

ارزیابی کارایی سامانه GLDAS در برآورد تابش سطح روزانه در ایران

نوشین احمدی باصری^۱ - علی اکبر سبزی پرور^{۲*} - مهرانه خدامرادپور^۳ - لوکاس آلدوس آربولداس^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰

چکیده

تابش سطح زمین (SSR) به عنوان بزرگترین منبع انرژی در سطح زمین، از پارامترهای مهم در مطالعات هواشناسی به شمار می‌رود. با توجه به محدودیت‌های اندازه‌گیری‌های زمینی تابش SSR و اهمیت آن در مطالعات کشاورزی، استفاده از روش‌های کم‌هزینه و قابل اعتماد در برآورد تابش در ایران ضرورت دارد. در بیشتر پژوهش‌های انجام شده در ایران روش‌های تجربی برآورد تابش SSR مورد بررسی قرار گرفتند که با وجود سادگی، به دلیل در نظر گرفتن تنها تعداد محدودی پارامترهای هواشناسی، گویای دقیقی از تغییرات آن در مقیاس مکانی وسیع با اقلیم‌های گوناگون نیستند. هدف از این پژوهش، ارزیابی تابش SSR استخراج شده از سامانه GLDAS با استفاده از اندازه‌گیری‌های زمینی در ایران در مقیاس روزانه می‌باشد. بدین منظور تابش SSR برآورد شده توسط سامانه GLDAS و تابش اندازه‌گیری شده در ۲۴ ایستگاه تابش‌سنجی برای دوره (۲۰۱۵-۲۰۱۲) با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج تحقیق نشان داد که با ضریب کارایی بالای ۰/۸۸، توافق مناسبی بین عملکرد مدل و تابش سطح زمین اندازه‌گیری شده روزانه در ایران وجود دارد. همچنین نشان داده شد که سامانه GLDAS در شرایط آسمان صاف (ماه‌های گرم سال) نسبت به شرایط ابرناکی (ماه‌های سرد سال)، توانایی بیشتری در برآورد تابش SSR دارد. ارزیابی کارایی مدل در برآورد تابش روزانه سطح زمین در منطقه مورد مطالعه نیز حاکی از این است که سامانه GLDAS در ۷۱ درصد ایستگاه‌های مورد بررسی تمایل به کم برآوردگری دارد. همچنین این مدل در ایستگاه‌های واقع در اقلیم خشک در مقایسه با مناطق نیمه خشک و ساحلی، برآورد بهتری از تابش سطح زمین در منطقه مورد مطالعه ارائه داد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، ایران، تابش سطح زمین، سامانه GLDAS

مقدمه

رشد محصول^۶ و مطالعات هواشناسی کشاورزی می‌باشد (۲، ۳ و ۳۶). از سال ۱۹۶۴ به منظور اندازه‌گیری تابش SSR در سطح زمین، پیرانومترها توسط سازمان جهانی هواشناسی^۷ توسعه یافتند (۱۱). پیرانومترها حسگرهایی حساس و با کیفیت بالا هستند که در صورت کالیبراسیون دقیق، بهترین و دقیق‌ترین مقادیر تابش SSR را به دست می‌دهند (۲۱، ۲۸ و ۳۴). با این حال، به دلیل هزینه‌های بالای نصب و نگهداری پیرانومترها در بسیاری از مناطق دورافتاده و کوهستانی با شرایط جغرافیایی ناهمگن، پوشش فضایی مناسبی ندارند (۳۱ و ۳۶). در ایران نیز با وجود خشکسالی‌های اخیر و اهمیت برآورد تابش در مطالعات کشاورزی، اندازه‌گیری تابش SSR به صورت محدود انجام شده است. نبود شبکه وسیع رادیومتری و هزینه‌های بسیار بالای اندازه‌گیری زمینی، ضرورت استفاده از روش‌های کم هزینه، قابل اعتماد و سریعتر در برآورد تابش را در ایران بیشتر کرده

تابش سطح زمین^۵، تابش طول موج کوتاه رسیده به زمین در محدوده ۰/۳ الی ۴ میکرومتر می‌باشد و مجموعه‌ای از تابش مستقیم، پخش و انعکاسی است. تابش SSR به عنوان بزرگترین منبع انرژی در سطح زمین و متعادل کننده انرژی سطح (۲۵)، یکی از ورودی‌های مهم در تخمین متغیرهایی مانند تبخیر و تعرق و بسیاری از مدل‌های

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، استاد و استادیار هواشناسی گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: swsabzi@basu.ac.ir)

۴- استاد فیزیک کاربردی، مؤسسه تحقیقات بین دانشگاهی سیستم زمین درآندلس (IISTA)، دانشگاه گرانادا، اسپانیا

6- Crop Growth Model

7- World Meteorological Organization, WMO

DOI: 10.22067/jsw.v34i2.82848

5- Surface Solar Radiation, SSR

بازتخلیل و چندین الگوریتم می‌باشد و برای بررسی مدل‌های زیست توده، واداشت سطح زمین، هیدرولوژی، اکولوژی و تحلیل شبکه‌های هواشناسی سطح زمین طراحی شده است (۲۵). از نقاط قوت این مدل که آن را مورد توجه محققین قرار داده، این است که به صورت رایگان و با دو قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ و ۱ درجه و سه قدرت تفکیک زمانی سه ساعته، روزانه و ماهانه در دسترس می‌باشد و داده‌هایی نزدیک به زمان واقعی^۸ تولید می‌کند. مطالعات مختلفی بر روی ارزیابی سامانه GLDAS در برآورد تابش SSR در مناطق مختلف جهان انجام شده است. به عنوان نمونه، وانگ و همکاران (۳۰) تابش سطح زمین را توسط سامانه GLDAS در حوزه ای با اقلیم نیمه خشک در چین ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که سامانه GLDAS در تخمین تابش ماهانه بیش برآوردگر است، اما در تخمین مقادیر روزانه توافق خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده تابش SSR وجود دارد. اسلاتر (۲۵) پانزده مدل مشتق شده بازتخلیل و محصولات ماهواره‌ای را به منظور ارزیابی تابش جهانی روزانه در امریکای شمالی بررسی کرد. نتایج نشان داد که همبستگی کمی بین محصولات بررسی شده و داده‌های اندازه‌گیری شده در روزهای ابری وجود داشته و سامانه GLDAS عملکرد متوسطی برآورد تابش منطقه دارد. وانگ و همکاران (۳۳) تابش SSR را توسط چهار محصول مختلف شامل سامانه GLDAS، سامانه همسان‌سازی داده‌های زمینی^۹، سازمان هواشناسی چین^{۱۰} و مجموعه داده‌های واداشت هواشناسی چین^{۱۱} برای دوره ۲۰۱۴-۲۰۰۸ در چین با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج نشان داد مدل CMFD سازگاری بیشتری با داده‌های اندازه‌گیری شده دارد در حالی که GLDAS و CLDAS تا حد زیادی بیش برآوردگر هستند. در ایران، نوری و همکاران (۱۷) تابش SSR اندازه‌گیری شده در ایستگاه قزوین را با سه روش معادلات تجربی، سامانه GLDAS و مدل بازتخلیل NCEP/NCAR و تسهیلات برنامه ریزی ماهواره‌ای-دیدبانی اقلیمی^{۱۲} مقایسه کردند. نتایج نشان داد که مدل کالیبره شده آنگستروم و سپس سامانه GLDAS بهترین عملکرد را نسبت به دیگر محصولات دارند.

