برآورد تابش خورشید رسیده به زمین با استفاده از تصاویر ماهواره نوا و روابط آماری در جنوب شرق تهران

علی رحیمی خوب*، پریسا صابری، سید محمود رضا بهبهانی و محمدهادی نظری فر[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۲/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۱۶)

چکیده

در این تحقیق روش آماری سنجش از دور برای برآورد تابش خورشید رسیده به زمین با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره نوا سنجنده AVHRR برای منطقه جنوب شرق تهران واسنجی و ارزیابی شد. اساس این روش بر هم‌بستگی خطی بین شاخص ابر برآورد شده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص صافی هوای اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی است. هم‌چنین یک مدل هم‌بستگی چند متغیره برای تبدیل داده‌های پنج باند ماهواره نوا و تابش بیرون زمینی به تابش رسیده به زمین تدوین و با روش آماری بالا مقایسه شد. نتایج نشان داد، مدل هم‌بستگی چند متغیره با ضریب تعیین (R^2) و جذر میانگین مربع خطا (RMSE) به ترتیب مساوی ۰/۹۳ و ۵/۸ درصد در مقایسه با روش آماری، با دقت زیادتری تابش رسیده به زمین را برآورد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تابش خورشید، ماهواره نوا، روش آماری، مدل هم‌بستگی چند متغیره، تهران

۱. به ترتیب دانشیار، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و کارشناس آبیاری و زه‌کشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: akhob@ut.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.56.6.6]

مقدمه

تابش خورشیدی رسیده به زمین(R_s) یکی از پارامترهای مهم در مدل‌های بیلان انرژی، رشد گیاه و مدل‌های تبخیر تعرق واقعی و پتانسیل گیاهان است. علی‌رغم اهمیت این پارامتر، اندازه‌گیری آن به طور محدودی انجام می‌شود و این نقیصه نه تنها در کشورهای در حال توسعه بلکه در کشورهای توسعه یافته نیز به چشم می‌خورد (۷). دستگاه اندازه‌گیری این پارامتر، علاوه بر گران بودن، به دلیل حساسیت زیاد آن باید به طور مرتب واسنجی شود و غالب ایستگاه‌های هواشناسی فاقد آن بوده و داده‌های آن محدود است. از سوی دیگر کاربرد اندازه‌گیری‌های ایستگاهی به علت نقطه‌ای بودن، برای سطوح وسیع کافی نیست.

تابش رسیده به زمین را می‌توان ناشی از دو فرآیند دانست. فرآیند اول، تابش رسیده به سطح بالای جو (R_a) قبل از وارد شدن به جو زمین و فرآیند دوم تابشی که از جو عبور کرده و در نهایت به سطح زمین می‌رسد. تابش رسیده به سطح بالای جو (تابش بیرون زمینی)، تابع عرض جغرافیایی و روز شمار سال است و به صورت تحلیلی برآورد می‌شود ولی برآورد تابش رسیده به زمین به واسطه آثار کاهندگی اتمسفر (Atmospheric attenuation) که تابع ابرناکی و مقدار رطوبت هوا است، پیچیده می‌باشد. به طور معمول تابش رسیده به زمین در هوای صاف و بدون ابر، حدود ۷۵ درصد R_a و در هوای کاملاً پوشش از ابر حدود ۲۵ درصد R_a است (۱).

به طور کلی، دو روش شبیه‌سازی و تجربی برای تعیین آثار کاهندگی اتمسفر و تابش رسیده به زمین ارائه شده است. در روش شبیه‌سازی، اثر کاهندگی جو از سطح بالای آن تا سطح زمین، تحلیل فیزیکی شده و با حل آن تابش رسیده به زمین معلوم می‌شود (۹). این روش دقیق بوده ولی اجرای آن نیاز به اطلاعات لایه‌های مختلف جو است که با استفاده از رادیوسوندهای پرتاب شده به آسمان، تهیه می‌شوند که تعداد آنها خیلی محدود است. اعمال ضریب بر تابش بیرون زمینی جو، روشی است که در مدل‌های تجربی از آن استفاده می‌شود (۹). این ضریب بر اساس پارامترهای نشان دهنده ابرناکی هوا تعیین می‌شود. از جمله این پارامترها نسبت ساعات آفتابی روزانه هوا و اختلاف دمای ماکزیمم و مینیمم روزانه هوا هستند. با وجودی که این مدل‌ها از دقت لازم برخوردارند، ولی تابش کسب شده فقط برای ایستگاه هواشناسی که از داده آن استفاده شده، اعتبار دارد.

در سال‌های اخیر، مدل‌های سنجش از دور که داده‌های ورودی آن از تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آیند، برای تعیین برخی پدیده‌ها استفاده می‌شوند. تصاویر ماهواره‌ای این مزیت را دارند که سطوح گسترده و وسیع را پوشش می‌دهند و در آن تغییرات مکانی پدیده‌ها قابل بررسی است. ولی بسیاری از پدیده‌های زمینی از جمله تابش رسیده به زمین به‌طور مستقیم با تصاویر ماهواره‌ای قابل تعیین نیست و باید مدل‌هایی با ورودی‌های داده‌های ماهواره‌ای تدوین شوند. داده‌هایی که سنجنده ماهواره‌ها از روی سطح بالای جو برداشت می‌کنند، اغلب شامل بازتاب‌های طیف مرئی و مادون قرمز نزدیک و حرارتی‌اند.

