

برآورد تابش کلی خورشید در سطح افقی زمین در اصفهان

حجت‌الله یزدان‌پناه^{*}، استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان

راضیه میرمجبریان، کارشناس جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه اصفهان

حمید برقی، استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان

چکیده

در این تحقیق به کمک داده‌های تابش ایستگاه ازن‌سنجی اصفهان در دوره آماری بیست ساله (۱۳۶۵-۱۳۸۴) نسبت به یافتن مدل مناسب برآورد شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح از روی آمار ساعات آفتابی اقدام شده است. برای کنترل نتایج و بررسی دقت مدل از آمار ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ این ایستگاه استفاده شد. همچنین نتایج به دست آمده با مدل‌های رایج دیگر به کمک شاخص‌های MBE و RMSE مقایسه شده است. نتایج نشان داد در حالی که مقدار ضریب رگرسیون مدل ساخته شده ما معادل ۰/۹۱ است، ضرایب رگرسیون برای مدل‌های، فرر و ام سی کلوج ۰/۶ و ۰/۷ است. مدل تهیه شده به ویژه برای ماه‌های می و آگوست دقت بسیار بالایی دارد؛ به گونه‌ای که مقدار خطای آن کمتر از ۲٪ است.

واژه‌های کلیدی: تابش، ساعات آفتابی، اصفهان، مدل.

مقدمه

عوض، در قالب این ایستگاه‌ها پارامتر ساعات آفتابی (n) به طور روزانه اندازه‌گیری می‌شود. از آنجا که اطلاع از شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح نسبت به زمان ساعات آفتابی اهمیت بیشتری دارد، لذا شناسایی روش‌های تخمین شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح، از آمار موجود (ساعات آفتابی) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از مقاله حاضر نیز به دست آوردن

انرژی تابشی خورشید سرمنشأ انرژی‌های روی کره زمین است که یکی از منابع مهم انرژی پاک به ویژه در کشور ما است. اندازه‌گیری شدت تابش خورشیدی، اگرچه در ایران دارای سابقه نسبتاً طولانی است ولیکن به دلیل هزینه بالا، اکثر ایستگاه‌های موجود در کشور به دستگاه تابش‌سنج (Actinograph) مجهز نیستند. در

رابطه‌ای برای تخمین شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح از روی داده‌های ساعت آفتابی است.

اگرچه مطالعات زیادی در زمینه برآورد تابش خورشیدی در خارج از کشور انجام شده است؛ از جمله: ریوینگتن^۱، ۲۰۰۵، لويس^۲، ۲۰۰۳، جاروسلار^۳، ۲۰۰۲، بریستو^۴، ۲۰۰۳، افیم^۵، ۲۰۰۸، ولی در داخل ایران مطالعات اندکی در این زمینه انجام گرفته که از مهمترین آنها مطالعات مرادی (۱۳۸۱)، خلیلی (۱۳۷۶ و ۱۳۸۱)، صمیمی (۱۳۶۴) و کمالی (۱۳۸۴) است. در این مقاله، به کمک آمار روزانه ایستگاه سینوپتیک اصفهان در دوره آماری ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۷ نسبت به مدل‌سازی تابش خورشیدی رسیده به سطح، استفاده گردیده است.

روش تحقیق

جمع‌آوری اطلاعات و کنترل کیفی آنها

برای برآورد تابش کلی خورشید در سطح افقی زمین در اصفهان از آمار هواشناسی ایستگاه ازن‌سنجی اصفهان در دوره آماری ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۷ استفاده شد. این داده‌ها شامل داده‌های روزانه شدت تابش خورشیدی و ساعات آفتابی بود. برای کنترل نتایج بخشی از این اطلاعات (۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷) در مدل‌سازی دخالت داده نشد. شایان ذکر است که داده‌های شدت تابش خورشیدی، بویژه در

سال‌های اخیر به صورت فایل‌های رایانه‌ای در دسترس نبود که این اطلاعات از روی دفاتر گزارش هوای ایستگاه سینوپتیک این ایستگاه استخراج شد.

