نشریه دانش آب و خاک / جلد ۳۲ شماره ۱ صفحه‌های ۱۵ تا ۲۶/ سال ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثر آلاینده های اتمسفری بر تابش خورشیدی دریافت شده توسط زمین با استفاده از مدل آنگستروم–پرسکات (مطالعه موردی: ارومیه و تبریز)

شیوا مصطفی زاده[1]*، جواد بهمنش[2]، وحید رضاوردی نژاد[3]

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۰۷/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۱

۱–دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲–استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۳–استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mostafazadeh.shiva1995@gmail.com

چکیده

تابش خورشیدی، از پارامترهای مهم اقلیمی است که با بسیاری از فرایندهای هیدرولوژیک و هواشناسی ارتباط مستقیم دارد. به علت فقدان داده‌های واقعی ثبت شده این پارامتر در ایستگاه‌های هواشناسی، معمولا مدل‌های تخمین تابش خورشیدی بر پایه پارامترهای هواشناسی در کارهای عملی به کار گرفته می‌شوند. معادله آنگستروم–پرسکات که بر اساس ساعات آفتابی عمل می‌کند، به طور گسترده‌ای به علت سادگی و قابل قبول بودن آن در محاسبات مربوط به مقادیر تابش خورشیدی به کار گرفته شده است. تاکنون مطالعات زیادی در خصوص واسنجی ضرایب این رابطه برمبنای پارامترهای هواشناسی صورت گرفته است. هدف از تحقیق حاضر، ارزیابی اثر آلاینده‌های اتمسفری بر تابش خورشیدی دریافت شده توسط زمین با استفاده از مدل آنگستروم–پرسکات می‌باشد. برای این منظور با استفاده از داده‌های روزانه تابش‌سنجی ایستگاه ارومیه و تبریز در دوره‌ی ۳ ساله (۱۳۹۳–۱۳۹۵)، واسنجی ضرایب رابطه آنگستروم–پرسکات با درنظر گرفتن شاخص آلودگی هوا (API) انجام گرفت. همچنین برای مقایسه نتایج مدل‌های اصلاحی با معادله کلی، مدل‌های مختلف خطی، نمایی و لگاریتمی توسعه داده شد. به منظور ارزیابی دقت مدل‌ها از شاخص‌های آماری RMSE، MABE، NSE و R^2 استفاده گردید. نتایج آنالیز آماری مدل‌ها نشان داد که مدل‌های واسنجی شده ایستگاه ارومیه و تبریز بر مبنای شاخص آلودگی هوا و با ساختار لگاریتمی، دارای بهترین عملکرد نسبت به معادله کلی آنگستروم–پرسکات بودند. متوسط مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا برای مدل اصلاحی لگاریتمی به ترتیب برای ارومیه و تبریز برابر ۰/۱۲۶۳ و ۰/۱۰۵۰ ژول بر سانتی‌مترمربع بر روز به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آلاینده‌های اتمسفری، آنگستروم–پرسکات، تابش خورشیدی، ساعات آفتابی، شاخص آلودگی هوا

Evaluating the Effect of the Atmospheric Pollutants on the Received Solar Radiation by Ground Surface Using Angstrom-Prescott Model (Case study: Urmia and Tabriz)

Shiva Mostafazadeh[1*], Javad Behmanesh[2], Vahid Rezavardinejad[3]

Received: 2019-09-28 Accepted: 2020-09-01

1-MSc. of Water Engineering., Faculty of Agriculture., Urmia University, Urmia, Iran

2-Prof., Dept. of Water Engineering., Faculty of Agriculture., Urmia University, Urmia, Iran

3-Prof., Dept. of Water Engineering., Faculty of Agriculture., Urmia University, Urmia, Iran

Correspondence Author, e-mail: mostafazadeh.shiva1995@gmail.com

Abstract

Solar radiation is one of the most important climate parameters that has direct relationship with many hydrological and meteorological processes. Due to the lack of real time records of this parameter in meteorological stations, solar radiation estimation models based on meteorological parameters are usually applied in practical issues. The Angstrom-Prescott equation that works on the basis of the sunshine hours has been widely applied for calculating solar radiation values due to its simplicity and acceptability. So far, many studies have been conducted about calibrating coefficients of this equation based on the meteorological parameters. The purpose of this study was to evaluate the atmospheric air polutions effects on received solar radiation using the Angstrom-Prescott model. Calibration of the Angstrom-Prescott equation coefficients was performed using daily radiation data of Urmia and Tabriz stations during 3 years period (2014-2017) with taking into account the Air Pollution Index (API). Also,in order to compare the results of modified models with general equation of Angstrom-Prescott,different linear,exponential and logarithmic models were developed. In order to evaluate the models precision, RMSE, MABE, NSE and R^2 indices were employed. The results of statistical analysis of the models indicated that the calibrated models of Urmia and Tabriz stations on the basis of the API and the logarithmic structure had the best perfermace to general equation of Angstrom-Prescott. The average values of the RMSE of the modified logarithmic model for Urmia and Tabriz were obtained 0.1263 and 0.1050 $jcm^{-2}day^{-1}$, respectively.

Keywords: Air pollution index, Atmospheric pollutants, Angstrom-Prescott, Solar radiation, sunshine hours

مقدمه

انرژی تابشی خورشید سرمنشأ انرژی‌های روی کره زمین و بزرگ‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر است که یکی از منابع مهم انرژی پاک بویژه در کشور ما است. به همین دلیل این انرژی برای تداوم زندگی در درجه اول اهمیت قرار دارد. تابش خورشیدی همچنین پارامتر مهمی است که در مباحث هیدرولوژی، مدیریت منابع آب، مدل‌های بیلان آبی و مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه کاربرد دارد (بال و همکاران ۲۰۰٤). مطالعه میزان تابش دریافتی از خورشید در هر محل و چگونگی تغییرات آن در روزهای مختلف سال یکی از مهم‌ترین مراحل مورد نیاز جهت بهره‌برداری، طراحی شبکه‌ها و برنامه‌ریزی آبیاری بوده و تخمین مناسب آن در توسعه مدل‌های شبیه‌سازی گیاه اهمیت زیادی دارد (آلمورکس و هوترینا ۲۰۰٤). با توجه به کامل نبودن شبکه ایستگاه‌های تابش‌سنجی در کشور نیاز به برآورد تابش در مناطق فاقد داده وجود داشته و در برخی از ایستگاه‌های دارای آمار تابش نیز خلاءهای آماری وجود دارد. برای برآورد تابش در سطح زمین، روش‌ها و مدل‌های بسیاری ارائه گردیده است. این روش‌ها از اهمیت بالایی برخور دارند چرا که به علت مشکلات اقتصادی، محدودیت‌های فنی و عدم وجود وسایل و ابزار مناسب، داده‌های اندازه گیری تابش برخلاف سایر پارامترهای هواشناسی از جمله دما و بارش در همه مناطق موجود نیست (ایزیمون و

