نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۴، مهر - آبان ۱۳۸۹، ص. ۸۴۴-۸۳۶

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 4, Sep-Oct 2010, p. 836-844

بررسی مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی به منظور معرفی مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم نیمه خشک

محمد موسوی بایگی[1*]- بتول اشرف[2] - آمنه میان آبادی[3]

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۸۹/۵/۲

چکیده

تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین یکی از پرکاربردترین پارامترهای مورد استفاده در پروژه ها و مدل‌سازی‌های هیدرولوژی، کشاورزی، هواشناسی و اقلیمی می‌باشد. با توجه به این که تهیه و ایجاد وسایل اندازه‌گیری این پارامتر بسیار پرهزینه است، تاکنون مدل های متعددی جهت برآورد آن در اقلیم های مختلف توسط محققان، پیشنهاد شده است. در این پژوهش، هفت مدل برآورد تابش طول موج کوتاه خورشیدی، شامل: ۱- مدل آنگستروم- پرسکات پیشنهادی توسط فائو، ۲- مدل آنگستروم- پرسکات واسنجی شده توسط خلیلی و رضایی صدر، ۳- مدل آنگستروم- پرسکات واسنجی شده توسط خلیلی و رضایی صدر تحت تأثیر طیف جذبی بخارآب، ۴- مدل آنگستروم- پرسکات واسنجی شده توسط علیزاده و خلیلی، ۵- مدل رگرسیون خطی علیزاده و خلیلی، ۶- مدل صباغ و ۷- مدل گلور- مک کلوت جهت انتخاب و معرفی مناسب ترین مدل در این منطقه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج مقایسه مقادیر محاسبه شده با مدل ها با مقادیر اندازه گیری شده توسط پیرانومتر، نشان داد که بر اساس میزان ضریب تعیین، مدل های ۱، ۲ و ۴ (به ترتیب برابر ۰/۸۵۰۵، ۰/۸۵۰۷ و ۰/۸۵۰۷) بیش‌ترین همبستگی را با مقادیر واقعی تابش، نشان می‌دهند. اما با توجه به تفاوت بسیار ناچیز R^2 این مدل‌ها و مقادیر کم تر شاخص های $RMSE$، MBE و t (به ترتیب برابر ۲/۶۸، ۰/۱۶ و ۰/۵۹) در مدل ۱، می‌توان این مدل را به عنوان مناسب ترین مدل برآورد تابش خورشیدی در این اقلیم معرفی نمود.

واژه های کلیدی: تابش طول موج کوتاه خورشیدی، پیرانومتر، طیف جذبی بخارآب، ضریب تعیین، اقلیم نیمه خشک

مقدمه

دانستن مقدار تابش خورشیدی در هر محل برای بسیاری از مسائل کاربردی از جمله تخمین تبخیر- تعرق، طراحی معماری، مدل‌های رشد محصولات کشاورزی و غیره، اهمیت فراوان دارد. اما علی‌رغم اهمیت اندازه‌گیری این پارامتر به دلیل مشکلات اقتصادی، وسایل و ابزار مناسب اندازه‌گیری تابش مانند سایر پارامترهای هواشناسی از جمله دما و بارش در همه مناطق موجود نبوده و بنابراین باید به گونه‌ای آن را تخمین زد (۴ و ۸). این مسئله باعث ترغیب دانشمندان و محققان به سوی ارائه و استفاده از مدل‌های تابش شده است. مقادیر تابش به روش‌های مختلفی از جمله روابط تجربی و رگرسیونی، استفاده از فن سنجش از دور و شبکه‌های عصبی و میان‌یابی خطی محاسبه می‌شوند (۲). اما از میان همه این روش‌ها مدل های تجربی کاربرد گسترده‌تری داشته و از محبوبیت بیشتری نیز بین کاربران برخوردار است.

به طور کلی مدل های تجربی برآورد تابش طول موج کوتاه خورشیدی را می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی کرد. اول مدل هایی که مبنای آن‌ها ساعات آفتابی است (۲)، دوم مدل هایی که مبنای آن ها دمای هوا است (۵) و سوم مدل هایی که بر مبنای ابرناکی محاسبه می‌شوند (۶). اگرچه تعداد زیادی از پارامترهای هواشناسی مانند رطوبت نسبی، ابرناکی، دما و ساعات آفتابی بر مقدار تابش خورشیدی مؤثر می‌باشند، اما تحقیقات متعدد نشان داده است که تأثیر ساعات آفتابی بر مقدار تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین، بیش از سایر پارامترها است (۲). بر این اساس مدل های مختلفی برای تخمین مقدار تابش خورشیدی پیشنهاد شده است که یکی از مهمترین آن‌ها، مدل آنگستروم می باشد که در سال ۱۹۲۴ ارائه شد (۲). این مدل

۱ و ۲ – دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
(* - نویسنده مسئول: Email: mousavi500@yahoo.com)
۳- کارشناس ارشد هواشناسی کشاورزی