با وجود قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا و پوششی جهانی سامانه GLDAS، ممکن است این مدل در برخی مناطق، خطای بالایی نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده داشته باشد. بنابراین علیرغم پیشرفت چشمگیر و بهبود کیفیت سامانه GLDAS لازم

است. بدین منظور روش‌های مختلفی برای برآورد تابش SSR به وجود آمدند. ساده‌ترین روش، مدل‌های تجربی هستند که در اواخر دهه ۱۹۹۰ بر پایه همبستگی تجربی تابش SSR با دیگر پارامترهای هواشناسی توسعه یافتند (۲۷). مدل‌های تجربی در ایران توسط محققان بسیاری از جمله، سبزی پرور و شتایی (۲۲)؛ سبزی پرور (۲۳)؛ مجنونی هریس و همکاران (۱۳)؛ بیات و میرلطیفی (۱)؛ موسوی بایگی و همکاران (۱۶)؛ مبین و همکاران (۱۴) و غلام‌نیا و همکاران (۵)؛ لطفی نژاد و همکاران (۱۲) و خسروی و همکاران (۹) مورد بررسی قرار گرفتند. پژوهش‌های انجام شده در ایران با وجودی که نتایج رضایت بخشی را از ارزیابی روش‌های مورد بررسی‌شان نشان دادند، اما همگی در مناطق محدودی از ایران انجام شدند. همچنین روش‌های تجربی با وجود سادگی، به دلیل در نظر گرفتن تنها تعداد محدودی پارامترهای هواشناسی، گویای دقیقی از تغییرات تابش سطح زمین در مقیاس مکانی وسیع با اقلیم‌های گوناگون نبوده و به طور فیزیکی قادر نیستند فرآیندهای خاموشی تابشی^۱ را در نظر بگیرند (۸).

روش‌های دیگر برآورد تابش SSR، مدل‌های فیزیکی مبتنی بر مدل‌های انتقال تابش^۲، مدل‌های نیمه تجربی (ترکیبی از دو روش تجربی و فیزیکی) و در نهایت، مدل‌هایی هستند که مبتنی بر محصولات ماهواره‌ای و بازتخلیل می‌باشند (۲۷). محصولات بازتخلیل، با الگوریتم‌های گوناگون، برای شرایط مختلف جوی طراحی شده و به منظور ارتقای قدرت تفکیک مکانی و زمانی، در امتداد پیشرفت مدل‌سازی، به طور مداوم بهبود می‌یابند (۲۵). در این بین چندین محصول بازتخلیل طراحی شده‌اند که از جمله می‌توان به داده‌های بازتخلیل شده مرکز پیش‌بینی محیطی و تحقیقات اتمسفری^۳، مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا^۴، سامانه جهانی همسان‌سازی داده‌های زمینی^۵، مدل‌های بازتخلیل ERA-Interim^۶ و JRA-55^۷ اشاره کرد (۳۳). مزیت محصولات بازتخلیل این است که همه متغیر-های هواشناسی و فیزیکی تحت شرایط یکسان تولید می‌شوند و نقشه‌های به دست آمده دارای پوشش جهانی بدون شکاف زمانی هستند (۲۸). سامانه GLDAS ترکیبی از داده‌های اندازه‌گیری شده،

- 1- Radiative extinction process
- 2- Radiative Transfer Models, RTM
- 3- National Centers for Environmental Prediction and the National Center for Atmospheric Research Reanalysis, NCEP/NCAR
- 4- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF
- 5- Global Land Data Assimilation System, GLDAS
- 6- Interim Reanalysis, ERA-Interim
- 7- Japanese 55-year Reanalysis, JRA-55

8- Near real time

9- Land Data Assimilation System, CLDAS

10- China Meteorological Administration, CMA

11- China Meteorological Forcing Dataset, CMFD

12- The Satellite Application Facility on Climate Monitoring, CM SAF

سازمان ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی^۴ و مرکز بین المللی پیش بینی محیط زیست^۵ می‌باشد. سامانه GLDAS، با سیستم مدل‌سازی جوی، جفت نشده است و داده‌های واداشت را از ترکیب داده‌های مدل و اندازه‌گیری‌های زمینی فراهم می‌کند (۲۰). هدف GLDAS تولید داده‌های سطح زمین با کیفیت بالای زمانی و مکانی می‌باشد. سامانه GLDAS از مدل‌های پیچیده عددی فرآیندهای فیزیکی، برای ترکیب داده‌های سنجش از دوری، مشاهدات ایستگاهی و میدانی در تولید این داده‌ها استفاده می‌کند (۲۰). داده‌ها برای سه مدل سطح شامل Mosaic، Noah و CLM ارائه می‌شود (۲۰). در این مطالعه متغیر شار تابش طول موج کوتاه سطح^۶ شبیه‌سازی شده توسط مدل Noah، با قدرت تفکیک مکانی و زمانی ۰/۲۵ درجه و ۳ ساعته برای دوره دسامبر ۲۰۱۲ الی نوامبر ۲۰۱۵ استخراج و مورد ارزیابی قرار گرفت. سامانه GLDAS، تابش SSR را با استفاده از محصولات ابر و برف آژانس هواشناسی نیرو هوایی سیستم مدل‌سازی هواشناسی کشاورزی^۷ برآورد می‌کند. محصول برف به صورت روزانه و تحلیل عمق برف جهانی، دارای تفکیک مکانی ۴۸ کیلومتر می‌باشد. محصول ابر نیز برای سال ۲۰۰۲ به بعد به صورت ساعتی و تحلیل جهانی ۲۴ کیلومتری استفاده می‌شود. الگوریتم‌های ارائه شده توسط AFWA در سه لایه اتمسفری موازی (بالا، متوسط و کم) پیاده سازی می‌شوند. برای هر لایه، گذرای اتمسفر و بازتابش با توجه به تابش طول موج کوتاه و تابش طول موج بلند پراکنده شده توسط ابرها، به عنوان نوع و مقدار ابر محاسبه می‌شود (۲۰).

درون‌یابی

از آنجایی که سامانه GLDAS در غالب شبکه‌بندی و با فرمت NetCDF ارائه شده است، برای مطابقت این داده‌ها با داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی از روش درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایگی استفاده و مجموعه داده‌های مدل برای نقاط ایستگاهی با استفاده از نرم افزار CDO^۸ استخراج شدند. از آنجا که در روش‌های درون‌یابی با استفاده از مقادیر نقاط معلوم و مدل‌های مختلف ریاضی و آماری، مقدار نقطه مجهول به دست می‌آید، ناهمگنی منطقه می‌تواند تأثیر زیادی بر تعیین مقدار نقاط مجهول داشته باشد.

است قبل از اینکه داده‌ها و نتایج این محصول به عنوان ابزار تصمیم‌گیری در منطقه به کار رود، کیفیت این داده‌ها با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی به صورت محلی ارزیابی شود (۱۸، ۲۴ و ۳۶). هدف از این مطالعه ارزیابی و اعتبارسنجی تابش SSR استخراج شده از سامانه GLDAS در برابر تابش روزانه اندازه‌گیری شده در ۲۴ ایستگاه تابش‌سنجی ایران می‌باشد.

مواد و روش‌ها

داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی

ایران دارای مساحت ۱۶۴۸۱۹۸ کیلومتر مربع (از ۳۱° تا ۲۵° و ۴۷° عرض شمالی و ۵۱° تا ۴۴° و ۱۸° طول جغرافیایی شرقی) است. در این مطالعه، تابش SSR از ۲۴ ایستگاه تابش‌سنجی توسط سازمان هواشناسی ایران از دسامبر ۲۰۱۲ تا نوامبر ۲۰۱۵ به منظور ارزیابی سامانه GLDAS استخراج شد. هر ایستگاه شامل یک پیرانومتر CM5 ساخته شده توسط Kipp & Zonen، هلند و ثبت‌کننده Campbell-Stokes برای اندازه‌گیری تابش SSR روزانه می‌باشد (۱۵). ایستگاه‌های مورد مطالعه پس از بررسی نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع^۱ و اقلیم یونسکو، مطابق شکل (۱) به مناطق ساحلی، مناطق دارای اقلیم خشک و مناطق دارای اقلیم نیمه خشک تقسیم شدند. پراکنش جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در این مطالعه نیز در شکل (۱) ارائه شده است.

