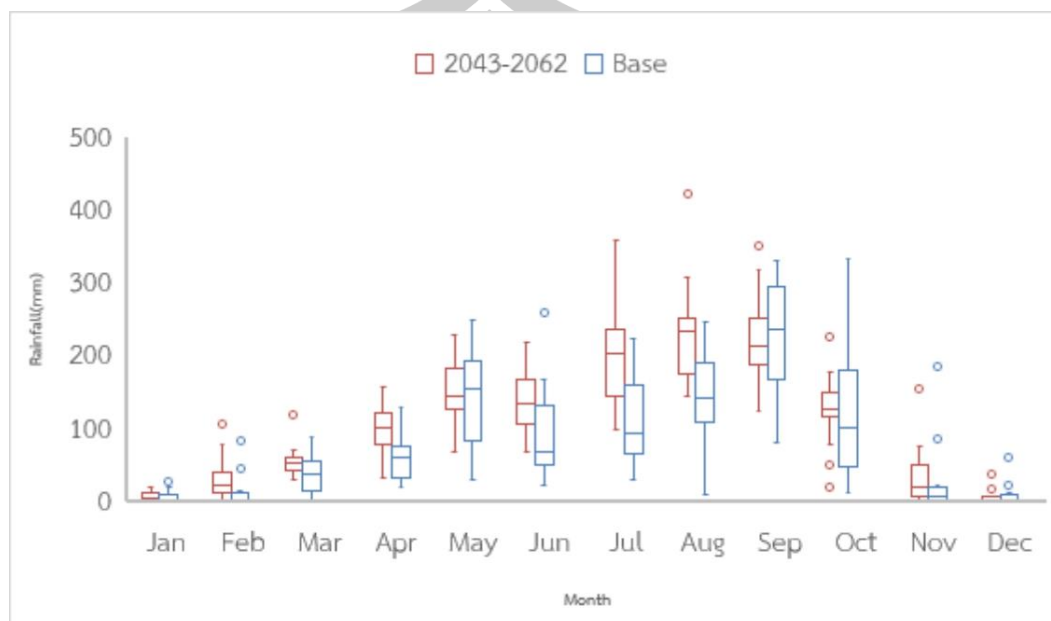


ภาพประกอบที่ 22 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง Miroc5 ในปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future)

ในช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน ยกเว้นเดือนกันยายนเดือนเดียวที่ปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองและมีการกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานกระจายตัวมากกว่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง โดยปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนอยู่ที่ประมาณ 232.24 มิลลิเมตร ขณะที่ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลองในช่วงอนาคตอันใกล้ปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future) อยู่ที่ประมาณ 224.99 มิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยมีค่าสูงสุดของปีฐานมีค่ามากกว่าแบบจำลอง และในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์จะเป็นช่วงแล้งที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำหรืออาจไม่มีเลยในบางปีทั้งปีฐานและแบบจำลอง

การคาดการณ์ปริมาณฝนจากแบบจำลอง Miroc5 ในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1) จะเห็นว่ามีการกระจายตัวของฝนในแบบจำลองมีน้อยกว่าปีฐาน แต่ก็ยังเป็นไปในทิศทาง

เดียวกันและมีลักษณะใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามก็มีบางเดือนที่ค่ากลางของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าของข้อมูลปีฐาน เช่นเดือนกันยายน

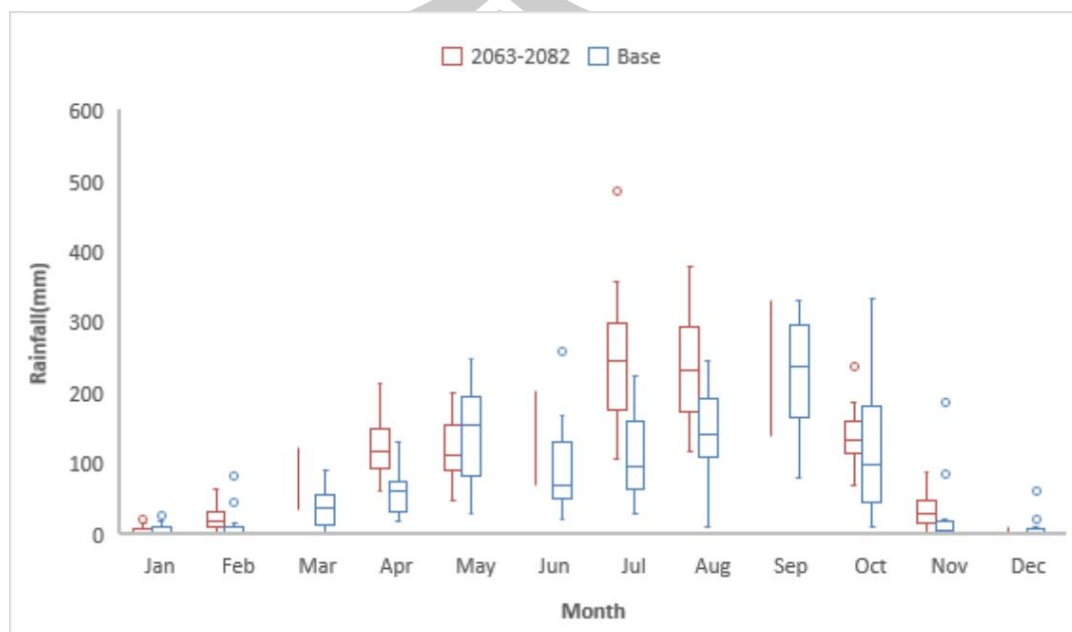


ภาพประกอบที่ 23 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง Miroc5 ในปี ค.ศ. 2043-2062 (Mid Future 1)

ในช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน และการกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าการกระจายตัวใกล้เคียงปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง โดยปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนอยู่ที่ประมาณ 232.24 มิลลิเมตร ขณะที่ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลองมีค่าสูงสุดในเดือนสิงหาคมอยู่ที่ประมาณ 229.32 มิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยมีค่าสูงสุดของแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าปีฐานในปี ค.ศ. 2043-2062 หรือในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1) และในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์จะเป็นช่วงแล้งที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำหรืออาจไม่มีเลยในบางปีทั้งปีฐานและแบบจำลองเช่นเดียวกันกับช่วงปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future)

ในส่วนของการคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนของแบบจำลอง Miroc5 ในป้อนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 2 (ค.ศ. 2043-2063) พบว่าการกระจายตัวของฝนมีลักษณะคล้ายกันกับป้อนาคตอันใกล้ กราฟมีลักษณะเบ้ขึ้นคือการกระจายตัวของฝนเพิ่มขึ้น มีบางเดือนที่ข้อมูลปีฐานสูงกว่าป้อนาคตที่ได้

จากแบบจำลอง ได้แก่เดือนพฤษภาคม กันยายนและตุลาคม ซึ่งมีลักษณะเหมือนกันกับปีอนาคตอันใกล้

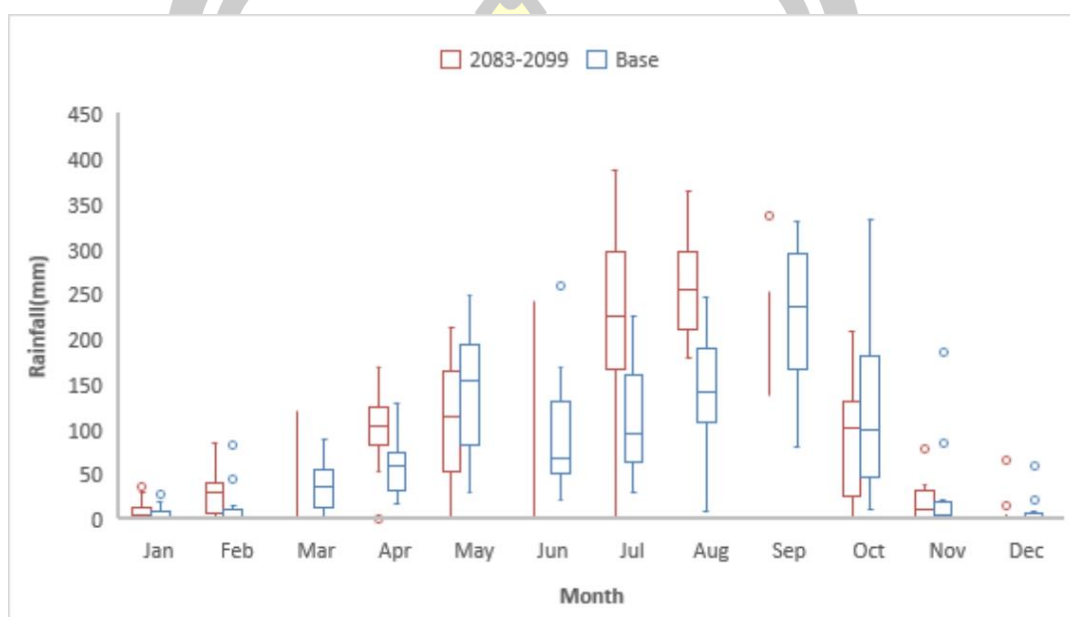


ภาพประกอบที่ 24 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง Miroc5 ในปี ค.ศ. 2063-2082 (Mid Future 2)

การคาดการณ์ฝนจากแบบจำลอง Miroc5 ในอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 จะเห็นว่าการกระจายตัวของข้อมูลเป็นไปในแนวทางเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับข้อมูลปีฐาน แต่จะมีที่มีการกระจายตัวของข้อมูลปีฐานมากกว่าการคาดการณ์คือเดือนพฤษภาคมและตุลาคม และมีค่ากลางของข้อมูลสูงกว่าคือเดือนพฤษภาคม

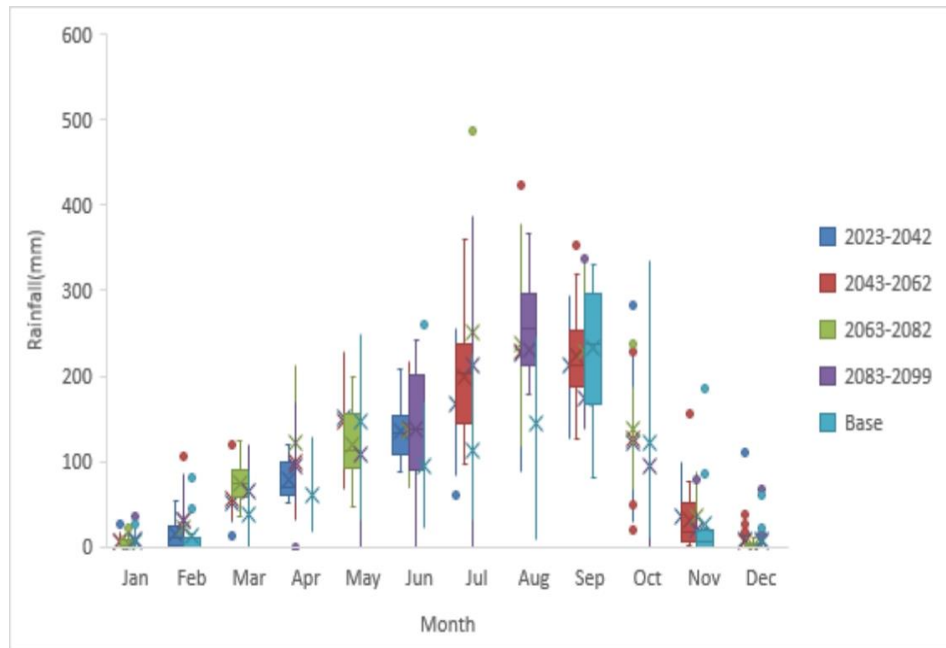
ในช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน และการกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานกระจายตัวน้อยกว่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองเล็กน้อย ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลองมีค่าสูงสุดในเดือนกรกฎาคม อยู่ที่ประมาณ 250.47 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยมีค่าสูงสุดของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปีฐาน และในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์จะเป็นช่วงแล้งที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำหรืออาจไม่มีเลยในบางปีทั้งปีฐานและแบบจำลองเช่นเดียวกันกับช่วงปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future) และปี ค.ศ. 2043-2062 หรือในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1)

การคาดการณ์ฝนจากแบบจำลอง Miroc5 ในอนาคตอันไกล (Far Future) ค.ศ. 2083-2099 จะเห็นว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีความใกล้เคียงกันมากที่สุดและเป็นไปในแนวทางเพิ่มขึ้น และมีสอดคล้องกับข้อมูลปีฐานและคล้ายกันกับช่วงอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 แต่จะมีที่มีการกระจายตัวของข้อมูลปีฐานมากกว่าการคาดการณ์และค่ากลางของข้อมูลก็มากกว่าการคาดการณ์คือ เดือนพฤษภาคม กันยายนและเดือนตุลาคม

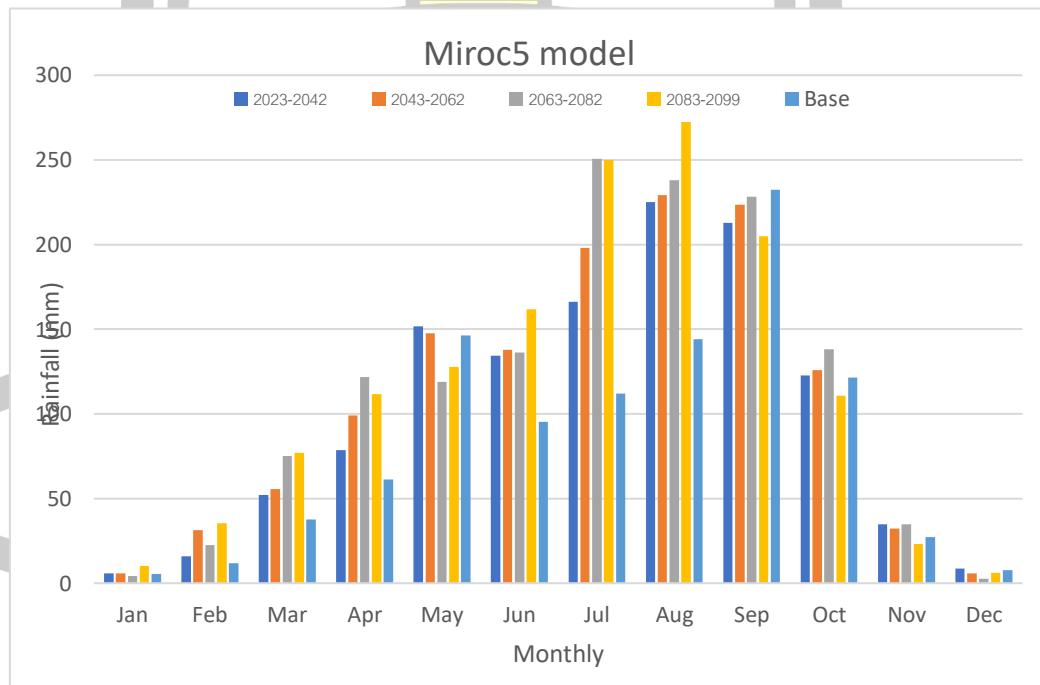


ภาพประกอบที่ 25 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง Miroc5 ในปี ค.ศ. 2083-2099 (Far Future)

ในช่วงฤดูฝนของช่วงอนาคตอันไกล (Far Future) ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน ยกเว้นเดือนพฤษภาคมและเดือนกันยายน การกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานกระจายตัวมีค่าใกล้เคียงกันกับปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง โดยปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายน อยู่ที่ประมาณ 232.24 มิลลิเมตร ในส่วนของแบบจำลองอยู่ที่เดือนสิงหาคมประมาณ 272.50 มิลลิเมตร ส่วนในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์หรือช่วงแล้งมีปริมาณน้ำฝนต่ำหรือน้อยมากจนอาจกล่าวได้ว่าไม่มีเลยทั้งปีฐานและแบบจำลองเช่นเดียวกันกับช่วงปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future) และปี ค.ศ. 2043-2062 หรือในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1) และปี ค.ศ. 2063-2082 หรือในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 2 (Mid Future 2)



ภาพประกอบที่ 26 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง Miroc5 ในปี ค.ศ. 2023-2099



ภาพประกอบที่ 27 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลอง Miroc5

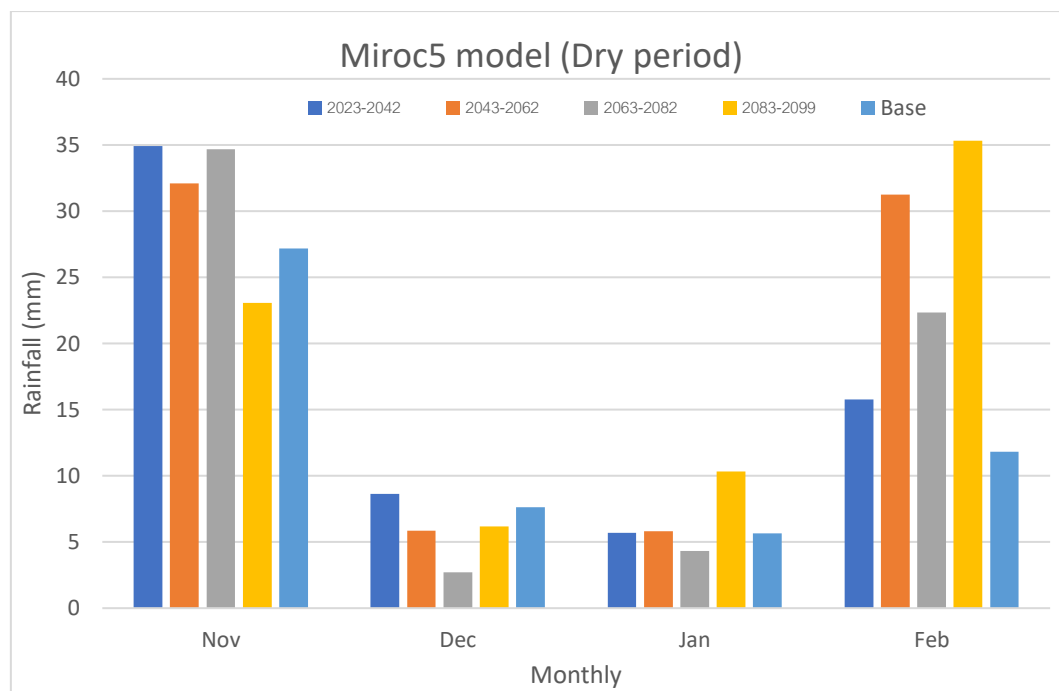
จะเห็นว่า เมื่อนำค่าเฉลี่ยฝนรายเดือนแต่ละช่วงปีอนาคตมาเปรียบเทียบกับปีฐานในรูปแบบของกราฟแท่ง พบว่าฝนอนาคตจากการทำนายของแบบจำลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและมากกว่าข้อมูลฝนปีฐานแทบจะทุกเดือนในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรือฤดูฝน แต่ก็จะมีบางเดือนที่ค่าเฉลี่ยปริมาณฝนของปีฐานมีปริมาณมากกว่าปริมาณฝนจากการทำนายของแบบจำลองนั้นคือเดือนพฤษภาคม ส่วนในช่วงปีมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือฤดูหนาวปริมาณฝนของปีฐานและปริมาณฝนที่ได้จากการทำนายของแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน

จากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของของปีฐานกับช่วงในอนาคตทั้ง 4 ช่วง ดังรูปที่ 4.17 พบว่า ช่วงฤดูฝนภาพฉายในอนาคตทั้ง 4 ช่วง มีแนวโน้มปริมาณน้ำฝนรายเดือนมากกว่าปีฐาน ยกเว้นเดือนกันยายนที่ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยปีฐานสูงกว่าภาพฉายอนาคตทั้งสี่ช่วง โดยเดือนสิงหาคมในอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099) มีปริมาณน้ำฝนสูงที่สุด เดือนตุลาคมของช่วงอนาคตอันไกล (Far Future) (ปี ค.ศ. 2082-2099) ต่ำกว่าภาพฉายอื่นๆและต่ำกว่าปีฐานด้วยเช่นกัน ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนรายเดือนอยู่ในเกณฑ์ที่อาจจะมีฝนทิ้งช่วงได้ในช่วงเดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนมีนาคม

จะเห็นว่าผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง Miroc 5 ในอนาคต ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยต่ำสุดจะอยู่ที่ 2.70 มม.และฝนเฉลี่ยสูงสุดจะอยู่ที่ 272.49 มม.ซึ่งเป็นผลเฉลี่ยของปริมาณฝนตลอดทั้งปี

เมื่อพิจารณาปริมาณฝนอนาคตจากการทำนายเฉพาะช่วงหน้าแล้ง (dry period) จะเห็นว่า ปริมาณฝนจากแบบจำลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 69.57 mm. ซึ่งถือว่าปริมาณฝนมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณฝนจากปีฐาน

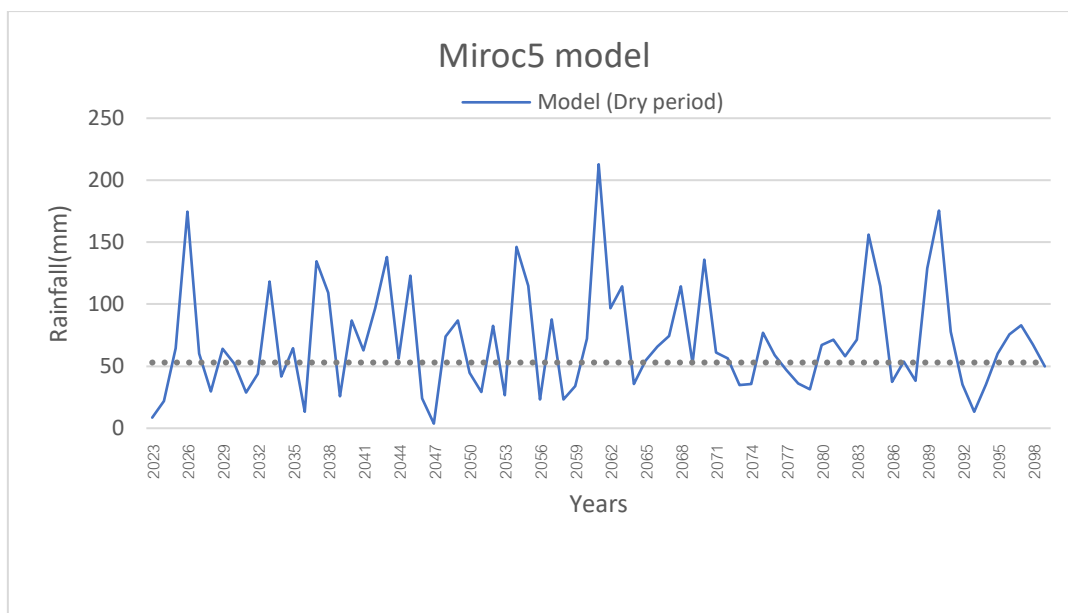




ภาพประกอบที่ 28 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนเฉลี่ยจากแบบจำลอง Miroc5 ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period)

จากปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยในช่วงแล้ง ดังภาพประกอบที่ 28 จะเห็นว่า ในเดือนพฤศจิกายน มีอยู่จำนวน 1 ภาพฉาย ที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปีฐาน คือ ช่วงอนาคตอันไกล (Far Future) (ปี ค.ศ. 2083-2099) ในเดือนธันวาคมแบบจำลองจะมีฝนต่ำที่สุดคือ ภาพฉายในช่วงอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099) ในเดือนมกราคมทั้ง 4 ภาพฉายในอนาคตมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปีฐาน และในเดือนกุมภาพันธ์ 2 ภาพฉายมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปีฐาน ได้แก่ ช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) และช่วงอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099) ซึ่งในเดือนที่กล่าวมาแล้วนั้นมีโอกาสที่จะขาดแคลนน้ำกว่าปกติ

พหุบัณฑิต ชีวะ



ภาพประกอบที่ 29 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีจากแบบจำลอง Miroc5 ในช่วงมรสุม
ตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period)

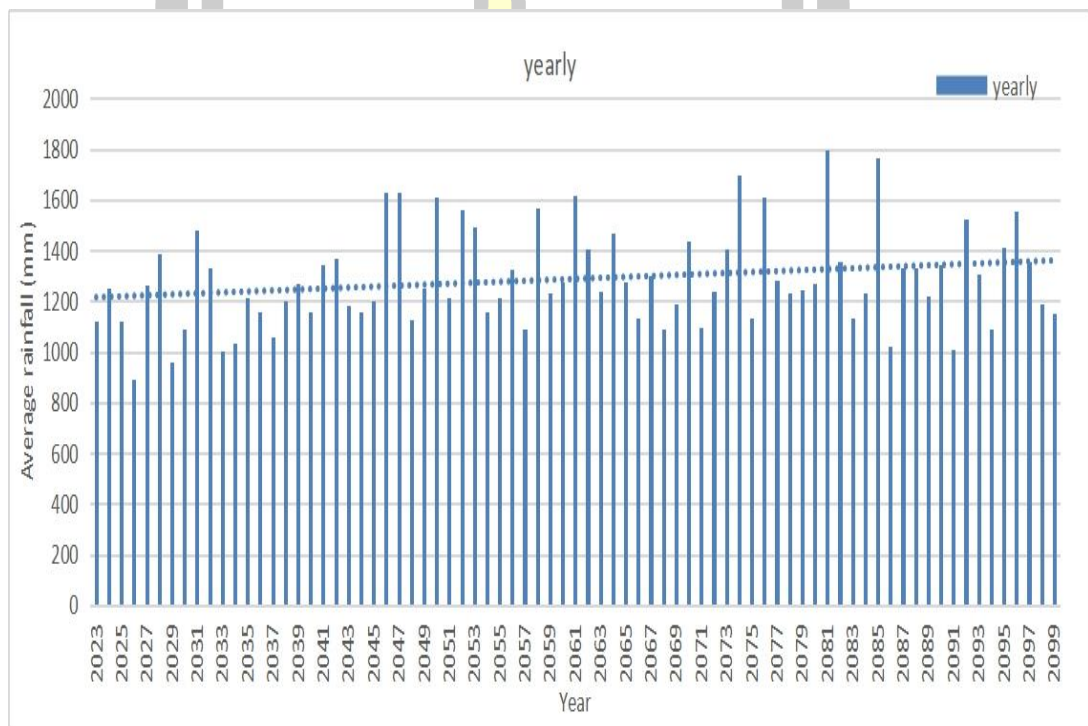
อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ช่วงแล้ง (Dry period) รายปีของแบบจำลอง Miroc5 ดังภาพประกอบที่ 29 จะเห็นได้ว่า ความถี่ที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปกติ มีจำนวน 30 ปี จาก ทั้งหมด 77 ปี ที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปกติ โดยเฉพาะมีโอกาสฝนทิ้งช่วงติดต่อกันยาวนานสูงสุด 3 ปี คือในช่วงปี ค.ศ. 2077-2079 และ ในช่วงปี ค.ศ. 2092-2094

ตารางที่ 20 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในอนาคตของแบบจำลอง Miroc5

Year	MAX (mm)	MIN (mm)	Avg(mm)	%diff max	%diff min	%diff avg
Base years	1369.3	750	1002.5	-	-	-
2023-2042	1453.35	857.67	1209.00	6.13	14.35	20.59
2043-2062	1633.76	807.51	1291.60	19.31	7.66	28.83
2063-2082	1706.98	928.74	1370.70	24.66	23.83	36.72
2083-2099	1717.03	1143.49	1391.09	25.39	52.46	38.76

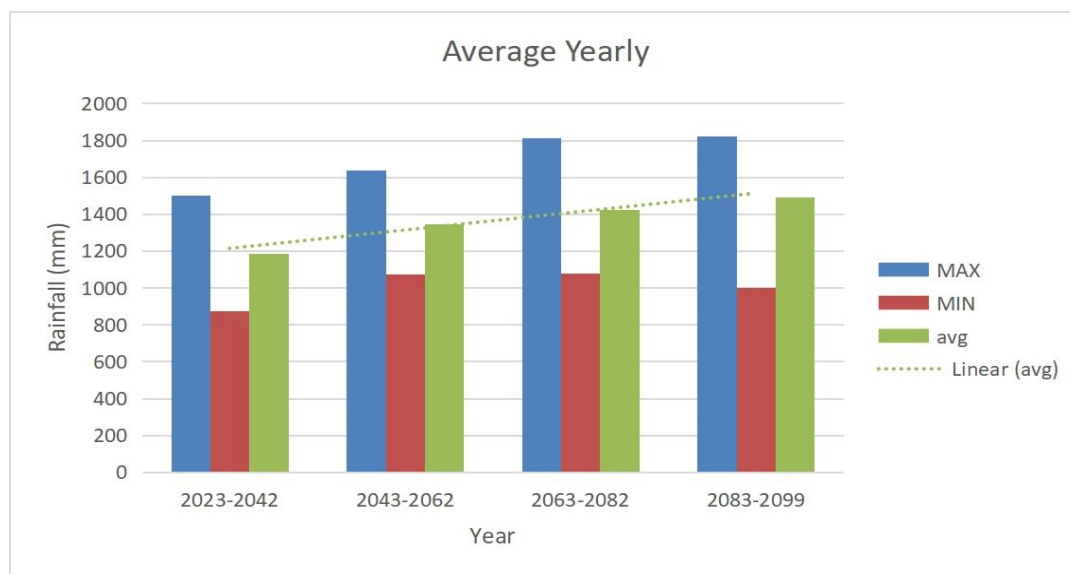
4.1.3 การคาดการณ์ปริมาณฝนของแบบจำลอง CESM1_CAM5

ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีของแบบจำลอง CESM1_CAM5 จะเห็นว่าปริมาณฝนเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับสองแบบจำลองก่อนหน้านี้ โดยฝนเฉลี่ยรายปีต่ำสุดจะอยู่ที่ประมาณ 800 มม.และสูงสุดจะอยู่ที่ ประมาณ 1,800 มม. อย่างไรก็ตาม หากนำมาหาค่าเฉลี่ยรายปีตามช่วงปีอนาคตจะพบว่าฝนเฉลี่ยรายปีที่ได้จากแบบจำลองอยู่ที่ประมาณ 1200-1500มม.



ภาพประกอบที่ 30 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีอนาคตของแบบจำลอง CESM1_CAM5





ภาพประกอบที่ 31 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของแบบจำลอง CESM1_CAM5

ช่วงที่ 1 ช่วงอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ปี ค.ศ. 2023-2042) ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1,503.14 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด 873.34 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,185.67 มิลลิเมตร

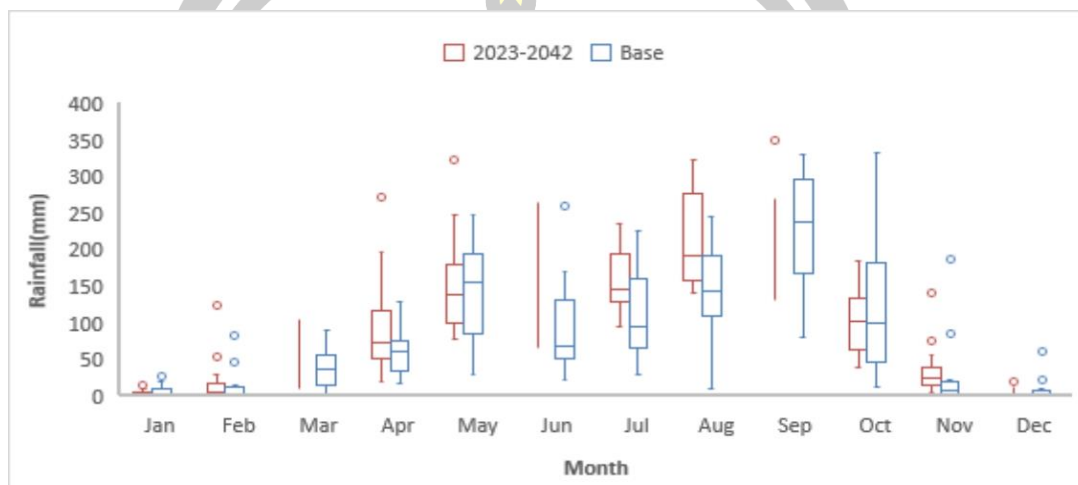
ช่วงที่ 2 ช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1,637.28 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด 1,073.35 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,347.93 มิลลิเมตร

ช่วงที่ 3 ช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 2 (ปี ค.ศ. 2063-2082) ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1,810.44 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด 1,076.38 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,425.33 มิลลิเมตร

ช่วงที่ 4 ช่วงอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099) ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1,823.23 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด 998.61 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,492.51 มิลลิเมตร จากการคาดการณ์กรณี RCP 8.5 ด้วยแบบจำลอง CESM1_CAM5 พบว่า ปริมาณน้ำฝนสูงสุดจะเกิดขึ้นในอนาคตอันไกล คือ ระหว่าง ปี ค.ศ. 2083-2099 และปริมาณน้ำฝนต่ำสุดเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ คือ ระหว่าง ปี ค.ศ. 2023-2042 อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำฝนรายปีในอนาคตอันใกล้จะมีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับช่วงปีอื่นๆ

การคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในปีอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ค.ศ. 2023-2042) พบว่าการกระจายตัวของฝนมีลักษณะใกล้เคียงกัน กราฟมี

ลักษณะเบื้องต้นคือการกระจายตัวของฝนเพิ่มขึ้น ส่วนค่ากลางของข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกันในกรณีของฤดูหนาวตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนไปจนถึงฤดูร้อนเดือนเมษายน แต่ก็มีบางเดือนที่ข้อมูลปีฐานสูงกว่าปีอนาคตที่ได้จากแบบจำลอง ได้แก่เดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงเข้าสู่ฤดูฝนอย่างไรก็ตามแนวโน้มของข้อมูลก็ยังเป็นไปในทิศทางเดียวกัน



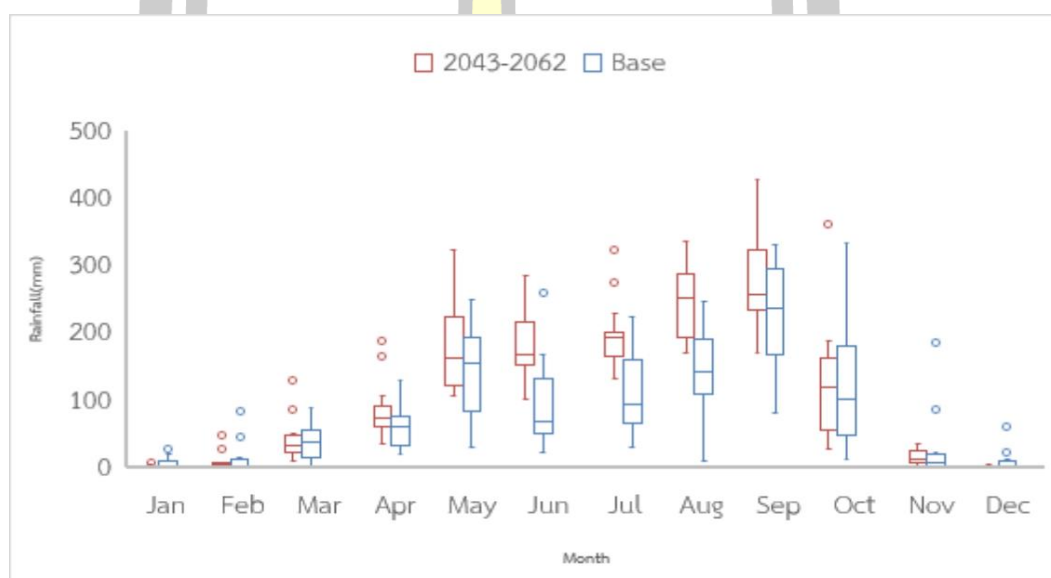
ภาพประกอบที่ 32 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future)

การคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในปีอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ค.ศ. 2023-2042) พบว่าการกระจายตัวของฝนมีลักษณะใกล้เคียงกัน กราฟมีลักษณะเบื้องต้นคือการกระจายตัวของฝนเพิ่มขึ้น ส่วนค่ากลางของข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกันในกรณีของฤดูหนาวตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนไปจนถึงฤดูร้อนเดือนเมษายน แต่ก็มีบางเดือนที่ข้อมูลปีฐานสูงกว่าปีอนาคตที่ได้จากแบบจำลอง ได้แก่เดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงเข้าสู่ฤดูฝนอย่างไรก็ตามแนวโน้มของข้อมูลก็ยังเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ในช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน ยกเว้นเดือนกันยายนเดือนเดียวที่ปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองและมีการกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานกระจายตัวมากกว่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง โดยปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนอยู่ที่ประมาณ 232.24 มิลลิเมตร ขณะที่ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลองในช่วงอนาคตอันใกล้ปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future) อยู่ที่ประมาณ 220.16 มิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยมีค่าสูงสุดของปีฐานมีค่ามากกว่าแบบจำลอง

และในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์จะเป็นช่วงแล้งที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำหรืออาจไม่มีเลยในบางปีทั้งปีฐานและแบบจำลอง

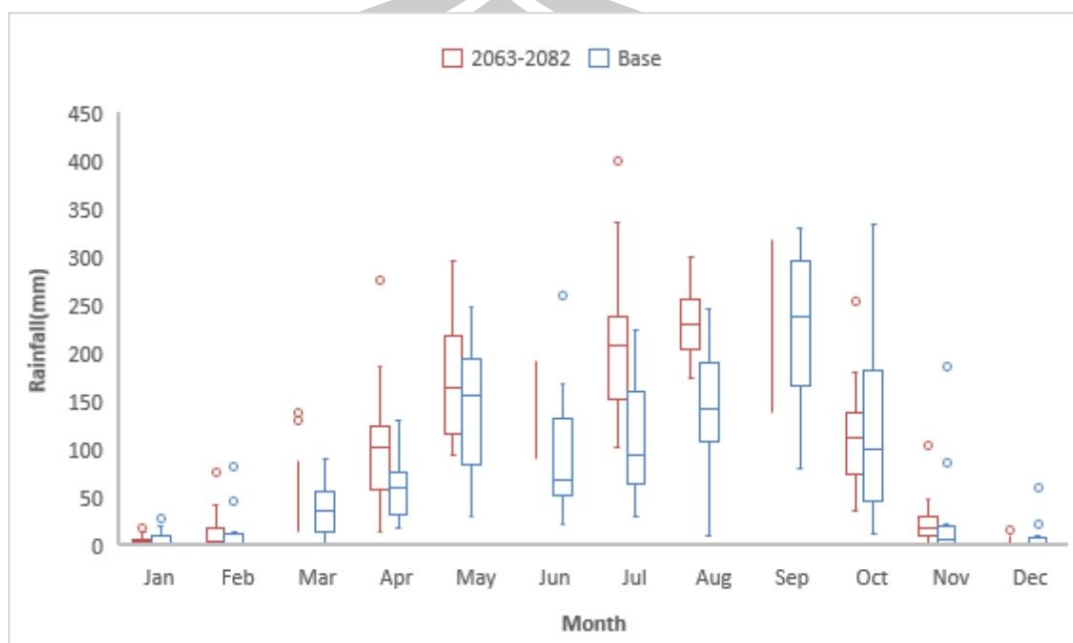
การคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในปีอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1) (ค.ศ. 2043-2062) พบว่าการกระจายตัวของฝนมีลักษณะใกล้เคียงกันระหว่างข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนของปีฐานกับข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยที่ได้จากการทำนายของแบบจำลองในช่วงปีมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แต่ในช่วงปีมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรือช่วงฤดูฝน ปริมาณฝนที่ได้จากการทำนายของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปีฐานเล็กน้อย



ภาพประกอบที่ 33 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในปี ค.ศ. 2043-2062 (Mid Future 1)

ในช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน และการกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าการกระจายตัวใกล้เคียงกัน ปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง โดยปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนอยู่ที่ประมาณ 232.24 มิลลิเมตร ขณะที่ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลองมีค่าสูงสุดในเดือนสิงหาคมอยู่ที่ประมาณ 282.93 มิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยมีค่าสูงสุดของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปีฐานในปี ค.ศ. 2043-2062 หรือในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1) และในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์จะเป็น

ช่วงแล้งที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำหรืออาจไม่มีเลยในบางปีทั้งปีฐานและแบบจำลองเช่นเดียวกันกับช่วงปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future)

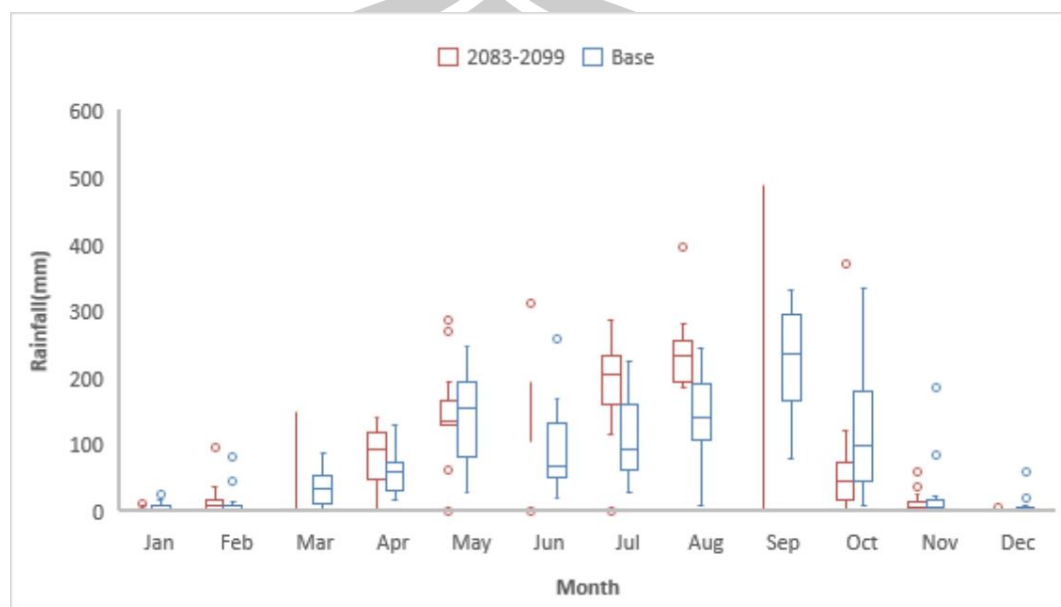


ภาพประกอบที่ 34 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในปี ค.ศ. 2063-2082 (Mid Future 2)

การคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในป้อนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 2 (Mid Future 2) (ค.ศ. 2063-2082) มีลักษณะใกล้เคียงกันกับในป้อนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 คือการกระจายตัวของฝนมีลักษณะใกล้เคียงกัน ระหว่างข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนของปีฐาน กับข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ยที่ได้จากการทำนายของแบบจำลองในช่วงปีมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แต่ในช่วงปีมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรือช่วงฤดูฝนปริมาณฝนที่ได้จากการทำนายของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปีฐานเล็กน้อย

