

การประเมินสมรรถนะของแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำ  
ของพืชอ้างอิง (ET<sub>o</sub>) ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

Performance Evaluation of Solar Radiation Models for Estimating Reference  
Evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) in Central Thailand

สุพัตรา อั้นจุกชุม<sup>1\*</sup>, ทศพล จตุระบุล<sup>2</sup>, ธีรวัฒน์ สุวรรณเลิศเจริญ<sup>3</sup>, กอบเกียรติ ผ่องพุ่ม<sup>1</sup>

Supatta Unjuckchun<sup>1\*</sup>, Thodsapol Chaturabul<sup>2</sup>,

Teerawat Suwanlertcharoen<sup>3</sup>, Kobkiat Pongput<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

<sup>3</sup> สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) กรุงเทพมหานคร

\*Email: Supatta.un@ku.th

### บทคัดย่อ

รังสีดวงอาทิตย์ (Rs) ถือเป็นข้อมูลที่สำคัญในการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET<sub>o</sub>) และการคายระเหยของพืช (ET<sub>c</sub>) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะของแบบจำลองที่ใช้ประมาณค่ารังสีดวงอาทิตย์ (Rs) จำนวน 8 แบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของอุณหภูมิ (Temperature-based models) 2 แบบจำลองและแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของแสงแดด (Sunshine-based models) 6 แบบจำลอง การประเมินสมรรถนะของแบบจำลองจะประเมินจากการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง โดยการปรับเทียบแบบจำลองใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันจากสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยาที่มีการตรวจวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์ ระหว่างปี พ.ศ. 2549 – 2555 ในขณะที่การตรวจพิสูจน์แบบจำลองใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันระหว่างปี พ.ศ. 2556 - 2558 ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง Elagib and Mansell มีค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R<sup>2</sup>) เท่ากับ 0.81 และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 1.666 MJ·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> ซึ่งถือว่าสมรรถนะสูงที่สุดในการประมาณค่ารังสีดวงอาทิตย์ ในขณะที่แบบจำลอง Hargreaves-Samani มีสมรรถนะต่ำที่สุด มีค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 0.42 และ RMSE เท่ากับ 3.358 MJ·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup>

**คำสำคัญ:** การคายระเหยของพืช, ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง, แบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์, รังสีดวงอาทิตย์

### ABSTRACT

Solar radiation (Rs) is an essential input for estimating reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) and crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>). The objective of this study was to evaluate the performance of eight solar radiation (Rs) models, including two temperature-based models and six sunshine-based models. Model Performance is evaluated from the model calibration and validation process. The daily meteorological data between 2006 to 2012 was used to calibrate the models. While the daily meteorological data between 2013 to 2015 was used to validate the models. The results revealed that the Elagib and Mansell model gives the highest performance, with R<sup>2</sup> is 0.81 and RMSE is 1.666 MJ·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup>. While, the Hargreaves-Samani model gives the lowest performance, with R<sup>2</sup> is 0.42 and RMSE is 3.358 MJ·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup>

**KEYWORDS:** Crop evapotranspiration, Reference evapotranspiration, Solar radiation, Solar radiation models

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

รังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation, Rs) เป็นแหล่งพลังงานที่ใหญ่ที่สุดและสามารถเปลี่ยนแปลงน้ำที่มีสถานะเป็นของเหลวให้กลายเป็นไอน้ำได้ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่แตกต่างไปตามละติจูดและฤดูกาล จะส่งผลให้ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์มีค่าแตกต่างกัน รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบขอบบรรยากาศเรียกว่า รังสีนอกโลก (Extraterrestrial radiation, Ra) ส่วนของรังสีนอกโลกที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงผิวโลกจะถูกกระจายและดูดกลืนโดยโมเลกุลของก๊าซต่าง ๆ อนุภาคฝุ่น และเมฆที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ ปริมาณรังสีที่ตกกระทบพื้นโลกในแนวระนาบเรียกว่า รังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation, Rs) รังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดซับในชั้นบรรยากาศ เมื่อรวมกับความร้อนที่ปล่อยออกมาจากโลกจะทำให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น และถ่ายเทพลังงานไปยังพืชมีอิทธิพลต่อการควบคุมอัตราการคายระเหย (Evapotranspiration, ET) ในสภาพอากาศที่อบอุ่นและมีแดดจัด การสูญเสียน้ำโดยการระเหยจะมากกว่าในสภาพอากาศที่มีเมฆมากและเย็น (Allen et al., 1998) รังสีดวงอาทิตย์จึงเป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Reference evapotranspiration, ETo) ร่วมกับพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ เช่น ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น