بعدها توسط پرسکات اصلاح گردید و به مدل آنگستروم- پرسکات مشهور شد (۴). محققان زیادی در سراسر دنیا به واسنجی این مدل برای مناطق مختلف پرداخته‌اند. تحقیقات یانگ نشان داد که مدل آنگستروم- پرسکات در مطالعات و مدل‌سازی‌های هیدرولوژی و کشاورزی کاربرد بسیار گسترده‌ای دارد (۱۸). آلموروکس و همکاران (۴) نیز تابش روزانه را برای منطقه تولدو[1] اسپانیا به روش آنگستروم- پرسکات مورد بررسی قرار دادند تا بهترین تخمین ماهانه را برای ضرایب این مدل به دست آورند. آن ها از پارامترهای آماری *RMSE*، *MBE* و *t* برای انتخاب بهترین ضرایب استفاده نمودند و سپس ضرایب را برای هر ماه به طور جداگانه محاسبه کرده و مدل را واسنجی نمودند. رحمان (۱۲) با استفاده از ۱۶ مدل مختلف برآورد تابش، مقادیر تابش محاسبه شده را در عربستان با مقادیر تابش اندازه گیری شده با پیرانومتر مقایسه کرد و از بین آن‌ها بهترین مدل را که مدل خطی آنگستروم- پرسکات با ضرایب $a=0.3465$ و $b=0.352$ بود، انتخاب نمود. الاجیب و همکارانش (۷) در بحرین، مدل جدیدی برای تخمین تابش خورشیدی با کم‌ترین خطا و حداقل تعداد پارامترهای هواشناسی مورد نیاز و تنها با استفاده از داده‌های دما، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و تابش فرازمینی، ارائه کردند. در این تحقیق، بررسی داده‌ها برای ماه‌های ژانویه تا ژوئن و ژوئیه تا دسامبر به طور جداگانه انجام شد و برای هر کدام سه مدل بر اساس ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و دما و نیز رطوبت نسبی، دما و ساعات آفتابی به دست آمد.

در سال ۲۰۰۶ اسکیکر (۱۵) در استان داماسکو سوریه با استفاده از هفت پارامتر مختلف هواشناسی و جغرافیایی، ۱۳ مدل یک تا هفت متغیری را برای محاسبه تابش خورشیدی مورد بررسی قرار داد و با وجود قابل قبول بودن همه مدل ها، مدل ارائه شده با هفت متغیر را به عنوان بهترین مدل از نظر آماری انتخاب نمود. یانگ و همکاران (۱۸) نیز در سال ۲۰۰۶ مدلی جهانی برای تخمین تابش ساعتی، روزانه و متوسط روزانه در هر ماه ارائه نمودند. نکته مهم و جدید در این مدل، استفاده از پارامترهای فشار سطحی، توزیع جهانی ضخامت ازن، آب قابل بارش و توزیع جهانی ضریب تیرگی آنگستروم علاوه بر ساعات آفتابی است. طغرل و اونات (۱۷) با استفاده از شش پارامتر هواشناسی، مدل رگرسیونی خطی چند متغیره‌ای برای تخمین تابش در منطقه الازیگ[2] ترکیه به دست آوردند. آن‌ها علاوه بر پارامترهای معمول از دمای خاک نیز استفاده نمودند. در تحقیق ارائه شده توسط ایزومون و مایر (۸) مدل‌های کاستن (بر مبنای ابرناکی) و آنگستروم- پرسکات، گارج و سیوکف (بر مبنای ساعات آفتابی) مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق در دو منطقه کوهستانی فلدبرگ[3] و منطقه مسطح برمگارتن[4] انجام شد که در نهایت مدل آنگستروم- پرسکات و گارج به عنوان بهترین مدل‌های برآورد تابش خورشیدی انتخاب شدند. در ایران نیز سبزی‌پرور و شتایی در سال ۲۰۰۷، در نواحی خشک و نیمه خشک غرب و شرق ایران، شش مدل پالتریج، صباغ، دانشیار، پالتریج اصلاح شده، صباغ اصلاح شده و دانشیار اصلاح شده را مورد بررسی قرار داده و مقدار تابش را تخمین زدند (۱۴). لوپز و همکاران نیز با استفاده از داده‌های تابش‌سنجی شش ایستگاه در اسپانیا، مدل‌های مختلف تابش خورشیدی را ارزیابی نمودند (۱۰). همچنین سوزن، مقدار تابش خورشیدی را با استفاده از شبکه‌های عصبی برای مناطق مختلف کشور ترکیه محاسبه نمود که نتایج به دست آمده، نشان دهنده قابل اعتماد بودن این تکنیک برای محاسبه تابش خورشیدی در اقلیم ترکیه می باشد (۱۶).