ในช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน และการกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานกระจายตัวน้อยกว่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองเล็กน้อย ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลองมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายน เช่นเดียวกับปีฐาน อยู่ที่ประมาณ 258.06 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยมีค่าสูงสุดของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปีฐานที่ 232.24 มิลลิเมตร และในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์จะเป็นช่วงแล้งที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำหรืออาจไม่มีเลยในบางปีทั้งปีฐานและแบบจำลอง

เช่นเดียวกันกับช่วงปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future)และปี ค.ศ. 2043-2062 หรือในช่วงอนาคต
ช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1)



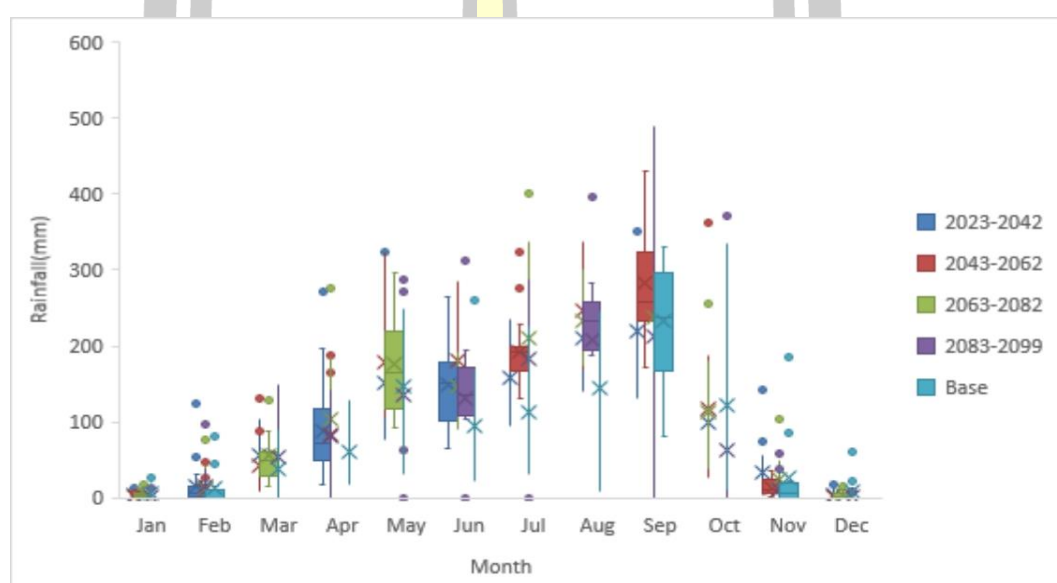
ภาพประกอบที่ 35 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในปี ค.ศ. 2083-2099 (Far Future)

การคาดการณ์ฝนจากแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในอนาคตอันไกล (Far Future) ค.ศ. 2083-2099 ในช่วงอนาคตอันไกลพบว่าปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับในช่วงปีอนาคตก่อนหน้านี้แต่ก็ยังมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือการกระจายตัวของข้อมูลใกล้เคียงกันค่ากลางของข้อมูลจากผลการทำนายจากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าปีฐานเล็กน้อย แต่ก็มีบางเดือนที่ค่ากลางของข้อมูลปีฐานสูงกว่าผลการทำนายจากแบบจำลอง นั่นคือเดือน พฤษภาคม และเดือนตุลาคมซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นและสิ้นสุดของฤดูฝน

ในช่วงฤดูฝนของช่วงอนาคตอันไกล (Far Future) ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน ยกเว้นเดือนพฤษภาคมและเดือนกันยายน การกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานกระจายตัวมีค่าใกล้เคียงกันกับปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง โดยปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายน อยู่ที่ประมาณ 232.24 มิลลิเมตร ในส่วนของแบบจำลองอยู่ที่เดือนสิงหาคมประมาณ 268.69 มิลลิเมตร ส่วนในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์หรือช่วงแล้งมีปริมาณน้ำฝนต่ำหรือน้อยมากจนอาจกล่าวได้ว่าไม่มีเลยทั้งปีฐานและแบบจำลองเช่นเดียวกันกับช่วงปี ค.ศ. 2023-2042

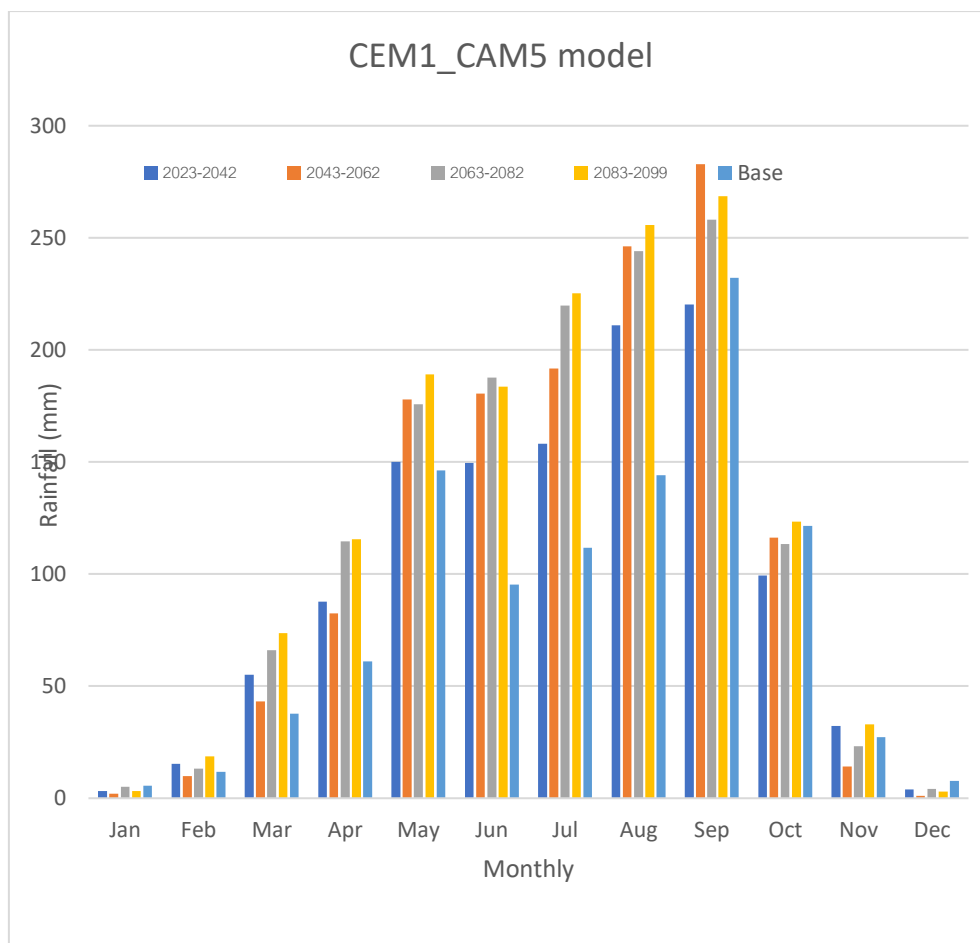
(Near Future)และปี ค.ศ. 2043-2062 หรือในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1) และปี ค.ศ. 2063-2082 หรือในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 2 (Mid Future 2)

เมื่อพิจารณาปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลองเมื่อแบ่งเป็นช่วงปีอนาคตเปรียบเทียบกับปีฐาน จะเห็นว่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองมีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงปีมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรือช่วงฤดูฝน แต่ก็ลดลงในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนต่ำสุดจะอยู่ที่ 1.02 มม.และเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 282.92 มม.



ภาพประกอบที่ 36 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในปี ค.ศ. 2023-2099

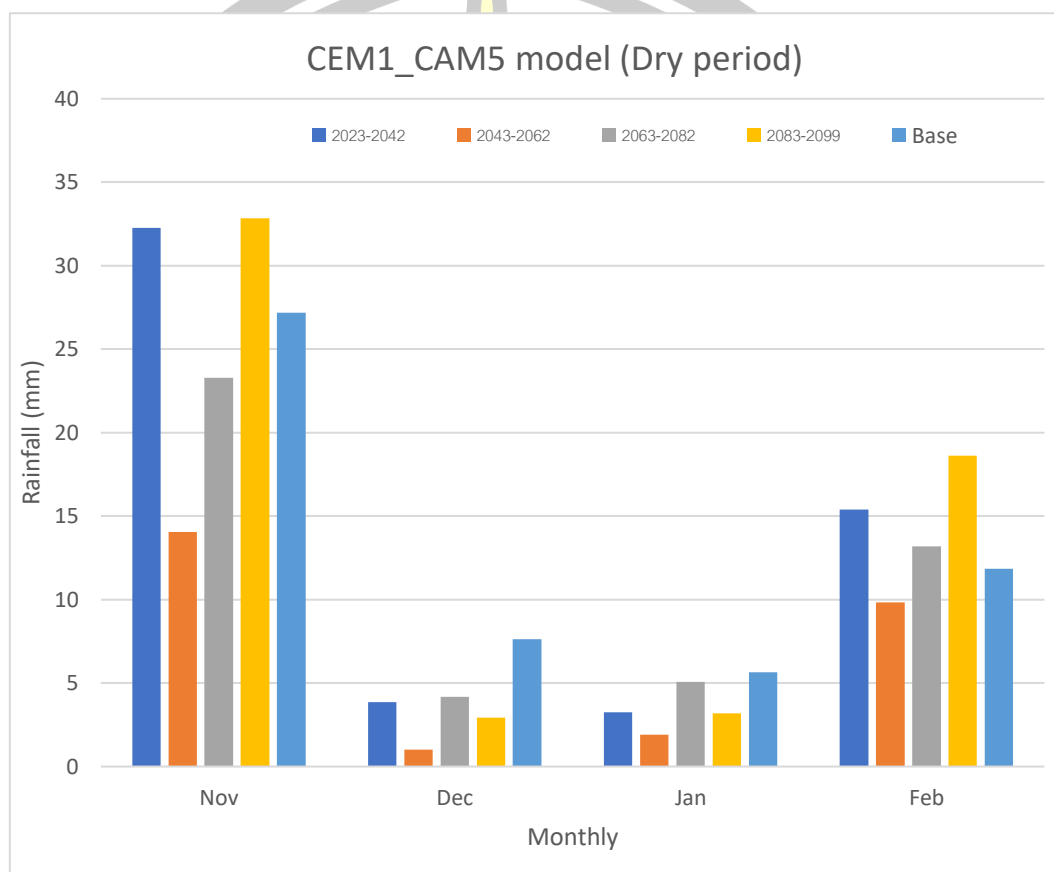




ภาพประกอบที่ 37 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลอง CESM1_CAM5

จากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของของปีฐานกับช่วงในอนาคตทั้ง 4 ช่วง ดังภาพประกอบที่ 37 พบว่า ช่วงฤดูฝนภาพฉายในอนาคตทั้ง 4 ช่วง มีแนวโน้มปริมาณน้ำฝนรายเดือนมากกว่าปีฐาน ยกเว้นเดือนกันยายนที่ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยของปีอนาคตอันใกล้ Near Future (ปี ค.ศ. 2023-2042) น้อยกว่าฝนเฉลี่ยรายเดือนของปีฐาน และเดือนตุลาคม ที่ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของของปีฐานสูงกว่าภาพฉายอนาคต 3 ช่วงได้แก่ ปีอนาคตอันใกล้ Near Future (ปี ค.ศ. 2023-2042) ปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 Mid Future 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) ปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 Mid Future 2 (ปี ค.ศ. 2063-2082) และจากรูป เดือนกันยายนในปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) มีปริมาณน้ำฝนสูงที่สุด เดือนตุลาคมของช่วงอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ปี ค.ศ. 2023-2042) ต่ำกว่าภาพฉายอื่นๆและต่ำกว่าปีฐานด้วยเช่นกัน ส่วนช่วงหน้าแล้งซึ่งมีปริมาณน้ำฝนรายเดือนอยู่ในเกณฑ์ที่อาจจะมีฝนทิ้งช่วงได้ในช่วงเดือนพฤศจิกายน จนถึงเดือนมีนาคม

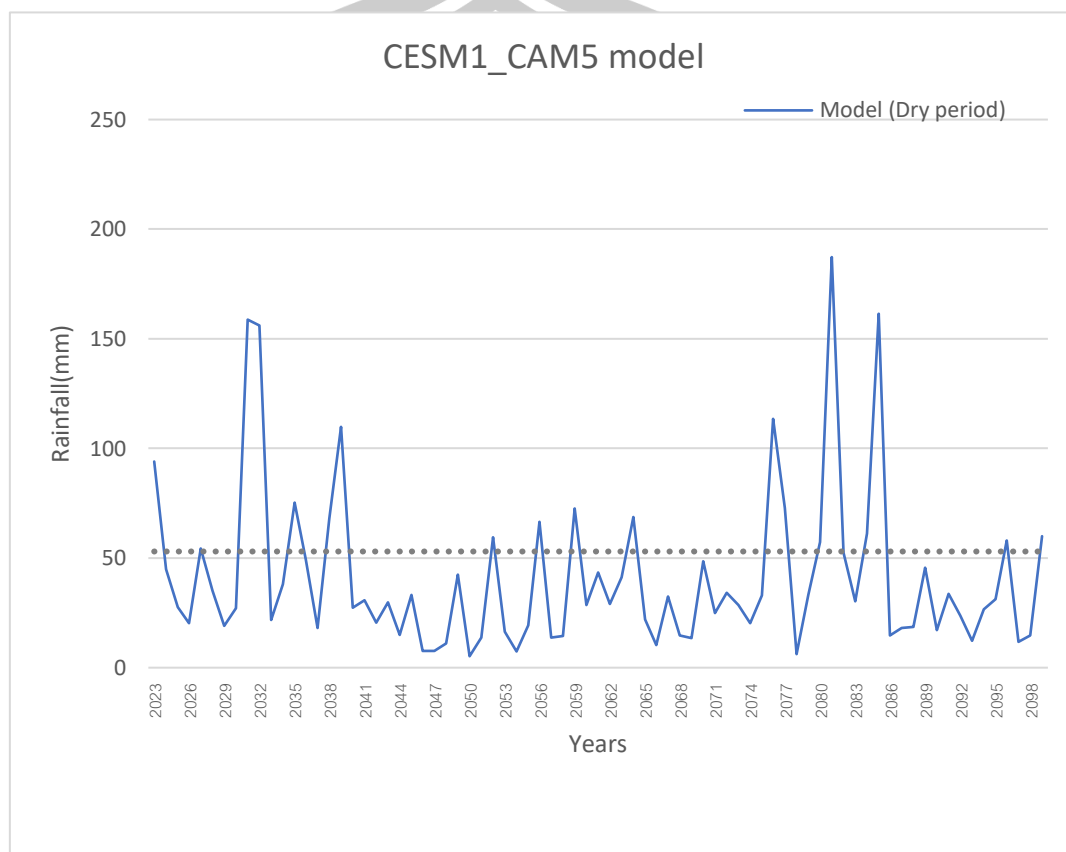
เมื่อนำผลการคาดการณ์ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองมาพิจารณาเฉพาะช่วงปีมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือหรือช่วงฤดูแล้งคือช่วงเดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนกุมภาพันธ์พบว่า ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีที่ได้จากแบบจำลอง มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 13.62 มม. และมากที่สุดเท่ากับ 316 มม.



ภาพประกอบที่ 38 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนเฉลี่ยจากแบบจำลอง CEM1_CAM5 ในช่วงมรสุม ตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period)

จากปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยในช่วงแล้ง ดังภาพประกอบที่ 38 จะเห็นว่า ในเดือนพฤศจิกายน มีอยู่จำนวน 2 ภาพฉาย ที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปีฐาน คือ ช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 Mid Future 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) และ ช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 2 Mid Future 2 (ปี ค.ศ. 2063-2082) ในเดือนธันวาคมและเดือนมกราคมทั้ง 4 ภาพฉายในอนาคตมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปีฐาน แบบจำลองจะมีฝนต่ำที่สุดคือ ภาพฉายในช่วงช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 Mid Future 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) และในเดือนกุมภาพันธ์ 2 ภาพฉายมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปีฐาน ได้แก่ ช่วง

กลาง ช่วงที่ 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) ซึ่งในเดือนที่กล่าวมาแล้วนั้นมีโอกาสที่จะขาดแคลนน้ำกว่าปกติ



ภาพประกอบที่ 39 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีจากแบบจำลอง CESM1_CAM5 ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period)

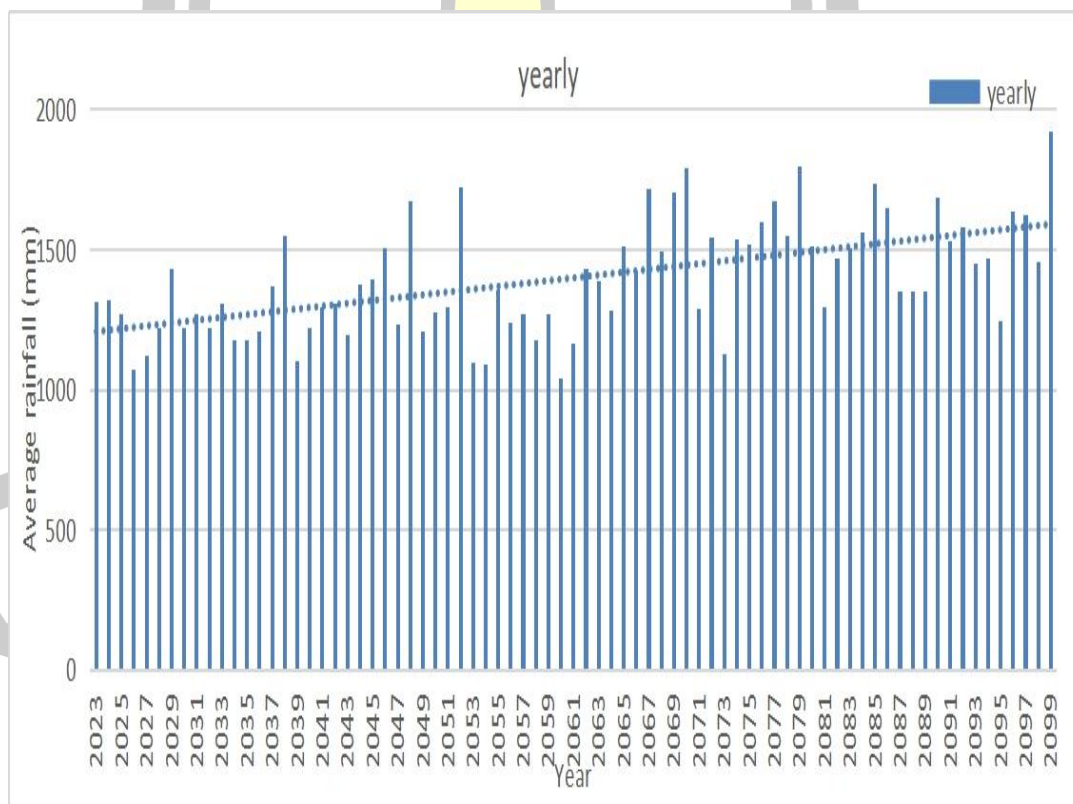
อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ช่วงแล้ง (Dry period) รายปีของแบบจำลอง CESM1_CAM5 ดังภาพประกอบที่ 39 จะเห็นได้ว่า ความถี่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปกติ มีจำนวน 58 ปี จาก ทั้งหมด 77 ปี ที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปกติ โดยเฉพาะมีโอกาสฝนทิ้งช่วงติดต่อกันยาวนานสูงสุด 12 ปี คือ ในช่วงปี ค.ศ. 2040-2051 แล้ว และ ในช่วงปี ค.ศ. 2065-2075 รวม 11 ปี และ ในช่วงปี ค.ศ. 2086-2095 รวม 10 ปี แต่ถึงกระนั้นปีที่เว้นวรรคก็เชื่อว่าจะมีปริมาณฝนเฉลี่ยที่สูง จึงมีความเป็นไปได้ว่าจะเกิดภาวะฝนทิ้งช่วงยาว หรือฝนแล้งเป็นช่วงยาวจากการทำนายของแบบจำลอง

ตารางที่ 21 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในอนาคตของแบบจำลอง CESM1_CAM5

Year	MAX (mm)	MIN (mm)	Avg(mm)	%diff max	%diff min	%diff avg
Base years	1369.3	750	1002.5	-	-	-
2023-2042	1503.14	873.34	1185.67	9.77	16.45	18.27
2043-2062	1637.28	1073.35	1347.93	19.57	43.11	34.46
2063-2082	1810.44	1076.38	1425.33	32.22	43.52	42.18
2083-2099	1823.23	998.61	1492.51	33.15	33.15	48.88