داده‌های خام اندازه‌گیری شده زمینی همراه با خطاهایی هستند. بخش‌های بزرگی از این خطاها به علت نقص فنی پیرانومترها و خطاهای عملیاتی رخ می‌دهد (۴، ۱۰، ۲۸ و ۳۵). بنابراین پیش از استفاده در مطالعات گوناگون باید کیفیت این داده‌ها کنترل و خطاها غربال شوند. در این مطالعه روش پیشنهادی مرادی برای کنترل کیفیت داده‌ها استفاده شد (۱۵). برای اطلاعات بیشتر در مورد روش کنترل کیفیت، به مرادی (۱۵) مراجعه شود. داده‌هایی که بعد از کنترل کیفیت به دست می‌آیند کاملاً مورد اطمینان و قابل استفاده در انواع پژوهش‌ها هستند.

سامانه جهانی همسان سازی داده‌های زمینی: GLDAS

سامانه GLDAS یکی از پروژه‌های LDAS و محصولی مشترک از سازمان ملی هوانوردی و فضا^۲، مرکز فضایی پروازهای گودارد^۳،

4- National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA

5- National Centers for Environmental Prediction, NCEP

6- Downward shortwave radiation flux

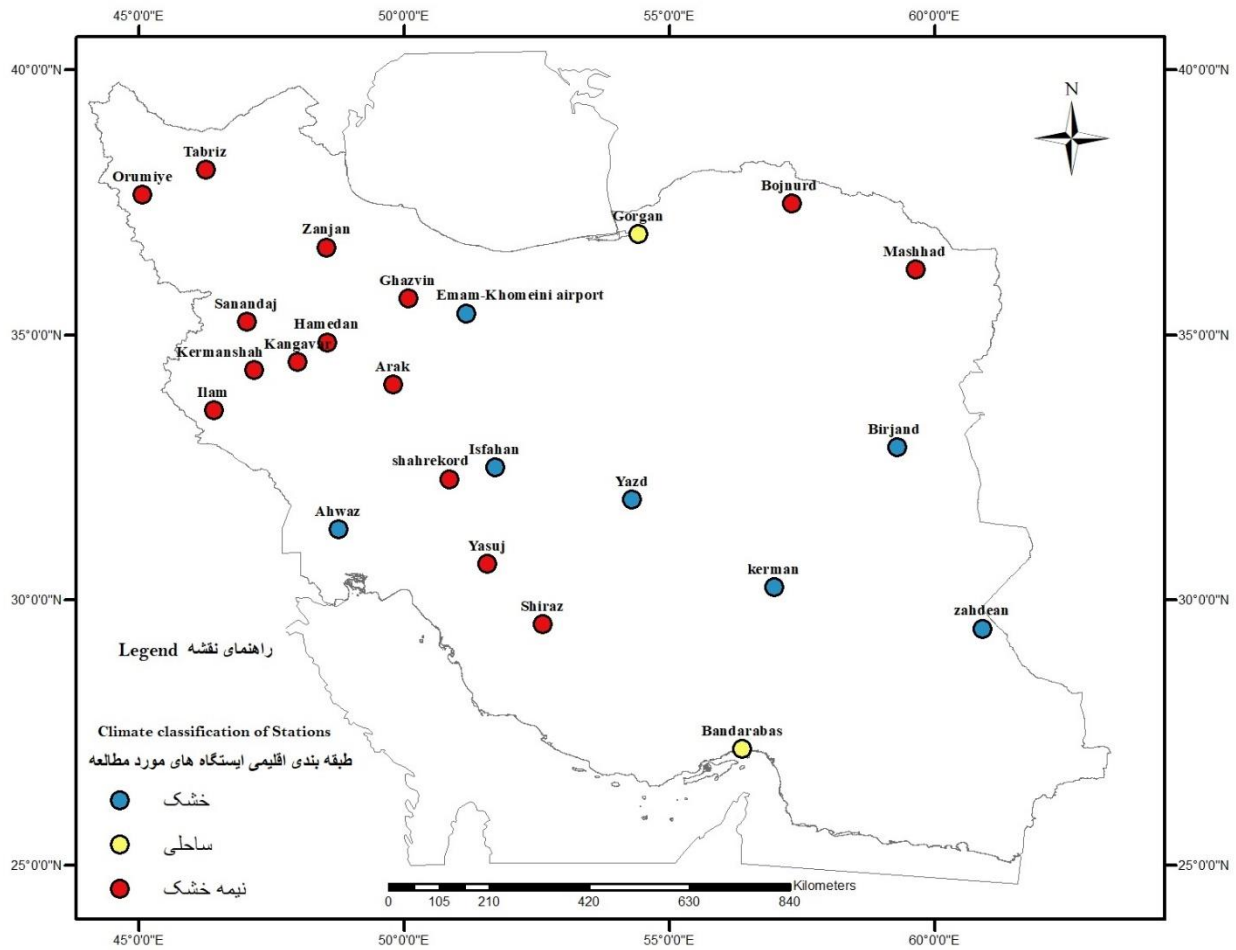
7- Air Force Weather Agency's (AFWA) Agricultural Meteorology modeling system (AGRMET)

8- Climate Data Operator

1- Digital Elevation Model, DEM

2- National Aeronautics and Space Administration, NASA

3- Goddard Space Flight Center, GSFC



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های تابش سنجی مورد مطالعه در ایران و تقسیم بندی ایستگاه‌ها بر اساس ارتفاع از سطح دریا و طبقه بندی اقلیمی UNESCO

Figure 1- Map of studied radiation sites in Iran and classification of the studied sites based on altitude and climate types (UNESCO)

$$MBD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i) \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$RMABD = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{\sum_{i=1}^n X_i} \quad (4)$$

بحث و نتایج

در این مطالعه تابش SSR روزانه استخراج شده از سامانه GLDAS توسط داده‌های روزانه تابش SSR در ۲۴ ایستگاه هواشناسی ایران مورد ارزیابی قرار گرفتند. شکل ۲ نقشه پهنه بندی

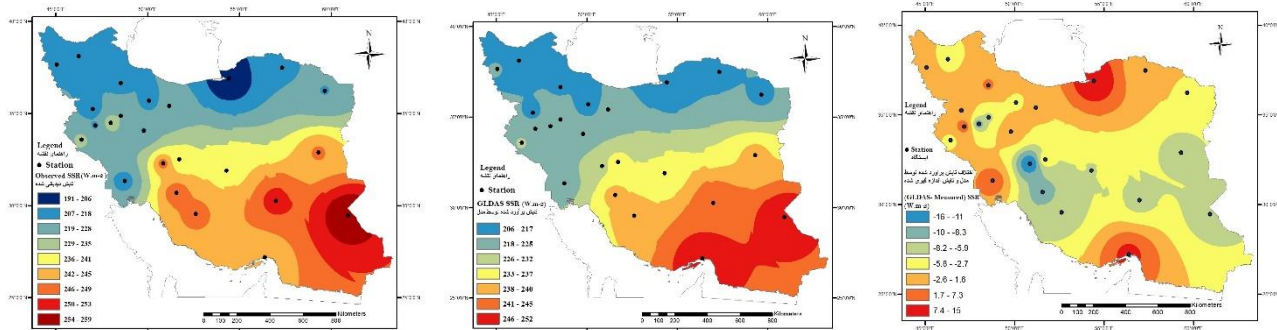
شاخص‌های آماری ارزیابی

در این مطالعه، مقایسه خروجی سامانه GLDAS با داده‌های اندازه‌گیری شده تابش SSR توسط چهار شاخص ارزیابی انجام گرفت. شاخص‌های استفاده شده در این مطالعه، ضریب تعیین (R^2)، خطای اریبی (MBD)، میانگین مطلق خطا (MABD)، میانگین مطلق خطای نسبی (RMABD) و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) می‌باشند (روابط ۱ تا ۴). در این روابط x_i مقدار اندازه‌گیری شده زمینی و y_i مقدار تولید شده توسط مدل می‌باشد.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad (1)$$

بیشترین کم برآوردی در ایستگاه شهرکرد و بیشترین بیش برآوردی در ایستگاه های گرگان و بندرعباس مشاهده شد.

