Archive of SID

واسنجی ضرایب معادله آنگستروم– پرسکات در ایستگاه‌های منتخب حوضه آبریز دریاچه ارومیه

سعید مهدی زاده[۱] و جواد بهمنش[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۲۲

چکیده

تخمین صحیح تبخیر- تعرق مرجع (ET_o)، مستلزم برآورد دقیق مقادیر تابش خورشیدی (R_S) می‌باشد. مدل‌های بسیاری برای برآورد تابش خورشیدی وجود دارد، به طوری که یکی از این روابط، معادله آنگستروم– پرسکات (A-P) است. دقت معادله آنگستروم– پرسکات در تخمین میزان تابش خورشیدی، به دقت برآورد ضرایب a و b معادله مذکور بستگی دارد. هدف تحقیق حاضر، بررسی دقت مدل‌های تخمین ضرایب معادله A-P و تأثیر آن‌ها در میزان تابش خورشیدی و تبخیر- تعرق مرجع بود. برای این منظور، داده‌های هواشناسی ۴ ایستگاه سینوپتیک ارومیه، تکاب، مهاباد و سلماس در حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۷ در مقیاس روزانه استفاده گردید. مدل‌های مورد استفاده در تعیین ضرایب معادله آنگستروم– پرسکات شامل مدل‌های بر پایه متوسط سالانه ساعات آفتابی نسبی $(\overline{\frac{n}{N}})$، ارتفاع از سطح دریا و $(\overline{\frac{n}{N}})$، ارتفاع از سطح دریا و عرض جغرافیایی و $(\overline{\frac{n}{N}})$، ارتفاع از سطح دریا و عرض جغرافیایی، متوسط سالانه دمای هوا و ارتفاع از سطح دریا بودند. ضرایب به دست آمده به منظور محاسبه میزان تابش خورشیدی در رابطه آنگستروم– پرسکات قرار گرفت و سپس تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از معادله فائو- پنمن- مونتیث محاسبه گردید. به منظور ارزیابی دقت مدل‌ها از شاخص‌های آماری RMSE، MBE، MPE و R^2 استفاده شد. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد که مدل بر پایه متوسط سالانه ساعات آفتابی نسبی $(\overline{\frac{n}{N}})$ (مدل Rietveld)، دارای بهترین عملکرد در برآورد ضرایب معادله آنگستروم– پرسکات در تمامی ایستگاه‌ها بود. مقدار متوسط شاخص‌های RMSE، MBE، MPE و R^2 برای مقادیر تبخیر-تعرق مرجع واقعی و تبخیر- تعرق مرجع حاصل از ضرایب مدل مذکور به ترتیب ۰/۳۳ mm/day و ۰/۲۵، ۶/۲۷٪ و ۰/۹۹۷۷ به دست آمد. در نهایت ضرایب به دست آمده از مدل منتخب، a = ۰/۲۶ و b= ۰/۴۳، به عنوان ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات در ایستگاه‌های مورد مطالعه پیشنهاد گردیدند.

واژه‌های کلیدی: آنگستروم-پرسکات، تابش خورشیدی، تبخیر-تعرق مرجع، ساعات آفتابی.

[۱] کارشناسی ارشد، دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه ارومیه، ایران، ۰۹۱۴۳۴۳۵۹۹۱، saied.mehdizadeh@gmail.com
[۲] دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه، ایران، ۰۹۱۴۱۴۶۰۲۷۲، j.behmanesh@urmia.ac.ir (مسئول مکاتبه)

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

شدت تبخیر- تعرق از یک سطح مرجع، تبخیر- تعرق گیاه مرجع نامیده شده و با ET_o نشان داده می‌شود. سطح مرجع، یک گیاه چمن فرضی با خصوصیات معین است (Allen et al., 1998). ET_o بخش مهمی از سیکل هیدرولوژیک است که مصارف آب کشاورزی (Allen, 2000; Hunsaker et al., 2002)، مدل‌های زیست محیطی (Fisher et al., 2005)، شرایط خشکی یا رطوبت (Wu et al., 2006) و برآورد بارش- رواناب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای برآورد ET_o به داده‌های درجه حرارت، رطوبت، سرعت باد و تابش خورشیدی نیاز است. تابش خورشیدی (R_S)، یکی از پارامترهای کلیدی برای برآورد تبخیر- تعرق مرجع است. با این حال، در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی، داده‌های مربوط به تابش خورشیدی در دسترس نیستند (Liu and Scott, 2001; Abraha and Savage, 2008). بنابراین برای برآورد R_S ناگزیر به استفاده از مدل‌ها و روابط تجربی می‌باشد. به طور کلی معادلات تجربی برآورد تابش خورشیدی را می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی کرد. اول معادلاتی که مبنای آن‌ها، ساعات آفتابی است (Angstrom, 1924; Prescott, 1940)، دوم معادلاتی که مبنای آن‌ها، دمای هوا است (Bristow and Campbell, 1984) و سوم معادلاتی که بر مبنای ابرناکی محاسبه می‌شوند (Ehnberg and Bollen, 2005). یکی از مدل‌های معروف که بر پایه ساعات آفتابی است، رابطه آنگستروم-پرسکات می‌باشد. این روش برای محاسبه تابش خورشیدی در ابتدا توسط Angstrom (1924) پیشنهاد و سپس به وسیله Prescott (1940) اصلاح گردید. نتایج تحقیقات بسیاری از محققین ثابت کرده است که در صورت اصلاح و واسنجی این معادله، نتایج مربوط به تخمین تابش خورشیدی قابل اعتماد خواهد بود (Chen et al., 2005; Niu et al., 2002). Penman (1956) ضرایب a و b را در انگلستان به ترتیب برابر ۰/۱۸ و ۰/۵۵ گزارش نموده و پیشنهاد نموده است که چون این مطالعه در اقلیم‌های مختلفی انجام گرفته، این ضرایب می‌تواند به طور گسترده‌ای در مناطق مشابه نیز مورد استفاده گیرد. Rehman (1998)، ۱۶ مدل مختلف برآورد تابش را در ۴۱ ایستگاه در عربستان سعودی با شرایط جغرافیایی و اقلیمی مختلف مورد ارزیابی قرار داد و ضرایب معادله خطی آنگستروم-پرسکات را به صورت a = ۰/۳۴۶۵ و b = ۰/۳۵۲ گزارش نمود. Almorox and Hontoria (2004) براساس داده‌های ۱۶ ایستگاه در اسپانیا، ضرایب a و b را به ترتیب برابر ۰/۲۱۷ و ۰/۵۴۵۳ در بازه زمانی سالانه ارائه نمودند. Yin et al. (2008) با استفاده از اطلاعات ۸۱ ایستگاه هواشناسی چین و در بازه زمانی ۲۰۰۰-۱۹۷۱، ضرایب a و b معادله آنگستروم-پرسکات را به ترتیب برابر ۰/۲ و ۰/۷۹ پیشنهاد نمودند. Liu et al. (2012) با استفاده از داده‌های ۸۰ ایستگاه هواشناسی و در سه منطقه اقلیمی در چین، ۷ مدل مختلف را برای به دست آوردن ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل بر پایه ارتفاع ایستگاه از سطح دریا، بهترین مدل برای تعیین ضرایب a و b معادله آنگستروم است. در ایران نیز تحقیقات متعددی انجام گرفته است. علیزاده و خلیلی (۱۳۸۸) با استفاده از داده‌های روزانه اندازه‌گیری شده R_S در سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۰ در ایستگاه سینوپتیک مشهد، ضرایب رابطه آنگستروم- پرسکات را مورد واسنجی قرار داده و دو ضریب a و b را به ترتیب برابر ۰/۲۳ و ۰/۴۴پیشنهاد نمودند. آقاشریعتمداری و همکاران (۱۳۹۰)، ضرایب رابطه آنگستروم-پرسکات را در ایستگاه تهران شمال (اقدسیه) واسنجی و تغییرات این ضرایب در مقیاس‌های زمانی مختلف را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با استفاده از داده‌های روزانه و ماهانه، ضرایب رابطه A-P تفاوت آشکاری با یکدیگر دارند و رابطه حاصل از تحلیل داده‌های ماهانه، دارای ضریب تبیین بالاتری است.

