

## واسنجی و تغییرات سالانه ضرایب رابطه انگستروم - پرسکات (a و b)

(مطالعه موردی: ایستگاه تهران شمال (اقدسیه))

زهرا آفاشریعتمداری<sup>۱\*</sup> - علی خلیلی<sup>۲</sup> - پرویز ایران نژاد<sup>۳</sup> - عبدالمجید لیاقت<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۱

### چکیده

رابطه انگستروم-پرسکات (A-P) یکی از رایج‌ترین روش‌های برآورد تابش کل خورشیدی ( $R_s$ ) است. در این روش تابش کل تنها با استفاده از تعداد ساعات آفتابی محاسبه می‌شود. نکته مهم در کاربرد این روش واسنجی ضرایب آن برای هر منطقه است. اگرچه ضرایب این رابطه بصورت گسترده در سراسر جهان مطالعه و کالیبره شده‌اند، این رابطه و ضرایب آن در مقیاس‌های زمانی مختلف چندان مورد ارزیابی قرار نگرفته است. در این مقاله تغییرات ضرایب رابطه A-P در مقیاس‌های زمانی گوناگون و چگونگی تاثیر این تغییرات بر دقت برآورد  $R_s$  بررسی می‌شود. برای انجام این مطالعه از داده‌های بلند مدت ایستگاه تهران شمال (اقدسیه) در دوره زمانی ۱۵ ساله (۲۰۰۶-۱۹۹۲) استفاده شده و کالیبراسیون رابطه در دو مقیاس زمانی روزانه و متوسط ماهانه صورت گرفته است. در بررسی‌های صورت گرفته مشاهده شد که ضرایب رابطه A-P که با استفاده از داده‌های روزانه و ماهانه بدست می‌آیند تفاوت آشکاری با یکدیگر دارند و به‌طور کلی رابطه حاصل از تحلیل داده‌های ماهانه دارای ضریب تلبیین بالاتری ( $R^2=0/92$ ) است. در این مطالعه همچنین قابلیت جایگزینی روابط با یکدیگر مقایسه شده و توان کاربرد داده‌های روزانه در روابط حاصل از داده‌های روزانه و ماهانه نشانگر انعطاف‌پذیری بالای این رابطه است.

**واژه‌های کلیدی:** ایستگاه تهران شمال، برآورد تابش کل خورشیدی، مقیاس زمانی، واسنجی ضرایب رابطه انگستروم-پرسکات

### مقدمه

(۱۰)، ساعات آفتابی مینا (۴ و ۱۴) و دما پایه (۶) تقسیم‌بندی می‌شوند. یکی از مهم‌ترین و عام‌ترین روابط تجربی موجود در زمینه برآورد تابش خورشیدی بر سطح افقی رابطه انگستروم است:

$$\frac{R_s}{R_0} = a + b \frac{n}{N} \quad (1)$$

در این رابطه،  $R_s$  و  $R_0$  به ترتیب تابش کلی دریافتی از خورشید بر سطح افقی در بالای جو و تابش کلی دریافتی از خورشید بر سطح افقی در سطح زمین،  $n$  طول مدت حقیقی ساعات آفتابی،  $N$  طول مدت نظری ساعات آفتابی و  $a$  و  $b$  ضرایب تجربی هستند. رابطه انگستروم از زمان معرفی (۴) تا به حال به‌منظور بهبود دقت پیش‌بینی و اعتبار کلی آن دائماً اصلاح شده است. این اصلاحات عموماً در سه جهت صورت گرفته‌اند (۱۱):

۱- بررسی ارتباط بین ضرایب رابطه و عناصر جغرافیایی (۸) و یا بین ضرایب رابطه و سایر متغیرهای هواشناسی (۹). در اینگونه اصلاحات ساختار اصلی رابطه تغییر نمی‌کند.

