



## กรมอุตุนิยมวิทยา

4353 ถนนสุขุมวิท กรุงเทพฯ 10260

METEOROLOGICAL DEPARTMENT

4353 Sukhumvit Road, Bangkok 10260, THAILAND

### เอกสารวิชาการ

การประยุกต์ใช้ละติจูดเพื่อทดแทนค่าความยาวนานแสงแดด สำหรับการพยากรณ์  
ดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (MAI) ราย ๑๐ วัน ด้วยข้อมูล TMD-HPC  
เปรมวดี ไตรตั้งวงศ์

Applying Latitude as a Surrogate for Sunshine Duration in the 10-Day  
Forecasting of Moisture Availability Index (MAI) using TMD-HPC data  
PREMWADEE TRAITANGWONG

เอกสารวิชาการ เลขที่

Technical Document No.

ISBN:

การประยุกต์ใช้ละติจูดเพื่อทดแทนค่าความยาวนานแสงแดด สำหรับการพยากรณ์  
ดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (MAI) ราย ๑๐ วัน ด้วยข้อมูล TMD-HPC  
Applying Latitude as a Surrogate for Sunshine Duration in the 10-Day Forecasting  
of Moisture Availability Index (MAI) using TMD-HPC data

เปรมวดี ไตรตั้งวงศ์  
ส่วนอุตุนิยมวิทยาเกษตร  
กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา  
ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๖๘

PREMWADEE TRAITANGWONG  
AGROMETEOROLOGY SUB-DIVISION  
METEOROLOGICAL DEVELOPMENT DIVISION  
DECEMBER 2025

## บทคัดย่อภาษาไทย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของการใช้พิกัดละติจูดเป็นตัวแปรทดแทนค่าความยาวนานแสงแดดในการคำนวณดัชนีที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (MAI) และเพื่อพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ดัชนี MAI ล่วงหน้า 10 วัน โดยประยุกต์ใช้ข้อมูลพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลขจากระบบ TMD-HPC การศึกษาดำเนินการโดยวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลย้อนหลังในปี พ.ศ. 2563 จากสถานีตรวจวัดอากาศจำนวน 56 สถานีทั่วประเทศ และพัฒนาแบบจำลองต้นแบบด้วยภาษา Python เพื่อประมวลผลข้อมูลในรูปแบบพิกัดสถานีและข้อมูลกริดความละเอียดสูง

ผลการศึกษาพบว่า การใช้พิกัดละติจูดเพื่อคำนวณค่ารังสีดวงอาทิตย์ทดแทนข้อมูลความยาวนานแสงแดดที่ขาดหายไป มีประสิทธิภาพสูงและมีความแม่นยำที่เชื่อถือได้ โดยค่าดัชนี MAI ที่คำนวณได้มีความสัมพันธ์กับค่าตรวจวัดจริงในระดับสูงมาก ( $R^2 > 0.99$ ) ในทุกช่วงฤดูกาล และมีความถูกต้องในการจำแนกระดับความชื้น (MAI Level) สูงกว่าร้อยละ 92

สำหรับการพยากรณ์ดัชนี MAI ล่วงหน้า 10 วัน แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถจำแนกสถานการณ์ความชื้นในแต่ละพื้นที่ได้อย่างชัดเจนและสอดคล้องกับปริมาณฝนที่คาดการณ์ไว้ นอกจากนี้ ผลการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ยืนยันว่าแผนที่จากข้อมูลกริด (Grid Data) ที่ความละเอียด  $9 \times 9$  กิโลเมตร มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริงมากกว่าจากข้อมูลอ้างอิงพิกัดสถานี (128 สถานี) เนื่องจากให้รายละเอียดและความคมชัดที่สูงกว่าได้ลึกถึงระดับอำเภอและตำบล ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการข้อมูลเพื่อการเกษตรแม่นยำ จึงได้นำรูปแบบข้อมูลกริดมาใช้เป็นรูปแบบมาตรฐานสำหรับการเผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะ เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำ และลดความเสี่ยงจากภัยธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## ABSTRACT

The objectives of this study were to verify the efficiency of using latitude as a surrogate variable for sunshine duration in calculating the Moisture Availability Index (MAI) and to develop a 10-day MAI forecasting model by applying Numerical Weather Prediction (NWP) data from the TMD-HPC system. This study was conducted by analyzing and comparing historical data from 2020 obtained from 56 meteorological stations nationwide and developing a prototype model using Python to process data in both station-based and high-resolution grid formats.

The results revealed that using latitude to estimate solar radiation as a substitute for missing sunshine duration data yielded high efficiency and reliable accuracy. The calculated MAI values showed a very high correlation with observed values ( $R^2 > 0.99$ ) across all seasons, with an accuracy in classifying MAI levels exceeding 92%.

Regarding the 10-day MAI forecasting, the developed model successfully classified moisture conditions in each area, consistent with the predicted rainfall. Furthermore, spatial comparison confirmed that the map generated from Grid Data (9x9 km resolution) was more suitable for practical application than the station-referenced data (128 stations). This is primarily due to its ability to provide higher detail and definition down to the district and sub-district levels, aligning with the requirements for precision agriculture. Consequently, the grid-based data format was implemented as the standard format for public dissemination to effectively support decision-making in water management and natural disaster risk reduction.

## สารบัญ

หน้า

|                                                                             |  |
|-----------------------------------------------------------------------------|--|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....ค                                                       |  |
| ABSTRACT ..... ง                                                            |  |
| สารบัญ .....จ                                                               |  |
| สารบัญตาราง .....ช                                                          |  |
| สารบัญภาพ ..... ซ                                                           |  |
| 1. บทนำ ..... 1                                                             |  |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา ..... 1                                       |  |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... 2                                                     |  |
| 1.3 ขอบเขตของการดำเนินการ ..... 2                                           |  |
| 1.4 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ..... 4                                      |  |
| 1.5 ทฤษฎี และ/หรือแนวความคิดที่นำมาใช้ในการศึกษา ..... 6                    |  |
| 1.6 วิธีดำเนินการศึกษา ..... 12                                             |  |
| 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 13                                       |  |
| 2. ข้อมูลและวิธีดำเนินการ..... 14                                           |  |
| 2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา..... 14                                          |  |
| 2.2 วิธีการดำเนินการศึกษา..... 14                                           |  |
| 3. ผลการดำเนินการ ..... 22                                                  |  |
| 3.1 ผลการยืนยันประสิทธิภาพของการใช้ละติจูดทดแทนค่าความยาวนานแสงแดด ..... 22 |  |
| 3.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ดัชนี MAI ล่วงหน้า 10 วัน ..... 30          |  |
| 3.3 ผลการจัดทำแผนที่เชิงพื้นที่และการเปรียบเทียบความละเอียดข้อมูล..... 31   |  |
| 4. สรุปการดำเนินการ ..... 34                                                |  |
| 4.1 สรุปผลการดำเนินการ ..... 34                                             |  |

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2 วิจัยรณัผลการดำเนนการ.....                                                                                                       | 35 |
| 4.3 ข้อเสนอแนะ.....                                                                                                                  | 36 |
| บรรณานุกรม.....                                                                                                                      | 37 |
| ภาคผนวก .....                                                                                                                        | 40 |
| ภาคผนวก ก. การเปรยบเทยบค่า PET, ดัชนี MAI และระดับความซ้นที่เป้นประโยชน์ต่อ<br>พืชของแต่ละสถานเญกรณเญศเญษาในช่วฤดูร้อนและฤดูฝน ..... | 41 |

## สารบัญตาราง

|                                                                                                                                 | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 1.1 เกณฑ์การจำแนกระดับความขึ้นของดัชนี MAI (อ้างอิง Hargreaves (1972) และกรมอุตุนิยมหาวิทยาลัยไทย).....                | 7    |
| ตารางที่ 2.1 รายละเอียดการตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยของสถานีอุตุนิยมหาวิทยาลัยของประเทศไทย.....                            | 15   |
| ตารางที่ 2.1 การกำหนดช่วงเวลา 10 วัน ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการทดแทนตัวแปรความยาวนานแสงแดด ตามฤดูกาลหลักของประเทศไทย.....  | 20   |
| ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบค่า PET, ดัชนี MAI และระดับความขึ้นของแต่ละสถานีกรณีศึกษาในช่วงฤดูหนาว (11 – 20 มกราคม 2563).....    | 23   |
| ตารางที่ 3.2 ผลการเปรียบเทียบเชิงสถิติระหว่างค่าดัชนี $MAI_{lat}$ และ $MAI_{obs}$ .....                                         | 26   |
| ตารางที่ 3.3 ร้อยละความสอดคล้องของการจัดระดับความขึ้น ( $MAI_{lat}$ เทียบกับ $MAI_{obs}$ ).....                                 | 26   |
| ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างผลลัพธ์การพยากรณ์ค่าดัชนี MAI และระดับความขึ้นราย 10 วัน จำแนกตามสถานีตัวแทน (22 – 29 พฤศจิกายน 2568)..... | 30   |
| ตารางที่ ก.1 การเปรียบเทียบค่า PET, ดัชนี MAI และระดับความขึ้นของแต่ละสถานีกรณีศึกษาในช่วงฤดูร้อน (11 – 20 เมษายน 2563).....    | 42   |
| ตารางที่ ก.2 การเปรียบเทียบค่า PET, ดัชนี MAI และระดับความขึ้นของแต่ละสถานีกรณีศึกษาในช่วงฤดูฝน (11 – 20 สิงหาคม 2563).....     | 44   |

## สารบัญรูปภาพ

|                                                                                                                                                                                                   | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงตำแหน่งพิกัดสถานีอุตุนิยมวิทยาของกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ โดยวงกลมสีน้ำเงินแสดงถึงสถานีตรวจอากาศ และสามเหลี่ยมสีแดงแสดงถึง สถานีที่มีการตรวจวัดความยาวนานของแสงแดด.....    | 3    |
| รูปที่ 1.2 แนวโคจรของดวงอาทิตย์และเส้นเดคลิเนชัน สัมพันธ์กับละติจูดของประเทศไทย ในรอบปี.....                                                                                                      | 9    |
| รูปที่ 1.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการอย่างละเอียดของงานวิจัย (Flow Chart) การ ประยุกต์ใช้ละติจูดเพื่อทดแทนค่าความยาวนานแสงแดดสำหรับการพยากรณ์ ดัชนี MAI ราย 10 วัน.....                        | 13   |
| รูปที่ 3.1 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเส้นและแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูล ระหว่าง $MAI_{obs}$ และ $MAI_{lat}$ จำแนกตามฤดูกาล: (ก) ฤดูหนาว (ข) ฤดูร้อน และ (ค) ฤดูฝน.....                       | 25   |
| รูปที่ 3.2 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเส้นและแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูล ระหว่าง $MAI_{obs}$ และ $MAI_{lat}$ กรณีศึกษาในช่วงฤดูหนาว (11 – 20 มกราคม 2563).....                                | 27   |
| รูปที่ 3.3 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเส้นและแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูล ระหว่าง $MAI_{obs}$ และ $MAI_{lat}$ กรณีศึกษาในช่วงฤดูร้อน (11 – 20 เมษายน 2563).....                                | 28   |
| รูปที่ 3.4 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเส้นและแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูล ระหว่าง $MAI_{obs}$ และ $MAI_{lat}$ กรณีศึกษาในช่วงฤดูฝน (11 – 20 สิงหาคม 2563).....                                 | 29   |
| รูปที่ 3.5 เกณฑ์การจำแนกชั้นข้อมูลดัชนี MAI และสัญลักษณ์สีที่ใช้ในการแสดงผลแผนที่...                                                                                                              | 32   |
| รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบความละเอียดเชิงพื้นที่ของแผนที่พยากรณ์ดัชนี MAI ระหว่าง (ก) แผนที่จากข้อมูลอ้างอิงพิกัดสถานี และ (ข) แผนที่จากข้อมูลกริดความละเอียดสูง ในช่วงเวลาการพยากรณ์เดียวกัน..... | 33   |

## 1. บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ภาคเกษตรกรรมเป็นรากฐานสำคัญของเศรษฐกิจและสังคมไทย ความสำเร็จของการเพาะปลูกและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเกษตรที่ถูกต้องและต่อเนื่อง ดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Moisture Availability Index: MAI) เป็นตัวชี้วัดสำคัญที่ใช้ประเมินความพร้อมของน้ำในดินต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับการระเหยและการคายน้ำตามศักยภาพ (Potential Evapotranspiration: PET) ซึ่งเป็นตัวแทนของความต้องการใช้น้ำของพืชภายใต้สภาวะสมบูรณ์

ค่าดัชนี MAI ถูกนำมาใช้วิเคราะห์สถานการณ์ความแห้งแล้ง ความเสี่ยงในการเพาะปลูก และการวางแผนการใช้น้ำทางการเกษตรอย่างกว้างขวาง ทั้งยังเป็นข้อมูลสนับสนุนการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในระดับพื้นที่ โดยกรมอุตุนิยมวิทยาได้จัดทำแผนที่ค่าดัชนี MAI เผยแพร่เพื่อใช้ติดตามสถานการณ์ความชื้นเพื่อการเกษตรทั่วประเทศ โดยอาศัยการคำนวณ PET จากสูตร Penman-Monteith ซึ่งต้องใช้ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation:  $R_s$ ) ที่คำนวณจากค่าความยาวนานของแสงแดด (Sunshine Duration: SD) อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันการติดตามสถานการณ์ดังกล่าวประสบข้อจำกัดจากการขาดหายของข้อมูล SD เนื่องจากสถานีตรวจอากาศบางแห่งได้ยกเลิกภารกิจการตรวจวัดข้อมูลนี้ ส่งผลให้ไม่สามารถคำนวณ  $R_s$  และ PET ได้อย่างครบถ้วน ทำให้การคำนวณและติดตามดัชนี MAI อย่างครอบคลุมในระดับประเทศขาดความต่อเนื่องและเกิดช่องว่างด้านข้อมูล แม้จะมีสมการประมาณ เช่น Hargreaves ที่ใช้เฉพาะข้อมูลอุณหภูมิ แต่ความคลาดเคลื่อนยังสูงกว่าวิธีมาตรฐาน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีเมฆแปรปรวนและรังสีดวงอาทิตย์ไม่คงที่

จากข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาแนวทางการประเมินค่ารังสีดวงอาทิตย์โดยใช้พิกัดละติจูด (Latitude) ซึ่งมีความสัมพันธ์ทางดาราศาสตร์กับความยาวนานของวันและมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ เพื่อทดแทนข้อมูล SD ที่ขาดหายไป โดยดำเนินการตรวจสอบความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างละติจูดและ SD ตรวจจริง รวมถึงประเมินความแม่นยำของ  $R_s$  และ PET ที่คำนวณจากตัวแปรทดแทนดังกล่าว เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ในการคำนวณและติดตามค่าดัชนี MAI ได้อย่างต่อเนื่องและเชื่อถือได้ แม้ในพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูล SD ตรวจวัด

นอกจากนี้ ภายใต้บริบทของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเฝ้าระวังสถานการณ์ความชื้นในเชิงย้อนหลังเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอต่อการบริหารจัดการเชิงรุก จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาระบบการพยากรณ์ค่าดัชนี MAI ล่วงหน้า โดยอาศัยข้อมูลจากแบบจำลองการพยากรณ์อากาศของระบบ TMD-HPC ซึ่งมีความละเอียดสูงและมีตัวแปรครบถ้วน ทั้งอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และปริมาณฝน การผสานผลการทดแทน SD กับข้อมูลพยากรณ์ดังกล่าวจะช่วยสนับสนุนการวางแผนเพาะปลูกและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศในเชิงรุกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์

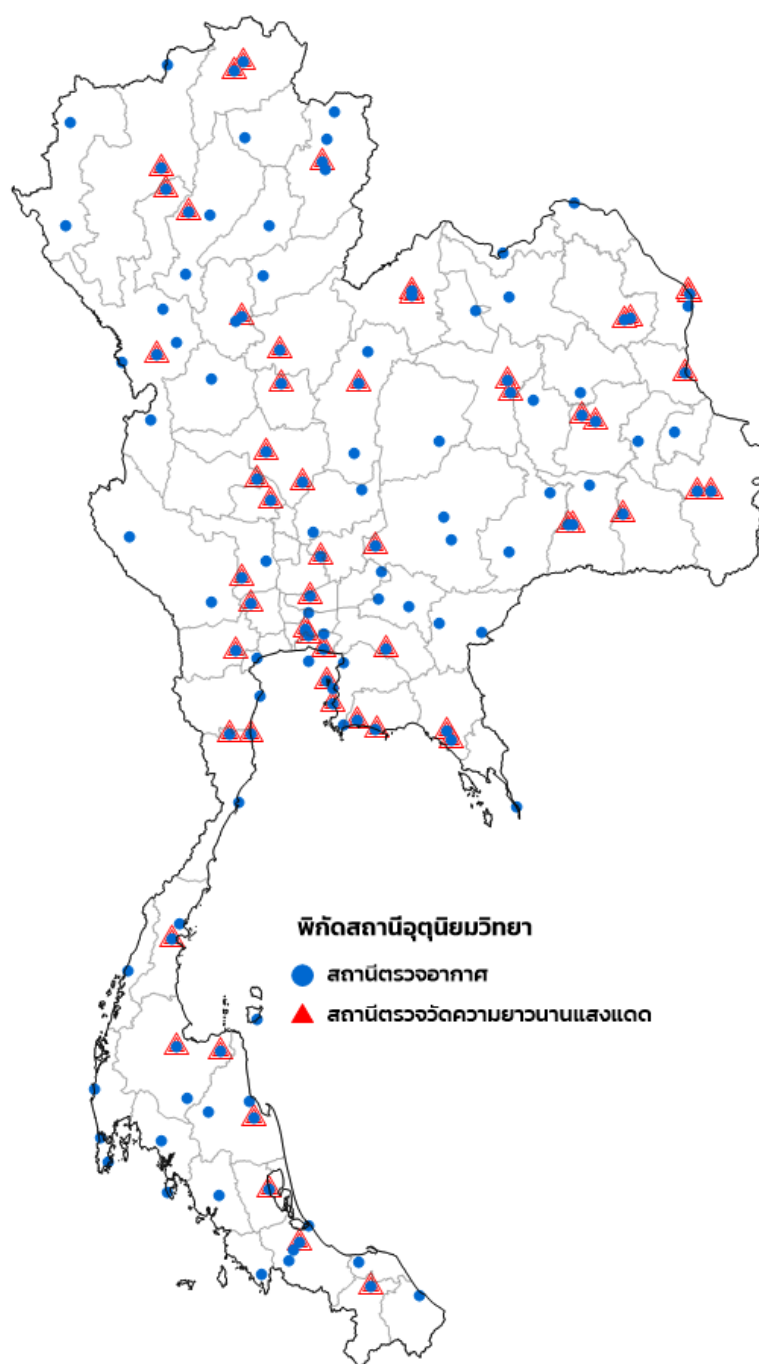
1.2.1 เพื่อยืนยันและประเมินประสิทธิภาพทางสถิติของการใช้พิกัดละติจูดทดแทนค่าความยาวนานแสงแดดในการคำนวณรังสีดวงอาทิตย์ ( $R_s$ ) ค่าการระเหยคายน้ำศักยภาพ (PET) ดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (MAI) และระดับความชื้น (MAI Level) โดยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากข้อมูลตรวจวัดจริง

1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้ผลการทดแทนดังกล่าวร่วมกับข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า 10 วัน จากแบบจำลอง TMD-HPC ในการคำนวณและพยากรณ์ค่า  $R_s$ , PET, MAI และ MAI Level ล่วงหน้า

1.2.3 เพื่อจัดทำแผนที่เชิงพื้นที่ (Spatial Map) แสดงการกระจายตัวของค่าดัชนี MAI และระดับความชื้นราย 10 วัน ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย เพื่อการเผยแพร่และการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเกษตรและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ

## 1.3 ขอบเขตของการดำเนินการ

งานวิจัยนี้ศึกษาการพยากรณ์และประเมินค่าดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (MAI) และศักยภาพการคายน้ำ (PET) สำหรับพื้นที่ประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวัน ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ปริมาณฝน และความยาวนานของแสงแดด จากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ (แสดงดังรูปที่ 1.1 โดยสีน้ำเงินคือสถานีทั้งหมด และสีแดงคือสถานีที่มีการตรวจวัดความยาวนานของแสงแดด) ข้อมูลย้อนหลังถูกใช้เพื่อประเมินและตรวจสอบความสอดคล้องทางสถิติของการใช้พิกัดละติจูดทดแทนค่าความยาวนานของแสงแดดในการคำนวณรังสีดวงอาทิตย์ ( $R_s$ ), ค่าการระเหยคายน้ำศักยภาพ (PET), ดัชนีความชื้นพืช (MAI) และระดับความชื้น (MAI Level) หลังจากนั้น ผลการทดแทนดังกล่าวถูกนำมาประยุกต์ร่วมกับข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า 10 วันจากระบบ TMD-HPC เพื่อพยากรณ์ค่า  $R_s$ , PET, MAI และ MAI Level ราย 10 วัน ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย การประเมินค่าความถูกต้องของ  $R_s$ , PET และ MAI จากตัวแปรทดแทน ชุดข้อมูล MAI ราย 10 วัน และแผนที่เชิงพื้นที่แสดงการกระจายตัวของดัชนี MAI และระดับความชื้นสำหรับเผยแพร่และใช้งานจริง



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงตำแหน่งพิกัดสถานีอุตุนิยมวิทยาของกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ โดยวงกลมสีน้ำเงินแสดงถึงสถานีตรวจอากาศ และสามเหลี่ยมสีแดงแสดงถึงสถานีที่มีการตรวจวัดความยาวนานของแสงแดด

## 1.4 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการประเมินความพร้อมของน้ำในดินผ่านดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (MAI) และการประยุกต์ใช้วิธีทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาการเกษตรเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดหายของข้อมูลในทางปฏิบัติ ซึ่งมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

### 1.4.1 แนวคิดพื้นฐานของดัชนี MAI และการประยุกต์ใช้ในประเทศไทย

แนวคิดพื้นฐานของ MAI มาจากการประเมินความสมดุลของน้ำ ในรูปของอัตราส่วน โดย Wallén and Brichambaut (1962) และ Frère and Popov (1979) ได้ร่วมกันกำหนด MAI ว่าเป็นดัชนีทางอุทกนิยมนิเวศวิทยาการเกษตรที่ใช้ประเมินความสมดุลของน้ำในดิน ซึ่งเน้นการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนกับศักยภาพการคายระเหยน้ำ (PET หรือ ETo) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพทางการเกษตรในพื้นที่ที่มีข้อมูลจำกัด โดยเฉพาะในเขตที่แห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง

ต่อมา Hargreaves (1972) ได้กำหนดดัชนีมาตรฐานระดับต่าง ๆ ของความชื้นที่ขาดแคลนหรือเพียงพอสำหรับผลผลิตทางการเกษตร โดยกำหนด MAI ซึ่งเป็นอัตราส่วนของค่าความน่าจะเป็นของปริมาณฝนที่ระดับ 75% หรือฝนที่คาดหวังได้ (Dependable Rainfall, DP) กับศักยภาพการคายระเหยน้ำของพืช (PET) และได้กำหนดเกณฑ์ว่า  $MAI \leq 0.33$  เป็นค่าดัชนีความชื้นที่น้อยที่สุดที่พืชจะเจริญเติบโตได้ ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่สำคัญที่งานวิจัยนี้ใช้ในการจำแนกชั้นความรุนแรงของความแห้งแล้ง

ในระดับสากล Virmani และ Singh (1986) ได้ศึกษาลักษณะภูมิอากาศเกษตรของบริเวณที่ปลูกถั่วลิสงในพื้นที่กึ่งแห้งแล้งบริเวณโซนร้อนใน 4 ทวีป โดยวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของ MAI รายเดือน จากข้อมูล 30 ปี (1931-1960) ผลการศึกษาพบว่า บริเวณที่มีจำนวนความชื้นในดินมีจำกัดในช่วงการสร้างเมล็ดและเจริญเติบโตจะมีผลต่อการพัฒนาฝักและผลผลิต โดยเฉพาะใน Ahmedabad (อินเดีย) ซึ่งเน้นย้ำถึงความสัมพันธ์ระหว่าง MAI ในช่วงวิกฤตของพืชกับผลผลิตจริง

Deosthali, Akmanchi และ Saluke (2005) ได้ใช้ MAI ในการศึกษาแบ่งลักษณะของพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลืองในประเทศอินเดีย โดยคำนวณค่า MAI เฉลี่ยรายเดือนเพื่อพิจารณาผลกระทบของปริมาณฝนต่อผลผลิตถั่วเหลืองในระยะวิกฤต (กรกฎาคม-สิงหาคม) ผลการศึกษาพบว่าผลกระทบของ MAI ต่อผลผลิตจะแตกต่างกันตามชนิดของดิน กล่าวคือ ในเขตที่เป็นดินประเภทเก็บรักษาความชื้นได้สูง จะได้ผลผลิตต่ำเมื่อค่า MAI สูงเกิน 2.0 (มีน้ำขัง) แต่ในเขตที่เป็นดินประเภทระบายน้ำได้ดี จะได้ผลผลิตสูงแม้ว่าค่า MAI จะสูง ซึ่งนำไปสู่การจัดการน้ำและการระบายน้ำที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

ในบริบทของประเทศไทย กมลศรี เสนิตันติกุล (2538) ได้ศึกษา ปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่พืชไร่ต้องการ โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนและปริมาณน้ำระเหยเฉลี่ยรายเดือน จากสถานีตรวจอากาศ 45 สถานีทั่วประเทศ และใช้เกณฑ์  $MAI \leq 0.33$  ของ Hargreaves ในการคำนวณ เพื่อสร้างตารางแสดงปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่พืชจะเจริญเติบโตได้เป็นรายเดือนของแต่ละสถานี

อรันตริ ยุทธพันธ์ (2551) ได้ทำการศึกษา ธรรมชาติความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชไร่ 10 วันในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลอุทกนิยมนิเวศวิทยากรบถ้วน (ปริมาณฝน, อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลม และความหนาแน่นแสงแดด) จาก 54 สถานีทั่วประเทศ ในคาบ 25 ปี (พ.ศ. 2524-2548) ซึ่งผลการศึกษาได้จัดทำเป็นแผนที่เชิงตัวเลข และกำหนดเกณฑ์ระดับ MAI ที่มีความหมายเชิงการเกษตร

สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศไทย เช่น MAI 0.00-0.33 หมายถึง พืชขาดน้ำรุนแรง และ MAI 1.01-1.33 หมายถึง พืชได้รับน้ำพอเพียง และยืนยันความจำเป็นในการมีข้อมูล MAI ที่ต่อเนื่อง

นอกจากนี้ ส่วนอุตุนิยมวิทยาเกษตร สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา (2555) ทำการศึกษาดรรชนีความแห้งแล้งสำหรับประเทศไทย โดยยืนยันผลได้ว่า MAI เป็นหนึ่งใน 8 ดรรชนีความแห้งแล้งที่สำคัญที่กรมอุตุนิยมวิทยานำมาใช้ และที่สำคัญคือได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่าง MAI กับความชื้นในดินที่ตรวจวัดจากภาคสนาม ในแปลงเพาะปลูกอ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด นาข้าว และหญ้า โดยพบว่า MAI มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันในระดับปานกลางถึงสูงกับความชื้นในดินในหลายระดับความลึก ซึ่งเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือของ MAI ในเชิงการประยุกต์ใช้ในประเทศไทย

#### 1.4.2 การใช้ละติจูดทดแทนข้อมูลแสงแดดและการปรับเทียบสูตร PET

การคำนวณศักยภาพการระเหยคายน้ำอ้างอิง (PET หรือ ETo) ที่แม่นยำที่สุดคือ สูตร Penman-Monteith (PM) ซึ่งเป็นมาตรฐานสากล ต้องใช้ข้อมูลที่ครบถ้วนรวมถึง ความยาวนานแสงแดด (n) เพื่อคำนวณปริมาณรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก ( $R_s$ ) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ขาดหายหรือไม่ต่อเนื่องในสถานีตรวจวัดหลายแห่ง

Hargreaves, G.H. and Z.A. Samani (1985) ได้นำเสนอสมการ Hargreaves-Samani (HS) ซึ่งเป็นทางเลือกที่ใช้ข้อมูลจำกัด โดย  $R_a$  (รังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการคำนวณ PET สามารถคำนวณได้โดยตรงจากพิกัดละติจูด ( $\phi$ ) และวันในรอบปี (J) เนื่องจากละติจูดเป็นปัจจัยทางดาราศาสตร์ที่กำหนดศักยภาพรังสี จึงทำให้ละติจูดเป็นตัวแปรทดแทนที่สำคัญเมื่อขาดข้อมูลความยาวนานแสงแดด

การแก้ไขความคลาดเคลื่อนของสมการ Hargreaves-Samani (HS) เมื่อเทียบกับสมการมาตรฐาน Penman-Monteith (PM) มีความจำเป็นอย่างยิ่ง Paredes et al. (2020) ได้เน้นย้ำเหตุผลทางเทคนิคว่า การใช้สมการ HS จำเป็นต้องมีการปรับเทียบสัมประสิทธิ์ของรังสีในสมการให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศท้องถิ่น โดยการทำเช่นนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการลดความผิดพลาดที่เป็นระบบ เพื่อให้ค่า PET ที่ได้จากสมการ HS มีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับสมการ PM

นอกจากนี้ แนวคิดนี้ได้รับการพิสูจน์โดย Azzam et al. (2023) ซึ่งได้ทำการสอบเทียบสัมประสิทธิ์ของสมการ HS โดยใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และใช้สมการ PM เป็นค่าอ้างอิงในพื้นที่แห้งแล้งกึ่งแห้งแล้ง (Amu Darya River Basin) ผลการศึกษาพบว่าการสอบเทียบสัมประสิทธิ์ HS ที่แตกต่างกันตามเงื่อนไขภูมิอากาศที่ศึกษา สามารถลดความคลาดเคลื่อน ซึ่งวัดด้วยค่า RMSE (Root Mean Square Error) ลงได้โดยเฉลี่ยประมาณ 55% และ MAE (Mean Absolute Error) ลงได้ประมาณ 52%

#### 1.4.3 การวิเคราะห์เชิงพื้นที่และการจัดทำแผนที่ดัชนี MAI

การจัดทำแผนที่เชิงพื้นที่ของดัชนี MAI เป็นขั้นตอนสำคัญเพื่อเปลี่ยนข้อมูล ณ จุดตรวจวัด (Point Data) ให้เป็นสารสนเทศเชิงพื้นที่ที่ต่อเนื่องเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ

งานวิจัยของ อกันตริ ยูทพันธ์ (2551) ได้เป็นรากฐานสำคัญในการจัดทำแผนที่เชิงตัวเลข แสดงค่า MAI ราย 10 วัน บนแผนที่ประเทศไทย มาตราส่วน 1: 250,000 โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ ทั้งนี้การจัดทำแผนที่ MAI เชิงพื้นที่ที่ต่อเนื่องและมีความน่าเชื่อถือดังกล่าว อาศัยหลักการของเทคนิค Kriging (Krige, 1951; Cressie, 1993) ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าเชิงสถิติที่ให้ค่าประมาณที่ดีที่สุดและไม่มีอคติ (Best Linear Unbiased Estimator: BLUE) เนื่องจาก Kriging อาศัยการวิเคราะห์โครงสร้างความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของข้อมูล จึงเป็นเทคนิคที่เหมาะสมอย่างยิ่งกับการทำแผนที่ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่มีความต่อเนื่องเชิงพื้นที่

## 1.5 ทฤษฎี และ/หรือแนวความคิดที่นำมาใช้ในการศึกษา

### 1.5.1 ดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Moisture Availability Index: MAI)

เป็นดัชนีทางอุตุนิยมวิทยาเกษตรที่ใช้วัดความสมดุลของน้ำ โดยสะท้อนถึงความเพียงพอของน้ำโดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนที่ได้รับกับปริมาณความต้องการใช้น้ำของพืชตามศักยภาพ (PET) ดัชนีนี้มีความสำคัญในการวิเคราะห์สถานการณ์ความแห้งแล้ง และเป็นเครื่องมือหลักในการวางแผนการใช้น้ำและการบริหารจัดการความเสี่ยงด้านการเกษตร

#### 1.5.1.1 การคำนวณดัชนี MAI

คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างปริมาณฝนที่เข้าสู่ระบบกับศักยภาพคายระเหยน้ำอ้างอิง (PET) โดยตามแนวคิดดั้งเดิมของ Hargreaves (1972) จะใช้ฝนที่คาดหวังได้ (Dependable Rainfall, DP) ที่ระดับความน่าจะเป็น 75% เป็นตัวตั้ง

$$MAI = \frac{P}{PET}$$

สำหรับบริบทการใช้งานของ P ในงานวิจัยนี้ เพื่อให้ครอบคลุมทั้งการวิเคราะห์ย้อนหลังและการพยากรณ์ P จึงถูกนิยามดังนี้

- การวิเคราะห์ย้อนหลัง (Observed MAI): P คือ ปริมาณฝนรวมที่ตรวจวัดจริง (Observed Rainfall) ในระยะเวลา 10 วัน

- การพยากรณ์ (Forecasted MAI): P คือ ปริมาณฝนรวมที่พยากรณ์ได้ (Rain Forecast) ล่วงหน้า 10 วัน (ตามแนวคิดที่ใช้ DP แทนฝนที่คาดหวังได้)

#### 1.5.1.2 การจำแนกระดับความชื้น (MAI Level)

เกณฑ์การจำแนกระดับของ MAI ที่ใช้ในการวิจัยนี้อ้างอิงจาก Hargreaves (1972) และกรมอุตุนิยมวิทยาไทย โดยค่า MAI เป็นตัวกำหนดที่สำคัญในการบ่งชี้ถึงความเพียงพอของน้ำต่อศักยภาพการผลิตของพืช ซึ่งอธิบายได้คร่าวๆ ดังนี้ ถ้า  $MAI = 1.00$  หมายความว่า ปริมาณฝนมีความสมดุลกับศักยภาพคายระเหยน้ำของพืช ( $P = PET$ ) ซึ่งเป็นเกณฑ์สำหรับผลผลิตสูงสุด แต่ถ้า  $MAI < 1.00$  แสดงถึงภาวะขาดแคลนน้ำ ( $P < PET$ ) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อค่าลดลงน้อยกว่า 0.33 จะจัดว่า เป็นภาวะขาดน้ำรุนแรงที่ส่งผลให้ผลผลิตลดลงต่ำกว่าระดับเศรษฐกิจ

ตารางที่ 1.1 เกณฑ์การจำแนกระดับความชื้นของดัชนี MAI (อ้างอิง Hargreaves (1972) และกรมอุตุนิยมหาวิทยาลัยไทย)

| ระดับ MAI   | คำจำกัดความ                             | ความหมายเชิงการเกษตร                                             |
|-------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 0.00 - 0.33 | ขาดน้ำรุนแรง (Very deficient)           | พืชขาดน้ำรุนแรง ผลผลิตลดลงต่ำกว่าระดับเศรษฐกิจ                   |
| 0.34 - 0.67 | ขาดน้ำปานกลาง (Moderately deficient)    | ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการเพื่อผลผลิตสูงสุด               |
| 0.68 - 1.00 | ขาดน้ำเล็กน้อย (Deficient)              | ปริมาณฝนที่คาดหวังได้มีค่าน้อยกว่า PET                           |
| 1.01 - 1.33 | ได้รับน้ำพอเพียง (Adequate moisture)    | ปริมาณฝนเพียงพอสำหรับการให้ผลผลิตสูงสุด (MAI = 1.0 ผลผลิตสูงสุด) |
| ≥ 1.34      | ได้รับน้ำมากเกินไป (Excessive moisture) | ผลผลิตลดลงเนื่องจากปัญหาปริมาณอากาศในดินและการชะล้างสารอาหาร     |

### 1.5.2 ศักยภาพระเหยคายน้ำอ้างอิง (ET<sub>o</sub>)

ศักยภาพระเหยคายน้ำอ้างอิง (ET<sub>o</sub>) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า PET คือ อัตราการคายระเหยน้ำที่คำนวณจากพืชอ้างอิง (Reference Crop) ที่มีน้ำเพียงพอต่อการเจริญเติบโตตลอดเวลา โดยการหาค่า ET<sub>o</sub> มีความสำคัญในการประเมินความต้องการน้ำของพืช และมีการพัฒนาวิธีการคำนวณที่หลากหลายตามความพร้อมของข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัย ดังนี้

- วิธีที่ใช้ข้อมูลจำกัด เช่น วิธี Thornthwaite ที่ใช้เพียงข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยและละติจูด, และวิธี Hargreaves-Samani ที่ใช้ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด และรังสีดวงอาทิตย์ (ซึ่งคำนวณจากละติจูด) วิธีเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในพื้นที่ที่มีการขาดหายของข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัย

- วิธีที่ใช้ข้อมูลรังสีเป็นหลัก เช่น วิธี Priestley-Taylor ที่เน้นสมดุลพลังงาน และต้องการข้อมูลรังสีกับอุณหภูมิ

- วิธีที่ใช้ข้อมูลครบถ้วน ซึ่งเป็นสมการที่มีความแม่นยำที่สุดและได้รับการยอมรับเป็นมาตรฐานสากล นั่นคือ สูตร Penman-Monteith (FAO-56) ซึ่งใช้ข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยครบถ้วน ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลม, และความยาวนานแสงแดด โดยมีสมการดังนี้

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{mean} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

โดยที่

|                                 |                                                                                         |                        |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| ET <sub>o</sub>                 | อัตราการระเหยคายน้ำอ้างอิง (Reference Evapotranspiration)                               | mm/day                 |
| R <sub>n</sub>                  | ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สุทธิ (Net Radiation)                                              | MJ/m <sup>2</sup> /day |
| G                               | ฟลักซ์ความร้อนในดิน (Soil Heat Flux): มักกำหนดให้ G=0 สำหรับช่วง 1 หรือ 10 วัน          | MJ/m <sup>2</sup> /day |
| T <sub>mean</sub>               | อุณหภูมิเฉลี่ยอากาศ                                                                     | °C                     |
| U <sub>2</sub>                  | ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร                                                             | m/s                    |
| e <sub>s</sub> - e <sub>a</sub> | ค่าความพร่องของความดันไอ (Vapour Pressure Deficit, VPD)                                 | kPa                    |
| Δ                               | ความชันของกราฟความดันไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิ (Slope of Saturation Vapor Pressure Curve) | kPa/°C                 |
| γ                               | ค่าคงที่เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (Psychrometric Constant)                             | kPa/°C                 |

สำหรับองค์ประกอบหลักในการคำนวณ ET<sub>o</sub> คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สุทธิ (R<sub>n</sub>) โดยคำนวณจากความแตกต่างระหว่างรังสีคลื่นสั้นสุทธิ (R<sub>ns</sub>) และรังสีคลื่นยาวสุทธิ (R<sub>nl</sub>)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