مایر۲۰۰۲). رابطه آنگستروم نخسین رابطه در برآورد مقدار تابش خورشید است (آنگستروم ۱۹۲٤)، که در این رابطه مقدار کل تابش خورشیدی با نسبت واقعی ساعت آفتابی به طول روز مرتبط است. آلادنولا و مادرامتو در سال(۲۰۱٤) به ارزیابی دقت مدل‌های پیش بینی تابش خورشیدی برای تخمین تبخیر-تعرق مرجع پرداختند. آن‌ها برای این منظور ۸ ایستگاه هواشناسی را با توجه به اقلیم‌های مختلف در گستره دشت‌های کانادا انتخاب کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که از بین ۹ مدل مورد بررسی، مدل آنگستروم-پرسکات دارای بیشترین دقت می‌باشد. رحمان (۱۹۹۸) با استفاده از ۱٦ مدل مختلف برآورد تابش، مقادیر تابش محاسبه شده را در عربستان با مقادیر تابش اندازه‌گیری شده با پیرانومتر مقایسه کرده و از بین آن‌ها بهترین مدل را که مدل خطی آنگستروم-پرسکات بود انتخاب نمودند. بهمنش و مهدی زاده (۲۰۱٦) مدل‌های برآورد تابش خورشیدی در حوضه دریاچه ارومیه را مورد ارزیابی و بررسی قرار دادند.

در این تحقیق هفت مدل تخمین تابش خورشیدی شامل؛ هارگریوز-سامانی، آلن، خودکالیبراسیون، سامانی،آناندال، بریستف- کمپبل و آنگستروم-پرسکات بررسی شد. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که مدل آنگستروم-پرسکات دارای بهترین عملکرد و مدل سامانی ضعیف‌ترین روش در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه بود. یکی از فرضیات آنگستروم در رابطه خود، ثابت بودن ضرایب رابطه با زمان است، در حالی که طول مدت تابش خورشید به علت تبعیت از عواملی همچون وجود ابر در آسمان و مقدار آن در اصل دارای تغییرات تصادفی بوده و به تبع آن ضرایب مدل نیز با زمان و با تغییر شرایط محیطی موجود تغییر کرده و ثابت نیستند (بادسکو ۲۰۰۸). لیو و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی در سه منطقه اقلیم کشاورزی در چین، تأثیر متغیرهای مختلف را بر پارامترهای رابطه آنگستروم- پرسکات ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که پارامتر a تحت تأثیر مقدار بارندگی سالانه، ارتفاع محل، میانگین، طول و عرض جغرافیایی بوده، در حالی که پارامتر b فقط متأثر از ارتفاع محل است. فاکتوری که می‌تواند به طور مستقیم در میزان تابش دریافتی تأثیر به سزایی داشته باشد، آیروسل‌های مرتبط با آلودگی هوا می‌باشد (زائو و همکاران ۲۰۱۳). از مقدار تابش خورشیدی که وارد جو می‌شود در اثر جذب توسط مواد موجود در آن و انعکاس توسط ابرها کاسته شد و در نتیجه تابش خورشیدی که به سطح زمین برخورد می‌کند کمتر از مقدار آن در خارج از جو است. مقدار کاهش تابش خورشیدی به طول مسیر پیموده شده اشعه و همچنین ترکیبات آن (ابرها، گرد و غبار، رطوبت و مه) بستگی دارد. یائو و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از داده‌های ۵۵ ساله تابش خورشیدی روزانه برای ایجاد مدل‌های محاسبه تابش پراکنده روزانه با استفاده از داده‌های آلودگی هوا یک روش جدید برای برآورد تابش پراکنده ارائه و نشان دادند که مدل‌های اصلاحی بر اساس شاخص آلودگی هوا نسبت به مدل‌های معمولی عملکرد بهتری دارند. وانگ و همکاران (۲۰۱۲) مقدار تأثیر آلودگی هوا بر ساعت آفتابی را بررسی کردند. نتایج نشان داده است که آلودگی هوا باعث کاهش ساعت آفتابی شده و ضرایب معادله را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آلمورکس و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقاتی که در منطقه تولدو اسپانیا انجام داده‌اند به این نتیجه رسیدند که ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات تحت تأثیر تغییرات محلی و فصلی در غلظت آلاینده‌ها می‌باشد.

جونلیانگ و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از اطلاعات ۳ ساله روزانه هواشناسی و آلودگی هوا در منطقه‌ی پکن که یکی از مناطق توسعه یافته و بسیار آلوده در چین است، در تحقیقات خود نشان دادند که افزایش آلودگی هوا باعث کاهش سطح تابش خورشیدی شده و بنابراین می‌تواند متغیرهای مهمی برای پیش