از آنجا که احتمال وجود خطا در داده‌های موجود، وجود داشت، ابتدا آمار ساعات آفتابی کنترل گردید. این کنترل شامل کنترل داده‌های ساعات آفتابی با نزدیکترین ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه (ایستگاه هواشناسی کبوترآباد) که به فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتر از منطقه بود انجام شد. همچنین با مراجعه حضوری به ایستگاه و مذاکره شفاهی با مسؤول امور دیده‌بانی هواشناسی استان مشخص گردید که در سال ۱۳۷۹ اکتینوگراف موجود در ایستگاه از مدل KIPZONNEN-CCI به مدل SOLRAD تغییر یافته است. خوشبختانه هر دوی این مدل‌ها ساخت شرکت KIPZONNEN است. به همین دلیل، تغییراتی در واحد ثبت و ضرایب اصلاحی به کار گرفته شده در هنگام ثبت در دفاتر گزارش هوا ایجاد شده بود که در نهایت ما نیز این تغییرات را در ماتریس داده‌های به کار گرفته اعمال کردیم؛ به گونه‌ای که همه داده‌ها به واحد مشترک (مگا ژول بر مترمربع بر روز) تبدیل شدند.

نکته درخور توجه در کنترل کیفی داده‌ها این بود که به دلیل خرابی دستگاه و ناقص یا غلط بودن اطلاعات در برخی ماه‌ها، اطلاعات سالهای ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ از فایل داده‌ها حذف و عمل مدل‌سازی با سایر داده‌ها انجام شد.

¹ Rivington

² Luis

³ Jaroslar

⁴ Bristow

⁵ Efim

روش تحقیق

$$\frac{\bar{H}}{H_0} = a + b \frac{\bar{S}}{S_0} \quad (1)$$

در معادله (۱) \bar{H} مقدار میانگین ماهیانه تابش رسیده به سطح برحسب ($\text{MJm}^{-2} \text{ day}^{-1}$) است. \bar{H}_0 میانگین ماهیانه تابش رسیده در بالای جو برحسب ($\text{MJm}^{-2} \text{ day}^{-1}$)، \bar{S} میانگین ماهیانه ساعات آفتابی، \bar{S}_0 میانگین ماهیانه طول روز و a , b ضرایب ثابت رگرسیون هستند که برای هر منطقه باید مشخص شوند. هدف اصلی این مقاله نیز یافتن ضرایب a و b است.

مقدار H_0 از رابطه زیر به دست می‌آید:

(۲)

$$H_0 = \frac{24 \times 3.6 \times 10^{-3} \times I_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \left(360 \frac{\bar{D}}{365} \right) \right) \cos \phi \cos \delta \sin \omega + \omega \sin \phi \sin \delta$$

که در آن \bar{D} شماره ژولوسوی، I_{sc} ثابت خورشیدی که معادل 1367 Wm^{-2} ، ϕ عرض جغرافیایی محل و δ زاویه میل که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{248 + \bar{D}}{365} \right) \quad (3)$$

که در آن ω (زاویه ساعتی خورشید در هنگام

غروب) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\omega = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (4)$$

طول روز (\bar{S}_0) نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\bar{S} = \left(\frac{2}{15} \right) \omega \quad (5)$$

مقدار تابش خورشیدی رسیده بر بالای جو زمین (H_0) تابعی از عرض جغرافیایی است. پس از اینکه تابش‌های خورشیدی به جو زمین رسید و از آن عبور نمود، به دلیل پدیده‌های پخش و جذب اتمسفری، بخشی از تابش خورشیدی مستهلک می‌شود، به ویژه زمانی که ابرناکی آسمان و یا میزان ذرات هوا (تیرگی آسمان) بالا باشد.

بنابراین، مقدار تابش وارد شده به یک سطح افقی (H_s)، در زمان‌های مختلف و به ویژه با تغییر شرایط اتمسفر تغییر می‌یابد. تاکنون پارامترهای اقلیمی مختلفی برای مدلسازی مقدار تابش ورودی به سطح از مقدار اولیه آن (H_0) آزمون شده که بررسی‌ها نشان می‌دهد طبق رابطه آنگستروم^۱ (Angstrom) مهمترین این عوامل طول روز و ساعات آفتابی است.