www.SID.ir

Archive of SID

پیرو مطالب ارائه شده، واسنجی ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات در هر منطقه یکی از ملزومات برآورد صحیح میزان تابش خورشیدی با استفاده از رابطه A-P است و واسنجی ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات در حوضه آبریز دریاچه ارومیه تاکنون انجام نگرفته است. بنابراین هدف از این تحقیق، واسنجی ضرایب a و b رابطه A-P و بررسی تغییرات ET_o ناشی از تابش خورشیدی به دست آمده با ضرایب واسنجی شده معادله آنگستروم-پرسکات با مقادیر ET_o واقعی معادله فائو- پنمن- مونتیث در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بود.

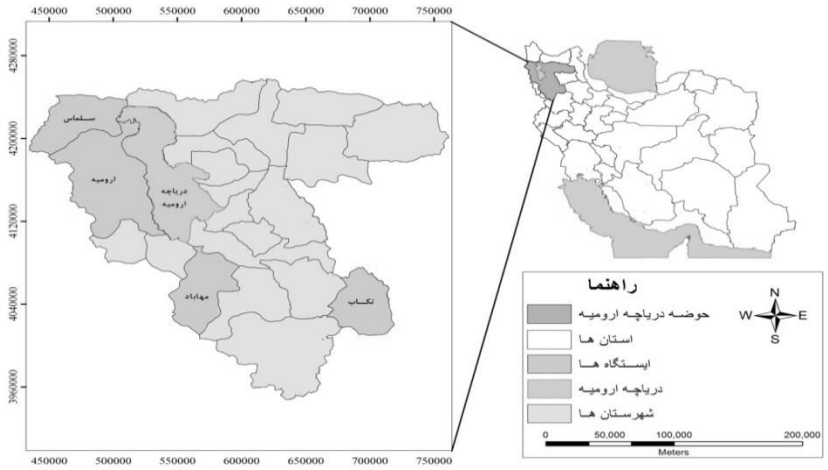
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه، یکی از کوچک‌ترین حوضه‌های منطقه‌ای ایران است که در بخش شمال‌غرب ایران واقع شده است. این حوضه، با وسعتی برابر ۵۲۷۰۰ کیلومتر مربع و مساحتی معادل ۳/۲ درصد مساحت کل کشور، بین مدارهای ´۰۷ °۴۴ تا ´۵۳ °۴۷ طول شرقی و ´۴۰ °۳۵ تا ´۳۰ °۳۸ عرض شمالی قرار گرفته است. در این مطالعه، داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک ارومیه، تکاب، مهاباد و سلماس در حوضه آبریز دریاچه ارومیه مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده و شکل ۱، موقعیت ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که موقعیت منطقه جغرافیایی مورد مطالعه و قرارگیری آن در کنار دریاچه ارومیه و بحران آبی دریاچه ارومیه، به اهمیت تحقیق و ارزیابی پارامترهای هواشناسی، تابش خورشیدی و در نهایت تبخیر- تعرق در این منطقه می‌افزاید.

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی (دقیقه-درجه)	عرض جغرافیایی (دقیقه-درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
ارومیه	۴۵-۰۳	۳۷-۴۰	۱۳۲۸
تکاب	۴۷-۰۶	۳۶-۲۴	۱۸۱۷/۲
مهاباد	۴۵-۴۳	۳۶-۴۵	۱۳۵۱/۸
سلماس	۴۴-۵۱	۳۸-۱۳	۱۳۳۷



شکل (۱): موقعیت ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

روش تحقیق

مدل‌های برآورد ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات

معادله آنگستروم-پرسکات براساس رابطه خطی بین نسبت تابش خورشیدی به تابش برون جوی ($\frac{R_s}{R_a}$) و نسبت ساعات واقعی آفتابی به حداکثر ممکن ساعات آفتابی ($\frac{n}{N}$) به صورت رابطه ۱ است.

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

که در آن، ضرایب $a = 0.25$ و $b = 0.5$ ثابت‌های تجربی آنگستروم-پرسکات هستند که توسط فائو پیشنهاد شده‌اند. برای واسنجی ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات، مدل‌ها و روابط زیادی ارائه شده است که با توجه به داده‌های موجود، ۷ مدل در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت.