بینی تابش خورشیدی باشد. در این تحقیق، شش آلاینده هوا $PM_{2.5}$، PM_{10}، SO_2، NO_2، CO و O_3 و همچنین شاخص آلودگی هوا [1] برای تحلیل فاکتورهای تک و یکپارچه آن‌ها بر روی تابش خورشیدی روزانه جهانی انتخاب شدند. هفت پارامتر آلودگی هوا، ۱۵ ترکیب دو پارامتر و ۲۰ ترکیبی از سه پارامتر با استفاده از ماشین بردار پشتیبانی[2] بر اساس مدت زمان نور آفتاب یا دمای هوا در نظر گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد اهمیت انتخاب مناسب ورودی آلودگی هوا برای بهبود دقت پیش بینی تابش خورشیدی در سطح زمین و تابش برون جوی در مناطق آلوده هوا ضروری می‌باشد. بهمنش و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقات خود ضرایب a =۰/۲۶ و b =۰/۴۳ را برای ایستگاه‌های منتخب حوضه آبریز دریاچه ارومیه (ارومیه، تکاب، مهاباد، سلماس) پیشنهاد کردند. جهانبخش و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پژوهش خود ضرایب a =۰/۲۶ و b =۰/۴۹ برای ایستگاه تبریز ارائه دادند. با استفاده از ضرایب اصلاح شده می‌توان تابش واقعی را در منطقه‌ی تبریز و ارومیه با دقت بیشتری برآورد نمود. مطابق آنچه که گفته شد، واسنجی ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات در منطقه یکی از ملزمات برآورد صحیح میزان تابش خورشیدی با استفاده از رابطه A-P می‌باشد. تغییرات شدید باد دریاچه ارومیه در فصول مختلف سبب انتشار ذرات نمک از شوره‌زارهای ایجاد شده در اطراف دریاچه ارومیه به پیرامون آن می‌شود. بدون شک یکی از مهم-ترین نگرانی‌های موجود ناشی از پسروی و خشکی بخش قابل ملاحظه‌ای از دریاچه ارومیه، تبدیل شدن آن به یکی از کانون‌های فعال ایجاد گرد و غبار نمکی در منطقه و تبعات غیرقابل جبران ناشی از این موضوع در آینده نه چندان دور می‌باشد. در این میان شهرهای تبریز و ارومیه جزء نواحی هستند که بیش ترین آسیب را از انتشار ذرات نمک دارند. کمالی و مرادی (۲۰۰۳)، در تحقیق خود روش‌های آنگستروم-پرسکات، بریستو و کمپبل، هارگریوز و همکاران و روش ردی را با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های تابش سنجی ایران که بر اساس تابش فراجو و ساعات آفتابی کنترل کیفیت شده بودند، مورد ارزیابی قرار داده و استفاده از روش آنگستروم-پرسکات را که عملکرد آن بر مبنای ساعات آفتابی است، برای برآورد تابش خورشید در ایران پیشنهاد کردند. نتایج ایشان نشان داد که مدل‌های مبتنی بر ساعات آفتابی نسبت به مدل‌های مبتنی بر دمای هوا برتری دارند. با توجه به منطقه جغرافیایی مورد مطالعه و قرارگیری آن در کنار دریاچه ارومیه و وجود ریزگردها، تدوین و گسترش مدل‌های برآورد تابش با در نظرگرفتن شاخص آلودگی هوا به اهمیت تحقیق می‌افزاید. تا کنون واسنجی ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات با درنظر گرفتن شاخص آلودگی هوا برای ایستگاه ارومیه و تبریز انجام نگرفته است. مطابق آنچه‌که گفته شد، با توجه به نیاز واسنجی معادله آنگستروم-پرسکات در هر منطقه و با عنایت به این موضوع که ضرایب این معادله تا به حال در منطقه ارومیه و تبریز برآورد نگردیده‌اند، این تحقیق با هدف بررسی میزان تأثیر آلاینده‌های جوی توسط آماره‌های ریاضی، بر روابط برآورد تابش کل خورشیدی دریافت شده توسط زمین انجام گردید.

[1] Air Pollution Index
[2] Support Vector Machines

مواد و روش‌ها

داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک ارومیه و تبریز شامل تابش کل خورشیدی روزانه و ساعت آفتابی روزانه و داده‌های روزانه آلودگی هوا اخذ شده از مرکز پایش محیط زیست، در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌های بررسی شده در این تحقیق از سال های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ انتخاب شده و سپس اطلاعات دریافتی طبقه بندی و تفکیک شدند. این اطلاعات شامل، داده‌های تابش کل خورشیدی (R_S)، تابش دریافتی بر رویه افقی در بالای جو(R_O)، کسر ساعت آفتابی ($\frac{n}{N}$) و شاخص آلودگی هوا (API) بودند. تعداد داده‌های دریافتی از سازمان هواشناسی برای ایستگاه ارومیه و تبریز در مجموع به ترتیب ۱۰۰۰ و ۱۰۹۰ داده بود. برای افزایش دقت محاسبات، مقادیر داده‌های پرت حذف شده و در نهایت ۷۳۰ داده برای ایستگاه ارومیه و۸۰۰ داده برای ایستگاه تبریز برای تجزیه و تحلیل انتخاب شدند. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است. از آنجا که هدف از این تحقیق جست وجوی روابطی برای برآورد تابش دریافتی بر روی افقی در سطح زمین با استفاده از متغییرهای هواشناسی و با تأکید بر ارزیابی اثر آلاینده‌های اتمسفری است، با استفاده از داده‌های روزانه ایستگاه ارومیه و تبریز معادلات جدول ۲ با تجزیه و تحلیل رگرسیون چند مرحله‌ای به ترتیب در فرم‌های نمایی، لگاریتمی و خطی توسعه می‌یابند.

جدول۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه.

ایستگاه	طول جغرافیایی (Degree-minutes)	عرض جغرافیایی (Degree-minutes)	ارتفاع از سطح دریا (m)
ارومیه	٤٥-٥٠	٣٧-٦٥	١٣٣٥
تبریز	٤٦-١٤	٣٨-٧٠	١٣٦٤

جدول۲- مدل‌های رگرسیونی مورد استفاده برای تابش خورشیدی روزانه بر اساس ساعت آفتابی و شاخص آلودگی هوا.

نوع مدل	معادلات رگرسیونی
$\frac{RS}{RO} = a + b(\frac{n}{N}) + c(\frac{API}{100}) + d(\frac{n}{N})(\frac{API}{100})$	خطی
$\frac{RS}{RO} = a + b\left(\frac{n}{N}\right) + c\exp\left(\frac{API}{100}\right) + d(\frac{n}{N})\exp(\frac{API}{100})$	نمایی
$\frac{RS}{RO} = a + b\left(\frac{n}{N}\right) + c\log\left(\frac{API}{100}\right) + d\left(\frac{n}{N}\right)\log(\frac{API}{100})$	لگاریتمی