تابش SSR مستخرج از سامانه GLDAS و تابش اندازه گیری شده را در دوره (۲۰۱۲-۲۰۱۵) به همراه نقشه خطای اریبی (اختلاف تابش برآورد شده و اندازه گیری شده) نشان می دهد. مطابق شکل ۲،



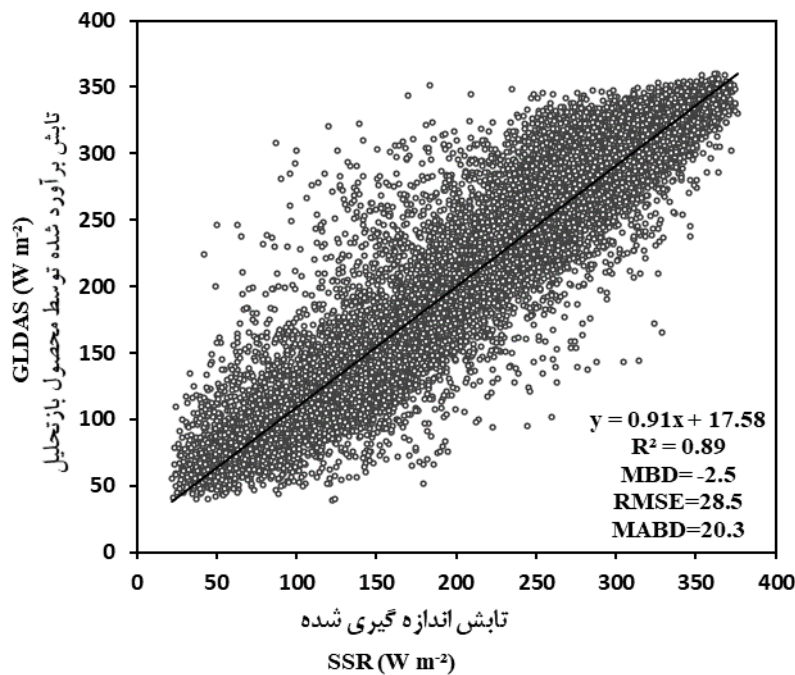
شکل ۲- نقشه پهنه بندی تابش اندازه گیری شده روزانه، تابش برآورد شده توسط سامانه GLDAS و نقشه خطای اریبی (اختلاف تابش برآورد شده و اندازه گیری شده) در ایران در دوره مطالعاتی (۲۰۱۲-۲۰۱۵)

Figure 2- Zoning maps of measured daily SSR, estimated GLDAS and bias map (difference between estimated GLDAS and measured daily SSR) in Iran in the time period of (2012-2015)

تابش روزانه ایران دقت مناسبی دارد. معیار RMSE و MABD برای این محصول به ترتیب 28.5 و 20.3 $W m^{-2}$ به دست آمدند. همچنین خطای اریبی به دست آمده حاکی از کم برآوردگری سامانه GLDAS به میزان 2.5 $W m^{-2}$ در ایران می باشد.

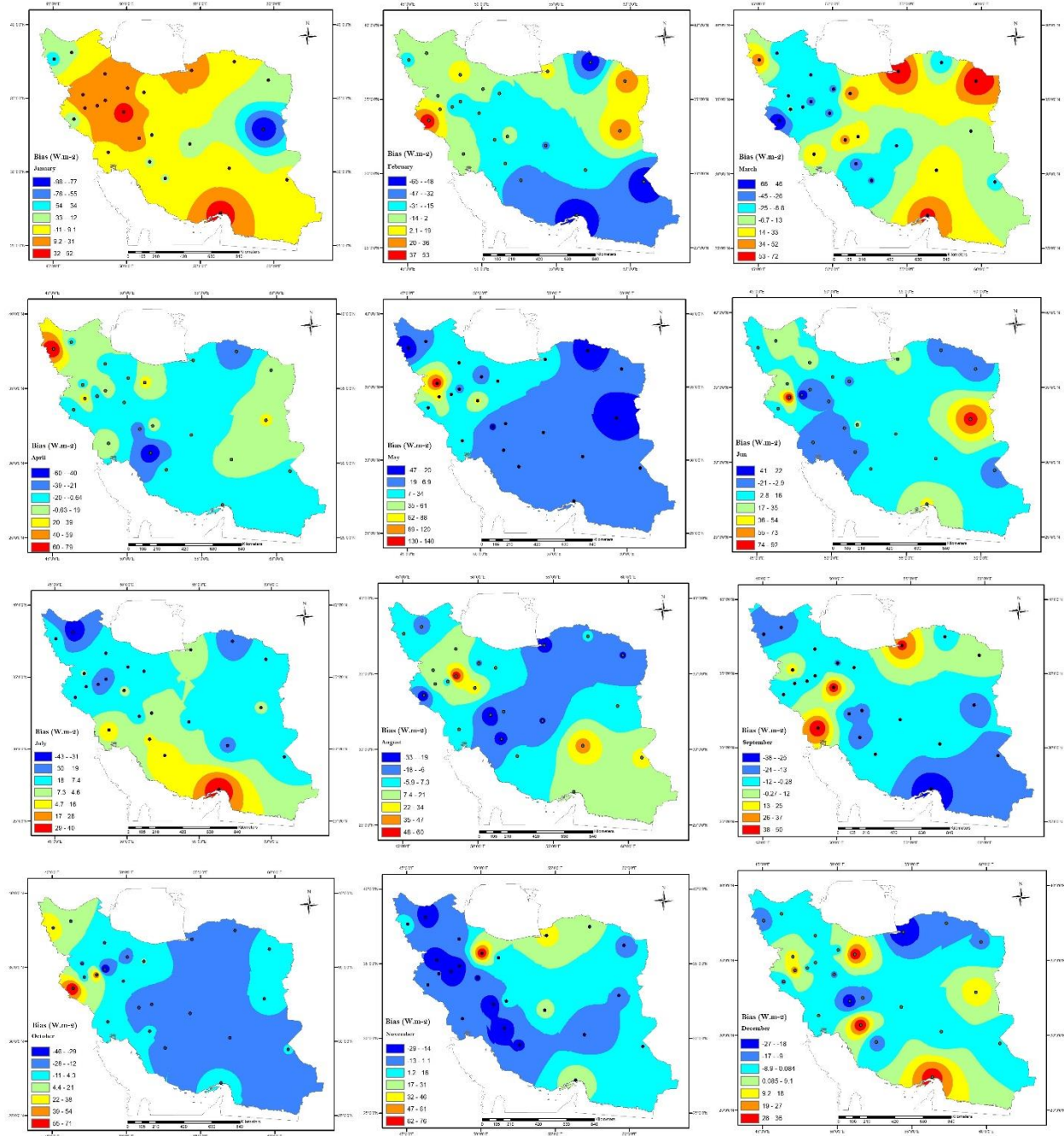
عملکرد کلی سامانه GLDAS

شکل ۳ ارزیابی تابش SSR خروجی سامانه GLDAS توسط داده های تابش SSR روزانه ۲۴ ایستگاه هواشناسی ایران برای دوره دسامبر ۲۰۱۲ تا نوامبر ۲۰۱۵ نشان می دهد. نمودار پراکندگی به دست آمده نشان می دهد که عملکرد سامانه GLDAS در ارزیابی