به این ترتیب با توجه به اهمیت تابش رسیده به سطح زمین و کاربرد گسترده آن در پروژه ها و مطالعات مختلف هواشناسی، اقلیم‌شناسی، هیدرولوژی و کشاورزی در این مقاله چندین مدل ارائه شده برای برآورد تابش خورشیدی در یک اقلیم نیمه خشک (مشهد) مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن با مقادیر اندازه گیری‌شده توسط پیرانومتر مقایسه گردید تا مناسب ترین مدل برای دست یابی به نتایج بهتر و دقیق‌تر در این منطقه انتخاب گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

برای انجام این تحقیق از اطلاعات ایستگاه همدیدی شهر مشهدکه دارای طول جغرافیایی ۵۹/۳۸ درجه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶/۱۶ درجه شمالی و ارتفاع ۹۹۹/۲ متر از سطح دریا می باشد، استفاده شده است. شهر مشهد به دلیل قرار گرفتن در مسیر توده های مختلف آب و هوایی دارای شرایط اقلیمی خاصی بوده و تنوع اقلیمی ویژه‌ای دارد. با وجود این امر و با توجه به میانگین بارش و دمای سالانه مشهد (به ترتیب ۲۵۵/۲ میلی‌متر و ۱۴/۱ درجه سلسیوس) اقلیم این منطقه به روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، در گروه مناطق نیمه خشک قرار دارد. میانگین ساعات آفتابی سالانه مشهد ۲۸۹۲ ساعت در سال و میانگین سالانه تابش رسیده به سطح زمین تقریباً ۱۹۵ وات بر متر مربع است (۲).

داده های مورد استفاده در این مطالعه، شامل داده های روزانه دما، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و بارش از سال ۱۹۸۰ تا پایان ۲۰۰۳ از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. پس از پردازش و مرتب

1 - Toledo
2 - Elazig
3 - Feldberg
4 - Bremgarten

سازی داده‌ها، برای افزایش دقت محاسبات، مقادیر پرت حذف شده و برآورد مقدار تابش رسیده به سطح زمین (R_S) با استفاده از هفت مدل برآورد تابش خورشیدی که در ادامه خواهد آمد، تنها با داده های قابل قبول انجام شد. برای مقایسه نتایج به دست آمده با مقادیر واقعی نیز، از داده‌های تابش اندازه گیری شده توسط پیرانومتر که در همان سال های آماری ذکر شده در بالا در دسترس بود (به استثنای روزهای حذف شده به دلیل در اختیار نبودن داده) استفاده شد. همچنین مقادیر تابش فرازمینی[1] (R_a) با استفاده از رابطه ارائه شده توسط آلن و همکاران (۳) تخمین زده شد. لازم به ذکر است که بررسی مدل های برآورد تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین و مقایسه آن ها با مقادیر واقعی جهت انتخاب مناسب ترین آن ها، در مقیاس ماهانه (به علت این که در اکثر مطالعات و به خصوص در مدل های تخمین تبخیر- تعرق، محاسبه تابش به صورت ماهانه صورت می گیرد) انجام شده است.

مدل های برآورد تابش خورشیدی

همان طور که ذکر شد برای برآورد میزان تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین (R_S)، تاکنون تلاش های فراوانی صورت گرفته و مدل های بسیاری ارائه شده است. در این تحقیق از هفت روش برآورد R_S استفاده شد که از بین آن ها، چهار روش برای منطقه مورد مطالعه، واسنجی شده اند. مدل های استفاده شده در این مطالعه عبارتند از:

۱- مدل آنگستروم- پرسکات پیشنهادی توسط فائو

این مدل به دلیل سادگی، کاربرد گسترده‌ای در محاسبه تابش رسیده به سطح زمین دارد و در برآورد تبخیر- تعرق به روش پنمن- مانتیث- فائو برای مناطقی که روش مناسبی جهت محاسبه تابش آن‌ها ارائه نشده و یا مقادیر تابش آن‌ها اندازه‌گیری نمی‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳). مدل آنگستروم- پرسکات به طور کلی به صورت زیر می باشد که در آن R_S تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین (مگاژول بر متر مربع بر روز)، R_a تابش فرازمینی (مگاژول بر متر مربع بر روز)، n ساعات واقعی آفتابی، N ساعات آفتابی حداکثر و a و b ضرایب ثابتی هستند که برای هر منطقه قابل محاسبه است.

$$R_s = R_a(a + b\frac{n}{N}) \qquad (۱)$$

فائو ضرایب a و b را به ترتیب برابر ۰/۲۵ و ۰/۵ پیشنهاد کرده و بنابراین رابطه بالا را به شکل زیر ارائه نموده است:

$$R_s = R_a(0.25 + 0.5\frac{n}{N}) \qquad (۲)$$

۲- مدل آنگستروم- پرسکات واسنجی شده توسط خلیلی و رضائی صدر

این رابطه در واقع همان رابطه آنگستروم- پرسکات می‌باشد که در سال ۱۳۷۶ توسط خلیلی و رضایی صدر برای ایستگاه‌های مختلف ایران واسنجی شده و برای شهر مشهد به صورت رابطه زیر ارائه شده است (۱) :

$$R_s = R_a(0.3 + 0.37\frac{n}{N}) \qquad (۳)$$

۳- مدل آنگستروم- پرسکات واسنجی شده توسط خلیلی و رضائی صدر تحت تأثیر طیف جذبی بخارآب