مدل ۱ (Rietveld, 1978)

این مدل توسط Rietveld (1978) با استفاده از اطلاعات ۴۲ ایستگاه ارائه شده و به طور گسترده‌ای برای تعیین ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات مورد استفاده است.

$$a = 0.1 + 0.24\left(\overline{\frac{n}{N}}\right) \qquad (۲)$$

$$b = 0.38 + 0.08\left(\overline{\frac{n}{N}}\right) \qquad (۳)$$

مدل ۲ (Frere et al., 1978; Samuel, 1991)

Frere et al. (1978) و Samuel (1991)، این مدل را با توجه به مقادیر $\left(\overline{\frac{n}{N}}\right)$ یعنی متوسط سالانه نسبت ساعات آفتابی واقعی به حداکثر ممکن ساعات آفتابی و داده‌های ۱۸ ایستگاه که در عرض جغرافیایی ´۵۰ °۳۴ تا ´۰۰ °۵۲ قرار گرفته بودند، ارائه نمودند.

$$a = -0.27 + 1.75\left(\overline{\frac{n}{N}}\right) - 1.34\left(\overline{\frac{n}{N}}\right)^2 \qquad (۴)$$

$$b = 1.32 - 2.93\left(\overline{\frac{n}{N}}\right) + 2.3\left(\overline{\frac{n}{N}}\right)^2 \qquad (۵)$$

مدل ۳ (Gopinathan, 1988a)

این مدل توسط گوپینتان Gopinathan (1988a) با استفاده از اطلاعات ۱۶ ایستگاه در آفریقای جنوبی (داده‌های ۱۲ ایستگاه برای توسعه و تعیین ضرایب و ۴ ایستگاه برای واسنجی ضرایب) برای تعیین ضرایب معادله آنگستروم پیشنهاد شد.

$$a = 0.265 + 0.07\,Z - 0.135\left(\overline{\frac{n}{N}}\right) \qquad (۶)$$

$$b = 0.401 - 0.108\,Z + 0.325\left(\overline{\frac{n}{N}}\right) \qquad (۷)$$

که در این رابطه، Z ارتفاع ایستگاه از سطح دریا (بر حسب کیلومتر) می‌باشد.

مدل ۴ (Gopinathan, 1988b)

Gopinathan (1988b) مدل زیر را برای تخمین ضرایب معادله آنگسترم-پرسکات با استفاده از داده‌های ۴۰ ایستگاه که در محدوده عرض جغرافیایی °۳۴ تا °۵۰ قرار گرفته بودند ارائه نمود.

$$a = -0.309 + 0.539\cos\varphi - 0.0693\,Z + 0.290\left(\overline{\frac{n}{N}}\right) \qquad (۸)$$

$$b = 1.527 - 1.027\cos\varphi + 0.0926\,Z - 0.359\left(\overline{\frac{n}{N}}\right) \qquad (۹)$$

که در این روابط، φ عرض جغرافیایی ایستگاه (بر حسب درجه) است.

مدل ۵ (Jin et al., 2005)

مدل ارائه شده توسط Jin et al. (2005) که با استفاده از داده‌های ۶۹ ایستگاه هواشناسی در چین حاصل شده، به صورت زیر است.

www.SID.ir

Archive of SID

$$a = 1.8790 - 1.7516\cos\varphi + 0.0205\,Z \quad (۱۰)$$

$$b = 1.0819 - 0.5409\cos\varphi + 0.0169\,Z \quad (۱۱)$$

مدل ۶ (Liu et al., 2009)

این مدل و نیز مدل ۷، توسط Liu et al. (2009) با داده‌های ۳۳ ایستگاه در چین به دست آمده است. این مدل با مدل‌های ۱ تا ۵ تفاوت دارد. به این صورت که شامل دو مرحله است. در ابتدا ضریب b توسط یکی از روابط مربوطه به دست آمده، سپس با جایگذاری ضریب به دست آمده در رابطه ۱۳، ضریب a حاصل می‌شود.

$$b = 4.33\times10^{-4}T^2 - 0.0126T + 0.6289 \quad (۱۲)$$

$$(a+b) = -0.00966\,T + 0.8424 \quad (۱۳)$$

که در روابط اخیر، T متوسط سالانه بلند مدت دمای روزانه هوا (°C) می باشد.

مدل ۷ (Liu et al., 2009)

این مدل، مشابه مدل ۶ یک مدل دو مرحله‌ای است.

$$a = 0.0157\,Z + 0.1705 \quad (۱۴)$$

$$(a+b) = 0.0358\,Z + 0.7121 \quad (۱۵)$$

معادله فائو-پنمن- مونتیث

جهت تعیین مقادیر ET_o روزانه، ابتدا با استفاده از داده‌های روزانه پارامترهای هواشناسی، مقادیر ET_o روزانه از روش فائو-پنمن-مانتیث (FP-M) (رابطه ۱۶) برای دوره آماری موجود محاسبه شد. معادله فائو-پنمن-مونتیث به عنوان روش استاندارد برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفت. علت این انتخاب این است که Allen et al. (1998) مدل مذکور را به عنوان یک روش استاندارد برای تخمین تبخیر-تعرق پتانسیل پیشنهاد کردند.

معادله فائو-پنمن-مونتیث به صورت زیر است؛

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma\frac{900}{T+273}U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\,U_2)} \quad (۱۶)$$

که در آن:

ET_o: تبخیر-تعرق مرجع (mm/day)، R_n: تابش خالص ورودی به سطح گیاه ($MJ/m^2.day$)، G: شار گرمای خاک ($MJ/m^2.day$)، T: میانگین روزانه دمای هوا (°C)، U_2: میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (m/sec)، e_a: فشار بخار اشباع (KPa)، e_d: فشار بخار واقعی (KPa)، e_a-e_d: کمبود فشار بخار اشباع (KPa)، Δ: شیب منحنی فشار بخار اشباع (KPa/°C)، γ: ضریب ثابت سایکرومتری (KPa/°C)، ۹۰۰: ضریبی برای گیاه مرجع (Kg °K /KJ/day) و ۰/۳۴: ضریب باد برای گیاه مرجع (sec/m).

