การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 12
The 12th STOU National Research Conference

วิธีการประมาณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน ที่สถานีนครปฐม โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

A Method for Estimating Hourly Solar Radiation under Partly Cloudy Sky Condition at Nakhon Pathom Using an Artificial Neural Network

เพชรรัตน์ พุ่มพวง (Patcharat Poompuang) [1] กรทิพย์ โต๊ะสิงห์ (Korntip Tohsing) [2] เสริม จันทร์ฉาย (Serm Janjai) [3]

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาการประมาณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์หรือรังสีรวมรายชั่วโมงภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน โดยผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลความเข้มรังสีรวมจากเครื่องไพราโนมิเตอร์และข้อมูลปริมาณเมฆจากภาพถ่ายท้องฟ้าที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82°N, 100.04°E) ในปี ค.ศ. 2017-2021 เป็นระยะเวลา 5 ปี จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณรังสีอาทิตย์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งประกอบด้วยชั้นอินพุท ชั้นซ่อน 2 ชั้นและชั้นเอาท์พุท ข้อมูลที่ใช้เป็นอินพุทมีทั้งหมด 7 ตัวแปร ได้แก่ ความเข้มรังสีรวม ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ปริมาณโอโซน ปริมาณไอน้ำ มุมเซนิธของดวงอาทิตย์ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก และปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า ข้อมูลที่เก็บรวบรวมถูกแบ่งเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกเป็นข้อมูลของปี ค.ศ. 2017-2020 ใช้สำหรับฝึกสอน จำนวน 16,191 ข้อมูล และชุดที่สองเป็นข้อมูลของปี ค.ศ. 2021 สำหรับทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง จำนวน 1,344 ข้อมูล โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะให้เอาท์พุทออกมาเป็นค่ารังสีรวมรายชั่วโมง จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมดังกล่าวโดยเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีรวมรายชั่วโมงจากแบบจำลอง ANN กับค่าที่ได้จากการวัด พบว่าค่าความเข้มรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดมีความสอดคล้องกันอย่างดี โดยมีค่าความแตกต่างในรูปของค่ารากที่สองของความแตกต่างเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 8.79% 3.08% และ 0.96 ตามลำดับ

คำสำคัญ รังสีอาทิตย์ รังสีรวม แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า

[1] นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาตสรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร poompuang_p2@su.ac.th

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประจำสาขาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร korntip.tohsing@gmail.com

[3] ศาสตราจารย์ ดร. ประจำสาขาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร serm.janjai@gmail.com

Abstract

In this research, a model for estimating hourly solar radiation or global solar radiation under partly cloudy sky was developed. The global solar radiation from a pyranometer and cloud cover obtained from a sky view at Silpakorn University, Nakhon Pathom Province (13.82°N, 100.04°E) in 2017-2021 for a period of 5 years was collected. Then, an artificial neural network (ANN), which composed of one input layer, two hidden layers and one output layer was proposed. The input data consisted of 7 variables namely global solar radiation, aerosol optical depth, ozone column, water vapor, solar zenith angle, extraterrestrial radiation and cloud cover. These data were separated into two groups. The first group data of 16,191 data from 2017-2020 were used as a training set and the second group of the year 2021 were applied as the testing set with number of 1,344 data. The output from this ANN model was hourly global solar radiation. After that, a performance of the artificial neural network model was performed by comparing the hourly global solar radiation from the ANN and the measurement. It was found that the solar radiation calculated from the model and that obtained from the measurements were in good agreement with a discrepancy in terms of root mean square difference (RMSD), mean bias difference (MBD) and correlation coefficient (R^2) of 8.79%, 3.08% and 0.96, respectively.

Keywords: Solar radiation, Global solar radiation, Artificial Neural Network (ANN) model, Cloud cover