خلیلی و رضایی صدر اعتقاد داشتند که رابطه آنگستروم- پرسکات تأثیر طیف جذبی بخارآب در اتمسفر را در نظر نمی‌گیرد. بنابراین مدل دیگری برای مناطق مختلف ایران به دست آوردند که برای شهر مشهد به صورت زیراست (۱) :

$$R_s = R_a\left[0.51\exp\left(0.35(\frac{n}{N} - RH)\right)\right] \qquad (۴)$$

در این مدل RH میانگین رطوبت نسبی سه دیدبانی بر حسب صدم می‌باشد.

٤- مدل آنگستروم- پرسکات واسنجی شده توسط علیزاده و خلیلی

مدل آنگستروم- پرسکات در سال ۱۳۸۸ توسط علیزاده و خلیلی نیز برای منطقه مشهد واسنجی شده است (۲). در مطالعه آن‌ها، مقادیر a و b برای مشهد با توجه به داده‌های تابش رسیده به سطح زمین (R_s)، ساعات آفتابی و نیز مقدار تابش فرازمینی (R_a) محاسبه شده به روش آلن و همکاران (۳) در محیط برنامه نویسی $MATLAB$ تخمین زده شد و نتیجه آن به صورت زیر ارائه گردید:

$$R_s = R_a(0.23 + 0.44\frac{n}{N}) \qquad (۵)$$

۵- مدل رگرسیونی علیزاده و خلیلی

این مدل توسط علیزاده و خلیلی و با استفاده از پارامترهای بارش، دماهای بیشینه و کمینه، میانگین رطوبت نسبی و کمبود فشار بخار اشباع، به صورت رابطه زیر ارائه شد (۲).

1- Extraterrestrial Radiation

$$R_s = R_a[0.32 + 0.42\frac{n}{N} - 0.0006RH - 0.0028P - 0.0019(T_{\max} - T_{\min}) - 0.0048D - 0.0007D^2] \quad (۶)$$

در این رابطه RH میانگین رطوبت نسبی روزانه (درصد)، P بارش روزانه (میلی‌متر)، $T_{\max}$ دمای بیشینه (درجه سلسیوس)، $T_{\min}$ دمای کمینه (درجه سلسیوس) و D کمبود فشار بخار اشباع (میلی بار) می باشد.

٦- مدل صباغ

این مدل توسط صباغ در سال ۱۹۷۷ میلادی و به صورت زیر ارائه شد (۱۳) :

$$R_s = 1.53k\exp\left[\frac{L(D - RH^{0.333})}{100 - (\frac{1}{\overline{T}_{\max}})}\right] \quad (۷)$$

که در آن L عرض جغرافیایی محل (rad)، D نسبت ساعات آفتابی به ۱۲ ساعت $(\frac{n}{12})$، RH میانگین روزانه رطوبت نسبی در ماه مربوطه (درصد)، $\overline{T}_{\max}$ میانگین حداکثر دمای روزانه (درجه سلسیوس) و ضریب k برای هر محل مقداری است ثابت و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$k = 100(\lambda N + W_{ij}\cos L) \quad (۸)$$

در این رابطه W_{ij} فاکتور فصلی *Reddy* (۱۱) است و بین ۱/۷ در دسامبر و ۲/۴۸ در ژوئیه متغیر است. همچنین λ عامل عرض جغرافیایی (nm) و برابر است با:

$$\lambda = \frac{0.2}{(1 + 0.1\phi)} \quad (۹)$$

که در آن ϕ عرض جغرافیایی محل (درجه) می باشد. لازم به ذکر است که مقدار تابش به دست آمده با استفاده از این مدل بر اساس متوسط تابش روزانه در ماه مورد نظر می باشد.

۷- مدل گلور- مک کلوت

گلور و مک‌کلوت ضریب a در رابطه آنگستروم- پرسکات را به عرض جغرافیایی ارتباط داده و رابطه زیر را ارائه نمودند(۱) :

$$\frac{R_s}{R_a} = 0.29\cos\phi + 0.52\frac{n}{N} \quad (۱۰)$$

معیارهای آماری واسنجی (شاخص های خطا سنجی)

در این تحقیق برای ارزیابی دقت مدل ها و مقایسه نسبی نتایج مدل های تخمینی با مقادیر اندازه‌گیری شده تابش رسیده به سطح زمین توسط پیرانومتر، آزمون‌هایی که توسط جاکوویدز (۹) پیشنهاد شده است، انجام شد. این محقق نشان داد که استفاده از شاخص‌های $RSME$ [1] و MBE [2] به تنهایی، سبب ایجاد خطا در انتخاب بهترین مدل می‌شود. لذا توصیه نمود که در کنار این دو شاخص، از معیار t که ترکیبی از آن‌ها است نیز، استفاده شود. شاخص‌های ذکر شده به صورت زیر می‌باشند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۱۱)$$

$$MBE = \frac{\sum_{1}^{n}(P_i - O_i)}{n} \quad (۱۲)$$

$$t = \sqrt{\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad (۱۳)$$

در این روابط، P_i مقدار برآورد شده تابش خورشیدی، O_i مقدار اندازه‌گیری‌شده تابش خورشیدی و n تعداد مشاهدات می‌باشد.