اطلاعات تابش خورشیدی در بسیاری از زمینه‌های کاربردی و به‌عنوان ورودی مدل‌های اکولوژیکی، هیدرولوژیکی و مدل‌های تبادل خاک-گیاه و جو مورد نیاز است. علی‌رغم اهمیت تابش خورشیدی، به دلیل محدودیت‌های فنی، مالی و سازمانی در زمینه تهیه، نگهداری و کالیبراسیون ابزار تابش‌سنجی، این متغیر نسبت به سایر متغیرهای هواشناسی به‌صورت گسترده اندازه‌گیری نمی‌شود (۱۵). از این رو، بکاربردن روش‌های تجربی بر پایه روابط قانونمند بین مقادیر تابش کل خورشیدی و سایر متغیرهای هواشناسی برای شبیه‌سازی و برآورد مقدار تابش مفید است. این روش‌ها، به‌طور کلی، به گروه‌های ابرپایه

۱، ۲ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری و استادان گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران  
\* - نویسنده مسئول: (Email:zagha@ut.ac.ir)

۳- دانشیار موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

کلاسیک آنگستروم در منطقه مورد بررسی می‌باشد. بنابراین، رابطه پایه مطالعاتی رابطه آنگستروم-پرسکات (رابطه ۱) می‌باشد. در این رابطه مقادیر تابش کل خورشیدی در بالای جو ( $R_a$ ) و تعداد ساعات نظری آفتابی ( $N$ ) با استفاده از روابط نجومی برای تمامی روزهای سال برآورد می‌شود (۳):

$$R_a = 37.6d_r(w_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin w_s) \quad (2)$$

$$d_r = 1 + 0.33 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (3)$$

$$\delta = 0.4093 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (4)$$

$$w_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \quad (5)$$

$$N = \frac{24}{\pi} w_s \quad (6)$$

که در آن  $d_r$  فاصله نسبی زمین تا خورشید،  $w_s$  زاویه ساعتی خورشید (رادیان)،  $\varphi$  عرض جغرافیایی (رادیان) و  $\delta$  زاویه میل خورشیدی (رادیان)، و  $J$  شماره روز ژولوسوسی است. در رابطه آنگستروم ضرایب  $a$  و  $b$  بین صفر و یک تغییر می‌کند. واسنجی ضرایب  $a$  و  $b$  با برقراری رگرسیون خطی بین  $\frac{R_s}{R_0}$  و  $\frac{n}{N}$  بدست می‌آید. در این مرحله مطالعه در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه انجام می‌گیرد.

#### ضرایب واسنجی شده با استفاده از داده های روزانه

در مقیاس زمانی روزانه نمودار پراکنش  $\frac{R_s}{R_0}$  در مقابل  $\frac{n}{N}$  با تعداد ۳۵۰۲ روز داده ترسیم شد (شکل ۱). معادله رگرسیونی خطی ساده (رابطه آنگستروم-پرسکات) برازش یافته بر این نقاط:

$$\frac{R_s}{R_0} = 0.294 + 0.459 \frac{n}{N} \quad (7)$$

دارای ضریب تبیین  $R^2 = 0.48$  است. علاوه بر محاسبه رابطه رگرسیونی خطی ساده بین ضریب گذرایی جو و ساعات آفتابی، رابطه ضریب گذرایی جو و درجات دوم و سوم کسر ساعات آفتابی نیز مورد بررسی قرار گرفت:

$$\frac{R_s}{R_0} = -0.459\left(\frac{n}{N}\right)^2 + 0.77 \frac{n}{N} + 0.223 \quad (8)$$

$$\frac{R_s}{R_0} = 0.493\left(\frac{n}{N}\right)^3 - 0.106\left(\frac{n}{N}\right)^2 + 1.14 \frac{n}{N} + 0.180 \quad (9)$$

ضریب تبیین روابط درجه دوم  $\frac{n}{N}$  و درجه سوم  $\frac{n}{N}$  هر دو ۰/۴۹ است. روابط درجه بالاتر کسر ساعات آفتابی ضریب تبیین اندکی بالاتری دارند، ولی این تفاوت معنی دار نیست و از این رو می‌توان نتیجه گرفت که رابطه خطی به دلیل سادگی بر روابط درجه دوم و سوم برتری دارد.

