نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۲، ص. ۱۶۸-۱۵۸

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No. 1, Mar.-Apr. 2013, p. 158-168

ارزیابی مدل هیبرید در تخمین تابش خورشیدی روزانه در تعدادی از ایستگاههای تابش‌سنجی ایران

مهدی عرفانیان[1*] – سحر بابایی حصار[2]

تاریخ دریافت:۱۳۹۱/۵/۲۳
تاریخ پذیرش:۱۳۹۱/۱۲/۶

چکیده

تابش طول موج کوتاه خورشیدی که به سطح زمین می‌رسد بعنوان یکی از پارامترهای کلیدی در اغلب مدل‌های برآورد کننده تبخیر و تعرق پتانسیل مانند پنمن– مونتیث فائو مورد استفاده قرار می‌گیرد. با وجود اهمیت مقدار تابش، اندازه‌گیری آن صرفا در تعداد اندکی از ایستگاههای تابش‌سنجی ایران انجام می‌شود. مدل‌های تجربی برآورد کننده تابش نظیر آنگسترم– پرسکات علیرغم سادگی نیازمند کالیبراسیون (واسنجی) بوده و باید ضرایب آنها بدرستی تخمین زده شوند. در تحقیق حاضر از یک مدل فیزیکی نسبتا ساده بنام مدل هیبرید در تخمین تابش خورشیدی روزانه ۱۰ ایستگاه هواشناسی ایران شامل اصفهان، بجنورد، بندرعباس، تبریز، تهران، رامسر، زاهدان، کرمان، کرمانشاه و مشهد استفاده شد و نتایج آن با مدل‌های اصلاح شده دانشیار و صباغ که در تحقیقات قبلی برای شرایط مختلف آب و هوایی پیشنهاد شده مقایسه گردید. مدل هیبرید با استفاده از تعداد نسبتا کم پارامترهای هواشناسی شامل دما، رطوبت نسبی، فشار و ساعات آفتابی، میزان تابش را با دقت قابل قبولی برآورد کرد. برای مقایسه سه مدل از معیارهای آماری میانگین خطا (ME)، میانگین خطای مطلق (MAE)، جذر میانگین توان دوم خطا (RMSE) و درصد میانگین خطا (MPE) استفاده شد. میانگین هر کدام از معیارهای خطا در مدل هیبرید به ترتیب ۰/۲۷- ، ۱/۲۷، ۱/۵۹ $Mj.m^{-2}.d^{-1}$ و ۲/۰۱ درصد و در مدل اصلاح شده دانشیار برابر ۰/۱۹- ، ۲/۶۴، ۳/۱۵ $Mj.m^{-2}.d^{-1}$ و ۳/۴۲ درصد می‌باشد. برای مدل اصلاح شده صباغ نیز این معیارها برابر ۰/۹۱، ۲/۷۸، ۳/۳۹ $Mj.m^{-2}.d^{-1}$ و ۱۱/۲۰ درصد بدست آمد. مقدار کم معیارهای خطا برای مدل هیبرید بیانگر کارایی نسبتا بالای این مدل در تخمین تابش خورشیدی ایستگاههای انتخابی در مقیاس روزانه می‌باشد.

واژه های کلیدی: تابش خورشیدی روزانه، مدل هیبرید، مدل دانشیار، مدل صباغ

مقدمه

برآورد میزان تبخیر و تعرق در مطالعات بیلان آبی یک منطقه با استفاده از مدل‌های مختلف مانند پنمن– مونتیث فائو[3] انجام می‌شود و در اغلب این مدل‌ها تابش خورشیدی جزء پارامترهای اصلی می‌باشد. بعلاوه، از میان عوامل موثر در رویش محصولات زراعی، تابش از فاکتورهای اصلی است. رشد بهینه محصول، مستلزم تامین انرژی تابشی مورد نیاز آن می‌باشد. با آگاهی از میزان تابش و نحوه توزیع زمانی و مکانی آن در یک منطقه مشخص می‌توان در جهت انتخاب گیاهان زراعی مناسب و سازگار با آن منطقه اقدام کرد.

چون تعداد ایستگاههای تابش‌سنجی کشور معدود می‌باشد، لذا تاکنون تحقیقات مختلفی برای برآورد تابش خورشیدی در مقیاس ماهانه و سالانه انجام شده است (۱۰، ۱۶، ۱۷ و ۱۸). یانگ و همکاران (۲۰) با مقایسه دو مدل هیبرید و آنگسترم– پرسکات در ۱۴ ایستگاه واقع در ژاپن نتیجه گرفتند که مدل هیبرید کارایی بهتری نسبت به مدل واسنجی شده آنگسترم– پرسکات دارد. بعلاوه، آنها با مطالعه‌ای که در تعدادی از ایستگاههای آمریکا، ژاپن و عربستان انجام دادند نتیجه گرفتند مدل هیبرید قادر است تابش خورشیدی را در مقیاس‌های روزانه و ساعتی با دقت قابل ملاحظه‌ای نسبت به مدل‌های آنگسترم– پرسکات با ضرایب جهانی و آنگسترم–پرسکات با ضرایب منطقه‌ای برآورد کند (۲۱). آنها کارایی بالای مدل هیبرید را به در نظر گرفتن عوامل مهمی از جمله اثر جذب و پخش نیوار زمین

۱و۲– استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
(*– نویسنده مسئول: (Email: erfanian.ma@gmail.com