บทนำ

รังสีอาทิตย์ (solar radiation) เป็นพลังงานที่ปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบขอบบรรยากาศเรียกว่า รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (extraterrestrial solar radiation) ซึ่งประกอบด้วยช่วงรังสีคลื่นสั้น ตั้งแต่ความยาวคลื่น 0.3 - 3.0 ไมโครเมตร รังสีอาทิตย์ที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงพื้นผิวโลกจะถูกลดทอนโดย 2 กระบวนการหลักคือ การกระเจิงและการดูดกลืนโดยองค์ประกอบต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น โมเลกุลอากาศ ฝุ่นละออง ไอน้ำและเมฆ โดยรังสีที่เหลือจะพุ่งตรงมาถึงพื้นผิวโลกเรียกว่า รังสีตรง (direct radiation) ส่วนรังสีที่เกิดจากการกระเจิงโดยองค์ประกอบต่างๆ ของบรรยากาศ เรียกว่า รังสีกระจาย (diffuse radiation) และเรียกผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายว่า รังสีรวม (global radiation) โดยข้อมูลรังสีอาทิตย์หรือรังสีรวมที่มีในปัจจุบันสามารถหาได้จากการวัดภาคพื้นดินด้วยเครื่องวัดรังสีอาทิตย์หรือเครื่องไพราโนมิเตอร์ (pyranometer) ที่ใช้ในการวัดรังสีรวมและรังสีกระจาย และเครื่องไพเฮอริโอมิเตอร์ (pyrheliometer) ที่ใช้ในการวัดรังสีตรง (เสริม จันทร์ฉาย, 2560, น. 310) รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของโลกและสิ่งมีชีวิตต่างๆ ทั้งยังสามารถนำไปพัฒนาวางแผนระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบทำความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้ง หรือการประยุกต์ทางด้านเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์อื่นๆ ซึ่งก่อนการติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ดังกล่าวจำเป็นต้องทราบค่าความเข้มรังสีอาทิตย์และทำการวิเคราะห์ลักษณะทางสถิติของความเข้มรังสีอาทิตย์ในพื้นที่นั้นๆ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการวัดข้อมูลรังสีอาทิตย์โดยใช้เครื่องมือดังกล่าว แต่เนื่องจากเครื่องวัดรังสีอาทิตย์และอุปกรณ์บันทึกข้อมูลมีราคาค่อนข้างแพง ทำให้ไม่สามารถติดตั้งครอบคลุมได้ทั่วทุกพื้นที่ จึงจำเป็นต้องมีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการคำนวนหาข้อมูลรังสีอาทิตย์ในบริเวณหรือพื้นที่ที่ไม่ได้มีการวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ ยกตัวอย่างเช่น แบบจำลองเอมไพริคัล แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network หรือ ANN) จากการรวบรวมงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น Ozegwu, 2019 ได้ทำการคำนวณความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนในพื้นที่ประเทศไนจีเรียโดยใช้วิธีการ ANN โดยใช้โปรแกรม MATLAB แต่เนื่องจากการพัฒนาแบบจำลองในโปรแกรม MATLAB ผู้พัฒนาต้องเขียนโค้ด (code) ทำให้มีความยุ่งยาก นอกจากนี้ Yadav et al., 2015 ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากตัวแปรทางบรรยากาศที่แตกต่างกัน 5 แบบจำลอง ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (temperature) ความยาวนานแสงแดด (sunshine hours) ตำแหน่งละติจูด-ลองจิจูด (latitude-longitude) ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (altitude) ดัชนีความแจ่มใสบรรยากาศ (clearness index) และรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (extraterrestrial radiation) ในโปรแกรมสำเร็จรูปวีก้า (WEKA) ในพื้นที่รัฐหิมาจัลประเทศทางตะวันตกของประเทศอินเดีย โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี ค.ศ. 1986-2000 ของ 22 เมือง เป็นชุดข้อมูลใช้สำหรับฝึกสอนแบบจำลอง จากนั้นนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบกับพื้นที่อีก 4 เมืองโดยใช้ข้อมูลปี ค.ศ. 2001 จากผลการศึกษาพบว่าค่าที่ได้จากการวัดและค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ ANN ทั้ง 5 แบบจำลองมีความสอดคล้องกันดี จากการเปรียบเทียบแบบจำลองเอมไพริคัลและแบบจำลอง ANN ของ Rao et al., 2018 พบว่าแบบจำลอง ANN มีความแม่นยำมากกว่าแบบจำลองเอมไพริคัล อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้คำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ในพื้นที่อื่นๆ ที่มีความแตกต่างทางลักษณะภูมิอากาศและภูมิประเทศได้ดี

โดยปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับเวลาและสถานที่ค่อนข้างสูงทำให้ส่งผลต่อความแม่นยำของแบบจำลอง แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ไม่มีการพิจารณาตัวแปรเมฆเป็นข้อมูลอินพุทโดยพิจารณาเฉพาะในกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงจะทำการพัฒนาและทดสอบแบบจำลองโดยใช้ ANN สำหรับประมาณค่า

รังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีการนำมาใช้สำหรับประมาณค่ารังสีอาทิตย์ในหลายพื้นที่ โดยแบบจำลองที่จะพัฒนาขึ้นนี้ใช้ข้อมูลรังสีอาทิตย์และตัวแปรที่มีผลต่อรังสีอาทิตย์ได้แก่ ปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ปริมาณโอโซน และปริมาณไอน้ำ ซึ่งทำการวัดที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม และข้อมูลตัวแปรที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี ได้แก่ มุมเซนิธของดวงอาทิตย์ และค่ารังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก โดยจะใช้ข้อมูล 5 ปี ในปี ค.ศ. 2017-2021 ทั้งนี้เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถนำไปคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าต่าง ๆ ในพื้นที่ที่ไม่มีการวัด เพื่อให้ได้ข้อมูลรังสีอาทิตย์สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านพลังงานต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาการวัดและรวบรวมข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ที่จังหวัดนครปฐม
2. วิเคราะห์ลักษณะทางสถิติของความเข้มรังสีอาทิตย์สำหรับกรณีท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนที่จังหวัดนครปฐม
3. พัฒนาและทดสอบแบบจำลองรังสีอาทิตย์สำหรับสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ระเบียบวิธีวิจัย

การแปรค่ารังสีอาทิตย์ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์และตัวแปรต่างๆ ในบรรยากาศ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการรวบรวมข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับค่ารังสีอาทิตย์และศึกษาการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับประมาณค่ารังสีอาทิตย์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลจากสถานีวัดภาคพื้นดิน

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเครื่องมือต่างๆ ที่ติดตั้งไว้บนดาดฟ้าชั้น 11 อาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม (13.82 N, 100.04°E) ในปี ค.ศ. 2017-2021 เป็นระยะเวลา 5 ปี ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ความเข้มรังสีรวม ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ปริมาณโอโซน ปริมาณไอน้ำ มุมเซนิธของดวงอาทิตย์ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก และปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า โดยแต่ละตัวแปรมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

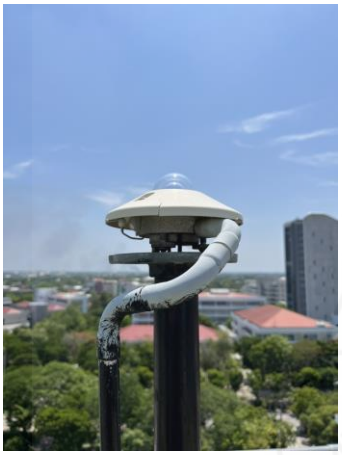
1.1 ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์

ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากเครื่องไพราโนมิเตอร์ (pyranometer) รุ่น CMP11 ผลิตโดยบริษัทคิปป์แอนด์โซเนนซ์ (Kipp&Zonen) (รูปที่ 1) ซึ่งเป็นเครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โมไพล์ (thermopile pyranometer) สามารถตอบสนองสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่ในช่วง 0.3-3.0 ไมโครเมตร โดยเมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบแผ่นรับรังสี แผ่นดังกล่าวจะถ่ายเทความร้อนไปยังเทอร์โมไพล์ ทำให้เทอร์โมไพล์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของเทอร์โมไพล์ ค่าศักย์ไฟฟ้าดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณเป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ได้โดยอาศัยการตอบสนอง (sensitivity) ของเครื่องวัดที่ได้จากการสอบเทียบกับเครื่องวัดรังสีอาทิตย์มาตรฐาน

1.2 ข้อมูลสภาพท้องฟ้า

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาสภาพท้องฟ้าที่ได้จากภาพถ่ายท้องฟ้าด้วยเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) ยี่ห้อ PREDE รุ่น PSV-100 (รูปที่ 2) โดยเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าจะทำการถ่ายภาพครอบคลุมครึ่งทรงกลมท้องฟ้าอัตโนมัติทุก 1 นาที ในสภาพท้องฟ้าต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นผู้วิจัยนำภาพถ่ายท้องฟ้าที่ได้มาประมาณปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าด้วย