โดยรังสีคลื่นสั้นสุทธิ (R<sub>ns</sub>) ถูกกำหนดโดยรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก (R<sub>s</sub>) ซึ่งต้องใช้ความยาวนานแสงแดดจริง (n) รวมถึงรังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศ (R<sub>a</sub>) ในการคำนวณผ่านสมการ Ångström Formula

$$R_s = (0.25 + 0.50 \frac{n}{N}) R_a$$

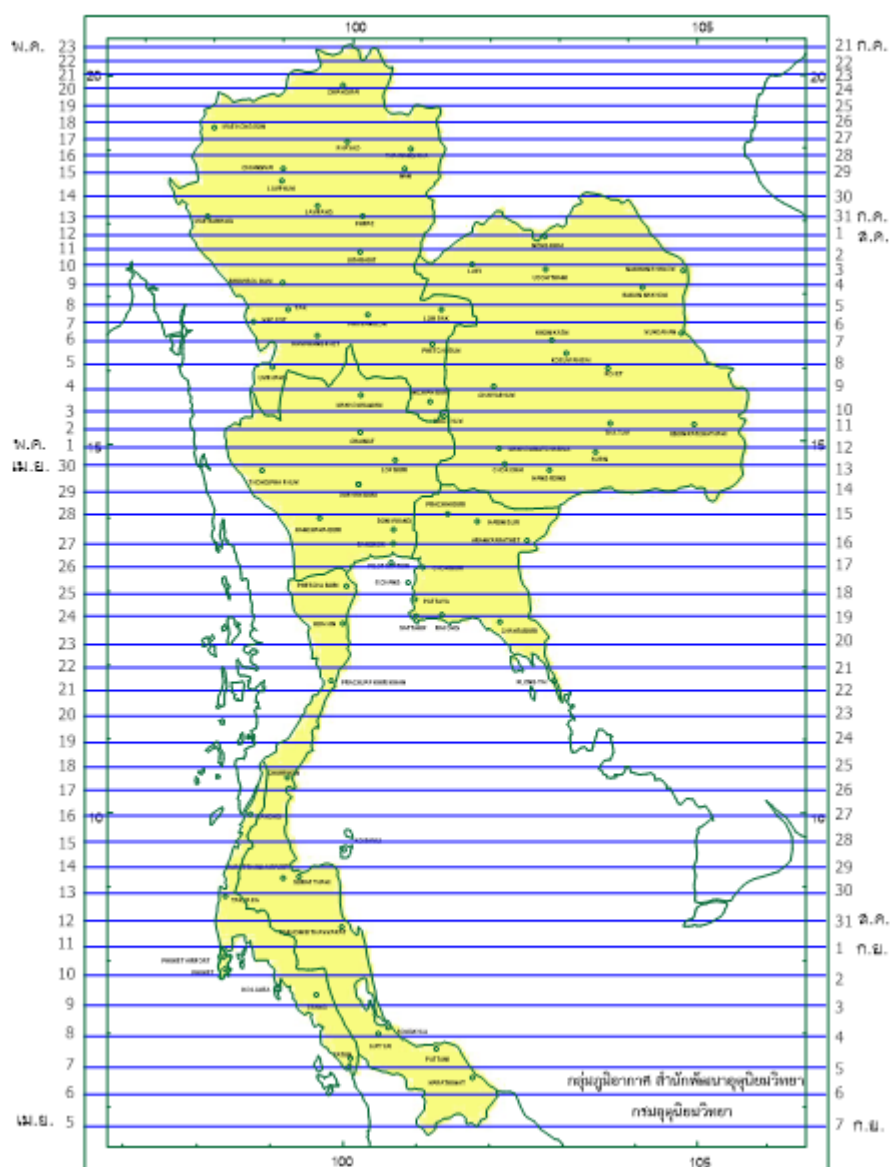
ดังนั้น หากข้อมูลความยาวนานแสงแดด (n) ขาดหายไป จะทำให้ไม่สามารถคำนวณ R<sub>s</sub> และ R<sub>n</sub> ได้ตามสมการ Penman-Monteith โดยตรง ซึ่งเป็นที่มาของการประยุกต์ใช้พิกัดละติจูด (φ) ในการคำนวณ R<sub>a</sub> เพื่อทดแทนค่า R<sub>s</sub>

### 1.5.3 การประมาณค่าความยาวนานแสงแดดด้วยพิกัดละติจูด (Latitude Substitution)

สำหรับการประยุกต์นี้ อาศัยความสัมพันธ์ทางดาราศาสตร์ที่กำหนดให้ ละติจูด (φ) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับรังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศ (R<sub>a</sub>) และความยาวนานของวันตามทฤษฎี (N) เพื่อใช้เป็นฐานในการประมาณค่า R<sub>s</sub> และ R<sub>n</sub> ในกรณีที่ n ขาดหายไป โดยแนวทางนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Hargreaves และ Samani (1982) ที่ใช้ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับละติจูดและอุณหภูมิในการประมาณค่า ET<sub>o</sub> การใช้ละติจูดในการคำนวณองค์ประกอบพื้นฐานเหล่านี้เป็นการทดแทนที่อาศัยหลักการทางฟิสิกส์ โดยสมการหลักที่เกี่ยวข้องกับการใช้ละติจูดมีดังนี้

### 1.5.3.1 รังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศ ( $R_a$ )

$R_a$  ถูกกำหนดโดยตำแหน่งทางดาราศาสตร์ของดวงอาทิตย์เทียบกับตำแหน่งบนโลก ซึ่งพิกัดละติจูด ( $\phi$ ) ระบุตำแหน่งบนโลก และเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ( $\delta$ ) ซึ่งเป็นมุมที่แสดงถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับระนาบศูนย์สูตรของโลก (Earth's equatorial plane) ณ วันในรอบปีนั้น ๆ ซึ่ง  $\delta$  จะเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปีเนื่องจากแกนโลกเอียงทำมุม  $23.45^\circ$  ขณะโคจรรอบดวงอาทิตย์ โดยแนวโคจรของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนผ่านประเทศไทย แสดงดังรูป 1.2



รูปที่ 1.2 แนวโคจรของดวงอาทิตย์และเส้นเดคลิเนชัน สัมพันธ์กับละติจูดของประเทศไทยในรอบปี

สมการนี้แสดงถึงพลังงานรังสีที่ตกกระทบ ณ ตำแหน่งที่กำหนดโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบของชั้นบรรยากาศ

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\phi_{rad}) \sin(\delta) + \cos(\phi_{rad}) \cos(\delta) \sin(\omega_s)]$$

โดยที่

|              |                                             |                        |
|--------------|---------------------------------------------|------------------------|
| $R_a$        | รังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศ              | MJ/m <sup>2</sup> /day |
| $G_{sc}$     | ค่าคงที่สุริยะ (Solar Constant)             | MJ/m <sup>2</sup> /min |
| $d_r$        | ระยะทางสัมพัทธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์      | ไม่มีหน่วย             |
| $\omega_s$   | มุมชั่วโมงดวงอาทิตย์ตก (Sunset Hour Angle)  | rad                    |
| $\phi_{rad}$ | ละติจูดในหน่วยเรเดียน                       | rad                    |
| $\delta$     | เดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (Solar Declination) | rad                    |
| $J$          | วันของปี (Julian Day)                       | วัน                    |

โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณตัวแปร  $R_a$  มีดังนี้

$$\delta = 0.049 \sin\left(\frac{2\pi J}{365} - 1.39\right)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi J}{365}\right)$$

#### 1.5.3.2 ความยาวนานของวันตามทฤษฎี (N)

N คือความยาวนานของวันตามทฤษฎี (ชั่วโมง) ซึ่งถูกกำหนดโดย  $\omega_s$  (มุมชั่วโมงดวงอาทิตย์ตก) ที่ขึ้นอยู่กับละติจูด และเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s$$

โดย  $\omega_s$  คำนวณดังนี้;  $\omega_s = \arccos [-\tan(\phi) \tan(\delta)]$

#### 1.5.4 การประเมินประสิทธิภาพทางสถิติและเชิงพื้นที่

ในการวิเคราะห์และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง MAI ที่ใช้ละติจูดทดแทนค่า เพื่อให้เกิดความแม่นยำและสอดคล้องกับข้อมูลจริงมากที่สุด จึงจำเป็นต้องนำวิธีการประเมินความแม่นยำทางสถิติและเทคนิคการประมาณค่าเชิงพื้นที่มาใช้ทดสอบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 1.5.4.1 การประเมินความแม่นยำด้วยวิธีทางสถิติ (Statistical Metrics)

ในการยืนยันความแม่นยำของ MAI ที่ได้จากการทดแทนด้วยละติจูด เปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง จะใช้ตัวชี้วัดทางสถิติเพื่อยืนยันความสอดคล้องเชิงปริมาณและการจัดชั้น (Willmott, 1982; Taylor, 2001)

##### 1.5.4.1.1 วิธีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination)

เป็นวิธีที่ใช้เพื่อประเมินว่า แบบจำลองสถิตินั้นสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลจริงได้มากน้อยเพียงใด หรือเป็นการวัดความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าทำนายและค่าสังเกตจริง โดยค่าที่ได้คือ ค่า R-squared ( $R^2$ ) จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ยิ่งค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองสามารถทำนายและอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลจริงได้ดีมาก

##### 1.5.4.1.2 ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยราก (Root Mean Square Error)

เป็นวิธีที่ใช้วัดค่าความแตกต่างมาตรฐานระหว่างค่าที่ทำนาย ( $\hat{O}_i$ ) กับค่าที่สังเกตจริง ( $O_i$ ) โดย Root Mean Square Error หรือ RSME จะให้ค่าน้ำหนักแก่ความคลาดเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่กว่าความคลาดเคลื่อนขนาดเล็ก ซึ่งสะท้อนความแม่นยำเชิงปริมาณของแบบจำลอง โดยหากค่า RMSE เข้าใกล้ศูนย์มากเท่าใด แสดงว่าค่าทำนายของแบบจำลอง ( $MAI_{lat}$ ) มีความเบี่ยงเบน (Deviation) จากค่าสังเกตจริง ( $MAI_{obs}$ ) น้อยมากเท่านั้น ดังนั้น ค่า RSME ที่ต่ำจึงบ่งชี้ถึงความแม่นยำเชิงปริมาณที่สูงของแบบจำลอง ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{O}_i - O_i)^2}$$

##### 1.5.4.1.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient: r)

เป็นวิธีการวัดความแข็งแกร่งและทิศทางของความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรสองชุดนั้นคือ ค่าทำนาย (x) และค่าสังเกตจริง (y) โดยค่า r จะอยู่ในช่วง [-1, 1] ซึ่งหากค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึงมีความสัมพันธ์เชิงบวกที่สูง (ค่าทำนายเพิ่มขึ้นตามค่าสังเกตจริง), ค่า r เข้าใกล้ -1 หมายถึงมีความสัมพันธ์เชิงลบที่สูง (ค่าทำนายลดลงเมื่อค่าสังเกตจริงเพิ่มขึ้น), และถ้าค่า r ใกล้ 0 หมายถึงไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$r_{xy} = \frac{N \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2][N \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

#### 1.5.4.2 การประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation)

การประมาณค่าเชิงพื้นที่เป็นกระบวนการในการคาดการณ์ค่า ณ ตำแหน่งที่ไม่มีการตรวจวัด โดยใช้ข้อมูลจากตำแหน่งที่อยู่ใกล้เคียง ซึ่งวิธีการประมาณค่านี้มีหลากหลายเทคนิคที่มีความแตกต่างกันในเชิงหลักการทางคณิตศาสตร์และถูกจัดอยู่ในกลุ่มย่อยที่ต่างกัน ตัวอย่างเช่น

วิธีการแบบกำหนด (Deterministic Methods) เช่น เทคนิค IDW (Inverse Distance Weighting) ซึ่งเป็นวิธีการที่อาศัยเพียงระยะห่างเชิงเรขาคณิตในการให้น้ำหนักแก่จุดข้อมูลใกล้เคียง โดยไม่ได้พิจารณาโครงสร้างความสัมพันธ์เชิงพื้นที่หรือความแปรปรวนของข้อมูลทางสถิติเลย

วิธีทางสถิติเชิงพื้นที่ (Geostatistical Methods) เช่น เทคนิค Kriging เป็นวิธีการที่ซับซ้อนกว่า โดยพิจารณาทั้งระยะห่าง ทิศทาง และโครงสร้างความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของข้อมูล ทำให้สามารถให้ค่าประมาณพร้อมการวัดค่าความไม่แน่นอนได้

สำหรับการทำแผนที่ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่มีความต่อเนื่องเชิงพื้นที่ เช่น ดัชนี MAI เพื่อให้ได้สารสนเทศเชิงพื้นที่ที่ต่อเนื่องและมีความน่าเชื่อถือสูง จึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้วิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่ในกลุ่ม Geostatistical โดยการศึกษาได้เลือกใช้เทคนิค Kriging ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าเชิงสถิติที่ให้ค่าประมาณที่ดีที่สุดและไม่มีอคติ

### 1.6 วิธีดำเนินการศึกษา

การประยุกต์ใช้สถานีจุดเพื่อทดแทนค่าความยาวนานแสงแดด สำหรับการพยากรณ์ดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (MAI) ราย 10 วัน ในประเทศไทย มีขั้นตอนการดำเนินการโดยสรุป ดังนี้

1.6.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณค่าดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (MAI) รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความยาวนานแสงแดดกับพิกัดสถานีจุด

1.6.2 รวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยา จากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ ในช่วงปีที่มีการตรวจวัดความยาวนานแสงแดดครบถ้วน และข้อมูลพิกัดสถานีจุดของสถานีตรวจวัด รวมถึงข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า 10 วันจากแบบจำลอง TMD-HPC

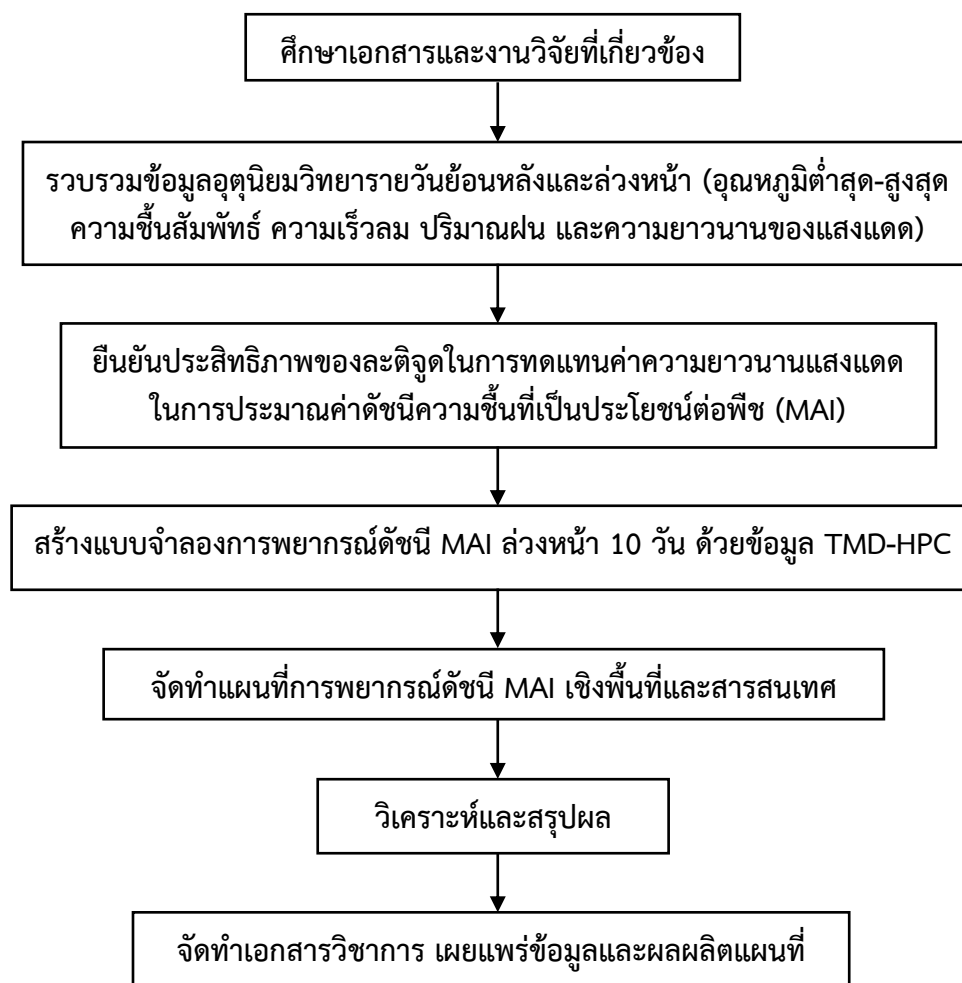
1.6.3 ตรวจสอบและยืนยันประสิทธิภาพของสถานีจุดในการทดแทนค่าความยาวนานแสงแดด ในการประมาณค่าดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (MAI) โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

1.6.4 สร้างแบบจำลองการพยากรณ์ดัชนี MAI ล่วงหน้า 10 วัน ด้วยข้อมูล TMD-HPC

1.6.5 จัดทำแผนที่การพยากรณ์ดัชนี MAI เชิงพื้นที่และสารสนเทศ

1.6.6 สรุปผลการศึกษาและเผยแพร่ข้อมูลผ่านช่องทางโซเชียลมีเดียต่าง ๆ ของส่วนอุตุนิยมวิทยาเกษตร

โดยมีแผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการ ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการอย่างละเอียดของงานวิจัย (Flow Chart) การประยุกต์ใช้สถิติจุดเพื่อทดแทนค่าความยาวนานแสงแดดสำหรับการพยากรณ์ดัชนี MAI ราย 10 วัน

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เกษตรกรสามารถนำข้อมูลการพยากรณ์ MAI ไปใช้ในการตัดสินใจวางแผนการเพาะปลูก โดยเลือกชนิดพืชที่เหมาะสมกับสภาพความชื้นในพื้นที่ และกำหนดช่วงเวลาการให้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.7.2 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อมูลการพยากรณ์ MAI ไปใช้ เพื่อบริหารจัดการความเสี่ยง เช่น เตือนภัยแล้ง และภาวะน้ำท่วมขังที่อาจเกิดขึ้นในพื้นที่ล่วงหน้าได้

1.7.3 ช่วยลดความสูญเสียของผลผลิตทางการเกษตรที่เกิดจากความแห้งแล้งหรือมีน้ำมากเกินไป

## 2. ข้อมูลและวิธีดำเนินการ

### 2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในการประยุกต์ใช้ละติจูดเพื่อทดแทนค่าความยาวนานแสงแดด สำหรับการพยากรณ์ดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (MAI) ราย 10 วัน ด้วยข้อมูล TMD-HPC ประกอบไปด้วยข้อมูลย้อนหลังจากการตรวจวัดของสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ เพื่อตรวจสอบการทดแทนด้วยค่าพิกัดละติจูด และข้อมูลการพยากรณ์อากาศเพื่อประยุกต์ใช้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.1.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาย้อนหลัง (Historical Data)

ข้อมูลชุดนี้รวบรวมเพื่อใช้ในการยืนยันความแม่นยำของวิธีการทดแทนค่าด้วยละติจูด โดยเฉพาะในช่วงปีที่มีการตรวจวัดความยาวนานแสงแดดครบถ้วน

- ข้อมูลการตรวจวัดรายวันจากสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศ จำนวน 128 สถานี ประกอบด้วย อุณหภูมิสูงสุด (Tmax), อุณหภูมิต่ำสุด (Tmin), ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh), ความเร็วลม (U), ปริมาณฝน (Rainfall) และความยาวนานแสงแดดจริง (SD)
- ข้อมูลพิกัดละติจูดของแต่ละสถานี

#### 2.1.2 ข้อมูลการพยากรณ์อากาศ (Forecast Data)

ข้อมูลชุดนี้รวบรวมจากแบบจำลองการพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลขของกรมอุตุนิยมวิทยา (TMD-HPC) เพื่อใช้ในการคำนวณค่าพยากรณ์ MAI ล่วงหน้าราย 10 วัน โดยประกอบไปด้วยตัวแปรรายวัน ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุด (Tmax), อุณหภูมิต่ำสุด (Tmin), ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh), ความเร็วลม (U), ปริมาณฝน (Rainfall) และพิกัดละติจูด

ทั้งนี้ เพื่อให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์การใช้งานทั้งในด้านการตรวจสอบความถูกต้องและการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ การศึกษานี้ได้จำแนกรูปแบบข้อมูลนำเข้าออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