3 - FAO Penman-Monteith

نسبت دادند. بنابر اظهارات یانگ و همکارانش (۲۱)، در مدل هیبرید سعی شده است تا در عین حفظ سادگی مدل آنگسترم، فرآیندهای فیزیکی موثر بر تابش خورشیدی عبور یافته از نیوار در فرآیند تخمین تابش لحاظ شوند. مغربی (۹) با استفاده از ۹ سال مقادیر مشاهده‌ای تابش، یک مدل جدید را در تخمین میزان تابش برای تبوک در عربستان توسعه داد. این مدل با استفاده از پنج پارامتر بخار آب، دما، آب قابل بارش، رطوبت نسبی، فشار نیوار و ساعات آفتابی نتایج قابل اعتمادی را ارائه کرد. روباآ (۱۳) تعدادی از مدل‌های برآورد تابش خورشیدی را در کشور مصر مورد ارزیابی قرار داد. ایشان با مقایسه نتایج حاصل از کاربرد ۱۰ مدل تخمین تابش و مقادیر مشاهده‌ای در ۱۹ ایستگاه هواشناسی واقع در نقاط مختلف مصر نتیجه گرفت که مدل تعدیل شده رباآ کمترین خطا را در بین مدل‌ها دارد. باکیرسی (۵) هفت مدل تجربی را به منظور برآورد میانگین ماهانه تابش روزانه در ترکیه استفاده کرد. تنها پارامتر مورد استفاده در این مدل‌ها، مدت نسبی طول روز است. ایشان نشان داد بر اساس معیارهای مختلف خطا، هر کدام از مدلها برای یک منطقه خاص در برآورد تابش خورشیدی مناسب می‌باشد. السبایی و همکاران (۸) دو جزء تابش خورشید شامل تابش مستقیم و تابش پراکنده را برای جده در عربستان سعودی برآورد کردند. آنها در مدل مورد استفاده از پارامترهایی نظیر دماهای میانگین، حداکثر و حداقل روزانه، رطوبت نسبی و میزان پوشش ابر استفاده کردند و مقدار تابش خورشیدی را برای سطوح رو به جنوب با شیبهای مختلف برآورد نمودند. تانگ و همکاران (۱۹) کنترل کیفیت داده‌های اندازه‌گیری شده تابش در ۹۷ ایستگاه هواشناسی واقع در چین را انجام دادند و مدل هیبرید را با استفاده از داده‌های کنترل شده تابش ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد که مدل هیبرید قادر است میانگین ماهانه مقدار تابش روزانه را با دقت قابل قبولی برآورد کند. المورکس و همکاران (۴) هفت مدل برآورد تابش جهانی روزانه را مورد ارزیابی قرار دادند و در نهایت یک مدل جدید را برای مادرید (اسپانیا) توسعه دادند. مدل‌های مورد استفاده در تحقیق آنها از نوع مدل‌های تجربی بوده که میزان تابش روزانه را بر اساس مقادیر مشاهده‌ای دما در ایستگاه هواشناسی تخمین می‌زند. دانشیار (۶) مدل تجربی جدیدی را برای ایران توسعه داد. سبزی‌پرور و شتایی (۱۶) کارایی این مدل را در تخمین میزان تابش در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک غربی و شرقی کشور مورد بررسی قرار دادند و پس از تصحیح ضرایب این مدل به این نتیجه رسید که مدل اصلاح شده دانشیار کارآیی بالاتری نسبت به مدل‌های صباغ، پالتریج، اصلاح شده صباغ و اصلاح شده پالتریج دارد. سبزی‌پرور (۱۵) همچنین با مطالعه‌ای که در نواحی ساحلی شمالی و جنوبی ایران انجام گرفت مدل اصلاح شده دانشیار بعنوان مناسبترین مدل در برآورد تابش خورشیدی برای این مناطق پیشنهاد شد. ارزیابی مدل‌های دانشیار، صباغ، پالتریج، اصلاح شده دانشیار، اصلاح شده صباغ و اصلاح شده پالتریج در بیابان‌های خشک مرکزی کشور (۱۷) نشان داد که مدل اصلاح شده صباغ نتایج بهتری را در این شرایط اقلیمی ارائه می‌کند. نوریان و همکاران (۱۰) ۱۲ مدل برآورد تابش را در کرج بر روی سطوح شیب‌دار مورد ارزیابی قرار دادند و سه جزء تابش مستقیم[1]، انعکاسی و پخش پراکنده[2] را برآورد نمودند. آنها در تخمین جزء انعکاسی تابش از مدل ایزوتروپیک استفاده کرده نشان دادند که مقدار آن تاثیر ناچیزی در محاسبات دارد. علیزاده و خلیلی (۲) مدل آنگسترم- پرسکات را برای ایستگاه مشهد بکار بردند و ضرایب مدل مذکور را برای این ایستگاه به صورت a=۰/۲۳ و b=۰/۴۴ ارائه کردند. موسوی و همکاران (۳) مدل‌های مختلف را در ایستگاه تابش‌سنجی مشهد مورد استفاده قرار داده و نتیجه گرفتند که مدل پیشنهادی علیزاده و خلیلی دقت بالاتری در برآورد مقدار تابش دارد. عرفانیان و بابایی (۱) مدل هیبرید را در ایستگاه تبریز مورد ارزیابی قرار داده و پس از واسنجی ضرایب مدل در سال ۲۰۰۵، مدل واسنجی شده را برای سالهای ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ اعتبارسنجی کردند. نتایج آنها نشان داد که مدل هیبرید قادر است تابش روزانه خورشیدی را با دقت بسیار خوبی در این ایستگاه برآورد کند.

تحقیقاتی که تاکنون در زمینه برآورد تابش خورشیدی در ایران انجام شده است اغلب بصورت ماهانه بوده و تخمین روزانه تابش خورشیدی کمتر مورد توجه واقع شده است. بعلاوه اکثر این مطالعات در مقیاس مکانی محدود و در قالب یک ایستگاه صورت گرفته است. در تعیین نرخ روزانه تبخیر و تعرق بالفعل و پتانسیل، برآورد تابش در مقیاس روزانه برای تخمین تابش خالص بعنوان ورودی مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق ضروری است. لذا مطالعه حاضر با هدف ارزیابی مدل هیبرید در مقیاس روزانه انجام شده است تا در صورت معتبر بودن نتایج بتوان از آن برای برآورد پارامتر ورودی مدل‌های تخمین تبخیر و تعرق در سطح کشور استفاده کرد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

در این تحقیق سعی شد تا ایستگاههایی انتخاب شود که علاوه بر داشتن شرایط اقلیمی مختلف، تقریبا تمامی عرض‌های جغرافیایی موجود در کشور را نیز پوشش دهد. بدین منظور از آمار روزانه تابش ۱۰ ایستگاه تابش‌سنجی شامل ایستگاههای اصفهان، بجنورد، بندرعباس، تبریز، تهران، رامسر، زاهدان، کرمان، کرمانشاه و مشهد استفاده شد. موقعیت جغرافیایی این ایستگاهها و اقلیم آنها بر اساس روش طبقه‌بندی کوپن در جدول ۱ ارائه شده است.

1 - Direct beam

2 - Diffuse beam

جدول۱- مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاههای مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی(درجه‌شرقی)	عرض جغرافیایی(درجه‌شمالی)	ارتفاع(متر)	نوع اقلیم بر اساس روش کوپن*
اصفهان	۵۱/۶۷	۳۲/۶۲	۱۵۵۰	بیابانی سرد و خشک
بجنورد	۵۷/۳۲	۳۷/۴۷	۱۰۹۱	استپ نیمه‌خشک
بندرعباس	۵۶/۳۷	۲۷/۲۲	۱۰	بیابانی گرم خشک
تبریز	۴۶/۲۸	۳۸/۰۸	۱۳۶۱	استپ نیمه‌خشک
شمال‌تهران	۵۱/۴۸	۳۵/۸	۱۵۴۹	حاشیه ای
رامسر	۵۰/۶۷	۳۶/.۹	-۲۰	مرطوب
زاهدان	۶۰/۸۸	۲۹/۴۷	۱۳۷۰	بیابانی گرم و خشک
کرمان	۵۶/۹۷	۳۰/۲۵	۱۷۵۴	بیابانی گرم و خشک
کرمانشاه	۴۷/۱۵	۳۵/۳۴	۱۳۱۹	ملایم مدیترانه ای
مشهد	۵۹/۶۳	۳۶/۲۷	۹۹۹	استپ نیمه‌خشک گرم

*- همیشه مرطوب: Cfa، بیابانی گرم و خشک: Bwh، استپ نیمه‌خشک سرد: Bsk، استپ نیمه‌بیابانی گرم: Bsh، بیابانی سرد و خشک: Bwk، حاشیه‌ای:M

اطلاعات هواشناسی مورد نیاز در مدل هیبرید شامل میانگین دمای روزانه، درصد رطوبت نسبی، فشار هوا، ساعات آفتابی و میزان ابرناکی آسمان می‌باشد. آمار مورد نیاز تحقیق از سازمان هواشناسی کل کشور اخذ شد و پارامترهای هواشناسی و مقادیر مشاهده‌ای تابش روزانه ایستگاهها از سال ۱۹۹۲ تا سال ۲۰۰۸ مورد استفاده قرار گرفت. برای ارزیابی مدل هیبرید (۱ و ۲۰) و مدلهای اصلاح شده دانشیار و صباغ (۱۵ و ۱۶) از معیارهای میانگین خطا (ME)، میانگین خطای مطلق (MAE)، جذر میانگین توان دوم خطا (RMSE) و درصد میانگین خطا (MPE) استفاده گردید (روابط ۱ تا ۴ پیوست). برای کالیبراسیون (واسنجی) ضرایب مدل هیبرید در هر ایستگاه، دو سوم داده‌ها برای مرحله واسنجی و یک سوم آنها برای مرحله اعتبارسنجی مدل به طور تصادفی انتخاب شد تا شرایط مختلف هواشناسی یا اقلیمی داده‌ها در هر مرحله لحاظ شود.