اساس مدل‌های سنجش از دور برای تعیین تابش خورشیدی، هم‌بستگی خطی بین شاخص ابر (Cloud index) حاصل از داده‌های طیف مرئی تصاویر ماهواره‌ای و شاخص صافی هوا (Clearness index) اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی است (۳). در صورتی‌که معادله هم‌بستگی بین این دو شاخص برای هر منطقه معلوم باشد، با محاسبه شاخص ابر برای هر پیکسل تصویر ماهواره، تابش خورشید رسیده به آن تعیین می‌شود. فرض این روش که به روش آماری (Statistical approach) شناخته شده این است که بازتاب یا آلبیدو (Albedo) سطح زمین و یا دریا که در سطح بالای جو توسط سنجنده ماهواره‌ها قرائت می‌شود، کمتر از آلبیدوی ابر است، پس افزایش آلبیدو نشان دهنده افزایش ابرناکی هوا خواهد بود. به عبارتی در این روش فرض شده، تغییرات آلبیدو هر پیکسل فقط ناشی از تغییرات ابرناکی است و تغییرات پوشش گیاهی و رطوبت خاک که روی آلبیدو مؤثرند، در

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.56.6.6]

فصول مختلف سال ثابت‌اند. این روش در مناطق مختلف اروپا با استفاده از تصاویر ماهواره هواشناسی زمین ایستا متوست(Geostationary Meteosat satellite) آزمون شد و درصد خطای آن را بین ۱۲ تا ۳۲ درصد برآورد کردند (۳، ۶ و ۱۰). ماهواره متوست ایران را پوشش نمی‌دهد ولی ماهواره‌های نوا که از نوع خورشید آهنگ است، کل زمین را دو بار در هر شبانه روز تصویربرداری می‌کنند. یکی از اهداف این تحقیق، بررسی تصاویر این ماهواره برای برآورد تابش رسیده به زمین با استفاده از روش سنجش از دور هم‌بستگی آماری، برای یکی از منطقه‌های ایران است. اخیراً مدل‌های شبکه عصبی برای تبدیل داده‌های ماهواره متوست برای برخی از ایستگاه‌های ترکیه بررسی شد (۸).

در بیشتر مناطق ایران پوشش گیاهی و میزان رطوبت خاک در فصول مختلف سال تغییرات زیادی می‌کنند و احتمال دارد این تغییرات روی دقت نتایج روش آماری که فرضیه آن بر اساس تغییرات آلبیدو ناشی از درجه ابرناکی هواست، تأثیر داشته باشند. از طرف دیگر سنجنده AVHRR ماهواره نوا، در چندین باند تصویربرداری می‌کند و ممکن است اگر از تمام باندها به عنوان ورودی مدل هم‌بستگی چند متغیره استفاده شود، باعث نرمال شدن تغییرات آلبیدو نسبت به پوشش گیاهی و رطوبت خاک شده و دقت نتایج در مقایسه با روش هم‌بستگی آماری که از ورودی‌های کمتری استفاده می‌کند، زیاد شود. بنابراین هدف دوم این تحقیق، تدوین یک مدل هم‌بستگی خطی چند متغیره با استفاده از کل داده‌های ماهواره نوا، برای برآورد تابش رسیده به زمین است. مقایسه نتایج مدل‌های بالا با یکدیگر و با نتایج تحقیقات در نقاط مختلف اروپا، هدف سوم این تحقیق است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های تابش خورشید

ایستگاه اتوماتیک هواشناسی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران در منطقه پاکدشت با موقعیت جغرافیایی ´۴۱ °۵۱ طول شرقی و ´۲۸ °۳۵ عرض شمالی در ارتفاع ۱۰۲۰ متری از سطح دریا واقع است. این ایستگاه در مهر ماه ۱۳۸۴ راه‌اندازی شد و در آن تابش خورشید رسیده به زمین در سطح افقی، به صورت لحظه‌ای اندازه‌گیری و میانگین آن برای فواصل زمانی ۱۰ دقیقه‌ای ثبت می‌شود. منطقه پاکدشت از مهم‌ترین مناطق کشاورزی جنوب شرق تهران است و با متوسط بارندگی ۲۳۰ میلی‌متر و تبخیر از تشت ۱۳۹۰ میلی‌متر در سال جزء مناطق اقلیمی نیمه خشک محسوب می‌شود. در این تحقیق، داده‌های تابش خورشیدی رسیده به زمین بر حسب وات بر مترمربع ($W\ m^{-2}$) منطبق با زمان‌های تصاویر استفاده شده در این تحقیق، استخراج و برای ارزیابی و تدوین مدل‌ها استفاده شدند. متوسط ماهانه متغیرهای هواشناسی ایستگاه ابوریحان در جدول ۱ ارائه شده است.