اگرچه ضرایب محلی نیز که در رابطه آنگستروم a و b نامیده می‌شود، تأثیر بسزایی در مقدار تابش ورودی دارد، با این وصف، در صورتی که در یک منطقه مقدار a و b برای یک بار برآورد شود، این مقادیر به عنوان مقادیر ثابت و معادله آنگستروم می‌تواند وجود داشته باشد.

رابطه آنگستروم به شرح زیر است:

¹ Angstrom

$$\sqrt{\text{RMSE}} (\%) = 100 \left(\frac{1}{\bar{H}_m} \right) \left(\sum \frac{E_i}{M} \right)^{0.5}$$

که در این رابطه $E_i = H_{\text{est}} - H_{\text{meas}}$ و $i = 1, 2, \dots, m$ است و M تعداد کل مشاهدات است و \bar{H}_m میانگین مقادیر محاسبه شده تابش خورشیدی رسیده به سطح است. برای محاسبه \bar{H}_{est} (که \bar{H} برآورد شده نیز نامیده می‌شود) مقادیر a و b در معادله (۱) به کار برده می‌شود. H_{meas} نیز مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده تابش خورشیدی رسیده به سطح است.

ضریب رگرسیون بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده، به کمک رابطه زیر به دست می‌آید:

(۹)

r =

$$\frac{\sum (\bar{H}_{\text{estimated}} - \bar{H}_e) (\bar{H}_{\text{measured}} - \bar{H}_m)}{\sqrt{(\sum (\bar{H}_{\text{estimated}} - \bar{H}_e)^2) (\sum (\bar{H}_{\text{measured}} - \bar{H}_m)^2)}}$$

که در این رابطه \bar{H}_e میانگین مقادیر برآورد شده تابش خورشیدی است.

در این مقاله، ضرایب به دست آمده با ضرایب پنج مدل دیگر به شرح زیر نیز مقایسه گردید که این مدل‌ها عبارتند از:

۱- مدل ترتون به شرح زیر:

$$\bar{H}/\bar{H}_0 = 0.30 + 0.40(\bar{S}/\bar{S}_0)$$

در این مقاله \bar{H}_0 و \bar{S}_0 از معادلات ۲ و ۵ به دست آمده و در مرحله بعد ضرایب a ، b به کمک رابطه رگرسیونی بین مقادیر \bar{S}/\bar{S}_0 و \bar{H}/\bar{H}_0 به دست می‌آید. مقادیر \bar{H} و \bar{S} از آمار ایستگاه‌های هواشناسی برای دوره آماری ۱۹۸۵-۲۰۰۳ به دست می‌آید.

به روش حداقل مربعات ضرایب a و b به کمک رابطه زیر به دست می‌آید (آلن^۱):

(۱۰ا)

$$a = \frac{\sum \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \sum \left(\frac{\bar{S}}{\bar{S}_0} \right)^2 - \sum \frac{\bar{S}}{\bar{S}_0} \sum \frac{\bar{S}}{\bar{S}_0} \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0}}{M \sum \left(\frac{\bar{S}}{\bar{S}_0} \right)^2 - \left(\sum \frac{\bar{S}}{\bar{S}_0} \right)^2}$$

(۱۰ب)

$$b = \frac{\sum \frac{\bar{S}}{\bar{S}_0} \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} - \sum \frac{\bar{S}}{\bar{S}_0} \sum \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0}}{\sum \left(\frac{\bar{S}}{\bar{S}_0} \right)^2 - \left(\sum \frac{\bar{S}}{\bar{S}_0} \right)^2}$$

که در این رابطه M تعداد داده‌ها است.

اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده به

کمک پارامترهای آماری زیر به دست آمده‌اند:

(۷) میانگین خطای بایاس

$$\sqrt{\text{MBE}} (\%) = 100 \left(\frac{1}{\bar{H}_m} \right) \left(\sum \frac{E_i}{M} \right)$$

(۸) ریشه میانگین مربعات خطا

³ Root mean square errors

¹ Allen

² Mean bias errors

۲- مدل ریتولد به شرح زیر:

$$\bar{H}/\bar{H}_0 = 0.18 + 0.62(\bar{S}/\bar{S}_0)$$

۳- مدل فاگبنل به شرح زیر:

$$\bar{H}/\bar{H}_0 = 0.28 + 0.39(\bar{S}/\bar{S}_0)$$

۴- مدل فرر (Frere) به شرح زیر:

$$a = -0.27 + 1.75(\bar{S}/\bar{S}_0) - 1.34(\bar{S}/\bar{S}_0)^2$$

$$b = 1.32 - 2.90(\bar{S}/\bar{S}_0) + 2.30(\bar{S}/\bar{S}_0)^2$$

۵- مدل ام سی کلوج (McCulloch) که در آن عرض جغرافیایی نیز نقش دارد:

$$\bar{H}/\bar{H}_0 = 0.29 \cos \phi + 0.52(\bar{S}/\bar{S}_0)$$

است. بدیهی است از آنجا که مدل‌های یک تا سه همچون مدل ما از لحاظ روابط ریاضی یکسان و بر اساس رابطه آنگستروم می‌باشد لذا مقادیر ضرایب بدست آمده همچون مدل ما خواهد بود لذا از ذکر مقادیر آن در جدول زیر خودداری شده است.

مقادیر ضرایب پیشنهادی (a, b) مدل‌های فوق در برآورد تابش کلی (در سطح افقی) در جدول ۱ و ۲ نمایش داده شده است. مقادیر ضرایب a و b برای اصفهان بر اساس مطالعه انجام گرفته این تحقیق در دوره آماری ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۴ نیز در جدول شماره ۱ نمایش داده شده

جدول شماره ۱: ضرایب پیشنهادی (a, b) مدل‌های مختلف در برآورد تابش کلی (در سطح افقی)

Models	a	b	%MBE	%RMSE	R
Frere	+ ۱/۷۵ (s/s ₀) - ۰/۲۷ - ۱/۳۴ (s/s ₀) ^۲	- ۲/۹۳ (s/s ₀) ۱/۳۲ + ۲/۳۰ (s/s ₀) ^۲	- ۱۲/۲	۲۹/۳	۰/۶
McCulloch	۰/۲۹ ϕ cos	۰/۵۲	۲۳	۸۴	۰/۷
Our model	۰/۲۲	۰/۴۱	- ۰/۸	۵/۷	۰/۹۱

نتایج و بحث

گرفته نشده بود، برای کنترل نتایج در نظر گرفته شد. سپس با توجه به آمار ساعات آفتابی و طول روز و ضرایب پیشنهادی مدل‌های ارائه شده در جدول شماره ۱

برای مقایسه دقت مدل ارائه شده در این تحقیق، داده‌های سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ که در مدل‌سازی به کار

داشته‌اند و مدل فرر کمترین حد ممکن را برآورد کرده است. در واقع، مقادیر را کمتر از مقدار واقعی نشان داده است.

همان گونه که در جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود، مدل ما با مقدار $RMSE\%$ معادل $5/7$ کمترین خطا را نسبت به سایر مدل‌ها داشته است.

در جدول شماره ۲ مقایسه بین مقادیر برآورد شده و اندازه گیری شده در شهر اصفهان به تفکیک، برای مدل ما انجام شده است. این جدول نشان می‌دهد که مدل ما، به ویژه برای ماه‌های می و آگوست دقت بسیار بالایی دارد، به گونه‌ای که مقدار خطای آن کمتر از 2% است. همان گونه که در این جدول مشاهده می‌شود تقریباً برای همه ماه‌ها، مدل ساخته شده دقت کافی را دارد به گونه‌ای که حداکثر درصد خطای موجود به ماه‌های ژوئن، اکتبر، سپتامبر و ژانویه مربوط است، که این مقدار خطا حداکثر به کمتر از 16% درصد می‌رسد.

همچنین، در این جدول مقدار شاخص شفافیت (K_T) برای اتمسفر اصفهان، مقدار $0/48$ تا $0/58$ شده است و این نشان می‌دهد که بخش زیادی از تابش خورشیدی در آسمان به صورت پخش از دسترس خارج می‌شود.