نتایج و بحث

در جدول ۱ مقادیر شاخص های آماری R^2، $RSME$، MBE و t که در نتیجه مقایسه مقادیر برآورد شده تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین با استفاده از هفت مدل مختلف معرفی شده در بالا و نیز مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده تابش توسط پیرانومتر (۲۰۰۳-۱۹۸۰) به دست آمده اند، نشان داده شده است. به طور کلی هرچه مقدار شاخص های خطاسنجی، پایین تر بوده و میزان شاخص R^2 یا ضریب تعیین [3] بالاتر باشد، مدل مربوطه دقیق تر و مناسب تر است. لازم به ذکر است که واحد مقادیر تابش بر حسب مگاژول بر متر مربع بر روز می‌باشد.

چنان که در این جدول مشاهده می‌شود، بر اساس میزان ضریب تعیین، مدل های ۱، ۲ و ۴ (به ترتیب برابر ۰/۸۵۰۵، ۰/۸۵۰۷ و ۰/۸۵۰۷) بیش‌ترین همبستگی را با مقادیر واقعی تابش، نشان می دهند. اما با توجه به تفاوت بسیار ناچیز R^2 این مدل‌ها و مقادیر کم تر شاخص های $RMSE$، MBE و t (به ترتیب برابر ۲/۶۸، ۰/۱۶ و ۰/۵۹) در مدل ۱ (آنگستروم- پرسکات پیشنهادی توسط فائو)، می‌توان این مدل را به عنوان مناسب ترین مدل برآورد تابش خورشیدی در این منطقه معرفی نمود. در شکل ۱، میزان همبستگی این سه مدل برتر با مقدار اندازه گیری شده تابش توسط پیرانومتر (تابش واقعی) نشان داده شده است.

1 -Root Mean Square Error
2 -Mean Bios Error
3- Coefficient of determination

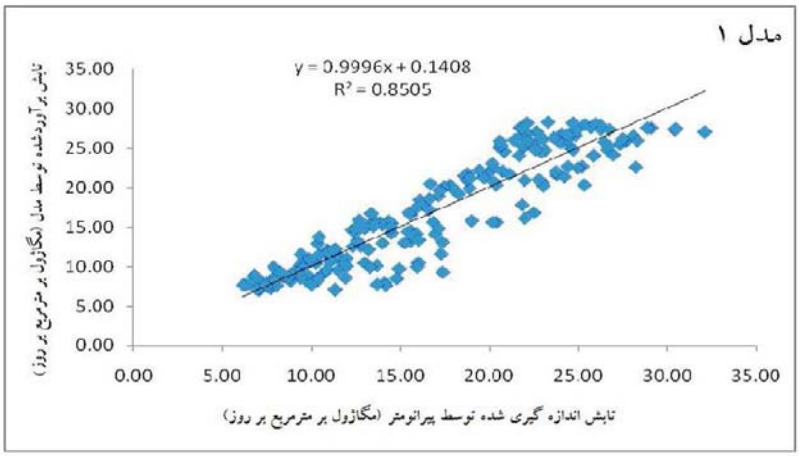
جدول ۱- شاخص های آماری محاسبه شده

شماره مدل	نام مدل	R^2	*RMSE*	*MBE*	*t*
۱	آنگستروم- پرسکات پیشنهادی توسط فائو	۰/۸۵۰۵	۲/۶۸	۰/۱۶	۰/۵۹
۲	آنگستروم- پرسکات واسنجی شده توسط خلیلی و رضایی صدر	۰/۸۵۰۷	۲/۹۶	-۱/۶۰	۶/۲۴
۳	آنگستروم- پرسکات واسنجی شده توسط خلیلی و رضایی صدر تحت تأثیر بخارآب	۰/۸۴۰۸	۲/۶۵	-۰/۹۳	۳/۶۳
۴	آنگستروم- پرسکات واسنجی شده توسط علیزاده و خلیلی	۰/۸۵۰۷	۲/۷۶	-۱/۰۱	۳/۸۰
۵	رگرسیونی علیزاده و خلیلی	۰/۸۴۷۶	۲/۸۶	-۱/۳۴	۵/۱۵
۶	صباغ	۰/۴۹۶۹	۶/۱۵	۴/۱۰	۸/۶۶
۷	گلور- مک کلوت	۰/۸۴۹۹	۲/۷۰	۰/۰۸	۰/۲۹