สายตา และประมาณว่าในขณะนั้นมีเมฆปกคลุมท้องฟ้ากี่ส่วนถ้าแบ่งท้องฟ้าออกเป็น 10 ส่วนตามเกณฑ์การจำแนกของอุตุนิยมวิทยา ซึ่งปริมาณเมฆจะขึ้นกับสภาพภูมิอากาศและมีการแปรค่าของปริมาณเมฆจาก 0 กรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆ 1-9 ส่วนสำหรับกรณีท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน จนถึง 10 ส่วนในกรณีท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆทั้งหมด โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้ข้อมูลปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า (cloud cover) 1 ส่วน ถึง 9 ส่วน โดยตัวอย่างสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนแสดงดังรูปที่ 3(ข)



รูปที่ 1 เครื่องไพราโนมิเตอร์ รุ่น CMP11

รูปที่ 2 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view)

รูปที่ 3 ตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าจากเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) ก) กรณีสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ (clear sky) ข) กรณีสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (partly cloudy sky) ค) กรณีสภาพท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆทั้งหมด (overcast sky)

1.3 ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (aerosol optical depth, AOD) ปริมาณโอโซน และปริมาณไอน้ำ

ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร และปริมาณไอน้ำที่ทำการวัดโดยเครื่องซันโฟโตมิเตอร์ (sunphotometer) ยี่ห้อ cimel รุ่น CE-318 ซึ่งติดตั้งอยู่บนดาดฟ้าชั้น 11 มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยจะทำการประมวลผลด้วยเครือข่าย Aerosol Robotic Network หรือ AERONET และสามารถดาวน์โหลดข้อมูลดังกล่าวผ่านเว็บไซต์ http://aeronet.gsfc.nasa.gov/ ขององค์การนาซ่า (NASA) ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นข้อมูลทั้งแบบรายชั่วโมงและรายวัน

รูปที่ 4 เครื่องซันโฟโตมิเตอร์ ที่ติดตั้งบนดาดฟ้าชั้น 11 มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

2. ข้อมูลตัวแปรอื่นๆ จากทฤษฎี

การพัฒนาแบบจำลองเพื่อประมาณค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงในจังหวัดนครปฐม นอกจากข้อมูลที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินแล้ว ผู้วิจัยยังได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวแปรอื่นๆ ซึ่งได้จากการคำนวณตามทฤษฎี ได้แก่ ปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก และมุมเซนิธของดวงอาทิตย์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ความเข้มรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก

ในการคำนวณหาปริมาณความเข้มรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกสามารถคำนวณหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$I_0 = I_{SC} E_0 \cos\theta_z \quad (1)$$

เมื่อ I_0 คือค่าความเข้มรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (วัตต์ต่อตารางเมตร)

I_{SC} คือค่าคงที่ของรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก (วัตต์ต่อตารางเมตร)

E_0 คือค่าแฟคเตอร์สำหรับแก้ผลจากการแปรค่าของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (-)

θ_z คือมุมเซนิธของดวงอาทิตย์ (องศา)

2.2 มุมเซนิธของดวงอาทิตย์

ค่ารังสีอาทิตย์ที่ผ่านมายังพื้นผิวโลกจะมีปริมาณมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งปรากฏของดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นผลจากระยะทางที่แสงถูกลดทอนด้วยตัวแปรในบรรยากาศ โดยมุมเซนิธของดวงอาทิตย์สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\cos\theta_z = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega \quad (2)$$

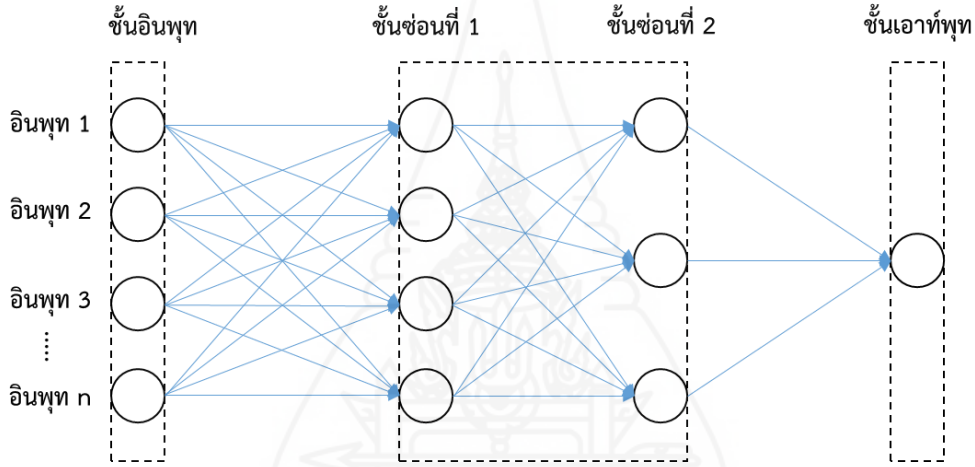
เมื่อ φ คือละติจูด (องศา)