نسبت به پیش بینی شدت تابش با جای گذاری عوامل در فرمول اقدام شد. با به کارگیری شاخص‌های آماری به شرح جدول شماره ۱ و مقایسه آمار واقعی و برآورد شده، مشخص شد که مدل ساخته شده ما بهترین ضریب رگرسیون در مقایسه با سایر مدل‌ها را داراست. درحالی که مقدار ضریب رگرسیون مدل ساخته شده ما معادل $0/91$ است، ضرایب رگرسیون برای مدل‌های فرر و ام سی کلوج $0/6$ و $0/7$ است.

دقت مدل‌ها نیز به کمک دو شاخص $MBE\%$ و $RMSE\%$ از روابط ۷ و ۸ به دست آمده است.

همان گونه که می‌دانیم، مقادیر کمتر $RMSE\%$ نشان دهنده دقت بیشتر مدل است و همان گونه که در جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود، مدل ما کمترین مقدار $RMSE$ را نیز در مقایسه با مدل‌های دیگر دارا است.

مقادیر مثبت $MBE\%$ نشان می‌دهد که مدل بالاتر از میزان واقعی برآورد دارد و مقادیر منفی MBE نشان می‌دهد که مدل مقادیر را کمتر از حد واقعی نشان می‌دهد.

از جدول شماره ۱ در می‌یابیم که برخی از مدل‌ها بالاتر از حد و برخی پایین تر از حد برآورد داشته‌اند و مدل ام اس کلوج بیشتر از حد برآورد

جدول شماره ۲: مؤلفه‌های تابش دریافتی و ضریب صافی هوا در ماه‌های مختلف در اصفهان

Month	\overline{H}_0 ($MJm^{-2}day^{-1}$)	\overline{S}/S_0	\overline{H} ($MJm^{-2}day^{-1}$)		$k_T = \overline{H}/\overline{H}_0$	Error %
			محاسبه شده اندازه گیری			
JANUARY	۱۹/۷۲	۰/۶۴	۹/۷	۹/۶۳	۰/۴۹	۹/۶
FEBRUARY	۲۴/۳۵	۰/۷	۱۲/۴	۱۲/۵	۰/۵۱	-۵/۴
MARCH	۳۰/۵۴	۰/۶۷	۱۴/۷	۱۴/۷۵	۰/۴۸	-۳/۴
APRIL	۳۶/۳۲	۰/۶۵	۱۷/۹	۱۸	۰/۴۹	-۹/۹
MAY	۴۰/۰۰	۰/۷۳	۲۱/۲	۲۱/۲۲	۰/۵۳	-۱/۴
JUNE	۴۱/۳۶	۰/۸۲	۲۳/۹	۲۴/۱	۰/۵۸	-۱۵/۲
JULY	۴۰/۵۸	۰/۸۱	۲۲/۷	۲۲/۷۲	۰/۵۶	-۱/۱
AUGUST	۳۷/۵۶	۰/۸۱	۲۱	۲۱/۰۳	۰/۵۶	-۲/۱
SEPTEMBER	۳۲/۴۳	۰/۸۵	۱۸/۸	۱۸/۷	۰/۵۸	۱۰/۲
OCTOBER	۲۶/۱۲	۰/۸۱	۱۴/۵	۱۴/۳	۰/۵۵	۱۲/۷
NOVEMBER	۲۰/۷۱	۰/۷۳	۱۰/۶	۱۰/۶۸	۰/۵۱	۶/۳
DECEMBER	۱۸/۲۷	۰/۶۴	۹/۳	۹/۴	۰/۵۱	۷/۴

داراست، ولی تغییرات ارتفاع خورشید در طول سال دارا ی اهمیت بیشتری است، چراکه با وجود اینکه حداکثر نسبت ساعات آفتابی در ماه سپتامبر اتفاق افتاده، ولی ماکزیم تابش در ماه ژوئن است که دلایل آن توضیح داده شد.