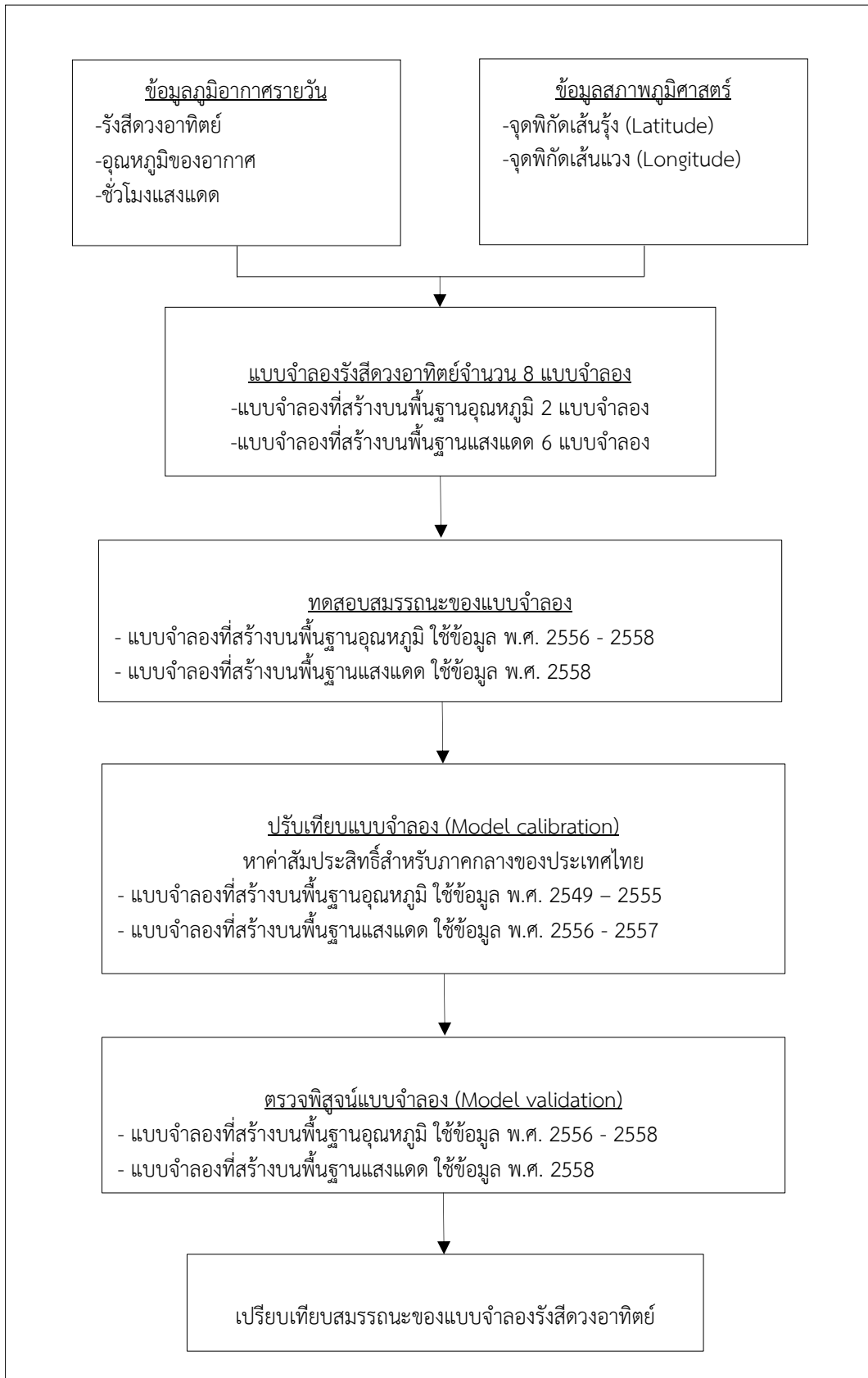
สถานีตรวจวัดข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกยังไม่ครอบคลุมในทุกพื้นที่ อาจเป็นเพราะเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดนั้นมีราคาแพง เพื่อแก้ไขปัญหานี้ แบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation model) จึงได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อเป็นทางเลือกในการประมาณค่ารังสีดวงอาทิตย์ จากการทบทวนวรรณกรรมแสดงให้เห็นว่ามีแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์มากมายที่พัฒนาขึ้นสำหรับภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก เช่น Ndulue et al (1998) ได้ทำการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์ในภูมิภาคแบบเขตร้อนชื้นของประเทศไนจีเรีย ประกอบด้วยเมือง Abakaliki, Nsukka และ Awka จำนวน 15 แบบจำลอง ข้อจำกัดที่สำคัญของแบบจำลองเหล่านี้คือเป็นแบบจำลองที่ทำขึ้นเฉพาะพื้นที่ ดังนั้นก่อนที่จะนำไปใช้ในพื้นที่ที่ไม่เคยใช้งานมาก่อน จำเป็นที่จะต้องประเมินสมรรถนะของแบบจำลองก่อน การศึกษานี้จะแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณค่ารังสีดวงอาทิตย์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย

## 2. วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์สำหรับพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยจำนวน 8 แบบจำลอง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของอุณหภูมิ (Temperature-based models) และแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของแสงแดด (Sunshine-based models)

## 3. วิธีการศึกษา

การประเมินสมรรถนะของแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETo) ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย มีขั้นตอนต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 1 ประกอบไปด้วย การรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลเพื่อนำไปประมาณค่ารังสีดวงอาทิตย์ ทดสอบสมรรถนะแบบจำลองทั้ง 8 แบบจำลอง การเปรียบเทียบแบบจำลอง ตรวจพิสูจน์แบบจำลอง และเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละแบบจำลอง



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการศึกษา

### 3.1 รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ข้อมูลภูมิอากาศรายวัน และข้อมูลสภาพภูมิศาสตร์ ข้อมูลภูมิอากาศรายวัน ประกอบด้วย ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด รังสีดวงอาทิตย์ และชั่วโมงแสงแดด ข้อมูลสภาพภูมิศาสตร์ ประกอบด้วย ละติจูดและลองจิจูดของสถานที่ศึกษา ซึ่งข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม ใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