- ชุดข้อมูลอ้างอิงสถานี (Nearest Point Data): คือข้อมูลที่อ้างอิงตามพิกัดจริงของสถานีอุตุนิยมวิทยา (Point Data) จำนวน 128 สถานี โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้ในการสอบทานความถูกต้อง (Validation) เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริง และติดตามความต่อเนื่องของข้อมูลรายสถานี
- ชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ (Grid Data): คือข้อมูลที่แสดงผลในรูปแบบกริดความละเอียดสูงที่ 9 km x 9 km ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการจัดทำแผนที่สถานการณ์ความชื้น (Spatial Map) และระบุพื้นที่เสี่ยงภัยในระดับพื้นที่ย่อย (Sub-area) ได้อย่างละเอียด

### 2.2 วิธีการดำเนินการศึกษา

วิธีการดำเนินการศึกษาแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก โดยมุ่งเน้นที่การยืนยันความแม่นยำของวิธีการทดแทนค่าด้วยละติจูด และการประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ดัชนี MAI ล่วงหน้า 10 วัน

### 2.2.1 การรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูล

การดำเนินการรวบรวมและคัดเลือกชุดข้อมูลย้อนหลัง มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสร้างฐานข้อมูลสำหรับการยืนยันความแม่นยำของวิธีการทดแทนค่าด้วยพิกัดละติจูด โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วประเทศจำนวน 128 สถานี และคัดเลือกช่วงปีที่มีความสมบูรณ์ของข้อมูลมากที่สุดเพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการตรวจสอบ

จากการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล พบว่าในปี พ.ศ. 2563 เป็นปีที่มีข้อมูลครบถ้วนตามเกณฑ์มากที่สุด อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความพร้อมของตัวแปรความยาวนานแสงแดด (Sunshine Duration: SD) ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณค่าการระเหย พบข้อจำกัดสำคัญคือจากจำนวนสถานีทั้งหมด 128 สถานี มีเพียง 56 สถานีเท่านั้นที่มีการตรวจวัดข้อมูลความยาวนานแสงแดด ในขณะที่ตัวแปรอุตุนิยมวิทยาพื้นฐานอื่นๆ (อุณหภูมิ, ความชื้น, ลม, ฝน) มีการตรวจวัดครบถ้วนในทุกสถานี

ยิ่งไปกว่านั้น สถานการณ์ปัจจุบันยังพบแนวโน้มการลดลงของสถานีตรวจวัดแสงแดดอย่างต่อเนื่อง จนเหลือเพียง 2 สถานีที่ยังคงดำเนินการตรวจวัดอยู่ (จังหวัดพิจิตร และอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา) ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นเร่งด่วนในการหาตัวแปรทดแทนเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยรายละเอียดความพร้อมของข้อมูลและการตรวจวัดรายสถานี แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดการตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของสถานีอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทย

| ลำดับ | สถานี        | พิกัดที่ตั้ง |          | เริ่มตรวจ<br>ข้อมูล | ฝน | อุณหภูมิ | ลม | ความชื้น<br>สัมพัทธ์ | ความยาวนาน<br>แสงแดด |      |
|-------|--------------|--------------|----------|---------------------|----|----------|----|----------------------|----------------------|------|
|       |              | ละติจูด      | ลองจิจูด |                     |    |          |    |                      | สิ้นสุด              |      |
| 1     | แม่ฮ่องสอน   | 19.299       | 97.976   | 2497                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 2     | แม่สะเรียง   | 18.167       | 97.933   | 2499                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 3     | เชียงใหม่    | 19.961       | 99.881   | 2494                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 4     | กษ.เชียงใหม่ | 19.871       | 99.783   | 2522                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 5     | พะเยา        | 19.133       | 99.900   | 2524                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 6     | เชียงใหม่    | 18.790       | 98.977   | 2494                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2567 |
| 7     | ดอยอ่างขาง   | 19.931       | 99.048   | 2549                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 8     | น่าน         | 18.780       | 100.778  | 2494                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 9     | กษ.น่าน      | 18.867       | 100.750  | 2512                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 10    | ท่าวังผา     | 19.111       | 100.803  | 2509                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 11    | ทุ่งช้าง     | 19.412       | 100.884  | 2539                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 12    | ลำพูน        | 18.567       | 99.034   | 2523                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2568 |
| 13    | ลำปาง        | 18.283       | 99.517   | 2496                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 14    | กษ.ลำปาง     | 18.317       | 99.283   | 2525                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2567 |
| 15    | เถิน         | 17.637       | 99.245   | 2546                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 16    | แพร่         | 18.167       | 100.167  | 2495                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 17    | อุตรดิตถ์    | 17.617       | 100.100  | 2494                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 18    | สุโขทัย      | 17.106       | 99.800   | 2543                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) รายละเอียดการตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของสถานีอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทย

| ลำดับ | สถานี               | พิกัดที่ตั้ง |          | เริ่มตรวจ<br>ข้อมูล | ฝน | อุณหภูมิ | ลม | ความชื้น<br>สัมพัทธ์ | ความยาวนาน<br>แสงแดด |      |
|-------|---------------------|--------------|----------|---------------------|----|----------|----|----------------------|----------------------|------|
|       |                     | ละติจูด      | ลองจิจูด |                     |    |          |    |                      | สิ้นสุด              |      |
| 19    | กกช.ศรีสำโรง        | 17.161       | 99.862   | 2512                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2567 |
| 20    | เขื่อนภูมิพล        | 17.244       | 99.003   | 2503                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 21    | ตาก                 | 16.878       | 99.143   | 2497                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 22    | แม่สอด              | 16.659       | 98.551   | 2494                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 23    | อุ้มผาง             | 16.025       | 98.864   | 2519                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 24    | กกช.ดอย<br>มูเซอร์  | 16.750       | 98.933   | 2535                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2566 |
| 25    | พิษณุโลก            | 16.795       | 100.279  | 2494                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 26    | หล่มสัก             | 16.774       | 101.249  | 2508                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 27    | เพชรบูรณ์           | 16.433       | 101.150  | 2495                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2564 |
| 28    | วิเชียรบุรี         | 15.657       | 101.108  | 2508                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 29    | กำแพงเพชร           | 16.487       | 99.527   | 2524                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 30    | กกช.พิจิตร          | 16.438       | 100.293  | 2535                | /  | /        | /  | /                    | /                    |      |
| 31    | หนองคาย             | 17.867       | 102.733  | 2507                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 32    | เลย                 | 17.450       | 101.733  | 2497                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 33    | เลย สกช.            | 17.400       | 101.733  | 2512                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 34    | อุดรธานี            | 17.383       | 102.800  | 2494                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 35    | นครพนม              | 17.411       | 104.783  | 2495                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2564 |
| 36    | กกช.นครพนม          | 17.276       | 104.774  | 2527                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 37    | สกลนคร              | 17.150       | 104.133  | 2495                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2567 |
| 38    | กกช.สกลนคร          | 17.125       | 104.061  | 2512                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 39    | หนองบัวลำภู         | 17.232       | 102.429  | 2556                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 40    | มุกดาหาร            | 16.541       | 104.729  | 2494                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 41    | ขอนแก่น             | 16.461       | 102.790  | 2494                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2566 |
| 42    | กกช.ท่าพระ          | 16.333       | 102.817  | 2512                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2566 |
| 43    | มหาสารคาม           | 16.247       | 103.068  | 2509                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 44    | กาฬสินธุ์           | 16.333       | 103.588  | 2543                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 45    | ร้อยเอ็ด            | 16.020       | 103.744  | 2494                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 46    | กกช.ร้อยเอ็ด        | 16.073       | 103.608  | 2527                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 47    | ชัยภูมิ             | 15.800       | 102.033  | 2499                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 48    | อุบลราชธานี         | 15.250       | 104.867  | 2494                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 49    | กกช.<br>อุบลราชธานี | 15.239       | 105.024  | 2512                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 50    | ศรีสะเกษ            | 15.000       | 104.050  | 2527                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2566 |
| 51    | ท่าตูม              | 15.317       | 103.683  | 2509                | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 52    | สุรินทร์            | 14.883       | 103.500  | 2494                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) รายละเอียดการตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของสถานีอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทย

| ลำดับ | สถานี                        | พิกัดที่ตั้ง |          | เริ่ม<br>ตรวจ<br>ข้อมูล | ฝน | อุณหภูมิ | ลม | ความชื้น<br>สัมพัทธ์ | ความยาวนาน<br>แสงแดด |         |
|-------|------------------------------|--------------|----------|-------------------------|----|----------|----|----------------------|----------------------|---------|
|       |                              | ละติจูด      | ลองจิจูด |                         |    |          |    |                      | สูงสุด               | สิ้นสุด |
| 53    | กกษ.สุรินทร์                 | 14.883       | 103.450  | 2512                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565    |
| 54    | นครราชสีมา                   | 14.968       | 102.086  | 2494                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 55    | กกษ.ปากช่อง                  | 14.644       | 101.332  | 2512                    | /  | /        | /  | /                    | /                    |         |
| 56    | โชคชัย                       | 14.719       | 102.169  | 2508                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 57    | บุรีรัมย์                    | 15.226       | 103.248  | 2546                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 58    | นางรอง                       | 14.583       | 102.800  | 2509                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 59    | บึงกาฬ                       | 18.414       | 103.517  | 2563                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 60    | อำนาจเจริญ                   | 15.904       | 104.618  | 2563                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 61    | ยโสธร                        | 15.795       | 104.214  | 2563                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 62    | นครสวรรค์                    | 15.672       | 100.132  | 2494                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2568    |
| 63    | กกษ.ตากฟ้า                   | 15.349       | 100.530  | 2512                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2567    |
| 64    | กกษ.ชัยนาท                   | 15.150       | 100.183  | 2512                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2568    |
| 65    | อุทัยธานี                    | 15.374       | 100.039  | 2558                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2566    |
| 66    | พระนครศรีอยุธยา              | 14.535       | 100.725  | 2536                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2567    |
| 67    | บัวชุม                       | 15.267       | 101.187  | 2509                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 68    | ลพบุรี                       | 14.800       | 100.645  | 2494                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 69    | สุพรรณบุรี                   | 14.474       | 100.139  | 2495                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 70    | กกษ.อุทัย                    | 14.304       | 99.865   | 2512                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2566    |
| 71    | ทองผาภูมิ                    | 14.742       | 98.636   | 2508                    | /  | /        | /  | /                    | /                    |         |
| 72    | สมุทรสงคราม                  | 13.408       | 100.032  | 2559                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 73    | กาญจนบุรี                    | 14.023       | 99.536   | 2498                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 74    | ราชบุรี                      | 13.489       | 99.792   | 2535                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2566    |
| 75    | นครปฐม                       | 14.012       | 99.970   | 2516                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2567    |
| 76    | ปทุมธานี                     | 14.100       | 100.617  | 2541                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565    |
| 77    | สมุทรปราการ                  | 13.517       | 100.762  | 2554                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2567    |
| 78    | ท่าอากาศยาน<br>สุวรรณภูมิ    | 13.686       | 100.768  | 2550                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 79    | ท่าอากาศยาน<br>ดอนเมือง      | 13.919       | 100.605  | 2494                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 80    | เฉลิมพระเกียรติฯ<br>กรุงเทพฯ | 13.726       | 100.560  | 2494                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2567    |
| 81    | ท่าเรือ กรุงเทพฯ             | 13.707       | 100.568  | 2538                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 82    | กกษ.บางนา<br>กรุงเทพฯ        | 13.666       | 100.606  | 2512                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2567    |
| 83    | น้ำร่อน                      | 13.377       | 100.599  | 2523                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 84    | นครนายก                      | 14.362       | 101.393  | 2558                    | /  | /        | /  | /                    |                      |         |

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) รายละเอียดการตรวจวัดข้อมูลอุตุณิยมวิทยาของสถานีอุตุณิยมวิทยาของประเทศไทย

| ลำดับ | สถานี                 | พิกัดที่ตั้ง |          | เริ่ม<br>ตรวจ<br>ข้อมูล | ฝน | อุณหภูมิ | ลม | ความชื้น<br>สัมพัทธ์ | ความยาวนาน<br>แสงแดด |      |
|-------|-----------------------|--------------|----------|-------------------------|----|----------|----|----------------------|----------------------|------|
|       |                       | ละติจูด      | ลองจิจูด |                         |    |          |    |                      | สิ้นสุด              |      |
| 85    | ปราจีนบุรี            | 14.058       | 101.369  | 2498                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 86    | กบินทร์บุรี           | 13.983       | 101.707  | 2508                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 87    | สระแก้ว               | 13.789       | 102.035  | 2543                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 88    | อรัญประเทศ            | 13.689       | 102.504  | 2494                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 89    | ฉะเชิงเทรา            | 13.516       | 101.458  | 2532                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2568 |
| 90    | ชลบุรี                | 13.367       | 100.983  | 2495                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 91    | แหลมฉบัง              | 13.078       | 100.874  | 2536                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 92    | เกาะสีชัง             | 13.162       | 100.802  | 2501                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 93    | พัทยา                 | 12.920       | 100.869  | 2523                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 94    | สัตหีบ                | 12.683       | 100.983  | 2494                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 95    | ระยอง                 | 12.634       | 101.341  | 2524                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 96    | กกช.ห้วยโป่ง          | 12.735       | 101.135  | 2512                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2567 |
| 97    | จันทบุรี              | 12.617       | 102.113  | 2494                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2564 |
| 98    | กกช.พลี               | 12.509       | 102.173  | 2512                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2568 |
| 99    | ตราด                  | 11.780       | 102.878  | 2495                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 100   | เพชรบุรี              | 12.999       | 100.061  | 2524                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 101   | กกช.หนองพลับ          | 12.583       | 99.733   | 2517                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 102   | หัวหิน                | 12.586       | 99.963   | 2494                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2566 |
| 103   | ประจวบคีรีขันธ์       | 11.833       | 99.833   | 2494                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 104   | ชุมพร                 | 10.499       | 99.188   | 2494                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 105   | กกช.สวี               | 10.333       | 99.100   | 2512                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2566 |
| 106   | สุราษฎร์ธานี          | 9.136        | 99.152   | 2494                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 107   | กกช.สุราษฎร์ธานี      | 9.100        | 99.633   | 2535                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2566 |
| 108   | เกาะสมุย              | 9.451        | 100.034  | 2512                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 109   | พระแสง สอท.           | 8.570        | 99.258   | 2541                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 110   | ฉวาง                  | 8.425        | 99.507   | 2541                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 111   | นครศรีธรรมราช         | 8.538        | 99.947   | 2494                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 112   | กกช.<br>นครศรีธรรมราช | 8.359        | 100.000  | 2527                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 113   | กกช.พัทลุง            | 7.583        | 100.167  | 2525                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2565 |
| 114   | สงขลา                 | 7.182        | 100.608  | 2494                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 115   | หาดใหญ่               | 6.917        | 100.433  | 2516                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 116   | กกช.คอหงษ์            | 7.000        | 100.500  | 2512                    | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2567 |
| 117   | สะเดา                 | 6.798        | 100.391  | 2542                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |
| 118   | ปัตตานี               | 6.783        | 101.150  | 2507                    | /  | /        | /  | /                    |                      |      |

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) รายละเอียดการตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของสถานีอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทย

| ลำดับ | สถานี                 | พิกัดที่ตั้ง |          | เริ่มตรวจ<br>ข้อมูล | ฝน | อุณหภูมิ | ลม | ความชื้น<br>สัมพัทธ์ | ความยาวนาน<br>แสงแดด |         |
|-------|-----------------------|--------------|----------|---------------------|----|----------|----|----------------------|----------------------|---------|
|       |                       | ละติจูด      | ลองจิจูด |                     |    |          |    |                      | สูงสุด               | สิ้นสุด |
| 119   | กกช.ยะลา              | 6.517        | 101.283  | 2542                | /  | /        | /  | /                    | /                    | 2567    |
| 120   | นราธิวาส              | 6.417        | 101.817  | 2494                | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 121   | ระนอง                 | 9.983        | 98.617   | 2494                | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 122   | ตะกั่วป่า             | 8.684        | 98.252   | 2518                | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 123   | ภูเก็ต                | 7.883        | 98.400   | 2494                | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 124   | ท่าอากาศยาน<br>ภูเก็ต | 8.145        | 98.314   | 2494                | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 125   | กระบี่                | 8.104        | 98.975   | 2537                | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 126   | เกาะลันตา             | 7.543        | 99.050   | 2524                | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 127   | ตรัง                  | 7.517        | 99.617   | 2497                | /  | /        | /  | /                    |                      |         |
| 128   | สตูล                  | 6.650        | 100.083  | 2520                | /  | /        | /  | /                    |                      |         |

## 2.2.2 การตรวจสอบและยืนยันประสิทธิภาพของสถิติจุดในการทดแทนค่าความยาวนานแสงแดดในการประมาณค่าดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (MAI)

ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของการใช้พิกัดสถิติจุดทดแทนค่าความยาวนานแสงแดด ในการประมาณค่าดัชนี MAI โดยใช้วิธีเปรียบเทียบค่าที่คำนวณจากข้อมูลจริงกับค่าที่คำนวณจากตัวแปรทดแทน โดยที่ตัวแปรอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ ( $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ,  $R_h$ ,  $U$ ,  $Rainfall$ ) กำหนดให้มีค่าเท่ากันทั้งหมด

### 2.2.2.1 หลักการคำนวณและตัวแปรที่แตกต่าง

การประมาณค่าดัชนี MAI สะสม 10 วัน จากตัวแปรที่ต่างกันทั้งสอง จะใช้สมการ Penman-Monteith (FAO-56) เดียวกัน แต่มีความแตกต่างกันในส่วนของการได้มาของค่ารังสีดวงอาทิตย์สุทธิ ( $R_n$ )

- ค่าจริง ( $MAI_{obs}$ ) จะได้มาจากข้อมูลความยาวนานแสงแดดจริง
- ค่าทดแทน ( $MAI_{lat}$ ) จะได้มาจากพิกัดสถิติจุด ที่นำไปผ่านการคำนวณรังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศ ( $R_a$ )

เมื่อมีการประมาณค่าดัชนี MAI สะสม 10 วันแล้ว จะทำการจัดระดับความชื้น MAI ตามเกณฑ์การจำแนกระดับความชื้น ซึ่งจะบ่งชี้ถึงความเพียงพอของน้ำต่อศักยภาพการผลิตของพืช ไม่ว่าจะได้รับน้ำมากเกินไปจนถึงขาดน้ำรุนแรง

### 2.2.2.2 การกำหนดช่วงเวลาของข้อมูล

การเลือกช่วงเวลาของชุดข้อมูลที่จะนำมาทดสอบ จะเลือกให้ครอบคลุมช่วง 3 ฤดูกาลหลักของประเทศไทย เพื่อยืนยันประสิทธิภาพในทุกช่วงเวลา โดยเลือกช่วง 10 วัน (Dekadal Period) ที่เป็นตัวแทนของแต่ละฤดู ดังนี้

**ตารางที่ 2.2** การกำหนดช่วงเวลา 10 วัน ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการทดแทนตัวแปรความยาวนานแสงแดด ตามฤดูกาลหลักของประเทศไทย

| ฤดูกาล  | ช่วงเวลา (พ.ศ. 2563) | วัตถุประสงค์                                        |
|---------|----------------------|-----------------------------------------------------|
| ฤดูหนาว | 11 – 20 มกราคม       | ทดสอบประสิทธิภาพในสภาวะอุณหภูมิต่ำและแสงแดดคงที่    |
| ฤดูร้อน | 11 – 20 เมษายน       | ทดสอบประสิทธิภาพในสภาวะอุณหภูมิสูงและปริมาณรังสีสูง |
| ฤดูฝน   | 11 – 20 สิงหาคม      | ทดสอบประสิทธิภาพในสภาวะเมฆมากและปริมาณความชื้นสูง   |