در این تحقیق، برای واسنجی ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات (a و b) و نیز محاسبه روزانه تابش خورشیدی و سپس مقادیر تبخیر-تعرق مرجع، از داده‌های ثبت شده پارامترهای هواشناسی طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۷ در ایستگاه‌های ذکر شده استفاده گردید. برای آزمودن کفایت طول داده‌ها از نمایه هرست استفاده شد. این نمایه برای سنجش حافظه بلند مدت یک سری زمانی به کار گرفته می‌شود. داده‌های مورد استفاده شامل پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، ساعت آفتابی، سرعت باد، فشار بخار، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر بود. مدل‌های شرح داده شده در بالا نیز به منظور برآورد صحیح ضرایب رابطه آنگستروم-پرسکات و محاسبه تابش خورشیدی (R_S) با استفاده از رابطه ۱ و مقایسه آن با استفاده از تبخیر- تعرق مرجع است. شایان ذکر است که برای واسنجی ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات، مقادیر تابش خورشیدی واقعی اندازه‌گیری شده با پیرانومتر با مقادیر برآورد شده تابش با استفاده

www.SID.ir

Archive of SID

از رابطه A-P مورد مقایسه قرار می‌گیرد. پیرانومتر دستگاه سنجنده شدت تابش خورشیدی است که دارای حسگری از نوع فوتودیود سیلیکونی است که قادر است شدت انرژی تابش خورشیدی را از ۰ تا ۱۸۰۰ وات بر متر مربع اندازه‌گیری نماید. ولی چون در ایستگاه‌های مورد مطالعه، مقادیر تابش اندازه‌گیری شده در دسترس و موجود نبود، بنابراین تبخیر-تعرق مرجع واقعی حاصله از معادله فائو-پنمن-مونتیث با مقادیر تبخیر-تعرق مرجع حاصله از تابش خورشیدی برآورد شده با استفاده از ضرایب واسنجی شده معادله A-P مورد مقایسه قرار گرفتند.

شاخص‌های عملکرد

به منظور بررسی تأثیر روش (مدل) مورد استفاده در تعیین ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات و نیز تأثیر تابش خورشیدی به دست آمده با استفاده از ضرایب حاصل شده در هر روش در تعیین مقادیر ET_o، از شاخص‌های آماری RMSE (ریشه میانگین مربعات خطا) (رابطه ۱۷)، MBE (متوسط خطای گرایش یا بایاس) (رابطه ۱۸) و MPE (متوسط درصد خطا) (رابطه ۱۹) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(X_{o,i}-X_{p,i})^2}{N}} \quad (۱۷)$$

$$MBE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(X_{o,i} - X_{p,i}) \quad (۱۸)$$

$$MPE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{(X_{o,i}-X_{p,i})}{X_{p,i}} \times \%100 \quad (۱۹)$$

که در این روابط، $X_{o,i}$ میزان ETo محاسبه شده با استفاده از رابطه ارائه شده در این تحقیق برای محاسبه R_s (رابطه ۱) و نیز ضرایب به دست آمده برای هر مدل، $X_{p,i}$ میزان ET_o محاسبه شده با استفاده از رابطه ارائه شده توسط فائو برای محاسبه R_s و N نیز تعداد مشاهدات است. شاخص RMSE، امکان مقایسه مابین مقادیر مشاهداتی و برآوردی را فراهم می‌نماید که مقدار پایین این شاخص، نمایانگر عملکرد بهتر روش (مدل) مورد نظر است. شاخص MBE ، نشان‌دهنده گرایش داده‌های برآوردی به مقدار واقعی آنها می‌باشد؛ به طوری که مقادیر نزدیک به صفر، بیانگر مطلوبیت روش مورد استفاده است. شاخص MPE نیز متوسط درصد خطای هر مدل است که مقادیر کمتر این شاخص، بیانگر عملکرد بهتر مدل مورد نظر در تخمین ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات است.

به این منظور سه گام انجام گرفته در این تحقیق به صورت زیر بود:

۱- تعیین ضرایب واسنجی شده a و b برای هر ایستگاه با مدل‌های مختلف و سپس محاسبه تابش خورشیدی با استفاده از ضرایب به دست آمده و رابطه آنگستروم-پرسکات.

۲- تعیین ET_o با مقادیر تابش به دست آمده از مرحله اول

۳- مقایسه مقادیر ET_o به دست آمده از مرحله دوم با ET_o واقعی معادله فائو-پنمن-مونتیث با استفاده از شاخص‌های آماری و انتخاب بهترین مدل برای کالیبره کردن ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات.

نتایج و بحث

نتایج آزمون هرست مبنی بر کفایت طول داده‌ها، دلالت بر کافی بودن طول داده‌ها در ایستگاه‌های منتخب داشتند. در ابتدا ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات (a و b) برای هر ایستگاه محاسبه شد که مقادیر ضرایب واسنجی شده در جدول ۲ ارائه شده است. جدول ۳ نیز، مقادیر شاخص‌های آماری RMSE، MBE، MPE و R^2 را برای تبخیر-تعرق مرجع (ET_o) محاسبه شده با استفاده از مدل‌های مختلف برآورد ضرایب معادله A-P با مقادیر واقعی ET_o نشان می‌دهد. شکل‌های ۲ تا ۸ نیز نمودارهای یک به یک رسم شده مابین مقادیر ET_o واقعی و برآورد شده را برای ایستگاه سینوپتیک ارومیه نشان می‌دهند که هر نقطه بر روی نمودارهای مزبور، معرف مقدار واقعی و متناظر با آن، مقدار برآورد شده ET_o

www.SID.ir

Archive of SID

توسط مدل مربوطه است. مقادیر R^2 در جدول ۳ با استفاده از ضرایب تبیین خط برازش داده شده حاصل شده‌اند. مشابه نمودارهای مورد نظر برای سایر ایستگاه‌ها نیز حاصل شد.