رابطه آنگستروم-پرسکات

برای محاسبه تابش خورشیدی این رابطه ابتدا توسط آنگستروم (۱۹۲٤) پیشنهاد و سپس در سال ۱۹٤۰ توسط پرسکات اصلاح گردید. دقت معادله آنگستروم-پرسکات به دقت برآورد ضرایب a وb معادله مذکور بستگی دارد. یکی از مهم‌ترین و عام‌ترین روابط تجربی موجود در زمینه برآورد تابش خورشیدی بر سطح افقی می‌باشد، که این مدل بر اساس رابطه خطی بین نسبت تابش خورشیدی به تابش برون جوی ($\frac{R_S}{R_O}$) و نسبت ساعات واقعی آفتابی به حداکثر ممکن ساعات آفتابی ($\frac{n}{N}$) به صورت رابطه ۱ ارائه شده است :

$$\frac{R_S}{R_O} = a + b(\frac{n}{N}) \qquad [۱]$$

در این رابطه، Rs وRo به ترتیب تابش کلی دریـافتی از خورشید بـر سطح افقی در بالای جو و تـابش کلی دریافتی از خورشید برسـطح افقی در سطح زمین، n طول مدت حقیقی ساعات آفتابی،N طول مدت نظری ساعات آفتابی، a و b ضرایب تجربی هستند. در این رابطه مقادیر تابش کل خورشیدی در بالای جو (Ro) و تعداد ساعات آفتابی نظری (N) با استفاده از روابط نجومی برای تمامی روزهای سال برآورده می شود:

$$R_o = d_r 37.6(w_s(\sin\varphi)(\sin\sigma) + (\cos\varphi)(\cos\sigma)(\sin w_s)) \quad [۲]$$

$$d_r = 1 + 0.33\cos(\frac{\pi}{365}j) \quad [۳]$$

$$w_s = \arccos(-\tan\varphi\tan\sigma) \quad [٤]$$

$$\sigma = 0.4093\cos(0.0172(172 - j)) \quad [٥]$$

$$N = \frac{24}{\pi}w_s \quad [٦]$$

که در آن dr فاصله نسبی زمین تا خورشید، ω_S زاویه ساعتی خورشید، φ عرض جغرافیایی بر حسب رادیان، σ زاویه میل خورشید بر حسب رادیان و j شماره روز ژولیوسی است. واسنجی ضرایب a وb با برقراری رگرسیون خطی بین $\frac{Rs}{Ro}$ و$\frac{n}{N}$ به دست می‌آید.

جدول۳- نقاط شکست آلایندگی در محاسبه شاخص آلودگی هوا.

طبقه بندی کیفیت هوا	AQI	نقاط شکست						
		NO_2 (mg kg^{-1}) ۱ساعته	SO_2 (mg kg^{-1}) ۲٤ساعته	CO (mg kg^{-1}) ۸ساعته	PM_{10} (μg m^{-3}) ۲٤ساعته	$PM_{2.5}$ (μg m^{-3}) ۲٤ساعته	O_3 (mg kg^{-1}) ۱ساعته	O_3 (mg kg^{-1}) ۸ساعته
پاک	۵۰-۰	۰-۰/۵۳	۰ - ۰/۰۳٤	٤-۰/٤	٥٤-۰	۱۵-۰/٤	-	۰-۰/۵۰۹
سالم	۱۰۰-۵۱	۰/۰۵٤ -۰/۱	۰/۰۳۵ -۰/۱٤٤	٤/۵ - ۹/٤	۱۵٤-۵۵	۱۵/۵-۳۵	-	۰/۰٦-۰/۰۷۵
ناسالم گروه حساس	۱۵۰-۱۰۱	۰/۰-۱۰۱/۳٦	۰/۱٤۵ -۰/۲۲٤	۹/۵ - ۱۲/٤	۲۵٤-۱۵۵	۳۵/۱-٦۵/٤	۰/۱۲۵-۰/۱٦٤	۰/۰۷٦-۰/۰۹۵
ناسالم	۲۰۰-۱۵۱	۰/۳٦۱ -۰/٦٤	۰/ ۲۲۵ -۰/ ۳۰٤	۱۲/۵ - ۱۵/٤	۳۵٤-۲۵۵	٦۵/۵-۱۵۰/٤	۰/۱٦۵-۰/۲۰٤	۰/۰۹٦-۰/۱۱۵
بسیار ناسالم	۳۰۰-۲۰۱	۰/٦۵ -۱/۲٦	۰/۳۰۵ -۰/٦۰٤	۱۵/۵ - ۳۰/٤	٤۲٤-۳۵۵	۱۵۰/۵-۲۵۰/٤	۰/۲۰۵-۰/٤۰٤	۰/۱۱٦-۰/۳۷٤
خطرناک	٤۰۰-۳۰۱	۱/۲۵ -٦٤/۱	۰/٦۰۵-۰/۸۰٤	۳۰/۵ - ٤۰/٤	۵۰٤-٤۲۵	۳۵۰/۵-۳۵۰/٤	۰/٤۰۵-۰/۵۰۱٤	*
	۵۰۰-٤۰۱	۱/٦۵ -۲/۰٤	۰/۸۰۵-۱/٤۰۰	٤۰/۵ - ۵۰/٤	٦۰٤-۵۰۵	۳۵۰/۵-۵۰۰/٤	۰/۵۰۵-۰/٦۰٤	

شاخص آلودگی هوا

کیفیت هوا به وسیله تعیین غلظت آلاینده‌های اصلی در ایستگاه‌های سنجش اندازه‌گیری می‌شود. این ایستگاه‌ها بسته به جمعیت شهر و وسعت آن ممکن است متعدد باشند. بدین منظور می‌توان از شاخصی مانند شاخص آلودگی هوا استفاده کرد. شاخص آلودگی هوا (API) معمول ترین ابزار کلیدی جهت آگاهی از کیفیت هوا و روش‌های محافظتی در برابر آلودگی هوا است. به عبارت دیگر API به اثرات سلامتی ناشی از مواجهه با هوای آلوده (ناسالم) می‌پردازد. این شاخص برای ۵ آلاینده‌ی اصلی هوا یعنی ازن سطح زمین، ذرات معلق، دی اکسید نیتروژن، مونوکسید کربن و دی اکسید گوگرد محاسبه می‌شود (کرمانی و همکاران ۲۰۱٦). در این مطالعه، ابتدا غلظت‌های لحظه‌ای آلاینده‌های معیار هوای شهر ارومیه و تبریز در سال های (۱۳۹۳-۱۳۹۵) با مراجعه به سازمان محیط زیست استان‌ها به دست آمد. سپس داده‌های خام به دست آمده از سنجش آلاینده‌ها با استفاده از رابطه ۷ به شاخص API تبدیل شدند. پارامترهای مورد استفاده در این رابطه از جدول ۳ که نقاط شکست برای API را

نشانمی‌دهند، به دست می‌آیند (کتابی و همکاران ۲۰۱۵).

$$API = \frac{I\,HI - I\,lo}{BP\,HI - BP\,lo}(Co - BP\,lo) + I\,Lo \qquad [۷]$$

که در رابطه ۷ :

API شاخص کیفیت هوا برای آلاینده موردنظر، I_{HI} مقدارAPI منطبق با BP_{HI} ، I_{LO} مقدار API منطبق با BP_{LO}، BP_{Hi} نقطه شکستی که بزرگتر یا مساوی Cp است ، BP_{LO} نقطه شکستی که کوچکتر یا مساوی Cp است، Cp غلظت اندازه‌گیری شده (گرد شده) برای آلاینده مورد نظر است.