### 2.2.2.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบ  $MAI_{obs}$  และ  $MAI_{lat}$  ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

- เชิงปริมาณ: ใช้ตัวชี้วัดความแม่นยำเชิงปริมาณ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ), ความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยราก (RMSE) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน ( $r$ )
- เชิงคุณภาพ: เปรียบเทียบร้อยละความสอดคล้อง (Percentage Agreement) ของระดับความขึ้นของดัชนี MAI ในทั้ง 3 ช่วงฤดูหลัก เพื่อประเมินความสามารถในการจำแนกภาวะการรับน้ำของพืชได้อย่างถูกต้อง

### 2.2.3 รวบรวมข้อมูลพยากรณ์และสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ดัชนี MAI ล่วงหน้า 10 วัน (Forecasting Model)

เมื่อวิธีการคำนวณที่ใช้ตัวแปรละติจูดทดแทนค่าความยาวนานแสงแดดได้รับการตรวจสอบและยืนยันประสิทธิภาพแล้ว ขั้นตอนนี้จึงเป็นการนำวิธีการคำนวณดังกล่าว มาประยุกต์ใช้กับข้อมูลพยากรณ์ เพื่อต่อยอดจากการติดตามสถานการณ์ค่าดัชนี MAI ในอดีต ไปสู่การพยากรณ์ค่าดัชนี MAI ล่วงหน้า 10 วัน เพื่อใช้ในการตัดสินใจเชิงรุกและวางแผนบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในภาคเกษตร

#### 2.2.3.1 การรวบรวมข้อมูลพยากรณ์

ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ คือ ข้อมูลพยากรณ์อากาศล่วงหน้า 10 วัน จากแบบจำลองการพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลขของกรมอุตุนิยมวิทยา (TMD-HPC) โดยข้อมูลนี้มีความถูกต้องแม่นยำสูง เนื่องจากผ่านกระบวนการ Data Assimilation (DA) หรือ การผสมผสานข้อมูลจริง ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงสภาพเริ่มต้นของแบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical Weather Prediction: NWP) โดยมีการผสมผสาน (Assimilate) ข้อมูลการตรวจวัดจริง (Observed Data) จากสถานีตรวจวัด, ดาวเทียม, และเรดาร์ตรวจอากาศ เข้ากับผลการจำลองของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ค่าเริ่มต้นของแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับสภาวะจริงของบรรยากาศมากที่สุด โดยข้อมูลที่นำมาใช้จะอยู่ในรูปแบบ Nearest Point Data (128 สถานี) ที่อ้างอิงตามพิกัดจริงของสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา

### 2.2.3.2 การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ดัชนี MAI ล่วงหน้า 10 วัน

เป็นการนำองค์ความรู้เรื่องการทดแทนค่าด้วยละติจูดที่ได้รับการยืนยันประสิทธิภาพแล้ว มาพัฒนาเป็น แบบจำลองการพยากรณ์ (Forecasting Model) ต้นแบบ โดยประยุกต์ใช้ภาษา Python ร่วมกับเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อสร้างอัลกอริทึมสำหรับประมวลผลข้อมูลพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลข (NWP) จากระบบ TMD-HPC โดยอัตโนมัติ กระบวนการทำงานของแบบจำลอง เริ่มต้นจากการบูรณาการตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่ผ่านกระบวนการ Data Assimilation เข้ากับการคำนวณรังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศ ( $R_a$ ) โดยอาศัยข้อมูลละติจูดเพื่อทดแทนค่าความยาวนานแสงแดดที่ขาดหายไป หลังจากได้ค่า  $R_a$  แล้ว จึงนำไปใช้ในการคำนวณอัตราการระเหยคายน้ำอ้างอิง (ET<sub>o</sub>) ผ่านสมการ Penman-Monteith (FAO-56) ร่วมกับตัวแปรพยากรณ์อื่น ๆ ที่เป็นค่าเฉลี่ย 10 วัน ( $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ,  $R_h$ ,  $U$ ) จากนั้น ระบบจะทำการสร้างค่าพยากรณ์ดัชนี MAI ล่วงหน้า 10 วัน ( $MAI_{forecast}$ ) โดยใช้ข้อมูลการพยากรณ์ปริมาณฝนสะสม 10 วัน ร่วมกับค่า ET<sub>o</sub> ที่คำนวณได้ พร้อมทำการจัดระดับความชื้น MAI Level ตามเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อแสดงให้เห็นว่าในช่วง 10 วันข้างหน้า พืชในแต่ละพื้นที่มีสถานะต่อการรับน้ำอย่างไรบ้าง

### 2.2.4 จัดทำแผนที่การพยากรณ์ดัชนี MAI เชิงพื้นที่และสารสนเทศ

กระบวนการนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการแปลงผลลัพธ์การพยากรณ์เชิงจุด ( $MAI_{forecast}$ ) ให้อยู่ในรูปแบบสารสนเทศเชิงพื้นที่ที่ต่อเนื่องและพร้อมใช้งาน เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการน้ำและวางแผนด้านการเกษตร การประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) จึงถูกนำมาใช้ โดยนำค่า MAI ที่คำนวณได้ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงจุด (Point Data) มาประยุกต์ใช้เทคนิค Kriging เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของข้อมูลและสร้างพื้นผิวข้อมูลที่มีความต่อเนื่องครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการตัดสินใจเชิงภูมิสารสนเทศ โดยแผนที่ที่จัดทำขึ้นจะใช้โปรแกรม Golden Software Surfer ในการประมวลผลและแสดงผลลัพธ์เชิงพื้นที่

สำหรับการจัดทำแผนที่ที่แสดงผล จะเน้นที่รูปแบบระดับ MAI Level โดยนำค่า MAI ที่ได้แต่ละจุดไปทำการจำแนกระดับ (Classify) ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ตั้งแต่พืชขาดน้ำรุนแรงไปจนถึงพืชได้รับน้ำมากเกินไป นอกจากนี้ ยังมีการประยุกต์เพิ่มเติมโดยทำการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่และความละเอียดของข้อมูลระหว่างแผนที่ที่ได้จากข้อมูล Nearest Point Data (128 สถานี) กับแผนที่ที่ได้จากข้อมูล Grid Data ซึ่งมีความละเอียดสูงกว่า เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างและความเหมาะสมของแหล่งข้อมูลแต่ละรูปแบบในการสร้างสารสนเทศ MAI

### 2.2.5 สรุปผลการศึกษาและเผยแพร่

สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติทั้งหมด เพื่อยืนยันว่าการใช้ละติจูดทดแทนค่าความยาวนานแสงแดดในการประมาณค่าดัชนี MAI มีประสิทธิภาพและความแม่นยำสูง จากนั้นจึงดำเนินการจัดทำชุดข้อมูลค่าดัชนี MAI พยากรณ์ล่วงหน้า 10 วัน ที่ผ่านการคำนวณและประมวลผลเชิงพื้นที่แล้ว เพื่อเผยแพร่ชุดข้อมูลและแผนที่เชิงสารสนเทศที่แสดงระดับ MAI Level สู่อำนาจผ่านช่องทางโซเชียลมีเดียหลายช่องทาง เพื่อให้เกษตรกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการวางแผนการเกษตรเชิงรุกและการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 3. ผลการดำเนินการ

การศึกษาการประยุกต์ใช้ละติจูดเพื่อทดแทนค่าความยาวนานแสงแดด สำหรับการพยากรณ์ดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (MAI) ราย 10 วัน ในครั้งนี้ ได้เลือกศึกษาข้อมูลอุตุนิยมวิทยาย้อนหลังบริเวณพื้นที่ประเทศไทย จากสถานีอุตุนิยมวิทยาที่มีข้อมูลครบถ้วน จำนวน 56 สถานี ในปี พ.ศ. 2563 มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าดัชนี MAI ที่คำนวณจากพิกัดละติจูด ( $MAI_{lat}$ ) กับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริง ( $MAI_{obs}$ ) ในช่วงเวลาตัวแทนของ 3 ฤดูกาลหลัก ก่อนที่จะนำผลการทดแทนดังกล่าวมาประยุกต์ร่วมกับข้อมูลจากแบบจำลอง TMD-HPC เพื่อพยากรณ์ค่าดัชนี MAI ล่วงหน้า นอกจากนี้ ยังได้นำวิธีการทางสถิติมาใช้ในการตรวจสอบถึงประสิทธิภาพและความแม่นยำของตัวแปรทดแทน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยราก (RMSE) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน ( $r$ ) รวมถึงการเปรียบเทียบความละเอียดเชิงพื้นที่ระหว่างข้อมูลแบบจุดและแบบกริด เพื่อประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง

#### 3.1 ผลการยืนยันประสิทธิภาพของการใช้ละติจูดทดแทนค่าความยาวนานแสงแดด

การประเมินความเหมาะสมของการใช้พิกัดละติจูดเป็นตัวแปรแทนค่าความยาวนานแสงแดด ถือเป็นขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญที่สุดก่อนนำไปประยุกต์ใช้จริง โดยการศึกษานี้ได้ดำเนินการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างค่าดัชนี MAI ที่คำนวณจากข้อมูลตรวจวัดจริง ( $MAI_{obs}$ ) และค่าที่ได้จากการประมาณการณ์ด้วยละติจูด ( $MAI_{lat}$ ) ภายใต้สภาวะแวดล้อมทางอุตุนิยมวิทยาเดียวกัน เพื่อยืนยันว่าตัวแปรดังกล่าวสามารถอธิบายความแปรปรวนของรังสีดวงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำเพียงพอสำหรับการพยากรณ์ในลำดับถัดไป

##### 3.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีและการเปรียบเทียบเชิงปริมาณ

จากการคำนวณค่าดัชนี MAI ราย 10 วัน ใน 3 ภูมิภาคศึกษาของปี พ.ศ. 2563 โดยใช้พิกัดละติจูด ( $MAI_{lat}$ ) เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากความยาวนานแสงแดดจริง ( $MAI_{obs}$ ) ของสถานีอุตุนิยมวิทยา 56 สถานีทั่วประเทศ สำหรับกรณีศึกษาช่วง 11 – 20 สิงหาคม 2563 พบว่าแม้ในช่วงฤดูฝน (เดือนสิงหาคม) ซึ่งมีปัจจัยเมฆมากมารบกวน แต่ค่าดัชนี MAI ที่ได้จากทั้งสองวิธียังคงมีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน โดยอาจพบความคลาดเคลื่อนของค่าดัชนีเพียงเล็กน้อยในบางพื้นที่ ซึ่งมีผลเพียงระดับทศนิยมที่ยังยอมรับได้ในทางสถิติ เช่น สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดพิษณุโลก, สุรินทร์, ชลบุรี (เกาะสีชัง) และระยอง และยังสามารถระบุสถานะความชื้นของพืชได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ดังแสดงตัวอย่างเปรียบเทียบในตารางที่ 3.1

สำหรับกรณีศึกษาอีก 2 ช่วงเวลา ได้แก่ 11 - 20 มกราคม 2563 (ฤดูหนาว) และ 11 - 20 เมษายน 2563 (ฤดูร้อน) ซึ่งสภาพท้องฟ้ามีเมฆน้อยกว่า พบว่าค่าดัชนี MAI จากทั้งสองวิธีมีความสอดคล้องสูงยิ่งกว่าช่วงฤดูฝน โดยแทบไม่พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญต่อการจัดระดับความชื้น ดังรายละเอียดผลการคำนวณที่แสดงไว้ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบค่า PET, ดัชนี MAI และระดับความชื้นของแต่ละสถานี กรณีศึกษา ในช่วงฤดูหนาว (11 – 20 มกราคม 2563)

| สถานี           | PET <sub>obs</sub> (มม.) | PET <sub>lat</sub> (มม.) | MAI <sub>obs</sub> | MAI <sub>lat</sub> | ระดับความชื้น(obs) | ระดับความชื้น(lat) |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| เชียงราย        | 23.70                    | 25.97                    | 4.87               | 4.44               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.เชียงราย    | 21.27                    | 25.14                    | 6.04               | 5.11               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| เชียงใหม่       | 37.49                    | 41.90                    | 3.36               | 3.01               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.ลำปาง       | 21.84                    | 26.02                    | 5.07               | 4.26               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| ลำพูน           | 35.70                    | 41.39                    | 2.06               | 1.77               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.น่าน        | 21.64                    | 24.89                    | 6.73               | 5.85               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| เลย             | 28.95                    | 32.39                    | 2.93               | 2.62               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.เลย         | 20.97                    | 27.12                    | 4.94               | 3.82               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| สกลนคร          | 23.80                    | 26.07                    | 4.63               | 4.22               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.สกลนคร      | 25.37                    | 29.09                    | 3.33               | 2.91               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| นครพนม          | 25.21                    | 28.67                    | 6.06               | 5.33               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.นครพนม      | 18.52                    | 24.07                    | 6.49               | 5.00               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.ศรีสำโรง    | 27.38                    | 33.21                    | 5.17               | 4.26               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| จ.สุโขทัย       |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กกช.ดอยมูเซอร์  | 19.57                    | 22.14                    | 2.42               | 2.14               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| จ.ตาก           |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| พิษณุโลก        | 37.06                    | 39.56                    | 1.38               | 1.29               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| เพชรบูรณ์       | 26.26                    | 34.09                    | 3.84               | 2.96               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| ขอนแก่น         | 27.52                    | 31.58                    | 4.03               | 3.51               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.ท่าพระ      | 29.55                    | 32.35                    | 2.61               | 2.38               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| จ.ขอนแก่น       |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| มุกดาหาร        | 25.57                    | 28.13                    | 3.61               | 3.28               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.พิจิตร      | 47.40                    | 48.91                    | 0.74               | 0.72               | ขาดน้ำเล็กน้อย     | ขาดน้ำเล็กน้อย     |
| นครสวรรค์       | 43.68                    | 47.81                    | 2.42               | 2.21               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.ตากฟ้า      | 37.28                    | 42.97                    | 0.42               | 0.36               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| จ.นครสวรรค์     |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กกช.ชัยนาท      | 50.76                    | 53.24                    | 0.63               | 0.60               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| ร้อยเอ็ด        | 33.92                    | 35.45                    | 1.51               | 1.45               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.ร้อยเอ็ด    | 30.18                    | 32.28                    | 2.90               | 2.71               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.อุบลราชธานี | 28.74                    | 32.72                    | 1.53               | 1.34               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| อุบลราชธานี     | 39.51                    | 41.23                    | 0.70               | 0.67               | ขาดน้ำเล็กน้อย     | ขาดน้ำเล็กน้อย     |
| กกช.ศรีสะเกษ    | 34.11                    | 36.47                    | 2.01               | 1.88               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| อุทัยธานี       | 46.38                    | 48.94                    | 1.08               | 1.03               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| พระนครศรีอยุธยา | 44.29                    | 48.79                    | 1.18               | 1.07               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| ปทุมธานี        | 48.00                    | 53.28                    | 1.93               | 1.74               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| ฉะเชิงเทรา      | 28.92                    | 34.64                    | 4.88               | 4.07               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| ราชบุรี         | 40.68                    | 42.73                    | 1.30               | 1.23               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |

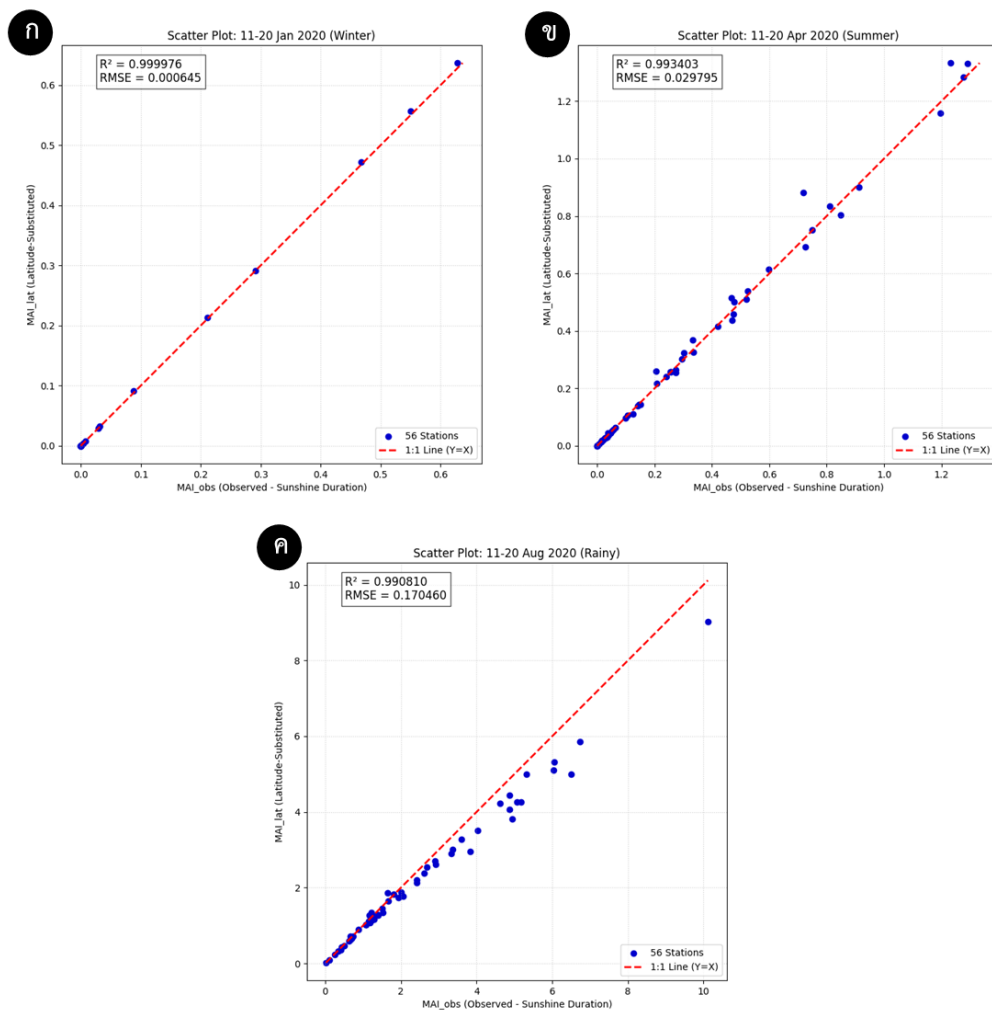
**ตารางที่ 3.1 (ต่อ) การเปรียบเทียบค่า PET, ดัชนี MAI และระดับความชื้นของแต่ละสถานี  
กรณีศึกษาในช่วงฤดูหนาว (11 – 20 มกราคม 2563)**

| สถานี              | PET <sub>obs</sub> (มม.) | PET <sub>lat</sub> (มม.) | MAI <sub>obs</sub> | MAI <sub>lat</sub> | ระดับความชื้น(obs) | ระดับความชื้น(lat) |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| กษ.อุทอง           | 52.76                    | 60.95                    | 0.11               | 0.10               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| จ.สุพรรณบุรี       |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| สมุทรปราการ        | 50.34                    | 44.77                    | 1.65               | 1.86               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กษ.ปากช่อง         | 54.04                    | 56.81                    | 0.35               | 0.33               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| จ.นครราชสีมา       |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| สุรินทร์           | 40.68                    | 44.42                    | 1.39               | 1.27               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| กษ.สุรินทร์        | 38.83                    | 43.33                    | 1.29               | 1.16               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| นครปฐม             | 41.56                    | 43.09                    | 1.15               | 1.11               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| เฉลิมพระเกียรติฯ   | 44.81                    | 47.39                    | 2.68               | 2.54               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กรุงเทพฯ           |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กษ.บางนา           | 45.74                    | 45.01                    | 1.80               | 1.83               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กรุงเทพฯ           |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| เกาะสีชัง จ.ชลบุรี | 45.24                    | 41.35                    | 1.22               | 1.34               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| บางละมุง จ.ชลบุรี  | 49.58                    | 45.07                    | 1.17               | 1.28               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| ระยอง              | 42.04                    | 38.78                    | 0.66               | 0.72               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำเล็กน้อย     |
| กษ.ห้วยโป่ง        | 34.16                    | 34.80                    | 1.20               | 1.18               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| จ.ระยอง            |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| จันทบุรี           | 36.18                    | 38.60                    | 5.33               | 4.99               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กษ.พลับ            | 26.13                    | 29.30                    | 10.11              | 9.02               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| จ.จันทบุรี         |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| หัวหิน             | 54.31                    | 53.19                    | 0.43               | 0.44               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| จ.ประจวบคีรีขันธ์  |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| หนองพลับ           | 43.72                    | 47.22                    | 1.24               | 1.14               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| จ.ประจวบคีรีขันธ์  |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กษ.สวี จ.ชุมพร     | 36.60                    | 39.15                    | 0.50               | 0.47               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| สุราษฎร์ธานี       | 39.11                    | 41.75                    | 1.08               | 1.02               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| กษ.สุราษฎร์ธานี    | 40.88                    | 42.75                    | 0.25               | 0.24               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กษ.                | 39.13                    | 41.06                    | 0.03               | 0.02               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| นครศรีธรรมราช      |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กษ.พัทลุง          | 46.35                    | 45.54                    | 0.88               | 0.90               | ขาดน้ำเล็กน้อย     | ขาดน้ำเล็กน้อย     |
| กษ.คอหงส์          | 41.52                    | 43.56                    | 0.67               | 0.64               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| จ.สงขลา            |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กษ.ยะลา            | 44.47                    | 44.94                    | 1.66               | 1.64               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |

หลังจากนั้น เมื่อนำผลการคำนวณของทั้ง 3 กรณีศึกษามาวิเคราะห์ภาพรวมเชิงปริมาณ ด้วยวิธีทางสถิติ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) มีค่าสูงกว่า 0.991 ในทุกช่วงเวลา ซึ่งแสดงให้เห็น

เห็นว่า พิกัดละติจูดเป็นตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลหลักในการกำหนดค่ารังสีดวงอาทิตย์ สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน ( $r$ ) ที่มีค่าสูงกว่า 0.995 ในทุกกรณีศึกษา บ่งชี้ถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นในทางบวกที่แข็งแกร่งมาก

จากรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี  $MAI_{obs}$  (แกนนอน) และ  $MAI_{lat}$  (แกนตั้ง) โดยมีเส้นประสีแดงแสดงเส้นสมมติ เพื่อเปรียบเทียบความสมบูรณ์ของข้อมูล จะเห็นได้ว่าจุดข้อมูลส่วนใหญ่มีการเกาะกลุ่มกันไปกับเส้นสมมติอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน ที่มีท้องฟ้าโปร่ง ค่าความแม่นยำจะสูงที่สุด โดยมีค่า  $R^2$  สูงถึง 1.000 และจุดข้อมูลเรียงตัวกันแน่นจนแทบจะเป็นเส้นตรงเดียวกัน สะท้อนถึงความสัมพันธ์ทางดาราศาสตร์ที่ชัดเจน ในขณะที่ช่วงฤดูฝน แม้ค่า RMSE จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 0.170 เนื่องจากการรบกวนของเมฆฝน ทำให้จุดข้อมูลมีการกระจายตัวเล็กน้อย แต่ค่าสถิติโดยรวมยังคงอยู่ในระดับสูง ซึ่งยืนยันได้ว่าวิธีการนี้มีความเสถียร และสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้อย่างแม่นยำ ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.1 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเส้นและแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูลระหว่าง  $MAI_{obs}$  และ  $MAI_{lat}$  จำแนกตามฤดูกาล: (ก) ฤดูหนาว (ข) ฤดูร้อน และ (ค) ฤดูฝน

ตารางที่ 3.2 ผลการเปรียบเทียบเชิงสถิติระหว่างค่าดัชนี  $MAI_{lat}$  และ  $MAI_{obs}$

| ชุดข้อมูล (ช่วงเวลา)         | $R^2$ | RSME  | Pearson r |
|------------------------------|-------|-------|-----------|
| 11 - 20 ม.ค. 2563 (ฤดูหนาว)  | 1.000 | 0.001 | 1.000     |
| 11 - 20 ส.ค. 2563 (ฤดูฝน)    | 0.991 | 0.170 | 0.995     |
| 11 - 20 เม.ย. 2563 (ฤดูร้อน) | 0.993 | 0.030 | 0.997     |

### 3.1.2 การเปรียบเทียบเชิงคุณภาพของการจัดระดับความชื้น (MAI Level)

นอกจากการวิเคราะห์เชิงปริมาณแล้ว การวิเคราะห์เชิงคุณภาพโดยประเมินความถูกต้องในการจัดจำแนก "ระดับความชื้น" (MAI Level) ถือเป็นหัวใจสำคัญของการนำไปใช้งานจริง เนื่องจากการตัดสินใจวางแผนการเกษตรมักอ้างอิงตามช่วงระดับความชื้น (เช่น "พอเพียง" หรือ "ขาดแคลน") มากกว่าค่าตัวเลขทศนิยม

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงได้นำค่าดัชนี MAI ที่คำนวณได้มาจำแนกสถานะตามเกณฑ์มาตรฐาน 5 ระดับ (ตั้งแต่ระดับขาดน้ำรุนแรง ไปจนถึงระดับได้รับน้ำมากเกินไป) และเปรียบเทียบความสอดคล้องระหว่างวิธีทดแทน ( $MAI_{lat}$ ) กับวิธีตรวจวัดจริง ( $MAI_{obs}$ ) ผลการตรวจสอบ พบว่ามีความสอดคล้องสูงมากในทุกฤดูกาล โดยช่วงฤดูหนาว (มกราคม) มีความสอดคล้องสมบูรณ์ที่ร้อยละ 100.00 รองลงมาคือ ช่วงฤดูร้อน (เมษายน) ร้อยละ 94.64 และต่ำที่สุดใน ช่วงฤดูฝน (สิงหาคม) ที่ร้อยละ 92.86

ทั้งนี้ สำหรับความคลาดเคลื่อนที่พบในฤดูฝน ส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนระดับความชื้นเพียง 1 ระดับเท่านั้น จากภาพรวมในทุกกรณีศึกษาจึงยืนยันได้ว่า การใช้ฟังก์ชันจุดมาเป็นตัวแปรทดแทน มีประสิทธิภาพสูงเกินกว่าร้อยละ 90 ในการระบุสถานการณ์ความชื้นเพื่อการเกษตร ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ร้อยละความสอดคล้องของการจัดระดับความชื้น ( $MAI_{lat}$  เทียบกับ  $MAI_{obs}$ )

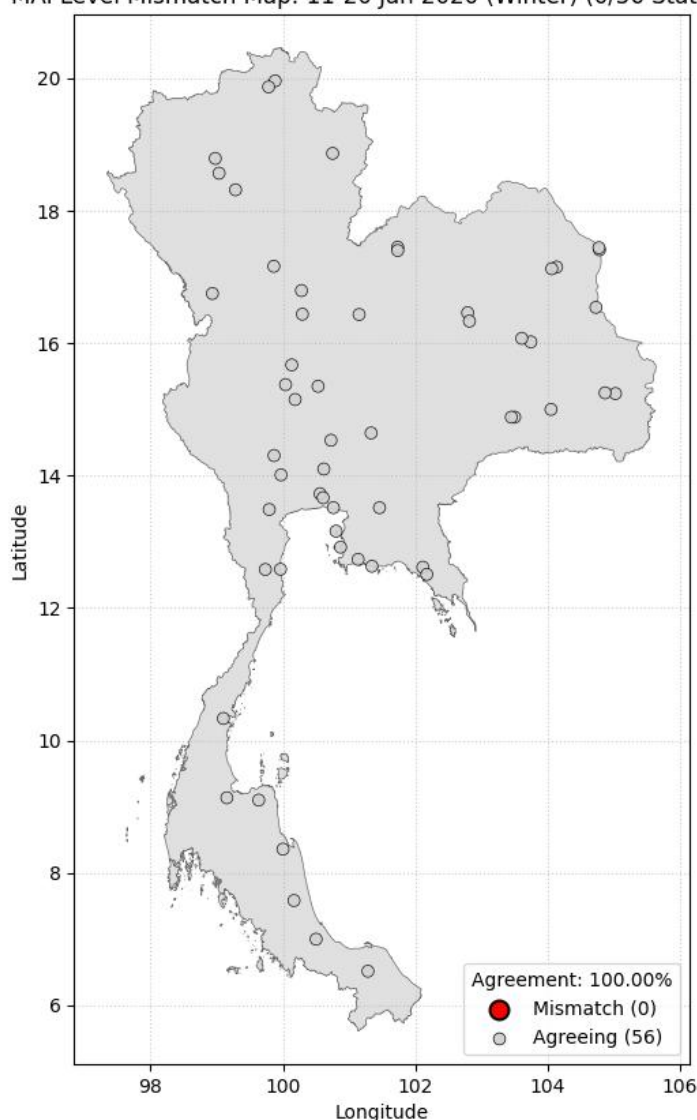
| ชุดข้อมูล (ช่วงเวลา)         | จำนวนสถานี |         | ร้อยละความสอดคล้อง |
|------------------------------|------------|---------|--------------------|
|                              | ตรงกัน     | ทั้งหมด |                    |
| 11 - 20 ม.ค. 2563 (ฤดูหนาว)  | 56         | 56      | 100.00             |
| 11 - 20 ส.ค. 2563 (ฤดูฝน)    | 52         | 56      | 92.86              |
| 11 - 20 เม.ย. 2563 (ฤดูร้อน) | 53         | 56      | 94.64              |

### 3.1.3 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่ (Spatial Mismatch Analysis)

ต่อเนื่องจากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงคุณภาพ เพื่อให้เห็นภาพการกระจายตัวและความคลาดเคลื่อนของข้อมูลในมิติเชิงพื้นที่ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้ดำเนินการตรวจสอบผ่าน แผนที่ความแตกต่าง (Mismatch Map) เพื่อระบุตำแหน่งของสถานีที่มีผลการจัดระดับความชื้นไม่สอดคล้องกัน โดยผลการตรวจสอบแสดงรายละเอียดดังนี้

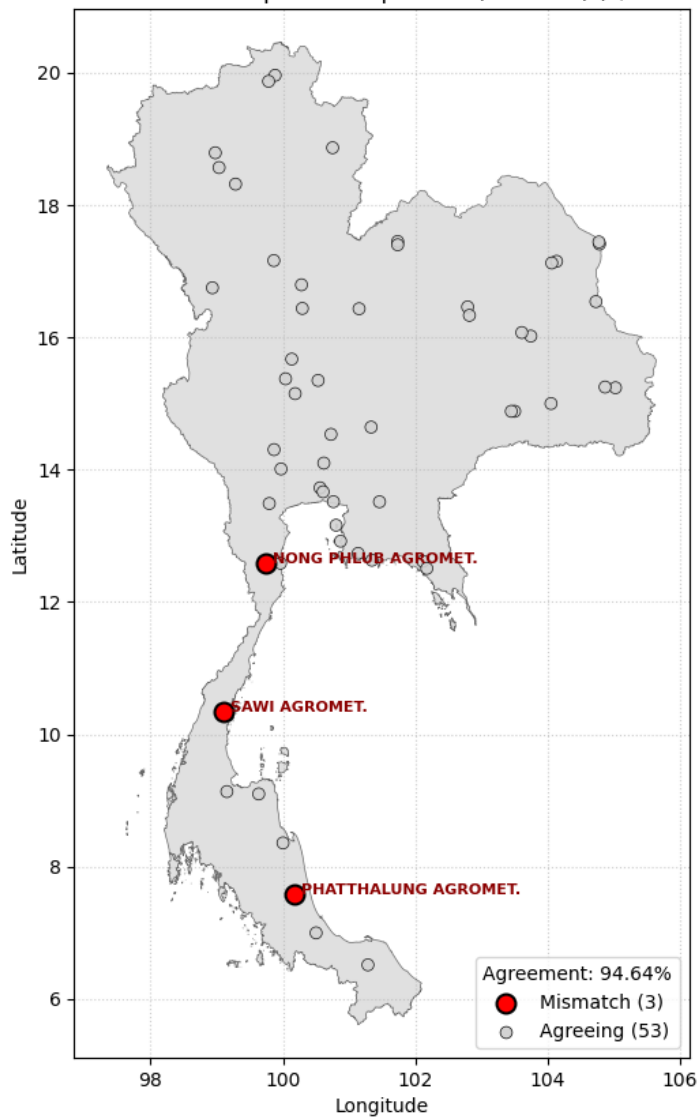
จากรูปที่ 3.2 สำหรับการศึกษาในช่วงฤดูหนาว แผนที่แสดงสถานะความถูกต้องสมบูรณ์ ทั้ง 56 สถานี หรือคือไม่พบจุดความคลาดเคลื่อนในพื้นที่ใดเลย (0% Mismatch) ส่วนการศึกษา ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน (รูปที่ 3.3 และ 3.4) จะเห็นได้ว่า จุดความคลาดเคลื่อนปรากฏเพียงเล็กน้อย ในบางพื้นที่จำนวน 3 สถานี และ 4 สถานี ตามลำดับ โดยเมื่อพิจารณาในรายละเอียดพบว่า ความคลาดเคลื่อนทั้งหมดเกิดจากการเปลี่ยนระดับความชื้นเพียง 1 ระดับเท่านั้น (เช่น เปลี่ยนจากระดับ "น้ำมากเกินไป" เป็น "น้ำพอเพียง" ดังเช่นตัวอย่างสถานีพิษณุโลกในตารางที่ 3.1) และไม่พบ ความผิดพลาดแบบข้ามกระโดดหรือความผิดปกติที่มีนัยสำคัญแต่อย่างใด

MAI Level Mismatch Map: 11-20 Jan 2020 (Winter) (0/56 Stations)



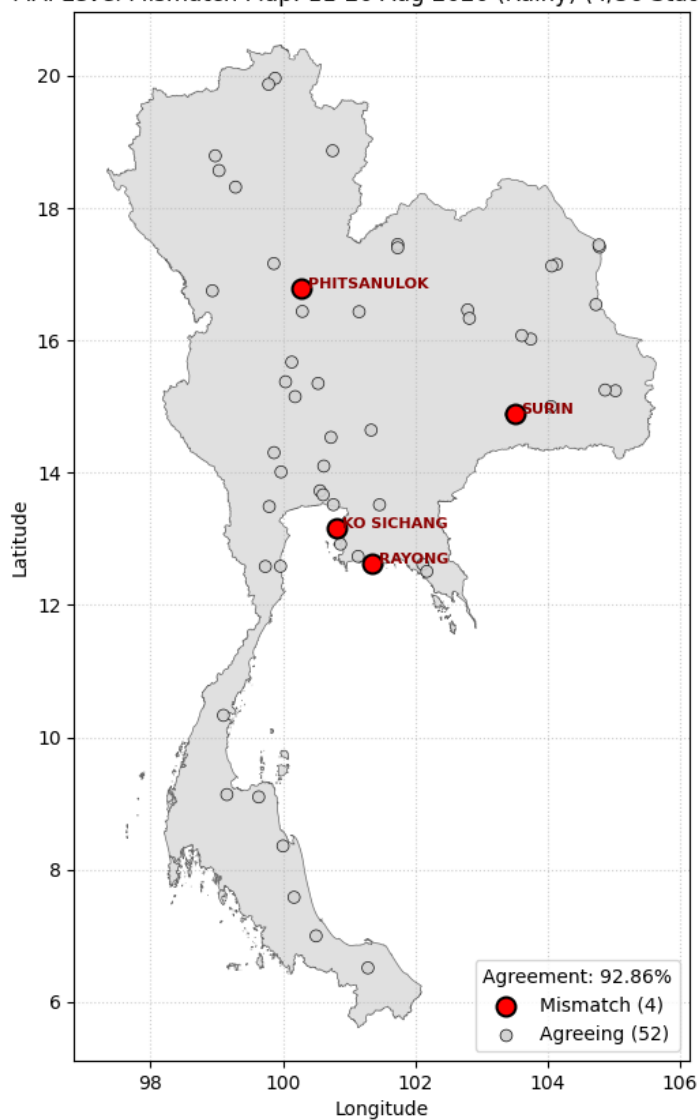
**รูปที่ 3.2** การเปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเส้นและแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูลระหว่าง MAI<sub>obs</sub> และ MAI<sub>lat</sub> การศึกษาในช่วงฤดูหนาว (11 – 20 มกราคม 2563)

MAI Level Mismatch Map: 11-20 Apr 2020 (Summer) (3/56 Stations)



รูปที่ 3.3 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเส้นและแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูลระหว่าง  $MAI_{obs}$  และ  $MAI_{lat}$  กรณีศึกษาในช่วงฤดูร้อน (11 – 20 เมษายน 2563)

MAI Level Mismatch Map: 11-20 Aug 2020 (Rainy) (4/56 Stations)



**รูปที่ 3.4** การเปรียบเทียบความสัมพันธ์เชิงเส้นและแนวโน้มการกระจายตัวของข้อมูลระหว่าง  $MAI_{obs}$  และ  $MAI_{lat}$  กรณีศึกษาในช่วงฤดูฝน (11 – 20 สิงหาคม 2563)

จากการวิเคราะห์ตรวจสอบทั้งเชิงปริมาณ เชิงคุณภาพ และเชิงพื้นที่ สามารถสรุปได้ว่า การใช้ฟังก์ชันการกระจายตัวแทนค่าความยาวนานแสงแดด มีความแม่นยำสูงกว่าร้อยละ 92 ในการจัดระดับชั้นความชื้น ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์ประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลอง TMD-HPC เพื่อการพยากรณ์ในลำดับต่อไป

### 3.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ดัชนี MAI ล่วงหน้า 10 วัน

เมื่อผลการทดสอบยืนยันแล้วว่า การใช้พิกัดละติจูดสามารถทดแทนค่าความยาวนานแสงแดดได้อย่างแม่นยำ ในขั้นตอนต่อมา จึงได้มีการนำองค์ความรู้นี้มาพัฒนาเป็นแบบจำลองการพยากรณ์ดัชนี MAI (Forecasting Model) ต้นแบบ โดยประยุกต์ใช้ภาษา Python ร่วมกับเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อสร้างอัลกอริทึมสำหรับประมวลผลข้อมูลพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลข (NWP) จากระบบ TMD-HPC โดยอัตโนมัติต่อไป

สำหรับภาพรวมกลไกการทำงานของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น สำหรับชุดข้อมูลรายสถานี (Station-Referenced Data) สามารถสรุปกระบวนการประมวลผลข้อมูล (Data Processing Workflow) เป็น 3 ขั้นตอนหลักได้ดังนี้

- การนำเข้าข้อมูล (Input) โดยระบบทำการดึงข้อมูลพยากรณ์อากาศรายวัน (อุณหภูมิ, ความชื้น, ลม, ฝน) จากฐานข้อมูล TMD-HPC เข้าสู่ระบบ ร่วมกับตัวแปรพิกัดละติจูด (Latitude) ที่อ้างอิงตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัดแต่ละแห่ง ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรนำเข้าสำคัญเพื่อทดแทนค่าความยาวนานแสงแดด

- การประมวลผล (Processing) อัลกอริทึมทำการคำนวณค่าศักยภาพการคายระเหยน้ำ (PET) และดัชนี MAI ตามสมการคณิตศาสตร์ที่กำหนดไว้ในระเบียบวิธีวิจัย

- การแสดงผลลัพธ์ (Output) ระบบจะทำการสร้างชุดข้อมูลพยากรณ์ดัชนี MAI ล่วงหน้า ราย 10 วัน โดยประกอบด้วย ค่า PET, ค่าดัชนี MAI และ ระดับความชื้น (MAI Level)

ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองต้นแบบดังกล่าว ทำให้ได้ชุดข้อมูลสารสนเทศที่พร้อมนำไปใช้งาน โดยแสดงตัวอย่างผลลัพธ์การคำนวณที่ได้จากระบบ Python ดังตารางที่ 3.4

**ตารางที่ 3.4** ตัวอย่างผลลัพธ์การพยากรณ์ค่าดัชนี MAI และระดับความชื้นราย 10 วัน จำแนกตามสถานีตัวแทน (22 – 29 พฤศจิกายน 2568)

| สถานี        | PET <sub>forecast</sub><br>(มม.) | ฝนสะสม 10 วัน<br>พยากรณ์ (มม.) | MAI <sub>forecast</sub> | ระดับความชื้นพยากรณ์ |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------------------|
| เชียงใหม่    | 32.28                            | 0                              | 0                       | ขาดน้ำรุนแรง         |
| ตาก          | 30.81                            | 2.62                           | 0.09                    | ขาดน้ำรุนแรง         |
| เลย          | 31.20                            | 0.27                           | 0.01                    | ขาดน้ำรุนแรง         |
| อุบลราชธานี  | 51.90                            | 0                              | 0                       | ขาดน้ำรุนแรง         |
| กกช.บางนา    | 52.54                            | 1.97                           | 0.04                    | ขาดน้ำรุนแรง         |
| กรุงเทพฯ     |                                  |                                |                         |                      |
| ชลบุรี       | 53.12                            | 0.06                           | 0                       | ขาดน้ำรุนแรง         |
| ตราด         | 61.12                            | 10.77                          | 0.18                    | ขาดน้ำรุนแรง         |
| ชุมพร        | 35.05                            | 12.11                          | 0.35                    | ขาดน้ำปานกลาง        |
| สุราษฎร์ธานี | 45.65                            | 58.03                          | 1.27                    | ได้รับน้ำเพียงพอ     |
| สงขลา        | 23.99                            | 426.00                         | 17.76                   | ได้รับน้ำมากเกินไป   |
| ระนอง        | 37.41                            | 27.55                          | 0.74                    | ขาดน้ำเล็กน้อย       |
| ภูเก็ต       | 28.77                            | 212.87                         | 7.40                    | ได้รับน้ำมากเกินไป   |

จากตารางที่ 3.4 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์โดยตรงระหว่าง ปริมาณฝนพยากรณ์กับค่าดัชนี MAI โดยสามารถสะท้อนสถานการณ์น้ำในแต่ละพื้นที่ได้อย่างสอดคล้องกับปริมาณฝนที่คาดการณ์ไว้ กล่าวคือ พื้นที่ประเทศไทยตอนบน (ภาคเหนือ, ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, ภาคกลาง และภาคตะวันออก) ซึ่งมีปริมาณฝนพยากรณ์น้อยมากหรือไม่มีฝนตกเลย ส่งผลให้ค่าดัชนี MAI มีค่าต่ำ อยู่ในช่วง 0.00 – 0.09 และถูกจัดอยู่ในเกณฑ์พืชขาดน้ำรุนแรงทั้งหมด ในขณะที่พื้นที่ภาคใต้ โดยเฉพาะ จังหวัดสงขลาและภูเก็ต มีปริมาณฝนพยากรณ์สะสมสูงมาก (426.00 และ 212.87 มม.) เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ค่าดัชนี MAI พุ่งสูงขึ้นตามไปด้วยจนถึงระดับ 17.76 และ 7.40 ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์พืชได้รับน้ำมากเกินไป

ผลการวิเคราะห์ยืนยันได้ว่า แบบจำลองนี้สามารถพยากรณ์ดัชนี MAI ล่วงหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ทราบล่วงหน้าว่าในอีก 10 วันข้างหน้า พื้นที่แต่ละแห่งจะได้รับอิทธิพลจากฝนมากน้อยเพียงใด และจะส่งผลต่อสถานะความชื้นของพืชอย่างไร ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยให้เกษตรกรสามารถตัดสินใจวางแผนการให้น้ำแก่พืชได้อย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นจริง

### 3.3 ผลการจัดทำแผนที่เชิงพื้นที่และการเปรียบเทียบความละเอียดข้อมูล

หลังจากได้ชุดข้อมูลสารสนเทศการพยากรณ์ดัชนี MAI ราย 10 วันแล้ว เพื่อให้สามารถนำข้อมูลเชิงตัวเลขดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้ดำเนินการแปลงข้อมูลสู่การแสดงผลในรูปแบบแผนที่สถานการณ์ความชื้น (Spatial MAI Map) เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของความชื้น รวมถึงเปรียบเทียบความละเอียดของข้อมูลเพื่อคัดเลือกต้นแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการเผยแพร่

#### 3.3.1 การประยุกต์ใช้เทคนิคการสร้างแผนที่ (Application of Mapping Techniques)

สำหรับการจัดทำแผนที่เชิงพื้นที่ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการสร้างแผนที่การพยากรณ์ดัชนี MAI ในรูปแบบระดับความชื้น (MAI Level) ผ่าน 2 เทคนิคที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของรายละเอียดเชิงพื้นที่ ดังนี้

##### 3.3.1.1 การประมาณค่าจากข้อมูลพิกัดสถานี (Station-Based Interpolation)

ใช้ข้อมูลพยากรณ์อากาศที่ทำการคัดเลือกจากจุดพิกัดที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งอ้างอิงของสถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา (Nearest Point) จำนวน 128 สถานี มาผ่านกระบวนการประมาณค่าช่วงเชิงพื้นที่ด้วยเทคนิค Kriging เพื่อจัดทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของความชื้นให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา

##### 3.3.1.2 การประมาณค่าจากข้อมูลกริด (Grid-Based Interpolation)

ใช้ข้อมูลพยากรณ์แบบกริดความละเอียดสูง (9 × 9 กม.) ครอบคลุมทั่วพื้นที่ มาผ่านกระบวนการประมาณค่าช่วงเชิงพื้นที่ด้วยเทคนิค Kriging เช่นเดียวกัน แต่แสดงผลในรูปแบบ Raster Map ที่มีความละเอียดสูงตามความหนาแน่นของข้อมูลต้นฉบับ

โดยในการแสดงผลแผนที่ทั้ง 2 รูปแบบ ได้กำหนดเกณฑ์การจำแนกชั้นข้อมูล (Classification) และการกำหนดสัญลักษณ์สี (Symbology) ให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้องและชัดเจน โดยแบ่งระดับความชื้นออกเป็น 5 ระดับตามเกณฑ์ของกรมอุตุนิยมวิทยา ดังแสดงรายละเอียดเกณฑ์และแถบสี ดังรูปที่ 3.5

|                                                                                   |                    |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------|
|  | ขาดน้ำรุนแรง       | (0.00 - 0.33) |
|  | ขาดน้ำปานกลาง      | (0.34 - 0.67) |
|  | ขาดน้ำเล็กน้อย     | (0.68 - 1.00) |
|  | ได้รับน้ำเพียงพอ   | (1.01 - 1.33) |
|  | ได้รับน้ำมากเกินไป | (> 1.33)      |

รูปที่ 3.5 เกณฑ์การจำแนกชั้นข้อมูลดัชนี MAI และสัญลักษณ์สีที่ใช้ในการแสดงผลแผนที่

### 3.3.2 ผลการเปรียบเทียบความละเอียดของแผนที่ (Map Resolution Comparison)

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการแสดงผลดัชนี MAI เพื่อให้มีความชัดเจนและสะท้อนความแตกต่างของเทคนิคได้อย่างแท้จริง จึงกำหนดชุดข้อมูลการพยากรณ์ที่ใช้ดำเนินการสร้างแผนที่ทั้ง 2 แบบให้เป็นช่วงเวลาเดียวกัน และนำมาเปรียบเทียบกัน จากรูปที่ 3.6 จะเห็นได้ถึงความแตกต่างของความละเอียดข้อมูลที่มีนัยสำคัญต่อการแปลความหมายและการใช้งานจริงอย่างชัดเจน

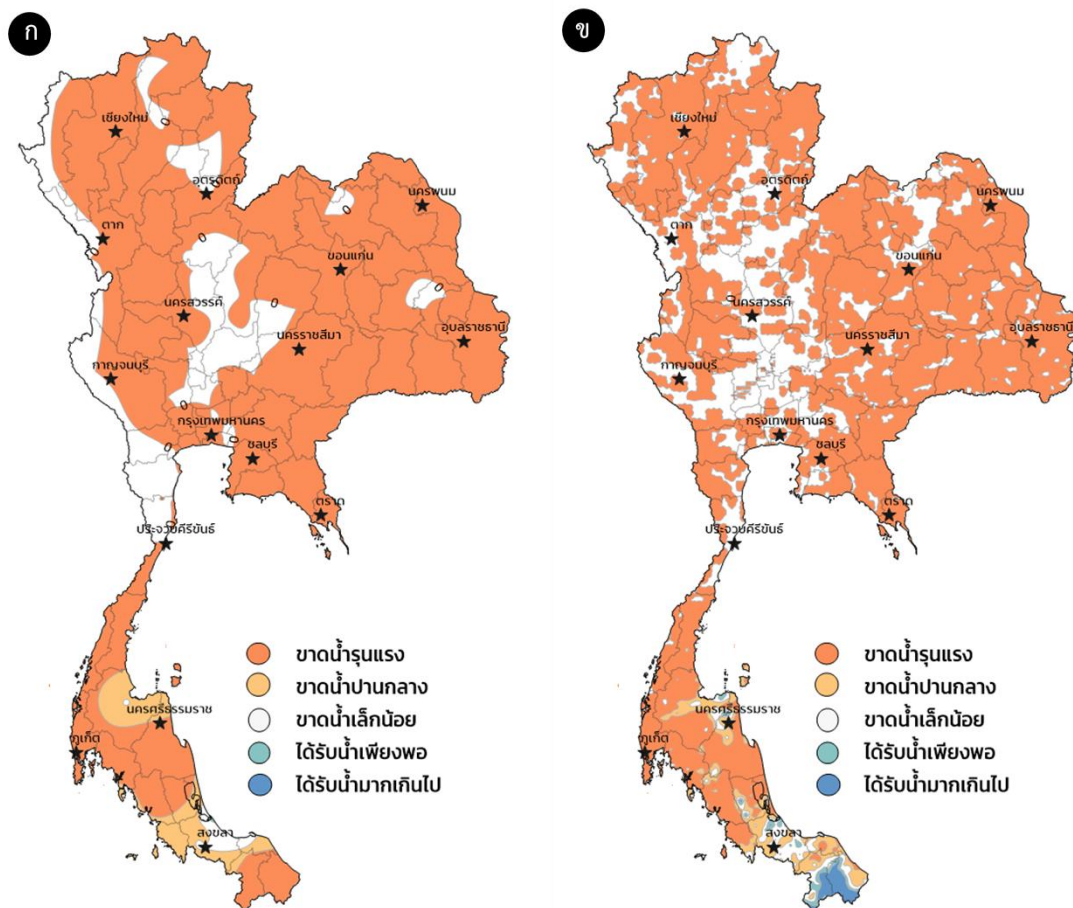
สำหรับรูปที่ 3.6ก ซึ่งแสดงแผนที่จากข้อมูลอ้างอิงพิกัดสถานีกรมอุตุนิยมวิทยา จะพบว่าเนื่องจากการนำข้อมูลจากจุดสถานีที่มีระยะห่างกันมา เกลี่ยค่าเพื่อเติมเต็มพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูล แม้จะทำให้ได้ภาพรวมที่ครอบคลุม แต่กลับเป็นข้อจำกัดสำคัญที่ทำให้รายละเอียดความผันแปรในพื้นที่ย่อยถูกลดทอนไป จึงไม่สามารถสะท้อนความแตกต่างของสภาพอากาศในพื้นที่รอยต่อหรือพื้นที่เฉพาะจุดได้อย่างชัดเจนเท่าที่ควร

ในขณะที่แผนที่จากข้อมูลกริดที่ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย (รูปที่ 3.6ข) เนื่องจากคุณสมบัติของจุดข้อมูลนำเข้ามีความหนาแน่นสูง ทำให้สามารถแสดงความผันแปรเชิงพื้นที่ได้อย่างละเอียด โดยสามารถจำแนกความแตกต่างของระดับความชื้นในพื้นที่ที่อยู่ติดกันได้อย่างชัดเจนและลดปัญหาการเกลี่ยค่าที่มากเกินไป จึงเอื้อต่อการระบุพื้นที่เสี่ยงภัยในระดับพื้นที่ย่อยได้อย่างแม่นยำ และสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงในพื้นที่มากกว่าอย่างเห็นได้ชัด

### 3.3.3 การคัดเลือกรูปแบบการแสดงผลเพื่อการเผยแพร่

จากการเปรียบเทียบความละเอียดข้างต้น ยืนยันได้ว่า แผนที่จากข้อมูลกริดมีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการนำไปใช้งานจริง เนื่องจากมีขีดความสามารถในการพยากรณ์และแสดงผลข้อมูลเจาะลึกได้ถึงระดับรายอำเภอและตำบล ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของเกษตรกรและนักวิชาการเกษตรที่ต้องการข้อมูลความละเอียดสูงเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจวางแผนการเพาะปลูกในระดับพื้นที่ย่อย (Precision Agriculture)

ดังนั้น การศึกษานี้จึงได้คัดเลือกแผนที่จากข้อมูลกริด (รูปที่ 3.4ข) ให้เป็นรูปแบบมาตรฐานสำหรับการเผยแพร่ข้อมูลพยากรณ์สถานการณ์ความชื้นราย 10 วัน ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการน้ำ ลดความเสียหายจากภัยธรรมชาติ และยกระดับการเตือนภัยการเกษตรของประเทศให้มีความแม่นยำและตรงจุดมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบความละเอียดเชิงพื้นที่ของแผนที่พยากรณ์ดัชนี MAI ระหว่าง (ก) แผนที่จากข้อมูลอ้างอิงพิกัดสถานี และ (ข) แผนที่จากข้อมูลกริดความละเอียดสูง ในช่วงเวลาการพยากรณ์เดียวกัน

## 4. สรุปการดำเนินการ

การศึกษาการประยุกต์ใช้ค่าสถิติจุดเป็นตัวแปรทดแทนความยาวนานแสงแดด เพื่อใช้ในการพยากรณ์ดัชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Moisture Availability Index: MAI) ราย 10 วัน โดยอาศัยข้อมูลจากระบบประมวลผลสมรรถนะสูงของกรมอุตุนิยมวิทยา (TMD-HPC) เป็นฐานข้อมูลหลัก วัตถุประสงค์สำคัญของการวิจัย คือ (1) การประเมินความถูกต้องและความเหมาะสมของการใช้พิกัดสถิติจุดเป็นตัวแปรทดแทนค่าความยาวนานแสงแดดในกระบวนการคำนวณ MAI และ (2) การพัฒนาแนวทางประยุกต์ใช้ข้อมูลพยากรณ์อากาศร่วมกับแบบจำลอง MAI เพื่อคาดการณ์ค่าดัชนีล่วงหน้า 10 วันอย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้ง (3) จัดทำแผนที่เชิงสารสนเทศ เพื่อแสดงการกระจายตัวของค่าดัชนี MAI ทั้งในปัจจุบันและการคาดการณ์ล่วงหน้า 10 วัน ในการสนับสนุนการตัดสินใจด้านการเกษตรในระดับพื้นที่

ผลการดำเนินงานสามารถสรุป วิเคราะห์ และอภิปรายในเชิงวิชาการได้อย่างเป็นระบบ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาและการประยุกต์ใช้ในอนาคต ดังต่อไปนี้

### 4.1 สรุปผลการดำเนินการ

จากการดำเนินงานตามขอบเขตและระเบียบวิธีวิจัย สามารถสรุปผลได้ตามวัตถุประสงค์ 3 ประการ ดังนี้

#### 4.1.1 การยืนยันประสิทธิภาพของตัวแปรทดแทน

ผลการตรวจสอบทางสถิติจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาย้อนหลังปี พ.ศ. 2563 ยืนยันว่า การใช้พิกัดสถิติจุดเพื่อคำนวณค่ารังสีดวงอาทิตย์ทดแทนข้อมูลความยาวนานแสงแดด มีความแม่นยำสูงและเชื่อถือได้ โดยค่าดัชนี MAI ที่คำนวณได้จากวิธีทดแทนมีความสัมพันธ์กับค่าตรวจวัดจริงในระดับสูงมาก ( $R^2 > 0.991$  และ  $r > 0.995$ ) ในทุกช่วงฤดูกาล และมีความถูกต้องในการจำแนกระดับความชื้น (MAI Level) สูงกว่าร้อยละ 92 ในทุกกรณีศึกษา โดยในช่วง ฤดูหนาว (มกราคม) มีความถูกต้องสมบูรณ์ถึงร้อยละ 100.00 รองลงมาคือ ช่วงฤดูร้อน (เมษายน) ร้อยละ 94.64 และ ช่วงฤดูฝน (สิงหาคม) ร้อยละ 92.86 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวแปรสถิติจุดสามารถนำมาใช้ทดแทนข้อมูล ความยาวนานแสงแดดที่ขาดหายไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 4.1.2 การพยากรณ์ดัชนี MAI ล่วงหน้า 10 วัน

การพัฒนาแบบจำลองโดยประยุกต์ใช้ภาษา Python ร่วมกับข้อมูลพยากรณ์อากาศจากระบบ TMD-HPC ช่วยให้สามารถพยากรณ์ค่าดัชนี MAI ล่วงหน้า 10 วันได้อย่างอัตโนมัติ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถจำแนกสถานการณ์ความชื้นในแต่ละพื้นที่ได้อย่างชัดเจน และสอดคล้องกับปริมาณฝนที่คาดการณ์ไว้ ตั้งแต่ภาวะขาดน้ำรุนแรง (เช่น พื้นที่ตอนบนของประเทศ) ไปจนถึงภาวะน้ำมากเกินไป (เช่น พื้นที่ภาคใต้) ซึ่งเป็นสารสนเทศสำคัญที่ช่วยให้เกษตรกรสามารถวางแผนการให้น้ำล่วงหน้าได้อย่างเหมาะสม

#### 4.1.3 การจัดทำแผนที่และสารสนเทศเชิงพื้นที่

ผลการศึกษายืนยันได้ว่า แผนที่จากข้อมูลกริดเป็นรูปแบบที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับการนำไปปฏิบัติงานจริง โดยมีข้อได้เปรียบสำคัญเหนือข้อมูลพิกัดสถานีในด้านความละเอียดที่สามารถระบุตำแหน่งพื้นที่ได้ลึกถึงระดับอำเภอและตำบล จึงได้เลือกให้เป็นรูปแบบมาตรฐานสำหรับการเผยแพร่ข้อมูลต่อไป เพื่อยกระดับการสนับสนุนการตัดสินใจในภาคการเกษตรให้มีความแม่นยำและตรงจุดยิ่งขึ้น ซึ่งตอบโจทย์ความต้องการใช้งานในระดับพื้นที่ได้อย่างแท้จริง

#### 4.2 วิจารณ์ผลการดำเนินการ

จากผลการศึกษาสามารถนำมาอภิปรายผล โดยเชื่อมโยงกับแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

##### 4.2.1 ความสัมพันธ์ทางดาราศาสตร์กับค่ารังสีดวงอาทิตย์

ผลการศึกษาพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) สูงเกือบ 1.000 ในช่วงท้องฟ้าโปร่ง (ฤดูหนาวและฤดูร้อน) สอดคล้องกับทฤษฎีของ Hargreaves and Samani (1985) ที่ระบุว่ารังสีดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศ ( $R_o$ ) ซึ่งคำนวณจากละติจูด เป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญที่สุดในการกำหนดค่าศักยภาพการระเหยน้ำ (ETo) การที่ข้อมูลมีความแม่นยำสูงแม้ไม่ได้ใช้ข้อมูลแสงแดดจริง สะท้อนให้เห็นว่าในบริบทของประเทศไทย ตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์มีอิทธิพลต่อพลังงานความร้อนที่ได้รับอย่างมีนัยสำคัญ