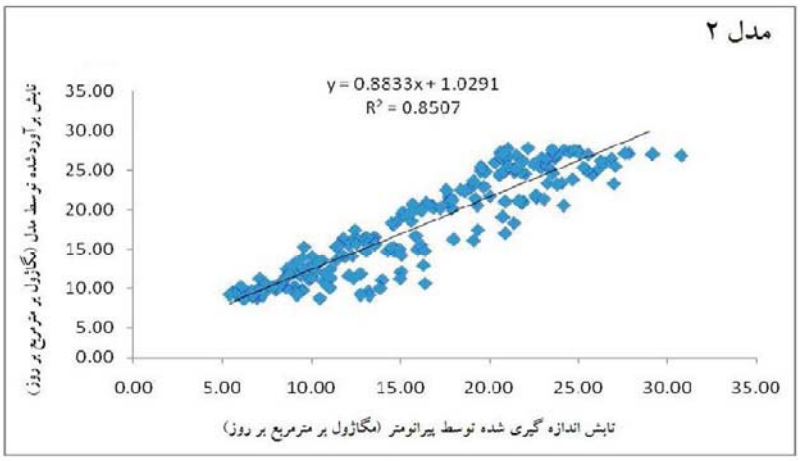
همچنین از بین دو مدل ۲ و ۴ نیز، مدل ۴ (آنگستروم- پرسکات واسنجی شده توسط علیزاده و خلیلی) به علت دارا بودن مقادیر شاخص‌های $RMSE$، MBE و t کم تر(به ترتیب برابر ۲/۷۶، ۱/۰۱- و ۳/۸۰ در مقابل ۲/۹۶، ۱/۶۰- و ۶/۲۴) نسبت به مدل۲ (آنگستروم- پرسکات واسنجی شده توسط خلیلی و رضائی صدر) از دقت بالاتری برخوردار است که علت آن استفاده از داده های جدیدتر و در نتیجه دقیق تر می باشد. پس از مدل های ذکر شده در بالا با توجه به میزان شاخص R^2 (بر اساس بیش ترین همبستگی با مقادیر واقعی) می توان گفت مدل های ۷، ۵ و ۳ به ترتیب در اولویت های بعدی قرار می گیرند. همچنین مشاهده می‌شود که مقیاس تحت بررسی، مدل صباغ نتایج قابل قبولی را ارائه نداده است، بنابراین با توجه به این امر و نیز به دلیل این که این مدل نیاز به پارامترها و محاسبات بیشتری نسبت به سایر مدل ها دارد، استفاده از آن در منطقه مورد مطالعه توصیه نمی‌شود.

در شکل۲ نمودارهای ماهانه مقادیر اندازه گیری شده توسط پیرانومتر و مقادیر برآورد شده تابش خورشیدی توسط هفت مدل تحت بررسی که پس از متوسط گیری از داده های روزانه در دوره آماری مورد نظر (۲۰۰۳-۱۹۸۰) برای هریک از مدل ها به طور جداگانه رسم شده اند، نشان داده شده است. این نمودارها نیز نزدیکی تقریبی مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده تابش خورشیدی در همه مدل های تحت بررسی به جز مدل صباغ (مدل ۶) را مورد تأیید قرار می دهند.

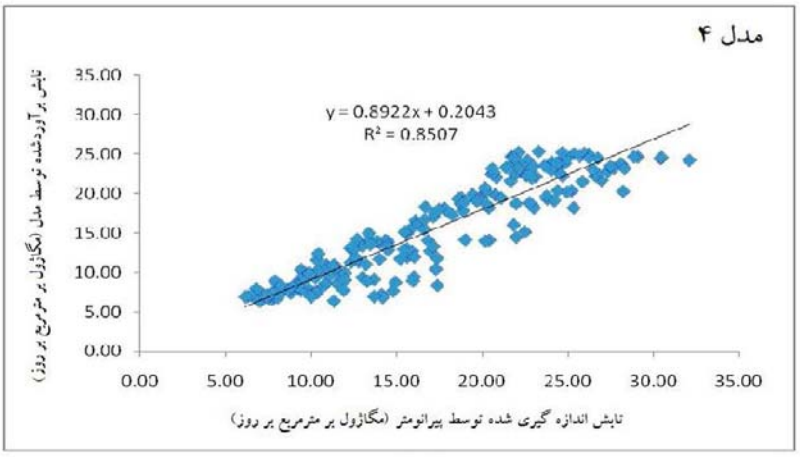
به طور کلی با توجه به همه موارد ذکر شده در بالا می توان گفت که گرچه مدل ۱ در کل نتایج بهتری را نسبت به سایر مدل ها ارائه داده است، اما چنان چه در شکل ۲ مشاهده شد، تفاوت زیادی بین همه مدل های تحت بررسی (به جز مدل ۶) وجود ندارد. همچنین باید این نکته را یادآور شد که با توجه به این که همه روابط برآورد تابش خورشیدی دارای نقص‌هایی می باشند، انتخاب و معرفی بهترین و مناسب ترین مدل برای یک منطقه بسیار مشکل است و مستلزم رعایت نکات زیادی است. به عنوان مثال مدل های ۲ و ۳ که توسط خلیلی و رضایی صدر پیشنهاد شده اند، مدل هایی قدیمی هستند و با توجه به داده های چند سال گذشته واسنجی شده اند. برعکس مدل های ۴ و ۵ که توسط علیزاده و خلیلی واسنجی شده اند با استفاده از داده های جدیدتر به دست آمده‌اند اما تنها داده های هواشناسی ۴ سال آماری در آن‌ها لحاظ شده است. بنابراین با توجه به این نکات پیشنهاد می گردد که محاسبات با استفاده از داده‌های جدیدتر و برای تعداد سال های آماری بیش تری انجام شوند تا نتایج دقیق تر و قابل اعتمادتری به دست آیند.