สถานีอุตุนิยมวิทยาของกรมอุตุนิยมวิทยามีทั้งหมด 121 สถานี ประกอบด้วย ภาคเหนือ 18 สถานี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 27 สถานี ภาคกลาง 22 สถานี ภาคตะวันออก 15 สถานี ภาคตะวันตก 14 สถานี และภาคใต้ 25 สถานี ซึ่งจากสถานีทั้งหมดมีสถานีที่ตรวจวัดข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ จำนวน 5 สถานี คือ สถานีเชียงใหม่ สถานีอุบลราชธานี สถานีกรุงเทพมหานคร สถานีหัวหิน และสถานีสงขลา การศึกษานี้เป็นการศึกษาในพื้นที่ภาคกลาง จึงเลือกใช้ข้อมูลสถานีกรุงเทพมหานครเป็นตัวแทนของภาคกลาง โดยใช้ข้อมูลรายวันระหว่างปี พ.ศ. 2549 – 2558 ซึ่งมีลักษณะภูมิอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลภูมิอากาศรายวันและข้อมูลสภาพภูมิศาสตร์

พารามิเตอร์	สถานีกรุงเทพมหานคร
อุณหภูมิสูงสุด (°C)	33.98
อุณหภูมิต่ำสุด (°C)	25.59
รังสีดวงอาทิตย์ ( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ )	16.19
ชั่วโมงแสงแดด (hr)	6.38
ละติจูด (°N)	13.7264
ลองจิจูด (°E)	100.5600

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (พ.ศ. 2549 - 2558)

### 3.2 แบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์

แบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์ จำนวน 8 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของอุณหภูมิ (Temperature-based models) จำนวน 2 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง Hargreaves-Samani (Hargreaves G.H., Samani Z.A. 1985) และ Chen (Chen et al. 2004) และแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของแสงแดด (Sunshine-based models) จำนวน 6 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลอง Almorox and Hontoria (Almorox J., Hontoria C. 2004), Ogelman (Ogelman et al. 1984), Glower and McCulloch (Glower J., McCulloch J.S.G. 1958), Elagib and Mansell (Elagib N., Mansell M.G. 2000), Angstrom-PreScott-Page (Angstrom A. 1924, Prescott J.A. 1940, Page I.K. 1961) และ Ezekwe and Ezeifo (Ezekwe C.I., Ezeifo C.C.O. 1981) รายละเอียดของแต่ละแบบจำลอง และค่าสัมประสิทธิ์แสดงไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์และค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง

แบบจำลอง	ค่าสัมประสิทธิ์			พื้นที่ศึกษา
	a	b	c	
1 Hargreaves-Samani model $R_s = a(\Delta T)^{0.5} R_a$	0.1600			ประเทศศรีลังกา
2 Chen model $R_s = [a(\Delta T)^{0.5} + b] R_a$	0.2800	-0.1500		ประเทศจีน
3 Almorox and Hontoria model $R_s = \left[ a + b \exp\left(\frac{n}{N}\right) \right] R_a$	-0.0271	0.3096		ประเทศสเปน
4 Ogelman model $R_s = \left[ a + b \left(\frac{n}{N}\right) + c \left(\frac{n}{N}\right)^2 \right] R_a$	0.1950	0.6760	0.1420	ประเทศตุรกี
5 Glower and McCulloch model $R_s = \left[ a \cos\phi + b \left(\frac{n}{N}\right) \right] R_a$	0.2900	0.5200		ประเทศเคนย่า, นามิเบีย, แอฟริกาใต้, ออสเตรเลีย และอังกฤษ
6 Elagib and Mansell model $R_s = \left[ a \exp\left[b \left(\frac{n}{N}\right)\right] \right] R_a$	0.3396	0.8985		ประเทศชูดาน
7 Angstrom-PreScott-Page model $R_s = \left[ a + b \log\left(\frac{n}{N}\right) \right] R_a$	0.4600	0.1600		ประเทศสวีเดน
8 Ezekwe and Ezeifo model $R_s = \left[ a + b \left(\frac{n}{N}\right) \right] R_a$	0.2800	0.1800		ประเทศไนจีเรีย

โดยที่  $R_s$  คือ รังสีดวงอาทิตย์ ( $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ ),  $\Delta T$  คือ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิต่ำสุดและอุณหภูมิสูงสุด,  $n$  คือ ชั่วโมงแสงแดด, และ  $a, b, c$  คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย

$$R_a = \frac{24 \cdot 60 \cdot G_{sc} \cdot d_r}{\pi} [\omega_s \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s] \quad (1)$$

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

$$\delta = 0.4093 \sin \left( \frac{2\pi J}{365} - 1.39 \right) \quad (3)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan \phi \tan \delta) \quad (4)$$

เมื่อ  $R_a$  คือ รังสีนอกโลก,  $G_{sc}$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์รังสีดวงอาทิตย์ (Solar constant) มีค่าเท่ากับ  $0.0820 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $d_r$  คือ ระยะทางสัมพัทธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์,  $\delta$  คือ มุมเดคลิเนชัน,  $J$  คือ Julian day number,  $\omega_s$  คือ มุมพระอาทิตย์ตก (เรเดียน),  $\phi$  คือ ละติจูด และ  $N$  คือ ชั่วโมงเวลากลางวัน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$N = \frac{24\omega_s}{\pi} \quad (5)$$