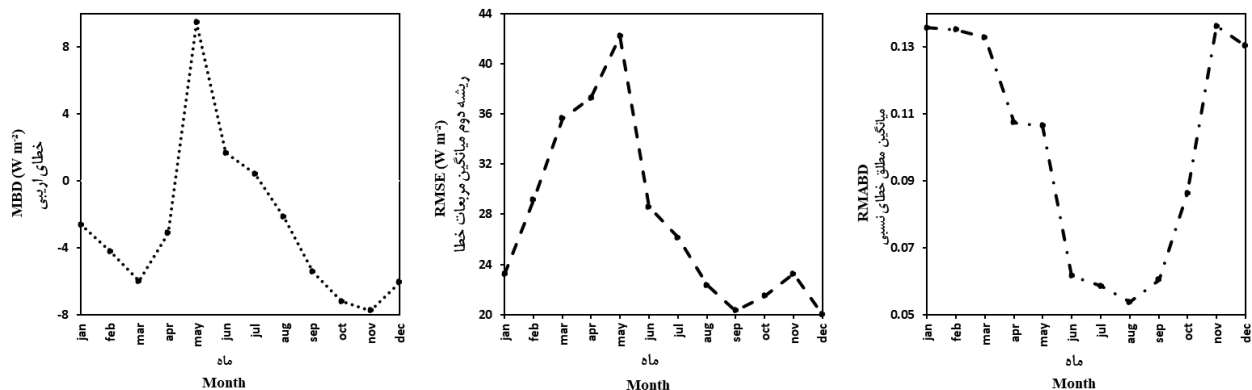
شکل ۳- نمودار پراکندگی تابش SSR اندازه گیری شده روزانه در برابر سامانه GLDAS در دوره مطالعاتی (۲۰۱۲-۲۰۱۵)

Figure 3- Scattered plot of comparison of daily measured SSR with estimated GLDAS data in the time period of (2012-2015)



شکل ۴- نقشه خطای اریبی ماهانه (اختلاف تابش برآورد شده توسط سامانه GLDAS و تابش اندازه‌گیری شده روزانه) در ایران در دوره مطالعاتی (۲۰۱۲-۲۰۱۵)

Figure 4- Bias monthly maps of (difference between estimated GLDAS and measured daily SSR) in Iran in the time period of (2012-2015)



شکل ۵- تغییرات ماهانه خطای MBD، RMSE و RMABD (مقایسه مدل GLDAS و تابش SSR اندازه‌گیری شده روزانه در ایران)
Figure 5- Monthly variations of MBD, RMSE and RMABD error (comparison of GLDAS and measured SSR in Iran)

(۳۱)

تحلیل توزیع مکانی خطاها

بررسی تغییرات مکانی R^2 بین داده‌های روزانه تابش SSR اندازه‌گیری شده و سامانه GLDAS نشان داد که در ۷۱ درصد ایستگاه‌ها، ضریب تعیین بیش از مقدار متوسط $0/۸۹$ به دست آمده است که حاکی از این است که ۸۹ درصد واریانس مشاهدات توسط سامانه GLDAS تبیین می‌شود. همچنین در ایستگاه‌های دارای اقلیم خشک بیشترین ضریب تعیین به مقدار $0/۹۲$ (ایستگاه‌های فرودگاه امام خمینی و اصفهان بیشترین مقدار ضریب تعیین به مقدار $0/۹۴$ را در این دسته دارا بودند) و در ایستگاه‌های ساحلی کمترین ضریب تعیین به مقدار $0/۶۹$ به دست آمد (جدول ۱). در ایستگاه‌های مناطق ساحلی تمایل به بیش برآوردی به مقدار $۱۲/۷ \text{ W m}^{-2}$ و در مناطق خشک و نیمه خشک تمایل به کم برآوردی به ترتیب به مقدار $۳/۶^2$ و $۳/۷$ مشاهده شد. مطابق جدول (۱)، شاخص‌های آماری RMSE، MABD و RMABD نشان دادند که ایستگاه‌های واقع در مناطق با آب و هوای خشک در مقایسه با مناطق نیمه خشک و ساحلی، سامانه GLDAS برآورد بهتری از تابش SSR در منطقه مورد مطالعه ارائه می‌دهد. در همین راستا، بویلی و والد (۲) نشان دادند مدل‌های بازتحلیل تجزیه و تحلیل پس نگرانه عصر جدید برای تحقیقات و برنامه‌های کاربردی^۲ و ERA-Interim در مناطق با آب و هوای مرطوب گرمسیری عدم اطمینان بالایی دارند و در مناطق با آب و هوای خشک، مدل‌ها عملکرد بهتری در برآورد تابش SSR ارائه می‌دهند.

ارزیابی تغییرات ماهانه تابش SSR اندازه‌گیری شده روزانه در برابر سامانه GLDAS (شکل‌های ۴ و ۵) نشان می‌دهد که سامانه GLDAS به جز در ماه‌های می تا جولای در همه ماه‌های سال، تابش SSR را کم برآورد کرده است. بیشترین کم برآوردی در ماه نوامبر به میزان $۹/۵ \text{ W m}^{-2}$ و بیشترین بیش برآوردی در ماه می به میزان $۹/۵ \text{ W m}^{-2}$ می‌باشد. بهترین برآورد (کمترین میزان خطای اریبی) در ماه‌های تابستان ($۱/۷ \text{ W m}^{-2}$ و $0/۴$ - $۲/۲$) به ترتیب در ماه‌های ژوئن تا اگوست) توسط مدل برآورده شد (شکل ۴). مشابه با نتیجه به دست آمده، تراگر چاترچی و همکاران (۲۶)؛ جیا و همکاران (۷)؛ بویلی و وایلد (۲) و حیدری بنی و یزدان پناه (۶) نیز در پژوهش‌های خود نشان دادند که مدل‌های بازتحلیل (ERA-Interim, NCEP-DOE)، مدل اقلیمی (RegCM4) و مدل آماری-تجربی (آنگستروم) نیز در ماه‌های گرم سال توانایی بیشتری در برآورد تابش SSR دارند.

همچنین مطابق شکل ۵، کمترین میزان خطای RMABD در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر (تابستان) با متوسط $0/۰۶$ و بیشترین مقدار در ماه‌های نوامبر تا مارس (زمستان) با متوسط $0/۱۳$ به دست آمد. اما کمینه معیارهای مطلق (MABD) RMSE در پاییز (ماه‌های سپتامبر و دسامبر) با میانگین $۲۲(۱۷) \text{ W m}^{-2}$ و بیشینه آن در فصل بهار (ماه‌های مارس تا می) با میانگین $۳۹(۲۸) \text{ W m}^{-2}$ مشاهده شد. از آنجا که شاخص‌های مطلق (MABD) RMSE تحت تأثیر حضور ابرها و فعل و انفعالات ناشی از آفتاب‌گیری شدید^۱ قرار دارند، بنابراین مقادیر کمینه خطا از تابستان به پاییز و بیشینه خطا از زمستان به بهار جابه‌جا شده و معیارهای آماری مطلق در بهار بدترین برآوردها و در ماه‌های سرد سال بهترین برآوردها را نشان می‌دهند (۱۹، ۲۸ و

2- Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, MERRA

1- High insolation

جدول ۱- شاخص‌های ارزیابی تابش روزانه SSR برآورد شده توسط سامانه GLDAS با داده‌های اندازه‌گیری شده در سه منطقه مورد مطالعه

Table 1- Validation metrics of the estimated GLDAS with daily measured SSR in the three study areas

معیار آماری Statistical indicator	R ²	MBD (W m ⁻²)	RMSE (W m ⁻²)	MABD (W m ⁻²)	RMABD
ایستگاه‌های مناطق ساحلی (Coastal Stations)	0.69	13.0	45	32	0.15
ایستگاه‌های مناطق خشک (Arid climate stations)	0.92	-3.6	23	17	0.07
ایستگاه‌های مناطق نیمه خشک (Semi-arid climate stations)	0.9	-3.7	28	20	0.09