مدل‌های برآورد تابش خورشیدی

مدل هیبرید

این مدل در سال ۲۰۰۱ توسط یانگ و همکاران بصورت رابطه ۱ ارائه شده است (۲۰):

$$R_{est} = (a + b\frac{n}{N})I_b + (c + d\frac{n}{N})I_d \qquad (۱)$$

I_b و I_d تابش مستقیم[1] و تابش پراکنده[2] بر حسب $Mj.m^{-2}.d^{-1}$ و $\frac{n}{N}$ شاخص اثر پوشش ابر و a، b، c و d ضرایب مدل است. بمنظور واسنجی ضرایب چهارگانه مدل از الگوریتم بهینه‌سازی SCE-UA بعنوان یک الگوریتم متداول و پرکاربرد در مطالعات هیدرولوژی و هواشناسی استفاده شد (۲۰ و ۲۱). این الگوریتم بر ترکیب چهار مفهوم شامل: ۱- ترکیب شیوه های احتمالاتی و قطعی، ۲- تکامل سیستماتیک نقاط اجتماع (کامپلکس) در فضای پارامتر به سمت بهبود جهانی، ۳- تکامل رقابتی و ۴- تنیدگی کامپلکسها استوار است (۷). داده‌های ورودی این الگوریتم شامل مقادیر تابش مشاهده‌ای و حدود پایین و بالای هر یک از ضرایب مذکور می‌باشد. الگوریتم بهینه سازی با هدف حداقل کردن تابع مجموع مربعات خطا بین داده‌های مشاهده‌ای و مقادیر برآورد شده توسط مدل هیبرید تا رسیدن به مرحله همگرایی مورد استفاده قرار گرفت.

در محاسبه I_b و I_d از روابط ۲ و ۳ استفاده می‌شود:

$$I_b = I_O \int_{sunrise}^{sunset} \tau_b \sin(h) dt \qquad (۲)$$

$$I_d = I_O \int_{sunrise}^{sunset} \tau_d \sin(h) dt \qquad (۳)$$

که I_o ثابت خورشیدی، h زاویه ارتفاع خورشید به رادیان، τ_b ضریب عبور نیواری برای تابش مستقیم[3] و τ_d ضریب عبور نیواری برای تابش پراکنده[4] است (۲۰).

نیوار زمین، اثرات مختلف جذب و پخش بر روی تابش خورشیدی مستقیم و پراکنده دارد. این اثرات شامل: ۱- جذب توسط ازن (τ_{oz})، ۲- جذب توسط بخارآب (τ_w)، ۳- جذب توسط گازهای پایدار (τ_g)، ۴- اتلاف انرژی در اثر ریزگردها(τ_a) و ۵- اثر رایلی (τ_r) می‌باشد. ضرایب عبور نیواری برای تابش‌های مستقیم و پراکنده با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه می‌شوند (۲۰):

$$\tau_b \cong 0.5\tau_{OZ}\tau_W\tau_g\tau_r\tau_a - 0.013 \qquad (۴)$$

$$\tau_d \cong \tau_{OZ}\tau_W\tau_g(1-\tau_r\tau_a) + 0.013 \qquad (۵)$$

هر یک از پارامترهای روابط ۴ و ۵ با استفاده از داده‌های

1- Effective direct radiation
2- Effective diffuse radiation
3- Direct transmittance
4- Diffuse transmittance

جمع‌آوری شده در مقیاس روزانه از ایستگاههای هواشناسی شامل اطلاعات دما، رطوبت نسبی، فشار و مدت تابش خورشیدی در یک روز معین قابل برآورد می‌باشد که در ادامه به آن پرداخته شده است (۲۰ و ۲۱).

جذب توسط ازن (τ_{oz})

لایه ازن، بصورت یک حفاظ باعث جذب پرتوهای مضر فرابنفش می‌شود:

$$\tau_{oz} = \exp[-0.0365(ml)^{0.7136}] \quad (۶)$$

در این رابطه که به منظور برآورد میزان جذب توسط لایه ازن بکار می‌رود l ضخامت لایه ازن به سانتی‌متر است که از رابطه ۷ برآورد می‌شود:

$$l = 0.44 - 0.16\{[(\theta - 80)/60]^2 + [(J - 120)/(263 - \theta)]^2\}^{1/2} \quad (۷)$$

θ عرض جغرافیایی ایستگاه به درجه. J شماره روز سال (روز ژولیوسی) است.

$$m = 1/[\sinh + 0.15(57.296h + 3.885)^{-0.253}] \quad (۸)$$

جذب توسط بخارآب (τ_w)

ضریب جذب بخارآب با استفاده از رابطه ۹ بدست می‌آید:

$$\tau_W = \min[1.0, 0.909 - 0.036\ln(mw)] \quad (۹)$$

w آب قابل بارش به سانتی‌متر است که بصورت مقدار آب موجود در ستونی از هوا تعریف می‌شود و با استفاده از رابطه نیمه‌تجربی زیر قابل محاسبه است:

$$w = 0.00493\, h_r T_a^{-1} \exp[26.23 - 5410\, T_a^{-1}] \quad (۱۰)$$

h_r متوسط درصد رطوبت نسبی روزانه و T_a متوسط دمای روزانه به کلوین است. آب قابل بارش در مناطق خشک برابر صفر و در شرایط مرطوب بیشتر از ۵ سانتی‌متر می‌باشد.

جذب توسط گازهای پایدار (τ_g)

گازهای پایدار که به گازهای گلخانه‌ای نیز معروفند موجب جذب پرتوهای مادون قرمز می‌شوند:

$$\tau_g = \exp(-0.0117 m_c^{0.3139}) \quad (۱۱)$$

m_c مقدار تصحیح شده ضخامت نیوار به سانتی‌متر با در نظر گرفتن مقدار فشار بوده و از رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود:

$$m_c = m p_s / p_0 \quad (۱۲)$$

P_s فشار هوا در سطح ایستگاه بر حسب پاسکال و p_o برابر 10^5 ×۱/۰۱۳ پاسکال می باشد. در اغلب مواقع، آمار فشار هوا در سطح ایستگاهها موجود است. اما در شرایطی که مقدار آن مشخص نباشد، می‌توان از رابطه ۱۳ آن را بدست آورد:

$$p_s = p_0 \exp(-Z / H_T) \quad (۱۳)$$

Z ارتفاع ایستگاه به متر و H_T ارتفاع نیوار ایزوترمال است که ۸۴۳۰ متر در نظر گرفته می‌شود.