δ คือมุมเดคลิเนชัน (องศา)

ω คือมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ (องศา)

3. โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นระบบทางคณิตศาสตร์ที่เขียนอยู่ในรูปโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถจำลองการทำงานของระบบทางฟิสิกส์หรือระบบวิศกรรมต่างๆ โดยเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์และสามารถนำมาใช้คำนวณหาค่าปริมาณรังสีอาทิตย์ได้ ผู้วิจัยจึงได้นำแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจากโปรแกรมเวก้า (Weka) (Yadav et al., 2014; Yadav et al., 2015) มาใช้ในการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ที่จังหวัดนครปฐม โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งประกอบไปด้วยชั้นอินพุท ชั้นซ่อนสองชั้น และชั้นเอาท์พุท ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียม

โดยเอาท์พุทที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเขียนในรูปสมการดังนี้

$$y = f(b + \sum w_i x_i) \quad (3)$$

เมื่อ y คือเอาท์พุทของโครงข่ายประสาทเทียม

b คือตัวแปรบอกความเอนเอียง

x_i คือตัวแปรอินพุทที่ i *(i = 1,2,3,...n)*

w_i คือค่าตัวถ่วงน้ำหนักสำหรับตัวแปรอินพุทที่ i

4. ขั้นตอนการวิจัย

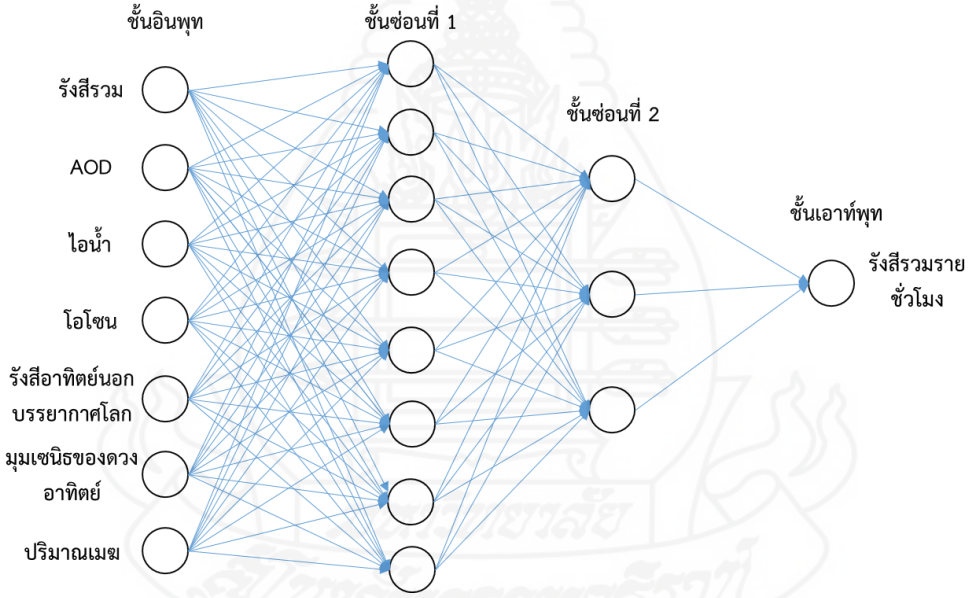
4.1 วิเคราะห์การแปรค่าความเข้มรังสีอาทิตย์

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์การแปรค่าของความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงจากการวัด โดยนำข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงตั้งแต่เวลา 09.00 – 17.00 น. ของแต่ละเดือน ระหว่างปี ค.ศ. 2017-2021 มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยได้เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน แล้วนำมาเขียนกราฟการแปรค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในแต่ละปีของจังหวัดนครปฐม