معیارهای آماری واسنجی مدل‌های برآورد تابش خورشید

به منظور بررسی تأثیر روش (مدل) مورد استفاده در محاسبه تابش خورشیدی با در نظرگرفتن اثر آلاینده‌های اتمسفری، از شاخص‌های آماری RMSE[1](ریشه میانگین مربعات خطا)،MABE[2](میانگین خطای مطلق انحرافات) و نش-ساتکلیف (NSE)[3] استفاده شد، که این شاخص‌های آماری به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}(obs\,i - mod\,i)^2}{m}} \qquad [۸]$$

$$MABE = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}(|obs\,i - mod\,i|) \qquad [۹]$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{m}(obsi - mod\,i)^2}{\sum_{i=1}^{m}(obs\,i - \overline{obsi})^2} \qquad [۱۰]$$

نتایج و بحث

همان طورکه گفته شد، معادله آنگستروم-پرسکات یکی از متداول ترین روش‌های تخمین تابش واقعی خورشیدی است، مقادیر ضرایب تجربی در روش مذکور، بسته به شرایط جوی و میل خورشیدی برای هر موقعیت متفاوت است. تنها در صورت استفاده از ضرایب واسنجی شده در هر محل، نتایج تخمین تابش خورشیدی قابل قبول خواهند بود. ضرایب تجربی این معادله در ایستگاه ارومیه توسط بهمنش وهمکاران (۲۰۱۸) و در ایستگاه تبریز توسط جهانبخش و همکاران (۲۰۱۵) واسنجی شده است. در جدول ٤ ضرایب مدل‌های خطی، نمایی و لگاریتمی بر اساس داده‌های ساعات آفتابی و داده‌های آلودگی هوای روزانه در ایستگاه‌های ارومیه و تبریز برای دوره آمار۳ ساله (۱۳۹۳-۱۳۹۵) با استفاده از نرم افزار استاتا، محاسبه گردید.

علاوه بر واسنجی ضرایب، سه مدل جدید با دخالت دادن شاخص آلودگی هوا به دست آمد. پس از محاسبه روابط رگرسیونی شاخص‌های آماری محاسبه و نتایج آنالیز آماری در جدول ٥ آورده شده است. سپس نمودار پراکنش ضریب گذرایی جو $(\frac{Rs}{Ro})$، حاصل از داده‌های تابش خورشیدی روزانه مشاهداتی ایستگاه در مقابل ضریب گذرایی به دست آمده از داده‌های تابش روزانه پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها، ترسیم گردید. مقادیر R^2 در جدول ٥ با استفاده از ضرایب تبیین خط برازش داده شده حاصل شده‌اند (شکل۱-٤)

آنگستروم تا ۰/۳ در کرج و ۰/۲۷ در ارومیه و ۰/۳۵ در ایستگاه تبریز متفاوت می‌باشد. ضریب b معادله مذکور بین ۰/٥٤ در کرج و ۰/۵۲ در ارومیه و ۰/٥٥ در تبریز تغییر یافته است. این ضرایب در عین نزدیک بودن به مقادیر جهانی (a=۰/۲٥) و (b=۰/٥) تفاوت‌هایی را در ایستگاه-های مختلف کشور نشان می‌دهد. که این تغییر در نتیجه تغییرات فصلی و محلی، عرض جغرافیایی و تجمع آلودگی‌ها در جو است. با استفاده از این ضرایب واسنجی شده و داده‌های تابش خورشیدی روزانه و داده‌های آلودگی هوای

[1] Root mean square error
[2] Mean absolute bias error
[3] Nash-Sutcliffe Equation

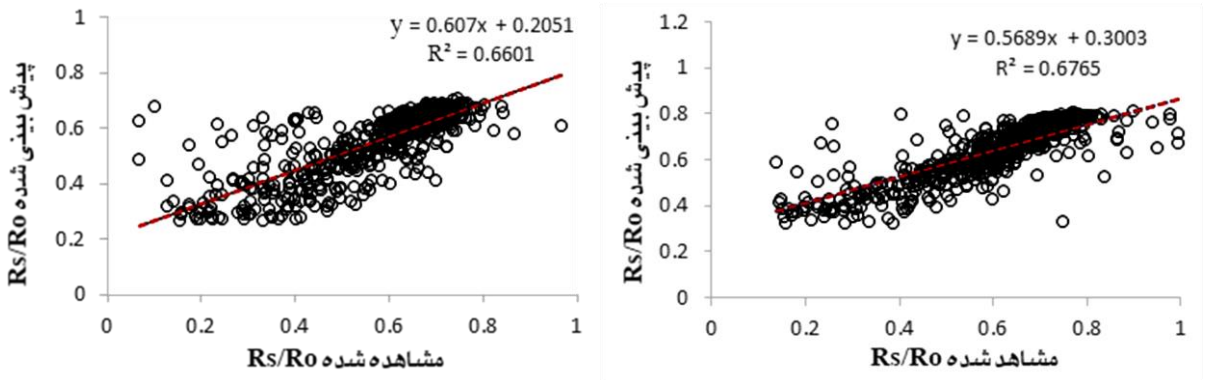
روزانـه، مـدل‌هـای اصـلاحی جدیـد بـا در نظرگـرفتن اثر آلاینده‌های اتمسفری به دست آمدند.