اتلاف انرژی خورشیدی در اثر ریزگردها[1] (τ_a)

$$\tau_a = \exp\{-m\beta[0.6777 + 0.1464(m\beta) - 0.00626(m\beta)^2]^{-1.3}\} \quad (۱۴)$$

β ضریب تیرگی آنگستروم[2] است و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\beta = (0.025 + 0.1\cos^2\theta)\exp(-0.7Z/1000) \quad (۱۵)$$

اثر رایلی (τ_r)

پخش رایلی تابعی است از ضخامت هوا و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\tau_r = \exp[-0.008735 m_c (0.547 + 0.014 m_c - 0.00038 m_c^2 + 4.6\times10^{-6} m_c^3)^{-4.08}] \quad (۱۶)$$

مدل اصلاح شده دانشیار

دانشیار (۶) بر اساس روش پالتریج و پروکتور (۱۱) در سال ۱۹۷۸ مدل خود را با تعیین ضریب تعدیل برای تابش پراکنده در ایستگاه هواشناسی تهران ارائه کرد. مدل دانشیار توسط سبزی‌پرور در سال ۲۰۰۷ اصلاح گردید (۱۵). ایشان پس از تعیین ضرایب اصلاحی، مدل اصلاح شده دانشیار را بصورت زیر ارئه کردند است:

$$R_{sc} = (1.01)(K_\varepsilon)\{(1 - CF)(K_{alt-dir}) \times \int_{sunrise}^{sunset} I_{dir}\cos\theta dt + (K_{alt-dif})\int_{sunrise}^{sunset} I_{dif}\, dt\} \quad (۱۶)$$

در این روابط θ زاویه سمت‌الراس خورشید و CF فاکتور ابرناکی آسمان است (۱۸). در رابطه فوق میانگین ماهانه پوشش ابر بر اساس تعداد روزهای ابری در هر ماه محاسبه می‌شود. در ایستگاههای تابش‌سنجی ابرناکی آسمان هر سه ساعت یکبار در سه بازه ۰ تا ۲ اکتا، ۳ تا ۶ اکتا و ۷ تا ۸ اکتا اندازه‌گیری می‌شود:

$$CF = \frac{n_1 + 4.5n_2 + 7.5n_3}{8(n_1 + n_2 + n_3)} \quad (۱۷)$$

در رابطه فوق n1، n2 و n3 فراوانی ابرناکی آسمان در سه بازه ۰ تا ۲ اکتا، ۳ تا ۶ اکتا و ۷ تا ۸ اکتا در طول یک ماه است. با استفاده از رابطه ۱۷ فاکتور ابرناکی آسمان بصورت ماهانه بدست می‌آید.

در مدل اصلاح شده دانشیار ضریب ۱/۰۱ برای تصحیح مقدار

1 - Aerosol extinction
2 - Angstrom turbidity

ثابت خورشیدی می‌باشد. K_ε فاکتور تصحیح مربوط به تغییرات فاصله زمین تا خورشید بوده و از رابطه ۱۸ محاسبه می‌شود:

$$K\varepsilon = 1 + 0.033\cos[2\pi(DN - 0.5)/365)] \quad (۱۸)$$

در این رابطه DN شماره روز سال میلادی است. بعنوان مثال مقدار DN برای اول ژانویه برابر یک می‌باشد. در این مدل $K_{alt\text{-}dir}$ و $K_{alt\text{-}dif}$ بعنوان ضرایب تصحیح فاکتور ارتفاع بر اساس ارتفاع مرجع برآورد می‌شوند:

$$K_{aht-dir} = 1 + 0.07(h - h_{ref}) \quad (۱۹)$$

$$K_{alt-dif} = 1 - 0.10(h - h_{ref}) \quad (۲۰)$$

h ارتفاع ایستگاه به کیلومتر و h_{ref} ارتفاع مرجع (ارتفاع شهر تهران که معادل ۱/۱۹ کیلومتر می‌باشد) است.

مدل اصلاح شده صباغ

مدل صباغ یک مدل تجربی بوده و در سال ۱۹۷۵ ارائه شده است (۱۴). این مدل با استفاده از پارامترهای هواشناسی شامل دما، رطوبت نسبی و ساعات نسبی روشنایی میزان تابش را برآورد می‌کند. در سال ۲۰۰۷ سبزی‌پرور و همکاران (۱۵) مدل را برای شرایط مختلف اقلیمی ایران کشور تصحیح کردند. آنها فاکتور تصحیح تغییرات فاصله زمین تا خورشید (K_ε) و فاکتور تصحیح ارتفاع ($K_{alt\text{-}glob}$) را در مدل اولیه صباغ دخالت دادند. مدل اصلاح شده صباغ بصورت زیر می‌باشد:

$$R_{est} = 0.06407 K_{alt-glob} K_\varepsilon K_g \exp\left[L\left(\frac{n}{N} - \frac{RH^{0.333}}{100} - \frac{1}{T_{\max}}\right)\right] \quad (۲۱)$$

که در آن R_{est} تابش روزانه برآورد شده، n ساعات روشنایی واقعی، N حداکثرساعات روشنایی ممکن، RH درصد رطوبت نسبی، T_{max} حداکثر دمای روزانه و L عرض جغرافیایی محل به رادیان است. در محاسبه ضرایب K_ε و $K_{alt\text{-}glob}$ از روابط ۲۲ و ۲۳ استفاده می‌شود:

$$K_{alt-glob} = 1 + 0.02(h - h_{ref}) \quad (۲۲)$$

$$K\varepsilon = 1 + 0.033\cos(2\pi(DN - 0.5)/365) \quad (۲۳)$$

Kg نیز فاکتور جغرافیایی بوده و از رابطه ۲۴ محاسبه می‌شود:

$$k_g = 100(\lambda N + \psi_m \cos L) \quad (۲۴)$$

ψ_m فاکتور فصلی و λ فاکتور عرض جغرافیایی است (۱۲).

نتایج و بحث

سبزی‌پرور و همکاران (۱۵، ۱۶ و ۱۷) با تحقیقی که بر روی مدلهای مختلف شامل مدل صباغ، پالتریج، دانشیار، اصلاح شده صباغ، اصلاح شده پالتریج و اصلاح شده دانشیار در کشور انجام دادند، مدلهای اصلاح شده دانشیار و صباغ را بعنوان مدلهای مناسبتر در تخمین تابش خورشیدی در مقیاس ماهانه، برای شرایط مختلف اقلیمی کشور شامل نواحی ساحلی شمالی و جنوبی، نواحی خشک مرکزی و نواحی نیمه‌خشک غربی و شرقی پیشنهاد کردند. در تحقیق حاضر سعی شد تا دو مدل پیشنهادی ایشان با مدل هیبرید مورد مقایسه و ارزیابی قرار گیرد. ضرایب مدل هیبرید با مطالعه‌ای توسط یانگ و همکاران (۲۰) که بر روی ۱۴ ایستگاه در شرایط مختلف اقلیمی ژاپن انجام گرفت بصورت a=۰/۳۹۱، b=۰/۵۱۸، c=۰/۳۰۸ و d=۰/۳۲۰ ارائه شد.

در مرحله واسنجی مدل هیبرید برای شرایط ایران، این ضرایب بر اساس الگوریتم بهینه سازی SCE-UA (۷) برای هر کدام از ایستگاه مورد مطالعه، واسنجی شد. واسنجی مدل با حداقل کردن تابع هدف (مجموع توان دوم خطای بین مقادیر برآورد شده توسط مدل و مقادیر مشاهده‌ای) انجام شد و بر همین اساس ضرایب a، b، c و d استخراج گردید. جدول ۲ ضرایب واسنجی شده مدل هیبرید را در ایستگاههای مورد مطالعه نشان می‌دهد.