##### 4.2.2 ผลกระทบของเมฆฝนต่อความคลาดเคลื่อน

สำหรับความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยที่พบในช่วงฤดูฝน (ค่า RMSE เพิ่มขึ้นเป็น 0.170 และความถูกต้องลดลงเหลือร้อยละ 92.86) สอดคล้องกับข้อสังเกตในงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งระบุว่าสมการที่ใช้เพียงอุณหภูมิและละติจูดอาจมีการประเมินค่ารังสีสูงเกินจริงเล็กน้อยเมื่อมีเมฆมากบดบังแสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ในการใช้งานด้านการเกษตร เนื่องจากไม่ได้ทำให้การจัดระดับชั้นความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ จึงยังคงมีความน่าเชื่อถือในการนำไปใช้งานปฏิบัติการจริง

##### 4.2.3 ประโยชน์ของข้อมูลความละเอียดสูงต่อเกษตรกรแม่นยำ

สำหรับผลการเปรียบเทียบที่แสดงว่า แผนที่แบบกริดสามารถระบุพื้นที่เสี่ยงได้ชัดเจนกว่าแผนที่แบบสถานี สอดคล้องกับความต้องการของเกษตรกรจากการสำรวจในพื้นที่จริง ซึ่งต้องการข้อมูลที่เจาะจงระดับแปลงเพาะปลูกเพื่อการเกษตรแม่นยำ (Precision Agriculture) การใช้ข้อมูลกริดช่วยลบลบจุดบอดในพื้นที่ห่างไกลสถานีตรวจวัด ทำให้เกษตรกรในทุกพื้นที่สามารถเข้าถึงข้อมูลพยากรณ์ที่มีคุณภาพเท่าเทียมกัน และนำไปสู่การบริหารจัดการความเสี่ยงที่ตรงจุดมากยิ่งขึ้น

### 4.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาให้การดำเนินงานมีความสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในอนาคต ดังนี้

#### 4.3.1 การพัฒนาระบบปฏิบัติงานอัตโนมัติ

ควรนำแบบจำลองการพยากรณ์ดัชนี MAI ล่วงหน้า 10 วัน ที่พัฒนาขึ้นจากภาษา Python ไปต่อยอดกระบวนการทั้งหมดให้เป็น ระบบอัตโนมัติสำหรับการปฏิบัติงาน อย่างเต็มรูปแบบ เพื่อลดขั้นตอนการประมวลผล และทำให้สามารถดึงข้อมูลอัปเดตผลพยากรณ์ รวมถึงเผยแพร่สารสนเทศเชิงพื้นที่ผ่านเว็บไซต์หรือแอปพลิเคชันได้อย่างต่อเนื่อง ทันเวลา และเป็นปัจจุบันมากที่สุด นอกจากนี้ อาจเพิ่มระยะเวลาในการพยากรณ์ให้มีความยาวนานมากขึ้น

#### 4.3.2 การสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์รายพื้นที่

เพื่อให้การคำนวณค่ารังสีดวงอาทิตย์ ( $R_a$ ) มีความแม่นยำสูงสุดในทุกสภาพอากาศและทุกพื้นที่ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อ สอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ ในสมการให้จำเพาะเจาะจงกับแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนที่มีเมฆมาก ซึ่งจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมและทำให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริงมากยิ่งขึ้นจริง

บรรณานุกรม

### บรรณานุกรม

- กมลศรี เสนิตันติกุล. (2538). ปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่พืชไรต้องการ. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- ส่วนอุตุนิยมวิทยาเกษตร สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา. (2555). ดรรชนีความแห้งแล้งสำหรับประเทศไทย. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- อภันตรี ยุทธพันธ์. (2551). ดรรชนีความชื้นที่เป็นประโยชน์สำหรับพืชไร่ 10 วันในประเทศไทย. กรมอุตุนิยมวิทยา.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Azzam, B., Guo, X., Zha, Y., & Zhang, L. (2023). Performance of Hargreaves–Samani equation for estimating reference evapotranspiration in arid and semi-arid climates. *Water*, 15(3), Article 106209.
- Cressie, N. A. C. (1993). *Statistics for spatial data* (Rev. ed.). John Wiley & Sons.
- Deosthali, V., Akmanchi, A., & Saluke, A. (2005). Agro-climatic zoning for soybean in Maharashtra using moisture availability index. *Journal of Agrometeorology*, 7(1), 1–13.
- Frère, M., & Popov, G. F. (1979). *Agrometeorological crop monitoring and forecasting* (FAO Plant Production and Protection Paper No. 17). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Hargreaves, G. H. (1972). *The evaluation of water deficiencies*. American Society of Civil Engineers.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96–99.
- Krige, D. G. (1951). A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. *Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa*, 52(6), 119–139.
- Paredes, P., Pereira, L. S., Almorox, J., & Darouich, H. M. (2020). Reference evapotranspiration in sparse data regions: Estimating radiation coefficients of the

- Hargreaves-Samani equation using the FAO Penman-Monteith method. *Agricultural Water Management*, 238, Article 106209.
- Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D7), 7183–7192.
- Virmani, S. M., & Singh, P. (1986). Agroclimatological characteristics of the groundnut growing regions in the semi-arid tropics. In *Agrometeorology of groundnut: Proceedings of an International Symposium* (pp. 35–45). ICRISAT.
- Wallén, C. C., & Brichambaut, G. P. D. (1962). *A study of agroclimatology in semiarid and arid zones of the Near East*. World Meteorological Organization.
- Willmott, C. J. (1982). Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63(11), 1309–1313.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การเปรียบเทียบค่า PET, ดัชนี MAI และระดับความขึ้นที่เป็ประโยชน์ต่อพืชของแต่ละสถานี  
กรณีศึกษาในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน

ตารางที่ ก.1 การเปรียบเทียบค่า PET, ดัชนี MAI และระดับความชื้นของแต่ละสถานี กรณีศึกษา ในช่วงฤดูร้อน (11 – 20 เมษายน 2563)

| สถานี           | PET <sub>obs</sub> (มม.) | PET <sub>lat</sub> (มม.) | MAI <sub>obs</sub> | MAI <sub>lat</sub> | ระดับความชื้น(obs) | ระดับความชื้น(lat) |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| เชียงราย        | 94.20                    | 93.95                    | 0.26               | 0.26               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.เชียงราย    | 76.35                    | 77.75                    | 0.52               | 0.51               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| เชียงใหม่       | 116.61                   | 114.95                   | 0.06               | 0.06               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.ลำปาง       | 112.55                   | 112.22                   | 0.06               | 0.06               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| ลำพูน           | 120.80                   | 122.15                   | 0.00               | 0.00               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.น่าน        | 92.42                    | 95.36                    | 0.04               | 0.04               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| เลย             | 75.59                    | 75.70                    | 0.11               | 0.11               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.เลย         | 62.20                    | 63.31                    | 0.15               | 0.14               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| สกลนคร          | 74.80                    | 73.51                    | 0.25               | 0.26               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.สกลนคร      | 64.75                    | 67.67                    | 0.15               | 0.14               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| นครพนม          | 77.04                    | 77.36                    | 0.02               | 0.02               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.นครพนม      | 59.92                    | 62.87                    | 0.03               | 0.03               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.ศรีสำโง     | 79.24                    | 78.40                    | 0.01               | 0.01               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| จ.สุโขทัย       |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กกช.ดอยมูเซอร์  | 89.08                    | 88.08                    | 0.00               | 0.00               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| จ.ตาก           |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| พิษณุโลก        | 101.24                   | 98.29                    | 0.81               | 0.83               | ขาดน้ำเล็กน้อย     | ขาดน้ำเล็กน้อย     |
| เพชรบูรณ์       | 69.84                    | 75.20                    | 0.27               | 0.25               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| ขอนแก่น         | 70.82                    | 70.71                    | 0.24               | 0.24               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.ท่าพระ      | 72.34                    | 74.90                    | 0.47               | 0.46               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| จ.ขอนแก่น       |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| มุกดาหาร        | 73.18                    | 72.85                    | 0.00               | 0.00               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.พิจิตร      | 115.75                   | 114.84                   | 0.05               | 0.05               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| นครสวรรค์       | 108.92                   | 108.07                   | 0.00               | 0.00               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.ตากฟ้า      | 101.95                   | 100.16                   | 0.03               | 0.03               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| จ.นครสวรรค์     |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กกช.ชัยนาท      | 109.68                   | 107.97                   | 0.01               | 0.01               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| ร้อยเอ็ด        | 79.30                    | 77.21                    | 0.60               | 0.62               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| กกช.ร้อยเอ็ด    | 75.59                    | 77.07                    | 0.10               | 0.10               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.อุบลราชธานี | 57.75                    | 65.90                    | 0.03               | 0.03               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| อุบลราชธานี     | 84.66                    | 86.17                    | 0.03               | 0.03               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.ศรีสะเกษ    | 50.08                    | 51.16                    | 0.14               | 0.14               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| อุทัยธานี       | 97.43                    | 95.20                    | 0.01               | 0.01               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| พระนครศรีอยุธยา | 92.88                    | 94.26                    | 0.02               | 0.02               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| ปทุมธานี        | 67.41                    | 70.54                    | 0.73               | 0.69               | ขาดน้ำเล็กน้อย     | ขาดน้ำเล็กน้อย     |
| ฉะเชิงเทรา      | 43.77                    | 46.22                    | 0.85               | 0.80               | ขาดน้ำเล็กน้อย     | ขาดน้ำเล็กน้อย     |
| ราชบุรี         | 61.44                    | 63.31                    | 0.27               | 0.27               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) การเปรียบเทียบค่า PET, ดัชนี MAI และระดับความชื้นของแต่ละสถานี  
กรณีศึกษาในช่วงฤดูร้อน (11 – 20 เมษายน 2563)

| สถานี              | PET <sub>obs</sub> (มม.) | PET <sub>lat</sub> (มม.) | MAI <sub>obs</sub> | MAI <sub>lat</sub> | ระดับความชื้น(obs) | ระดับความชื้น(lat) |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| กกช.อุทอง          | 73.21                    | 82.30                    | 0.13               | 0.11               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| จ.สุพรรณบุรี       |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| สมุทรปราการ        | 62.88                    | 54.53                    | 0.04               | 0.04               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.ปากช่อง        | 60.64                    | 60.46                    | 0.75               | 0.75               | ขาดน้ำเล็กน้อย     | ขาดน้ำเล็กน้อย     |
| จ.นครราชสีมา       |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| สุรินทร์           | 70.59                    | 71.44                    | 0.91               | 0.90               | ขาดน้ำเล็กน้อย     | ขาดน้ำเล็กน้อย     |
| กกช.สุรินทร์       | 62.95                    | 67.69                    | 0.47               | 0.44               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| นครปฐม             | 70.60                    | 68.67                    | 0.29               | 0.30               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| เฉลิมพระเกียรติฯ   | 67.21                    | 63.84                    | 0.21               | 0.22               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กรุงเทพฯ           |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กกช.บางนา          | 60.83                    | 55.15                    | 0.47               | 0.51               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| กรุงเทพฯ           |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| เกาะสีชัง จ.ชลบุรี | 63.06                    | 49.74                    | 0.20               | 0.26               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| บางละมุง จ.ชลบุรี  | 52.27                    | 47.10                    | 0.33               | 0.37               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| ระยอง              | 50.50                    | 41.15                    | 0.72               | 0.88               | ขาดน้ำเล็กน้อย     | ขาดน้ำเล็กน้อย     |
| กกช.ห้วยโป่ง       | 45.51                    | 43.40                    | 0.48               | 0.50               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| จ.ระยอง            |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| จันทบุรี           | 52.21                    | 52.79                    | 0.42               | 0.42               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| กกช.พลี            | 35.19                    | 36.32                    | 1.20               | 1.16               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| จ.จันทบุรี         |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| หัวหิน             | 60.96                    | 56.83                    | 0.30               | 0.32               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| จ.ประจวบคีรีขันธ์  |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| หนองพลับ           | 66.05                    | 68.05                    | 0.33               | 0.32               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำรุนแรง       |
| จ.ประจวบคีรีขันธ์  |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กกช.สวี จ.ชุมพร    | 49.42                    | 47.90                    | 1.29               | 1.33               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| สุราษฎร์ธานี       | 71.89                    | 73.53                    | 0.04               | 0.04               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.สุราษฎร์ธานี   | 64.92                    | 67.03                    | 0.05               | 0.04               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกช.               | 48.25                    | 48.00                    | 1.28               | 1.28               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| นครศรีธรรมราช      |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กกช.พัทลุง         | 53.23                    | 49.14                    | 1.23               | 1.33               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.คอหงส์         | 69.77                    | 65.57                    | 0.02               | 0.02               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| จ.สงขลา            |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กกช.ยะลา           | 75.20                    | 73.08                    | 0.52               | 0.54               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |

ตารางที่ ก.2 การเปรียบเทียบค่า PET, ดัชนี MAI และระดับความชื้นของแต่ละสถานี กรณีศึกษา ในช่วงฤดูฝน (11 – 20 สิงหาคม 2563)

| สถานี           | PET <sub>obs</sub> (มม.) | PET <sub>lat</sub> (มม.) | MAI <sub>obs</sub> | MAI <sub>lat</sub> | ระดับความชื้น(obs) | ระดับความชื้น(lat) |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| เชียงราย        | 23.70                    | 25.97                    | 4.87               | 4.44               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.เชียงราย    | 21.27                    | 25.14                    | 6.04               | 5.11               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| เชียงใหม่       | 37.49                    | 41.90                    | 3.36               | 3.01               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.ลำปาง       | 21.84                    | 26.02                    | 5.07               | 4.26               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| ลำพูน           | 35.70                    | 41.39                    | 2.06               | 1.77               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.น่าน        | 21.64                    | 24.89                    | 6.73               | 5.85               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| เลย             | 28.95                    | 32.39                    | 2.93               | 2.62               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.เลย         | 20.97                    | 27.12                    | 4.94               | 3.82               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| สกลนคร          | 23.80                    | 26.07                    | 4.63               | 4.22               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.สกลนคร      | 25.37                    | 29.09                    | 3.33               | 2.91               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| นครพนม          | 25.21                    | 28.67                    | 6.06               | 5.33               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.นครพนม      | 18.52                    | 24.07                    | 6.49               | 5.00               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.ศรีสำโรง    | 27.38                    | 33.21                    | 5.17               | 4.26               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| จ.สุโขทัย       |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กกช.ดอยมูเซอร์  | 19.57                    | 22.14                    | 2.42               | 2.14               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| จ.ตาก           |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| พิษณุโลก        | 37.06                    | 39.56                    | 1.38               | 1.29               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| เพชรบูรณ์       | 26.26                    | 34.09                    | 3.84               | 2.96               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| ขอนแก่น         | 27.52                    | 31.58                    | 4.03               | 3.51               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.ท่าพระ      | 29.55                    | 32.35                    | 2.61               | 2.38               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| จ.ขอนแก่น       |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| มุกดาหาร        | 25.57                    | 28.13                    | 3.61               | 3.28               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.พิจิตร      | 47.40                    | 48.91                    | 0.74               | 0.72               | ขาดน้ำเล็กน้อย     | ขาดน้ำเล็กน้อย     |
| นครสวรรค์       | 43.68                    | 47.81                    | 2.42               | 2.21               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.ตากฟ้า      | 37.28                    | 42.97                    | 0.42               | 0.36               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| จ.นครสวรรค์     |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กกช.ชัยนาท      | 50.76                    | 53.24                    | 0.63               | 0.60               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| ร้อยเอ็ด        | 33.92                    | 35.45                    | 1.51               | 1.45               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.ร้อยเอ็ด    | 30.18                    | 32.28                    | 2.90               | 2.71               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกช.อุบลราชธานี | 28.74                    | 32.72                    | 1.53               | 1.34               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| อุบลราชธานี     | 39.51                    | 41.23                    | 0.70               | 0.67               | ขาดน้ำเล็กน้อย     | ขาดน้ำเล็กน้อย     |
| กกช.ศรีสะเกษ    | 34.11                    | 36.47                    | 2.01               | 1.88               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| อุทัยธานี       | 46.38                    | 48.94                    | 1.08               | 1.03               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| พระนครศรีอยุธยา | 44.29                    | 48.79                    | 1.18               | 1.07               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| ปทุมธานี        | 48.00                    | 53.28                    | 1.93               | 1.74               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| ฉะเชิงเทรา      | 28.92                    | 34.64                    | 4.88               | 4.07               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| ราชบุรี         | 40.68                    | 42.73                    | 1.30               | 1.23               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) การเปรียบเทียบค่า PET, ดัชนี MAI และระดับความชื้นของแต่ละสถานี  
กรณีศึกษาในช่วงฤดูฝน (11 – 20 สิงหาคม 2563)

| สถานี              | PET <sub>obs</sub> (มม.) | PET <sub>lat</sub> (มม.) | MAI <sub>obs</sub> | MAI <sub>lat</sub> | ระดับความชื้น(obs) | ระดับความชื้น(lat) |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| กกษ.อุททอง         | 52.76                    | 60.95                    | 0.11               | 0.10               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| จ.สุพรรณบุรี       |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| สมุทรปราการ        | 50.34                    | 44.77                    | 1.65               | 1.86               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกษ.ปากช่อง        | 54.04                    | 56.81                    | 0.35               | 0.33               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| จ.นครราชสีมา       |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| สุรินทร์           | 40.68                    | 44.42                    | 1.39               | 1.27               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| กกษ.สุรินทร์       | 38.83                    | 43.33                    | 1.29               | 1.16               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| นครปฐม             | 41.56                    | 43.09                    | 1.15               | 1.11               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| เฉลิมพระเกียรติฯ   | 44.81                    | 47.39                    | 2.68               | 2.54               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กรุงเทพฯ           |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กกษ.บางนา          | 45.74                    | 45.01                    | 1.80               | 1.83               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กรุงเทพฯ           |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| เกาะสีชัง จ.ชลบุรี | 45.24                    | 41.35                    | 1.22               | 1.34               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| บางละมุง จ.ชลบุรี  | 49.58                    | 45.07                    | 1.17               | 1.28               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| ระยอง              | 42.04                    | 38.78                    | 0.66               | 0.72               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำเล็กน้อย     |
| กกษ.ห้วยโป่ง       | 34.16                    | 34.80                    | 1.20               | 1.18               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| จ.ระยอง            |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| จันทบุรี           | 36.18                    | 38.60                    | 5.33               | 4.99               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| กกษ.พลี            | 26.13                    | 29.30                    | 10.11              | 9.02               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |
| จ.จันทบุรี         |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| หัวหิน             | 54.31                    | 53.19                    | 0.43               | 0.44               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| จ.ประจวบคีรีขันธ์  |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| หนองพลับ           | 43.72                    | 47.22                    | 1.24               | 1.14               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| จ.ประจวบคีรีขันธ์  |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กกษ.สวี จ.ชุมพร    | 36.60                    | 39.15                    | 0.50               | 0.47               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| สุราษฎร์ธานี       | 39.11                    | 41.75                    | 1.08               | 1.02               | ได้รับน้ำเพียงพอ   | ได้รับน้ำเพียงพอ   |
| กกษ.สุราษฎร์ธานี   | 40.88                    | 42.75                    | 0.25               | 0.24               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| กกษ.               | 39.13                    | 41.06                    | 0.03               | 0.02               | ขาดน้ำรุนแรง       | ขาดน้ำรุนแรง       |
| นครศรีธรรมราช      |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กกษ.พัทลุง         | 46.35                    | 45.54                    | 0.88               | 0.90               | ขาดน้ำเล็กน้อย     | ขาดน้ำเล็กน้อย     |
| กกษ.คอหงส์         | 41.52                    | 43.56                    | 0.67               | 0.64               | ขาดน้ำปานกลาง      | ขาดน้ำปานกลาง      |
| จ.สงขลา            |                          |                          |                    |                    |                    |                    |
| กกษ.ยะลา           | 44.47                    | 44.94                    | 1.66               | 1.64               | ได้รับน้ำมากเกินไป | ได้รับน้ำมากเกินไป |