همان طور که در شکل شماره ۱ مشاهده می‌شود، در ماه ژوئن، مقدار H حدود $24/1 Mjm^{-2}$ در روز است که $11/7\%$ کل تابش سال است. همچنین مشاهده می‌شود که میانگین تابش روزانه خورشیدی در اصفهان معادل $17/2 Mjm^{-2}$ در روز است. شکل شماره ۱ همچنین روند تابش رسیده به سطح را در اصفهان نشان می‌دهد و

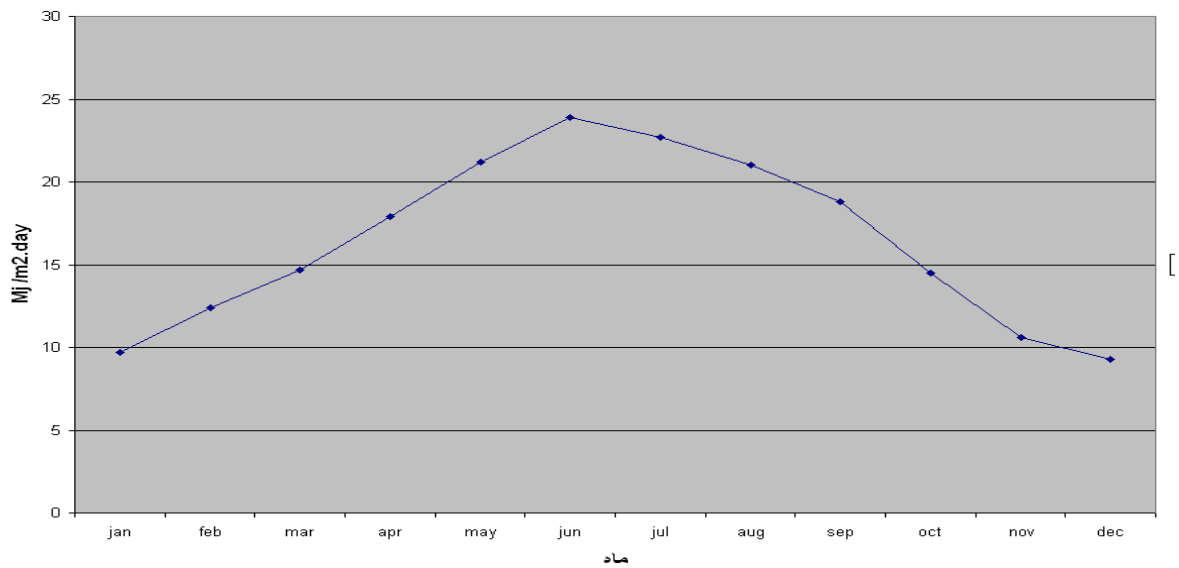
شکل شماره ۱ نشان می‌دهد که مقدار ماکزیم در ماه ژوئن و جولای و مقدار مینیمم مقدار تابش متوسط روزانه در دسامبر مشاهده می‌شود. افزایش مقادیر تابش در ماه‌های گرم سال، در وهله اول به خاطر افزایش ارتفاع خورشید در این دوره است که به طور منظم باعث افزایش نسبی تابش دریافتی از فصل سرد به گرم می‌شود. از طرف دیگر، در ماه‌های سرد سال که ابرناکی آسمان زیادتر از تابستان است، خود دلیل دیگری در کاهش تابش دریافتی خواهد بود (شکل شماره ۲). با مقایسه شکل‌های شماره ۱ و ۲ می‌توان نتیجه گرفت که اگر چه ساعات آفتابی نقش زیادی در تغییرات تابش منطقه

مشاهده می‌شود که تغییرات منحنی از دوره سرد (مرطوب) به دوره گرم (خشک) افزایش یافته است. در نهایت، به کمک نتایج جدول شماره ۲ و استفاده از رابطه انگستروم مدل ما با ضرایب a و b معادل