داده‌های ماهواره نوا

سنجنده AVHRR ماهواره نوا، تابش منعکس شده و حرارت ساطع شده از سطح زمین را در ۵ باند اندازه‌گیری می‌کند. باندهای مرئی (۰/۵۸–۰/۶۸ میکرومتر)، مادون قرمز نزدیک (۰/۷۲۵– ۱/۱۰ میکرومتر)، مادون قرمز میانی (۳/۵۵– ۳/۹۸ میکرومتر) و دو تا مادون قرمز حرارتی (۱۰/۳– ۱۱/۳ میکرومتر و ۱۱/۵– ۱۲/۵ میکرومتر) ۵ باند سنجنده بالا را تشکیل می‌دهند. ابعاد پیکسل‌های تصویر ماهواره نوا حدود ۱ کیلومتر مربع در نقطه نادیر (Nadir) برای تمام باندهاست. این ماهواره یک منطقه معین را ۲ بار در هر شبانه روز (یک بار در روز و یک بار در شب) تصویربرداری می‌کند.

دوره مطالعات این تحقیق از مهر ۱۳۸۴ تا آذر ۱۳۸۷ بود و در این فاصله ۶۶۱ تصویر روز که ایستگاه هواشناسی ابوریحان را پوشش می‌دادند، از پایگاه اینترنتی ماهواره نوا کسب شد (http://www.class.ncdc.noaa.gov/nass/product). زمان گذر این تصاویر بین حدود ۱۱/۵ صبح تا ۱/۵ بعداز ظهر به وقت ایران است.

هر فایل تصویر ماهواره نوا، شامل اعداد رقومی پیکسل‌ها، ضرایب واسنجی و یک سری مختصات نقاط کنترل زمینی و مداری ماهواره‌اند. ضرایب واسنجی برای تبدیل اعداد رقومی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.56.6.6]

باندهای مرئی ۱ و ۲ به آلبیدو بر حسب درصد و باندهای ۳، ۴ و ۵ به دما بر حسب درجه کلوین و مختصات نقاط برای تصحیحات هندسی تصاویر استفاده می‌شوند. مقدار آلبیدو بستگی به زاویه تابش خورشید داشته و این زاویه در ساعات و روزهای مختلف سال تغییر می‌کند. به همین دلیل در روش آماری سنجش از دور برای برآورد تابش خورشید، برای این‌که تغییرات آلبیدو نشان‌دهنده تغییر در پوشش ابر باشد، آلبیدو نسبت به زاویه سمت الرأس خورشید(Solar zenith angle) نرمال می‌شود. در این تحقیق تمام عملیات ذکر شده بالا مانند واسنجی اعداد رقومی، تصحیح هندسی تصاویر و نرمال‌سازی آلبیدو باندهای ۱ و ۲ با استفاده از نرم افزار ENVI نسخه ۴/۲ انجام شد. مقادیر واسنجی شده و نرمال شده باندهای ۱ و ۲ (B1 و B2) نسبت به زاویه ذکر شده در بالا و باندهای ۳، ۴ و ۵ (B3،B4 و B5) در پنجره‌هایی به ابعاد ۳×۳ پیکسل که ایستگاه هواشناسی ابوریحان در مرکز آن قرار داشت، استخراج و میانگین آنها استفاده شدند.

در این تحقیق داده‌های سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶ به عنوان داده‌های تدوین کننده برای واسنجی و تعیین ضرایب روش آماری و مدل هم‌بستگی چندگانه و داده‌های سال ۱۳۸۷ به عنوان داده‌های ارزیابی برای آزمون مدل‌ها و ضرایب آن استفاده شدند.

روش آماری سنجش از دور تعیین تابش خورشید

همان‌طور که در مقدمه ذکر شد در مدل‌های تجربی، میزان تابش رسیده به زمین با اعمال پارامتری بر تابش بیرون زمینی جو برآورد می‌شود (۲). شاخص صافی هوا پارامتری است که آثار کاهندگی جو بر روی تابش خورشید را نشان می‌دهد. با معلوم بودن این شاخص، تابش رسیده به زمین از رابطه زیر تعیین می‌شود (۲):

$$R_s = k \times R_a \qquad [۱]$$

در این معادله، R_s تابش رسیده به زمین($W\ m^{-2}$)، R_a تابش بیرون زمینی ($W\ m^{-2}$) و k شاخص صافی هوا هستند. در این تحقیق، مقادیر واقعی k از تقسیم تابش رسیده به زمین بر تابش بیرون زمینی به‌دست آمد. تابش رسیده به زمین برای هر تصویر و در زمان گذر ماهواره نوا از داده‌های ثبت شده در ایستگاه هواشناسی ابوریحان استخراج شد و تابش بیرون زمینی که تابعی از روز شمار سال، عرض جغرافیایی و زمان گذر ماهواره است، با استفاده از رابطه تحلیلی ارائه شده آلن و همکاران (۱) برآورد شد.