مناطق خشک مشاهده شد. بررسی فصلی خطای اریبی نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات در فصل تابستان بین $3/5 \text{ W m}^{-2}$ در مناطق نیمه خشک تا 33 W m^{-2} در مناطق ساحلی و کمترین تغییرات در فصل زمستان بین $2/5 \text{ W m}^{-2}$ در مناطق ساحلی تا $4/5 \text{ W m}^{-2}$ در مناطق نیمه خشک نوسان دارد. بیشینه خطای اریبی در مناطق ساحلی، در فصل تابستان رخ داده است و این زمانی است که رطوبت هوا در این مناطق بسیار بالا است. تغییرات فصلی خطای RMSE در شکل (۶) نشان داد که بیشینه خطای RMSE در فصل بهار بین 55 m^{-2} در مناطق ساحلی تا 30 W m^{-2} در مناطق خشک و کمینه خطای RMSE در فصل پاییز بین 31 W m^{-2} در مناطق ساحلی و 19 W m^{-2} در مناطق خشک واقع شده است. تغییرات فصلی خطای RMABD در مناطق خشک و نیمه خشک رفتار مشابهی را نشان دادند (بیشینه خطای RMABD در فصل زمستان بین $0/11$ در مناطق خشک تا $0/14$ در مناطق نیمه خشک و کمینه خطای RMABD در تابستان به مقدار $0/05$ در هر دو منطقه خشک و نیمه خشک مشاهده شد). بیشینه خطای RMABD در مناطق ساحلی در زمستان به مقدار $0/2$ و کمینه در پاییز به مقدار $0/12$ به دست آمد. با توجه به ارزیابی‌های انجام شده بر روی عملکرد تابش روزانه SSR برآورد شده توسط سامانه GLDAS در ایران، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سامانه GLDAS در مناطق ساحلی ایران (به‌خصوص در فصل تابستان) بسیار بیش برآوردگر است و در فصل پاییز، نسبت به دیگر فصول توانایی بیشتری در برآورد تابش SSR دارد. همچنین بررسی‌های انجام شده بر روی مناطق خشک و نیمه خشک نشان داد که سامانه GLDAS با اختلاف اندکی، به ترتیب در مناطق خشک و نیمه خشک عملکرد و توانایی مناسبی دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تابش روزانه سطح زمین استخراج شده از سامانه GLDAS توسط داده‌های روزانه تابش SSR در ۲۴ ایستگاه هواشناسی ایران مورد ارزیابی قرار گرفتند. بررسی کارایی سامانه GLDAS در برآورد تابش روزانه SSR در ایران نشان داد که مدل در ۲۹ درصد ایستگاه‌ها بیش برآوردی (از $1/6 \text{ W m}^{-2}$ در ایستگاه اراک

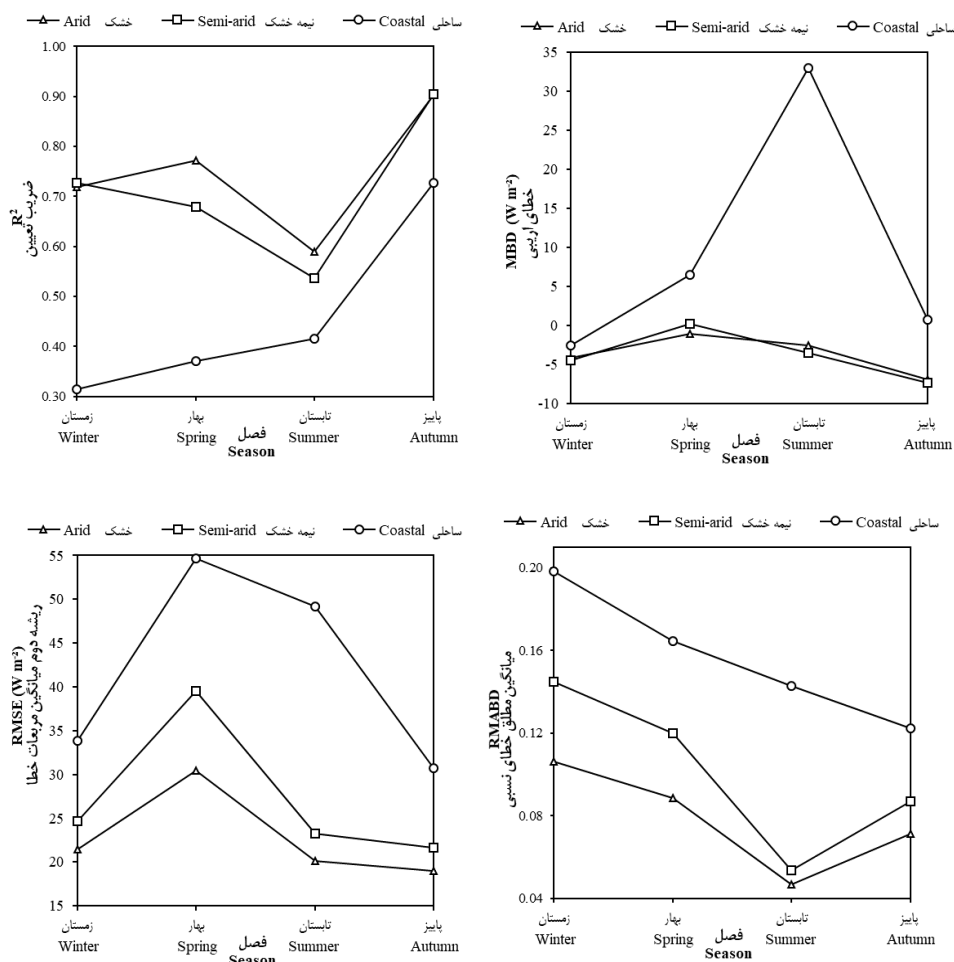
از آنجا که سامانه GLDAS برای همسان سازی داده‌های زمینی طراحی و مدل‌سازی شده است، بر روی نواحی آبی پوشش ندارد. همچنین به دلیل اینکه برای استخراج مقادیر نقاط ایستگاهی از روش درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایگی استفاده شد، بنابراین نقاط معلوم در همسایگی ایستگاه‌های ساحلی، محدود به نقاط داده‌های زمینی بوده و برآورد نقاط ایستگاه ساحلی (ایستگاه‌های بندرعباس و گرگان) با خطای ناشی از روش درون‌یابی مواجه شدند. در همین راستا ژیانو و همکاران (۳۲) نشان دادند در منطقه ساحلی حوضه بیلو^۱ در شمال چین، سامانه GLDAS به صورت سیستماتیک تمایل به بیش برآوردی تابش SSR دارد. همچنین اوراکا و همکاران (۳۹) نشان دادند که مدل بازتحلیل ERA5 در مناطق ساحلی و کوهستانی عملکرد ضعیفی نسبت به محصولات ماهواره‌ای در برآورد تابش SSR دارد.

تغییرات فصلی شاخص‌های آماری مورد مطالعه در سه منطقه ساحلی، مناطق دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک مطابق شکل (۶) مورد بررسی قرار گرفت. کمترین میزان شاخص آماری R² در مناطق خشک و نیمه خشک در تابستان به ترتیب به مقدار $0/59$ و $0/54$ و بیشترین میزان در فصل پاییز، به مقدار $0/9$ به دست آمد (شکل ۶). همچنین در مناطق ساحلی کمترین میزان ضریب تعیین در زمستان به مقدار $0/31$ و بیشترین میزان در فصل پاییز به مقدار $0/73$ به دست آمد. همان‌طور که شکل (۶) نشان می‌دهد تغییرات ضریب تعیین در مناطق خشک و نیمه خشک مشابه است و در مناطق ساحلی مقادیر ضریب تعیین در فصل زمستان، بهار و تابستان با اختلاف اندکی تقریباً یکسان می‌باشند. همچنین مطابق شکل (۶) بیشترین مقدار خطای اریبی به صورت بیش برآوردی در مناطق ساحلی و در فصل تابستان به مقدار 33 W m^{-2} و کمترین خطای اریبی به شکل بیش برآوردی در مناطق نیمه خشک در فصل بهار به مقدار $0/2 \text{ W m}^{-2}$ به دست آمد. همچنین بیشینه خطای اریبی به صورت کم برآوردی به مقدار 7 W m^{-2} در مناطق نیمه خشک و کمینه خطای اریبی به صورت کم برآوردی به مقدار 1 W m^{-2} در

کمتری نسبت به مناطق دیگر دارد، ضروری است که دقت بیشتری در انتخاب روش و مدل مورد استفاده در برآورد تابش در مناطق مرطوب و ساحلی صورت گیرد. با این وجود، با توجه به دسترسی آزاد و قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالای سامانه GLDAS، در مناطقی که دسترسی به اطلاعات هواشناسی محدود است، در برآورد تابش SSR در این مناطق، سامانه GLDAS می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می‌توان ضرابی را توسط مدل‌های تجربی-آماری برای مناطقی که خطای اریبی بالایی دارند (مناطق ساحلی و مرطوب) تعیین و برآوردهای تابش SSR را در این مناطق بهبود بخشید. در نهایت نتایج به دست آمده در این پژوهش می‌تواند به محققان برای تحقیقات آینده در تصمیم‌گیری‌های آگاهانه در انتخاب داده و مدل‌های برآورد تابش SSR و روش‌های پردازش نیز کمک کند.