۲- تغییر رابطه به شکل معادله درجه دوم کسر ساعات آفتابی (۲) و (۵) و یا درجه سوم آن (۱۶). در این دسته از اصلاحات ساختار رابطه از خطی به غیر خطی تغییر می‌یابد.

۳- افزودن متغیرهای دیگر هواشناسی از جمله دمای هوا و رطوبت نسبی (۱۲ و ۱۳) و یا محتوی بخار آب جو (۷) به رابطه. در این دسته از اصلاحات ساختار مدل از تک خطی به چندخطی تبدیل می‌شود.

اگرچه برخی مؤلفان معتقد به برتری روابط اصلاح شده فوق نسبت به رابطه اصلی A-P هستند، اما نتیجه گیری نهایی در هر منطقه بایستی با توجه به داده‌ها و شرایط اقلیمی آن منطقه صورت پذیرد. ایران یکی از کشورهایی است که به اندازه کافی از انرژی خورشیدی بهره‌مند است و می‌تواند بخش بزرگی از نیاز خود به انرژی را از آن مرتفع سازد. اکثر رابطه‌های تجربی که در سایر نقاط دنیا آزمون شده‌اند در اقلیم کشور ایران کارایی لازم را ندارند و ضرایب آنها کم و بیش با ضرایب بدست آمده در ایران متفاوت است. ضرایب رابطه آنگستروم بسته به شرایط جوی (وجود رطوبت، گرد و غبار) و مقدار تابش خورشیدی (عرض جغرافیایی و زمان) تغییر می‌یابد. در شرایطی که داده‌های تابش موجود نباشند و واسنجی ضرایب رابطه نیز صورت نگرفته باشد، مقادیر  $a$  و  $b$  به ترتیب ۰/۲۵ و ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. بررسی‌ها نشان داده است که در ایستگاه‌های ایران  $a$  بین ۰/۲۱ تا ۰/۳۹، در کرمانشاه و  $b$  بین ۰/۳۴ تا ۰/۶۲ در تبریز تغییر می‌کند (۱). نظر به اهمیت مقادیر تابش خورشیدی در روابط مورد استفاده برای برآورد تبخیر-تعرق و تعیین نیاز آبی گیاهان و کاربردهای دیگر تابش خورشیدی در زمینه‌های مختلف معماری، صنعت و کشاورزی، لازم است مقادیر ضرایب  $a$  و  $b$  در هر منطقه برای شرایط آن منطقه واسنجی و متناسب با شرایط حاکم بر آن ناحیه تعیین گردند. در این بررسی ضرایب رابطه آنگستروم در حالت خطی (رابطه کلاسیک آنگستروم) با استفاده از آمار ایستگاه تهران شمال (اقدسیه) در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه واسنجی شده و نتایج حاصل از این روابط مورد مقایسه قرار گرفته است. علاوه بر این، ساختارهای غیرخطی این رابطه (درجات دوم و سوم کسر ساعات آفتابی) نیز مورد مطالعه قرار گرفته است.

#### مواد و روش‌ها

در این مرحله، نخست داده‌های دوره آماری (۲۰۰۶-۱۹۹۲) تابش کل خورشیدی و ساعات آفتابی ایستگاه هواشناسی تهران شمال در مقیاس زمانی روزانه از سازمان هواشناسی دریافت شد. ایستگاه اقدسیه تهران در عرض  $35^{\circ} 74'$  شمالی و طول  $51^{\circ} 37'$  شرقی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵۴۸ متر است. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، هدف اصلی از این مطالعه واسنجی ضرایب رابطه