ضرایب مدل‌ها در ایستگاه مطالعاتی

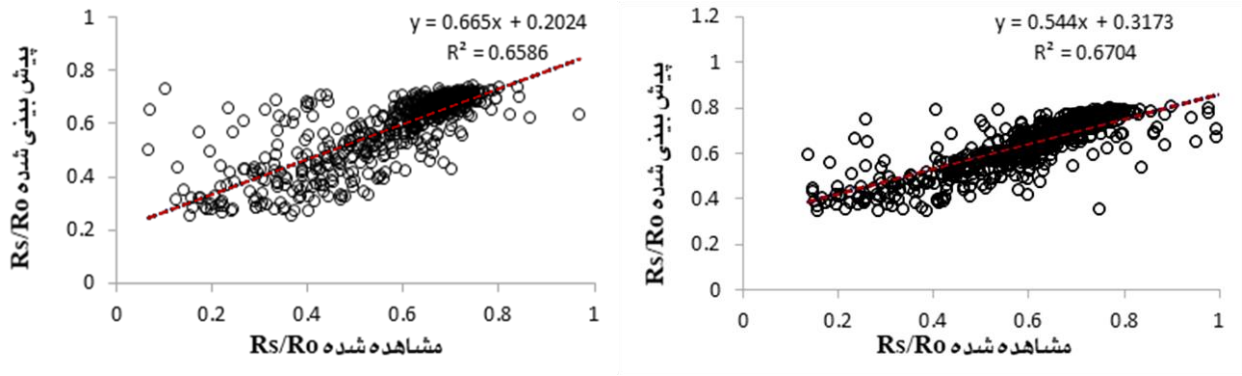
با توجه به جدول٤، مقادیر ضریب d مربوط به شاخص API در همه مدل‌های اصلاحی دارای مقادیر منفی است که نشان دهنده این است که آلاینده‌های اتمسفری باعث کاهش تابش رسیده به سطح زمین می‌گردد. مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات محققان مختلـف از جملـه آقاشـریعتمداری و کمـالی (۲۰۱۸) کـه بـرای اولـین بـار تـأثیر آلـودگی هـوا در بـرآورد تـابش دریـافتی بـر رویـه افقـی را در ایسـتگاه کـرج بررسی کردند، نشان می‌دهد که ضریب a معادله

جدول۴- ضرایب رگرسیونی مدل‌ها در ایستگاه مورد مطالعه.

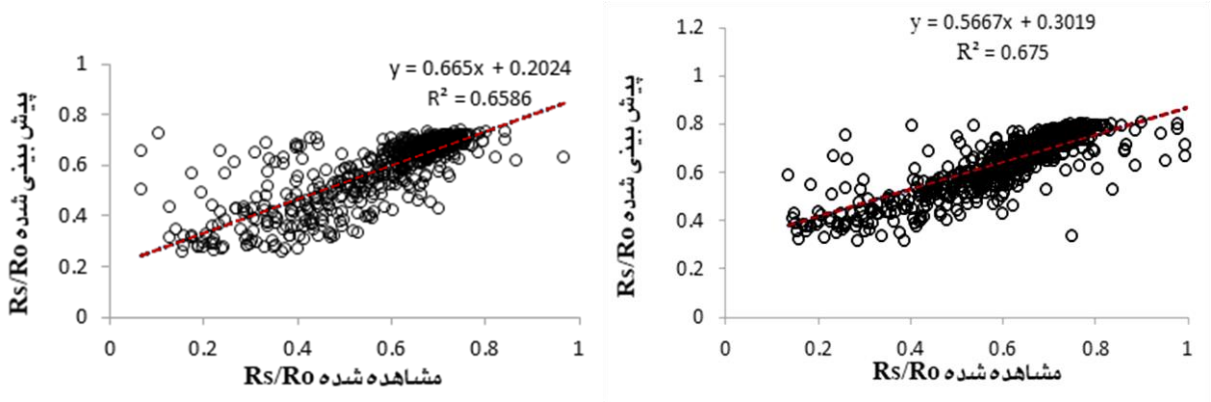
ایستگاه	مدل	a	b	c	d
ارومیه	خطی	۰/۲۲۷۵	۰/۵۲۱۵	۰/۰٤۲	-۰/۰۵۰۵۹
	نمایی	۰/۲۳٤۷	۰/۵۱۵۵	۰/۰۱۱۳	-۰/۰۱٤۸
	لگاریتمی	۰/۲۷۰۳	۰/٤٦۹٤	۰/۰۳۰٦	-۰/۰۳۹
	آنگستروم-پرسکات	۰/۲٦	۰/٤۳	-	-
تبریز	خطی	۰/۲۹۰۷	۰/۵٤۰۳	۰/۰۷۱۸	-۰/۰۹۰۹۰
	نمایی	۰/۲۷۰٤	۰/۵۵۷۷	۰/۰۳۰۳	-۰/۰۳٦٦
	لگاریتمی	۰/۳۵۹٤	۰/٤۵۱٦	۰/۰۳۲۸	-۰/۰٤۱۸
	آنگستروم-پرسکات	۰/۲٦	۰/٤۹	-	-



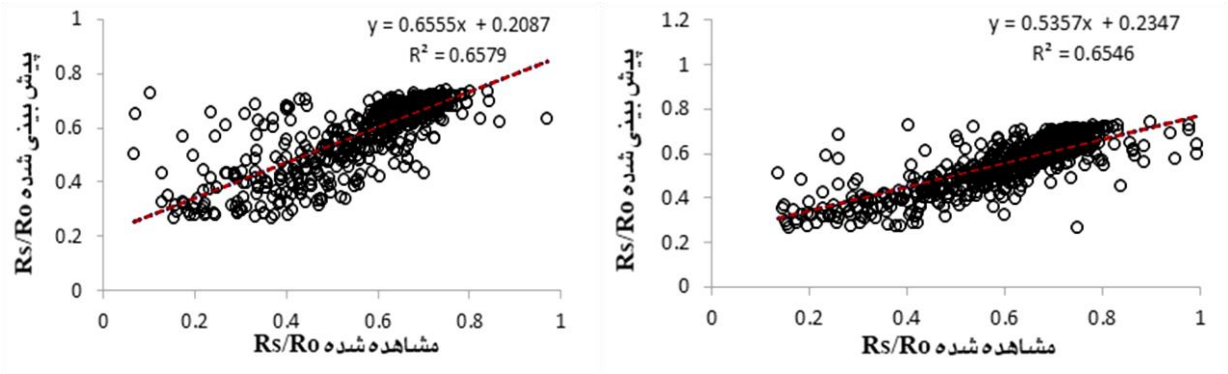
شکل۱- نمودار پراکنش ضریب‌گذرایی جو داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های تبریز (سمت راست)، ارومیه (سمت چپ) درمقابل ضریب گذرایی جو داده‌های حاصل از مدل لگاریتمی.



شکل۲- نمودار پراکنش ضریب‌گذرایی جو داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های تبریز (سمت راست)، ارومیه (سمت چپ) درمقابل ضریب گذرایی جو داده‌های حاصل از مدل نمایی.



