فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۲، شماره پیاپی ۱۰۹
حمیدرضا فولادمند، استادیار آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت
سحر هادی‌پور، کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت
H. Foladmand
S. Hadipoor
E-mail: hrfoolad@yahoo.com
شماره مقاله: ۸۹٤ **صص: ۱۲-۱**
وصول: ۱۳۹۱/۳/۲ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۸

واسنجی و ارزیابی روش‌های مختلف تخمین تابش خورشیدی روزانه (مطالعه موردی: رشت)

چکیده

تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین (R_s) در بسیاری از علوم، مانند کشاورزی و آبیاری دارای کاربرد فراوانی است، اما اندازه‌گیری آن در تعداد کمی از ایستگاه‌های هواشناسی ایران انجام می‌شود. از این‌رو، می‌توان از روش‌های تخمینی R_s استفاده نمود. در این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری شده R_s در ایستگاه رشت طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ برای واسنجی معادله‌ها و طی سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ برای ارزیابی معادله‌ها استفاده شد و روزهای ابری و غیرابری نیز از یکدیگر تفکیک شدند. نتایج نشان داد که برای روزهای غیر ابری، معادله ساده آنگستروم مناسب‌تر از سایر معادله‌هاست. همچنین، نتایج نشان داد که برای روزهای ابری هیچ کدام از معادله‌های ارائه شده برای تخمین R_s مناسب نیستند، اما در صورت نیاز می‌توان با دقت کمی از معادله ساده پیشنهاد شده به وسیله آلن و همکاران (۱۹۹۸) استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تابش خورشیدی، رشت، روزهای ابری، روزهای غیر ابری، ساعات آفتابی.

مقدمه

تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین (R_s) از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در توازن حرارتی سیستم جو- زمین است و در مهندسی انرژی، هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژی و سایر علوم کاربرد دارد و برآورد صحیح مقدار آن در طراحی شبکه‌ها و برنامه‌ریزی‌های آبیاری نیز دارای اهمیت زیادی است. از مهم‌ترین موارد کاربرد R_s در مسائل کشاورزی و آبیاری، استفاده از آن برای محاسبه تبخیر تعرق به وسیله معادله‌های متداول، مانند پنمن- مانتیت (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) است. از دقیق‌ترین روش‌های اندازه‌گیری R_s در ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی استفاده از پیرانومتر است، اما به علت کمبود امکانات اندازه‌گیری آن در تعداد کمی از ایستگاه‌های سینوپتیک ایران امکان‌پذیر است. از این‌رو، پژوهشگران زیادی روش‌های تخمینی این پارامتر را ارائه نموده‌اند که از مطالعات انجام شده در نواحی محدودی از ایران می‌توان به تحقیقات خلیلی و رضایی‌صدر (۱۳۷۶)، دانشیار (۱۹۷۸)، یعقوبی و جعفرپور (۱۹۹۰)، سبزی‌پرور (۲۰۰۷) و سبزی‌پرور و شیطایی (۲۰۰۷) اشاره نمود. در تحقیقی دیگر نیز سبزی‌پرور (۲۰۰۸) با استفاده از سه روش

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

پالتریج و پروکتر (۱۹۷۶)، صباغ و همکاران (۱۹۷۷) و دانشیار (۱۹۷۸) و اصلاح این مدل‌ها، تابش کل خورشیدی را به صورت ماهانه در منطقه مرکزی ایران تخمین زد.

یکی از متداول‌ترین معادله‌های تخمین R_s معادله آنگستروم (۱۹۲۴) است که به صورت زیر است:

(۱)