**مقایسه  $R_s$  برآورد شده با استفاده از ضرایب  $a$  و  $b$  واسنجی شده در مقیاس‌های زمانی مختلف**

در اصل، ضرایب واسنجی شده با استفاده از داده‌های روزانه تنها بایستی برای برآورد تابش با استفاده از داده‌های روزانه و ضرایب واسنجی شده ماهانه بایستی از داده‌های ماهانه در برآوردهای خود استفاده کنند (۷). به عبارت دیگر، مقایسه  $R_s$  های برآورده شده با استفاده از ضرایب بدست آمده در مقیاس‌های زمانی مختلف تنها زمانی امکان پذیر است که برآوردها با استفاده از داده‌های با مقیاس زمانی مشابه صورت گرفته باشد. از این رو، مقایسه‌ها در این بخش به دو صورت زیر انجام می‌شود. نخست از داده‌های روزانه به عنوان ورودی مدل‌های ماهانه و روزانه A-P استفاده می‌شود و در مرحله بعد از داده‌های ماهانه به عنوان ورودی استفاده و نتایج بدست آمده با یکدیگر مقایسه می‌شود.

**مقایسه بر مبنای ورودی داده‌های روزانه**

در این گام از داده‌های  $\frac{n}{N}$  روزانه به عنوان ورودی هر دو مدل روزانه و ماهانه استفاده شد. نمودار مقادیر تابش محاسبه شده ( $R_{sc}$ ) و اندازه گیری شده ( $R_{sm}$ ) برای هر دو مدل روزانه و ماهانه ترسیم و ضریب تبیین آنها بدست آمد (شکل‌های ۳ و ۴). روابط رگرسیونی برآزش یافته بر داده:

$$R_{sc(daily)} = 0.837R_{sm} + 78.06, (R^2 = 0.827) \quad (13)$$

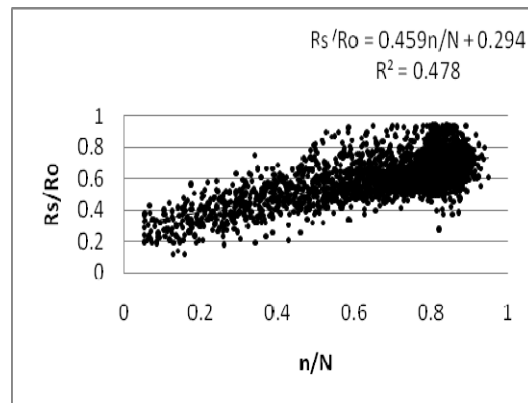
$$R_{sc(monthly)} = 0.871R_{sm} + 69.71, (R^2 = 0.826) \quad (14)$$

نشان می‌دهد که برآورد تابش روزانه با استفاده از داده‌های  $\frac{n}{N}$  روزانه و ماهانه تفاوت چندانی ندارند. ضریب تبیین حاصل از داده‌های روزانه اندکی بزرگ‌تر از داده‌های ماهانه است، ولی عرض از مبدا رابطه ماهانه کوچک‌تر و شیب خط رگرسیون آن به خط ۱:۱ نزدیک‌تر است. مقادیر ریشه میانگین توان دوم خطاها ( $RMSE$ ) نیز برای مدل‌های روزانه و ماهانه به ترتیب  $15/42 \text{ cal/cm}^2$  و  $15/40$  است، که تفاوت معنی‌داری بین دو روش را نشان نمی‌دهد. همبستگی بالا ( $R^2=0.998$ ) بین نتایج حاصل از دو مدل نیز این نتیجه را تایید می‌کند (شکل ۵). از مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که مدل مبتنی بر داده‌های ماهانه می‌تواند برای برآورد تابش روزانه مورد استفاده قرار گیرد.