4.2 การพัฒนาแบบจำลองรังสีอาทิตย์

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูลตัวแปรอินพุทที่มีความสัมพันธ์ต่อรังสีอาทิตย์ ได้แก่ รังสีรวมรายชั่วโมง ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ปริมาณโอโซน ปริมาณไอน้ำ มุมเซนิธของดวงอาทิตย์ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก และปริมาณเมฆ โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี 2017-2021 ในช่วงเวลา 9.00-17.00 น. ในการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ขั้นตอนที่ 2 ทำการสร้างและฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoid) และใช้ข้อมูลของชั้นอินพุทในปี 2017-2020 ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลรังสีรวมรายชั่วโมง ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ปริมาณโอโซน ปริมาณไอน้ำ มุมเซนิธของดวงอาทิตย์ รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก และปริมาณเมฆ โดยชุดข้อมูลในการฝึกสอนมีจำนวนทั้งหมด 16,191 ข้อมูล จากนั้นทำการสุ่มหาชั้นซ่อนที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดสำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์จากการสุ่มพบว่าแบบจำลอง ANN ในงานวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยชั้นซ่อนจำนวนสองชั้น โดยชั้นซ่อนแรกมีแปดโหนด ชั้นที่สองมีสามโหนด และชั้นเอาท์พุทคือค่ารังสีรวมที่ได้จากแบบจำลอง แผนภาพโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้จำลองค่ารังสีรวมรายชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดสอบสมรรถนะของโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้ทำการฝึกสอนแล้ว จากนั้นนำค่ารังสีรวมรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมไปเปรียบเทียบกับค่าจากการวัดโดยใช้ข้อมูลในการทดสอบปี 2021 ซึ่งชุดข้อมูลในการทดสอบมีจำนวนทั้งหมด 1,344 ข้อมูล โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางสถิติ ดังนี้

(1) ค่ารากที่สองของค่าความแตกต่างกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Difference, RMSD) แสดงดังสมการ

$$RMSD = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(ANN_i - OBS_i)^2}}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} OBS_i} \times 100 \quad (4)$$

(2) ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (Mean Bias Difference, MBD) เขียนได้ดังสมการ

$$MBD = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(ANN_i - OBS_i)}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} OBS_i} \times 100 \quad (5)$$

(3) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R^2) แสดงดังสมการ

$$R^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}(ANN_i - \overline{ANN})(OBS_i - \overline{OBS})\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}(ANN_i - \overline{ANN})^2 \sum_{i=1}^{n}(OBS_i - \overline{OBS})^2} \quad (6)$$

เมื่อ n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด

ANN_i คือค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากแบบจำลอง ANN

OBS_i คือค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จากการวัดภาคพื้นดิน

$\overline{ANN}$ คือค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยของ ANN_i

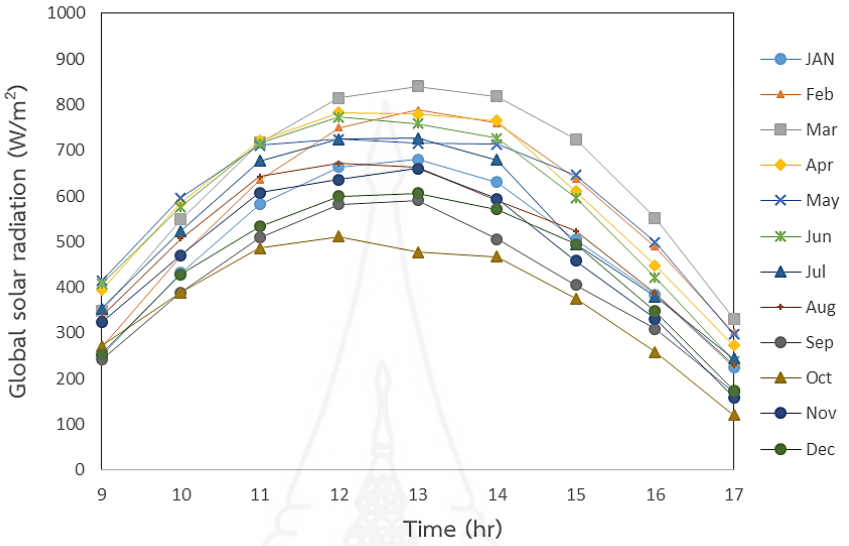
$\overline{OBS}$ คือค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยของ OBS_i

ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางสถิติ รวมถึงการพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์สำหรับกรณีสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนที่จังหวัดนครปฐม ผลการศึกษาที่ได้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. **การแปรค่ารังสีอาทิตย์รายชั่วโมงจากการวัดภาคพื้นดิน**