$$R_S = \left[a_s + b_s \times \frac{n}{N} \right] \times R_a$$

در معادله فوق R_s: تابش ورودی خورشید به سطح زمین برحسب مگاژول بر متر مربع در روز، R_a: تابش ماورای جوی برحسب مگاژول بر متر مربع در روز، n : ساعات آفتابی واقعی روزانه برحسب ساعت و N : حداکثر ساعات آفتابی روزانه برحسب ساعت است. مقادیر R_a و N به عرض جغرافیایی محل و شماره روز سال برمبنای تقویم میلادی بستگی داشته و از معادله‌های ارائه شده به وسیله آلن و همکاران (۱۹۹۸) برای هر روز سال قابل محاسبه هستند. a_s و b_s نیز ضرایب ثابت معادله هستند که در صورت معلوم نبودن مقدار آن‌ها به ترتیب برابر ۰/۲۵ و ۰/۵ درنظر گرفته می‌شوند (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). این دو ضریب به بسیاری از پارامترها، از جمله عرض جغرافیایی، ارتفاع محل از سطح دریا، فصول سال، نسبت ساعات آفتابی واقعی به حداکثر ساعات آفتابی روزانه و شرایط جغرافیایی و اقلیمی منطقه بستگی دارد (صفایی و همکاران، ۱۳۸۴). در تحقیقاتی نیز این دو ضریب برای مناطق مختلف ایران تعیین شده‌اند. برای مثال، مالک (۱۹۷۹) برای منطقه باجگاه در استان فارس با استفاده از آمار سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۲ ضرایب a_s و b_s را به ترتیب برابر ۰/۳۱ و ۰/۵۵ به دست آورد و مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) برای همین منطقه با استفاده آمار سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ ضرایب a_s و b_s را به ترتیب برابر ۰/۳۱ و ۰/۶۰ به دست آوردند. همچنین، ضرایب a_s و b_s برای منطقه ملاثانی در استان خوزستان توسط کاشفی‌پور و سپاسحواه (۱۳۷۶) به ترتیب برابر ۰/۲۲ و ۰/۴۱ و برای اصفهان توسط حیدرپور و همکاران (۱۳۸۶) به ترتیب برابر ۰/۲۷ و ۰/۴۹ به دست آمده‌اند. همچنین، ضرایب a_s و b_s برای مشهد توسط خلیلی و رضایی‌صدر (۱۳۷۶) به ترتیب برابر ۰/۳ و ۰/۳۷ و توسط علیزاده و خلیلی (۱۳۸۸) به ترتیب برابر ۰/۲۳ و ۰/۴۴ به دست آمده‌اند، اما در ادامه تحقیقات موسوی بایگی و همکاران (۱۳۸۹) برای این منطقه نشان داد که مقادیر ۰/۲۵ و ۰/۵ برای ضرایب a_s و b_s مناسب‌تر است. صفایی و همکاران (۱۳۸۴) نیز ضرایب a_s و b_s را برای مجموعه ایستگاه‌های اصفهان، اقدسیه، بندرعباس، رامسر، تبریز، مشهد، تهران، کرمانشاه و یزد به ترتیب برابر ۰/۲۵ و ۰/۴۵ به دست آوردند. در دیگر نقاط دنیا نیز این دو ضریب تعیین شده است. برای مثال، ضرایب a_s و b_s در اسپانیا توسط آلموروکس و هونتوریا (۲۰۰۴) به ترتیب برابر ۰/۲۲ و ۰/۵۵، در شمال شرق انگلستان توسط هانا و سیام (۲۰۰۷) به ترتیب برابر ۰/۱۹ و ۰/۶۲ و در چین توسط ین و همکاران (۲۰۰۸) به ترتیب برابر ۰/۲۰ و ۰/۷۹ به دست آمده است.

ریتولد (۱۹۷۸) مقادیر ثابت معادله ۱ را وابسته به نسبت n به N درنظر گرفت و معادله زیر را ارائه داد:

(۲)

$$R_S = R_a \left[(a_1 + b_1 \frac{n}{N}) + (a_2 + b_2 \frac{n}{N}) \frac{n}{N} \right]$$

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

در معادله فوق a_1، b_1، a_2 و b_2 ضرایب ثابت معادله هستند که برای منطقه باجگاه در استان فارس به ترتیب برابر ۰/۲۶، ۰/۴۳، ۰/۴۳ و ۰/۲۵- به دست آمده‌اند (مجنونی هریس و همکاران، ۱۳۸۷).

از طرف دیگر، بعضی از محققان برای تخمین R_s به جای استفاده از نسبت n به N از پارامترهای دیگری مانند دمای هوا استفاده نموده‌اند. برای مثال، هارگریوز و سامانی (۱۹۸۲) معادله زیر را پیشنهاد کرده‌اند:

(۳)

$$R_S = K \times R_a \sqrt{T_{max} - T_{min}}$$

در معادله فوق T_{max} و T_{min} به ترتیب حداکثر و حداقل دما برحسب درجه سانتی‌گراد و K ضریب ثابت معادله است که بین ۰/۱۶ تا ۰/۱۹ متغیر است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) ضریب K را برای منطقه باجگاه در استان فارس برابر ۰/۱۷۱۵ به دست آورده‌اند. ساطانی و مرید (۱۳۸۴) برای ایستگاه‌های مهرآباد تهران، شیراز و زاهدان عملکرد بهتر شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به روش هارگریوز و سامانی (۱۹۸۲) را در برآورد تابش نشان دادند، در حالی که از مزایای روش هارگریوز و سامانی (۱۹۸۲) سادگی و امکان تلفیق آسان آن با مدل‌های هیدرولوژیکی است. بیات و میرلطیفی (۱۳۸۸) نیز در تحقیقی مدل‌های برآورد تابش را برای منطقه کرج واسنجی و برای شیراز مورد ارزیابی کردند و نشان دادند که در صورت اندازه‌گیری نکردن ساعت‌های آفتابی، روش هارگریوز و سامانی (۱۹۸۲) روش مناسبی است. تحقیقات رحیمی‌خوب و همکاران (۱۳۸۸) در منطقه پاکدشت در جنوب شرق تهران نشان داد که مدل‌های مبتنی بر ساعات آفتابی نسبت به مدل‌های مبتنی بر دما برای تخمین تابش مناسب‌تر هستند.