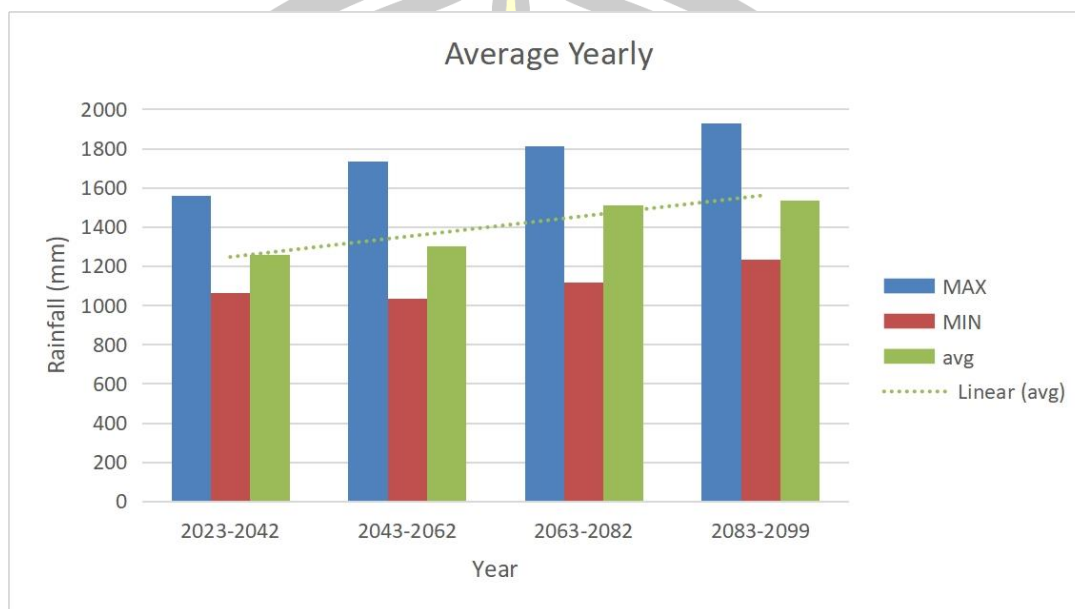
4.1.4 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนจากแบบจำลอง NorESM

การคาดการณ์ปริมาณฝนจากแบบจำลอง NorESM จะเห็นว่ามึลักษณะเดียวกันกับทั้งสามแบบจำลองก่อนหน้านี้คือ แนวโน้มปริมาณฝนเฉลี่ยที่เพิ่มสูงขึ้นโดยที่ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีต่ำสุดและสูงสุดจะอยู่ที่ 1,258.81 และ 1,535.65 ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 40 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีอนาคตของแบบจำลอง NorESM

การคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในปีอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ค.ศ. 2023-2042) ปรากฏว่าการกระจายตัวของข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลอง



ภาพประกอบที่ 41 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของแบบจำลอง NorESM

ช่วงที่ 1 ช่วงอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ปี ค.ศ. 2023-2042) ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1,560.83 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด 1,064.19 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,258.81 มิลลิเมตร

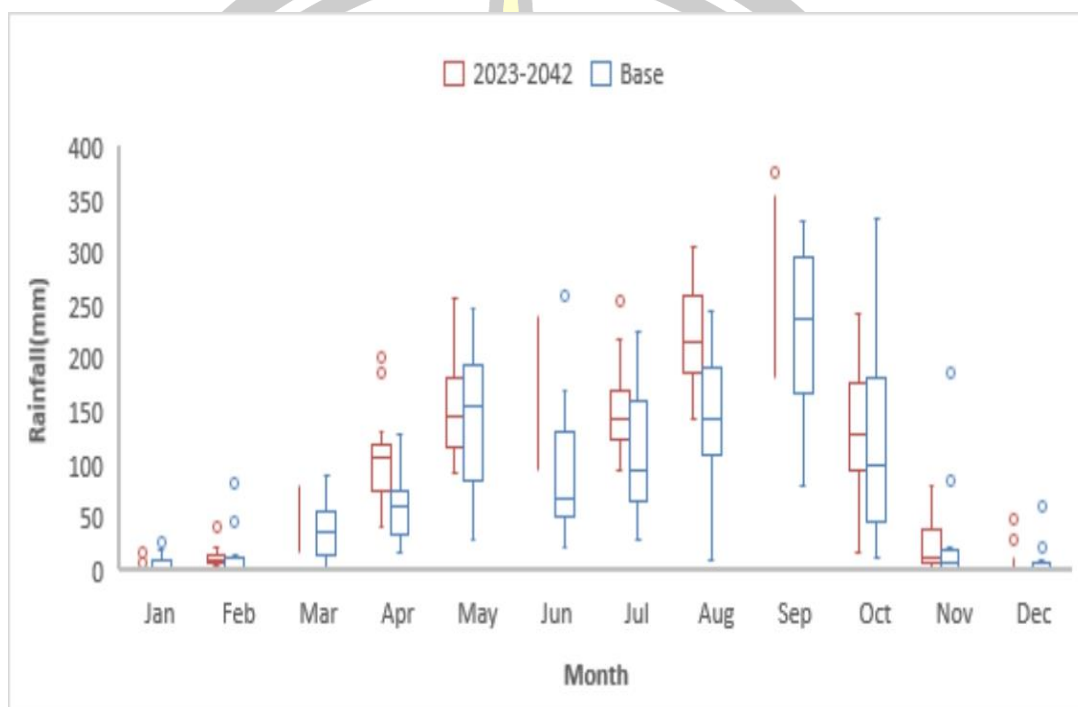
ช่วงที่ 2 ช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1,733.79 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด 1,033.54 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,301.06 มิลลิเมตร

ช่วงที่ 3 ช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 2 (ปี ค.ศ. 2063-2082) ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1,814.08 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด 1,117.42 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,512.34 มิลลิเมตร

ช่วงที่ 4 ช่วงอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099) ปริมาณน้ำฝนสูงสุด 1,929.77 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด 1,232.63 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย 1,535.65 มิลลิเมตร

จากการคาดการณ์กรณี RCP 8.5 ด้วยแบบจำลอง NorESM พบว่า ปริมาณน้ำฝนสูงสุดจะเกิดขึ้นในอนาคตอันไกล คือ ระหว่าง ปี ค.ศ. 2083-2099 และปริมาณน้ำฝนต่ำสุดเกิดขึ้นในอนาคต

อันใกล้ คือ ระหว่าง ปี ค.ศ. 2023-2042 อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำฝนรายปีในป้อนาคตอันใกล้ก็มีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับช่วงปีอื่นๆ แนวโน้มฝนมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและปีฐานมีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่อาจจะมีบางเดือนที่ค่ากลางของข้อมูลปีฐานมีค่ามากกว่าข้อมูลฝนที่ได้จากแบบจำลอง และการกระจายตัวของฝนมีมากกว่าได้แก่เดือนพฤษภาคม

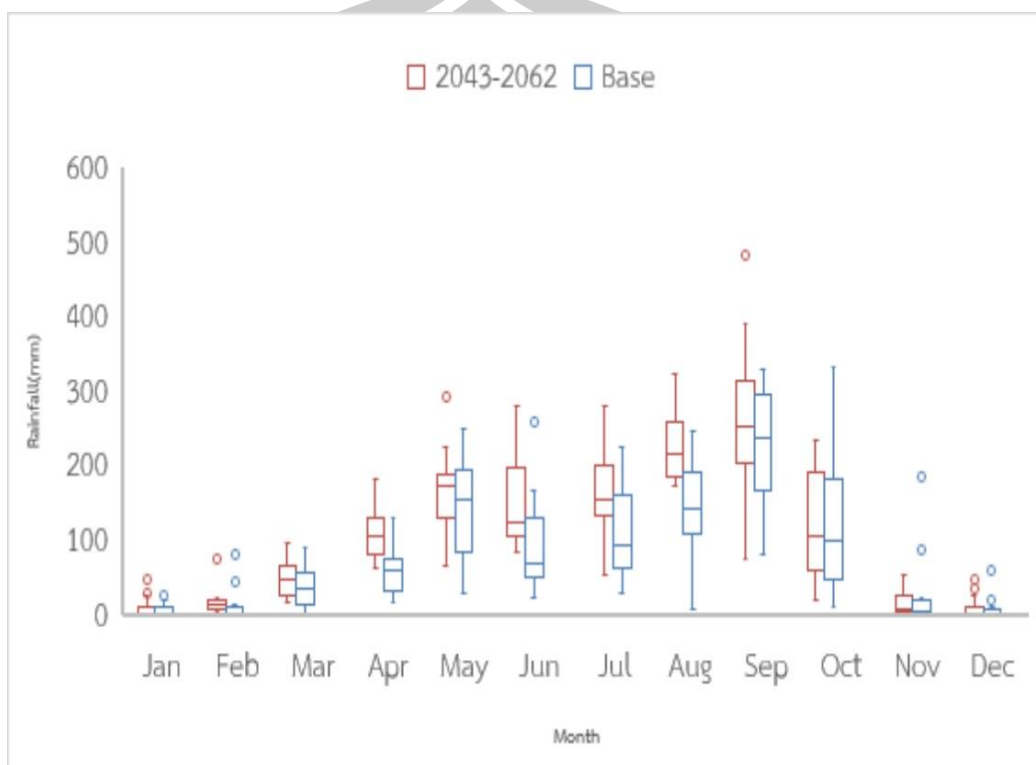


ภาพประกอบที่ 42 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future)

การคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในป้อนาคตอันใกล้ Near Future 1 (ค.ศ. 2043-2062) ปรากฏว่าการกระจายตัวของข้อมูลฝนเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าช่วงป้อนาคตอันใกล้ แต่การคาดการณ์ฝนเฉลี่ยรายเดือนที่ได้จากแบบจำลองมีค่าสูงกว่าข้อมูลฝนเฉลี่ยปีฐานเล็กน้อย

ในช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน มีการกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานกระจายตัวมากกว่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองเล็กน้อย โดยปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนอยู่ที่ประมาณ 232.24 มิลลิเมตร ขณะที่ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลองในช่วงอนาคตอันใกล้ปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future) มีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนเช่นเดียวกันที่

ประมาณ 267.10 มิลลิเมตร และในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์จะเป็นช่วงแล้งที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำหรืออาจไม่มีเลยในบางปีทั้งปีฐานและแบบจำลอง

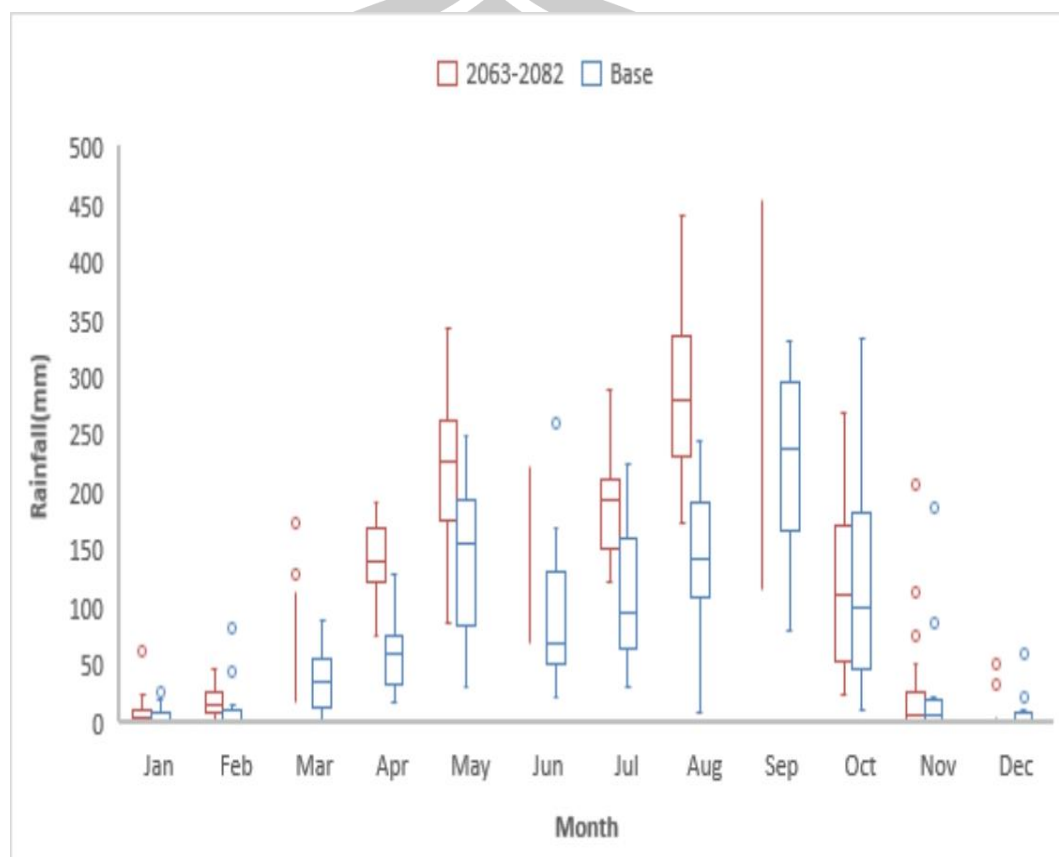


ภาพประกอบที่ 43 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในปี ค.ศ. 2043-2062 (Mid Future 1)

ในช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน และการกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าการกระจายตัวใกล้เคียงกัน ปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง โดยปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนอยู่ที่ประมาณ 232.24 มิลลิเมตร ขณะที่ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลองมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนเช่นเดียวกัน อยู่ที่ประมาณ 261.49 มิลลิเมตร และในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์จะเป็นช่วงแล้งที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำหรืออาจไม่มีเลยในบางปีทั้งปีฐานและแบบจำลองเช่นเดียวกันกับช่วงปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future)

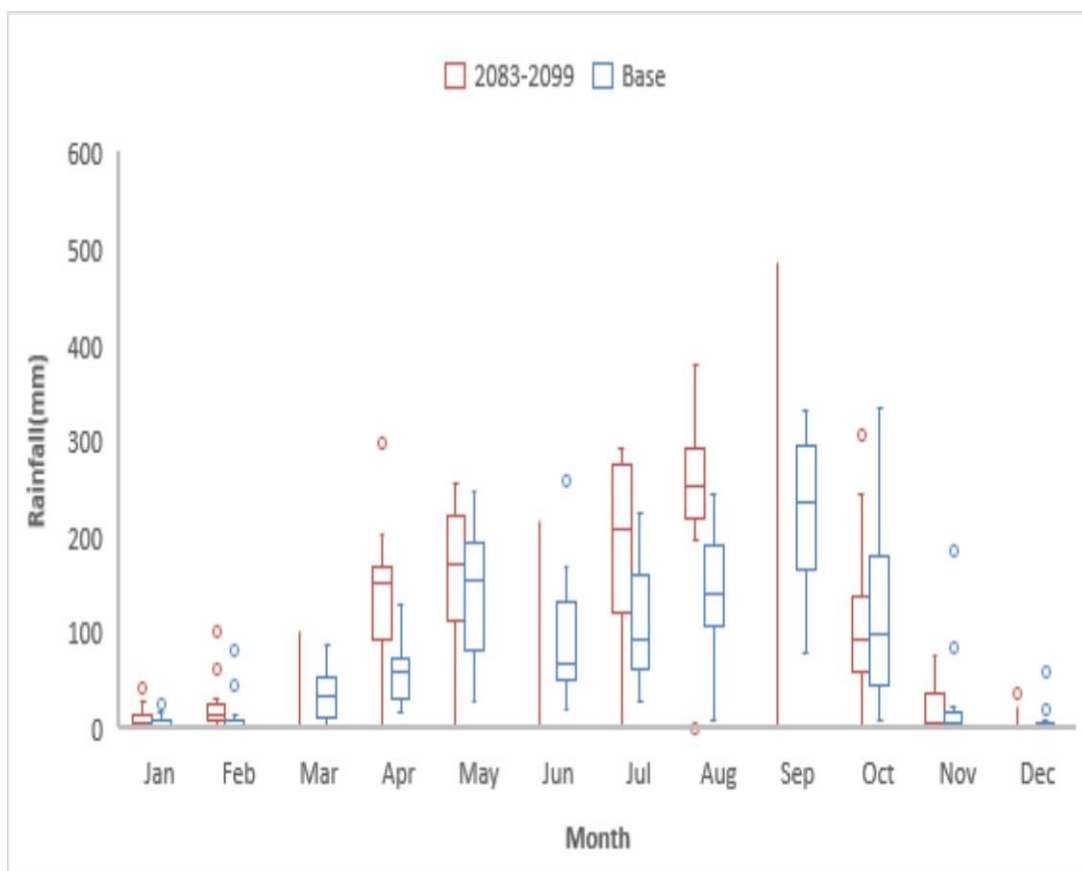
การคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในป้อนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 Mid Future 2 (ค.ศ. 2063-2082) พบว่าการกระจายตัวของฝนที่ได้จากแบบจำลองและปีฐานมีค่า

การกระจายตัวที่ใกล้เคียงกัน หากแต่ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนที่ได้จากการทำนายของแบบจำลองมีค่ามากกว่าฝนเฉลี่ยรายเดือนของปีฐานชัดเจนพอสมควร



ภาพประกอบที่ 44 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในปี ค.ศ. 2063-2082 (Mid Future 2)

ในช่วงฤดูฝน ของปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 Mid Future 2 (ค.ศ. 2063-2082) ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน และการกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานกระจายตัวใกล้เคียงกันปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลองมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนเช่นเดียวกับปีฐาน อยู่ที่ประมาณ 287.59 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยมีค่าสูงสุดของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปีฐานที่ 232.24 มิลลิเมตร และในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์จะเป็นช่วงแล้งที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำหรืออาจไม่มีเลยในบางปีทั้งปีฐานและแบบจำลองเช่นเดียวกันกับช่วงปี ค.ศ. 2023-2042 (Near Future)และปี ค.ศ. 2043-2062 หรือในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1)



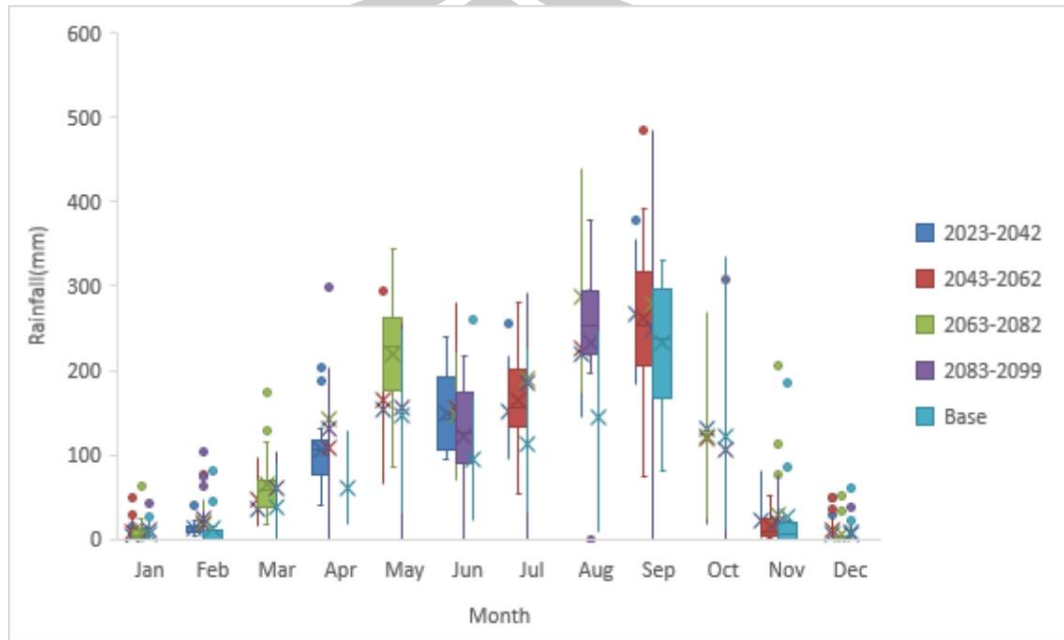
ภาพประกอบที่ 45 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในปี ค.ศ. 2083-2099 (Far Future)

การคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในป้อนาคตอันไกล Far Future (ค.ศ. 2083-2099) การกระจายตัวของฝนเฉลี่ยรายเดือนที่ได้จากการทำนายของแบบจำลอง และของปีฐานมีค่าใกล้เคียงกันเพียงแต่ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองมีค่ามากกว่าของปีฐานเล็กน้อย

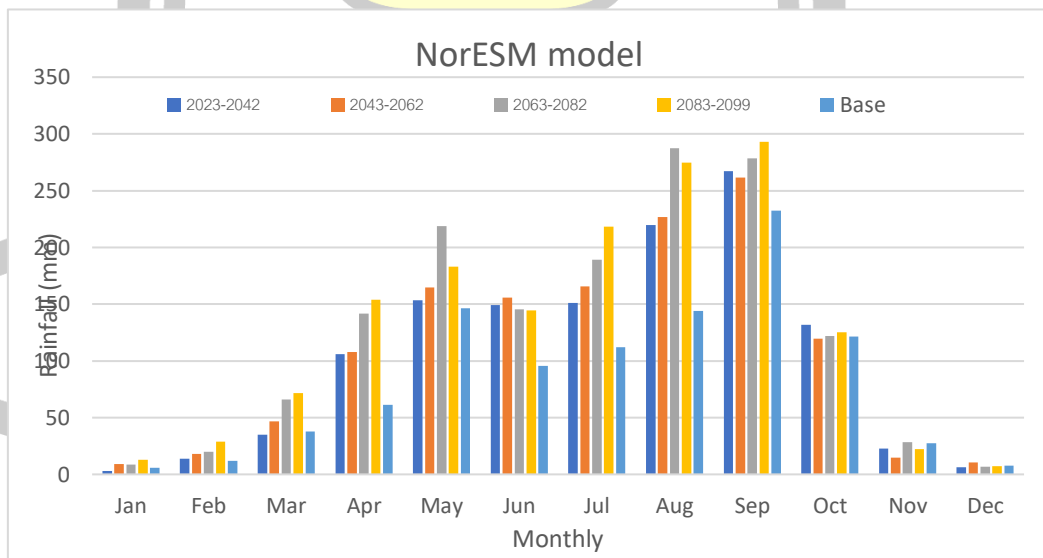
ในช่วงฤดูฝนของช่วงอนาคตอันไกล (Far Future) ปริมาณน้ำฝนของแบบจำลองมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดของปีฐาน การกระจายตัวของฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดของปีฐานกระจายตัวมีค่าใกล้เคียงกันกับปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง

โดยปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดของปีฐานมีค่าสูงสุดในเดือนกันยายนอยู่ที่ประมาณ 232.24 มิลลิเมตร ในส่วนของแบบจำลองอยู่ที่เดือนสิงหาคมประมาณ 293.23 มิลลิเมตร ส่วนในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์หรือช่วงแล้งมีปริมาณน้ำฝนต่ำหรือน้อยมาก จนอาจกล่าวได้ว่าไม่มีเลยทั้งปีฐานและแบบจำลองเช่นเดียวกันกับช่วงปี ค.ศ. 2023-2042 (Near

Future)และปี ค.ศ. 2043-2062 หรือในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 (Mid Future 1) และปี ค.ศ. 2063-2082 หรือในช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 2 (Mid Future 2)



ภาพประกอบที่ 46 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในปี ค.ศ. 2023-2099

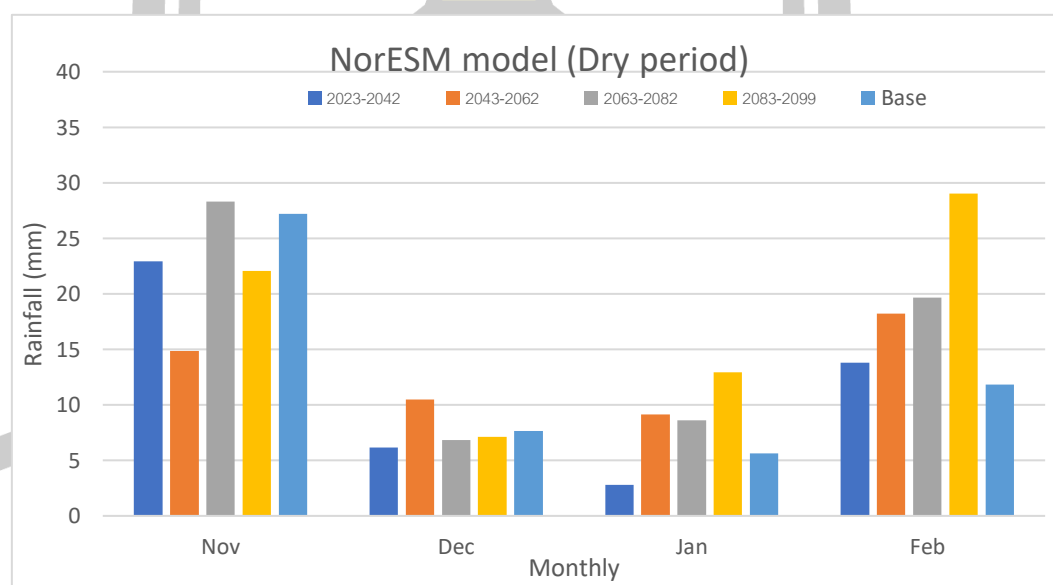


ภาพประกอบที่ 47 ผลการคาดการณ์ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยของแบบจำลอง NorESM

ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนของแบบจำลอง NorESM ในแต่ละช่วงเมื่อเทียบกับปีฐาน พบว่าแนวโน้มปริมาณฝนเพิ่มสูงขึ้นในช่วงปีมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรือช่วงฤดูฝน ส่วนในช่วงปีมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนมีค่าใกล้เคียงกันกับข้อมูลเฉลี่ยของปีฐาน

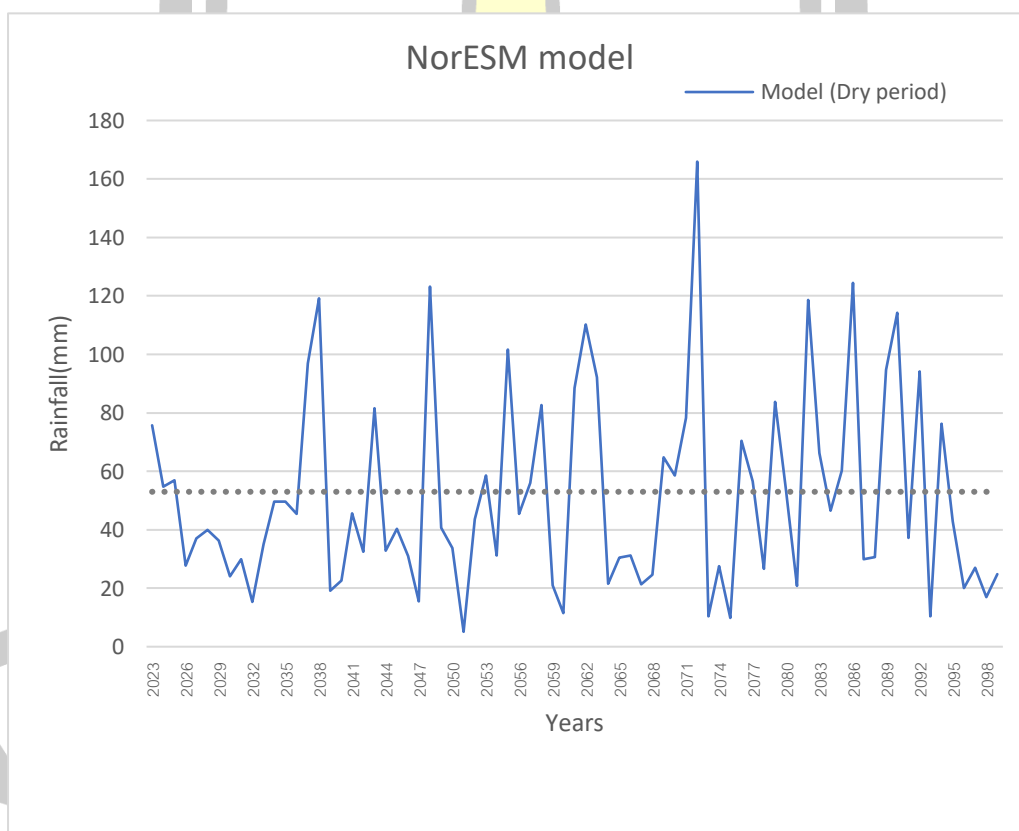
จากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของปีฐานกับช่วงในอนาคตทั้ง 4 ช่วง ดังภาพประกอบที่ 47 พบว่า ช่วงฤดูฝนภาพฉายในอนาคตทั้ง 4 ช่วง มีแนวโน้มปริมาณน้ำฝนรายเดือนมากกว่าปีฐาน ยกเว้นเดือนตุลาคมที่ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยของปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 Mid Future 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) มีค่าน้อยกว่าฝนเฉลี่ยรายเดือนของปีฐาน ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย เดือนกันยายนในปีอนาคตอันไกล Far Future (ปี ค.ศ. 2083-2099) มีปริมาณน้ำฝนสูงที่สุด เดือนตุลาคมของช่วงอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ปี ค.ศ. 2023-2042) มีปริมาณฝนต่ำที่สุด ต่ำกว่าภาพฉายอื่นๆและต่ำกว่าปีฐานด้วยเช่นกัน ส่วนช่วงหน้าแล้งซึ่งมีปริมาณน้ำฝนรายเดือนอยู่ในเกณฑ์ที่อาจจะเกิดฝนทิ้งช่วงได้ในช่วงเดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนมีนาคม

เมื่อนำมาพิจารณาเฉพาะปริมาณฝนอนาคตจากการทำนายเฉพาะช่วงหน้าแล้ง (dry period) พบว่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีมีค่าต่ำสุดและสูงสุดอยู่ที่ ประมาณ 5.10 มม. และ 165.93 มม. ตามลำดับ



ภาพประกอบที่ 48 ผลการคาดการณ์ฝนรายเดือนเฉลี่ยจากแบบจำลอง NorESM ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period)

จากปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยในช่วงแล้ง ดังภาพประกอบที่ 48 จะเห็นว่า ในเดือนพฤศจิกายน มีอยู่จำนวน 3 ภาพฉาย ที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปีฐาน คือ ช่วงอนาคตอันใกล้ Near Future (ปี ค.ศ.2023-2042 ,ช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 1 Mid Future 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) และ ช่วงอนาคตอันไกล Far Future 2 (ปี ค.ศ. 2083-2099) ในเดือนธันวาคม จำนวน 3 ภาพฉาย คือ ช่วงอนาคตอันใกล้ Near Future (ปี ค.ศ.2023-2042) ,ช่วงอนาคตช่วงกลาง ช่วงที่ 2 Mid Future 2 (ปี ค.ศ. 2063-2082) และ ช่วงอนาคตอันไกล Far Future (ปี ค.ศ. 2083-2099) และเดือนมกราคมมี 1 ภาพฉายในอนาคตมีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปีฐาน คือช่วงอนาคตอันใกล้ Near Future (ปี ค.ศ.2023-2042) แบบจำลองจะมีฝนต่ำที่สุดคือ ภาพฉายช่วงอนาคตอันใกล้ Near Future (ปี ค.ศ.2023-2042) ของเดือนมกราคม ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วนั้นมีโอกาสที่จะขาดแคลนน้ำกว่าปกติ



ภาพประกอบที่ 49 ผลการคาดการณ์ฝนรายปีจากแบบจำลอง NorESM ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงแล้ง (Dry period)

อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ช่วงแล้ง (Dry period) รายปีของแบบจำลอง NorESM ดังภาพประกอบที่ 49 จะเห็นได้ว่า ความถี่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปกติ มีจำนวน 30 ปี จาก ทั้งหมด 77 ปี ที่มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าปกติ โดยเฉพาะมีโอกาสฝนทิ้งช่วงติดต่อกันยาวนานสูงสุด 3 ปี คือในช่วงปี ค.ศ. 2077-2079 และ ในช่วงปี ค.ศ. 2092-2094

ตารางที่ 22 ผลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในอนาคตของแบบจำลอง NorESM

Year	MAX (mm)	MIN (mm)	Avg(mm)	%diff max	%diff min	%diff avg
Base years	1369.3	750	1002.5	-	-	-
2023-2042	1560.83	1064.19	1258.81	13.98	41.89	25.56
2043-2062	1733.79	1033.54	1301.06	26.61	37.80	29.78
2063-2082	1814.08	1117.42	1512.34	32.48	48.98	50.85
2083-2099	1929.77	1232.63	1535.65	40.93	64.35	53.18

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนเมื่อเทียบกับปีฐานในกรณีที่มีการลดแก๊สเรือนกระจกปานกลาง (RCP 4.5) จากแบบจำลอง CNRM ในช่วงปีที่พิจารณา พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาที่ต่าง ๆ ดังนี้

1. ป้อนาคตอันใกล้: การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนเป็น 28.89%
2. ป้อนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1: การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนเป็น 32.35%
3. ป้อนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2: การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนเป็น 31.95%
4. ป้อนาคตอันไกล: การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนเป็น 36.51%

ผลลัพธ์ดังกล่าวเป็นการแสดงถึงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนในอนาคตที่ส่งผลต่อสภาพอากาศและสภาพแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงนี้อาจมีผลกระทบต่อการเกษตร การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ และการป้องกันภัยพิบัติที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต่าง ๆ ดังนั้น การวิเคราะห์และการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดนโยบายและการวางแผนในอนาคตเพื่อความยั่งยืนของชุมชนและสังคมทั้งหมดในระยะยาว

จากการลดแก๊สเรือนกระจกปานกลางและการกำหนดค่าปริมาณการแผ่รังสีครั้งที่ 4.5 วัตต์ต่อตารางเมตร (RCP 4.5) เป็นการจำลองสถานการณ์ภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนโดยใช้แบบจำลอง Miroc5 ในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. ป้อนาคตอันไกล่ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจากแบบจำลอง Miroc5 ที่ระดับ 20.60 ตามลำดับ ซึ่งอาจแสดงถึงการลดลงของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาดังกล่าว โดยการลดแก๊สเรือนกระจกอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงนี้

2. ป้อนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1: ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจากแบบจำลอง Miroc5 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญถึงระดับ 28.84 ซึ่งอาจแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งเป็นผลมาจากการลดแก๊สเรือนกระจกและการกำหนดค่าปริมาณการแผ่รังสีคงที่

3. ป้อนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2: มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจากแบบจำลอง Miroc5 อย่างมีนัยสำคัญถึงระดับ 36.73 ซึ่งอาจแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนเมื่อเทียบกับช่วงเวลาก่อนหน้านี้

4. ป้อนาคตอันไกล่: มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจากแบบจำลอง Miroc5 อย่างมีนัยสำคัญถึงระดับ 38.76 ซึ่งอาจแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนอย่างมีนัยสำคัญในช่วงเวลาดังกล่าว

การวิเคราะห์นี้ช่วยให้เราเข้าใจถึงผลกระทบของการลดแก๊สเรือนกระจกและการกำหนดค่าปริมาณการแผ่รังสีคงที่ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในอนาคต และสามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการวางแผนและปรับเปลี่ยนกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อให้สามารถดูแลรักษาสุขภาพภูมิอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังตารางที่ 24-25

ตารางที่ 23 เปรอ์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนเมื่อเทียบกับปีฐานกรณี RCP 4.5

Year	Rainfall Change (%)					
	CNRM Model			Miroc5 Model		
	MAX (%)	MIN (%)	AVG (%)	MAX (%)	MIN (%)	AVG (%)
2023s	10.47	48.79	28.89	6.14	14.36	20.60
2043s	14.21	42.71	32.35	19.31	7.67	28.84
2063s	16.79	41.75	31.95	24.66	23.83	36.73
2083s	12.46	57.35	36.51	25.39	52.47	38.76

ตารางที่ 24 เปรอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนเมื่อเทียบกับปีฐานกรณี RCP 8.5

Year	Rainfall Change (%)					
	CESM1_CAM5 Model			NorESM Model		
	MAX (%)	MIN (%)	AVG (%)	MAX (%)	MIN (%)	AVG (%)
2023s	9.77	16.45	18.27	9.77	41.89	25.57
2043s	19.57	43.11	34.46	19.57	37.81	29.78
2063s	32.22	43.52	42.18	32.22	48.99	50.86
2083s	33.15	33.15	48.88	33.15	64.35	53.18

การวิเคราะห์ผลเพิ่มเติมเกี่ยวกับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนเมื่อเทียบกับปีฐานกรณี RCP 8.5 ซึ่งเป็นสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสูงจากแบบจำลอง CESM1_CAM5 มีความสำคัญในการทำนายและประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำฝนในอนาคต ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาต่าง ๆ ของอนาคตที่ถูกพิจารณา

ในช่วงเวลาที่พิจารณาได้แก่ ป้อนาคตอันไกล, ป้อนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 ป้อนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 และป้อนาคตอันไกล ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนเทียบกับปีฐาน RCP 8.5 มีค่าเป็น 18.27%, 34.46%, 42.18%, และ 48.88% ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนเมื่อเทียบกับสถานการณ์ปกติ ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศและระบบนิเวศอื่น ๆ ในพื้นที่นั้นๆ อย่างมีนัยสำคัญ

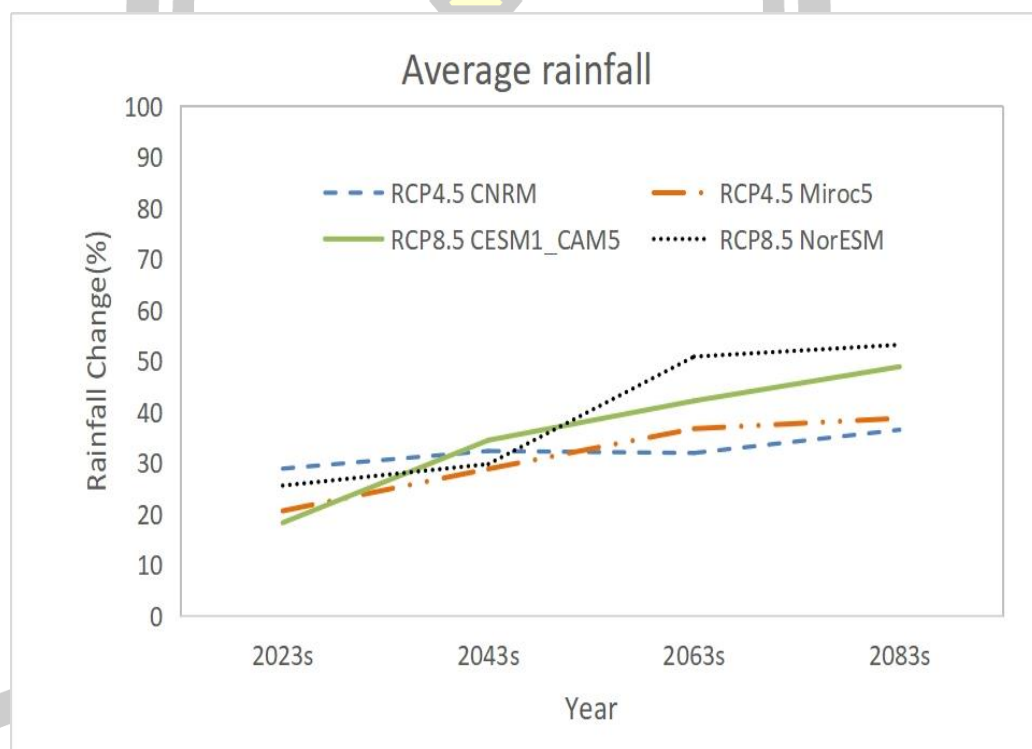
การวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนในสถานการณ์ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีระดับสูงอย่างต่อเนื่อง เช่นในกรณี RCP 8.5 จากแบบจำลอง NorESM ได้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่มีความเข้าใจได้อย่างชัดเจน เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนเฉลี่ยมีการเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปีฐาน โดยสรุปผลดังนี้

1. ในช่วงปีที่พิจารณาว่าอยู่ใกล้กัน: เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 29.57 เมื่อเทียบกับปีฐาน RCP 8.5 ซึ่งแสดงถึงการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในปริมาณน้ำฝนในช่วงนี้
2. ในช่วงป้อนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1: เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนเมื่อเทียบกับปีฐาน RCP 8.5 อยู่ที่ 29.78 ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับช่วงปีที่ใกล้กัน

3. ในช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2: เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนเมื่อเทียบกับปีฐาน RCP 8.5 อยู่ที่ 50.86 ซึ่งแสดงถึงการเพิ่มขึ้นมากขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงปีที่อยู่ใกล้กันและช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1

4. ในช่วงปีอนาคตอันไกล: เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนเมื่อเทียบกับปีฐาน RCP 8.5 อยู่ที่ 53.18 ซึ่งแสดงถึงการเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับช่วงปีที่อยู่ใกล้กันและช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 และ 2

จากผลการวิเคราะห์นี้ เราสามารถเห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนโดยรวมที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีระดับสูง โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากต่อเนื่องตามช่วงปีที่พิจารณา



ภาพประกอบที่ 50 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนจากแบบจำลองทั้งสี่แบบจำลอง

4.2 ผลการคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งด้วยดัชนี GMI

ผลการคาดการณ์พื้นที่เสี่ยงภัยแล้งด้วยดัชนี GMI ภายใต้สภาวะโลกร้อนของแบบจำลอง CNRM ชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มของสภาพภูมิอากาศในอนาคตที่มีผลต่อความเสี่ยงจากภัยแล้งในพื้นที่ต่างๆ โดยเฉพาะในพื้นที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีข้อสรุปดังนี้

1. มรสุมตะวันตกเฉียงใต้

- ช่วงปีอนาคตอันใกล้และปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1: มีการคาดการณ์ว่าจะมีแนวโน้มที่มีความชื้นสูงกว่าปกติ ซึ่งอาจลดความเสี่ยงจากภัยแล้งในช่วงเวลาดังกล่าว
- ปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 และปีอนาคตอันไกล: มีความชื้นสูงกว่าปกติ แต่มีการคาดการณ์ว่าจะเป็นช่วงที่มีแนวโน้มที่แล้งจัดมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้เพิ่มความเสี่ยงจากภัยแล้งในช่วงนั้น

2. มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

- ช่วงปีอนาคตอันใกล้และปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1: มีการคาดการณ์ว่าสภาพปกติ ซึ่งอาจลดความเสี่ยงจากภัยแล้งในช่วงเวลาดังกล่าว
- ปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2: มีความชื้นสูงกว่าปกติ ซึ่งอาจเพิ่มความเสี่ยงจากภัยแล้งในช่วงนั้น
- ปีอนาคตอันไกล: มีการคาดการณ์ว่าจะเป็นช่วงที่มีแนวโน้มที่แล้งจัดมากขึ้น ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงจากภัยแล้งในช่วงนั้น

ดังนั้น ผลการคาดการณ์นี้จะเป็นประโยชน์ในการวางแผนการจัดการความเสี่ยงจากภัยแล้งในพื้นที่ต่าง ๆ และในการเตรียมความพร้อมในกรณีที่เกิดภัยแล้งในอนาคต ดังตารางที่ 26-29