شکل۳- نمودار پراکنش ضریب گذرایی جو داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های تبریز (راست)، ارومیه (سمت چپ) در مقابل ضریب جو داده‌های حاصل از مدل خطی.



شکل۴- نمودار پراکنش ضریب گرایی جو داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های تبریز (سمت راست)، ارومیه (سمت چپ) در مقابل ضریب گذرایی جو داده‌های حاصل از مدل آنگستروم-پرسکات.

جدول۵ - نتایج شاخص‌های آماری حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیون گام به گام.

ایستگاه	مدل	MABE $J(cm^2)^{-1}day^{-1}$	RMSE $J(cm^2)^{-1}day^{-1}$	NSE	R^2
ارومیه	خطی	۰/۰۷۸۱	۰/۱۲۶۷	۰/۹۸۶۳	۰/٦٥٨٦

	نمایی	۰/۰۷۷۸	۰/۱۲٦٥	۰/۹۸٦٥	۰/٦٥۸٦
	لگاریتمی	۰/۰۷٥٦	۰/۱۲٦۳	۰/۹۸٦۷	۰/٦٦۰۱
	آنگستروم-پرسکات	۰/۱۰۸۳	۰/۱٤۱٤	۰/۹۸۳۱	۰/٦٥۷۹
تبریز	خطی	۰/۰۷٥۱	۰/۱۰٥٥	۰/۹۹۰۱	۰/٦۷٥
	نمایی	۰/۰۷٥٦	۰/۱۰۸۰	۰/۹۸۹۸	۰/٦۷۰٤
	لگاریتمی	۰/۰۷٤٦	۰/۱۰٥۰	۰/۹٤۰۹	۰/٦۷٦٥
	آنگستروم-پرسکات	۰/۱۹۹۷	۰/۱٤۳۰	۰/۹۸۲۲	۰/٦٥٤٦

جدول ٥ مقادیر شاخص‌های آماری RMSE، MABE وNSE را برای روابط رگرسیونی جدید که در ساختارآن‌ها نقش شاخص آلودگی هوا به عنوان یک عامل موثر در نظرگرفته شده است نشان می‌دهد. مقادیر RMSE، MABE برای مدل لگاریتمی در هر۲ ایستگاه مورد مطالعه کمترین مقدار به‌دست آمد.

بنابراین مدل لگاریتمی بهترین مدل برای تخمین ضرایب معادله آنگسترم-پرسکات و سپس محاسبه تابش خورشیدی با استفاده از ضرایب به دست آمده است. بیشترین مقدار مشاهداتی برای شاخص‌های RMSE، MABE در هر دو ایستگاه، مربوط به مدل آنگسترم-پرسکات بود که این امر، بیانگر عملکرد نامطلوب این مدل در هر دو منطقه مورد مطالعه می-باشد.بیشترین مقدار مشاهداتی برای شاخص‌های RMSE، MABE در هر دو ایستگاه، مربوط به مدل آنگسترم-پرسکات بود که این امر، بیانگر عملکرد نامطلوب این مدل در هر دو منطقه مورد مطالعه می-باشد. بیشترین مقدار ضریب تبیین برای ایستگاه ارومیه (۰/٦٦۰۱) و تبریز (۰/٦۷٦٥) مربوط به مدل لگاریتمی و در سطح پنج درصد معنی‌دار بود.

مقادیر NSE مدل آنگستروم-پرسکات، نمایی، خطی و لگاریتمی برای ایستگاه ارومیه به ترتیب ۰/۹۸۳۱، ۰/۹۸٦٥، ۰/۹۸٦۳و۰/۹۸٦۷ و برای تبریز ۰/۹۸۲۲ ،۰/۹۸۹۸، ۰/۹۹۰۱و ۰/۹۹۰٤ حاصل شد که بیشترین مقدارمشاهداتی (نزدیک به ۱) برای این شاخص در هر۲ ایستگاه مورد مطالعه مربوط به مدل لگاریتمی است که نشان می‌دهد این مدل اصلاحی عملکرد بهتری دارد. در حالت کلی از آنجاییکه ماهیت پدیده مورد مطالعه لگاریتمی می‌باشد و به دلیل اینکه در ساختار روابط رگرسیونی جدید پارامترهای بیشتری وارد مدل‌ها شده و نقش شاخص آلودگی هوا به عنوان یک عامل مؤثر در نظر گرفته شده لذا مشاهده می‌شود که در هر دو ایستگاه بیشترین مقدار مربوط به مدل اصلاحی عملکرد بهتری دارد.

در حالت کلی از آنجاییکه ماهیت پدیده مورد مطالعه لگاریتمی می‌باشد و به دلیل اینکه در ساختار روابط رگرسیونی جدید پارامترهای بیشتری وارد مدل-ها شده و نقش شاخص آلودگی هوا به عنوان یک عامل مؤثر در نظر گرفته شده لذا مشاهده می‌شود که در هر دو ایستگاه بیشترین مقدار مربوط به مدل اصلاحی لگاریتمی و کمترین مقدار مربوط به فرم کلی معادله آنگستروم-پرسکات است. عملکرد مطلوب مدل لگاریتمی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، می‌تواند به دلیل وابستگی و تأثیرپذیری بیشتر دو ضریب a وb رابطه آنگسترم-پرسکات و درنهایت تابش خورشیدی از پارامترساعات آفتابی و شاخص آلودگی هوا در مقایسه با سایر مدل‌ها باشد.

نتایج مشابه با تحقیق حاضر در عملکرد مناسب مدل لگاریتمی جهت برآورد تابش خورشیدی روزانه توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است. زائو و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از اطلاعات ۹ ایستگاه هواشناسی در چین، عملکرد بهتر مدل لگاریتمی را تأیید نمودند. آقاشریعتمداری و کمالی (۲۰۱۸) از داده‌های روزانه کیفیت هوا برای اصلاح ضرایب رابطه آنگسترم-پرسکات در ایستگاه کرج استفاده کردند. نشان دادند که مدل‌های اصلاحی با ساختار لگاریتمی با ضریب تبیین (۰/۵۹۱۱) دارای عملکرد بهتری نسبت به معادله کلی آنگسترم-پرسکات است. در نهایت ضرایب رگرسیونی هر یک از مدل‌ها محاسبه شد و نتایج نشان داد که با توجه به ضریب منفی شاخص آلودگی هوا آلاینده‌های موجود در جو باعث کاهش تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین می‌شوند. نتایج حاصل از این تحقیق از نظر تأیید اثر منفی آلاینده‌های جوی بر میزان تابش رسیده از خورشید به زمین با نتایج تحقیق آقاشریعتمداری و کمالی (۲۰۱۸)، زائو و همکاران (۲۰۱۳) تشابه دارد.