تا $15/2 \text{ W m}^{-2}$ در گرگان) و در ۷۱ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه کم برآوردی (از $0/7 \text{ W m}^{-2}$ در ارومیه تا $-15/8 \text{ W m}^{-2}$ در شهرکرد) داشته است. همچنین دیده شد که در ماه‌های سرد سال که تحت شرایط ابرناکی قرار دارند، سامانه GLDAS توانایی کمتری در برآورد تابش روزانه SSR نسبت به شرایط آسمان صاف داشته و خطا بیشتر می‌باشد.

با توجه به اینکه بیشتر مناطق ایران در ناحیه خشک و نیمه خشک واقع شده و فصل رشد گیاهان این مناطق منطبق با فصل گرم است، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سامانه GLDAS توانایی لازم را در برآورد تابش SSR داراست و می‌توان از خروجی تابش SSR این مدل در مطالعات کشاورزی استفاده نمود. همچنین از آنجا که سامانه GLDAS در برآورد تابش SSR در مناطق ساحلی، توانایی



شکل ۶- تغییرات فصلی R^2 ، خطای MBD، RMSE و RMABD (مقایسه سامانه GLDAS و تابش روزانه SSR اندازه‌گیری شده در مناطق خشک، نیمه خشک و ساحلی ایران)

Figure 6- Seasonally variations of R^2 , MBD, RMSE and RMABD error (comparison of GLDAS and measured SSR in arid, semi-arid and Coastal area of Iran)

هواشناسی کشور به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های اندازه‌گیری شده تابش سطح زمین تشکر و قدردانی می‌نمایند.

نویسندگان مقاله حاضر از بخش علوم زمین سازمان ناسا برای ارائه داده‌های با کیفیت و رایگان سامانه GLDAS و از سازمان

منابع

- 1- Bayat K., and Mirlatifi S.M. 2009. Estimation of Daily Global Solar Radiation Using Regression Models and Artificial Neural Networks. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 16(3): 270-280. (In Persian)
- 2- Boilley A., and Wald L. 2015. Comparison between meteorological re-analyses from ERA-Interim and MERRA and measurements of daily solar irradiation at surface. *Journal of Renewable Energy* 75: 135-143.
- 3- Chen M., Zhuang Q. and He Y. 2014. An efficient method of estimating downward solar radiation based on the MODIS observations for the use of land surface modeling. *Journal of Remote Sensing* 6(8): 7136-7157.
- 4- Estévez J., Gavilán P., and Giráldez J. V. 2011. Guidelines on validation procedures for meteorological data from automatic weather stations. *Journal of Hydrology* 402(1-2): 144-154.
- 5- Gholamnia A., Mobin M.H., and Alipoor H. 2016. Modeling and Zoning Solar Energy Received at the Earth's Surface in Arid and Semiarid Regions of Central Iran. *Journal of Water and Soil* 30(4): 1294-1308. (In Persian with English abstract)
- 6- Heidary Beni M., and Yazdanpanah H.A. 2017. Assessment of RegCM4 model for estimation of total solar radiation (Case study: Chaharmahal and Bakhtiari province). *Journal of Agricultural Meteorology* 4(2): 27-37. (In Persian with English abstract)
- 7- Jia B., Xie Z., Dai A., Shi C., and Chen F. 2013. Evaluation of satellite and reanalysis products of downward surface solar radiation over East Asia: Spatial and seasonal variations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118(9): 3431-3446.
- 8- Journée M., and Bertrand C. 2010. Improving the spatiotemporal distribution of surface solar radiation data by merging ground and satellite measurements. *Journal of Remote Sensing of Environment* 114(11): 2692-2704.
- 9- Khosravi A., Nunes R. O., Assad M. E. H., and Machado L. 2018. Comparison of artificial intelligence methods in estimation of daily global solar radiation. *Journal of Cleaner Production* 194: 342-358.
- 10- Laiti L., Andreis D., Zottele F., Giovannini L., Panziera L., Toller G., and Zardi D. 2014. A solar atlas for the Trentino region in the Alps: quality control of surface radiation data. *Journal of Energy Procedia* 59: 336-343.
- 11- Liang S., Wang K., Zhang X., and Wild M. 2010. Review on estimation of land surface radiation and energy budgets from ground measurement, remote sensing and model simulations. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 3(3): 225-240.
- 12- Lotfinejad M., Hafezi R., Khanali M., Hosseini S., Mehrpooya M., and Shamshirband S. 2018. A comparative assessment of predicting daily solar radiation using bat neural network (BNN), generalized regression neural network (GRNN), and neuro-fuzzy (NF) system: A case study. *Journal of Energies* 11(5): 1188.
- 13- Majnoni-Heris A., Zand-Parsa S., Sepaskhah A., and Nazemosadat M.J. 2009. Development and Evaluation of Global Solar Radiation Models Based on Sunshine Hours and Meteorological Data. *Journal of Water and Soil Science* 12(46):491-499. (In Persian)
- 14- Mobin M.H., Gholamnia A., Soudaiezadeh H., and Mirhosani S.A. 2015. Introducing a new model for estimating solar radiation in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Biome Scientific and Research* 5(2): 95-101. (In Persian)
- 15- Moradi I. 2009. Quality control of global solar radiation using sunshine duration hours. *Journal of Energy* 34(1): 1-6.
- 16- Mousavi-Baygi M., Ashraf B., and Miyanabady A. 2010. The Investigation of different Models of Estimating Solar Radiation to Recommend the Suitable Model in a Semi-Arid Climate. *Journal of Water and Soil* 24(4): 836-844. (In Persian with English abstract)
- 17- Noory H., Mokhtari A., and Vazifedoust M. 2019. Evaluation of Incoming Solar Radiation Parameter Derived from Empirical and Satellite Models. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 50(2): 353-362. (In Persian with English abstract)
- 18- Polo J., Wilbert S., Ruiz-Arias J.A., Meyer R., Gueymard C., Suri M., Martin L., Mieslinger T., Blanc P., Grant I., and Boland J. 2016. Preliminary survey on site-adaptation techniques for satellite-derived and reanalysis solar radiation datasets. *Journal of Solar Energy* 132: 25-37.
- 19- Riihelä A., Carlund T., Trentmann J., Müller R., and Lindfors A. 2015. Validation of CM SAF surface solar radiation datasets over Finland and Sweden. *Journal of Remote Sensing* 7(6): 6663-6682.
- 20- Rodell M., Houser P.R., Jambor U.E.A., Gottschalck J., Mitchell K., Meng C.J., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovich J., Bosilovich M., and Entin J.K. 2004. The global land data assimilation system. *Bulletin of the American Meteorological Society* 85(3): 381-394.