(الف)

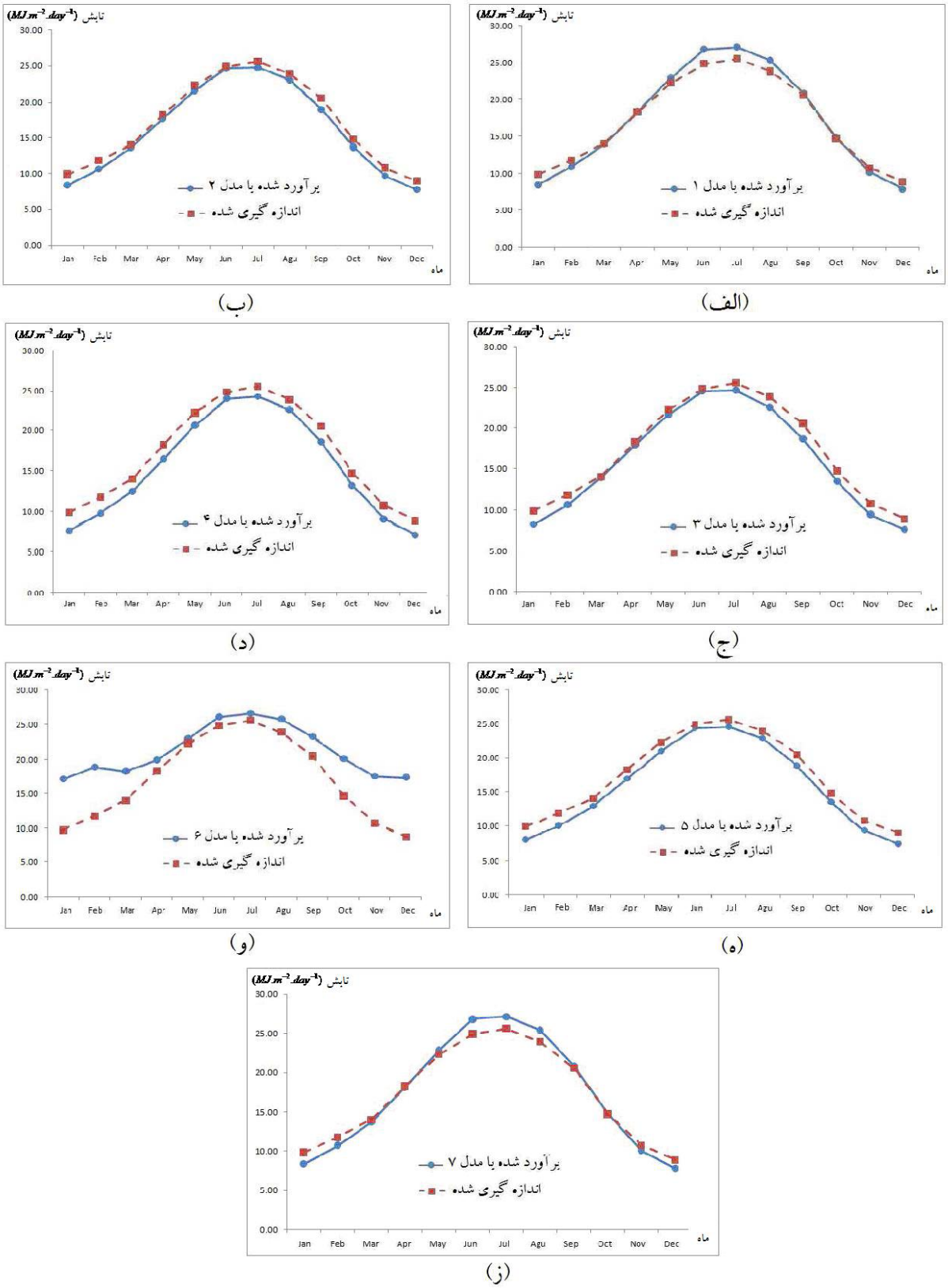


(ب)



(ج)

شکل ۱- میزان همبستگی مدل های (الف) آنگستروم- پرسکات پیشنهادی توسط فائو (مدل ۱)، (ب) آنگستروم- پرسکات واسنجی شده توسط خلیلی و رضائی صدر (مدل ۲) و (ج) آنگستروم- پرسکات واسنجی شده توسط علیزاده و خلیلی (مدل ٤) و مقادیر اندازه گیری شده واقعی تابش توسط پیرانومتر



شکل۲- مقادیرماهانه برآورد شده و اندازه گیری شده تابش خورشیدی برای هفت مدل بررسی شده

منابع

۱- خلیلی ع. و رضایی صدر ح. ۱۳۷۶، برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده های اقلیمی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴۶، ص ۱۵ تا ۳۵.