ตารางที่ 25 ผลการคาดการณ์ดัชนีภัยแล้ง GMI ของแบบจำลอง CNRM

GMI	Years	Avg (%)	Max (%)	Min (%)	S.D.
Southwest monsoon	2023-2042	13.08	24.62	1.54	7.32
	2043-2062	37.69	49.23	26.15	7.32
	2063-2082	75.67	98.46	52.31	14.78
	2083-2099	73.56	95.38	50.77	14.48
Northeast monsoon	2023-2042	43.65	67.69	4.62	18.26
	2043-2062	49.71	73.85	1.54	21.16
	2063-2082	86.92	98.46	75.38	7.32
	2083-2099	19.71	41.54	3.08	11.64

ตารางที่ 26 ผลการคาดการณ์ดัชนีภัยแล้ง GMI ของแบบจำลอง Miroc5

GMI	Years	Avg (%)	Max (%)	Min (%)	S.D.
Southwest monsoon	2023-2042	13.08	24.62	1.54	7.32
	2043-2062	37.69	49.23	26.15	7.32
	2063-2082	62.31	73.85	50.77	7.32
	2083-2099	86.92	98.46	75.38	7.32
Northeast monsoon	2023-2042	74.23	92.31	50.77	12.43
	2043-2062	37.69	49.23	26.15	7.32
	2063-2082	75.00	98.46	52.31	16.60
	2083-2099	13.08	24.62	1.54	7.32

ตารางที่ 27 ผลการคาดการณ์ดัชนีภัยแล้ง GMI ของแบบจำลอง CESM1_CAM5

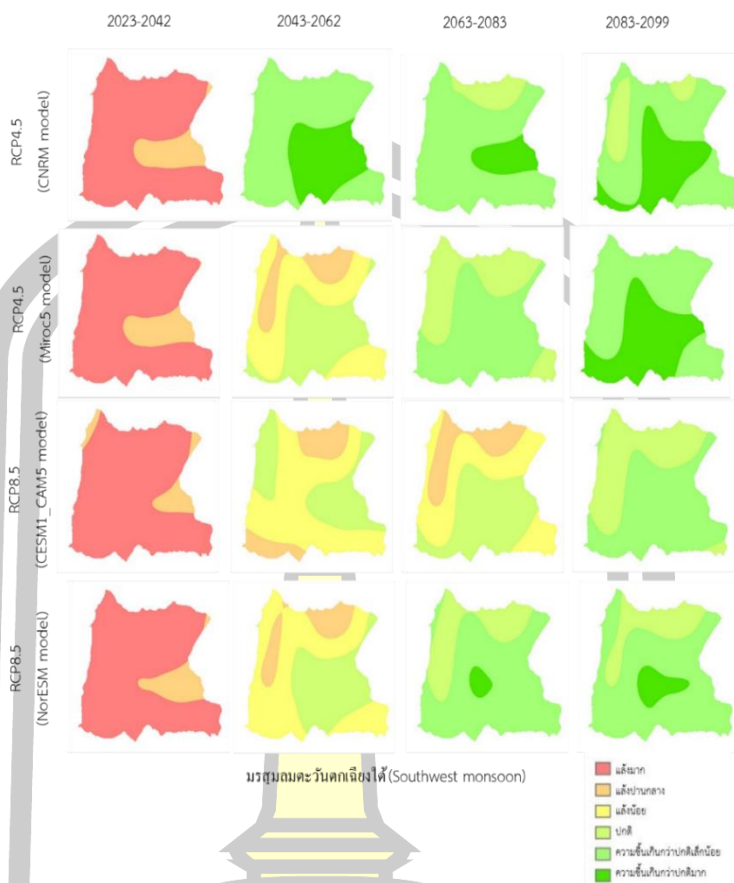
GMI	Years	Avg (%)	Max (%)	Min (%)	S.D.
Southwest monsoon	2023-2042	13.08	24.62	1.54	7.32
	2043-2062	86.92	98.46	75.38	7.32
	2063-2082	37.69	49.23	26.15	7.32
	2083-2099	62.31	73.85	50.77	7.32
Northeast monsoon	2023-2042	62.31	73.85	50.77	7.32
	2043-2062	37.69	49.23	26.15	7.32
	2063-2082	86.92	98.46	75.38	7.32
	2083-2099	13.08	24.62	1.54	7.32

ตารางที่ 28 ผลการคาดการณ์ดัชนีภัยแล้ง GMI ของแบบจำลอง NorESM

GMI	Years	Avg (%)	Max (%)	Min (%)	S.D.
Southwest monsoon	2023-2042	13.08	24.62	1.54	7.32
	2043-2062	37.69	49.23	26.15	7.32
	2063-2082	70.38	92.31	50.77	13.08
	2083-2099	78.85	98.46	55.38	14.87
Northeast monsoon	2023-2042	60.29	78.46	27.69	13.30
	2043-2062	40.77	60.00	26.15	9.97
	2063-2082	85.87	98.46	64.62	9.29
	2083-2099	13.08	24.62	1.54	7.32

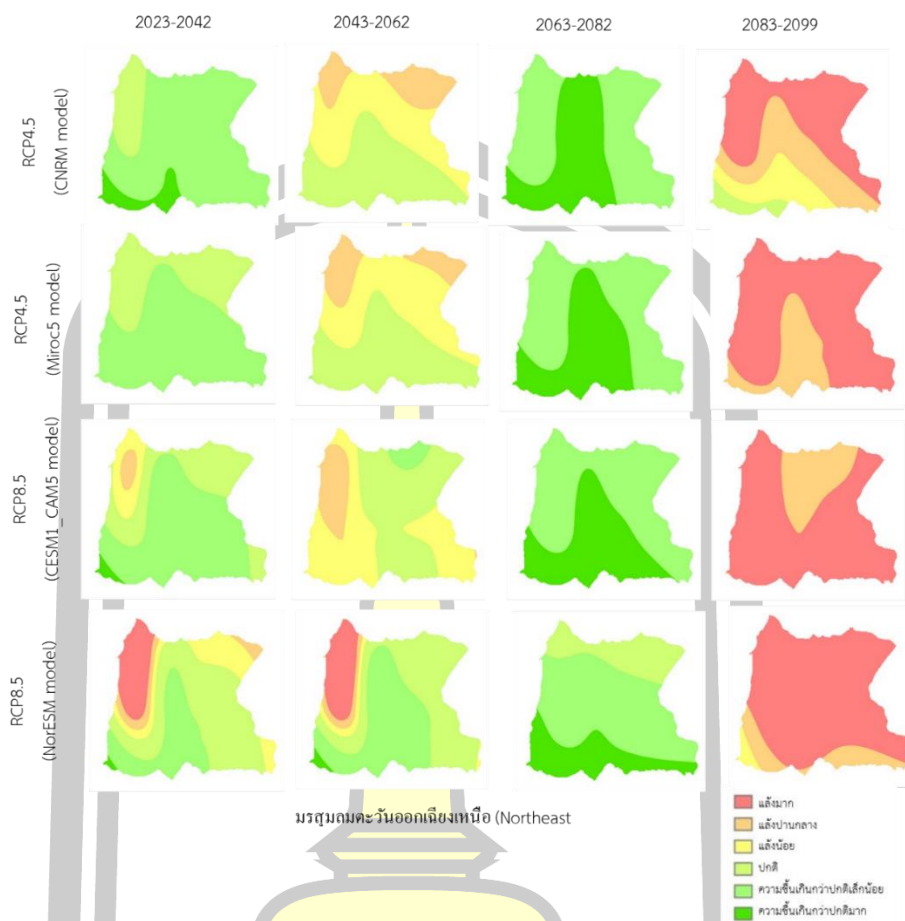
ค่าดัชนีภัยแล้ง GMI เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ดังตารางที่ 25-28 และภาพประกอบที่ 51 จะเห็นว่า จากแบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลอง คือ CNRM และ Miroc5 ภาพฉายในอนาคตกรณี RCP 4.5 ของทั้ง 4 ช่วงได้แก่ ช่วงอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ปี ค.ศ. 2023-2042) ช่วงอนาคตปานกลาง 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) ช่วงอนาคตปานกลาง 2 (ปี ค.ศ. 2063-2082) ช่วงอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099) พบว่า มีความรุนแรงของภัยแล้งมากในช่วงอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ปี ค.ศ. 2023-2042) เกือบทั่วทั้งพื้นที่ ยกเว้นบริเวณพื้นที่เขตอำเภอแก้งคร้อบางส่วนมีความรุนแรงของภัยแล้งอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งทั้ง 2 แบบจำลอง มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน

ค่าดัชนีภัยแล้ง GMI เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ สำหรับภาพฉายในอนาคตกรณี RCP 8.5 ของทั้ง 4 ช่วงเวลา จากแบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลอง คือ CESM1_CAM5 และ NorESM พบว่า มีความรุนแรงของภัยแล้งมากในช่วงอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ปี ค.ศ. 2023-2042) เกือบทั่วทั้งพื้นที่และขยายวงกว้างมากกว่ากรณี RCP 4.5 นอกจากนี้ยังมีความรุนแรงของภัยแล้งระดับปานกลาง ในช่วงอนาคตปานกลาง 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) ช่วงอนาคตปานกลาง 2 (ปี ค.ศ. 2063-2082) โดยเฉพาะตอนบนของพื้นที่ที่อยู่ในเขตอำเภอภูเขียว ซึ่งทั้ง 2 แบบจำลอง มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบที่ 51 ภาพแสดงค่าดัชนีภัยแล้ง GMI เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

ค่าดัชนีภัยแล้ง GMI เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ดังตารางที่ 25-28 และภาพประกอบที่ 52 จะเห็นว่า จากแบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลอง คือ CNRM และ Miroc5 ภาพฉายในอนาคตกรณี RCP 4.5 ของทั้ง 4 ช่วงได้แก่ ช่วงอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ปี ค.ศ. 2023-2042) ช่วงอนาคตปานกลาง 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) ช่วงอนาคตปานกลาง 2 (ปี ค.ศ. 2063-2082) ช่วงอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099) พบว่า มีความรุนแรงของภัยแล้งมากในช่วงอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099) เกือบทั่วทั้งพื้นที่ ยกเว้นบริเวณพื้นที่ตอนล่างในเขตอำเภอคอนสวรรค์ และอำเภอแก้งคร้อบางส่วนมีความรุนแรงของภัยแล้งอยู่ในระดับปานกลาง นอกจากนี้ช่วงอนาคตปานกลาง 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) เกิดความรุนแรงของภัยแล้งปานกลางบริเวณตอนบนของพื้นที่ในเขตอำเภอภูเขียว อำเภอมีนบุรี และอำเภอแก้งคร้อบางส่วน ซึ่งทั้ง 2 แบบจำลอง มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบที่ 52 ภาพแสดงค่าดัชนีภัยแล้ง GMI เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ค่าดัชนีภัยแล้ง GMI เนื่องจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับภาพฉายในอนาคตกรณี RCP 8.5 ของทั้ง 4 ช่วง จากแบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลอง คือ CESM1_CAM5 และ NorESM พบว่า มีความรุนแรงของภัยแล้งมากช่วงอนาคตอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099) เกือบทั่วทั้งพื้นที่และขยายวงกว้างมากกว่ากรณี RCP 4.5 นอกจากนี้ยังมีความรุนแรงของภัยแล้งระดับมากถึงปานกลาง ในในช่วงอนาคตอันใกล้ (Near Future) (ปี ค.ศ. 2023-2042) และช่วงอนาคตปานกลาง 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) บริเวณพื้นด้านตะวันตกเฉียงเหนือของกลุ่มน้ำอยู่ในเขตอำเภอภูเขียวและอำเภอแก้งคร้อบางส่วน ซึ่งทั้ง 2 แบบจำลอง มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่มีผลต่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝน ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยสามหมอก โดยมุ่งประเด็นศึกษาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนภายใต้สถานการณ์จำลองภูมิอากาศ ปัญหาวิกฤตของลุ่มน้ำนี้คือการขาดแคลนน้ำจนเกิดความแห้งแล้ง เนื่องจากหลายสาเหตุ อาทิ แหล่งกักเก็บน้ำไม่เพียงพอหรือค่อนข้างตื้นเขิน และดินอุ้มน้ำได้น้อย จัดได้ว่าเป็นพื้นที่ที่มีความแห้งแล้งมาก วิกฤตการณ์น้ำที่เกิดขึ้นในอดีตส่วนใหญ่เป็นปัญหาการขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยสามหมอก การคาดการณ์โดยใช้การเลือกค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจากสถานีรายเดือนโดยใช้ข้อมูลปีฐานจำนวน 13 ปีตั้งแต่ปี ค.ศ.2009 ถึง ปี ค.ศ.2022 การวิเคราะห์ความแห้งแล้งโดยใช้ดัชนีความแห้งแล้งตามฤดูกาลมรสุมในการหาค่าดัชนีความแห้งแล้ง

5.1 สรุปผล

การวิเคราะห์ผลคาดการณ์จากแบบจำลองในกรณี RCP4.5 ภายใต้ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เป็นสิ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของสภาพภูมิอากาศในอนาคตที่สำคัญ ซึ่งผลลัพธ์จากแบบจำลอง CNRM และ MIROC5 ได้แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างในผลคาดการณ์ของภาวะแล้ง

5.1.1 ผลลัพธ์จากแบบจำลอง CNRM พบว่าเกิดภาวะแล้งมากทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำในช่วงปีอนาคตอันใกล้ นั้นหมายความว่าช่วงเวลาระหว่างปีค.ศ. 2023-2042 จะมีการลดปริมาณน้ำฝนและเกิดภาวะแล้งที่สำคัญในพื้นที่ดังกล่าว ส่วนผลลัพธ์จากแบบจำลอง MIROC5 ก็แสดงให้เห็นถึงภาวะแล้งมากทั่วทั้งพื้นที่ในช่วงปีอนาคตอันใกล้ เช่นกับผลลัพธ์จากแบบจำลอง CNRM ในช่วงเวลาเดียวกัน การศึกษานี้สะท้อนถึงความสัมพันธ์ระหว่างลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่

นอกจากนี้ ผลลัพธ์ยังแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของภาวะแล้งในช่วงเวลาต่อไป โดยเฉพาะในช่วงกลางช่วงที่ 1 ของอนาคต (ปีค.ศ. 2043-2062) ซึ่งพื้นที่ตะวันตกและเหนือของกลุ่มน้ำจะเป็นบริเวณที่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดภาวะแล้งน้อยถึงปานกลาง โดยเฉพาะในบริเวณของ

อำเภอภูเขียวกับอำเภอแก้งคร้อ ซึ่งมีผลต่อการจัดการทรัพยากรน้ำและการวางแผนการเกษตรในอนาคต

5.1.2. จากผลการคาดการณ์ของแบบจำลองกรณี RCP8.5 ภายใต้สมมติฐานตะวันตกเฉียงใต้ของแบบจำลอง CESM1_CAM5 พบว่ามีภาวะแล้งมากทั่วทั้งพื้นที่ในช่วงปีอนาคตอันใกล้ (ปี ค.ศ. 2023-2042) ซึ่งเป็นแนวโน้มเช่นเดียวกับแบบจำลอง CNRM และ Miroc5 ในช่วงเวลาดังกล่าว ในขณะที่ช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062) และช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 2 (ปี ค.ศ. 2063-2082) มีแนวโน้มว่าจะมีภาวะแล้งน้อยถึงปานกลางบริเวณตะวันตกและด้านเหนือของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยมีความเฉพาะเจาะจงในอำเภอภูเขียวและอำเภอแก้งคร้อ

สำหรับแบบจำลอง NorESM ก็มีลักษณะเดียวกันกับแบบจำลองอื่น ๆ ภายใต้การกระทำของสมมติฐานตะวันตกเฉียงใต้ แสดงให้เห็นถึงภาวะแล้งมากทั่วทั้งพื้นที่ในช่วงปีอนาคตอันใกล้ (ปี ค.ศ. 2023-2042) และมีแนวโน้มที่จะเกิดภาวะแล้งน้อยถึงปานกลางในช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 ของบางแบบจำลองเช่นกัน โดยมีความเฉพาะเจาะจงในอำเภอภูเขียวและอำเภอแก้งคร้อ

จากผลลัพธ์ที่ได้นี้ เห็นได้ว่าภายใต้อิทธิพลของสมมติฐานตะวันตกเฉียงใต้ มีผลต่อลักษณะของภาวะแล้งในพื้นที่ต่าง ๆ โดยเฉพาะอำเภอภูเขียวและอำเภอแก้งคร้อ และสถานการณ์ที่คาดการณ์ไว้ในแบบจำลองทั้งหมดนี้จะช่วยในการวางแผนและการป้องกันภัยพิบัติที่เกิดจากสถานการณ์ภัยแล้งในอนาคตที่เป็นไปได้

5.1.3 ผลการคาดการณ์จากแบบจำลองกรณี RCP4.5 ภายใต้สมมติฐานวันออกเฉียงเหนือจากแบบจำลอง CNRM และ MIROC5 พบว่ามีลักษณะคล้ายกันในการแสดงผลภาวะแล้งในพื้นที่ลุ่มน้ำบริเวณอำเภอภูเขียวและอำเภอแก้งคร้อ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ในช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 (ปีค.ศ. 2043-2062)

- ทั้งแบบจำลอง CNRM และ MIROC5 คาดการณ์ว่าจะเกิดภาวะแล้งน้อยถึงปานกลางบริเวณด้านเหนือของพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยมีผลกระทบที่สังเกตเห็นได้ชัดเจนในพืชผลและการเกษตรในพื้นที่ดังกล่าว

2. ในช่วงปีอนาคตอันไกล (ปีค.ศ. 2083-2099)

- ทั้งแบบจำลอง CNRM และ MIROC5 คาดการณ์ว่าจะเกิดภาวะแล้งมากทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยมีผลกระทบที่รุนแรงและกว้างขวางมากขึ้น ทำให้การเกษตรและการเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่นั้นเป็นอันตรายมากขึ้น

ผลการวิเคราะห์นี้ช่วยให้เราเข้าใจถึงความสำคัญของการตรวจสอบและปรับแบบจำลองเพื่อให้ความแม่นยำและเชื่อถือได้ในการทำนายภาวะแล้งในอนาคต และช่วยให้ผู้บริหารทรัพยากรธรรมชาติและสถานการณ์ภัยพิบัติสามารถวางแผนและปรับปรุงมาตรการป้องกันในอนาคต

ได้อย่างมีประสิทธิภาพและคำนึงถึงความยั่งยืนของระบบชุมชนที่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติทางธรรมชาติได้ดียิ่งขึ้น

5.1.4 การศึกษาผลการคาดการณ์จากแบบจำลองกรณี RCP 8.5 ภายใต้สมมติฐาน ตะวันออกเฉียงเหนือและการใช้แบบจำลอง CESM1_CAM5 ได้แสดงให้เห็นถึงภาวะการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศในพื้นที่ตะวันตกเฉียงเหนือของกลุ่มน้ำ โดยมีผลดังนี้

1. ในช่วงปีอนาคตอันใกล้ (ปี ค.ศ. 2023-2042): แบบจำลอง CESM1_CAM5 พบว่ามีภาวะแล้งปานกลางบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของพื้นที่ลุ่มน้ำ เป็นช่วงเวลาที่มีความร้อนและปริมาณน้ำฝนลดลง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการเกิดภัยแล้งในพื้นที่นี้

2. ในช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 (ปี ค.ศ. 2043-2062): แบบจำลอง CESM1_CAM5 พบว่ามีแนวโน้มของแล้งน้อยถึงปานกลางบริเวณทิศตะวันตกของพื้นที่ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเกิดการขาดน้ำในพื้นที่นี้

3. ในช่วงปีอนาคตช่วงอันไกล (ปี ค.ศ. 2083-2099): แบบจำลอง CESM1_CAM5 พบว่ามีภาวะแล้งมากทั่วทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งเป็นภาวะที่อาจส่งผลกระทบต่อการศึกษาทางเศรษฐกิจและสังคมในพื้นที่นี้

สำหรับแบบจำลอง NorESM พบว่ามีผลคาดการณ์ที่คล้ายคลึงกับแบบจำลอง CESM1_CAM5 โดยมีภาวะแล้งมากบริเวณตะวันตกของกลุ่มน้ำหรือบริเวณอำเภอแก้งคร้อด้านที่ติดกับอำเภอเกษตรสมบูรณ์ในช่วงเวลาเดียวกันทั้งในช่วงปีอนาคตอันใกล้ และช่วงปีอนาคตช่วงกลาง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคมในพื้นที่ดังกล่าวได้

จะเห็นได้ว่าภายใต้อิทธิพลสมมติฐานตะวันออกเฉียงเหนือของแบบจำลองกรณีคาดการณ์สถานะการณ์ RCP 4.5 และกรณีคาดการณ์สถานะการณ์ RCP 8.5 ในปีอนาคต พบว่าเกิดภาวะแห้งแล้งมากในปีอนาคตอันไกล(ปี ค.ศ. 2083-2099)เกือบเต็มพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษาและแล้งน้อยถึงปานกลางในช่วงปีอนาคตช่วงกลางช่วงที่ 1 และช่วงที่กลางช่วงที่ 2 ของบางแบบจำลอง และแล้งมากบางส่วนในพื้นที่ที่ศึกษาในปีอนาคตอันใกล้