**مقایسه بر مبنای ورودی داده‌های ماهانه**

زمانی که از داده‌های ماهانه به عنوان ورودی مدل‌های ماهانه و روزانه استفاده می‌شود مقادیر حاصل از دو مدل دارای همبستگی بسیار قوی ( $R^2=0.999$ ) هستند و همبستگی آنها در سطح یک درصد معنی دار است (شکل ۶). علاوه بر این، مقادیر حاصل از دو مدل به صورت جداگانه در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده ترسیم شد و

ضرایب واسنجی شده با استفاده از متوسط‌های ماهانه در مقیاس زمانی ماهانه نمودار پراکنش با استفاده از میانگین ۱۵ ساله ۱۲ ماه سال ترسیم شد (شکل ۲). روابط خطی و درجه دوم و سوم برآزش یافته بر داده‌ها به صورت زیر است:



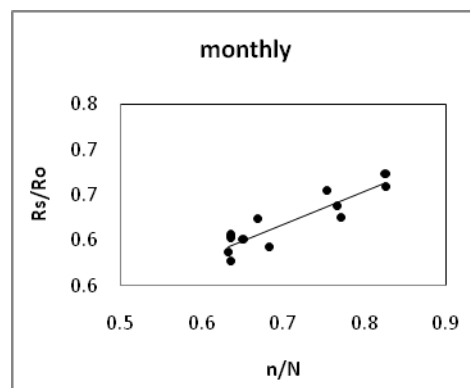
شکل ۱- نمودار پراکنش ضریب گذرایی جو و کسر ساعات آفتابی بر مبنای داده‌های روزانه

$$\frac{R_s}{R_o} = 0.315 + 0.431 \frac{n}{N} \quad (10)$$

$$\frac{R_s}{R_o} = -0.029 \left( \frac{n}{N} \right)^2 + 0.472 \frac{n}{N} + 0.3 \quad (11)$$

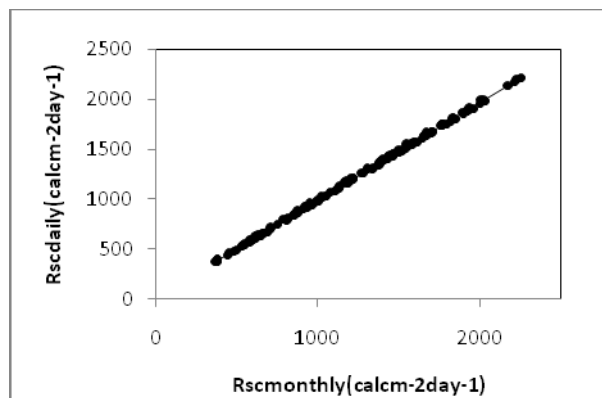
$$\frac{R_s}{R_o} = -0.22 \left( \frac{n}{N} \right)^3 + 0.447 \left( \frac{n}{N} \right)^2 + 0.131 \left( \frac{n}{N} \right) + 0.381 \quad (12)$$

ضریب تبیین هر سه رابطه ۱۰ تا ۱۲ برابر ۰/۹۲ است. در این مقیاس زمانی نیز به علت نبود تفاوت چشمگیر بین ضرایب تبیین، رابطه ساده‌تر که همان رابطه ساده خطی انگستروم-پرسکات است برتری دارد. براساس نتایج بدست آمده در این بررسی، بهترین برآزش بین  $\frac{n}{N}$  و  $\frac{R_s}{R_o}$  با استفاده از داده‌های متوسط ماهانه برقرار می‌شود. این نتیجه با یافته‌های خلیلی و رضایی صدر (۱) مطابقت دارد.



شکل ۲- نمودار پراکنش ضریب گذرایی جو و کسر ساعات آفتابی بر مبنای متوسط ماهانه داده‌های روزانه

ضرایب تبیین تابش برآوردشده و اندازه‌گیری شده در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه به ترتیب ۰/۸۰۸ و ۰/۸۰۱ بدست آمد.