هارگریوز و همکاران (۱۹۸۵) معادله‌ای دیگر به صورت زیر برای تخمین R_s پیشنهاد نموده‌اند:

(۴)

$$R_S = R_a (c\sqrt{T_{max} - T_{min}} + d)$$

در معادله فوق c و d ضرایب ثابت معادله‌اند که برای منطقه باجگاه در استان فارس به ترتیب برابر ۰/۱۵۵ و ۰/۰۷۳ به دست آمده‌اند (مجنونی هریس و همکاران، ۱۳۸۷).

آلن و همکاران (۱۹۹۸) نیز برای روزهای غیر ابری معادله ساده زیر را پیشنهاد کرده‌اند:

(۵)

$$R_S = eR_a + f$$

در معادله فوق e و f ضرایب ثابت معادله هستند که برای منطقه باجگاه در استان فارس به ترتیب برابر ۰/۶۹ و ۳/۹۰ به دست آمده‌اند (مجنونی هریس و همکاران، ۱۳۸۷).

در تحقیقات مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷)، اوجوسو و کومالاف (۱۹۸۷)، اودودو و همکاران (۱۹۹۵)، چن و همکاران (۲۰۰۶) و منگز و همکاران (۲۰۰۶) نیز برای افزایش دقت تخمین R_s از ترکیب نسبت n به N و پارامترهای دیگر هواشناسی، مانند: دما و رطوبت نسبی هوا، فشار بخار اشباع و بارندگی استفاده شده است و اکثر مطالعات انجام شده نشان داده است که معادله‌های ارائه شده دقت بالایی در تخمین R_s دارند.

هدف اصلی این تحقیق، واسنجی و ارزیابی چند معادله مختلف برای تخمین R_s در روزهای ابری و غیر ابری با استفاده از نسبت n به N و دماهای میانگین، حداکثر و حداقل در منطقه رشت است.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

داده‌ها و روش‌ها

برای انجام این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری شده روزانه R_s، n، T_{max}، T_{min} و T_{mean} (میانگین دمای روزانه هوا برحسب درجه سانتیگراد) ایستگاه هواشناسی سینوپتیک رشت (با طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۹ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه و ارتفاع ۳۶/۷ متر از سطح دریا) طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ استفاده شد و مقادیر روزانه R_a و N نیز محاسبه شد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). از داده‌های سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ برای واسنجی معادله‌ها و از داده‌های سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ برای ارزیابی معادله‌ها استفاده شد. همچنین، بعضی از روزهای سال به علت داشتن آمار ناقص در معادله‌ها منظور نگردید. میانگین مجموع ساعات آفتابی سالانه این ایستگاه ۱۵۹۳/۶ ساعت و میانگین روزهای ابری سالانه این ایستگاه ۱۶۸ روز است، به عبارتی، حدود ۴۶ درصد روزهای سال در این منطقه ابری است. بر این اساس، روزهای ابری (مقدار n برابر صفر) و روزهای غیر ابری (مقدار n برابر غیر صفر) از یکدیگر تفکیک گردید تا معادله‌های جداگانه‌ای برای روزهای ابری و غیر ابری ارائه شود؛ با این توضیح که برای روزهای ابری از معادله‌های دربرگیرنده نسبت n به N استفاده نشد. شایان ذکر است که داده‌های به کار رفته برای واسنجی و ارزیابی معادله‌های روزهای غیر ابری به ترتیب ۵۸۴ و ۴۹۰ روز و داده‌های به کار رفته برای واسنجی و ارزیابی معادله‌های روزهای ابری به ترتیب ۱۷۰ و ۱۲۷ روز بود.

معادله‌های ارایه شده برای روزهای غیرابری

برای روزهای غیر ابری علاوه بر معادله‌های ۱ تا ۵ از معادله‌های چند متغیره زیر نیز استفاده گردید:

(۶)

$$R_S = R_a\left[a + b\sqrt{T_{max} - T_{min}} + c\frac{n}{N}\right]$$

(۷)

$$R_S = R_a\left[a + bT_{mean} + c\frac{n}{N}\right]$$

(۸)

$$R_S = R_a\left[a + b(T_{max} - T_{min}) + c\frac{n}{N}\right]$$

(۹)

$$R_S = R_a\left[a + b\sqrt{T_{max} - T_{min}} + cT_{mean} + d\frac{n}{N}\right]$$

(۱۰)

$$R_S = R_a\left[(a + b\sqrt{T_{max} - T_{min}} + c\frac{n}{N}) + (d + e\sqrt{T_{max} - T_{min}} + f\frac{n}{N})\frac{n}{N}\right]$$

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

شایستهٔ توضیح است که شکل کلی بعضی از این معادله‌ها توسط مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) پیشنهاد شده و بعضی دیگر از یافته‌های این تحقیق است.