5.2 ข้อเสนอแนะ

หลังจากการศึกษาและสรุปผลการวิจัยเรียบร้อยแล้ว พบว่ายังมีประเด็นที่ควรให้ความสำคัญและควรศึกษาต่อไปเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจและข้อมูลที่มีความถูกต้องอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับผู้สนใจในประเด็นที่ศึกษานี้ ดังนั้น ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีดังต่อไปนี้

5.2.1 การเพิ่มจำนวนพื้นที่ศึกษาและข้อมูลพื้นฐาน: การเพิ่มจำนวนพื้นที่ศึกษาและข้อมูลพื้นฐานเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อให้เราเข้าใจความสัมพันธ์ของข้อมูลหรือการยืนยันผลของการศึกษาอย่างมีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

5.2.2 การใช้แบบจำลองที่หลากหลาย: นอกเหนือจากแบบจำลอง CMIP5 ที่ใช้คาดการณ์ปริมาณน้ำฝนแล้ว ยังมีแบบจำลอง CMIP ที่ใหม่กว่า และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดอื่น ๆ ที่ใช้คาดการณ์ปริมาณน้ำฝนด้วย การศึกษาและการใช้แบบจำลองที่หลากหลายนี้จะช่วยให้เราได้ข้อมูลที่ครอบคลุมและมีความถูกต้องในการทำนายสภาพอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ

5.2.3 การศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อสภาพภูมิอากาศ: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกมักมีผลต่อปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความชื้น ความเร็วลม และรังสีจากดวงอาทิตย์ การศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยเหล่านี้เพิ่มเติมจะช่วยให้เราเข้าใจถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพต่าง ๆ ต่อสภาพภูมิอากาศอย่างลึกซึ้งและครอบคลุมมากขึ้น



บรรณานุกรม

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2559). *การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณฝนจากการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต*. [ออนไลน์] ได้จาก : <http://www.phuketmet.tmd.go.th/mypdf/E-Library> [สืบค้นเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565].
- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย 2557. การลดความเสี่ยงจากภัยพิบัติสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน พิมพ์ครั้งที่ 1: พฤศจิกายน 2557 ISBN: 978-974-680-384-7.
- กรรณิการ์ บุตรคำ และรัตนา หอมวิเชียร 2560 การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกที่มีต่อปริมาณน้ำท่าในกลุ่มน้ำห้วยหลวง วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 36 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม-มิถุนายน 2560 หน้า 313-323.
- ทองศักดิ์ อะโน, รัตนา หอมวิเชียร, ณัฐวิทย์ จิตราพิเนตร, สุदारตน์ คำปลิว และ อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง (2556). การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยแล้งด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ., ปีที่ 6, ฉบับที่ 2, หน้า 13-21
- รพีพัฒน์ อิงคสิทธิ์. (2564). นักวิทยาศาสตร์สร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างไร. [ออนไลน์]. ได้จาก : <http://www.salforest.com/blog/climate-model-rcp> [สืบค้นเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565].
- ส่วนอุตุนิยมวิทยาเกษตร สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา (2555). *ดรชชนิความแห้งแล้งสำหรับประเทศไทย 2555*. กรมอุตุนิยมวิทยา, หน้า 1-92.
- ทริส ประสารฉ่ำ และ วินัย เขาวนวิวัฒน์ (2564). *การคาดการณ์ปริมาณฝนตามระดับการใช้ภาพถ่ายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบใหม่ในพื้นที่เขื่อนอุบลรัตน์และเขื่อนลำปาว*. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 1055-1210.
- Change, IPCC Climate. (2014). Synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 151(10.1017).
- Douville, H., et al. (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to 45 the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Hanavan, E. P. and Captain, JR. (1964). A mathematical model of the human body. Aerospace medical research laboratories, Aerospace medical division, Air force systems command, Wright-Patterson air force base, Ohio, USA.

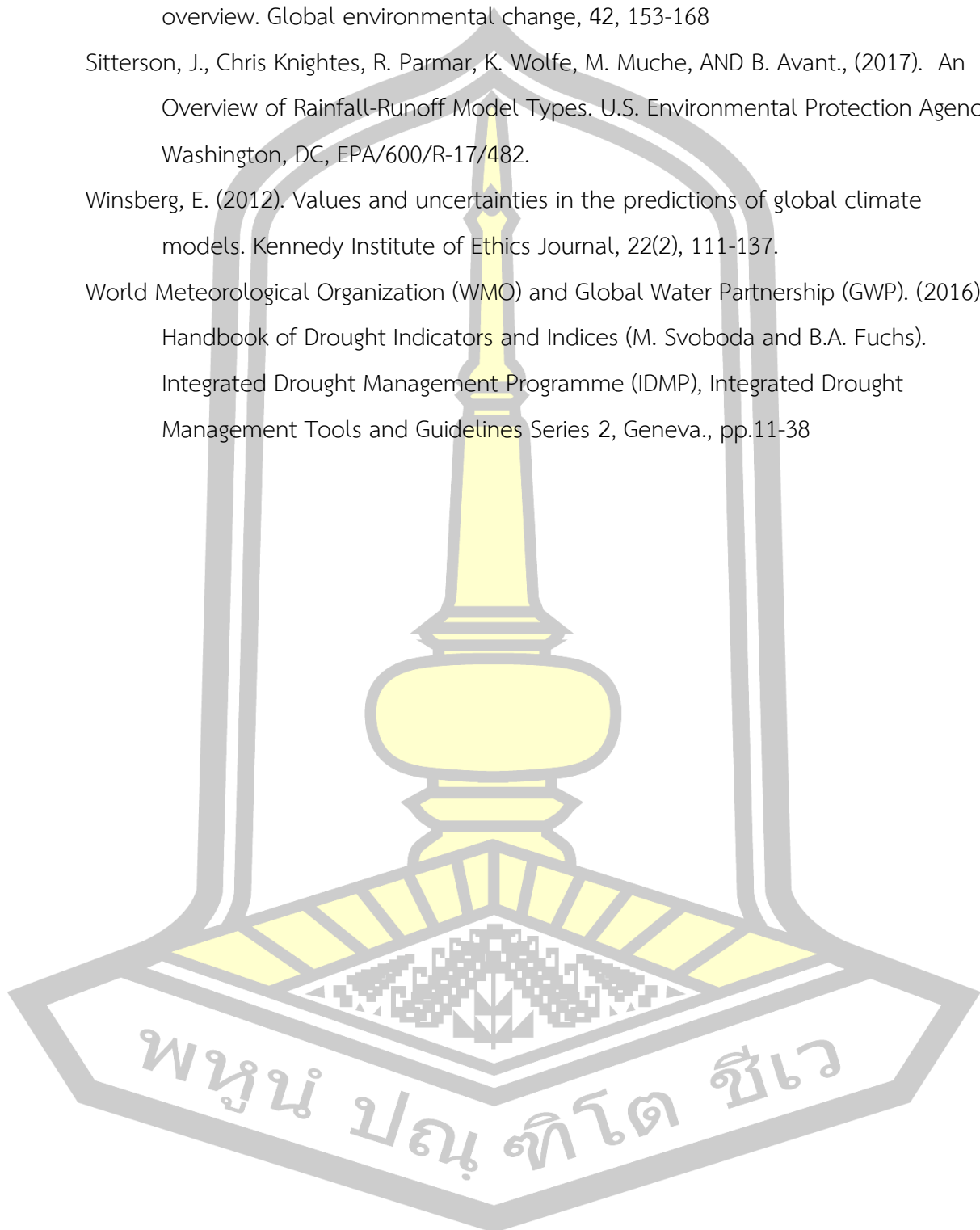
- Heim, R.R. (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, pp.1149–1165.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Keyantash, J. and Dracup, J.A. (2002). The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83, pp.1167–1180.
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391(1-2), 202-216.
- National Research Council (2011). *Advancing the science of climate change*, National Academies Press, 2011.
- NASA (2019). *Water Cycle*. Jet propulsion laboratory, National Aeronautics and Space Administration, November 22, 2019. Web. 14 Jan. 2023.
<<https://airs.jpl.nasa.gov/resources/152/water-cycle/>>.
- NOAA-USGS Debris Flow Task Force (2005) NOAA-USGS debris-flow warning system—final report. U.S.Geological Survey Circular 1283.
- Phumkokrux, N., Sirito, S., Klaynadda, S., and Sonsri, P. (2021). Agricultural Drought Investigation of Northern Thailand Using Generalized Monsoon Index. *Proceedings of The International Conference on Climate Change*, 5(1), 18-26.
- Thailand Climate Change Adaptation Information Platform (T-PLAT). (2565). ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศระดับโลกและประเทศไทย.กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [ออนไลน์]. ได้จาก : <http://t-plat.deqp.go.th/> [สืบค้นเมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565]
- The Hadley Centre (2002). *PRECIS-Update 2002: Providing Regional Climates for Impacts Studies*. Meteorological Office, Hadley Centre, Bracknell, UK, 16 pp.
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate research*, 47(1-2), 123-138.
- Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O’neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., & Fricko, O. (2017). *The Shared Socioeconomic Pathways*

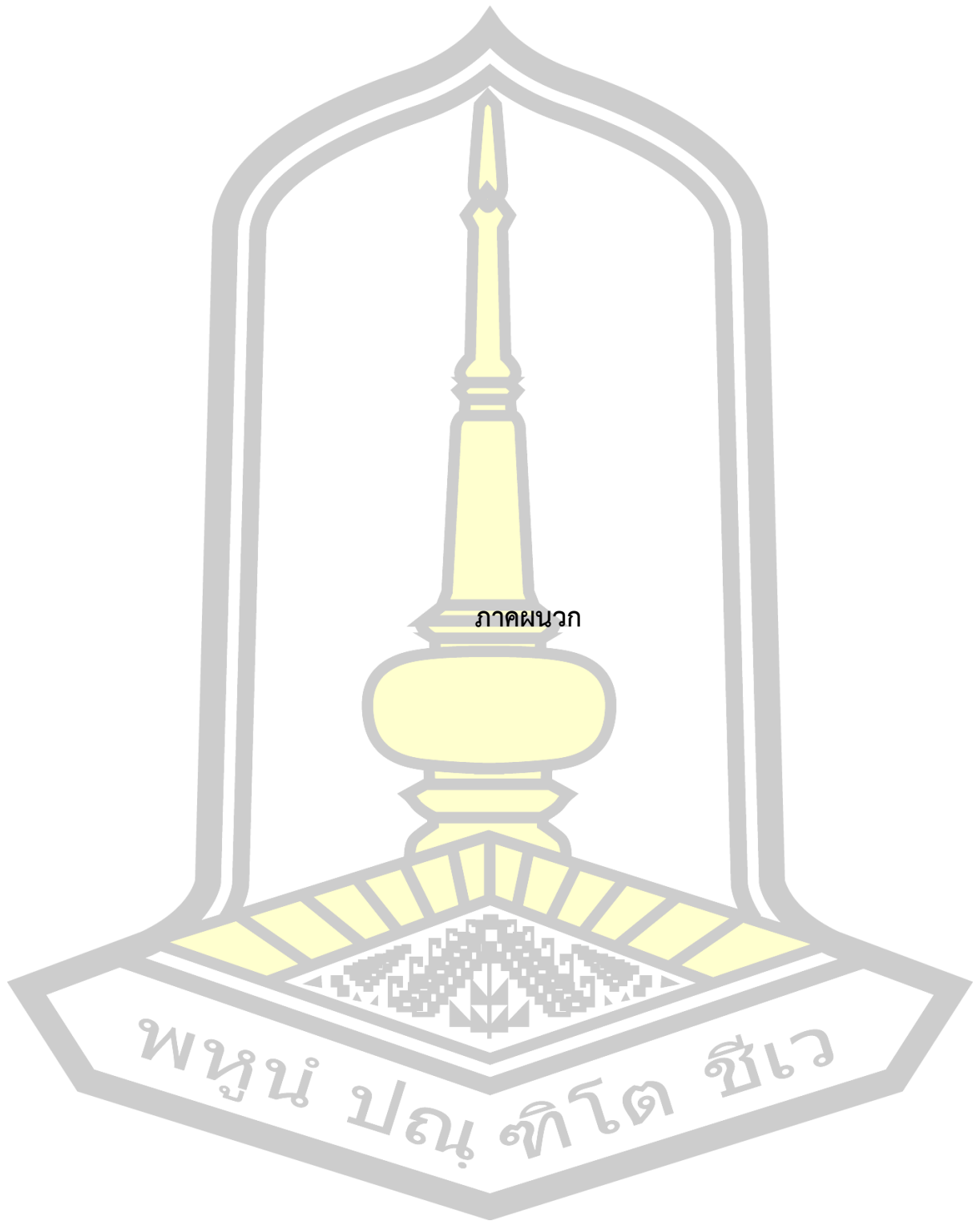
and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global environmental change*, 42, 153-168

Sitterson, J., Chris Knightes, R. Parmar, K. Wolfe, M. Mucche, AND B. Avant., (2017). An Overview of Rainfall-Runoff Model Types. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-17/482.

Winsberg, E. (2012). Values and uncertainties in the predictions of global climate models. *Kennedy Institute of Ethics Journal*, 22(2), 111-137.

World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP). (2016). Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2, Geneva., pp.11-38





ภาคผนวก

พหุณฺ์ ปณฺุ ทิโต ชีเว

ตารางที่ 29 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 403002

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2006	0.0077	0.1482	0.5894	3.3423	4.3190	4.0117	5.7558	10.0171	8.9643	4.9635	0.1073	0.7429
2007	0.0245	0.3382	2.1665	3.4863	6.6029	5.4223	3.5045	5.5971	9.7587	19.4806	0.4057	0.0000
2008	0.0710	0.5396	0.6274	3.3147	4.6197	4.2263	5.6606	7.7777	7.5057	3.8081	0.2880	0.0000
2009	0.0000	0.1800	1.0381	2.9693	3.7526	7.1057	3.4994	6.0303	8.7113	2.8610	0.2373	0.0000
2010	0.3319	0.3918	1.0168	2.8790	3.9942	4.8390	6.7745	5.6139	8.3877	7.4474	0.6740	0.0000
2011	0.5935	0.4679	0.5803	2.6177	4.6484	5.4483	5.3990	4.4613	10.0053	3.3381	0.2657	0.0619
2012	0.0335	0.2354	0.4177	4.1640	3.2313	4.2930	3.8610	6.1668	7.2623	2.1577	0.5230	0.0000
2013	0.0968	0.1461	0.9132	1.9047	2.3694	5.2970	6.0716	5.3629	10.6513	2.0135	0.0953	0.0406
2014	0.6181	0.4596	0.4719	3.5380	5.2384	7.3667	6.1955	9.4277	10.9050	3.2626	0.5803	0.0168
2015	0.0103	1.8668	0.4090	2.3770	7.1690	5.4547	4.5245	5.7510	7.7820	8.0442	4.1783	0.6465
2016	0.0035	0.1564	0.8865	5.3650	7.5642	2.9180	4.6803	9.4706	9.0553	7.0355	0.7770	0.0045
2017	0.0081	0.1946	0.9029	1.6280	5.0987	5.7537	4.1668	5.8997	7.0690	3.6994	1.4467	0.0294
2018	0.0000	0.1939	0.8861	3.2007	3.7319	4.9310	5.6787	6.6784	4.5233	4.3939	2.9220	0.0100
2019	0.0574	0.3039	0.9726	2.3793	3.9890	4.1533	4.6674	5.2571	9.8540	7.8774	1.1953	0.0194
2020	0.0203	0.1932	1.8981	2.4727	4.5845	4.0397	4.4345	6.4555	8.6560	5.4265	1.1350	1.1323
2021	0.1251	0.3877	0.9184	3.0426	4.7275	5.0174	4.9916	6.6645	8.6061	5.7206	0.9887	0.1803
2022	0.1074	0.4461	0.8080	2.7306	4.5167	5.3312	5.1427	6.8513	8.5850	5.5400	0.9892	0.1739

ตารางที่ 30 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 403005

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2006	0.0035	0.1325	0.5603	3.3583	4.2668	4.1380	5.9500	10.3335	8.9280	4.7710	0.1013	0.7110
2007	0.0213	0.3179	2.0768	3.4517	6.6529	5.6600	3.6061	5.7719	9.7050	19.1487	0.3940	0.0000
2008	0.0684	0.5300	0.5916	3.2610	4.6232	4.3590	5.8816	8.0568	7.4713	3.6448	0.2773	0.0000
2009	0.0000	0.1621	0.9694	2.9163	3.7061	7.4687	3.5606	6.1887	8.6920	2.7094	0.2353	0.0032
2010	0.3468	0.3764	0.9755	2.9153	3.9597	5.0450	6.9952	5.7832	8.3253	7.2958	0.6670	0.0000
2011	0.5919	0.4611	0.5471	2.5320	4.7071	5.6577	5.5484	4.5448	9.9810	3.2035	0.2460	0.0597
2012	0.0323	0.2282	0.3774	4.2203	3.1797	4.4473	3.9584	6.3423	7.2423	2.0426	0.5003	0.0000
2013	0.0929	0.1361	0.8716	1.9350	2.3494	5.5200	6.3555	5.4890	10.7003	1.9097	0.0910	0.0410
2014	0.6458	0.4386	0.4345	3.5090	5.3039	7.9250	6.4158	9.7861	10.9950	3.1352	0.5580	0.0174
2015	0.0084	2.0525	0.3577	2.2870	7.2645	5.7480	4.6687	5.8484	7.7220	7.7829	4.3417	0.6348
2016	0.0000	0.1382	0.8281	5.4020	7.6600	2.9447	4.7784	9.7884	9.0217	6.8832	0.7573	0.0052
2017	0.0090	0.1811	0.8477	1.5627	5.1206	6.0783	4.2468	6.0471	7.0310	3.5426	1.4343	0.0274
2018	0.0000	0.1750	0.8445	3.1647	3.6513	5.2667	5.8597	6.7861	4.5163	4.2235	2.8507	0.0100
2019	0.0545	0.2957	0.9019	2.3410	3.9013	4.3030	4.7771	5.3619	9.8527	7.5887	1.2510	0.0184
2020	0.0219	0.1746	1.8748	2.4020	4.6155	4.1693	4.5381	6.6406	8.5913	5.2187	1.1330	1.0800
2021	0.1265	0.3867	0.8706	3.0172	4.7308	5.2487	5.1427	6.8513	8.5850	5.5400	0.9892	0.1739
2022	0.0929	0.1361	0.8716	1.5627	5.1206	6.0783	4.2468	6.0471	7.0310	3.5426	1.4343	0.0274

ตารางที่ 31 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 381003

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2006	0.0074	0.1461	0.6074	3.4353	4.3871	4.0980	5.8455	10.0606	9.1297	5.0497	0.1233	0.7781
2007	0.0206	0.3307	2.1639	3.5803	6.7819	5.4983	3.5903	5.6752	9.9183	19.3955	0.4180	0.0000
2008	0.0719	0.5382	0.6632	3.3960	4.7532	4.2997	5.7903	7.8732	7.7050	3.8471	0.2953	0.0000
2009	0.0000	0.1775	1.0881	3.0107	3.8435	7.0727	3.5581	6.1342	8.8813	2.8987	0.2330	0.0032
2010	0.3384	0.3986	1.0516	2.9197	4.0642	4.8883	6.8677	5.7119	8.5483	7.4468	0.6503	0.0000
2011	0.5965	0.4614	0.6116	2.6677	4.7190	5.5550	5.5235	4.5313	10.1450	3.3848	0.2720	0.0668
2012	0.0342	0.2343	0.4548	4.2047	3.2994	4.3710	3.9410	6.2913	7.4547	2.2419	0.5270	0.0000
2013	0.0990	0.1464	0.9390	1.9350	2.4184	5.3637	6.1929	5.4529	10.7893	2.1097	0.1027	0.0419
2014	0.6290	0.4664	0.5081	3.5807	5.3710	7.4380	6.2987	9.5210	11.0563	3.2565	0.5700	0.0158
2015	0.0100	1.8968	0.4487	2.4087	7.1584	5.5237	4.5968	5.7852	7.9803	8.0355	3.9733	0.6713
2016	0.0035	0.1561	0.9271	5.4190	7.6306	2.9927	4.7542	9.5523	9.2507	7.0568	0.7800	0.0081
2017	0.0081	0.1961	0.9452	1.6717	5.1997	5.8280	4.2535	5.9971	7.2590	3.7432	1.3573	0.0300
2018	0.0000	0.1864	0.9023	3.2860	3.8287	4.9887	5.7977	6.7532	4.6800	4.4568	2.7320	0.0094
2019	0.0590	0.3061	1.0158	2.4317	4.0681	4.2343	4.7523	5.3445	10.0233	7.8435	1.1717	0.0190
2020	0.0181	0.1907	1.9290	2.5283	4.6616	4.1243	4.5145	6.5290	8.8063	5.4926	1.0893	1.1432
2021	0.1264	0.3888	0.9504	3.0984	4.8123	5.0851	5.0851	6.7475	8.7752	5.7506	0.9530	0.1858
2022	0.0545	0.2957	0.9019	2.3410	3.9013	4.9887	5.7977	6.7532	4.6800	4.4568	2.7320	0.0094