اعتبارسنجی مدل واسنجی شده در هر ایستگاه با استفاده از آمار مشاهده‌ای انجام گرفت. جدول ۳ میانگین معیارهای خطا را مدل هیبرید در ایستگاههای مورد مطالعه نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود در اغلب ایستگاهها مقدار RMSE و MAE کمتر از ۲ مگاژول بر متر مربع در روز ($Mj.m^{-2}.d^{-1}$) است. حداکثر مقدار این دو معیار مربوط به دوره واسنجی مدل هیبرید در ایستگاه تبریز می‌باشد که بترتیب برابر ۲/۴۹ و ۲/۰۷ $Mj.m^{-2}.d^{-1}$ است. این مدل مدل در ایستگاه اصفهان کمترین مقدار RMSE را دارد و در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی بترتیب برابر ۱/۲۵ و ۱/۳۶ $Mj.m^{-2}.d^{-1}$ می‌باشد. مقدار MPE که نشان دهنده درصد خطای تخمین است در اکثر ایستگاهها کمتر از ۳ درصد می‌باشد. بنابراین با توجه به مقدار ناچیز معیارهای خطا در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی، می‌توان نتیجه گرفت مدل هیبرید دارای اعتبار کافی برای تخمین تابش روزانه این ایستگاهها است.

پس از برآورد مقدار تابش روزانه توسط مدل‌های هیبرید و مدل‌های اصلاح شده دانشیار و صباغ، نمودار پراکنش[1] مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی نسبت به خط بهترین برازش یا خط ۱:۱ ترسیم شد. در شکل ۱ نمودارهای پراکنش مربوط به خروجی سه مدل مذکور در ایستگاههای اصفهان و بجنورد برای سالهای ۲۰۰۰ و ۲۰۰۲ بعنوان نمونه نشان داده شده است. همانطور که روی نمودارها قابل مشاهده است، در مدل هیبرید نقاط علاوه بر داشتن ضریب تبیین بالاتر (R^2)، برازش بهتری روی خط ۱:۱ دارند. خط نیمساز ۱:۱ در واقع نشاندهنده بهترین حالت برآورد است.

برای مقایسه آماری سه مدل، از معیارهای ME، MAE، RMSE و MPE استفاده گردید (جدول ۴). از آنجا که معیارهای

1- Scatter Plot

ME و MPE می‌تواند مقدار منفی نیز داشته باشد بنابراین جمع جبری این دو معیار نمی‌تواند مقدار خطای یک مدل را بدرستی بیان کند. بعنوان مثال در جدول ۴ مقدار مطلق حداقل و حداکثر معیار ME در مدل هیبرید کوچکتر از مقدار آن در مدل صباغ است در حالی که میانگین آن در مدل صباغ کمتر بدست آمده است. بهمین دلیل استفاده از معیارهای MAE و RMSE در مقایسه مدل‌ها صحیح‌تر بنظر می‌رسد. در جدول ۴ مقدار حداقل، حداکثر و میانگین خطا برای هر مدل نشان داده شده است. با توجه به این جدول، مدل هیبرید در مقایسه با مدل اصلاح شده دانشیار، مقدار تابش را با دقت نسبتا بالاتری برآورد کرده است. همانطور که در این جدول نشان داده شده است مقدار میانگین ME، MAE، RMSE و MPE برای مدل هیبرید بترتیب ۰/۲۷-، ۱/۲۷، ۱/۵۹ $Mj.m^{-2}.d^{-1}$ و ۲/۰۱ درصد می‌باشد.

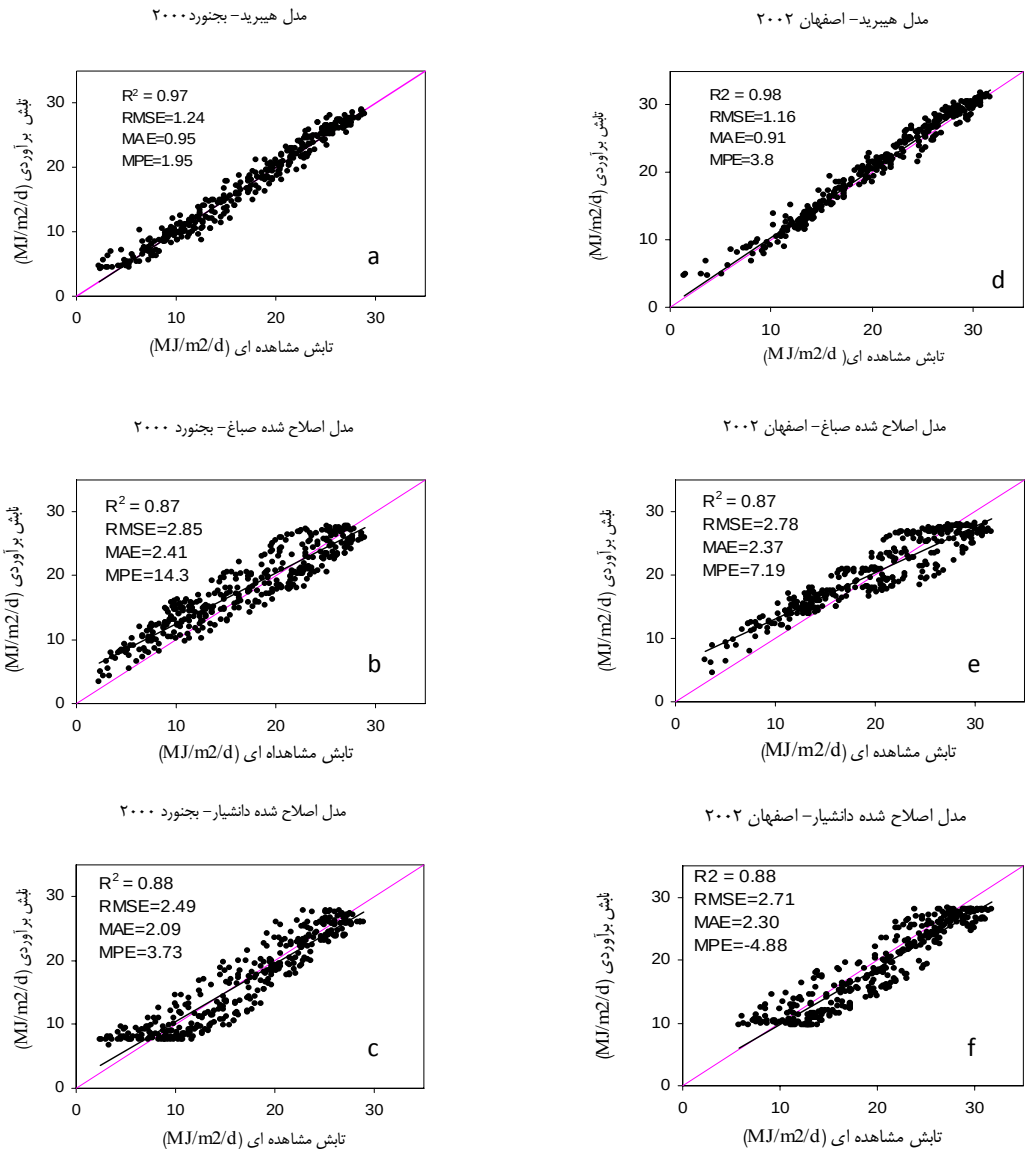
جدول ۲- ضرایب واسنجی شده مدل هیبرید برای هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	a	b	c	d
اصفهان	۰/۳۸۰	۰/۶۱۶	۰/۴۵۵	۰/۹۰۰
بجنورد	۰/۲۸۰	۰/۵۶۱	۰/۹۰۰	۰/۹۰۰
بندرعباس	۰/۴۸۶	۰/۴۰۹	۰/۳۵۴	۰/۹۰۰
تبریز	۰/۵۰۱	۰/۴۳۵	۰/۰۱۰	۰/۸۹۹
تهران	۰/۴۸۶	۰/۷۰۰	۰/۰۱۰	۰/۵۸۰
رامسر	۰/۲۳۷	۰/۴۶۷	۰/۰۱۰	۰/۹۰۰
زاهدان	۰/۳۲۲	۰/۴۹۱	۰/۹۰۰	۰/۹۰۰
کرمان	۰/۳۴۳	۰/۶۰۱	۰/۷۳۱	۰/۹۰۰
کرمانشاه	۰/۲۸۵	۰/۶۲۱	۰/۹۰۰	۰/۹۰۰
مشهد	۰/۲۹۳	۰/۵۴۴	۰/۸۷۹	۰/۹۰۰