معادله‌های ارائه شده برای روزهای ابری

برای روزهای ابری از معادله‌های ۳، ۴ و ۵ استفاده گردید و ضرایب این معادله‌ها به صورت جداگانه به دست آمد. شایان ذکر است که معادله ۵ به وسیله آلن و همکاران (۱۹۹۸) برای روزهای غیر ابری پیشنهاد شده، اما در این تحقیق برای روزهای ابری نیز در نظر گرفته شده است.

برای تعیین ضرایب معادله‌ها در صورت امکان از روش رگرسیون‌گیری و در غیر این صورت از منوی Solver نرم‌افزار Excel بر مبنای حداقل کردن اختلاف مجموع مربعات مقادیر اندازه‌گیری و تخمین زده شده تابش استفاده گردید. برای بررسی دقت تخمین نتایج در مراحل واسنجی و ارزیابی معادله‌ها نیز از جذر میانگین مجموع مربع خطاها (RMSE) به شکل رابطه زیر استفاده شد:

(۱۱)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (x_i - y_i)^2}{m}}$$

در معادله فوق RMSE برحسب مگاژول بر متر مربع در روز، x_i و y_i به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری و تخمین زده شده R_s و m تعداد کل داده‌هاست. هرچه مقدار RMSE کمتر باشد، معادله مورد نظر تخمین بهتری داشته و لذا مناسب‌تر است.

همچنین، برای تعیین آن‌که هر کدام از معادله‌های مورد نظر نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده تخمین بیشتر و یا کمتری زده است، از ضریب مجموع باقیمانده‌ها (CRM) به شکل زیر استفاده شد:

(۱۲)

$$CRM = \frac{\sum (x_i - y_i)}{\sum x_i}$$

چنانچه CRM مثبت شود، معادله مورد نظر مقدار R_s را کم تخمین زده است و بر عکس، در صورتی که CRM منفی شود، معادله مورد نظر مقدار R_s را زیاد تخمین زده است (فولادمند و همکاران، ۱۳۸۸).

بحث

نتایج به دست آمده معادله‌های ۱ تا ۱۰ برای روزهای غیر ابری در جدول ۱ ارائه شده است.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

جدول ۱- نتایج به دست آمده معادله‌های ۱ تا ۱۰ برای روزهای غیر ابری

شماره	معادله
۱	$R_s = \left[0.28 + 0.48 \times \frac{n}{N}\right] \times R_a$
۲	$R_s = R_a\left[(0.71 - 0.14\frac{n}{N}) + (0.88 - 0.82\frac{n}{N})\frac{n}{N}\right]$
۳	$R_s = 0.164 \times R_a\sqrt{T_{max} - T_{min}}$
۴	$R_s = R_a(0.19\sqrt{T_{max} - T_{min}} - 0.09)$
۵	$R_s = 0.52R_a + 0.43$
۶	$R_s = R_a\left[0.05 + 0.09\sqrt{T_{max} - T_{min}} + 0.38\frac{n}{N}\right]$
۷	$R_s = R_a\left[0.35 - 0.004T_{mean} + 0.49\frac{n}{N}\right]$
۸	$R_s = R_a\left[0.19 + 0.01(T_{max} - T_{min}) + 0.39\frac{n}{N}\right]$
۹	$R_s = R_a\left[0.13 + 0.08\sqrt{T_{max} - T_{min}} - 0.003T_{mean} + 0.40\frac{n}{N}\right]$
۱۰	$(0.19 + 0.04\sqrt{T_{max} - T_{min}} + 0.12\frac{n}{N}) + (0.02 + 0.11\sqrt{T_{max} - T_{min}} - 0.13\frac{n}{N})\frac{n}{N}\Big]$

چنانچه در جدول ۱ مشاهده می‌شود، ضرایب a_s و b_s معادله ۱ به ترتیب برابر ۰/۲۸ و ۰/۴۸ به دست آمده است که با مقدار این دو ضریب برای دیگر مناطق کشور اختلاف کمی دارد، اما ضرایب معادله ۲ با ضرایب به دست آمده به وسیله مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) برای منطقه باجگاه در استان فارس تفاوت زیادی دارد. ضریب K معادله ۳ برای منطقه رشت برابر ۰/۱۶۴ به دست آمده که بین مقادیر گزارش شده ۰/۱۶ تا ۰/۱۹ به وسیله آلن و همکاران (۱۹۹۸) است و با ضریب به دست آمده به وسیله مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) برای منطقه باجگاه (برابر ۰/۱۷۱۵) نیز اختلاف کمی دارد. ضریب c معادله ۴ برابر ۰/۱۹ به دست آمده که اختلاف کمی با این ضریب گزارش شده (برابر ۰/۱۵۵) به وسیله مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) برای منطقه باجگاه دارد، اما ضریب d این معادله برابر ۰/۰۹- شده که با این ضریب گزارش شده (برابر ۰/۰۷۳) به وسیله مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) برای منطقه باجگاه دارای اختلاف نسبتاً زیادی است. همچنین، ضریب e معادله ۵ با ضرایب به دست آمده به وسیله مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) برای منطقه باجگاه اختلاف نسبتاً کمی دارد (۰/۵۲ در برابر ۰/۶۹)، اما ضریب f معادله ۵ با ضرایب به دست آمده به وسیله مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) برای منطقه باجگاه اختلاف زیادی دارد (۰/۴۳ در برابر ۳/۹۰). از جمله دلایل تفاوت ضرایب معادله‌های فوق برای مناطق رشت و باجگاه می‌توان به اقلیم‌های کاملاً متفاوت این دو منطقه اشاره نمود.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

در جدول ۲ مقادیر پارامترهای RMSE و CRM معادله‌های ۱ تا ۱۰ برای روزهای غیر ابری در دو مرحله واسنجی و ارزیابی ارائه شده است.

جدول ۲- مقادیر RMSE و CRM معادله‌های ۱ تا ۱۰ برای روزهای غیر ابری و دو مرحله واسنجی و ارزیابی

شماره معادله	RMSE واسنجی	CRM واسنجی	RMSE ارزیابی	CRM ارزیابی
۱	۴/۱۰	-۰/۰۰۵	۳/۰۶	۰/۰۸۷
۲	۵/۰۴	۰/۰۷۰	۹/۱۳	-۰/۳۸۲
۳	۴/۷۷	-۰/۰۰۲	۴/۶۳	۰/۰۸۲
۴	۵/۲۹	-۰/۱۵۰	۴/۳۱	-۰/۰۵۴
۵	۵/۸۵	۰/۰۵۵	۶/۱۰	۰/۱۲۶
۶	۳/۹۵	۰/۰۰۴	۳/۲۱	۰/۰۹۶
۷	۴/۰۳	-۰/۰۰۵	۳/۳۴	۰/۰۹۷
۸	۳/۹۵	۰/۰۰۳	۳/۲۴	۰/۰۹۶
۹	۳/۹۰	-۰/۰۰۵	۳/۳۶	۰/۰۹۷
۱۰	۳/۹۲	۰/۰۰۱	۳/۲۴	۰/۰۹۲

مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقات خود در منطقه باجگاه در استان فارس برای مرحله واسنجی معادله‌های تخمین تابش مقادیر RMSE را بین ۱/۹۳ تا ۵/۱۶ مگاژول بر متر مربع در روز و برای مرحله ارزیابی بین ۲/۲۳ تا ۳/۸۲ مگاژول بر متر مربع در روز گزارش نموده‌اند. علیزاده و خلیلی (۱۳۸۸) نیز برای مشهد برای مرحله واسنجی دو معادله تخمین تابش مقادیر ۱۴/۹ و ۱۵/۸ مگاژول بر متر مربع در روز و برای مرحله ارزیابی مقدار ۱۱/۶ مگاژول بر متر مربع در روز را برای پارامتر آماری RMSE گزارش کرده‌اند. همچنین، موسوی بایگی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی دیگر برای مشهد مقادیر RMSE معادله‌های مختلف تخمین تابش را بین ۲/۶۵ تا ۶/۱۵ مگاژول بر متر مربع در روز گزارش نموده‌اند. چنانچه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مقادیر RMSE به دست آمده در این تحقیق بین مقادیر گزارش شده در تحقیقات مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷)، علیزاده و خلیلی (۱۳۸۸) و موسوی بایگی و همکاران (۱۳۸۹) است و لذا کلیه معادله‌های ارائه شده برای تخمین تابش در رشت قابل قبول هستند. با این حال، چنانچه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، کمترین مقدار RMSE در مرحله واسنجی به ترتیب مربوط به معادله‌های ۹، ۱۰، ۶، ۸، ۷ و ۱ است که البته اختلاف کمی با یکدیگر دارند (از ۳/۹۰ تا ۴/۱۰)، اما کمترین مقدار RMSE در مرحله ارزیابی به ترتیب مربوط به معادله‌های ۱، ۶، ۸، ۱۰، ۷ و ۹ است که اختلاف آن‌ها نیز با یکدیگر کم است (از ۳/۰۶ تا ۳/۳۶). مقادیر CRM کلیه این معادله‌ها در دو مرحله واسنجی و ارزیابی نیز اختلاف بسیار کمی با عدد صفر دارند. همچنین، مقدار RMSE معادله‌های ۱، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ در مرحله ارزیابی کمتر از مرحله واسنجی است که این موضوع نشان‌دهنده مناسب بودن ضرایب به دست آمده معادله‌های ذکر شده در مرحله واسنجی است. بنابراین، به طور کلی برای روزهای غیر ابری معادله‌های ۱، ۶،

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

۷، ۸، ۹ و ۱۰ معادله‌های مناسبی برای تخمین R_s هستند، اما با توجه به ساده‌تر بودن معادله ۱، استفاده از آن برای تخمین R_s در روزهای غیر ابری در رشت بیشتر توصیه می‌شود.

نتایج به دست آمده معادله‌های ۳ تا ۵ برای روزهای ابری در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج به دست آمده معادله‌های ۳ تا ۵ برای روزهای ابری

شماره	معادله
۳	$R_s = 0.073 \times R_a \sqrt{T_{max} - T_{min}}$
۴	$R_s = R_a (0.03\sqrt{T_{max} - T_{min}} + 0.10)$
۵	$R_s = 0.17R_a - 0.40$

چنانچه در جدول ۳ مشاهده می‌شود، ضریب K معادله ۳ برای روزهای ابری برابر ۰/۰۷ به دست آمده است که بین مقادیر ارائه شده ۰/۱۶ تا ۰/۱۹ به وسیله آلن و همکاران (۱۹۹۸) نیست. ضریب c معادله ۴ برابر ۰/۰۳ به دست آمده که اختلاف نسبتاً زیادی با این ضریب گزارش شده (برابر ۰/۱۵۵) به وسیله مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) برای منطقه باجگاه دارد، اما ضریب d این معادله برابر ۰/۱۰ شده که با این ضریب گزارش شده (برابر ۰/۰۷۳) به وسیله مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) برای منطقه باجگاه دارای اختلاف نسبتاً کمی است. همچنین، ضریب e معادله ۵ با ضرایب به دست آمده به وسیله مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) برای منطقه باجگاه اختلاف زیادی دارد (۰/۱۷ در برابر ۰/۶۹) و همچنین، ضریب f معادله ۵ با ضرایب به دست آمده به وسیله مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) برای منطقه باجگاه اختلاف بسیار زیادی دارد (۰/۴۰- در برابر ۳/۹۰). از جمله دلایل تفاوت ضرایب معادله‌های فوق برای مناطق رشت و باجگاه علاوه بر تفاوت بسیار زیاد اقلیم این دو منطقه، اعمال معادله‌های فوق برای روزهای ابری در منطقه رشت است، در حالی که مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) معادله‌هایی کلی برای روزهای ابری و غیر ابری به دست آورده‌اند.

در جدول ۴ مقادیر پارامترهای RMSE و CRM معادله‌های ۳ تا ۵ برای روزهای ابری در دو مرحله واسنجی و ارزیابی ارائه شده است.

جدول ٤- مقادیر RMSE و CRM معادله‌های ۳ تا ۵ برای روزهای ابری و دو مرحله واسنجی و ارزیابی

شماره معادله	RMSE واسنجی	CRM واسنجی	RMSE ارزیابی	CRM ارزیابی
۳	۱/۶۷	۰/۰۴	۱۸/۵۳	۰/۹۴
۴	۳/۱۶	۰/۶۳	۱۸/۹۹	۰/۹۷
۵	۱/۹۲	-۰/۲۰	۱۶/۳۵	۰/۸۱

چنانچه در جدول ۴ مشاهده می‌شود، کمترین مقدار RMSE در مرحله واسنجی به ترتیب مربوط به معادله‌های ۳، ۵ و ۴ است و کمترین مقدار RMSE در مرحله ارزیابی به ترتیب مربوط به معادله‌های ۵، ۳ و ۴ است، اما نکته قابل توجه آن

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

است که مقدار RMSE کلیه معادله‌ها در مرحله ارزیابی بسیار بیشتر از مقدار RMSE معادله‌ها در مرحله واسنجی است که این موضوع نشان‌دهنده نامناسب بودن ضرایب به دست آمده معادله‌های ذکر شده در مرحله واسنجی است. بنابراین، به طور کلی برای روزهای ابری هیچ کدام از معادله‌های ذکر شده برای تخمین R_s مناسب نیستند، اما با توجه به مقادیر به دست آمده RMSE و CRM مراحل واسنجی و ارزیابی، معادله ۵ بهتر از سایر معادله‌هاست، در حالی که این معادله به وسیله آلن و همکاران (۱۹۹۸) برای روزهای غیر ابری پیشنهاد شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که برای روزهای غیر ابری، استفاده از معادله ساده آنگستروم (معادله ۱) که مبتنی بر ساعات آفتابی است، معادله مناسبی برای تخمین R_s در منطقه رشت است. اگرچه هیچ شباهت اقلیمی بین رشت با مناطق مشهد و پاکدشت در جنوب شرق تهران وجود ندارد، اما علیزاده و خلیلی (۱۳۸۸) نیز برای مشهد معادله ساده آنگستروم را توصیه کرده‌اند و تحقیقات رحیمی‌خوب و همکاران (۱۳۸۸) در منطقه پاکدشت در جنوب شرق تهران نیز نشان داده است که مدل‌های مبتنی بر ساعات آفتابی نسبت به مدل‌های مبتنی بر دما برای تخمین تابش مناسب‌تر هستند؛ هرچند تحقیقات مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۷) برای منطقه باجگاه در استان فارس با اقلیم متفاوت با رشت نشان داده است که مدل منطقه‌ای ارائه شده که به پارامترهای کمبود فشار بخار اشباع، درصد رطوبت نسبی، بارندگی روزانه، حداقل، حداکثر و میانگین دمای روزانه و نسبت n به N بستگی دارد، از معادله ساده آنگستروم (معادله ۱) مناسب تر است. از طرف دیگر، نتایج این تحقیق نشان داد که معادله ساده پیشنهاد شده به وسیله آلن و همکاران (۱۹۹۸) برای روزهای غیر ابری (معادله ۵) که تنها به مقدار تابش ماورای جوی (R_a) بستگی دارد، در مقایسه با سایر معادله‌ها برای تخمین R_s در منطقه رشت مناسب نیست، در حالی که این معادله برای منطقه باجگاه در استان فارس دقت بالایی برای تخمین R_s دارد (مجنونی هریس و همکاران، ۱۳۸۷). با وجود این، معادله ۵ با ضرایب به دست آمده برای روزهای ابری با دقت نسبتاً کمی در منطقه رشت قابل توصیه است؛ هرچند که اساس این معادله برای روزهای غیر ابری است.

منابع:

۱- بیات، ک. و س. م. میرلطیفی. (۱۳۸۸). «تخمین تابش کل خورشیدی روزانه با استفاده از مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی». علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۶(۳): ۲۷۰- ۲۸۰.

۲- حیدرپور، م.، س. ف. موسوی و س. ا. هاشمی. (۱۳۸۶). «واسنجی معادله پنمن- مانتیت برای برآورد تشعشع خالص در منطقه اصفهان»، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۱(۲): ۱۷۱- ۱۸۰.

۳- خلیلی، ع. و ح. رضایی‌صدر. (۱۳۷۶). «برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده‌های اقلیمی»، تحقیقات جغرافیایی، ۴۶: ۱۵-۳۵.

۴- رحیمی‌خوب، ع.، س. م. ر. بهبهانی و م. جمشیدی. (۱۳۸۸). «ارزیابی دو روش تجربی و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد تابش خورشید رسیده به زمین- مطالعه موردی در جنوب شرق تهران»، علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۳(۵۰): ۵۳-۶۲.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

۵- سلطانی، س. و س. مرید. (۱۳۸۴). «مقایسه برآورد تابش خورشید با استفاده از روش هارگریوز- سامانی و شبکه‌های عصبی مصنوعی»، دانش کشاورزی، ۱۵(۱): ۶۹-۷۷.

۶- صفائی، ب.، م. خلجی اسدی، ح. تقی‌زاده، ا. جیلاوی، گ. طالقانی و م. دانش. (۱۳۸۴). «برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در ایران و تهیه اطلس تابشی آن». علوم و فنون هسته‌ای، ۳۳: ۲۷-۳۴.

۷- علیزاده، ا. و ن. خلیلی. (۱۳۸۸). «تعیین ضرایب معادله آنگستروم و توسعه یک معادله رگرسیونی برآورد تابش خورشیدی (مطاله موردی: منطقه مشهد)»، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۳(۱): ۲۲۹-۲۳۸.

۸- فولادمند، ح. ر.، ر. ترابی و ا. امین‌دین. (۱۳۸۸). کاربرد آمار در خاک و آب، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

۹- کاشفی‌پور، س. م. و ع. ر. سپاسخواه. (۱۳۷۶). «تعیین ضرایب محلی تشعشع برای منطقه ملاثانی در استان خوزستان»، علمی کشاورزی، ۲۰: ۱۷-۲۶.

۱۰- مجنونی هریس، ا.، ش. زندپارسا، ع. ر. سپاسخواه و م. ج. ناظم‌السادات. (۱۳۸۷). «توسعه و ارزیابی مدل‌های تخمین تابش خورشیدی بر اساس ساعات آفتابی و اطلاعات هواشناسی»، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۴۶ ب): ۴۹۱-۴۹۹.

۱۱- موسوی بایگی، م.، ب. اشرف و آ. میان‌آبادی. (۱۳۸۹). «بررسی مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی به منظور معرفی مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم نیمه‌خشک»، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۴(۴): ۸۳۶-۸۴۴.

۱۲- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith M. ۱۹۹۸. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. No. ۵۶, FAO, Rome.

۱۳- Almorox, J., and C. Hontoria. ۲۰۰۴. Global solar radiation estimation using sunshine duration in spain. Energy Convers. Manage. ۴۵(۹-۱۰): ۱۵۲۹-۱۵۳۵.

۱۴- Angstrom, A. ۱۹۲۴. Solar and terrestrial radiation. Quart. J. Roy. Met. Soc. ۵۰: ۱۲۱-۱۲۵.

۱۵- Chen, R., E. Kang, S. Lu, J. Y. Xibin Ji, Z. Zhang, and J. Zhang. ۲۰۰۶. New methods to estimate global radiation based on meteorological data in China. Energy Convers. Manage. ۴۷: ۲۹۹۱-۲۹۹۸.

۱۶- Daneshyar, M. ۱۹۷۸. Solar radiation statistics for Iran. J. Solar Energy. ۲۱: ۳۴۵-۳۴۹.

۱۷- Hanna, L. W., and N. Siam. ۲۰۰۷. The empirical relation between sunshine and radiation and its use in estimating evaporation in North East England. Inter. J. Climat. ۱(۱) : ۱۱-۱۹.

۱۸- Hargreaves, G. H., and Z. A. Samani. ۱۹۸۲. Estimating potential evapotranspiration. J. Irrig. Drain. Engin. ۱۰۸ : ۲۲۵-۲۳۰.

۱۹- Hargreaves, G. L., G. H. Hargreaves, and P. Riley. ۱۹۸۵. Irrigation water requirement for the Senegal River Basin. J. Irrig. Drain. Engin. ۱۱۱ : ۲۶۵-۲۷۵.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

۲۰- Malek, E. ۱۹۷۹. Determination of the constants for the global radiation equation at Badjgah, Iran. Agric. Meteorol. ۲۰:۲۳۳–۲۳۵.

۲۱- Menges, H. O., C. Ertekin, and M. H. Sonmete. ۲۰۰۶. Evaluation of global solar radiation models for Konya, Turkey. Energy Convers. Manage. ۴۷: ۳۱۴۹–۳۱۷۳.

۲۲- Ododo, J. C., A. T. Sulaiman, and J. Aidan. ۱۹۹۵. The importance of maximum air temperature in the parameterization of solar radiation in Nigeria. Renew. Energy. ۶: ۷۵۱–۷۶۳.

۲۳- Ojosu, J. O., and L. K. Komolafe. ۱۹۸۷. Models for estimating solar radiation availability in South Western Nigeria. Nig. J. Solar Energy. ۶: ۶۹–۷۷.

۲۴- Paltridge, G. W., and D. Proctor. ۱۹۷۶. Monthly mean solar radiation statistics for Australia. J. Solar Energy. ۱۸: ۲۳۵–۲۴۳.

۲۵- Rietveld, M. R. ۱۹۷۸. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. Agric. Meteorol. ۱۹: ۲۴۳–۲۵۲.

۲۶- Sabbagh, J., A. A. M. Sayigh, and E. M. A. Al–Salam. ۱۹۷۷. Estimation of the total solar radiation from meteorological data. Solar Energy. ۱۹: ۳۰۷–۳۱۱.

۲۷- Sabziparvar, A. A. ۲۰۰۷. General formula for estimation of monthly mean global solar radiation in different climates on the south and north coasts of Iran. Internat. J. Photoenergy. ID: ۹۴۷۸۶.

۲۸- Sabziparvar, A. A. ۲۰۰۸. A simple formula for estimating global solar radiation in central arid deserts of Iran. Renew. Energy. ۳۳: ۱۰۰۲–۱۰۱۰.

۲۹- Sabziparvar, A. A., and H. Shetaee. ۲۰۰۷. Estimation of global solar radiation in arid and semi-arid climates of East and West Iran. Energy. ۳۲: ۶۴۹–۶۵۵.

۳۰- Yaghubi, M. A., and K. Jafarpour. ۱۹۹۰. Global solar radiation in Fars province. Iran. J. Sci. Technol. ۱۴: ۴۷–۶۲.

۳۱- Yin, Y., S. Wu, D. Zheng, and Q. Yang. ۲۰۰۸. Radiation calibration of FAO۵۶ Penman-Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China. Agric. Water Manage. ۹۵: ۷۷–۸۴.

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]

[Downloaded from georesearch.ir on 2026-10-30]