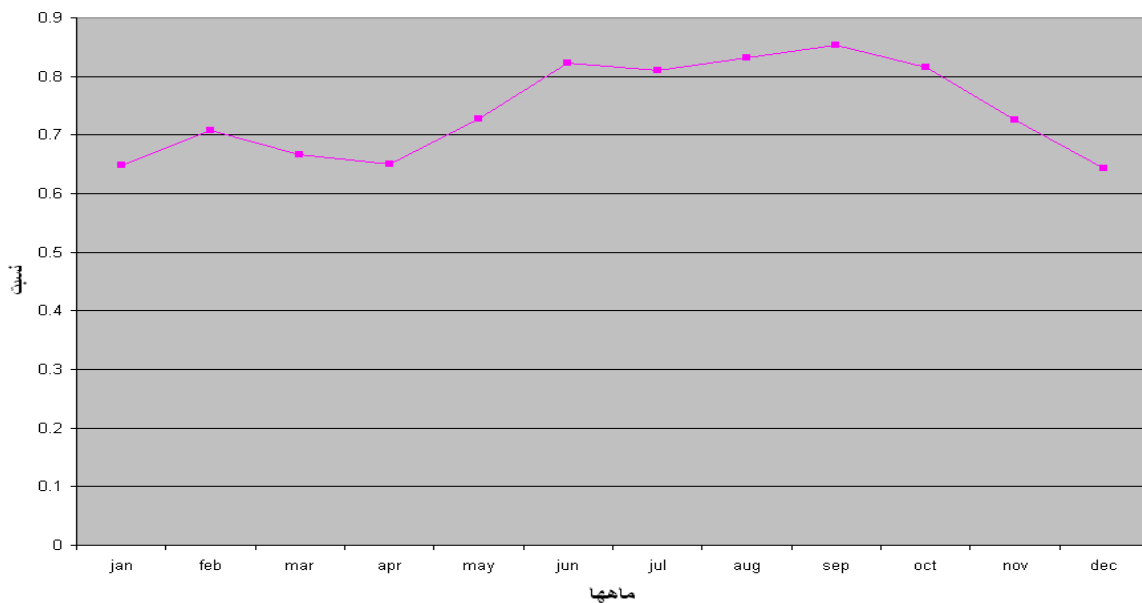
$$\frac{\overline{H}}{H_0} = 0.22 + 0.41 \frac{\overline{S}}{S_0}$$

چگونگی محاسبه فرمول فوق در شکل شماره ۳

نمایش داده شده است.

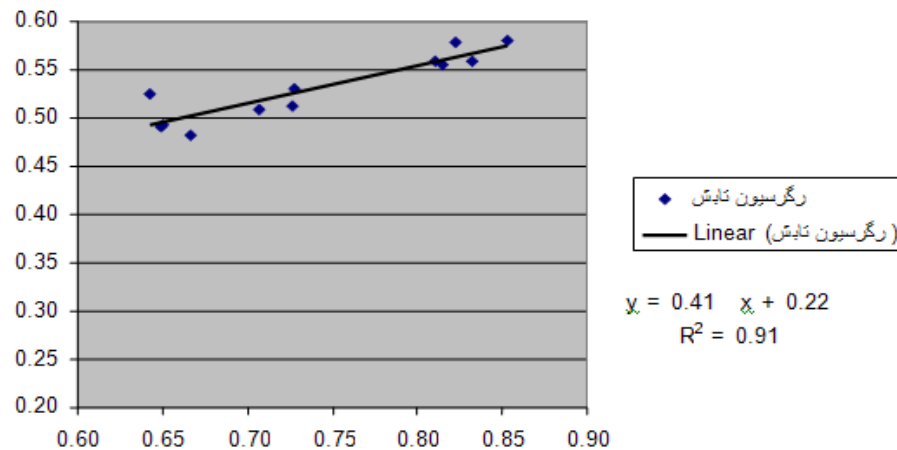


شکل شماره ۱: مقادیر متوسط تابش روزانه رسیده به سطح افقی زمین در ماه‌های مختلف در اصفهان



شکل شماره ۲: متوسط نسبت ساعات آفتابی در ماه‌های مختلف در اصفهان

نمودار شماره (3) مدل نهایی رگرسیون بین $\frac{\bar{S}}{S_0}$ و $\frac{\bar{H}}{H_0}$



بحث و نتیجه گیری

نتایج به دست آمده در این مقاله نشان داد که مقدار تابش ورودی به سطح در شهر اصفهان که به کمک رابطه فوق به دست می آید، از دقت کافی برخوردار است.