ผู้วิจัยทำการเขียนกราฟการแปรค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 7

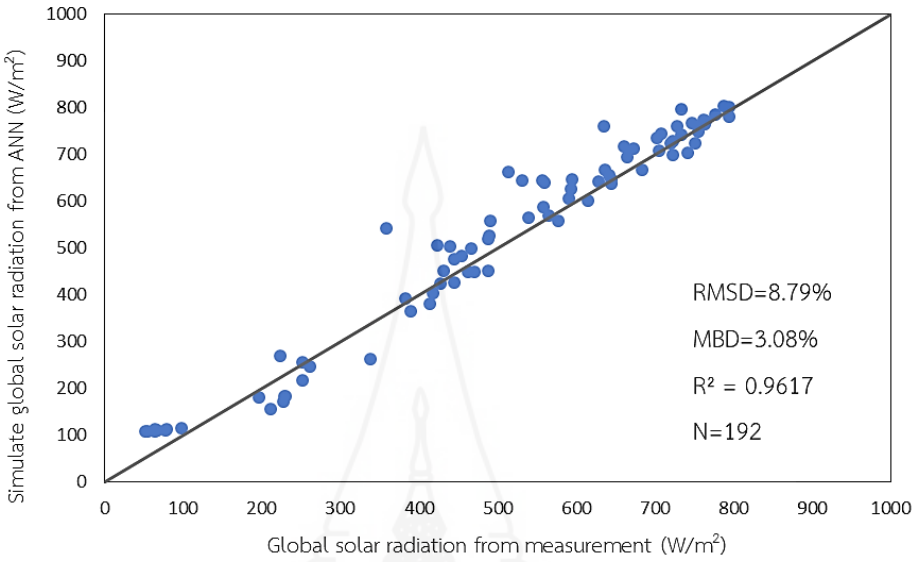


รูปที่ 7 ตัวอย่างการแปรค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนของปี ค.ศ. 2020 จังหวัดนครปฐม

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเช้าและมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาบ่ายโมงของวัน จากนั้นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะมีค่อยๆ ลดลงในช่วงเย็น ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงในช่วงวันขึ้นอยู่กับระยะทางเดินของดวงอาทิตย์และการลดทอนโดยองค์ประกอบในบรรยากาศ และพบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคมและมีค่าต่ำสุดในช่วงเดือนตุลาคม เนื่องจากเดือนมีนาคมเป็นช่วงฤดูร้อนเป็นระยะที่ขั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์ทำให้ประเทศไทยได้รับความเข้มรังสีอาทิตย์ดวงอาทิตย์ในปริมาณสูง ส่วนเดือนตุลาคมเป็นช่วงที่มีฝนตกชุกจึงทำให้มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ ซึ่งลักษณะการกระจายตัวดังกล่าวของรังสีอาทิตย์สามารถนำไปประเมินเพื่อติดตั้งใช้งานอุปกรณ์และเทคโนโลยีทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

2. เปรียบเทียบค่ารังสีรวมรายชั่วโมงจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ผู้วิจัยนำค่ารังสีรวมรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยแบ่งชุดข้อมูลฝึกสอนออกเป็น 80% (ปี ค.ศ. 2017-2020) และทดสอบ 20% (ปี ค.ศ. 2021) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป WEKA จากนั้นนำค่าที่ได้จากแบบจำลอง ANN มาเปรียบเทียบกับค่ารังสีรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินสำหรับปี ค.ศ. 2021 โดยผลการเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งพบว่าค่าความเข้มรังสีรวมรายชั่วโมงที่ได้จากแบบจำลอง ANN และความเข้มรังสีรวมรายชั่วโมงที่ได้จากการวัดที่จังหวัดนครปฐมจำนวน 192 ข้อมูลมีความสอดคล้องกันดี โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนในรูป RMSD เท่ากับ 8.79% MBD เท่ากับ 3.08% และ R^2 เท่ากับ 0.96 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นสามารถคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วนได้ดีในพื้นที่จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบระหว่างค่ารังสีรวมรายชั่วโมงที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) และค่าจากการวัด

อภิปรายผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อคำนวณค่าความเข้มรังสีรวมในจังหวัดนครปฐม โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงและตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลองที่มีผลต่อค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2017-2021 เป็นระยะเวลา 5 ปี โดยพบว่าการแปรค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้า และมีค่าสูงสุดในช่วงบ่ายโมงจากนั้นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะมีค่าลดลงในช่วงเย็น ซึ่งเป็นผลจากทางเดินของดวงอาทิตย์และตัวแปรทางบรรยากาศ และพบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคมและมีค่าต่ำสุดในช่วงเดือนตุลาคม เนื่องจากเดือนมีนาคมเป็นช่วงฤดูร้อนเป็นระยะที่ขั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์ทำให้ประเทศไทยได้รับความเข้มรังสีอาทิตย์ดวงอาทิตย์ในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังเป็นช่วงเดือนที่มีเมฆปกคลุมท้องฟ้าน้อยทำให้มีความเข้มรังสีอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกสูง ส่วนเดือนตุลาคมของปี ค.ศ. 2020 มีปริมาณฝนตกชุกและมีเมฆมากตลอดทั้งเดือนจึงทำให้มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ

ในส่วนของการพัฒนาแบบจำลอง ผู้วิจัยพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเหมาะสมสำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงของจังหวัดนครปฐม โดยประกอบด้วยชั้นอินพุทที่มีตัวแปรทั้งหมด 7 ตัวแปร ได้แก่ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ปริมาณไอน้ำ ปริมาณโอโซน รังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก มุมเซนิธของดวงอาทิตย์ และปริมาณเมฆ ชั้นซ่อนสองชั้นซ่อน และชั้นเอาท์พุทที่เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมง เมื่อนำค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดภาคพื้นดินพบว่ามีความสอดคล้องกันดี โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนในรูปของ RMSD เท่ากับ 8.79% MBD เท่ากับ 3.08% และ R^2 เท่ากับ 0.96 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถประมาณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆ

บางส่วนได้ดี โดยผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Azadeh et al, 2009 ที่ใช้แบบจำลอง ANN เพื่อประมาณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ภายใต้สภาพท้องฟ้าทั่วไปสำหรับพื้นที่ที่ต้องการศึกษา โดยประโยชน์ที่ได้จากการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดนครปฐมจะทำให้สามารถนำไปประเมินประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดนครปฐม ซึ่งมีอยู่หลายแห่ง นอกจากนี้ยังนำไปใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พาราโบลาโดมและใช้เป็นฐานข้อมูลในงานวิจัยด้านพลังงานแสงอาทิตย์และอุตุนิยมวิทยา ซึ่งในอนาคตจะสามารถประยุกต์แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้คำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ในพื้นที่ที่ไม่มีการวัดสำหรับภูมิภาคอื่นๆ ในประเทศไทยได้

ข้อเสนอแนะ เนื่องจากข้อมูลตัวแปรเมฆในงานวิจัยครั้งนี้ได้จากข้อมูลการวัดภาคพื้นดิน ทำให้ข้อมูลไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ ดังนั้นผู้วิจัยเสนอให้ใช้ข้อมูลตัวแปรเมฆจากภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อให้ได้ข้อมูลครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่

เอกสารอ้างอิง

เสริม จันทร์ฉาย. (2560). รังสีอาทิตย์. พิมพ์ครั้งที่ 2 (ปรับปรุง). รังสีอาทิตย์: ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยศิลปากร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม.

Azadeh, A., & Maghsoudi, A., & Sohrabkhani, S. (2009). An integrated artificial neural networks approach for predicting global radiation. *Energy Conversion and Management,* 50(6), 1497–1505.

Ozegwu, C. G. (2019). Artificial neural network forecast of monthly mean daily global solar radiation of selected locations based on time series and month number. *Journal of Cleaner Production*, 216, 1-13.

Rao, K. D.V., & Siva, K. & Premalatha, M., & Naveen, C. (2018). Analysis of different combinations of meteorological parameters in predicting the horizontal global solar radiation with ANN approach: A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 248–258.

Yadav, A. K., & Chandel, S. (2015). Solar energy potential assessment of western Himalayan Indian state of Himachal Pradesh using J48 algorithm of WEKA in ANN based prediction model. *Renewable Energy*, 75, 675-693.

Yadav, A. K., & Mlik, H., & Chandel, S. S. (2014). Selection of most relevant input parameters using WEKA for artificial neural network based solar radiation prediation models. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 31, 509-519.