- 21- Ruiz-Arias J.A., Quesada-Ruiz S., Fernández E.F. and Gueymard C.A. 2015. Optimal combination of gridded and ground-observed solar radiation data for regional solar resource assessment. *Journal of Solar Energy* 112: 411-424.
- 22- Sabziparvar A.A. and Shetaee H. 2007. Estimation of global solar radiation in arid and semi-arid climates of East and West Iran. *Journal of Energy* 32(5): 649-655.
- 23- Sabziparvar A.A. 2008. A simple formula for estimating global solar radiation in central arid deserts of Iran. *Journal of Renewable Energy* 33(5): 1002-1010.
- 24- Sanchez-Lorenzo A., Wild M., and Trentmann J. 2013. Validation and stability assessment of the monthly mean CM SAF surface solar radiation dataset over Europe against a homogenized surface dataset (1983–2005). *Journal of Remote sensing of environment* 134: 355-366.
- 25- Slater A.G. 2016. Surface solar radiation in North America: A comparison of observations, reanalyses, satellite, and derived products. *Journal of Hydrometeorology* 17(1): 401-420.
- 26- Träger-Chatterjee C., Müller R.W., Trentmann J., and Bendix J. 2010. Evaluation of ERA-40 and ERA-interim reanalysis incoming surface shortwave radiation datasets with mesoscale remote sensing data. *Journal of Meteorologische Zeitschrift* 19(6): 631-640.
- 27- Urraca R., Gracia-Amillo A.M., Koubli E., Huld T., Trentmann J., Riihelä A., Lindfors A.V., Palmer D., Gottschalg R., and Antonanzas-Torres F. 2017. Extensive validation of CM SAF surface radiation products over Europe. *Journal of Remote sensing of environment* 199: 171-186.
- 28- Urraca R., Martinez-de-Pison E., Sanz-Garcia A., Antonanzas J., and Antonanzas-Torres F. 2017. Estimation methods for global solar radiation: Case study evaluation of five different approaches in central Spain. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews* 77: 1098-1113.
- 29- Urraca R., Huld T., Gracia-Amillo A., Martinez-de-Pison F.J., Kaspar F., and Sanz-Garcia A. 2018. Evaluation of global horizontal irradiance estimates from ERA5 and COSMO-REA6 reanalyses using ground and satellite-based data. *Journal of Solar Energy* 164: 339-354.
- 30- Wang F., Wang L., Koike T., Zhou H., Yang K., Wang A., and Li W. 2011. Evaluation and application of a fine- resolution global data set in a semiarid mesoscale river basin with a distributed biosphere hydrological model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 116: D21.
- 31- Wang Y., Trentmann J., Yuan W., and Wild M. 2018. Validation of CM SAF CLARA-A2 and SARA-E Surface Solar Radiation Datasets over China. *Journal of Remote Sensing* 10(12): 1977.
- 32- Xiao R., He X., Zhang Y., Ferreira V., and Chang L. 2015. Monitoring groundwater variations from satellite gravimetry and hydrological models: a comparison with in-situ measurements in the Mid-Atlantic region of the United States. *Journal of Remote Sensing* 7(1): 686-703.
- 33- Yang F., Lu H., Yang K., He J., Wang W., Wright J.S., Li C., Han M., and Li Y. 2017. Evaluation of multiple forcing data sets for precipitation and shortwave radiation over major land areas of China. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences* 21(11).
- 34- Yang L., Zhang X., Liang S., Yao Y., Jia K., and Jia A. 2018. Estimating surface downward shortwave radiation over china based on the gradient boosting decision tree method. *Journal of Remote Sensing* 10(2): 185.
- 35- Younes S., Claywell R., and Muneer T. 2005. Quality control of solar radiation data: Present status and proposed new approaches. *Journal of Energy* 30(9): 1533-1549.
- 36- Zhang T., Stackhouse Jr P.W., Cox S.J., Mikovitz J.C., and Long C.N. 2019. Clear-sky shortwave downward flux at the Earth's surface: Ground-based data vs. satellite-based data. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 224: 247-260.

Assessment of the Performance of the Global Land Data Assimilation System (GLDAS) in Estimating Daily Surface Solar Radiation in Iran

N. Ahmadibaseri¹- A.A. Sabziparvar^{2*}- M. Khodamoradpour³- L. Alados Arboledas⁴

Received: 30-09-2019

Accepted: 20-01-2020

Introduction: Surface Solar Radiation (SSR) as the largest source of land-surface energy is an important parameter in meteorological and climatological studies. Limitations in ground-based measurements have encouraged the users to approach low cost and reliable methods to estimate radiation components, for the regions where the ground-based radiation data are sparse. Different methods have been developed for estimating SSR including empirical models, radiative transfer models, semi-empirical models, and models based on satellite and reanalysis products. In most studies in Iran, empirical methods have been investigated. Despite the simplicity of these models, they do not accurately represent SSR variations because of not considering all the parameters affecting radiation variations, at large spatial scales with different climates. The Global Land Data Assimilation System (GLDAS) is a combination of measured and satellite data that uses advanced land surface modeling and data assimilation methods. One of the strengths of this model that makes GLDAS unique is that it has global coverage, high spatial-temporal resolution and is available for free. GLDAS is a terrestrial modeling system uncoupled to the atmosphere. This work was aimed to evaluate SSR derived from GLDAS using ground measurements over Iran from 2012 to 2015 on a daily basis.

Materials and Methods: In this study, measured SSR in 24 radiometer stations of Iran from 2012 to 2015 was extracted. Since the measured data are associated with some errors, the quality of the data must be checked and screened before use. In this study, Moradi's proposed method was used to control data quality. The studied areas were classified into three zones of coastal, arid and semi-arid climates based on Digital Elevation Model (DEM) and UNESCO climate classification approach. The GLDAS SSR outputs were extracted with a spatial and temporal resolution of 0.25° grid cell and 3-hourly from 2012 to 2015. The GLDAS is one of the LDAS projects and has been extended jointly by the National Aeronautics and Space Administration (NASA) Goddard Space Flight Center (GSFC) and the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Centers for Environmental Prediction (NCEP). The purpose of GLDAS is to produce high quality temporal and spatial land surface data. GLDAS drives three land surface models: Mosaic, Noah, and CLM. GLDAS assesses SSR at the land surface using a method and cloud and snow products from the Air Force Weather Agency's (AFWA) Agricultural Meteorology modeling system (AGRMET). Since the GLDAS data are created using the gridded Binary format, the nearest neighborhood interpolation method was used to match these data with ground-based data and GLDAS datasets were generated for station points using CDO software. In this study, GLDAS datasets were compared against measured SSR datasets by four validation metrics. The metrics used are determination coefficient (R^2), the mean bias error (MBD), the mean absolute error (MABD), relative mean absolute error (RMABD) and root mean squared error (RMSE).

Results and Discussion: Statistical analysis showed that the performance of GLDAS in SSR evaluation is reasonable in Iran with a high-efficiency coefficient of 0.88. Also, it was shown that the GLDAS has a higher ability to estimate SSR under clear sky (warm seasons) conditions than cloudy conditions (cold seasons). Similar to the obtained results, Träger-Chatterjee et al. (2010); Jia et al. (2013); Boilley and Wild (2015) and Heidary Beni and Yazdanpanah (2017) also showed that the ERA- Interim, NCEP-DOE, RegCM4 and angstrom model are also more capable of estimating SSR in warm seasons. Seasonal bias variations at three studied areas showed that the most changes occurred in summer and least changes in winter. The highest overestimation was also observed in the coastal areas in summer and the lowest overestimation in the semi-arid regions in spring. The evaluation of the GLDAS performance against the site measured SSR data suggests that the GLDAS tends to underestimate in 71% of the studied stations. Moreover, the stations located in the arid region provided a better

1, 2 and 3- Ph.D. Candidate of Agricultural Meteorology, Professor and Assistant Professor in Meteorology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: swsabzi@basu.ac.ir)

4- Professor in Applied Physics, Inter-University Research Institute of the Earth System in Andalusia IISTA, University of Granada, Spain

DOI: 10.22067/jsw.v34i2.82848

estimation of SSR as compared with semi-arid and coastal locations. These results were compared with those of Boilley and Wald (2015) that showed ERA-Interim and MERRA reanalysis models have high uncertainty in areas with tropical humid climates, and in regions with arid climates, models perform better in SSR estimation. Our findings were also in good agreement with their results.

Conclusion: GLDAS SSR outputs can be used for agricultural studies. This is due to the facts that arid and semi-arid climates are dominant in Iran and the growing season is mostly in the warm season.

Keywords: Evaluation, GLDAS, Iran, Surface solar radiation