جدول (۲): ضرایب a و b معادله آنگستروم-پرسکات در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	مدل ۱		مدل ۲		مدل ۳		مدل ۴		مدل ۵		مدل ۶		مدل ۷	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
ارومیه	۰/۲۶	۰/۴۳	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۲۷	۰/۴۸	۰/۲۲	۰/۶۰	۰/۵۲	۰/۶۸	۰/۱۸	۰/۵۴	۰/۱۹	۰/۵۷
تکاب	۰/۲۶	۰/۴۳	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۳۰	۰/۴۲	۰/۱۹	۰/۶۳	۰/۵۱	۰/۶۸	۰/۱۹	۰/۵۴	۰/۲۰	۰/۵۸
مهاباد	۰/۲۶	۰/۴۳	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۲۷	۰/۴۷	۰/۲۲	۰/۵۹	۰/۵۰	۰/۶۷	۰/۱۶	۰/۵۴	۰/۱۹	۰/۵۷
سلماس	۰/۲۵	۰/۴۳	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۲۷	۰/۴۶	۰/۲۱	۰/۶۲	۰/۵۳	۰/۶۸	۰/۱۹	۰/۵۴	۰/۱۹	۰/۵۷

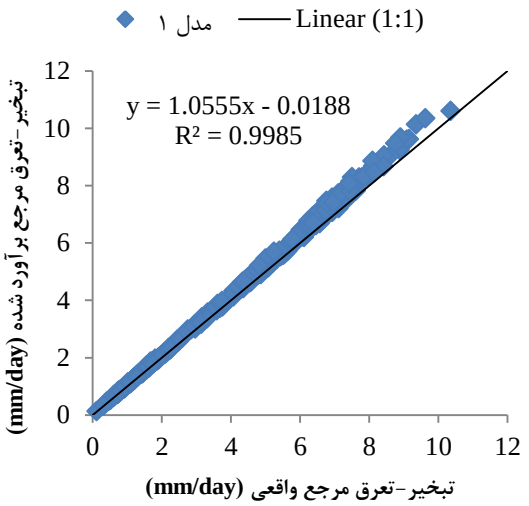
جدول (۳): مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق مرجع (ET_o) محاسبه شده با استفاده از مدل‌های مختلف برآورد ضرایب معادله A-P با مقادیر واقعی ET_o

ایستگاه	شاخص آماری	مدل‌های تخمین ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات						
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
ارومیه	RMSE*	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۴۰	۰/۵۶	۱/۷۳	۰/۳۰	۰/۴۰
	MBE	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۴۱	۱/۳۳	۰/۲۱	۰/۲۹
	MPE	۵/۲۱	۵/۸۹	۷/۲۱	۹/۰۵	۲۸/۹۱	۴/۸۰	۶/۳۷
	R^2	۰/۹۹۸۵	۰/۹۹۸۷	۰/۹۹۷۸	۰/۹۹۵۵	۰/۹۸۱۹	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۶۷
تکاب	RMSE	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۴۵	۰/۶۱	۱/۷۳	۰/۳۹	۰/۵۲
	MBE	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۳۴	۰/۴۳	۱/۳۵	۰/۲۷	۰/۳۷
	MPE	۶/۲۷	۷/۰۶	۸/۱۸	۹/۵۶	۳۰/۶۶	۶/۰۸	۸/۲۵
	R^2	۰/۹۹۸۲	۰/۹۹۸۵	۰/۹۹۸۳	۰/۹۹۵۱	۰/۹۹۲۵	۰/۹۹۶۷	۰/۹۹۶۱
مهاباد	RMSE	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۵۹	۰/۷۸	۲/۱۱	۰/۴۱	۰/۶۰
	MBE	۰/۳۵	۰/۳۷	۰/۴۵	۰/۵۸	۱/۶۵	۰/۲۸	۰/۴۴
	MPE	۸/۰۲	۸/۷۸	۱۰/۱۶	۱۲/۴۴	۳۴/۸۰	۶/۰۸	۹/۴۸
	R^2	۰/۹۹۵۷	۰/۹۹۶	۰/۹۹۴۴	۰/۹۹۰۵	۰/۹۷۲۶	۰/۹۹۳۹	۰/۹۹۲۳
سلماس	RMSE	۰/۲۵	۰/۳۱	۰/۳۶	۰/۵۶	۱/۷۱	۰/۳۱	۰/۳۸
	MBE	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۴۲	۱/۳۴	۰/۲۳	۰/۲۸
	MPE	۵/۵۹	۷/۰۱	۷/۶۰	۱۰/۰۸	۳۱/۲۵	۵/۹۰	۷/۰۴
	R^2	۰/۹۹۸۳	۰/۹۹۸۶	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۵۴	۰/۹۸۷۶	۰/۹۹۷	۰/۹۹۶۵

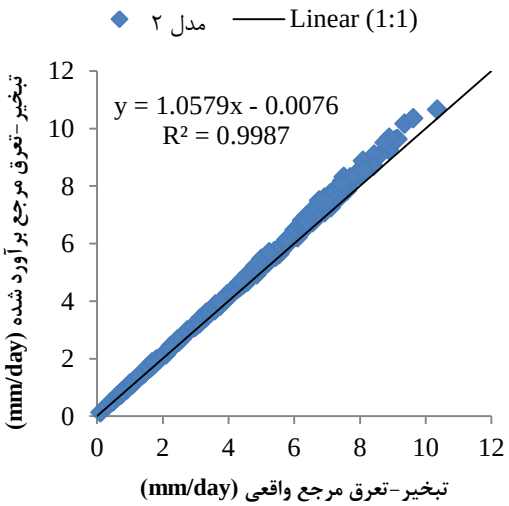
*RMSE و MBE بر حسب mm/day و MPE با واحد % هستند.

www.SID.ir

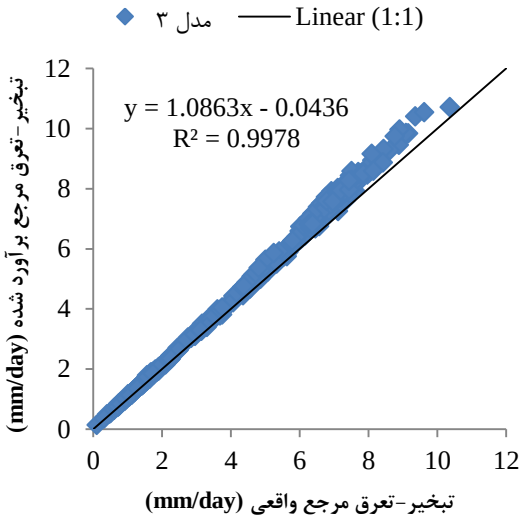
Archive of SID



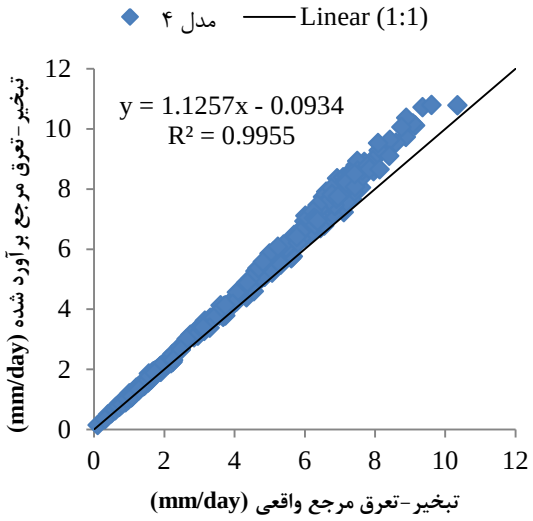
شکل (۲): مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق مرجع واقعی و توسط مدل ۱ برآورد شده