معادلات تجربی مختلفی برای تعیین k ارائه شده که در آنها از یک یا چند متغیر هواشناسی که منعکس کننده میزان جذب بخار آب در اتمسفر هستند، استفاده می‌شود (۲، ۴ و ۵). به طور مثال در معادله انگستروم (۲) از نسبت ساعات آفتاب واقعی و حداکثر ساعات آفتاب روزانه استفاده شده است. برای تعیین ضرایب تجربی معادلات، یک خط رگرسیون بین مقادیر واقعی k و متغیر مورد استفاده مدل برازش داده می‌شود که شاخص ابر در روش آماری سنجش از دور، متغیر مورد استفاده است (۶):

$$k = a \times n + b \qquad [۲]$$

در معادله بالا، n شاخص ابر، a و b ضرایب تجربی هستند. شاخص ابر با استفاده از باند مرئی برای هر پیکسل به صورت زیر برآورد می‌شود (۳، ۶ و ۱۰):

$$n = \frac{\rho - \rho_g}{\rho_c - \rho_g} \qquad [۳]$$

در این معادله، ρ آلبیدو اندازه‌گیری شده توسط سنجنده ماهواره در باند مرئی، ρ_g آلبیدو سطح زمین و ρ_c آلبیدو ابر فشرده (compact cloud) و هر سه بر حسب درصدند. در روش آماری فرض بر این است که در هوای صاف و بدون ابر (Clear atmosphere)، آلبیدو اندازه‌گیری شده توسط سنجنده، مساوی آلبیدو سطح زمین است. این آلبیدو (ρ_g) برای هر پیکسل عددی یکتا و منحصر بفرد بوده و از میان سری زمانی چند ساله تصاویر ماهواره‌ای، کمترین مقدار را دارد. از طرف دیگر، ابر فشرده بیشترین آلبیدو را دارد و برای تعیین آن، تمام پیکسل‌های ابری تصاویر منطقه بررسی شده و بیشترین آلبیدو برای ρ_c انتخاب می‌شود. با توجه به معادلات ۱و ۲، اگر ضرایب

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.56.6.6]

a و b برای منطقه‌ای معلوم باشند، تابش رسیده به زمین در هر پیکسل با استفاده از رابطه زیر به‌دست خواهد آمد:

$$R_s = R_a(a \times n + b) \quad [۴]$$

برای تعیین ضرایب a و b، پراکنش نقاط شاخص‌های ابر و صافی هوا در ایستگاه ابوریحان با استفاده از داده‌های سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۶ ترسیم شدند و سپس بهترین خط از بین این نقاط به روش حداقل مربعات برازش داده شد. ضرایب a و b به ترتیب شیب و عرض از مبداء این خط را برای پیکسلی که ایستگاه هواشناسی ابوریحان در آن است تشکیل می‌دهند. برای ارزیابی این ضرایب، تابش رسیده به زمین با استفاده از معادله ۴ برای داده‌های سال ۲۰۰۸ برآورد و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شدند.

مدل هم‌بستگی چند متغیره

مدل هم‌بستگی خطی چند متغیره برای تبدیل داده‌های پنج باند ماهواره نوا و تابش بیرون زمینی به تابش رسیده به زمین، تدوین و با روش آماری سنجش از دور مقایسه شد. برای این‌که اثر نسبی داده‌ها روی نتایج معلوم شوند، ورودی و خروجی‌های مدل، نرمال شدند:

$$R_{ns} = b_0 + b_1B_{n1} + b_2B_{n2} + b_3T_{n3} + b_4T_{n4} + b_5T_{n5} + b_{n6}R_{na} \quad [۵]$$

در رابطه فوق، R_{ns} تابش نرمال شده رسیده به زمین، b_0 ضریب ثابت معادله، b_1 تا b_6 ضرایب متغیرهای ورودی مدل، B_{n1} آلبیدو نرمال شده باند یک، Bn_2 بازتاب نرمال شده باند ۲ ، T_{n3} تا T_{n5} دمای نرمال شده باندهای ۳ تا ۵ ماهواره نوا و R_{na} تابش بیرون زمینی نرمال شده‌اند. رابطه زیر برای نرمال کردن داده‌ها استفاده شد:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad [۶]$$

در رابطه فوق، X_{norm} داده نرمال شده، X داده اصلی، X_{min} و X_{max} حداقل و حداکثر داده‌های اصلی هستند. با استفاده از معادله فوق، محدوده داده‌ها بین صفر و یک است.

آماره‌های خطاسنجی

در این بررسی برای تحلیل نتایج علاوه بر رسم شکل، دو شاخص آماری ضریب تعیین (R^2) و جذر میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده شدند. ضریب تعیین میزان نزدیکی برآوردهای مدل با مقادیر واقعی را نشان می‌دهد. این ضریب به صورت عدد اعشاری محاسبه می‌شود و حداکثر آن یک است. جذر میانگین مربع خطا بصورت درصد حساب شد که میزان خطای برآورد مدل با مقادیر واقعی را نشان می‌دهد. این شاخص توسط سایر محققین صاحب اثر در زمینه موضوع این تحقیق استفاده شده (۳، ۶ و ۱۰) و لذا امکان مقایسه نتایج این بررسی با نتایج آنها فراهم شد و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2}}{\overline{O}} \times 100 \quad [۷]$$