۲- علیزاده ا. و خلیلی ن. ۱۳۸۸. تعیین ضرایب مدل آنگستروم و توسعه یک مدل رگرسیونی برآورد تابش خورشیدی (مطالعه موردی : منطقه مشهد)، مجله علوم و صنایع کشاورزی (آب و خاک)، جلد ۲۳، شماره ۱، ۲۳۸-۲۲۹.

3- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D. and Smith M. 1998, Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage, Paper No 56, Rome.

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

5- Bristow K.L., Campbell G.S. 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. Agric. Forest. Meteorol. 31: 159–166.

6- Ehnberg J.S.G., Bollen M.H.J. 2005. Simulation of global solar radiation based on cloud observations. Solar Energy 78: 157–162.

7- Elagib N. A., Babiker Sh.F. and Alvi Sh.H. 1998, New empirical models for global solar radiation over Bahrain, Energy Conversion and Management, Mgmt 39(8): 827-835.

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

9- Jacovides C.P. 1997. Reply to comment on Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration models. Agricultural water management 3:95-97.

10- Lopez G., Rubio M.A., and Batlles F.J. 2000. Estimation of hourly direct normal from measured global solar irradiance in Spain, Renewable Energy, 21: 175-186.

11- Reddy S.J. 1971. An empirical method for the estimation of total solar radiation. Solar Energy, 13: 289-291.

12- Rehman Sh. 1998. Solar radiation over Saudi Arabia and comparisons with empirical models, Energy, 23(12): 1077–1082.

13- Sabbagh J., Sayigh, Aam., Al-Salam, EMA. 1997. Estimation of the total solar radiation from meteorological data, Solar Energy, 19: 307-311.

14- Sabziparvar A.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.

15- Skeiker K. 2006. Correlation of global solar radiation with common geographical and meteorological parameters for Damascus province, Syria, Energy Conversion and Management, Mgmt, 47: 331-345.

16- Sozne A. 2005. Solar energy potential in Turkey, Applied Energy 80: 367-381.

17- Togrul I.T., and Onat E. 1999. A study for estimating solar radiation in Elazig using geographical and meteorological data, Energy Conversion & Management 40: 1577-1584.

18- Yang K., Koike T., and Ye B. 2006. Improving estimation of hourly, daily, and monthly solar radiation by importing global data sets, Agricultural and Forest Meteorology 137: 43–55.

Journal of Water and Soil
Vol. 24, No. 4, Sep-Oct 2010, p. 836-844

نشریه آب و خاک
جلد ۲۴، شماره ۴، مهر - آبان ۱۳۸۹، ص. ۸۴۴-۸۳۶

The Investigation of different Models of estimating Solar Radiation to Recommend the Suitable Model in a Semi-arid Climate

M. Mousavi-Baygi [1*]- B. Ashraf [2] - A. Miyanabady [3]

The solar radiation received by earth surface is one of the most applicable parameter that is usable in projects and hydrology, agriculture, Meteorology and climatological modeling. Since very expensive instrument for measuring the radiation, had been suggested many different experimental equations by researchers to estimate this parameter in different climate. In this research, seven models of estimate of short wave solar radiation including 1- the model of Angstrom–Prescott suggested by FAO, 2- the calibrated model of Angstrom–Prescott by Khalili & Rezaei Sadr, 3- the calibrated model of Angstrom–Prescott by Khalili & Rezaei Sadr by using Absorption spectrum of water vapor, 4- calibrated model of Angstrom–Prescott by Alizadeh & Khalili, 5- Linear Regression Model of Alizadeh & Khalili, 6- Sabbagh model and 7- Glover & McCuloch model, were investigated to recommend the suitable model for this area. Results of comparing calculated amounts of these models whit amounts of measured by piranometr shows that by using coefficient of determination, the models of 1, 2 and 4 (equal 0.8505, 0.8507 and 0.8507 respectively) have higher correlation with actual amounts. But because of a little different of R^2 between these models and less amounts of RMSE, MBE and t indexes (equal 2.68, 0.16 and 0.59 respectively) in model 1, can recommend this model as the suitable model of estimate of solar radiation in this climate.

Keywords: Short wave solar radiation, Piranometr, Absorption spectrum of water vapor, Coefficient of determination, Semi-arid climate

1,2- Associate professor and MSc student of Agrometeorology, Water Engineering Dept. Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: mousavi500@yahoo.com)
3- MSc of Agrometeorology