شکل (۳): مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق مرجع واقعی و برآورد شده توسط مدل ۲



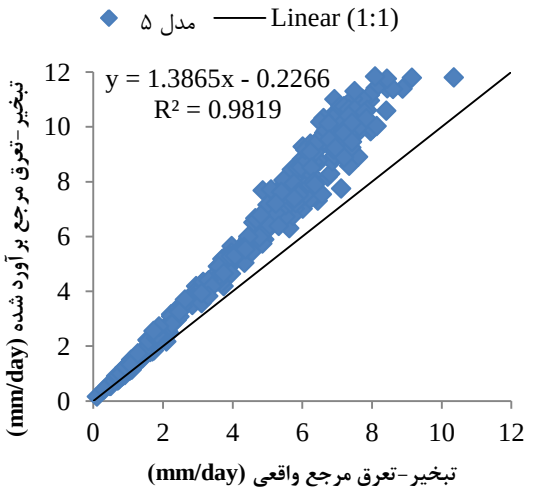
شکل (۴): مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق مرجع واقعی و توسط مدل ۳ برآورد شده



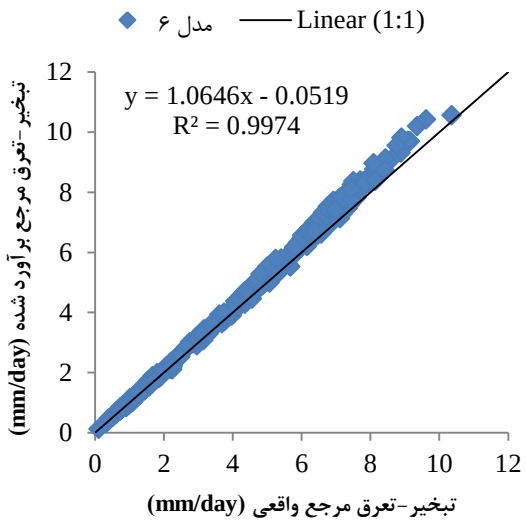
شکل (۵): مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق مرجع واقعی و توسط مدل ۴ برآورد شده

www.SID.ir

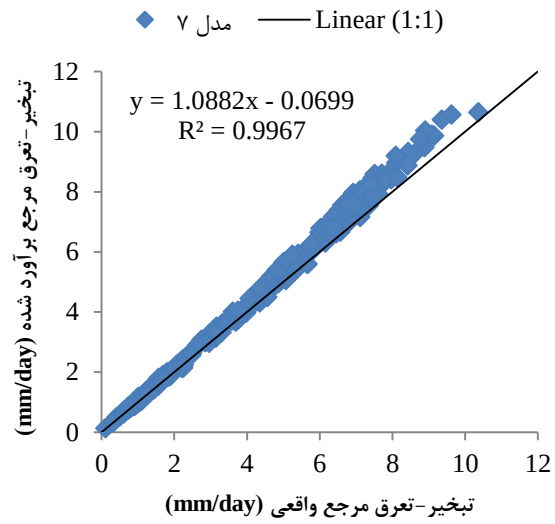
Archive of SID



شکل (۶): مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق مرجع واقعی و توسط مدل ۵ برآورد شده



شکل (۷): مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق مرجع واقعی و توسط مدل ۶ برآورد شده



شکل (۸): مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق مرجع واقعی و برآورد شده توسط مدل ۷

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به ضرایب a و b ارائه شده در جدول ۲، مشاهده می‌شود که در مدل ۵، مقدار ضریب a بسیار بیشتر از ضریب مشابه برای سایر مدل‌ها به دست آمده، در حالی که مدل‌های دیگر مقادیر تقریباً یکسانی از این ضریب را (نسبت به مدل ۵) ارائه دادند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل ۵، نامناسب‌ترین روش برای تخمین ضریب a معادله آنگستروم-پرسکات است. بنابراین دامنه تغییرات ضریب a در کل حوضه را می‌توان از ۰/۱۶ تا ۰/۳۰ (بدون در نظر گرفتن مدل ۵ که نامناسب‌ترین مدل بود) در نظر گرفت. همچنین دامنه تغییرات ضریب b نیز از ۰/۳۹ تا ۰/۶۸ متغیر بود.

با توجه به مقادیر RMSE، MBE و MPE ارائه شده در جدول ۳ مشاهده می‌شود که مقادیر ET_o تخمین زده شده از یک ایستگاه به ایستگاه دیگر با یکدیگر تفاوت دارند. مقادیر RMSE، MBE و MPE برای مدل ۱ در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه کمترین مقدار حاصل شد (۰/۲۵ mm/day تا ۰/۴۶، ۰/۱۹ mm/day تا ۰/۳۵ و ۵/۲۱٪ تا ۸/۰۲٪ به‌ترتیب برای RMSE، MBE و MPE). بنابراین مدل ۱ بهترین مدل برای تخمین ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات و سپس محاسبه تابش خورشیدی (R_s) با استفاده از ضرایب به دست آمده و رابطه ۱ و در نتیجه تعیین مقدار ET_o برای منطقه مورد مطالعه بود. دامنه تغییرات RMSE، MBE و MPE برای مدل ۵ نیز به ترتیب از ۱/۷۱ mm/day تا ۲/۱۱، ۱/۳۳ mm/day تا ۱/۶۵ و ۲۸/۹۱٪ تا ۳۴/۸۰٪ متغیر بود که بیشترین مقدار مشاهداتی برای این شاخص‌ها در تمامی ایستگاه‌ها بود که این امر، بیانگر عملکرد نامطلوب این مدل در منطقه مورد مطالعه است.