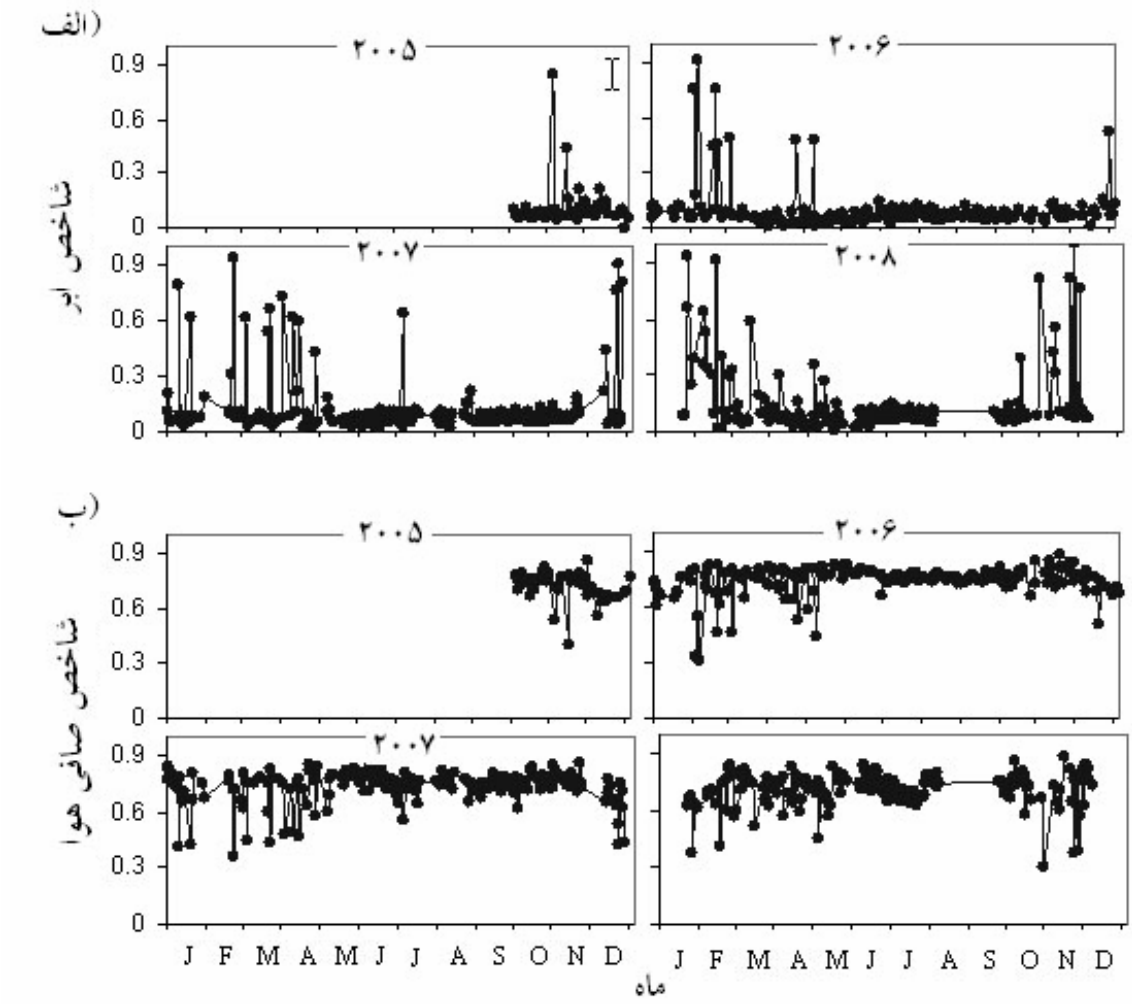
در معادله فوق، RMSE جذر میانگین مربع خطا (درصد)، O_i مقادیر مشاهده شده تابش رسیده به زمین ($W\ m^{-2}$)، P_i مقادیر برآورد شده تابش ($W\ m^{-2}$)، $\overline{O}$ میانگین مقادیر مشاهده شده تابش رسیده به زمین ($W\ m^{-2}$) و N تعداد مشاهدات هستند.

نتایج و بحث

کل داده‌های آلبیدو باند یک ماهواره نوا مربوط به پیکسل ایستگاه ابوریحان در فاصله زمانی مهر ۱۳۸۴ تا آذر ۱۳۸۷ مرتب شدند و حداقل ضریب آلبیدو مساوی ۱۲/۲ درصد بود. این مقدار بر اساس فرضیات مدل آماری، به عنوان آلبیدو سطح زمین (ρ_c) در پیکسل ایستگاه ابوریحان انتخاب شد. همچنین کل تصاویر مورد استفاده این تحقیق در محدوده منطقه مورد مطالعه این تحقیق، بررسی شد و حداکثر آلبیدو باند یک مساوی ۹۳/۴ درصد بود که به عنوان آلبیدو ابر فشرده (ρ_g) در معادله ۱ استفاده شد. با استفاده از دو مقدار ρ_c و ρ_g، شاخص ابر برای کل داده‌های این تحقیق محاسبه و تغییرات روزانه آنها به همراه شاخص صافی هوا در فاصله زمانی اشاره شده بالا در شکل ۱ ترسیم شدند. ملاحظه می‌شود، بر اساس این دو شاخص، هوا