شکل ۶- نمودار پراکنش تابش محاسبه شده حاصل از مدل‌های واسنجی شده روزانه و ماهانه آنگستروم با استفاده از داده‌های ماهانه

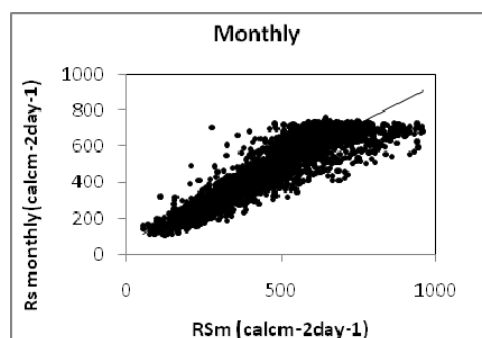
آزمون  $t$  مشخص کرد که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر تابش مشاهده‌شده و محاسبه‌شده با بکارگیری داده‌های ماهانه در هر دو مدل وجود ندارد.

#### اندازه ضرایب ماهانه و فصلی $a$ و $b$

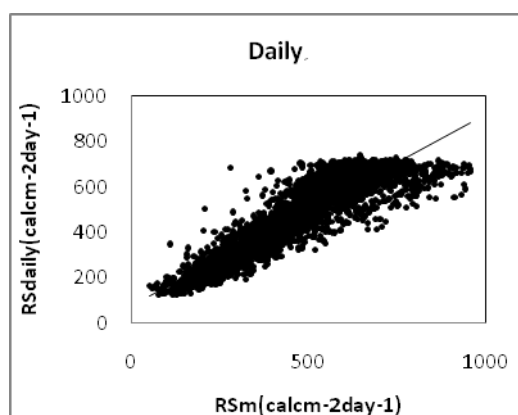
علاوه بر محاسبه ضرایب رابطه آنگستروم با استفاده از داده‌های ماهانه و روزانه، ضرایب این رابطه به تفکیک ماهانه و همچنین فصلی محاسبه شد (جدول ۱) و در نهایت رژیم سالانه این ضرایب ترسیم شد (شکل ۷).

#### نتیجه‌گیری

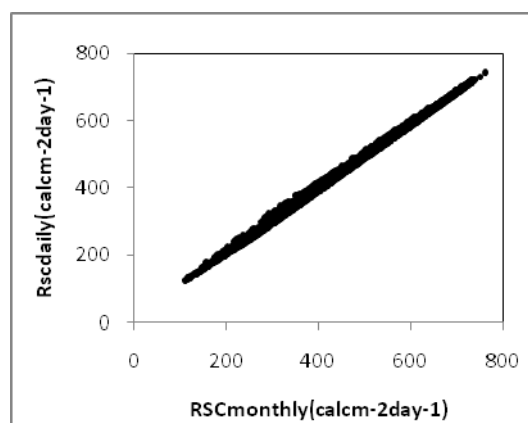
با توجه به بررسی‌های انجام شده مشاهده شد ضرایب رابطه کلاسیک آنگستروم تحت تاثیر مقیاس زمانی داده‌هایی که برای واسنجی آنها مورد استفاده قرار می‌گیرند نیستاست، بطور کلی ضرایب واسنجی شده براساس داده‌های متوسط ماهانه  $a$  بزرگتر و  $b$  کوچک‌تری در مقایسه با ضرایب واسنجی شده با استفاده از داده‌های روزانه دارد. همچنین مشاهده شد که ضرایب بدست آمده براساس داده‌های روزانه و ماهانه جایجایی پذیرند و می‌توان از داده‌های با مقیاس زمانی روزانه در رابطه حاصل از داده‌های ماهانه و برعکس استفاده نمود. ضرایب  $a$  و  $b$  همچنین دارای تغییراتی در ماه‌های مختلف سال و در فصول مختلف سال می‌باشند که این ضرایب برای ۱۲ ماه سال و دو فصل زمستان و تابستان به تفکیک محاسبه و ارائه گردید. با توجه به رژیم سالانه ضرایب  $a$  و  $b$  مشاهده می‌شود که تغییرات این دو ضریب نسبت به یکدیگر در طول سال تقریباً حالت قرینه دارند به صورتی که هرگاه  $a$  افزایش می‌یابد  $b$  کاهش می‌یابد و برعکس (شکل ۷).