### 3.3 ทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์

ทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองทั้ง 8 แบบจำลอง ตามตารางที่ 2 ก่อนที่จะนำมาประยุกต์ใช้สำหรับประเทศไทย เนื่องจากแบบจำลองถูกสร้างขึ้นในพื้นที่ที่แตกต่างกัน โดยแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของอุณหภูมิ (Temperature-based models) ใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันในช่วงปี พ.ศ. 2556 – 2558 และแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของแสงแดด (Sunshine-based models) ใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันในปี พ.ศ. 2558 ในการทดสอบสมรรถนะ โดยพิจารณาจากตัวแปรทางสถิติ จำนวน 6 ตัวแปร ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (Coefficient of determination,  $R^2$ ), ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error, RMSE), ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean bias error, MBE), ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute bias error, MABE), เปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean percent error, MPE) และเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute percent error, MAPE)

$R^2$  แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง  $R^2$  มีค่าระหว่าง 0 -1 สมการมีดังนี้

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)(P_i - \bar{P})}{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2]^{0.5}} \right\}^2 \quad (6)$$

RMSE คือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ค่า RMSE ที่ต่ำกว่าเป็นตัวบ่งชี้ว่าสมรรถนะของแบบจำลองสูง สมการมีดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (7)$$

MBE เป็นวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองจากค่าที่แตกต่างของค่าที่ตรวจวัดกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง โดยค่าติดลบหมายถึง แบบจำลองประมาณค่าสูงไป ค่าบวกหมายถึงแบบจำลองนั้นประมาณค่าต่ำไป และมีค่าศูนย์ บ่งบอกว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่ารังสีดวงอาทิตย์ได้อย่างสมบูรณ์แบบโดยไม่มีข้อผิดพลาด สมการมีดังนี้

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

MABE เป็นวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยไม่คำนึงถึงการประมาณค่าที่ต่ำไปหรือสูงไป สมการมีดังนี้

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

MPE คือ เป็นวิธีการที่ประเมินสมรรถนะโดยวัดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ สมการมีดังนี้

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{O_i - P_i}{O_i} \right) 100 \quad (10)$$

MAPE เป็นวิธีการที่ประเมินสมรรถนะโดยการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย ค่าที่ยิ่งต่ำ ยิ่งมีสมรรถนะสูง สมการมีดังนี้

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| 100 \quad (11)$$

โดยที่  $O_i$  คือ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด,  $P_i$  คือ ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง,  $\bar{O}_i$  คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด,  $\bar{P}_i$  คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง และ  $n$  คือ จำนวนชุดข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด

### 3.4 การเปรียบเทียบแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์

การเปรียบเทียบแบบจำลอง (Calibration) เป็นขั้นตอนในการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์เพื่อพัฒนาให้เหมาะสมกับการใช้งานในภาคกลางของประเทศไทย โดยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของแต่ละแบบจำลองตามตารางที่ 2 โดยแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของอุณหภูมิ (Temperature-based models) ใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันในช่วงปี พ.ศ. 2549 – 2555 และแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของแสงแดด (Sunshine-based models) ใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันในช่วงปี พ.ศ. 2556 – 2557 ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง และใช้ตัวแปรทางสถิติทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง

### 3.5 การตรวจพิสูจน์แบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์

เมื่อทำการเปรียบเทียบแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์แล้ว จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบไปคำนวณปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เพื่อนำมาตรวจพิสูจน์แบบจำลอง โดยแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของอุณหภูมิ (Temperature-based models) ใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันในช่วงปี พ.ศ. 2556 – 2558 และแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของแสงแดด (Sunshine-based models) ใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันในปี พ.ศ. 2558 ในการตรวจพิสูจน์ และใช้ตัวแปรทางสถิติทดสอบอีกครั้งเพื่อยืนยันว่าแบบจำลองมีสมรรถนะ

### 3.6 เปรียบเทียบสมรรถนะของแบบจำลอง

เปรียบเทียบสมรรถนะของแบบจำลอง โดยการนำผลของค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์ตามตารางที่ 2 กับค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้รับการเปรียบเทียบสำหรับภาคกลางของประเทศไทย โดยใช้ค่าสถิติเดียวกับข้อ 3.3 ในการเปรียบเทียบสมรรถนะ เพื่อตรวจสอบว่าหลังจากทำการเปรียบเทียบหาค่าสัมประสิทธิ์แล้วแบบจำลองมีสมรรถนะที่ดีขึ้นหรือไม่ โดยแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของอุณหภูมิ (Temperature-based models) ใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันในช่วงปี พ.ศ. 2556 – 2558 และแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของแสงแดด (Sunshine-based models) ใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันในช่วงปี พ.ศ. 2558 ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบจำลอง

## 4. ผลการศึกษาวิจัย

### 4.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง

การประเมินสมรรถนะของแบบจำลองเพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับภาคกลางของประเทศไทย โดยแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของอุณหภูมิ (Temperature-based models) ใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันในช่วงปี พ.ศ. 2556 – 2558 และแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของแสงแดด (Sunshine-based models) ใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันในปี พ.ศ. 2558 ในการทดสอบสมรรถนะ และพิจารณาจากตัวแปรทางสถิติ ได้ผลการทดสอบสมรรถนะดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าทางสถิติโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตามตารางที่ 2