همچنین با توجه به مقادیر مثبت شاخص MBE در جدول ۳ مشاهده می‌شود که برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه و نیز تمامی مدل‌های مورد استفاده در تخمین ضرایب معادله A-P و سپس برآورد R_s، مقدار ET_o تخمین زده شده همواره بیشتر از مقدار ET_o واقعی معادله فائو-پنمن-مونتیث است.

در شکل‌های ۲ تا ۸، خط رسم شده نشان‌دهنده خط ۱:۱ یعنی خط مطلوب تخمین مقادیر ET_o است. به طوری که مشاهده می‌شود؛ تمامی مدل‌های مورد استفاده، دارای بیش‌برآوردی در تخمین مقادیر ET_o بودند که این موضوع با شاخص آماری MBE نیز مشاهده شده بود. به طوری که مدل ۵ به علت برآورد زیاد ضرایب a و b معادله آنگستروم-پرسکات، دارای بیشترین بیش‌برآوردی و دو مدل ۱ و ۲ دارای کمترین بیش برآوردی در برآورد مقادیر تبخیر-تعرق مرجع بودند.

سپس براساس شاخص‌های آماری تعیین شده، مطلوبیت عملکرد مدل‌های مورد استفاده برای هر ایستگاه تعیین و رتبه‌بندی شد که نتایج مربوطه در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول (۴): رتبه‌بندی مدل‌های مختلف تعیین ضرایب معادله A-P و سپس برآورد R_s برای تعیین ET_o بر اساس شاخص RMSE

ایستگاه	مدل‌های تخمین ضرایب معادله A-P						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
ارومیه	۱	۲	۵	۶	۷	۳	۴
تکاب	۱	۲	۴	۶	۷	۳	۵
مهاباد	۲	۳	۴	۶	۷	۱	۵
سلماس	۱	۳	۴	۶	۷	۲	۵

www.SID.ir

Archive of SID

تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، مدل ۱ بهترین (به جز ایستگاه مهاباد که مدل ۱ دومین مدل برتر بود) و مدل ۵ ضعیف‌ترین مدل برای تخمین ضرایب معادله آنگستروم-پرسکات و سپس برآورد R_s هستند. نتایج مشابه با تحقیق حاضر در عملکرد مناسب مدل ۱ در تخمین ضرایب معادله A-P، توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است. Pryor And Nguyen (1997) در ویتنام و Soler (1990) با استفاده از اطلاعات ۷۷ ایستگاه هواشناسی در اروپا، عملکرد بهتر مدل ۱ را نسبت به سایر مدل‌ها تأیید نمودند. Bahel et al. (1987) با داده‌های ۱۴۰ ایستگاه در سرتاسر جهان و Ertekin and Yaldiz (2000) در ترکیه نیز به نتایج مشابهی دست یافته بودند. در مدل ۱، ضرایب a و b معادله A-P به صورت رابطه خطی از متوسط سالانه ساعات آفتابی محاسبه می‌شود. در حالی که در سایر مدل‌های مورد استفاده، این دو ضریب به صورت ترکیبات مختلفی از متوسط سالانه ساعات آفتابی، متوسط سالانه دمای هوا، ارتفاع از سطح دریا و عرض جغرافیایی ارائه شده‌اند. عملکرد مطلوب مدل ۱ در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، می‌تواند به‌دلیل وابستگی و تأثیرپذیری بیشتر دو ضریب a و b رابطه A-P و در نهایت تابش خورشیدی از پارامتر ساعات آفتابی در مقایسه با سایر پارامترهای مورد استفاده در سایر مدل‌ها باشد.

نتیجه‌گیری

معادله آنگستروم-پرسکات (A-P) یکی از روش‌های بر پایه ساعات آفتابی است که به طور گسترده‌ای برای محاسبه تابش خورشیدی (R_s) و سپس تبخیر-تعرق مرجع (ET_o) مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، نکته اساسی در کاربرد این رابطه و نیز حصول عملکرد مطلوب، واسنجی محلی این معادله در منطقه مورد مطالعه است. در تحقیق حاضر، ۷ مدل مختلف ارائه شده برای واسنجی ضرایب معادله A-P مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که برای ایستگاه‌های مورد مطالعه، مدل ۱ برای برآورد ضرایب a و b معادله آنگستروم-پرسکات در اولویت استفاده است و در صورت امکان باید از مدل ۵ (به دلیل کمترین دقت) اجتناب نمود. بنابراین ضرایب حاصل از مدل ۱ (a =۰/۲۶ و b =۰/۴۳) می‌توانند به عنوان ضرایب پیشنهادی برای تعیین میزان تابش خورشیدی با استفاده از رابطه آنگستروم-پرسکات و سپس تبخیر-تعرق مرجع در غرب و جنوب حوضه آبریز دریاچه ارومیه معرفی و پیشنهاد گردند.

منابع

آقاشریعتمداری، ز.، ع. خلیلی، پ. ایران نژاد و ع. لیاقت. ۱۳۹۰. واسنجی و تغییرات سالانه ضرایب رابطه آنگستروم-پرسکات (a و b) در مقیاس‌های زمانی مختلف (مطالعه موردی: ایستگاه تهران شمال (اقدسیه). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۵، شماره ۴، ص ۹۱۱-۹۰۵.

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

Abraha, M. G. and M. J. Savage. 2008. Comparison of estimates of daily solar radiation from air temperature range for application in crop simulations. Agricultural and Forest Meteorology, 148(3): 401–416.

Allen, R. G. 2000. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. Journal of Hydrology, 229(1–2): 27–41.

www.SID.ir

Archive of SID

Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. United Nations Food and Agriculture Organization, Rome.

Almorox, J. and C. Hontoria. 2004. Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. Energy Conversion and Management, 45(9–10): 1529–1535.

Angstrom, A. 1924. Solar and terrestrial radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 50: 121–125.

Bahel, V., R. Srinivasan and H. Bakhsh. 1987. Statistical comparison of correlations for estimation of global horizontal solar radiation. Energy, 12(12): 1309–1316.

Bristow, K. L. and G. S. Campbell. 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. Agricultural and Forest Meteorology, 31(2): 159–166.