نتیجه گیری کلی

معادله آنگسترم-پرسکات یکی از روش‌های بر پایه ساعت آفتابی است که به طور گسترده‌ای برای محاسبه تابش خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نکته مهم در کاربرد این رابطه و حصول عملکرد مطلوب، واسنجی محلی این معادله در منطقه مورد مطالعه است. در این تحقیق ضرایب معادله رگرسیونی آنگستروم-پرسکات برای برآورد تابش خورشیدی روزانه، در دو ایستگاه ارومیه و تبریز برای دوره آماری سه ساله (۱۳۹۳- ۱۳۹۵)، با در نظرگرفتن اثر آلاینده‌های اتمسفری و با استفاده از مدل‌های خطی، نمایی و لگاریتمی اصلاح و واسنجی شد. نتایج حاصل از مدل‌های اصلاحی با معادله کلی -آنگستروم-پرسکات مقایسه گردید. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که مدل‌های اصلاحی بر اساس شاخص کیفیت هوا، عملکرد بهتری نسبت به فرم کلی معادله آنگستروم-پرسکات در برآورد تابش خورشیدی روزانه داشتند. مقادیر شاخص‌های آماری خطا نشان داد که بالاترین دقت برآورد تابش خورشیدی روزانه از بین مدل‌های اصلاحی (خطی، نمایی و لگاریتمی) در هر دو ایستگاه مربوط به مدل لگاریتمی بود. چون عوامل آماری در مقایسه این روابط در سطح اطمینان ۰/۹۵ ($p<0/05$)، اختلاف معناداری نداشتند، لذا معادله لگاریتمی با ضرایب بدست آمده برای تخمین Rs برای هر دو ایستگاه پیشنهاد می‌شود.

منابع مورد استفاده

Agha Shariatmadari Z and Kamali S, 2018. Investigation of the effect of air pollutants on the efficiency of Angstrom-Prescott relationship in estimating solar radiation, Case study: Karaj. Iranian Journal of Soil and Water Research 48(5):1053-1061. (In Persian with English abstract)

Aladenola O and Madramootoo C, 2014. Evaluation of solar radiation estimation methods for reference evapotranspiration estimation in Canada. Theoretical and Applied Climatology 85:118-377.

Almorox J and Hontoria C, 2004. Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. Journal of Energy Convers Manage 45:1529–1535.

Almorox J, Benito M and Hontoria C, 2005. Estimation of monthly Angstrom–Prescott equation coefficients from measured daily data in Toledo, Spain. Journal of Renewable Energy 30:931–936.

Angstrom A, 1924. Solar and terrestrial radiation, quarterly. Journal of Royal Metrological Society 50:121-125.

Badescu V, 2008. Modeling solar radiation at the earth surface. Journal of Renewable Energy 114:56-89.

Ball RA, Purcell LC and Carey SK, 2004. Evaluation of solar radiation prediction models in North America. Agronomy Journal 96:391-397.

Behmanesh J and Mehdizadeh S, 2016. Calibration of Angstrom-Prescott equation coefficients in selected stations of Urmia Lake Basin. Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering 6(23):78-91. (In Persian with English abstract)

Behmanesh J, Mehdizadeh S, Gholiniat A and Rasooli Majdan M, 2018. Evaluation of solar radiation estimation models in reference evapotranspiration estimation. Journal of Irrigation Engineering Sciences 40(1):119-129. (In Persian with English abstract)

Iziomon MG and Mayer H, 2002. Assessment of some global solar radiation parameterizations. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 64: 1631-1643.

Jahanbakhsh S, Dalir N, Khorami and Ahmadi T, 2015. Feasibility study f using solar energy to provide lighting system with Angstrom equations for the city of Tabriz. Pp. 159-168. First International Congress of Earth, Space and Clean Energy. 27-29 September, Ardabil, Iran. (In Persian with English abstract)

Junliang F, lifeng W and Fucang Z, 2018. Evaluating the effect of air pollution on global and diffuse solar radiation prediction using support vector machine modeling based on sunshine duration and air temperature. Renewable and

Sustainable Energy Reviews 94: 732-747.

Kamali Gh and Moradi A, 2003. Validation of different models estimating the hourly solar radiation received on sloping surfaces with different directions in Karaj climatic conditions. Pp. 80-88. 3rd International Conference on Fuel Efficiency in Buildings. 8-12 October, Tehran, Iran. (In Persian with English abstract)

Katabi D, Esmaili R, Alidadi H, Peirovi R and Joulaai F, 2015. Evaluation of Mashhad City air quality based on air quality index (AQI). Iranian Journal of Research in Environmental Health 3:228-236. (In Persian with English abstract)

Kermani M, Dowlati M, Jonidi Jaffari A and Rezaei Kalantari RA, 2016. Study on the comparative investigation of air quality in Tehran Metropolis over a five-year period using air quality index (AQI). Journal of Health Research in Community 1:28-36. (In Persian with English abstract)

Liu X, Mei X, Li Y, Wang Q, Jensen JR, Zhang Y and Porter JR, 2012. Evaluation of temperature-based global solar radiation models in China. Agricultural and Forest Meteorology 149:1433-1436.

Prescott JA, 1940. Evaporation from water surface in relation to solar radiation. Transactions of the Royal Society of South Australia 64:114-118.

Rahman Sh, 1998. Solar radiation over Saudi Arabia and comparisons with empirical models. Journal of Renewable Energy 12:1077-1082.

Wang Y, Yang Y, Zhao N, Liu C and Wang Q, 2012. The magnitude of the effect of air pollution on sunshine hours in China. Journal of Geophysical Research 117(2):104-110.

Yao W, Zhang Ch, Wang X, Shang J, Zhu Y and Zhang S, 2017. The research of new daily solar radiation models modified by air quality index (AQI) in the region with heavy fog and haze. Journal of Energy Conversion and Management 39:140-150.

Zhao N, Zeng X and Han SH, 2013. Solar radiation estimation using sunshine hour and air pollution index in China. Journal of Energy Conversion and Management 76:846–851.