نتایج این تحقیق نشان داد که بین داده‌های برآورد شده به کمک این مدل و داده‌های واقعی ارتباط معناداری وجود دارد. این رابطه کاربردهای بسیار زیادی، به ویژه در برآورد تابش خورشیدی در ایستگاه‌های اقلیم شناسی دارد، چرا که در ایستگاه‌های اقلیم شناسی و حتی برخی از ایستگاه‌های سینوپتیک استان، دستگاه اکتینوگراف که مستقیماً مقدار تابش خورشیدی را اندازه گیری می‌کند وجود ندارد و عملاً مقدار تابش خورشیدی رسیده به سطح، اندازه گیری نمی‌شود. لذا در صورتی که رابطه معناداری بین پارامترهای اقلیمی در ایستگاه اصفهان و سایر ایستگاه‌های فاقد دستگاه اندازه‌گیری تابش در استان وجود داشته باشد، می‌توان با تعمیم مدل ارائه شده،

برآورد تابش مقادیر شدت تابش خورشیدی رسیده به سطح افقی را در ایستگاه‌هایی که پارامتر ساعات آفتابی را اندازه گیری می‌نمایند، تخمین زد.

منابع

- ۱- خلیلی، علی، ۱۳۷۶، برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده‌های اقلیمی. تحقیقات جغرافیایی پاییز ۱۳۷۶ - شماره ۴۶: ۲۷-۳۴
- ۲- خلیلی، علی، اسحاق مرادی و غلامعلی کمالی، (۱۳۸۱)، مقایسه مدل‌های مختلف برآورد تابش مستقیم خورشید بر روی سطوح شیبدار، مجموعه مقالات دومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، ۱۳۸۱
- ۳- صمیمی، جلال، (۱۳۶۴)، انرژی خورشیدی برای ایران، مجله فیزیک، ۱۳۶۴، جلد سوم شماره: ۲: ۳۰-۱۸

۱۳-La Casiniere et al., 1997 A. La Casiniere, A.I.

De Bokoye and T. Cabot, Direct solar spectral irradiance measurements and updated simple transmittance models, *J. Appl. Meteorol.* 36 (1997), pp. 509–520

۱۴-Tymvios et al., 2005 F.S. Tymvios, C.P.

Jacovide, S.C. Michaelides and C. Scouteli, Comparative study of Angstroms and artificial neural networks methodologies in estimating global solar radiation, *Solar Energy* 78 (2005), pp. 752–762

15- Rivingtom, 2005, Evaluation of three model estimations of solar radiation at 24 UK statron, *agri & for met.*

۴- کمالی، غلامعلی و اسحاق مرادی، (۱۳۸۴)، تابش

خورشید: اصول و کاربردها در کشاورزی و انرژیهای نو

انتشارات پژوهشکده هواشناسی ۲۹۹ صفحه

۵- مرادی، اسحاق، (۱۳۸۱)، برآورد شدت تابش

خورشیدی در سطوح شیبدار، پایان نامه کارشناسی ارشد

هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران.

6-Allen et al., 1998 Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., 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

7.Bristow m., 2003, On the relationship between incoming solar radiation and atmospheric parameters, *Agri & for met.*, 31-15-22

8. Dorota A. Chwieduk, 2008 Recommendation on modelling of solar energy incident on a building envelope *Renewable Energy*, Volume 34, Issue 3, March 2008, Pages 736-741

9. Efim G. Evseev, Avraham I. Kudish An assessment of a revised Olmo et al. model to predict solar global radiation *Renewable Energy*, Volume 34, Issue 1, January 2008 Pages 112-119

10- Jérôme G. Fortin ,2008, Comparison of empirical daily surface incoming solar radiation models , *Agricultural and Forest Meteorology* Volume 148, Issues 8-9, 4 July 2008, Pages 1332-1340

۱۱. Kimball, J.S., S.W. Running and R. Nemani

(1997). An improved method for estimating surface humidity from daily minimum temperature, *Agricultural and Forest Meteorology* 85, 87-98

۱۲- Louis E, 2003, Relationship between Global

solar radiation & sunshine duration for onne, Nigeria