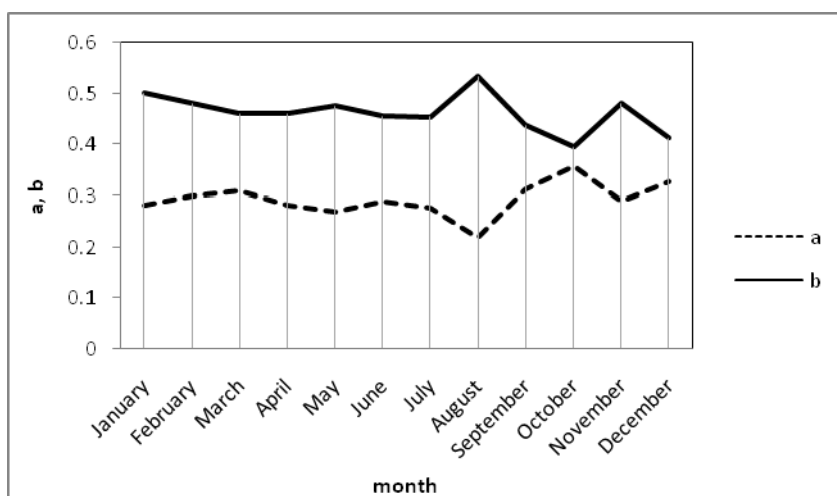
شکل ۳- نمودار پراکنش تابش اندازه‌گیری شده و تابش محاسبه شده حاصل از مدل واسنجی شده ماهانه آنگستروم با استفاده از داده‌های روزانه



شکل ۴- نمودار پراکنش تابش اندازه‌گیری شده و تابش محاسبه‌شده با استفاده از مدل واسنجی شده روزانه آنگستروم با استفاده از داده‌های روزانه



شکل ۵- نمودار پراکنش تابش محاسبه شده حاصل از مدل‌های واسنجی شده روزانه و ماهانه آنگستروم با استفاده از داده‌های روزانه



شکل ۷- رژیم سالانه ضرایب رابطه آنگستروم (ایستگاه تهران شمال)

جدول ۱- ضرایب رابطه آنگستروم به تفکیک ماه و فصل سال

ماه / فصل	a	b	r
ژانویه	۰/۲۷	۰/۴۹	۰/۷۸
فوریه	۰/۲۷	۰/۴۸	۰/۸۲
مارس	۰/۲۹۷	۰/۴۹	۰/۷۵
آوریل	۰/۲۸	۰/۴۸	۰/۷۵
می	۰/۲۷۷	۰/۴۸۴	۰/۷۰
ژوئن	۰/۳۵۵	۰/۳۹۸	۰/۴۸
جولای	۰/۲۸۸	۰/۴۴	۰/۴۳
اوت	۰/۲۴	۰/۵۲	۰/۴۷
سپتامبر	۰/۳۲	۰/۴۳	۰/۴۹۶
اکتبر	۰/۳۴۵	۰/۳۹۹	۰/۵۹۶
نوامبر	۰/۲۹۱	۰/۴۵۶	۰/۷۳
دسامبر	۰/۳۰۶	۰/۴۲۸	۰/۶۶
تابستان	۰/۲۸۹	۰/۴۶۲	۰/۶۲
زمستان	۰/۲۹۵	۰/۴۶۴	۰/۷۴

## منابع

- ۱- خلیلی ع. و رضایی صدر ح. ۱۳۷۶. برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده های اقلیمی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی ۸۴: ۳۵-۱۵.
- 2- Akinoglu B.G., and Ecevit A. 1990. A further comparison and discussion of sunshine based models to estimate global solar radiation. *Solar Energy*, 15: 865-872.
- 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 56*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- 4- Angstrom A. 1924. Solar and terrestrial radiation. *Q. J. R. Meteorol. Soc*, 50: 121-126.
- 5- Benson R.B., Paris M.V., Sherry J.E., and Justus C.G. 1984. Estimation of daily and monthly direct, diffuse and global solar radiation from sunshine duration measurement. *Solar Energy*, 32: 53-535.
- 6- Bristow K., and Campbell G.S. 1984. On the relation between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 31: 159 -166.