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.56.6.6]



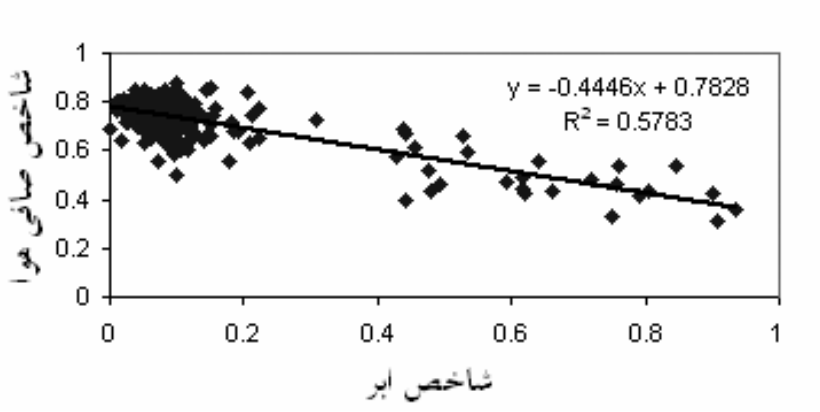
شکل ۱. تغییرات روزانه شاخص ابر و صافی هوا از اکتبر ۲۰۰۵ تا دسامبر ۲۰۰۸ ایستگاه هواشناسی ابوریحان.
الف) شاخص ابر و ب) شاخص صافی هوا

در بیشتر روزها در منطقه پاکدشت صاف است و شاخص ابر در این روزها کمتر از ۰/۱ ولی شاخص صافی هوا حدود ۰/۸ است. به طور کلی، تغییرات دو شاخص فوق روند مشابه‌ای را نشان می‌دهند، به طوری‌که در یک دوره زمانی، اگر یکی از شاخص‌ها زیاد شود، شاخص دیگر کم می‌شود.

پراکنش شاخص‌های ابر و صافی هوا برای داده‌های تدوین مدل در شکل ۲ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که بیشتر نقاط در محدوده شرایطی است که هوا تقریباً صاف است، به صورتی‌که در این شرایط شاخص ابر بین صفر تا ۰/۲ و شاخص صافی هوا بین ۰/۶ تا ۰/۸ است. ضریب تعیین معادله خطی بین دو شاخص فوق حدود ۰/۵۸ برآورد شد که نشان می‌دهد، فقط استفاده از یک باند مرئی ماهواره نوا، حدود ۵۸ درصد از تغییرات صافی هوا توجیه می‌شود. عرض از مبداء و شیب خط معادله هم‌بستگی که ضرایب معادله ۳ را تشکیل می‌دهند به ترتیب مساوی ۰/۷۸ و ۰/۴۴- می‌باشند. پس معادله واسنجی شده روش آماری برای پیکسل ایستگاه ابوریحان به صورت زیر در می‌آید:

$$R_s = R_a(-0/44 \cdot n + 0/78) \qquad [۸]$$

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.56.6.6]



شکل۲. پراکنش شاخص‌های ابر و صافی هوا در ایستگاه هواشناسی ابوریحان از اکتبر ۲۰۰۵ تا دسامبر۲۰۰۷

برای ارزیابی معادله فوق، تابش رسیده به زمین با استفاده از داده‌های سال‌های ۱۳۸۷ برآورد و با داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده در ایستگاه ابوریحان مقایسه شدند. پراکنش نقاط برآورد شده و اندازه‌گیری شده واقعی به همراه بهترین خط برازش نقاط و شاخص‌های آماری در شکل ۳-الف ارائه شده است. همان طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، ضریب تعیین و جذر میانگین مربع خطای معادله ۸ برای داده‌های ارزیابی به ترتیب ۰/۸۶ و ۹ درصد است. این مقدار ضریب تعیین نشان می‌دهد که با استفاده از دو پارامتر شاخص ابر کسب شده از باند یک ماهواره نوا و تابش بیرون زمینی، در حدود ۸۶ درصد تغییرات تابش رسیده به زمین توجیه می‌شود. نکته قابل توجهی که در این شکل مشاهده می‌شود، پراکنش یک‌نواخت نقاط پیرامون خط هم‌بستگی است که به طور یکسان در دو طرف خط توزیع شده‌اند و به طور کلی در طول دامنه داده‌ها، بیش برآورد و کم برآورد دیده نمی‌شود.

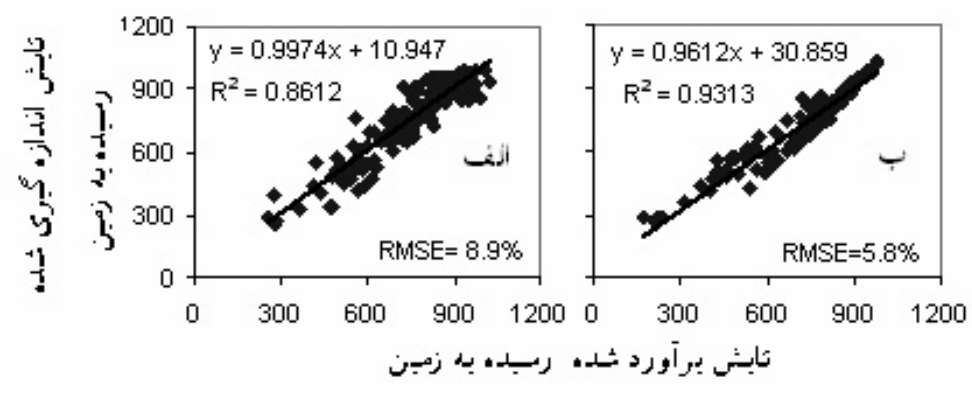
مشابه روش آماری، داده‌های تدوین کننده مدل برای تعیین ضرایب مدل هم‌بستگی چند متغیره استفاده شدند. این داده‌ها نرمال شدند تا اثر نسبی پارامترهای مختلف ورودی بر روی تابش خورشید رسیده به زمین معلوم شود. این معادله بر اساس حداقل مربعات به صورت زیر کسب شد:

$$R_s = 0/066 - 0/501B_{n1} + 0/343B_{n2} - /044T_3 - 0/129T_4 + 0/416T_5 + 0/638R_{na} \quad [۹]$$

ضریب تعیین معادله فوق ۰/۹۵ برآورد شد و نشان می‌دهد، با استفاده از معادله فوق و تمام باندهای ماهواره نوا، حدود ۹ درصد به توجیه تغییرات تابش رسیده به زمین در مقایسه با روش آماری که فقط از دو پارامتر تابش بیرون زمینی و آلبیدو باند یک ماهواره نوا استفاده می‌کند، زیادتر می‌شود. در معادله فوق، تابش بیرون زمینی با ضریب ۰/۶۳۸ بیشترین اثر را نشان می‌دهد و دلیل آن هم‌جنس بودن این تابش با تابش رسیده به زمین است. دومین عامل موثر در معادله فوق، آلبیدو باند یک ماهواره نوا است که با ضریب مساوی ۰/۵۰۱- از نظر قدر مطلق بیشترین ضریب را پس از ضریب تابش بیرون زمینی دارد. مقدار منفی نشان می‌دهد، با افزایش مقدار آلبیدو باند ۱، که در نتیجه افزایش بخار آب و ابر پیش می‌آید، مقدار تابش رسیده به زمین کم می‌شود که با فیزیک آثار بخار آب روی تابش خورشید مطابقت دارد. کمترین ضریب مساوی ۰/۰۴۴- مربوط به باند ۳ حرارتی ماهواره نواست که کمترین اثر را روی تابش رسیده به زمین دارد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.56.6.6]



شکل۳. پراکنش تابش خورشید (وات بر مترمربع) اندازه‌گیری و برآورد شده مدل‌های آماری و هم‌بستگی چند متغیره. الف) روش آماری و ب) مدل هم‌بستگی چند متغیره

جدول ۱. مقایسه نتایج متوسط ماهانه متغیرهای هواشناسی

	ژانویه	فوریه	مارس	آپریل	می	جون	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
بارندگی (mm)	۴۰/۲	۳۰/۸	۵۴/۸	۴۳/۴	۷/۶	۰/۶	۱/۴	۱/۱	۰/۴	۱۴/۴	۱۲/۸	۲۲/۵
دمای هوا (^oC)	۵/۴	۷/۳	۱۱/۳	۱۷/۹	۲۲/۸	۲۷/۹	۳۰/۵	۳۰/۸	۲۵/۸	۱۹/۹	۱۲/۱	۶/۸
رطوبت نسبی (%)	۷۵/۳	۶۲/۵	۵۲/۵	۴۴/۲	۳۳/۶	۲۳/۷	۲۴/۹	۲۱/۰	۲۵/۹	۳۹/۹	۴۹/۳	۶۸/۵
تابش رسیده به زمین ($MJ/m^2/d$)	۸/۴	۱۲/۷	۱۶/۲	۲۱/۷	۲۶/۳	۲۸/۳	۲۷/۰	۲۳/۷	۲۱/۲	۱۵/۵	۱۱/۳	۷/۴
نسبت آفتابی ($\frac{n}{N}$)	۰/۵	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۷	۰/۷	۰/۵

جدول ۲. مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج کشورهای اروپایی

محقق	ماهواره مورد استفاده	کشور	روش	RMSE (%)
بیر و همکاران (۳)	هواشناسی متوست	آلمان	آماری	۲۰
زارزالجو (۱۰)	هواشناسی متوست	اسپانیا	آماری	۱۷
مفتی (۶)	هواشناسی متوست	فرانسه	آماری	۳۲-۱۲
تحقیق حاضر	نوا	ایران	آماری	۸/۹
تحقیق حاضر	نوا	ایران	همبستگی چند متغیره	۵/۸

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.56.6.6]

مقادیر نرمال تابش رسیده زمینی برای داده‌های ارزیابی با استفاده از معادله ۹ و تبدیل آن به مقادیر اصلی با استفاده از معادله ۶ برآورد شدند. پراکنش مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده تابش رسیده زمینی در شکل ۳- ب ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، مدل هم‌بستگی چند متغیره با مقایسه با مدل آماری (شکل ۳-الف) نتایج بهتری ارائه می‌دهد. به طوری‌که پراکنش نقاط پیرامون خط هم‌بستگی به صورت یک‌نواخت‌تر و فشرده تر توزیع شده و در این مدل نیز مشابه با مدل آماری، بیش برآورد و کم برآورد در طول دامنه مقادیر تابش، مشاهده نمی‌شود. در این مدل ضریب تعیین و جذر میانگین مربع خطا به ترتیب ۰/۹۳ و ۵/۸ درصد برآورد شده است.

مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج مناطق اروپایی

نتایج این بررسی با نتایج سایر تحقیقات مشابه که از روش هم‌بستگی آماری بین شاخص‌های ابر و شاخص صافی هوا استفاده کردند، مقایسه شد و خلاصه آن در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، خطای نتایج این تحقیق در مقایسه با سایر محققان کمتر است. دلیل آن می‌تواند تفاوت نوع ابر و شرایط متفاوت جوی بین اروپا و ایران و یا نوع ماهواره استفاده شده در مدل سنجش از دور، باشد. همان‌طور که در شکل ۲ مشهود بود، در بیشتر روزهای سال در ایستگاه مورد استفاده این تحقیق هوا صاف و بدون ابر است. ولی در مناطق اروپا تعداد روزهای ابری خیلی بیشتر از ایران است. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی علت اصلی تفاوت نتایج فوق، بررسی شود. در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، خطای مدل هم‌بستگی خطی چند متغیره در مقایسه با روش آماری، حدود ۳۵ درصد کمتر و ضریب تعیین نیز حدود ۰/۰۷ زیاد شده است. دلیل آن می‌تواند استفاده از تمام باندهای ماهواره نوا برای ورودی به مدل هم‌بستگی چند متغیره دانست که باعث نرمال شدن تغییرات آلبیدو نسبت به پوشش گیاهی و رطوبت خاک و یا سایر پارامترهایی که روی تغییر آلبیدو موثرند، شده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق روش آماری سنجش از دور برای برآورد تابش رسیده به زمین مورد ارزیابی قرار گرفت. درصد خطای این روش در کشورهای اروپایی با استفاده از ماهواره هواشناسی متوست بین ۱۲ تا ۳۲ درصد است. خطای این روش در منطقه شرق استان تهران با استفاده از ماهواره نوا حدود ۹ درصد برآورد شد که در مقایسه با مناطق اروپایی کمتر است. دلیل آن ممکن است تفاوت شرایط جوی بین ایران و اروپا و یا نوع ماهواره مورد استفاده باشد، ولی نیاز به تحقیقات بیشتری در این زمینه است. همچنین در این تحقیق، مدل هم‌بستگی چند متغیره تدوین شد که در آن تمام باندهای ماهواره نوا به همراه تابش بیرون زمینی به عنوان ورودی استفاده شدند. نتایج نشان داد که این مدل نسبت به مدل آماری که در آن فقط از دو پارامتر باند یک ماهواره نوا و تابش بیرون زمینی استفاده می‌کند، دقت زیادتری دارد. به‌طوری که خطای این روش حدود ۳۵ درصد کمتر است.

منابع مورد استفاده

1. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome.
2. Angstrom, A. 1924. Solar and terrestrial radiation. Q. J. R. Meteorol. Soc. 50:121–126.
3. Beyer, H.G., C. Costanzo and D. Heinemann. 1996. Modifications of the heliosat procedure for irradiance estimates from satellite images. Solar Energy 56(3): 207-212.
4. Bristow, K.L. and G.S. Campbell. 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily minimum and maximum temperature. Agric. Forest Meteorol. 31:159–66.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.56.6.6]

5. Cengiz, H.S., J.M. Gregory and J.L. Seabaugh. 1981. Solar radiation prediction from other climatic variables. Trans ASAE 24:1269–72.
6. Mefti, A., A. Adane and M.Y. Bouroubi. 2008. Satellite approach based on cloud cover classification: Estimation of hourly global solar radiation from meteosat images. Energy Conver. and Manag. 49: 652–659.
7. Samani, Z. 2000. Estimation solar radiation and evapotranspiration using minimum Climatological Data. J. Irrig. Drain. Eng. 126(4): 65-267.
8. Senkal, O. and T. Kuleli 2009. Estimation of solar radiation over Turkey using artificial neural network and satellite data. Appl. Energy 86:1222–1228.
9. Trnka, M., Z. Zalud, J. Eitzinger and M. Dubrovsky. 2005. Global solar radiation in Central European lowlands estimated by various empirical formulas. Agric. and Forest Meteorol. 131(1-2): 45-76.
10. Zarzalejo, L.F., J. Polo, L. Martin, L. Ramirez and B. Espinar. 2009. A new statistical approach for deriving global solar radiation from satellite images. Solar Energy 83: 480–484.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2024-11-26]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.56.6.6]