جدول ۳- نتایج مراحل واسنجی و اعتبارسنجی کاربرد مدل هیبرید در ایستگاههای انتخابی در مقیاس روزانه

	ایستگاه	MPE	RMSE	MAE	ME
دوره واسنجی	اصفهان	۲/۱۶	۱/۲۵	۰/۹۶	-۰/۰۳
	بجنورد	۳/۲۷	۱/۵۸	۱/۲۶	۰/۰۰
	بندرعباس	۰/۰۹	۱/۲۵	۰/۹۲	۰/۰۰
	تبریز	۳/۱۵	۲/۴۹	۲/۰۸	۰/۰۳
	تهران	۰/۷۴	۲/۱۸	۱/۷۶	-۰/۳۴
	رامسر	-۰/۴۷	۱/۲۰	۰/۹۶	-۰/۲۰
	زاهدان	۱/۶۸	۲/۴۶	۲/۰۸	-۰/۰۲
	کرمان	۱/۷۴	۱/۳۶	۱/۰۴	۰/۰۳
	کرمانشاه	۲/۸۴	۱/۴۶	۱/۱۳	-۰/۰۹
	مشهد	۲/۲۸	۲/۱۹	۱/۷۴	-۰/۱۳
دوره اعتبارسنجی	اصفهان	۱/۵۰	۱/۳۶	۱/۰۶	-۰/۰۲
	بجنورد	۲/۶۹	۱/۵۱	۱/۱۷	-۰/۳۶
	بندرعباس	-۱/۵۲	۱/۶۸	۱/۳۱	-۰/۶۴
	تبریز	-۳/۴۸	۲/۰۷	۱/۷۰	-۰/۹۶
	تهران	-۱/۰۵	۱/۷۲	۱/۳۸	-۰/۳۶
	رامسر	۱۵/۹۱	۱/۴۹	۱/۲۵	۰/۹۱
	زاهدان	۰/۶۸	۱/۹۰	۱/۵۵	-۰/۳۷
	کرمان	-۲/۶۲	۱/۳۶	۱/۰۶	-۰/۶۹
	کرمانشاه	۳/۰۸	۱/۳۶	۱/۰۸	۰/۰۲
	مشهد	۴/۷۴	۱/۴۱	۱/۱۱	-۰/۱۷

*- ME، RMSE و MAE به مگاژول بر مترمربع در روز و MPE به درصد است.



شکل ۱- مقایسه نتایج برآورد تابش روزانه خورشیدی در ایستگاههای اصفهان (۲۰۰۲) و بجنورد (۲۰۰۰) براساس مدل هیبرید و مدل‌های اصلاح شده دانشیار و صباغ در مرحله اعتبارسنجی

میانگین RMSE در مدل‌های اصلاح شده دانشیار و صباغ ۳/۱۵ و ۳/۳۹ $Mj.m^{-2}.d^{-1}$ بدست آمده است که در مقایسه با مدل هیبرید رقم بزرگتری است. مدل اصلاح شده صباغ بیشترین مقدار MPE را دارد و به این معنا است که این مدل، تابش روزانه را بطور میانگین ۱۱/۲۶ درصد بیش از مقدار واقعی برآورد کرده است. ماکزیمم مقدار MPE در هر سه مدل مربوط به ایستگاههای واقع در اقلیم مرطوب (رامسر) می‌باشد. شاید بتوان علت آن را به رطوبت نسبی بالا (بیشتر از ۵۵ درصد) و میزان قابل ملاحظه پوشش ابر نسبت داد که اندازه‌گیری میزان تابش را با خطای زیادی همراه می‌سازد. بعلاوه در این مناطق بعلت وجود مه و شرایط ابری آسمان، تعداد ساعتهای آفتابی بدرستی ثبت نمی‌شود (۱۵). بهمین دلیل در شرایط اقلیمی مرطوب، مدلهای مذکور معمولا مقدار تابش را بیشتر از مقدار واقعی تخمین می‌زنند. محدودیت مدلهای اصلاح شده صباغ و دانشیار توسط سبزی‌پرور (۱۵) در نواحی شمالی و جنوبی نشان داده شده است. این در حالی است که مدل هیبرید در ایستگاههای رامسر و بندرعباس نسبت به دو مدل دیگر کارآیی بالاتری دارد. نتایج مشابهی در

مطالعات انجام شده توسط سبزی‌پرور و همکاران مـی‌تـوان ملاحظـه کرد (۱۵، ۱۶ و ۱۷).

جدول ٤- معیارهای آماری خطا بدست آمده از مدل هیبرید و مدل‌های اصلاح شده دانشیار و صباغ در مرحله اعتبارسنجی

ایستگاه	مدل	MPE	RMSE	MAE	ME
	هیبرید	۱/۵۰	۱/۳۶	۱/۰۶	-۰/۰۲
اصفهان	دانشیار	-۳/۱۷	۲/۸۱	۲/۳۶	-۱/۱۵
	صباغ	۷/۷۶	۲/۸۳	۲/۴۲	۰/۱۷
	هیبرید	۲/۶۹	۱/۵۱	۱/۱۷	-۰/۳۶
بجنورد	دانشیار	۵/۹۴	۳/۲۸	۲/۷۴	-۰/۵۳
	صباغ	۱۵/۵۵	۳/۹۵	۲/۶۳	۰/۹۸
	هیبرید	-۱/۵۲	۱/۶۸	۱/۳۱	-۰/۶۴
بندرعباس	دانشیار	۱/۹۳	۱/۹۵	۱/۵۹	۰/۳۳
	صباغ	۷/۹۳	۲/۴۵	۲/۱۰	۰/۹۴
	هیبرید	-۳/۴۸	۲/۰۷	۱/۷۰	-۰/۹۶
تبریز	دانشیار	۱۰/۹۲	۲/۹۱	۲/۴۴	۰/۲۰
	صباغ	۱۸/۹۵	۳/۵۸	۳/۰۱	۱/۷۱
	هیبرید	-۱/۰۵	۱/۷۲	۱/۳۸	-۰/۳۶
شمال تهران	دانشیار	-۰/۶۰	۳/۱۱	۲/۶۲	-۰/۹۴
	صباغ	۸/۸۰	۳/۰۵	۲/۵۰	۰/۲۷
	هیبرید	۱۵/۹۱	۱/۴۹	۱/۲۵	۰/۹۱
رامسر	دانشیار	۲۵/۸۰	۵/۰۷	۴/۴۰	۴/۳۳
	صباغ	۳۰/۹۵	۵/۹۲	۵/۴۴	۵/۴۴
	هیبرید	۰/۸۶	۱/۹۰	۱/۵۵	-۰/۳۷
زاهدان	دانشیار	۰/۵۸	۲/۷۴	۲/۳۲	-۰/۲۱
	صباغ	۵/۲۸	۲/۹۷	۲/۳۴	۰/۳۰
	هیبرید	-۲/۶۲	۱/۳۶	۱/۰۶	-۰/۶۹
کرمان	دانشیار	-۷/۶۳	۳/۴۹	۲/۹۴	-۲/۰۱
	صباغ	-۰/۷۲	۳/۲۴	۲/۵۹	-۱/۰۵
	هیبرید	۳/۰۸	۱/۳۶	۱/۰۸	۰/۰۲
کرمانشاه	دانشیار	-۱/۲۴	۳/۰۶	۲/۵۰	-۱/۰۰
	صباغ	۶/۵۲	۳/۰۲	۲/۳۶	-۰/۲۴
	هیبرید	۴/۷۴	۱/۴۱	۱/۱۱	-۰/۱۷
مشهد	دانشیار	۱/۶۹	۳/۱۳	۲/۵۲	-۰/۹۵
	صباغ	۱۱/۵۷	۲/۹۲	۲/۴۴	۰/۶۰
	هیبرید	۲/۰۱	۱/۵۹	۱/۲۷	-۰/۲۷
میانگین	دانشیار	۳/۴۲	۳/۱۵	۲/۶۴	-۰/۱۹
	صباغ	۱۱/۲۶	۳/۳۹	۲/۷۸	۰/۹۱
	هیبرید	۱۵/۹۱	۲/۰۷	۱/۷۰	۰/۹۱
حداکثر	دانشیار	۲۵/۸۰	۵/۰۷	۴/۴۰	۴/۳۳
	صباغ	۳۰/۹۵	۵/۹۲	۵/۴۴	۵/۴۴
	هیبرید	-۳/۴۸	۱/۳۶	۱/۰۶	-۰/۹۶
حداقل	دانشیار	-۷/۶۳	۱/۹۵	۱/۵۹	-۲/۰۱
	صباغ	-۰/۷۲	۲/۴۵	۲/۱۰	-۱/۰۵