- 7- Garg H.P., and Garg S.T. 1982. Prediction of global solar radiation from bright sunshine hours and other meteorological parameters. P.1004-1007. In: Solar-India, Proceedings of National Solar Energy Convention. Allied Publishers, New Delhi, India.
- 8- Glover J., and McCulloch J. 1958. The empirical relation between solar radiation and hour of bright sun-shine. Q. J. R. Meteorol. Soc., 84:172-179.
- 9- Halouani N., Nguyen C.T., and Vo-Ngoc D. 1993. Calculation of monthly average global solar radiation on horizontal surfaces using daily hours of bright sunshine. Solar Energy, 50:247-248.
- 10- Kasten F. 1983. Parametrisierung der globalstrahlung durch bedekungsgrad und trubungsfactor. Ann. Meteorol, 20:49-50.
- 11- Liu X., Mei X., Li Y., Zhang Y., Wang Q., Jensen J.R., and Porter J.R. 2009. Calibration of the Angstrom-Prescott coefficients (a,b) under different time scales and their impacts in estimating global solar radiation in the yellow river basin. Agricultural and Forest Meteorology. 149: 697-710.
- 12- Ododo J.C., Sulaiman A.T., Aidan J., Yguda M.M., and Ogbu F.A. 1995. The importance of maximum air temperature in the parameterization of solar radiation in Nigeria. Renew. Energy, 6:751-763.
- 13- Ojosu J.O., and Komolafe L.K. 1987. Models for estimating solar radiation availability in South Western Nigeria. Nig. J. Solar Energy, 6:69-77.
- 14- Prescott J.A. 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Trans. R. Soc. South Australia. 64:114-118.
- 15- Thornton P.E., and Running S.W. 1999. An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperatures, humidity and precipitation. Agricultural and Forest Meteorology, 93: 211-228.
- 16- Ulgen K., and Hepbasli A. 2004. solar radiation models: Part 2. Comparison and developing new models. Energy Sources, 26:521-530.



## Calibration and Annual Changes of the Coefficients of the Angstrom-Prescott (A-P) Equation ( $a$ and $b$ ) in Different Time Scales. (Case Study: Tehran North Station (Aghdasieh))

Z. Aghashariatmadary<sup>1\*</sup> - A. Khalili<sup>2</sup> - P. Irannejad<sup>3</sup> - A. Liaghat<sup>4</sup>

Received:6-2-2011

Accepted:22-5-2011

### Abstract

Angstrom-Prescott equation is one of the most commonly used methods for the estimation of global solar radiation ( $R_g$ ) based on sunshine hours. The critical step in the application of this method's is the calibration of its coefficients for each region. Although the coefficients of the equation have been calibrated in different parts of the World, the effect of different time scales has not been considered clearly. In this article, variations of the coefficients of A-P equation in different time scales and their effects on the estimation of global solar radiation are studied. For this purpose data for the 15-year period of 1992-2006 from the Tehran-North (Aghdasieh) station in daily and monthly time scales are used. The values of the coefficients derived from the daily and monthly data were clearly different, and the equation based on monthly data has higher coefficient of determination ( $R^2=0.92$ ) compared to that based on the daily data ( $R^2=0.48$ ). We also found that the daily total solar radiation incident at the surface can be estimated well by using the A-P equation derived based on monthly data.

**Keywords:** Calibration of Angstrom-Prescott equation, Global solar radiation estimation, North of Tehran station, Time scales

---

1,2,4- PhD Student and Professors, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Respectively

(\*-Corresponding Author Email: zaghera@ut.ac.ir)

3- Associate Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran