



ارزیابی عملکرد مدل RegCM4 در برآورد تابش (مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری)

مهران حیدری بنی^۱، حجت الله یزدان پناه^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۳۰

چکیده

میزان انرژی دریافتی از خورشید در تراز زمین یکی از داده‌های مورد نیاز در برآورد آب مصرفی گیاهان، مطالعات مرتبط با انرژی‌های پاک و اقلیم‌شناسی است. در این پژوهش، عملکرد دو روش برآورد تابش کلی خورشید بر یک رویه افقی با استفاده از روش‌های آماری و دینامیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت انجام این مطالعه از داده‌های شش ایستگاه همدیدی خودکار سازمان هواشناسی کشور واقع در استان چهارمحال و بختیاری استفاده شد. جهت اجرای مدل اقلیم منطقه‌ای (RegCM4 نسخه 4.0) داده‌های شرایط مرزی و اولیه NNRP1، در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ مورد استفاده قرار گرفت. مدل در هجده تراز سیگما، با گام مکانی ۳۰ کیلومتر و گام زمانی ۱۵۰ دقیقه اجرا شد. مدل آنگستروم به عنوان روش آماری مناسب جهت ارزیابی انتخاب و مقادیر ضرایب آن برای تمامی ماه‌های سال و نقاط مورد مطالعه واسنجی شد. نتایج بیان‌گر آن است که توانایی مدل آنگستروم در برآورد تابش ماه ژوئن در مقایسه با سایر ماه‌ها بیشتر است. کمترین RMSE و کمترین خطای اریبی به میزان 1 W m^{-2} در این ماه دیده می‌شود. در این مدل بیشینه و کمینه ریشه میانگین مربع خطاها به ترتیب ۳۲۱ و 1 W m^{-2} در ایستگاه‌های اردل و شهرکرد مشاهده شد. کمینه مقدار RMSE برای مدل RegCM با 10 W m^{-2} در ماه‌های گرم سال (ژوئن تا سپتامبر) دیده می‌شود و ماه فوریه بیشترین میزان میانگین ریشه دوم خطا را به میزان 480 W m^{-2} داشته است. کمترین میانگین ریشه دوم خطای این مدل در ماه سپتامبر ایستگاه بروجن دیده می‌شود و بیشترین مقدار این آماره مربوط به ایستگاه اردل است. میانگین ریشه دوم خطاها در کل منطقه 175 W m^{-2} می‌باشد. مدل آنگستروم در ۷۳ درصد مواقع کم برآوردگر بوده، در حالی که مدل RegCM در ۹۳ درصد مواقع بیش برآوردی داشته است.

واژه‌های کلیدی: تابش، آنگستروم، مدل اقلیمی، زاگرس مرکزی، ایران

مقدمه

در مقیاس ماهانه است. به این منظور در این پژوهش توانایی دو روش برآورد مبتنی بر روش‌های آماری و روش دینامیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. واسنجی و ارائه ضرایب مدل آنگستروم به عنوان مدل آماری موجود برای هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه و تعریف شرایط مرزی مدل منطقه‌ای RegCM در برآورد این پارامتر جوی از جمله نتایج این مطالعه به شمار می‌رود. در این تحقیق از آمار ایستگاه‌های خودکار جهت انجام کنترل کیفی داده‌ها، تحلیل موضوع و دستیابی به نتیجه قابل اطمینان، استفاده شد. جهت برآورد تابش روزانه خورشید مدل‌ها و مطالعات بسیاری انجام شده است. بریستو و کمبل^۳ (۱۹۸۴) معادله همبستگی بین تغییرات دمای حداکثر و حداقل شبانه روزی و تابش خورشید را نشان

میزان انرژی دریافتی از خورشید در تراز زمین یکی از ارقام مورد نیاز در برآورد آب مصرفی گیاهان، استفاده از انرژی‌های پاک و مسائل مربوط به معیارهای اقلیمی است. با توجه به کامل نبودن شبکه ایستگاه‌های تابش‌سنجی در کشور نیاز به برآورد تابش در مناطق فاقد داده وجود دارد و در برخی از ایستگاه‌های دارای آمار تابش نیز خلاءهای آماری وجود دارد. برای برآورد تابش بر رویه افقی در سطح زمین روش‌ها و مدل‌های بسیاری ارائه گردیده و بیشتر مطالعات انجام شده در این زمینه

^۱ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان
^۲ دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان

*نویسنده مسئول: h.yazdan@geog.ui.ac.ir

^۳ Bristow and Campbell

دادند. هارگریوز و سامانی^۱ (۱۹۸۵) تابش کل روزانه را به عنوان تابعی از تابش فراجو و دامنه روزانه دمای هوا در نظر گرفتند. ردی^۲ (۱۹۷۱) از متغیرهای بارش روزانه و عرض جغرافیائی برای برآورد تابش روزانه خورشید استفاده نمود. محمود و هابارد^۳ (۲۰۰۲) اثرات زمان‌های دیدبانی دمای هوا بر میزان برآورد تابش خورشید در شمال گریت پلین^۴ آمریکا را مورد بررسی قرار دادند. دارل و همکاران^۵ (۲۰۰۵) از ابرناکی و دمای هوا جهت برآورد تابش در منطقه بروکینگ و هورون داکوتا استفاده نمودند. آلموروکس و هنتوریا^۶ (۲۰۰۴) مقدار تابش دریافتی در یکی از شهرهای اسپانیا را با به کارگیری مدل اصلاح شده آنگستروم-پریسکات^۷ پیش‌بینی نمودند. ریوینگتون و همکاران^۸ (۲۰۰۵) با هدف بررسی میزان اثر نوع داده‌های مورد استفاده، سه مدل برآورد تابش را در ۲۴ ایستگاه هواشناسی انگلستان مورد ارزیابی قرار دادند. خلیلی و رضایی صدر (۱۳۷۶) مقادیر تابش کل خورشید بر رویه افق در گستره ایران را بررسی و کشور را از دیدگاه ضرایب معادله آنگستروم و نیز معادله نمایی بین تابش و رطوبت نسبی به ۱۶ ناحیه تقسیم و نقشه هم‌تابش ایران را ارائه کردند. مرادی (۱۳۸۱) تابش دریافتی خورشید بر روی سطوح شیب‌دار را در جهت‌های مختلف مورد مطالعه قرار دادند. سلطانی و مرید (۱۳۸۴) روش‌های هارگریوز-سامانی و شبکه‌های عصبی مصنوعی را در برآورد تابش مورد مقایسه قرار دادند. سبزی‌پور (۱۳۸۴) مدل‌های صباغ و همکاران^۹ (۱۹۷۷)، پالتریچ و پرکتور^{۱۰} (۱۹۷۶) و دانشیار^{۱۱} (۱۹۷۸) را در شمال و جنوب ایران بررسی نمود. حیدری بنی (۱۳۸۶) کاربرد شبکه عصبی مصنوعی را با ۷ مدل مطرح در برآورد تابش مورد مقایسه قرار دادند. نتایج حاصل نشان‌دهنده توانایی مدل آنگستروم در برآورد دقیق‌تر تابش است. یزدان‌پناه و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی به کمک داده‌های تابش ایستگاه ازن‌سنجی اصفهان در دوره آماری بیست ساله

¹ Hargreaves et al.

² Reddy

³ Mahmood and Hubbard

⁴ Great Plains

⁵ Darrell et al.

⁶ Almorox and Hontoria

⁷ Angstrom - Prescott

⁸ Rivington et al.

⁹ Sabbagh et al.

¹⁰ Paltridge and Proctor

¹¹ Daneshyar

¹² Wang et al.

¹³ Elguindi and Giorgi

دستگاه‌های اکتینوگراف اندازه‌گیری می‌شد، مورد استفاده قرار نگرفت و به جهت افزایش دقت از شبکه داده‌برداری جدید وابسته به سازمان هواشناسی کشور که به ایستگاه‌های خودکار لامبرشت^۳ مجهز می‌باشند استفاده شد. حساسه‌های تابش (پیرانومتر) ایستگاه‌های یاد شده از نوع کیپ اند زنن^۴ می‌باشد، که می‌تواند شدت شدت طول موج کوتاه نورخورشید را با دقت ۵ وات بر متر مربع اندازه‌گیری نمایند. واحد تابش کلی روزانه خورشید بر رویه افقی در سطح زمین در تمامی حالات به کار برده شده یکسان و حسب $(W m^{-2} day^{-1})$ وات بر متر مربع در روز است. جهت اجرای مدل RegCM داده‌های شرایط مرزی و اولیه و شرایط پستی و بلندی و پوشش زمین و دمای سطح دریا در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ از وب‌گاه وابسته به مرکز بین‌المللی فیزیک نظری عبدالسلام (ICTP) بارگزاری گردید.

معادلات تابش

با توجه به پژوهش‌های انجام شده روش آنگستروم از جمله روش‌های مهم در برآورد تابش است که با استفاده از روش‌های آماری میزان تابش خورشید بر یک رویه افقی را برآورد می‌نماید. آنگستروم^۵ (۱۹۲۴) پیشنهاد کرد که گذرائی جو با متوسط روزانه ساعات آفتابی موجود (n) به ساعات آفتابی حداکثر یا همان طول روز پتانسیل (N) رابطه خطی دارد. معادله پیشنهادی آنگستروم به صورت معادله (۱) می‌باشد.

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

که در آن K_T گذرائی جو یا نسبت تابش کل روزانه خورشید به تابش فراجو روزانه می‌باشد. a و b ضرایب تجربی هستند که با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده تابش و ساعات آفتابی در یک دوره آماری محاسبه می‌گردند (روزنبرگ^۶، ۱۹۸۳). جهت انجام بخشی از مراحل کنترل کیفی و نیز محاسبه ضریب گذردهی جو نیاز به محاسبه طول روز پتانسیل و تابش فراجو برای هریک از نقاط مورد مطالعه وجود دارد. تابش رسیده به

آماري ۲۰۰۰-۱۹۸۷، آنیا و سمازی^۱ (۲۰۰۷) دریافتند که طرح‌واره گول در مقایسه با داده‌های CMAP دارای اریبی منفی بارش به میزان ۱۰ درصد بوده و هسته‌های بارشی آمازون به خوبی مدل می‌شود. قهرمان و همکاران (۱۳۹۳) مهارت مدل RegCM را در برآورد تبخیر - تعرق پتانسیل در اقلیم گذشته و دوره ۲۰۲۱ تا ۲۰۳۵ در ایستگاه مشهد مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که مدل RegCM بدون اعمال پس پردازش توانایی لازم را جهت برآورد تبخیر - تعرق نخواهد داشت اما پس از اعمال پس پردازش نتایج تا حد مطلوبی به مقدار برآورد شده با معادله پنمن مانتیس نزدیک شده است. اولاینکا و همکاران^۲ (۲۰۱۵) تغییر پذیری زمانی فصلی و سالانه تابش را در نیجریه با استفاده از مدل چند لایه RegCM3 با استفاده از داده‌های شرایط مرزی مدل ECHAM5 گردش عمومی جو برای سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۷ مورد بررسی قرار دادند. مقایسه خروجی‌های مدل، داده‌های واقعی و نیز داده‌های ناسا بیان‌گر کم‌برآوردی مدل در برخی از ماه‌ها و از نظر تشخیص تغییرات سالانه دما و تابش در نواحی مختلف توانایی زیادی نداشته است. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی عملکرد مدل RegCM در برآورد پارامتر تابش و بررسی میزان دقت آن در هر یک از ماه‌های سال براساس داده‌های روزانه و انجام مقایسه با مدل آماری و نیز ارائه ضرایب مدل آنگستروم در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومتر مربع بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این استان در بخش مرکزی کوه‌های زاگرس قرار دارد. در محدوده مطالعاتی تعداد شش ایستگاه هم‌مدیدی از ایستگاه‌های وابسته به سازمان هواشناسی قرار دارد. به علت برخی اشکالات در فرآیند اندازه‌گیری و ثبت داده‌های تابش کلی روزانه خورشید در ایستگاه‌های یاد شده عملاً داده‌های تابش قبل از سال ۲۰۱۰ که به صورت سنتی و توسط

³ lambrecht

⁴ Kipp and Zonen

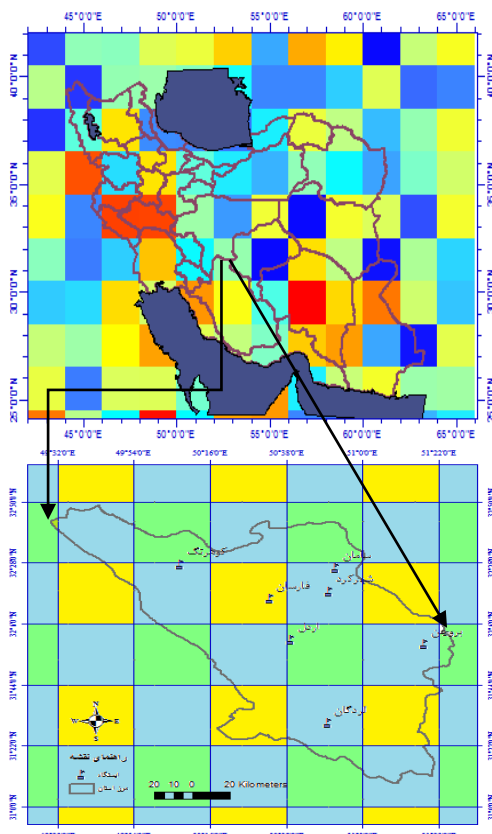
⁵ Angstrom

⁶ Rosenberg

¹ Anyah and Semazzi

² Olayinka et al.

سیگمای عمودی است. نتایج در گام زمانی ۶ ساعته در دسترس هستند. بیش از ۸۰ متغیرمختلف، (از جمله ارتفاع ژئوپتانسیل، دما، رطوبت نسبی، اجزای مداری و نصف‌النهاری باد V و U) در سیستم‌های مختصات مختلف، از جمله ۱۷ سطح فشاری، ۲۸ سطح سیگما در ۹۴ شبکه گوسی و ۱۱ سطح بدون تغییر آنروپی قرار گرفته است (ناسا). در شکل ۱ توان تفکیک داده‌های NNRP1 بر روی ایران و خروجی ریز مقیاس شده بر روی منطقه ارائه شده است.



شکل ۱- توان تفکیک داده‌های NNRP1 بر روی ایران و خروجی ریز مقیاس شده بر روی منطقه

ریز مقیاس‌سازی

مدل‌های اقلیمی در پی همانندسازی فرآیندهای بسیار زیادی هستند که اقلیم را پدید می‌آورند. هدف از مدل‌سازی شناخت فرآیندهای اقلیمی، اثر تغییرات آن‌ها و پیش‌بینی معادلات متقابل‌شان با یکدیگر است. مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs) مدل‌های اقلیمی سه بعدی بوده و توانایی شبیه‌سازی سیستم اقلیمی را با لحاظ نمودن بیشتر فرآیندها در مقیاس جهانی و یا قاره‌ای دارند. این مدل‌ها برای برآورد هرکدام از متغیرهای اقلیمی به محاسبه، ذخیره و تکرار محاسبات

بیرون جو یا تابش برون زمینی^۱ که در برخی منابع تابش فراجو نام گرفته، مقدار تابشی است که در صورت عدم وجود جو به سطح زمین می‌رسید. با استفاده از معادلات ۲ و ۳ می‌توان تابش فراجو را محاسبه نمود (کمالی و مردای، ۱۳۸۴).

$$I_0 = I_{sc} \left(\frac{\bar{d}}{d}\right)^2 \int_{sr}^{ss} \sin(\beta) dt \quad (2)$$

$$I_0 = 3600 I_{sc} \left(\frac{\bar{d}}{d}\right)^2 [N \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\delta) + (24/\pi) \cdot \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot (1 - \tan^2(\phi) \cdot \tan^2(\delta))^{1/2}] \quad (3)$$

در این معادله I_{sc} ثابت خورشیدی (1367 W m^{-2})، \bar{d} متوسط فاصله زمین از خورشید معادل یک واحد نجومی، d فاصله واقعی زمین از خورشید، $\left(\frac{\bar{d}}{d}\right)$ عامل تصحیح، I_0 تابش برون‌زمینی در هر لحظه زمانی مشخص حسب (W m^{-2}) ، β زاویه ارتفاعی خورشید و N طول روز نجومی حسب ساعت می‌باشد. همچنین زمان‌های طلوع و غروب خورشید با ss و sr مشخص شده‌اند. برای محاسبه طول روز ابتدا باید مقدار زاویه سوسو^۲ (Z) طبق معادله (۴) محاسبه گردد و سپس با استفاده از معادلات ۴ و ۵ طول روز محاسبه شود. در معادله‌های زیر ϕ عرض جغرافیایی، δ زاویه میل خورشید، ω سرعت زاویه‌ای زمین و t تعداد ساعات قبل (-) و بعد از ظهر واقعی خورشید است. ظهر زمانی است که $\omega \cdot t = 0$ باشد.

$$Z = \cos^{-1}(\sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega t) \quad (4)$$

زمان طلوع T_{sr} و غروب T_{ss} خورشید با فاصله مساوی از ظهر واقعی با استفاده از معادلات (۵) و (۶) محاسبه می‌شود (دینگمن^۳، ۲۰۰۲).

$$T_{sr} = - \frac{\cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan \phi)}{\omega} \quad (5)$$

$$T_{ss} = + \frac{\cos^{-1}(-\tan \delta \cdot \tan \phi)}{\omega} \quad (6)$$

داده NNRP

در این مجموعه داده‌های آرشیو شده از پروژه تحلیل مجدد NCEP، NCAR، NNRP یا R1 حاصل شده‌اند. توان تفکیک مدل باز تحلیل جهانی ۲۰۹ کیلومتر و معادل شبکه‌ای به ابعاد $2/5 \times 2/5$ درجه در ۲۸ سطح

¹ Extra Terrestrial Radiation

² Zenith angle

³ Dingman

کیل و همکاران^۲، ۱۹۹۶). این تقریب بر روی عوامل جذب و پراکندگی هرلایه نظیر عمق نوری (τ)، سپیدایی تگ پراکندگی (ω)، پارامتر عدم تقارن (g) و کسر پراکندگی رو به جلو (f) پارامترهای مقیاسی را تعریف نموده است (معادلات ۷ تا ۹).

$$f = -\frac{\sum_i f_i \omega_i \tau_i}{\omega \tau}$$

$$\tau^* = \tau(1 - \omega f)$$

$$\omega^* = \omega \left(\frac{1-f}{1-\omega f} \right) \quad (7)$$

$$g^* = \frac{g-f}{1-f}$$

به عنوان مثال راه حل دلتا ادینگتون برای شرایط غیر محافظه کارانه تابش مستقیم هر لایه بر اساس کسینوس زاویه سر سو (μ_0) این گونه ارائه شده است: (جهت اطلاعات بیشتر در خصوص به کوکلی و همکاران^۳، ۱۹۸۳) مراجعه شود.

$$\alpha = \frac{3}{4} \omega^* \mu_0 \left(\frac{1+g^*(1-\omega^*)}{1-\lambda^2 \mu_0^2} \right)$$

$$\gamma = \frac{1}{2} \omega^* \left(\frac{1+3g^*(1-\omega^*)\mu_0^2}{1-\lambda^2 \mu_0^2} \right) \quad (8)$$

$$N = (u+1)^2 e^{\lambda \tau^*} - (u-1)^2 e^{-\lambda \tau^*}$$

$$u = \frac{3}{2} \frac{1-\omega^* g^*}{\lambda}$$

که در آن

$$R(\mu_0) = (\alpha - \gamma) \bar{T} e^{-\tau^*/\mu_0} + (\alpha + \gamma) \bar{R} - (\alpha - \gamma)$$

$$T(\mu_0) = (\alpha + \gamma) \bar{T} + (\alpha - \gamma) \bar{R} e^{-\tau^*/\mu_0} - (\alpha + \gamma - 1) e^{-\tau^*/\mu_0} \quad (9)$$

$$\bar{R} = (u+1)(u-1)(e^{\lambda \tau^*} - e^{-\lambda \tau^*}) N^{-1}$$

$$\bar{T} = 4u N^{-1}$$

در این مطالعه با در نظر گرفتن توان پردازش رایانه‌ای و پوشش ناحیه مورد مطالعه، مدل RegCM 4.2 با گام زمانی ۱۵۰ دقیقه و شبکه‌ای به ابعاد ۳۰×۳۰ کیلومتر، تعداد ۱۸ نقطه در راستای مداری و ۱۸ نقطه در راستای نصف‌النهاری و ۱۸ لایه در راستای قائم تحت سناریو AIB و با استفاده از داده‌های شرایط مرزی و اولیه NNRP، داده‌های GTOPO جهت معرفی شرایط پستی و

در هر یک از نقاط شبکه نیاز دارند. یکی از محدودیت‌های اصلی در استفاده از خروجی‌های اقلیمی مدل‌های چرخه عمومی عدم مطابقت دقت تجزیه مکانی و زمانی آن‌ها با دقت مورد نیاز سایر مدل‌های منطقه‌ای از جمله مدل‌های هیدرولوژیکی، آب و هوا-محصول و غیره است. چنانچه اشاره شده دقت مکانی این مدل‌ها در حدود ۲۰۰ کیلومتر است، که این دقت خصوصاً برای بررسی مناطق کوهستانی و پارامترهای اقلیمی نظیر بارش و دما مناسب نمی‌باشد. با استفاده از روش کوچک مقیاس کردن، می‌توان خروجی‌های این مدل‌ها را به متغیرهای سطحی در مقیاس منطقه مورد مطالعه تبدیل نمود. مدل‌هایی که برای ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی استفاده می‌شوند بسیار شبیه به مدل‌های گردش عمومی هستند، منتها گام‌های زمانی و مکانی شبکه ریزتر و دقیق‌تر هستند. مثلاً گام مکانی مدل‌های گردش عمومی جغرافیایی ایران، حدود ۲۰۰ کیلومتر است. درحالی‌که که گام مکانی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی که به آن‌ها مدل‌های منطقه‌ای نیز می‌گویند بین ۲۰ تا ۵۰ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود.

شبیه‌سازی با استفاده از مدل RegCM

امروزه کاربرد مدل‌های دینامیکی امکان مطالعه دقیق پدیده‌های جوی را در مقیاس‌های مختلف فراهم آورده است و به عنوان ابزاری کارآمد جهت درک و شناخت فرآیندهای دینامیکی جو کاربرد دارند. از جمله ارزش و اعتبار مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای کاربرد آن‌ها برای پدیده‌های دور از دسترس و یا واقع در مناطق بدون داده است. در این زمینه مدل RegCM در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. این مدل با هسته دینامیکی با قابلیت تراکم‌پذیری، تفاضل نامتناهی در مشتقات با تعادل هیدرواستاتیک و سیستم مختصات سیگمایی معرفی شده که معمولاً در دامنه مکانی محدود و مقیاس زمانی بیش از یک ماه استفاده می‌شود. طرح‌واره تابش این مدل CCM3 است، که با استفاده از تقریب دلتا- ادینگتون^۱ و در نظر گرفتن اثر گازهای ازن، بخار آب، دی‌اکسید کربن و اکسیژن پارامتر تابش را در طول موج ۰/۲ تا ۵ میکرون برآورد می‌نماید

² Kiehl et al.

³ Coakley et al.

¹ Delta- eddington

MBE نشان‌دهنده بیش برآورد کردن و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده کم برآورد کردن مقادیر توسط مدل می‌باشد. برای بررسی صحت مدل‌ها نمی‌توان به MBE تکیه کرد، بلکه این متغیر فقط نشان‌دهنده میزان خطای خالص ناشی از برآورد مقادیر توسط مدل در بلند مدت می‌باشد (سبزی‌پرور، ۱۳۸۴). جهت اعتبارسنجی مدل‌ها و انجام مقایسه ۸۰ درصد از کل داده‌ها در تولید و ساخت مدل‌ها به کار گرفته شد و ۲۰ درصد داده‌ها نیز جهت آزمون واقعی روش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

مدل آنگستروم

جهت تعیین ضرایب مدل آنگستروم از داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های خودکار استفاده شد (روزنبرگ، ۱۹۸۳). به منظور فراهم‌سازی امکان انجام محاسبات مرتبط با تابش در این منطقه، مقادیر ضرایب مدل آنگستروم و ضرایب همبستگی مربوطه در قالب جدول ۱ و به طور مجزا برای تمامی ماه‌های سال و هر یک از ایستگاه‌ها ارائه شده است. به جز ضریب همبستگی ماه آوریل فارسان، سایر ضرایب از نظر آماری در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشند. بررسی نتایج همبستگی مقادیر حاصل از کاربرد مدل آنگستروم با مقادیر مشاهده شده نشان می‌دهد که بالاترین ضرایب این شاخص بیشتر مربوط به ماه‌های سرد سال است. شاخص‌های ارزیابی مدل آنگستروم در ایستگاه بروجن بیان‌گر آن است که توانایی مدل در برآورد تابش ماه سپتامبر در مقایسه با سایر ماه‌ها بهتر بوده و بیشترین ضریب همبستگی، کمترین خطای اربیبی و کمترین RMSE به میزان ۴۷ وات بر متر مربع در این ماه دیده می‌شود. بیشترین RMSE مدل در این ایستگاه ۱۶۳ وات بر متر مربع است. کمترین RMSE به میزان ۱ وات بر متر مربع در ایستگاه شهرکرد در ماه ژوئن و بیشترین مقدار این شاخص ارزیابی به میزان ۵۲ وات بر متر مربع در ماه نوامبر رخ داده است. شرایط مدل آنگستروم در ایستگاه سامان نیز از نظر زمانی مشابه شهرکرد بوده با این تفاوت که کمترین و بیشترین RMSE به ترتیب میزان ۱ و ۲۹ وات بر متر مربع محاسبه شده است.

بلندی و پوشش زمین و داده‌های مدل OIWK جهت ورودی دمای سطح دریا در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ اجرا شد. فایل‌های خروجی با استفاده از بسته نرم‌افزاری CDO در محیط لینوکس تلفیق و خروجی نهایی در قالب فایل‌های چند بعدی nc تولید گردید. جهت استخراج داده‌های عددی و انجام مقایسه از قابلیت‌های توابع چند بعدی نرم‌افزار ArcGIS 10.2 و بانک اطلاعاتی SQL همراه این نرم‌افزار استفاده شد.

روش‌های ارزیابی مدل

جهت انجام محاسبات آماری از جمله مطالعات مرتبط با آماره‌های ارزیابی مدل‌های مورد مطالعه و نیز محاسبه ضرایب مدل آنگستروم از روش اسکریپت‌نویسی در محیط نرم‌افزار SPSS16 بهره گرفته شد. برای مقایسه مدل‌ها از سنج‌های آماری شامل ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)^۱، درصد انحراف ریشه میانگین مربعات خطا از میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده (RMSE%)، میانگین خطای اربیبی^۲ (MBE)، درصد انحراف از میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده (MBE%)، میانگین خطای مطلق^۳ (MAE) و ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و برآورد شده، استفاده گردید. در عین حال حداقل و حداکثر خطای هر یک از روش‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(C_i - M_i)^2}{n}} \quad (10)$$

$$MBE = \frac{\sum(C_i - M_i)}{n} \quad (11)$$

$$R^2 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})(M_i - \bar{M})}{\sigma C_i \cdot \sigma M_i} \quad (12)$$

$$MAE = \frac{\sum(|C_i - M_i|)}{n} \quad (13)$$

در معادلات فوق، C_i مقدار محاسبه شده به وسیله مدل، M_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{M} میانگین حسابی داده‌های اندازه‌گیری شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار RMSE بیان‌گر درستی و اعتبار مدل‌ها بوده و هر چه مقدار آن (در مدل‌های دارای شرایط یکسان از نظر واحد) کمتر باشد، دقت مدل بیشتر است. مقادیر مثبت

¹ Root Mean Square Error

² Mean Bias Error

³ Mean absolute error

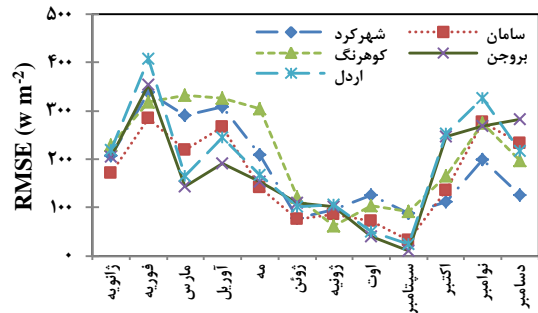
جدول ۱- ضریب همبستگی و ضرایب مدل آنگستروم برای ایستگاه‌های واقع در منطقه مورد مطالعه

ماه	شهرکرد			بروجن			کوهرنگ		
	a	b	r	a	b	r	a	b	r
ژانویه	۰/۲۱	۰/۶۲	۰/۹۶	۰/۲۵	۰/۴۳	۰/۸۴	۰/۲۳	۰/۵۳	۰/۸۴
فوریه	۰/۲۷	۰/۵۸	۰/۸۹	۰/۲۲	۰/۴۹	۰/۹۳	۰/۲۳	۰/۵۵	۰/۹۴
مارس	۰/۲۵	۰/۵۸	۰/۸۷	۰/۱۹	۰/۵۱	۰/۹۲	۰/۱۶	۰/۶۲	۰/۹۳
آوریل	۰/۲۷	۰/۵۴	۰/۸۳	۰/۲۴	۰/۴۷	۰/۹۴	۰/۴۵	۰/۰۹	۰/۳۹
مه	۰/۲۵	۰/۵۶	۰/۹۳	۰/۲۵	۰/۴۵	۰/۹۰	۰/۱۳	۰/۵۹	۰/۸۸
ژوئن	۰/۲۶	۰/۵۴	۰/۵۸	۰/۲۷	۰/۴۱	۰/۹۴	۰/۲۱	۰/۴۹	۰/۸۶
ژوئیه	۰/۳۳	۰/۴۱	۰/۴۴	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۷۵	۰/۲۲	۰/۴۸	۰/۹۳
اوت	۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۵۱	۰/۳۱	۰/۳۴	۰/۸۴	۰/۳۶	۰/۲۵	۰/۷۲
سپتامبر	۰/۲۸	۰/۴۸	۰/۹۲	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۸۸	۰/۱۹	۰/۵۲	۰/۶۷
اکتبر	۰/۲۷	۰/۵۰	۰/۸۴	۰/۲۷	۰/۳۹	۰/۷۴	۰/۱۳	۰/۵۷	۰/۹۵
نوامبر	۰/۱۹	۰/۶۱	۰/۹۴	۰/۲۴	۰/۴۸	۰/۹۲	۰/۱۹	۰/۵۶	۰/۹۲
دسامبر	۰/۲۶	۰/۵۲	۰/۹۱	۰/۲۵	۰/۴۸	۰/۸۹	۰/۲۲	۰/۵۳	۰/۸۴
ماه	سامان			اردل			فارسان		
	a	b	r	a	b	r	a	b	r
ژانویه	۰/۲۷	۰/۳۸	۰/۸۶	۰/۱۱	۰/۷۲	۰/۹۲	۰/۱۲	۰/۶۷	۰/۸۹
فوریه	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۶۱	۰/۱۲	۰/۶۹	۰/۹۸	۰/۲۵	۰/۵۴	۰/۹۱
مارس	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۹۲	۰/۱۹	۰/۵۸	۰/۹۷	۰/۲۶	۰/۵۲	۰/۹۰
آوریل	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۵۵	۰/۲۰	۰/۵۷	۰/۸۷	*	*	*
مه	۰/۳۰	۰/۳۸	۰/۶۵	۰/۲۹	۰/۴۴	۰/۹۱	۰/۵۹	۰/۱۴	۰/۶۹
ژوئن	۰/۴۱	۰/۲۶	۰/۶۰	۰/۲۹	۰/۴۳	۰/۸۸	۰/۵۱	۰/۲۳	۰/۲۳
ژوئیه	۰/۴۳	۰/۲۰	۰/۷۷	۰/۲۸	۰/۴۷	۰/۷۶	۰/۳۵	۰/۴۷	۰/۹۵
اوت	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۷۴	۰/۵۰	۰/۱۸	۰/۳۷	۰/۲۹	۰/۴۶	۰/۷۵
سپتامبر	۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۵۱	۲/۰۶	-۱/۵۹	۰/۷۹	۰/۲۴	۰/۴۹	۰/۹۰
اکتبر	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۵۹	۰/۳۰	۰/۴۲	۰/۷۰	۰/۴۱	۰/۳۳	۰/۸۰
نوامبر	۰/۴۳	۰/۱۹	۰/۸۶	۰/۱۷	۰/۶۶	۰/۹۳	۰/۲۴	۰/۵۰	۰/۹۵
دسامبر	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۶۱	۰/۱۸	۰/۶۳	۰/۹۲	۰/۳۷	۰/۳۸	۰/۸۲

سامان ۸ وات بر متر مربع محاسبه شده که از ۱ تا ۲۵ وات بر متر به ترتیب در ماه‌های سپتامبر و آوریل دیده می‌شود. میانگین خطای اریبی این مدل آماری در ایستگاه کوهرنگ ۱۲ وات بر متر مربع می‌باشد که تغییرات آن بین ۱ تا ۲۱ وات بر متر مربع در بین ماه‌های ژوئن تا مارس نوسان دارد. بیشترین خطای اریبی در ایستگاه اردل در ماه آوریل و به میزان ۲۲۷ وات بر متر مربع در ماه فوریه و کمترین مقدار این شاخص به میزان ۴۱ وات بر متر مربع در ماه سپتامبر محاسبه شده است. میانگین سالانه این شاخص در این ایستگاه ۱۱۵ وات بر متر مربع می‌باشد. در مجموع مدل آنگستروم در ۷۳ درصد مواقع کم برآوردگر بوده و در ماه آوریل و دسامبر بیشترین فراوانی روزهای همراه با خطای افزون‌تر از ۲۵ درصد دیده می‌شود. در شکل ۲ تغییرات ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) مدل آنگستروم در تعدادی از ایستگاه‌ها ارائه شده است.

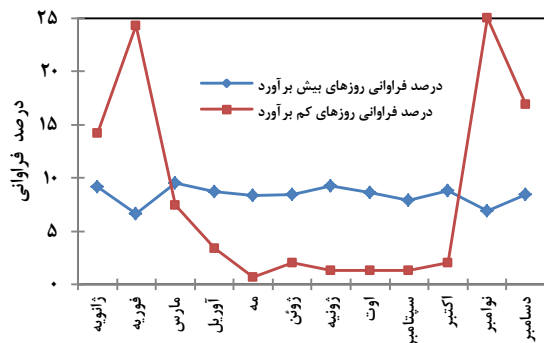
کمترین میزان RMSE ایستگاه پر بارش کوهرنگ در ماه ژوئن به میزان ۶۲ وات بر متر مربع و بیشترین RMSE محاسبه شده در ماه مارس و به میزان ۳۳۱ وات بر متر مربع بوده است. بر اساس داده‌های موجود کمترین مقدار RMSE در ایستگاه اردل به میزان ۷۵ وات بر متر مربع در ماه اوت محاسبه شده است. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی بیشترین RMSE به میزان ۳۲۱ وات بر متر مربع در ماه آوریل اردل و کمترین میزان این شاخص به میزان ۱ وات بر متر مربع در ایستگاه‌های شهرکرد و سامان محاسبه شده است. بازه تغییرات میانگین خطای اریبی این مدل در بروجن از ۳۳ تا ۱۳۸ وات بر متر مربع محاسبه شده و زمان وقوع کمینه این شاخص مشابه شرایط RMSE است. میانگین خطای اریبی سالانه در این ایستگاه ۹۰ وات بر متر مربع می‌باشد. خطای اریبی برآورد تابش روزانه بر رویه افقی در ایستگاه شهرکرد از ۱ تا ۴۴ وات بر متر مربع در تغییر بوده و میانگین تغییرات این شاخص در این ایستگاه ۱۵ وات بر متر مربع است. میانگین سالانه خطای اریبی مدل آنگستروم در ایستگاه

روزهایی که مدل RegCM خطایی افزون تر از ۲۵ درصد را داشته نشان می‌دهد که متوسط ساعات آفتابی این روزها حدود ۱/۵ ساعت بوده و می‌توان نتیجه گرفت که مدل در روزهای همراه با ابرناکی بالا از دقت لازم در برآورد تابش برخوردار نبوده است.



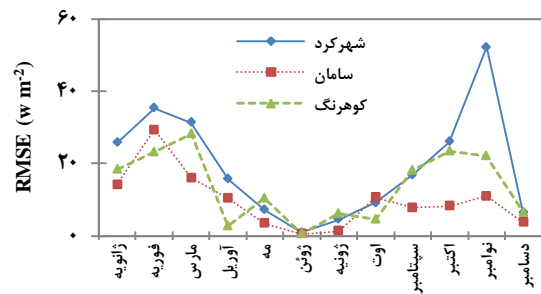
شکل ۳- تغییرات میانگین ریشه دوم خطا (RMSE) مدل RegCM در برآورد تابش

مدل RegCM در ۹۳ درصد مواقع با بیش برآوردی و در کمتر از ۷ درصد با کم برآوردی در تابش روبه‌رو بوده است، که بیشتر در ماه‌های سرد سال به ویژه ماه‌های نوامبر و دسامبر دیده می‌شود. نکته قابل توجه آنکه روزهای همراه با بیش برآوردی در تابش مدل RegCM از فراوانی یکنواختی در سراسر سال برخوردار می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴- درصد فراوانی روزهای همراه با بیش برآوردی و کم برآوردی تابش توسط مدل RegCM در طول سال

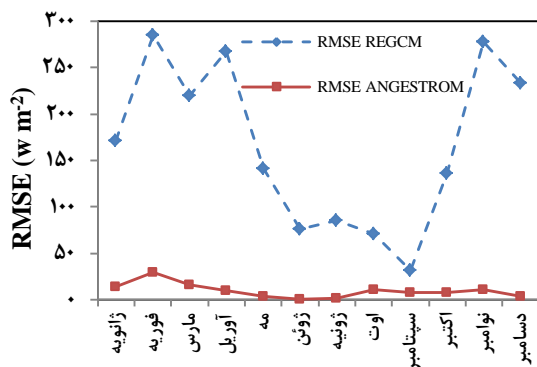
کافی نبودن اطلاعات مرتبط با شرایط زمین، نواقص مدل در پارامتری کردن همرفت، ابرناکی و تابش و مشکلات ناشی از سیستم مختصات عمودی (سیگما-پی) در بیان تغییرات شدید توپوگرافی از جمله دلایل عدم دقت مدل در برآورد می‌باشد (اولاینکا، ۲۰۱۵). در شکل ۵ مقادیر واقعی تابش در ایستگاه همدیدی شهرکرد به عنوان ایستگاه مرجع با مقادیر تابش حاصل از مدل آنگستروم و همچنین نتایج تابش مدل RegCM ارائه شده است. همان‌گونه که در نمودار مشاهده می‌شود نتایج



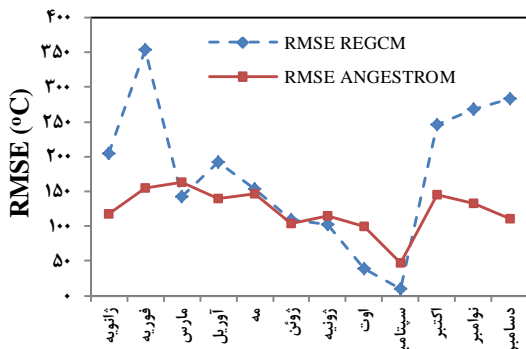
شکل ۲- تغییرات میانگین ریشه دوم خطا (RMSE) مدل آنگستروم در برآورد تابش

مدل RegCM

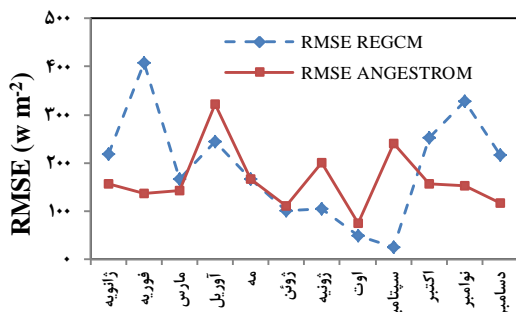
بررسی نتایج حاصل از روش های ارزیابی مدل RegCM در برآورد میزان تابش دریافتی نشان می‌دهد که کمترین میزان میانگین ریشه دوم خطاها (RMSE) در ماه‌های گرم سال (ژوئن تا سپتامبر) دیده می‌شود و ماه فوریه بیشترین میزان میانگین ریشه دوم خطا را داشته است. کمترین میانگین ریشه دوم خطاها به میزان ۱۱ وات بر متر مربع در ماه سپتامبر ایستگاه بروجن دیده می‌شود و بیشترین مقدار این آماره ۴۰۸ بوده و مربوط به ماه فوریه اردل است. میانگین ریشه دوم خطاها در کل منطقه ۱۷۵ محاسبه شده است (شکل ۳). شاخص‌های ارزیابی مدل RegCM در ایستگاه بروجن بیان‌گر آن است که توانایی این مدل نیز در برآورد تابش ماه سپتامبر در مقایسه با سایر ماه‌ها بهتر بوده و کمترین RMSE و بیشترین ضریب همبستگی و کمترین خطای اریبی به میزان ۸ وات بر متر مربع در این ماه دیده می‌شود. بیشترین خطای اریبی نیز با ۲۱۵ بر متر مربع در ماه فوریه رخ داده است. این وضعیت در شهرکرد در ماه ژوئن دیده می‌شود و بیشترین خطا نیز به میزان ۲۵۰ وات بر متر مربع در ماه فوریه رخ داده است. کمترین خطای اریبی مدل RegCM برای سامان در ماه سپتامبر و به میزان ۱۷ وات بر متر مربع می‌باشد. بیشترین میزان خطای اریبی مدل RegCM در برآورد تابش روزانه این ایستگاه در ماه فوریه و به میزان ۲۲۵ وات بر متر مربع محاسبه شده است. در کوه‌رنگ نیز بیشترین مقدار خطای اریبی این مدل در ماه فوریه و به میزان ۲۲۲ وات بر متر مربع محاسبه شده است. بیشترین مقدار خطای اریبی مدل RegCM در برآورد تابش اردل نیز با ۲۹۲ وات بر متر مربع در ماه فوریه و کمترین مقدار آن در ماه سپتامبر و به میزان ۲۰ وات بر متر مربع رخ داده است. بررسی



شکل ۷- مقایسه ریشه دوم میانگین خطاهای مدل‌های آنگستروم و RegCM در ایستگاه سامان



شکل ۸- مقایسه ریشه دوم میانگین خطاهای مدل‌های آنگستروم و RegCM در ایستگاه بروجن

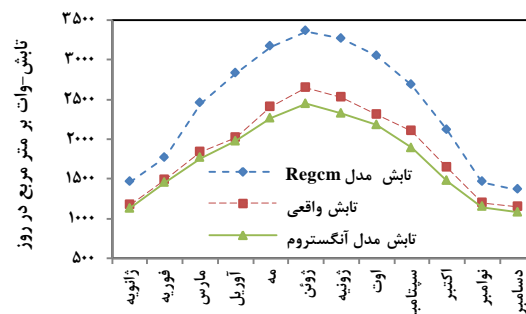


شکل ۹- مقایسه ریشه دوم میانگین خطاهای مدل‌های آنگستروم و RegCM در ایستگاه اردل

نتیجه‌گیری

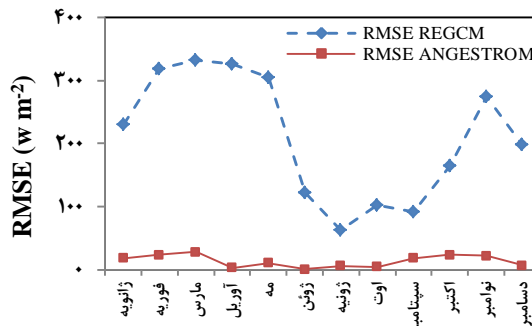
بررسی کارایی مدل دینامیکی و آماری در برآورد تابش خورشید بر رویه افقی نشان می‌دهد که مدل آنگستروم در ۷۳ درصد مواقع کم برآوردگر بوده است. در حالی که مدل RegCM در ۹۳ درصد مواقع بیش برآوردگر و در کمتر از ۷ درصد موارد کم برآوردی داشته است. میانگین ریشه دوم خطاهای مدل RegCM در کل منطقه مورد مطالعه حدود ۲/۵ برابر میانگین ریشه دوم خطاهای مدل آنگستروم بوده است. بررسی آماره‌های

حاصل از مدل دینامیکی RegCM نسبت به مقادیر واقعی با بیش‌برآوردی همراه است. مدل آنگستروم با رفتاری مشابه اما با تغییرات کمتری نسبت به مقادیر واقعی منحنی مقادیر واقعی را همراهی نموده است. از این رو لازم است فرآیند پس پردازش بر روی داده‌های حاصل از مدل دینامیکی RegCM انجام شود.



شکل ۵- مقایسه مقادیر واقعی و مدل‌سازی شده تابش

بیشترین میزان متوسط خطای ارزیابی هر دو مدل RegCM و آنگستروم به ترتیب به میزان ۲۹۱ وات بر متر مربع و ۲۲۷ وات بر متر مربع در ماه‌های فوریه و آوریل ایستگاه اردل محاسبه شده است. کمترین میانگین ریشه دوم خطاها در خروجی تابش مدل RegCM ۱۰ وات بر متر مربع در ماه سپتامبر و در مدل آنگستروم ۱ وات بر متر مربع و در ماه ژوئن مشاهده شده است. در مجموع کمترین میزان میانگین ریشه دوم خطاها (RMSE) در هر دو مدل در ماه‌های گرم سال (ژوئن تا سپتامبر) دیده می‌شود. از سوی دیگر فراوانی روزهایی همراه با خطای افزون‌تر از ۲۵ درصد در خروجی هر دو مدل نیز همزمان بوده و در مقایسه با دیگر ماه‌های سال در ماه آوریل رخ داده است. در شکل‌های ۶ تا ۹ نمودار تغییرات ریشه دوم میانگین خطاهای مدل‌های آنگستروم و RegCM ارائه شده است.



شکل ۶- مقایسه ریشه دوم میانگین خطاهای مدل‌های آنگستروم و RegCM در ایستگاه کوه‌رنگ

سبزی پرور، ع. ۱۳۸۴. پروژه مدل‌سازی و تهیه اطلس متوسط تابش ماهانه کشور، سازمان هواشناسی کشور. سلطانی، س.، مرید، س. ۱۳۸۴. مقایسه برآورد تابش خورشید با استفاده از روش هارگریوز- سامانی و شبکه های عصبی مصنوعی. دانش کشاورزی، ۱۵(۱): ۶۹-۷۷.

قهرمان، ن.، بابائیان، ا.، موسوی، م. ۱۳۹۳. بررسی مهارت مدل RegCM در برآورد تبخیر تعرق پتانسیل در اقلیم گذشته و دوره ۲۰۲۱-۲۰۳۵. بررسی موردی: ایستگاه مشهد. فیزیک زمین و فضا، ۸(۴): ۴۹-۶۴. کمالی، غ.، مرادی، ا. ۱۳۸۴. تابش خورشید (اصول و کاربردها در کشاورزی و انرژی‌های نو)، انتشارات پژوهشکده هواشناسی.

مدیریان، ر.، کریمیان، م.، بابائیان، ا. ۱۳۸۴. شبیه‌سازی بارش‌های مونسونی جنوب شرق ایران با استفاده از مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM3، پنجمین همایش پیش‌بینی عددی وضع هوا، تهران، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، سازمان هواشناسی کشور. مرادی، ا. ۱۳۸۱. برآورد شدت تابش خورشیدی در سطوح شیب‌دار. پایان نامه کارشناسی ارشد، هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران.

یزدان‌پناه، ح.، برقی، ح.، میرمجریان، ر. ۱۳۸۹. برآورد تابش کلی خورشید در سطح افقی زمین در اصفهان. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۷: ۱۰۴-۹۵.

Almorox, J., Hontoria, C. 2004. Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain, Energy Convers. Manag., 45: 1529-1535.

Angstrom, A. 1924. Solar and terrestrial radiation. Quart. J. Roy. Met. Soc., 50: 121-125.

Anyah, R. O., Semazzi F. H. M. 2007. Variability of East African rainfall based on multiyear RegCM3 simulations. Int. J. Climatol. 27:357-71.

Bristow, R. L., Campbell, G. S., 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. Agr. For. Meteorol., 31: 159-166.

Coakley, J. A., Cess, R. D., Yurevich F. B. 1983. The effect of troposphere aerosols on the Earth's radiation budget: A parameterization for climate models. J. Atmos., 40: 116-138.

Daneshyar, M. 1978. Solar radiation statistics for Iran. Solar Energy, 21(4): 345-349.

Darrell, W. D., Deanm, I. O., Cristopher, j. S. 2005. Evaluation of solar radiation estimation procedures for eastern south Dakota,

ارزیابی مدل‌ها نشان می‌دهد که هر دو مدل در ماه‌های گرم سال از مهارت بیشتری در برآورد تابش برخوردار می‌باشند. لذا می‌بایست به نوع کاربرد داده‌های تابش حاصل از اجرای مدل‌های فوق توجه شود. به عنوان مثال با توجه به اقلیم منطقه مورد مطالعه و انطباق فصل رشد با فصل گرم سال، بهره‌گیری از مدل‌های یاد شده جهت مدل‌های آب و هوا - محصول با خطای کمتری در مقایسه با فصل سرد سال همراه خواهد بود ولیکن در موضوع انرژی‌های نو و بهره‌گیری از انرژی خورشیدی باید به دقت کمتر خروجی در فصل سرد سال نیز توجه نمود. نکته حائز اهمیت دیگر آن است که با توجه به ساختار مدل آنگستروم و ماهیت نقطه‌ای آن در مقایسه با ساختار پیچیده و ماهیت شبکه‌ای مدل RegCM، بدون انجام عمل پس‌پردازش، نمی‌توان رأی بر صحت افزون‌تر مدل آنگستروم در مقایسه با RegCM داد.

منابع

آقاشریعتمداری، ز. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل‌های مختلف برآورد تابش کلی خورشید بر سطح افقی براساس داده‌های هواشناسی و با تأکید بر مدل آنگستروم در گستره ایران. پایان‌نامه دکتری، هواشناسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

ایران نژاد، پ.، احمدی گیوی، ف.، پازوکی، ر. ۱۳۸۸. نقش روش‌های متفاوت پارامترسازی همرفت در شبیه‌سازی میدان‌های دما و بارش زمستانی با مدل منطقه‌ای- اقلیمی RegCM در منطقه ایران. فیزیک زمین و فضا، ۳۵(۱): ۱۰۱-۱۲۰.

بابائیان، ا.، کریمیان، م.، مدیریان، ر.، نوخندان، م. ۱۳۸۶. شبیه‌سازی بارش ماه‌های سرد سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۷۹ با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM. جغرافیا و توسعه، ۱۰: ۷۲-۵۵.

حیدری بنی، م. ۱۳۸۶. برآورد تابش روزانه خورشید با استفاده از متغیرهای هواشناسی، کاربست شبکه عصبی مصنوعی و سایر مدل‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

خلیلی، ع.، رضایی صدر، ح. ۱۳۷۶. برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده‌های اقلیمی. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۴۶: ۳۵-۱۵.

- in Nigeria based on multiyear RegCM3 simulations. *J. Renew. Energy*, 74: 195-207.
- Paltridge, G. W., Proctor, D. 1976. Monthly mean solar radiation statistics for Australia, *Solar Energy*, 18 (3): 235-243.
- Reddy, S. J. 1971. An empirical method for the estimation of total solar radiation, *Solar Energy*, 13 (2): 289-290.
- Rivington, M., Bellocchi, G., Matthews, K. B., Buchan, K. 2005. Evaluation of three model estimations of solar radiation at 24 UK stations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132: 228-243.
- Rozenberg, N. J. 1983. *Microclimate: The Biological Environment*, John Wiley and Sons, New York, 495 p.
- Sabbagh, J., Sayigh, A., Al-Salam, E. M. 1977. Estimation of the total solar radiation from meteorological data. *Solar Energy*, 19 (3): 307-311.
- Wang, Y., Sen, O. L., Wang, B. 2002. A highly resolved regional climate model and its simulation of the 1998 severe precipitation event over China, Part1: Model description and verification of simulation: *J. Clim.*, 19: 1721-1738.
- proceedings of the south Dakota. Academy of science, 84.
- Dingman S. L. 2002. *Physical Hydrology*, 2nd Ed., appendix E: 529-535.
- Elguindi, N., Giorgi, F. 2006, Simulating multi decadal, variability of Caspian sea level changes using regional climate model outputs. *Clim. Dyn.*, 26:167-181.
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Transaction of ASAE.*, 1 (2): 96-99.
<http://gcmd.gsfc.nasa.gov>.
- Kiehl, J. T., Hack, J. J., Bonan, G. B., Boville, B. A., Breigleb B. P., Williamson, D. Rasch, P., 1996. Description of the NCAR community climate model (CCM3), Tech. Rep. NCAR/TN-420+STR. National Center for Atmospheric Research.
- Mahmood, R., Hubbard K. G. 2002. Modeling Effect of Time of Temperature Observation and Estimation of Daily Solar Radiation for the Northern Great Plains, USA, *Agron. J.*, 94: 723.
- Olayinka S. O., Muiyiwa S. A., Olanrewaju M. O., Richard O. F. 2015. Solar radiation variability



Assessment of RegCM4 model for estimation of total solar radiation (Case study: Chaharmahal and Bakhtiari province)

M. Heidary Beni¹, H. A. Yazdanpanah^{2*}

Received: 16/01/2016

Accepted: 20/12/2016

Abstract

The amount of energy received from the sun on the ground needed to estimate crop water use, use of clean energy and issues related to climatic factors. In this study, the ability of two estimation methods based on statistical and dynamic methods were evaluated. Angstrom equation, as a widely accepted statistical model, and Regional Climate Model (RegCM version 4.0) were chosen to obtain radiation estimations. To perform this study, meteorological data of 6 IRIMO's automatic weather stations located in Chaharmahal and Bakhtiari province, west of Iran, were used. RegCM4 model was run considering initial values and boundary conditions of NNRP1, at 18 sigmoid levels, with spatial resolution of 30 km and temporal resolution of 150 minutes, in the period of 2010 to 2014. Results showed the RegCM4 model output has the minimum Root mean square error (RMSE) of 10 W m^{-2} in warm months (June to September) and highest RMSE of 408 W m^{-2} in February. The lowest RMSE was obtained in September in Borujen station and the highest value was recorded in month of February in Ardal. The average value of overall RMSE in the region was 175 W m^{-2} . Monthly values of Angstrom model was calibrated for study stations. The highest correlation coefficient and lowest RMSE and MBE were obtained for September. The maximum value of RMS was 321 W m^{-2} in April. Angstrom model showed an underestimation in 73% of the cases while RegCM showed an overestimation 93 % of the cases. These results tend to confirm the need for post-processing of the climate model outputs.

Keywords: Solar radiation, Angstrom, Climate model, Central Zagros, Iran



¹ Ph. D. student of agroclimatology, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

² Associate Professor of Physical Geography Dep., Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

(*Corresponding author's email address: h.yazdan@geog.ui.ac.ir)