*- ME ، RMSE و MAE به مگاژول بر مترمربع در روز و MPE به درصد است.

در فصول بهار و تابستان با افزایش میزان تابش، مقدار خطا نیز افزایش می‌یابد. این موضوع در مورد مدل اصلاح شده صباغ به روشنی قابل مشاهده است (شکل‌های b-۱ و e-۱). بعبارتی در این مدل، مقدار تابش در روزهای گرم سال (بیش از ۱۵ $Mj.m^{-2}.d^{-1}$) با خطای بیشتری برآورد می‌شود.

خطای مدل اصلاح شده دانشیار در فصول مختلف تغییرات قابل ملاحظه‌ای ندارد و همانطور که در شکل‌های c-۱ و f-۱ نشان داده شده است تقریبا در طول سال نقاط به یک میزان از خط ۱:۱ فاصله دارند. مدل هیبرید، هم در فصول مرطوب و هم در فصول خشک خطای کمتری در برآورد تابش روزانه دارد و همانطور که گفته شد در تمام فصول سال، نقاط برآورد شده برازش بسیار خوبی روی خط ۱:۱ دارند. به همین دلیل می‌توان نتیجه گرفت مدل هیبرید بهترین برآورد را در تخمین تابش روزانه نسبت به دو مدل دیگر دارد. مدل اصلاح شده دانشیار نیز در مقایسه با مدل اصلاح شده صباغ نتایج بهتری ارائه کرده است. ضعف مدل اصلاح شده دانشیار را می‌توان به نحوه دخالت فاکتور ابرناکی آسمان در تخمین مقدار تابش روزانه نسبت داد. چون این فاکتور بصورت ماهانه محاسبه شده است (رابطه۱۷) و مقدار آن برای یک ماه ثابت در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که در شرایط واقعی چنین حالتی وجود ندارد و میزان پوشش ابر در روزهای مختلف سال متفاوت می‌باشد. این موضوع در ماههای مرطوب سال که تغییرات ابرناکی شدیدتر است اهمیت بیشتری می‌یابد. بهمین دلیل، در مدل اصلاح شده دانشیار حتی در فصل‌های سرد و مرطوب که میزان تابش کمتر از ۱۵ $Mj.m^{-2}.d^{-1}$ است خطای تخمین زیاد می‌باشد (شکل‌های c -۱ و f-۱).

در تحلیل کارآیی بالای مدل هیبرید در تخمین تابش روزانه باید گفت از آنجا که این مدل تاثیر عوامل مختلف نیوار شامل پخش و جذب را به صورت فیزیکی لحاظ می‌کند. لذا نسبت به دو مدل دیگر ارجحیت دارد. بعبارتی مدل‌های تجربی اثرات نیوار را مانند مدل فیزیکی برآورد تابش در نظر نمی‌گیرند. چون اثرات نیوار و به طور ساده مقدار پخش و جذب نیواری در اقلیم‌های مختلف، متفاوت است و بیشتر مدل‌های تجربی اثرات متغیر نیوار را لحاظ نمی‌کنند. لازم به ذکر است دخالت دادن نسبت طول روز واقعی به طول روز تئوریک، موجب کاهش عدم قطعیت مدل برای روزهای ابری می‌شود (۲۱).

نتیجه‌گیری

پس از آنکه تابش خورشیدی روزانه توسط مدل‌های هیبرید و اصلاح شده دانشیار و صباغ در ۱۰ ایستگاه برآورد گردید، معیارهای خطا برای ارزیابی و مقایسه نتایج مدل‌ها محاسبه شد. در بین مدل‌های بکار رفته، مدل هیبرید تابش را با خطای کمتری تخمین زده است. بطوری که میانگین مقدار RMSE مدل ۱/۵۹ $Mj.m^{-2}.d^{-1}$ می‌باشد. این معیار برای مدل‌های اصلاح شده دانشیار و صباغ ۳/۱۵ و ۳/۳۹ $Mj.m^{-2}.d^{-1}$ بدست آمده است. بیشترین مقدار MPE مربوط به مدل اصلاح شده دانشیار (۱۱/۲ درصد) می باشد. لذا با توجه به آماره‌های خطا در ایستگاههای مورد استفاده (جدول ۴)، می‌توان گفت مدل هیبرید در تخمین تابش روزانه دقت بالاتری نسبت به دو مدل اصلاح شده دانشیار و صباغ دارد.

مدل‌هایی که تاکنون در کشور در زمینه تابش مورد ارزیابی قرار گرفته است معمولا برای مناطق با ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی مشخصی پیشنهاد شده است (۲، ۳، ۱۰، ۱۵، ۱۶ و ۱۷) و تا کنون مدلی که بتواند برای تمامی شرایط اقلیمی و جغرافیایی ایران مناسب باشد معرفی نشده است. ایستگاههای انتخابی در این تحقیق تقریبا شرایط مختلف اقلیمی و جغرافیایی کشور را شامل می‌شود. مدل هیبرید بعلت ماهیت فیزیکی آن توانسته است در تمامی این ایستگاهها برآورد خوبی از تابش روزانه ارائه کند. این مدل در برآورد تابش خورشیدی به پارامترهای نسبتا کمی نیازمند است و در صورتی که پارامترهای هواشناسی مورد نیاز مدل در دسترس باشد می‌توان با صرف هزینه و زمان کمتری مقدار تابش را در مقیاس‌های مختلف برآورد کرد و یا خلاء موجود در اندازه‌گیری آمار تابش را از بین برد.

مدل اصلاح شده دانشیار در مقایسه با مدل اصلاح شده صباغ خطای نسبتا کمتری دارد. مدل اصلاح شده صباغ علیرغم اینکه در تخمین تابش روزانه تعداد بیشتری از پارامترهای اقلیمی را نسبت به مدل اصلاح شده دانشیار مورد استفاده قرار می‌دهد. با اینحال در مقایسه با این مدل خطای تخمین بیشتری دارد و تنها در بعضی از ایستگاههایی که در منطقه خشک مرکزی کشور واقع شده‌اند (مانند اصفهان و کرمان) برآورد نسبتا خوبی از تابش ارائه کرده است. چنین نتایجی در مطالعات انجام شده توسط سبزی‌پرور در مناطق خشک مرکزی ایران نیز بدست آمده است (۱۵، ۱۶ و ۱۷).

در ادامه این تحقیق سعی براین خواهد بود تا مدل هیبرید در مقیاس زمانی ماهانه و ساعتی و در تعداد بیشتری از ایستگاههای تابش‌سنجی کشور مورد ارزیابی قرار گیرد و ضرایب منطقه‌ای مدل برای کشور تعیین گردد. محاسبات مدل‌های تخمین تابش در محیط برنامه‌نویسی فرترن تهیه و آماده استفاده محققین می‌باشد.

سپاسگزاری

در پایان از همکاری سازمان هواشناسی کشور در ارائه داده‌های مورد نیاز این تحقیق و داوران محترم که با پیشنهادات ارزشمند خود موجب ارتقاء کیفیت مقاله شده‌اند قدردانی می‌شود.

پیوست ۱:

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)}{n} \quad (۱)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|X_i - Y_i|}{n} \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (۳)$$

$$MPE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\frac{X_i - Y_i}{Y_i} \times 100)}{n} \quad (۴)$$

X_i مقدار محاسبه‌ای تابش، Y_i مقدار اندازه‌گیری شده تابش و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

منابع

۱- عرفانیان م. و بابایی س.۱۳۹۰. ارزیابی مدل هیبرید در تخمین تابش روزانه خورشیدی در ایستگاه تابش‌سنجی تبریز. نخستین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی دانشگاه تهران.

۲- علیزاده ا. و خلیلی ن. ۱۳۸۷. تعیین ضرایب معادله آنگستروم و توسعه یک معادله رگرسیونی برآورد تابش خورشیدی (مطالعه موردی: منطقه مشهد). آب و خاک، ۲۳، شماره ۱، صفحه ۲۳۸-۲۲۹.

۳- موسوی بایگی م.، اشرف ب. و میان آبادی آ. ۱۳۸۹. بررسی مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی به منظور معرفی مناسبترین مدل در یک اقلیم نیمه‌خشک. آب و خاک، ۲۴، شماره ۴، صفحه ۸۴۴-۸۳۶.

4- Almorox J., Hontoria C., and Benito M. 2011. Models for obtaining daily global solar radiation with measured air temperature data in Madrid (Spain), Applied Energy. 1703-1709.

5- Bakirci K. 2009. Correlations for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey, Energy, 34: 485-501.

6- Daneshyar M. 1978. Solar radiation statistics for Iran, Solar Energy, 21: 345-349.

7- Duan Q., Sorooshian S., and Gupta V.K. 1994. Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models, Journal of Hydrology, 265-284.

8- El-Sebaii A.A., Al-Hazmi F.S., Al-Gamdi A.A., and Yagmour S.J. 2010. Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces, Applied Energy, 87: 568-576.

9- Maghrabi A.H. 2009. Parameterization of a simple model to estimate monthly global solar radiation based on meteorological variables, and evaluation of existing solar radiation models for Tabouk, Saudi Arabia in Jeddah, Saudi Arabia, Energy Conversion and Management, 50:2754-2760.

10- Noorian A., Moradi I., and Kamali G. 2008. Evaluation of 12 models to estimate hourly diffuse irradiation on inclined surfaces, Renewable Energy, 33:1406-1412.

11- Paltridge GW., and Proctor D. 1976. Monthly mean solar radiation statistics for Australia, Sol Energy, 18:235-43.

12- Reddy S. 1971. Solar An empirical method for the estimation of total solar radiation, sol Energy,13:289-91.

13- Robaa S.J. 2009. Validation of the existing models for estimating global solar radiation over Egypt, Energy Conversion and Management, 50:184-193.

14- Sabbagh A., Sayigh M., and El-Salam A. 1975. Estimation of the total solar radiation from meteorological data, Solar Energy, 19: 307-311.

15- Sabziparvar A. 2007. General Formula for Estimation of Monthly Mean Global Solar Radiation in Different Climates on the South and North Coasts of Iran, International Journal of Photoenergy. doi:10.1155/2007/94786

16- Sabziparvar A., and Shetaee H. 2007. Estimation of global solar radiation in arid and semi-arid climates of East and West Iran, Energy, 32: 649-655.

17- Sabziparvar A. 2008. A simple formula for estimating global solar radiation in central arid deserts of Iran, Renewable Energy, 33:1002-1010.

18- Samimi J. 1978. Estimation of height-dependent solar irradiation and application to the solar climate of Iran, Solar Energy, 52:401-409.

19- Tang W., Yang K., He J., and Qin J. 2010. Quality control and estimation of global solar radiation in China, Solar Energy, 84:466-475.

20- Yang K., Huang W.G., and Tamai N. 2001. A Hybrid model for estimating global solar radiation, Solar Energy, 70:13-22.

21- Yang K., and Toshio K. 2005. A general model to estimate hourly and daily solar radiation for hydrological studies, Water Resources Research, 41. W10403, doi: 10.1029/2005WR003976

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No. 1, Mar.-Apr. 2013, p. 158-168

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۲، ص. ۱۶۸-۱۵۸

Evaluation of Hybrid Model for Estimating Daily Solar Radiation in Some Solar Sites of Iran

M. Erfanian[1*]- S. Babaei Hesar[2]

Received:13-08-2012
Accepted:24-02-2013

Abstract

Short wavelength of solar radiation that reaches the ground used as one of the key parameters in most models those estimate the potential Evapotranspiration, such as FAO Penman-Monteith. Despite the importance of amount of radiation, its measurement is done only in small number of stations in the country. Empirical radiation models, such as Angstrom- Prescott, despite the simplicity, require calibration and their coefficients must be properly estimated. In the present study a relatively simple physical model that called hybrid model was used to estimate daily solar radiation in 10 synoptic stations, Esfahan, Bojnourd, Bandar Abbas, Tabriz, Tehran, Ramsar, Zahedan, Kerman, Kermanshah and Mashhad and the results were compared with modified Daneshyar & Sabagh models those were proposed for various climatic conditions in previous researches. using a relatively small number of meteorological parameters include temperature, relative humidity, pressure and sunshine hours, Hybrid model estimated amount of radiation with reasonable accuracy. To compare the three models, mean error (ME), mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE) and mean percentage error (MPE) statistical criteria were used. Average of each error criteria in Hybrid model, respectively are, -0.27, 1.27, 1.59 and 2.01 and in the modified Daneshyar model are, -0.19, 2.64, 3.15 and 3.42. Also in modified Sabagh model these criteria are achieved equal to 0.91, 2.87, 3.93 and 11.20. Small amount of error criteria for Hybrid model represents the relatively high performance of this model in the estimation of solar radiation in daily scale.

Keywords: Solar radiation, Hybrid model, Daneshyar model, Sabagh model

1,2- Assistant Professor and MSc Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Rsources, Urmia University
(*- Corresponding Author Email: erfanian.ma@gmail.com)