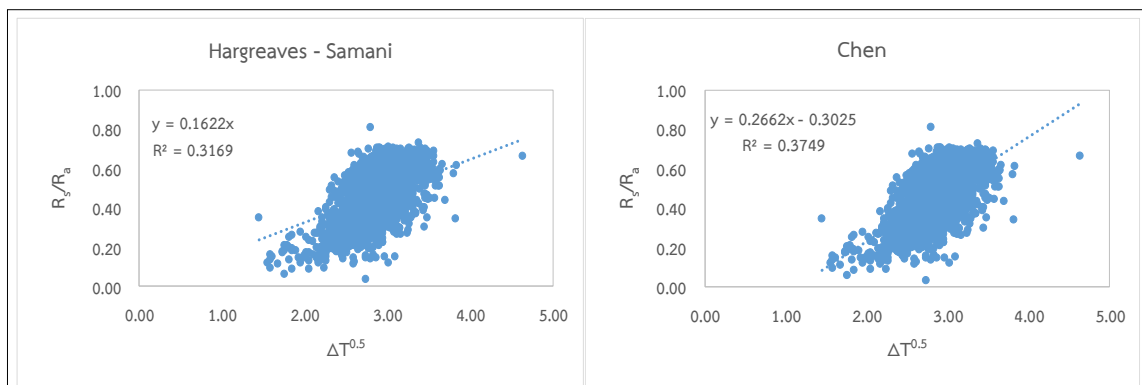
Model	R <sup>2</sup>	RMSE	MBE	MABE	MPE	MAPE
		(MJ·m <sup>-2</sup> ·day <sup>-1</sup> )			(%)	
1	0.42	3.300	-0.841	2.621	-14.875	0.243
2	0.46	8.219	-7.613	7.613	-62.212	0.622
3	0.81	4.232	-3.884	3.884	-24.910	0.249
4	0.80	7.756	-7.252	7.307	-43.030	0.436
5	0.80	4.882	-4.568	4.568	-29.070	0.291
6	0.80	4.734	-4.429	4.429	-28.619	0.286
7	0.60	3.294	2.139	2.817	9.631	0.166
8	0.69	3.955	3.127	3.527	15.666	0.203

หมายเหตุ: หมายเลขแบบจำลองตามตารางที่ 2

จากตารางที่ 3 พบว่า แบบจำลองมีค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R<sup>2</sup>) อยู่ระหว่าง 0.42 – 0.81 ค่า RMSE อยู่ในช่วง 3.294 – 8.219 MJ·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> ค่า MBE อยู่ในช่วง -7.613 – 3.127 MJ·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> ค่า MABE อยู่ในช่วง 2.621 – 7.613 MJ·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> ค่า MPE อยู่ในช่วง -62.212 - 15.666 % และ ค่า MAPE อยู่ในช่วง 0.166 – 0.622 % โดยแบบจำลองที่มีค่า R<sup>2</sup> สูงที่สุด คือ แบบจำลอง Almorox and Hontoria มีค่าเท่ากับ 0.81 และค่า R<sup>2</sup> ต่ำสุดเท่ากับ 0.42 เป็นของแบบจำลอง Hargreaves-Samani ในส่วนของค่า RMSE แบบจำลอง Angstrom-Prescott-Page และแบบจำลอง Hargreaves-Samani มีค่าดีที่สุด คือ 3.294 และ 3.300 MJ·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> ตามลำดับ ค่า MBE และ MABE ที่ดีที่สุดเท่ากับ -0.841 และ 2.621 MJ·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> ตามลำดับ เป็นของแบบจำลอง Hargreaves-Samani และค่า MPE และ MAPE ที่ดีที่สุดคือ แบบจำลอง Angstrom-Prescott-Page มีค่าเท่ากับ 9.631 และ 0.166 % ตามลำดับ

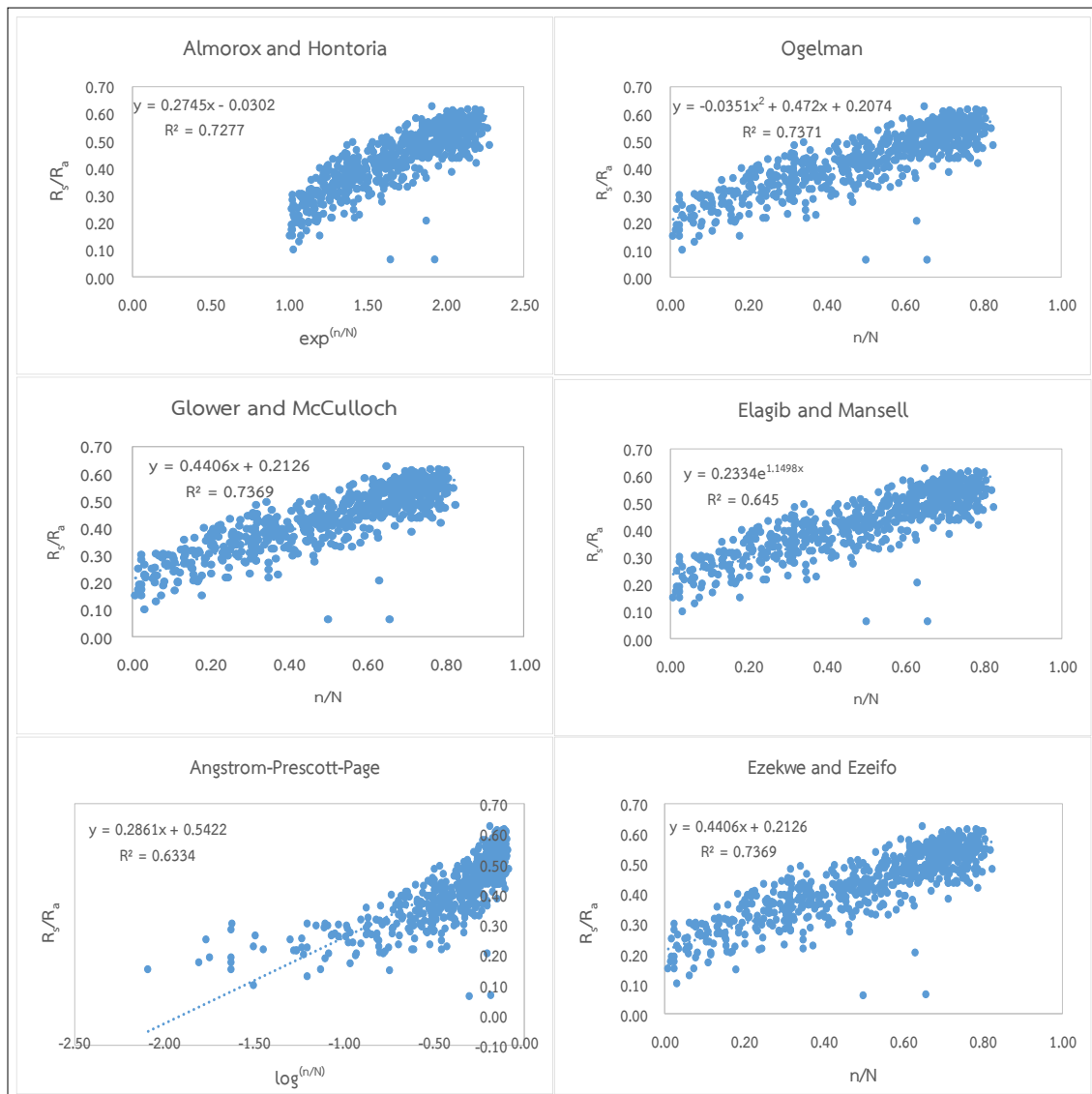
#### 4.2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์

ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมสำหรับภาคกลางของประเทศไทย โดยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของแต่ละแบบจำลองที่แสดงตามตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลอง ดังแสดงในภาพที่ 2 ถึง 3 และตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลอง แสดงในตารางที่ 5



ภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร หลังจากการเปรียบเทียบแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของอุณหภูมิ (Temperature-based models)





ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร หลังจากการปรับเทียบแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของแสงแดด (Sunshine-based models)

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์เดิมและค่าสัมประสิทธิ์ที่ปรับเทียบสำหรับภาคกลางของประเทศไทย

Model	ค่าสัมประสิทธิ์ตามตารางที่ 2			ค่าสัมประสิทธิ์ที่ปรับเทียบสำหรับภาคกลางของประเทศไทย			ความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	0.1600			0.1622			+1%		
2	0.2800	-0.1500		0.2662	-0.3025		-5%	-102%	
3	-0.0271	0.3096		-0.0302	0.2745		+11%	-11%	
4	0.1950	0.6760	0.1420	0.2074	0.4720	0.0351	+6%	-30%	-75%
5	0.2900	0.5200		0.2126	0.4406		-27%	-15%	
6	0.3396	0.8985		0.2334	1.1490		-31%	+28%	
7	0.4600	0.1600		0.5422	0.2861		+18%	+79%	
8	0.2800	0.1800		0.2126	0.4406		-24%	+145%	

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์

Model	R <sup>2</sup>	RMSE	MBE	MABE	MPE	MAPE
		(MJ·m <sup>-2</sup> ·day <sup>-1</sup> )			(%)	
1	0.26	3.879	-0.215	3.181	-10.936	0.258
2	0.32	3.715	-0.053	2.994	-7.869	0.230
3	0.72	2.261	-1.001	1.645	-11.486	0.152
4	0.72	2.171	-0.721	1.579	-8.410	0.139
5	0.73	2.007	0.228	1.518	-2.311	0.129
6	0.71	2.068	0.209	1.559	-2.459	0.132
7	0.63	2.335	-0.015	1.798	-4.005	0.157
8	0.73	1.992	0.017	1.486	-3.841	0.129

จากตารางที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ที่เปรียบเทียบสำหรับภาคกลางของประเทศไทยของแต่ละแบบจำลอง และเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ตามตารางที่ 2 พบว่า แบบจำลอง Hargreaves-Samani ได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่เปรียบเทียบ เท่ากับ 0.1622 สูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์ตามตารางที่ 2 คือ 0.1600 คิดเป็น 1% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่เปรียบเทียบสำหรับภาคกลางของประเทศไทยมีความสอดคล้องกับของเดิมที่มีพื้นที่ศึกษาอยู่ในประเทศศรีลังกา และเมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบแบบจำลองในตารางที่ 5 จะเห็นว่า ในภาพรวมแบบจำลองให้ค่า R<sup>2</sup> อยู่ในเกณฑ์ที่ดี ยกเว้นแบบจำลอง Hargreaves-Samani และ แบบจำลอง Chen ที่มีค่า R<sup>2</sup> ต่ำสุด คือ 0.26 และ 0.32 ตามลำดับ โดยค่า R<sup>2</sup> ที่ดีที่สุด เท่ากับ 0.73 เป็นของแบบจำลอง Glower and McCulloch และแบบจำลอง Ezekwe and Ezeifo และค่า RMSE ที่ดีที่สุด เป็นของแบบจำลอง Ezekwe and Ezeifo มีค่าเท่ากับ 1.992 MJ·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup>

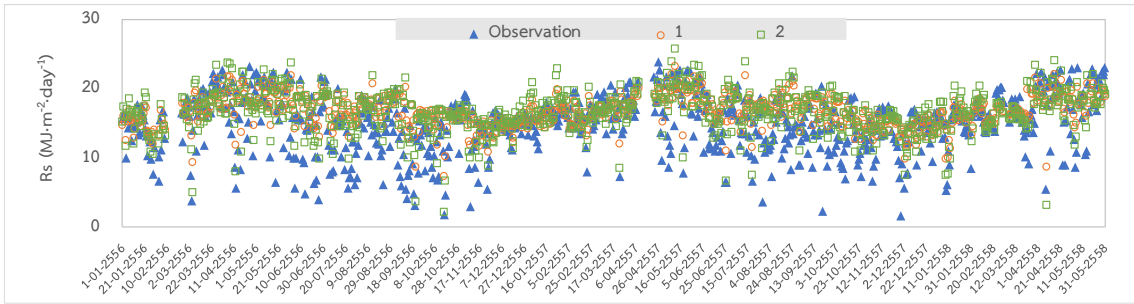
#### 4.3 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

สำหรับการตรวจพิสูจน์แบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์ เพื่อประเมินสมรรถนะแบบจำลอง โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้รับการเปรียบเทียบแล้ว มาคำนวณหาค่ารังสีดวงอาทิตย์และนำไปหาความสัมพันธ์กับค่าที่ตรวจวัด และใช้ค่าตัวแปรทางสถิติในการประเมินสมรรถนะของแบบจำลอง พบว่า ในภาพรวมค่าทางสถิติให้ค่าที่ดีขึ้นจากตารางที่ 5 โดยมีค่า R<sup>2</sup> อยู่ระหว่าง 0.42 – 0.81 ค่า RMSE อยู่ในช่วง 1.666 – 3.358 MJ·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> ค่า MBE อยู่ในช่วง -1.444 - 0.255 MJ·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> ค่า MABE อยู่ในช่วง 1.279- 2.646 MJ·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> ค่า MPE อยู่ในช่วง -16.454 - -0.670 % และ ค่า MAPE อยู่ในช่วง 0.087 – 0.248 % ดังแสดงในตารางที่ 6 และภาพที่ 4 ถึง 5

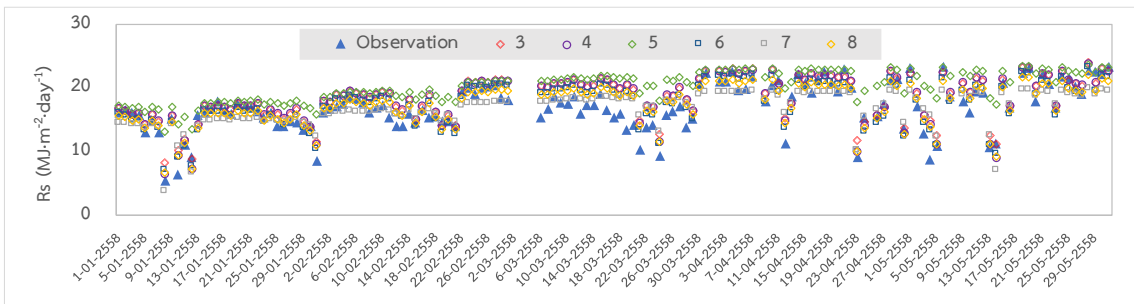
ตารางที่ 6 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

Model	R <sup>2</sup>	RMSE	MBE	MABE	MPE	MAPE
		(MJ·m <sup>-2</sup> ·day <sup>-1</sup> )			(%)	
1	0.42	3.358	-1.061	2.646	-16.454	0.248
2	0.49	3.088	-0.927	2.466	-12.837	0.213
3	0.81	2.216	-1.518	1.706	-10.710	0.117
4	0.80	2.187	-1.444	1.691	-9.734	0.113
5	0.80	1.646	-0.163	1.290	-2.370	0.086
6	0.81	1.666	-0.436	1.279	-3.736	0.086
7	0.68	2.128	0.255	1.721	-0.670	0.114
8	0.80	1.681	-0.375	1.285	-3.690	0.087

เมื่อพิจารณาค่าทางสถิติในตารางที่ 6 ของแต่ละแบบจำลอง พบว่า แบบจำลองที่มีค่า  $R^2$  อยู่ในเกณฑ์ที่ดีและยอมรับได้ จำนวน 6 แบบจำลองด้วยกัน ประกอบไปด้วย แบบจำลอง Almorox and Hontoria, Ogelman, Glower and McCulloch, Elagib and Mansell, Angstrom-Prescott-Page และ Ezekwe and Ezeifo ซึ่งแบบจำลองทั้งหมดสร้างบนพื้นฐานข้อมูลแสงแดด ถือว่าแบบจำลองดังกล่าวมีสมรรถนะที่ดีกว่าแบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานอุณหภูมิ โดยแบบจำลอง Almorox and Hontoria และ แบบจำลอง Elagib and Mansell ถือว่ามีสมรรถนะสูงที่สุด โดยมีค่า  $R^2$  เท่ากันคือ 0.81 และค่า RMSE MBE และ MABE ดีที่สุด เท่ากับ 1.666 -0.436 และ 1.279  $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$  ตามลำดับ เป็นของแบบจำลอง Elagib and Mansell และแบบจำลอง Hargreaves-Samani มีค่า  $R^2$  ต่ำที่สุด คือ 0.42 และเมื่อพิจารณาค่าทางสถิติที่เหลือแบบจำลองนี้มีค่าที่ต่ำกว่าแบบจำลองอื่น