ตารางที่ 32 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 381008

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2006	0.0000	0.1407	0.5342	3.5623	4.2516	4.1040	5.9974	10.3752	9.0180	4.6068	0.0750	0.8026
2007	0.0042	0.2986	1.9306	3.5320	6.6097	5.6023	3.5655	5.6655	9.7500	20.7148	0.3467	0.0000
2008	0.0706	0.5154	0.6035	3.3977	4.6258	4.4327	5.8816	8.0410	7.5150	3.2965	0.2320	0.0000
2009	0.0000	0.1693	0.9939	3.0460	3.6523	7.2967	3.3916	6.0994	8.6860	2.3613	0.1663	0.0000
2010	0.2974	0.3779	0.9816	3.0400	3.8974	5.0223	6.9926	5.7871	8.2917	7.2135	0.5847	0.0000
2011	0.6452	0.4454	0.5732	2.4623	4.7342	5.6470	5.5677	4.4923	10.0250	2.9548	0.2113	0.0635
2012	0.0348	0.2239	0.3745	4.3830	3.0768	4.3780	3.9571	6.2645	7.2033	1.7513	0.4493	0.0000
2013	0.0945	0.1332	0.8990	1.9577	2.2971	5.4123	6.0600	5.3052	10.7073	1.6858	0.0687	0.0284
2014	0.6726	0.4096	0.4232	3.6013	5.3952	7.8243	6.4142	9.9590	11.1410	2.8723	0.5010	0.0055
2015	0.0000	1.9782	0.3681	2.1967	7.2342	5.6453	4.6042	5.8865	7.6867	7.8235	4.1637	0.6752
2016	0.0000	0.1429	0.8284	5.2720	7.5397	2.9763	4.6968	10.0961	9.1447	7.1639	0.6740	0.0032
2017	0.0000	0.1839	0.8494	1.5833	5.2929	6.0723	4.2445	6.0816	6.9653	3.2861	1.3183	0.0306
2018	0.0000	0.1704	0.7755	3.2953	3.7977	5.1413	5.7468	6.8197	4.3893	4.1403	2.7660	0.0074
2019	0.0494	0.2846	0.8210	2.3900	4.0768	4.3223	4.8316	5.3068	10.0103	7.7894	1.0320	0.0135
2020	0.0106	0.1664	1.8861	2.3470	4.6803	4.1320	4.5219	6.6252	8.5363	5.0981	1.0243	1.2761
2021	0.1253	0.3760	0.8562	3.0711	4.7441	5.2006	5.0982	6.8537	8.6047	5.5172	0.9076	0.1937
2022	0.0000	0.1429	0.8284	5.2720	3.7977	5.1413	5.7468	6.8197	4.3893	4.1403	2.7660	0.0074

ตารางที่ 33 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 381025

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2006	0.0000	0.1554	0.5371	3.5720	4.2674	4.1663	6.0239	10.3184	9.1467	4.7035	0.0920	0.8184
2007	0.0077	0.3143	1.8887	3.5523	6.6723	5.6350	3.6326	5.7342	9.8557	20.1790	0.3683	0.0000
2008	0.0716	0.5257	0.6223	3.4010	4.7081	4.4780	5.9523	8.0829	7.7017	3.3784	0.2447	0.0000
2009	0.0000	0.1857	1.0142	3.0173	3.7058	7.1990	3.4558	6.1774	8.8257	2.4629	0.1703	0.0000
2010	0.2990	0.3986	0.9887	3.0087	3.9345	5.0360	7.0058	5.8581	8.4450	7.1719	0.5900	0.0000
2011	0.6100	0.4579	0.5890	2.4733	4.7213	5.7073	5.6355	4.5603	10.1093	3.0332	0.2230	0.0697
2012	0.0339	0.2357	0.3997	4.3083	3.1284	4.4327	4.0132	6.3648	7.3840	1.8723	0.4677	0.0000
2013	0.0948	0.1464	0.8994	1.9397	2.3171	5.4450	6.1461	5.3913	10.7920	1.8097	0.0817	0.0297
2014	0.6561	0.4321	0.4474	3.5637	5.4416	7.7930	6.4455	9.9477	11.2037	2.9061	0.5113	0.0055
2015	0.0035	1.9289	0.3935	2.1973	7.1032	5.6630	4.6503	5.8981	7.8893	7.7629	4.0893	0.6910
2016	0.0000	0.1532	0.8461	5.2223	7.4619	3.0457	4.7535	10.0439	9.2853	7.0652	0.7020	0.0068
2017	0.0032	0.1982	0.8710	1.6020	5.3068	6.0743	4.3142	6.1468	7.1630	3.3665	1.2910	0.0316
2018	0.0000	0.1800	0.7771	3.3120	3.8574	5.1343	5.8232	6.8584	4.5757	4.1868	2.7043	0.0074
2019	0.0500	0.3068	0.8500	2.3940	4.1077	4.3757	4.8787	5.3829	10.1027	7.6826	1.0430	0.0148
2020	0.0100	0.1889	1.8577	2.3663	4.6768	4.1960	4.5797	6.6716	8.6713	5.1752	1.0160	1.2506
2021	0.1227	0.3872	0.8655	3.0620	4.7607	5.2254	5.1540	6.8958	8.7434	5.5171	0.9063	0.1950
2022	0.0339	0.2357	0.3997	4.3083	3.1284	4.1960	4.5797	6.6716	8.6713	5.1752	1.0160	1.2506

ตารางที่ 34 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 360005

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2006	0.0000	0.1350	0.4439	3.3860	4.0355	4.0860	6.1100	10.7242	8.7680	4.1094	0.0397	0.8839
2007	0.0039	0.2632	1.5948	3.2623	6.0313	5.6423	3.5148	5.6890	9.4260	20.5742	0.2860	0.0000
2008	0.0723	0.4768	0.5235	3.2147	4.3510	4.5667	5.8819	8.1961	7.2363	2.8065	0.1740	0.0000
2009	0.0000	0.1668	0.8755	2.9017	3.3845	7.4617	3.2381	6.1177	8.3407	1.9671	0.1137	0.0000
2010	0.2145	0.3482	0.8500	2.8840	3.6584	5.1220	7.0684	5.8942	7.9523	6.6190	0.5337	0.0000
2011	0.5984	0.4200	0.5135	2.2550	4.4929	5.6827	5.5797	4.5390	9.7257	2.5839	0.1803	0.0516
2012	0.0355	0.2096	0.3158	4.1297	2.8335	4.3507	3.9629	6.2674	6.8463	1.3855	0.4107	0.0000
2013	0.0923	0.1204	0.8171	1.8270	2.1232	5.4010	5.7603	5.2061	10.3213	1.3539	0.0453	0.0068
2014	0.6226	0.3486	0.3529	3.3540	5.1348	7.9700	6.4642	10.3832	10.8997	2.5355	0.4550	0.0000
2015	0.0000	1.9396	0.3197	1.9353	6.8458	5.6637	4.5874	6.1352	7.3197	7.3077	5.6467	0.6855
2016	0.0000	0.1179	0.7065	4.6070	6.9352	2.9987	4.6494	10.6581	8.8833	6.7265	0.5873	0.0000
2017	0.0000	0.1732	0.7384	1.5377	5.1545	6.2053	4.2535	6.2284	6.5770	2.8842	1.2837	0.0297
2018	0.0000	0.1486	0.6226	3.1460	3.7810	5.1540	5.6248	7.0255	4.0530	3.7297	2.8573	0.0048
2019	0.0448	0.2489	0.6284	2.2260	4.0742	4.3900	4.9223	5.3571	9.7860	7.3877	0.8690	0.0116
2020	0.0000	0.1568	1.6645	2.0927	4.4658	4.1200	4.5313	6.7826	8.1777	4.6677	0.9453	1.5481
2021	0.1123	0.3516	0.7311	2.8506	4.4868	5.2543	5.0766	7.0136	8.2875	5.1092	0.9618	0.2148
2022	0.0000	0.1800	0.7771	3.3120	3.8574	5.1343	5.1540	6.8958	8.7434	5.5171	0.9063	0.1950

ตารางที่ 35 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 353011

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2006	0.0000	0.0918	0.5487	3.2623	4.2029	4.5057	5.7955	9.5565	9.8687	6.0526	0.1877	0.8435
2007	0.0248	0.3114	2.0552	3.7033	7.7761	5.7540	3.8539	5.7448	10.8377	15.9158	0.4703	0.0000
2008	0.0490	0.5586	0.6052	3.1633	4.9781	4.2487	6.1081	7.9287	8.6633	4.7977	0.3770	0.0032
2009	0.0000	0.1546	0.9581	2.5943	4.1403	6.5677	3.8571	6.3490	9.9153	3.7755	0.2720	0.0068
2010	0.4871	0.4225	1.0790	2.4570	4.0410	4.8097	6.9426	5.7865	9.4883	7.4832	0.5607	0.0000
2011	0.5061	0.4629	0.5542	2.5180	4.4752	5.9790	5.8206	4.5494	10.8627	4.0539	0.3230	0.0858
2012	0.0213	0.2225	0.4477	3.6653	3.5013	4.6620	4.0387	6.6587	8.6167	3.3965	0.5557	0.0000
2013	0.0919	0.1489	0.6626	1.7137	2.5213	5.6170	7.0761	5.8861	11.9173	3.2735	0.1640	0.0658
2014	0.5835	0.5832	0.4910	3.3570	5.3229	7.4323	6.4887	9.0187	11.6210	3.5274	0.5733	0.0252
2015	0.0071	2.1036	0.3319	2.5763	6.3171	5.6890	4.6787	5.1835	9.2223	7.7345	3.0973	0.6674
2016	0.0000	0.1432	0.7932	6.0523	7.7381	3.1397	4.9665	8.8548	10.1967	6.8619	0.9073	0.0181
2017	0.0110	0.1732	0.8810	1.3197	4.7068	5.9053	4.3555	5.9977	8.6057	4.4571	1.2427	0.0142
2018	0.0000	0.1771	0.9274	2.9110	3.3300	5.2233	6.4135	6.5277	5.8567	5.1010	2.4650	0.0061
2019	0.0735	0.3754	1.2687	2.3333	3.3900	4.3773	4.7077	5.4313	10.7037	7.1684	1.2747	0.0200
2020	0.0177	0.1625	1.6952	2.6870	4.4306	4.4983	4.5942	6.3281	9.7327	6.0197	1.1817	0.5955
2021	0.1249	0.4061	0.8866	2.9543	4.7248	5.2273	5.3132	6.6534	9.7406	5.9746	0.9102	0.1568
2022	0.0000	0.1568	1.6645	2.0927	4.4658	5.6637	4.5874	6.1352	7.3197	7.3077	5.6467	0.6855

ตารางที่ 36 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 360003

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2006	0.0084	0.2261	0.5903	3.6427	4.4323	4.1783	6.0013	10.1413	9.3287	4.9074	0.1260	0.8545
2007	0.0161	0.3954	1.8881	3.6407	6.6626	5.5750	3.7035	5.8245	9.9527	19.5252	0.4327	0.0000
2008	0.0745	0.5836	0.7216	3.5153	4.9171	4.5310	5.9468	8.0397	7.9833	3.5635	0.2873	0.0000
2009	0.0000	0.2486	1.1471	3.0840	3.8597	6.9950	3.5500	6.2703	8.9810	2.6990	0.1860	0.0000
2010	0.2761	0.4757	1.0065	3.0127	4.1097	5.0117	6.9158	5.9406	8.6767	7.1848	0.6330	0.0000
2011	0.5323	0.5154	0.6706	2.6393	4.7745	5.6773	5.6658	4.7016	10.1847	3.2465	0.2827	0.0842
2012	0.0358	0.2882	0.5039	4.2407	3.2948	4.4463	4.0926	6.4677	7.6097	2.0877	0.5357	0.0000
2013	0.1055	0.2025	0.9845	1.9503	2.3977	5.3903	6.0261	5.4819	10.7397	2.0119	0.0977	0.0223
2014	0.6074	0.5021	0.5529	3.5670	5.5800	7.5410	6.3729	9.8481	11.1833	3.0713	0.5563	0.0097
2015	0.0110	1.7389	0.5397	2.2373	6.9894	5.5727	4.6884	6.0381	8.1797	7.8416	3.8797	0.7374
2016	0.0045	0.2104	0.9694	5.0133	7.2871	3.1547	4.8139	9.8835	9.4510	6.9077	0.7683	0.0065
2017	0.0000	0.2604	0.9610	1.7817	5.4723	5.9590	4.4432	6.2429	7.4080	3.5865	1.2590	0.0394
2018	0.0000	0.2371	0.8161	3.4660	4.1826	4.9793	5.7900	6.9761	4.8323	4.3094	2.6263	0.0094
2019	0.0574	0.3804	0.9329	2.4650	4.4048	4.4003	4.9594	5.5313	10.1853	7.7010	1.0570	0.0194
2020	0.0097	0.2536	1.8561	2.4567	4.7471	4.2173	4.6687	6.7535	8.8657	5.4323	0.9993	1.2997
2021	0.1159	0.4345	0.9427	3.1142	4.8741	5.1753	5.1759	6.9428	8.9041	5.6051	0.9151	0.2055
2022	0.0358	0.2882	0.5039	4.2407	3.2032	4.5353	4.6990	5.4406	11.4667	6.6955	1.3777	0.0297

ตารางที่ 37 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 353013

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2006	0.0032	0.1118	0.5010	3.5633	3.9410	4.7043	5.7332	8.9348	10.8387	6.5452	0.2187	0.9632
2007	0.0190	0.3064	1.7045	3.8817	8.1539	5.8833	4.0052	5.8681	11.5687	14.4223	0.5337	0.0000
2008	0.0326	0.5304	0.6681	3.1373	5.3106	4.3430	6.2968	7.9874	9.8970	5.0071	0.4257	0.0081
2009	0.0068	0.1800	0.9548	2.3817	4.2255	6.0103	3.8945	6.3352	10.9813	4.0339	0.2693	0.0097
2010	0.5626	0.4821	1.0216	2.3973	4.0171	4.7943	6.7390	5.9132	10.5707	7.5010	0.5080	0.0000
2011	0.3532	0.4554	0.6065	2.3380	4.3500	6.1890	5.8548	4.5594	11.5490	4.2200	0.3427	0.1187
2012	0.0132	0.2418	0.4994	3.4143	3.5477	4.7953	4.1200	6.8706	9.8253	3.6823	0.5683	0.0000
2013	0.0890	0.1743	0.5748	1.6533	2.4658	5.7017	7.4177	5.9839	13.0303	3.6874	0.1873	0.0587
2014	0.5787	0.6118	0.5313	3.1867	5.5661	7.5353	6.4323	8.7665	12.4617	3.5048	0.5713	0.0232
2015	0.0084	2.1671	0.3487	2.3710	5.6890	5.7393	4.7165	4.7829	10.6133	7.4490	2.5623	0.7548
2016	0.0000	0.1668	0.7865	6.0390	7.2919	3.2583	4.9945	8.3461	11.2150	6.7923	1.0003	0.0268
2017	0.0184	0.2114	0.8913	1.2233	4.7084	5.9213	4.4377	6.0300	10.0213	4.7139	1.1780	0.0087
2018	0.0000	0.1686	0.8526	2.9410	3.2926	5.2720	6.6142	6.2310	7.2127	5.2229	2.3197	0.0039
2019	0.0742	0.4679	1.2916	2.2800	3.2032	4.5353	4.6990	5.4406	11.4667	6.6955	1.3777	0.0297
2020	0.0142	0.1757	1.5881	2.6803	4.3303	4.7017	4.6390	6.2413	10.6103	6.3003	1.2300	0.3674
2021	0.1182	0.4301	0.8547	2.8992	4.6729	5.2923	5.3730	6.5527	10.7908	5.9852	0.8862	0.1582
2022	0.0110	1.7389	0.5397	2.2373	4.4048	4.4003	4.9594	5.5313	10.1853	7.7010	1.0570	0.0194

ตารางที่ 38 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 360002

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2006	0.0087	0.1532	0.4387	3.6577	3.6290	4.9013	5.7645	8.4187	12.0117	6.9477	0.2870	0.9848
2007	0.0271	0.3432	1.3681	3.8913	8.2335	5.9820	4.2394	6.0842	12.3350	12.4761	0.6273	0.0000
2008	0.0271	0.5125	0.7106	2.9913	5.4723	4.4453	6.5448	8.0645	11.2313	5.3255	0.5053	0.0161
2009	0.0168	0.2121	0.9290	2.1150	4.2287	5.4827	4.0255	6.4271	12.2910	4.4658	0.2967	0.0171
2010	0.5581	0.5261	0.9623	2.2080	3.9168	4.7647	6.6513	6.1187	11.8907	7.3987	0.4843	0.0039
2011	0.2148	0.4607	0.6484	2.1043	4.1242	6.3580	5.9810	4.6697	12.4173	4.4829	0.4050	0.1700
2012	0.0074	0.2557	0.5368	3.0337	3.5187	4.9290	4.2961	7.1419	11.2050	4.1855	0.6173	0.0000
2013	0.0968	0.2093	0.4803	1.5157	2.3832	5.7643	7.7865	6.1468	14.6947	4.2506	0.2437	0.0665
2014	0.5342	0.6304	0.5677	2.9210	5.6287	7.5077	6.4558	8.5668	13.4433	3.5968	0.6097	0.0345
2015	0.0103	1.9575	0.3552	2.1260	4.9894	5.7490	4.8329	4.5261	12.3760	7.1323	2.0040	0.8084
2016	0.0000	0.2171	0.7629	5.7490	6.7035	3.4133	5.1365	7.9077	12.3173	6.5265	1.1097	0.0494
2017	0.0271	0.2668	0.8942	1.0897	4.5997	5.8950	4.6245	6.1587	11.7930	4.9823	1.0757	0.0000
2018	0.0000	0.1707	0.7748	2.8207	3.2032	5.2137	6.8932	6.0894	9.0067	5.3961	2.1387	0.0045
2019	0.0742	0.5600	1.2710	2.1333	2.9842	4.6787	4.7997	5.5632	12.2970	6.1632	1.4593	0.0510
2020	0.0087	0.2164	1.4194	2.6027	4.1355	4.8830	4.7771	6.2574	11.5680	6.5181	1.2360	0.1577
2021	0.1074	0.4461	0.8080	2.7306	4.5167	5.3312	5.5206	6.5427	12.0585	5.9899	0.8733	0.1576
2022	0.0087	3.9168	4.7647	6.6513	6.1187	11.8907	0.1707	0.7748	13.4433	3.5968	0.6097	0.0345

ตารางที่ 39 ข้อมูลพยากรณ์ของสถานี 353009

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2006	0.0068	0.1021	0.4868	3.4020	3.9590	4.9077	5.9087	9.0326	10.7867	6.6026	0.2410	0.9248
2007	0.0235	0.3107	1.7013	3.8217	8.4158	6.0673	4.2068	5.9981	11.6330	13.3087	0.5480	0.0000
2008	0.0290	0.5421	0.6194	3.0390	5.3290	4.4210	6.6074	8.1506	9.8917	5.2058	0.4497	0.0097
2009	0.0074	0.1686	0.8897	2.2613	4.2948	6.0463	4.1197	6.5752	11.0087	4.2177	0.2897	0.0116
2010	0.5903	0.4729	1.0190	2.2697	4.0381	4.8867	7.0016	6.0532	10.5447	7.3861	0.5023	0.0000
2011	0.3271	0.4468	0.5581	2.3053	4.3268	6.4217	6.1500	4.6726	11.5607	4.3816	0.3610	0.1219
2012	0.0106	0.2282	0.4748	3.2863	3.6068	4.9903	4.2648	7.1103	9.8930	4.0223	0.5797	0.0000
2013	0.0848	0.1725	0.5071	1.5993	2.5168	5.8893	7.9274	6.2468	13.0093	3.9700	0.2023	0.0861
2014	0.5552	0.6318	0.5061	3.1053	5.5455	7.7047	6.7168	8.8345	12.4000	3.5523	0.5820	0.0316
2015	0.0084	2.0907	0.2968	2.4207	5.5445	5.9387	4.8955	4.7803	10.6233	7.2777	2.3680	0.7390
2016	0.0000	0.1632	0.7203	6.1983	7.4313	3.3740	5.1939	8.3655	11.2307	6.5813	1.0167	0.0348
2017	0.0213	0.1993	0.8406	1.1313	4.5561	6.0827	4.5903	6.1542	10.0633	4.8090	1.1410	0.0061
2018	0.0000	0.1761	0.8519	2.8183	3.1587	5.4500	6.9965	6.3371	7.2280	5.3455	2.2273	0.0035
2019	0.0777	0.4668	1.3177	2.2503	3.0365	4.6670	4.8239	5.5997	11.4660	6.4071	1.4060	0.0374
2020	0.0155	0.1746	1.5261	2.6740	4.2926	4.8880	4.8058	6.3342	10.6540	6.2974	1.2407	0.2597
2021	0.1172	0.4231	0.8211	2.8389	4.6702	5.4490	5.6139	6.6830	10.7995	5.9577	0.8770	0.1511
2022	0.0000	0.1707	0.7748	2.8207	4.6670	4.8239	5.5997	11.4660	6.4071	1.4060	0.7203	6.1983

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายฉิมรภัธ ศรีเนตร
วันเกิด	วันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2523
สถานที่เกิด	อำเภอเชียงใน จังหวัดอุบลราชธานี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 25/1 หมู่ที่ 1 ตำบลวังม่วง อำเภอเปือยน้อย จังหวัดขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40340
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	วิศวกรโยธาชำนาญการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	องค์การบริหารส่วนจังหวัดขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น รหัสไปรษณีย์ 40000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2548 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2567 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูนุ่ ปณุ่ ทีโตะ ชีเว