Chen, D. L., G. Gao, C. Y. Xu, J. Guo and G. Y. Ren. 2005. Comparison of the Thornthwaite method and pan data with the standard Penman–Monteith estimates of reference evapotranspiration in China. Climate Research, 28(2): 123– 132.

Ehnberg, J. S. G. and M. H. J. Bollen. 2005. Simulation of global solar radiation based on cloud observations. Solar Energy, 78(2): 157–162.

Ertekin, C. and O. Yaldiz. 2000. Comparison of some existing models for estimating global solar radiation for Antalya (Turkey). Energy Conversion and Management, 41(4): 311–330.

Fisher, J. B., T. A. DeBiase, Y. Qi, M. Xu and A. H. Goldstein. 2005. Evapotranspiration models compared on a Sierra Nevada forest ecosystem. Environmental Modelling & Software, 20(6): 783–796.

Frere, M., J. Q. Rijks and J. Rea. 1978. Estudio agro-climatologico de la zona andina, Informe tecnico, FAO/UNESCO/OMM, Rome.

Gopinathan, K. K. 1988a. A simple method for predicting global solar radiation on a horizontal surface. Solar & Wind Technology, 5(5): 581–583.

Gopinathan, K. K. 1988b. A general formula for computing the coefficients of the correlation connecting global solar radiation to sunshine duration. Solar Energy, 41(6): 499–502.

Hunsaker, D. J., P. J. Pinter and H. Cai. 2002. Alfalfa basal crop coefficients for FAO-56 procedures in the desert regions of the southwestern US. Transactions of the ASAE, 45(6): 1799–1815.

Jin, Z., W. Yezheng and Y. Gang. 2005. General formula for estimation of monthly average daily global solar radiation in China. Energy Conversion and Management, 46(2): 257–268.

Liu, D. L. and B. J. Scott. 2001. Estimation of solar radiation in Australia from rainfall and temperature observations. Agricultural and Forest Meteorology, 106(1): 41–59.

Liu, X., X. Mei, Y. Li, Q. Wang, Y. Zhang and J. R. Porter. 2009. Variation in reference crop evapotranspiration caused by the Angstrom–Prescott coefficient: locally calibrated versus the FAO recommended. Agricultural Water Management, 96(7): 1137–1145.

Liu, X., Y. Xu, X. Zhong, W. Zhang, J. R. Porter and W. Liu. 2012. Assessing models for parameters of the Angstrom-Prescott formula in China. Applied Energy, 96: 327-338.

Nguyen, B. T. and T. L. Pryor. 1997. The relationship between global solar radiation and sunshine duration in Vietnam. Renewable Energy, 11(1): 47–60.

Niu, Z. G., B. G. Li, F. R. Zhang and H. W. Chen. 2002. A distributed model of reference evapotranspiration based on the DEM. Advances in Water Science, 13(3): 303–307 (in Chinese).

Penman, H. L. 1956. Evaporation an Introductory Survey. Netherlands Journal of Agricultural Science, (4): 9-29.

Prescott, J. A. 1940. Evaporation from water surface in relation to solar radiation. Transactions of the Royal Society of South Australia, 64: 114–125.

www.SID.ir

Archive of SID

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

Rietveld, M. R. 1978. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. Agricultural Meteorology, 19(2-3): 243–252.

Samuel, T. D. M. A. 1991. Estimation of global radiation for Sri Lanka. Solar Energy, 47(5) :333–337.

Soler, A. 1990. Statistical comparison for 77 European stations of 7 sunshine-based models. Solar Energy, 45(6): 365–370.

Wu, S., Y. Yin, D. Zheng and Q. Yang. 2006. Moisture conditions and climate trends in China during the period 1971–2000. International Journal of Climatology, 26(2): 193–206.

Yin, Y., S. Wu, D. Zheng and Q. Yang. 2008. Radiation calibration of FAO56 Penman–Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China. Agricultural Water Management, 95(1): 77-84.

www.SID.ir

Archive of SID

Calibration of Angstrom-Prescott Equation Coefficients in the Selected Stations of Urmia Lake Watershed

Saeid Mehdizadeh[1], Javad Behmanesh[2]

Abstract

Correct estimation of reference evapotranspiration (ET_o) needs to estimate accurate solar radiation values. There are many models to estimate solar radiation so that one of these relationships is Angstrom-Prescott (A-P) equation. The accuracy of Angstrom-Prescott equation in estimating solar radiation value depends on the estimation accuracy of a and b coefficients of the mentioned equation. The purpose of the present research was to investigate the accuracy of models for estimating coefficients in A-P equation and their effects in the solar radiation and reference evapotranspiration values. To do this purpose, the meteorological data of four synoptic stations including Urmia, Takab, Mahabad and Salmas in the Urmia lake watershed in the daily scale from 1998 to 2008 were used. The models which used for the determination of Angstrom-Prescott equation coefficients were included models based on the annual average of relative sunshine hours $(\overline{\frac{n}{N}})$, elevation and $(\overline{\frac{n}{N}})$, elevation and latitude and $(\overline{\frac{n}{N}})$, elevation and latitude, annual average of air temperature, elevation. The obtained coefficients were used to compute the solar radiation values in Angstrom-Prescott equation and then reference evapotranspiration was calculated by FAO-Penman-Monteith equation. To evaluate the models accuracy, statistical indices including RMSE, MBE, MPE and R^2 were used. The evaluation results of the models showed that the model based on annual average of relative sunshine hours $(\overline{\frac{n}{N}})$ (Rietveld model) had the best performance in determining the coefficients of Angstrom-Prescott equation. The average values of RMSE, MBE, MPE and R^2 indices for actual reference evapotranspiration and reference evapotranspiration obtained from coefficients of mentioned model were found 0.33 and 0.25 mm/day, 6.27% and 0.9977, respectively. For Angstrom-Prescott equation coefficients from selected model, a=0.26 and b=0.43 were suggested in the studied stations in the Urmia lake watershed.

Keywords: Angstrom-Prescott, Reference Evapotranspiration, Solar Radiation, Sunshine Hours.

[1] Ph.D. Student of Irrigation and Drainage, Urmia University, Iran; saied.mehdizadeh@gmail.com
[2] Associate Professor of Water Engineering Department, Urmia University, Iran; j.behmanesh@urmia.ac.ir

www.SID.ir