ภาพที่ 4 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของอุณหภูมิ (หมายเลขแบบจำลองตามตารางที่ 2)



ภาพที่ 5 ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่สร้างบนพื้นฐานของแสงแดด (หมายเลขแบบจำลองตามตารางที่ 2)

#### 4.4 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบจำลอง

ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบจำลอง ระหว่างแบบจำลองที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตามตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมรรถนะตามตารางที่ 3 และแบบจำลองที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ปรับเทียบสำหรับภาคกลางของประเทศไทย ผลการเปรียบเทียบดังแสดงตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบจำลอง

Model	$R^2$	RMSE	MBE	MABE	MPE	MAPE
1	0.00%	+1.76%	+26.15%	+0.95%	+10.62%	+2.08%
2	+6.95%	-62.42%	-87.83%	-67.61%	-79.37%	-65.79%
3	+0.00%	-47.64%	-60.93%	-56.08%	-57.01%	-52.96%
4	+0.33%	-71.80%	-80.09%	-76.86%	-77.38%	-74.00%
5	+0.35%	-66.29%	-96.43%	-71.77%	-91.85%	-70.54%
6	+1.06%	-64.81%	-90.16%	-71.13%	-86.94%	-70.03%
7	+12.78%	-35.40%	-88.07%	-38.92%	-106.96%	-31.31%
8	+16.64%	-57.50%	-111.99%	-63.55%	-123.55%	-57.24%

จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบจำลอง พบว่า แบบจำลอง Hargreaves-Samani มีค่าสมรรถนะที่แตกต่างจากการทดสอบก่อนการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์ น้อยสุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองทั้งหมด เนื่องจากแบบจำลอง Hargreaves-Samani มีค่าสัมประสิทธิ์ที่ปรับเทียบแล้วใกล้เคียงกับของเดิม อาจเป็นเพราะแบบจำลอง Hargreaves-Samani ได้รับการพัฒนาและศึกษาในประเทศศรีลังกา ซึ่งตั้งอยู่ในทวีปเอเชีย เขตภูมิอากาศแบบเขตร้อน (Tropical zone) และอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร เช่นเดียวกับประเทศไทย จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ปรับเทียบแล้วมีความสอดคล้องกับของเดิม และมีค่าสมรรถนะที่ไม่ต่างจากการปรับเทียบ เพราะค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้รับการพัฒนาก่อนการปรับเทียบอาจเหมาะสมกับประเทศไทยหรือประเทศที่ภูมิอากาศใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษาแล้ว

## 5. การอภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการประเมินสมรรถนะของแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการประมาณค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET<sub>o</sub>) จำนวน 8 แบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันจากสถานีของกรมอุตุนิยมวิทยาที่มีการตรวจวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์ ระหว่างปี พ.ศ. 2549 – 2558 และหาค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับภาคกลางของประเทศไทย พบว่าแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้ข้อมูลแสงแดดในการคำนวณ มีสมรรถนะที่ดีกว่าแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลอุณหภูมิในการคำนวณ และเมื่อปรับเทียบหาค่าสัมประสิทธิ์สำหรับภาคกลางของประเทศไทยแล้ว ทุกแบบจำลองมีสมรรถนะที่ดีขึ้น แบบจำลองที่ผ่านการปรับเทียบจากการศึกษาคำนี้สามารถนำไปใช้คำนวณค่ารังสีดวงอาทิตย์ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการคำนวณการคายระเหยของพืช และสำหรับวางแผนการส่งน้ำให้แก่พื้นที่ชลประทานในภาคกลางได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้กระบวนการศึกษาที่ได้สามารถนำไปพัฒนาแบบจำลองรังสีดวงอาทิตย์ในพื้นที่ที่ไม่มีเครื่องมือตรวจวัดในภาคอื่น ๆ ของประเทศไทยได้

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลภูมิอากาศในการศึกษานี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- 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.
- Almorox, J., & Hontoria, C. (2004). Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. *Energy Conversion and Management*, 45(9-10), 1529–1535. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.08.022>
- Angstrom, A. (1924). Solar and terrestrial radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 50, 121–125.
- Chen, R., Ersi, k., Yang, J., Lu, S., & Zhao, W. (2004). Validation of five global radiation models with measured daily data in China. *Energy Conversion and Management*, 45(11-12), 1759–1769. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2003.09.019>
- Elagib, N., & Mansell, M.G. (2000). New approaches for estimating global solar radiation across Sudan. *Energy Conversion Management*, 41(5), 419-434. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(99\)00123-5](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00123-5)
- Ezekwe, C.I., & Ezeifo, C.C.O. (1981). Measured solar radiation in a Nigerian environment compared with predicted data. *Solar Energy*, 26, 181–186. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(81\)90083-9](https://doi.org/10.1016/0038-092X(81)90083-9)
- Glower, J., & McCulloch, J.S.G. (1958). The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 84(360), 172. <https://doi.org/10.1002/qj.49708436011>

- Hargreaves, G.H., & Samani, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96–99. <https://doi.org/10.13031/2013.26773>
- Ndulue, E., Onyekwelu, I., Ogbu, K.N., & Ogwo, V. (2019). Performance evaluation of solar radiation equations for estimating reference evapotranspiration (eto) in a humid tropical environment. *Journal of Water and Land Development*, 42(7-9), 124–135. <https://doi.org/10.2478/jwld-2019-0053>