



دانشگاه گواران و منابع آب

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۶
<http://jwsc.gau.ac.ir>

ارزیابی داده‌های تبخیر-تعرق، بارش و دمای هوای حاصل از مدل سطح زمین (GLDAS) با استفاده از داده‌های مشاهداتی در استان قزوین

* زهره فرجی^۱، عباس کاویانی^۲ و علیرضا شکیبی^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان، آستادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)،
^۲ دانشیار گروه سنجش از دور، دانشگاه شهید بهشتی
تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۳۰

چکیده

سابقه و هدف: کاهش ذخیره آب یک تهدید هیدرولوژیکی برای تولید محصولات کشاورزی و ثبات اجتماعی و اقتصادی در سراسر جهان به‌شمار می‌رود. در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند کشور ایران که دارای بارش کم و تبخیر-تعرق زیاد می‌باشند این کاهش ذخیره آب به سرعت به آستانه خطر نزدیک می‌شود. بنابراین برآورد هرچه دقیق‌تر تبخیر-تعرق به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که باعث هدررفت آب می‌شود می‌تواند گامی به سوی افزایش توانایی بشر در کنترل و مدیریت بحران آب باشد. متأسفانه با بروز پدیده خشکسالی و افزایش بی‌رویه مصرف آب و کاهش منابع آب‌های زیرزمینی، استان قزوین با بحران کمبود آب مواجه شده است. بنابراین برآورد تبخیر-تعرق به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم بیلان آب منطقه و همچنین یکی از عوامل مهم در بحث هدررفت آب می‌تواند تا حد زیادی برای این استان اهمیت داشته باشد. هدف اصلی این مقاله معرفی روشی برای افزایش دقت پارامتر تبخیر-تعرق و کالیبراسیون داده‌های بارش حاصل از مدل سیستم جهانی اطلاعات سطح زمین (GLDAS) و همچنین معرفی داده‌های تبخیر-تعرق، بارش و دمای آن به‌عنوان جایگزینی مناسب برای داده‌های مشاهداتی در مناطق فاقد آمار و غیرقابل دسترس می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش که در استان قزوین انجام شده است، پارامترهای تبخیر-تعرق و دمای هوا طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۲ و پارامتر بارش طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به داده‌های بارش ۵۰ ساله منطقه، سال‌های زراعی ۸۰-۷۹، ۸۱-۸۰ و ۸۱-۸۲ به ترتیب به‌عنوان سال زراعی خشک، نرمال و تر انتخاب شدند. شاخص‌های کمی که به‌منظور ارزیابی نتایج مورد استفاده قرار گرفته است شامل ضریب همبستگی (R)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای اریبی (MBE) و میانگین مطلق خطا (MAE) می‌باشد.

یافته‌ها: نتایج بررسی داده‌های تبخیر-تعرق مدل GLDAS و لایسیمتر $R^2=0/95$ ، $RMSE=0/68$ میلی‌متر در ماه نشان می‌دهد که همبستگی بالایی بین این دو سری داده وجود دارد. علاوه بر تبخیر-تعرق، پارامترهای دما و بارش

* مسئول مکاتبه: zfaraaji9101@gmail.com

نیز به‌عنوان دو عنصر تأثیرگذار بر تبخیر- تعرق مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج آماری نشان‌دهنده R^2 بیش از ۰/۹ بین داده‌های دمای هوای حاصل از مدل GLDAS و داده‌های ایستگاهی و R^2 بیش از ۰/۶۷ بین داده‌های بارش حاصل از مدل GLDAS و داده‌های ایستگاهی است.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده استفاده از داده‌های تبخیر- تعرق، دمای هوا و بارش حاصل از مدل GLDAS به‌عنوان جایگزینی مناسب برای داده‌های مشاهداتی در مناطق فاقد آمار قابل استفاده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر- تعرق، سنجش از دور، مدل سطح زمین، بارش

مقدمه

استفاده بی‌رویه از آب و وقوع خشکسالی‌های اخیر باعث بروز مشکلات زیادی در مدیریت منابع آب شده است. بنابراین برای خروج از بحران آب نیاز به مدیریت مناسب کشاورزی و منابع آب است. یکی از پارامترهای مهم در این راستا، تعیین تبخیر- تعرق (ET^1) محصولات کشاورزی می‌باشد. تبخیر- تعرق که شامل تبخیر آب از سطح خاک و تعرق از پوشش گیاهی می‌باشد، نشان‌دهنده یک روند اساسی از چرخه هیدرولوژیکی و یک عنصر کلیدی مدیریت منابع آب، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (۹). تبخیر مستقیم از سطح خاک بیش‌ترین مقدار هدررفت آب را در یک اکوسیستم به خود اختصاص می‌دهد. طبق مطالعاتی که در مناطق اقلیمی مختلف صورت پذیرفته است ۵۰ تا ۷۵ درصد از بارش سالانه بدون هیچ تأثیر مثبتی بر روی زیست‌توده به اتمسفر باز می‌گردد (۲۱). برآورد دقیق تبخیر- تعرق و جلوگیری از تلفات آب در اثر آن باعث بهبود مدیریت بهره‌برداری آب و در نهایت افزایش راندمان مصرف می‌شود (۱۹). بنابراین کاهش تبخیر- تعرق از مهم‌ترین اهداف مدیریت آب در بخش کشاورزی به‌شمار می‌رود. امروزه با کاهش منابع آب و افزایش ارزش اقتصادی آب، کشاورزان در پی بهره‌گیری

بیش‌تر از آب داده شده به گیاه، هستند که این امر تنها با مدیریت تبخیر- تعرق امکان‌پذیر خواهد بود (۱۳). مدل سیستم جهانی اطلاعات سطح زمین ($GLDAS^2$)، به‌طور مشترک توسط دانشمندان سازمان ملی هوانوردی و فضا ($NASA^3$)، مرکز پرواز فضایی گودارد ($GSFC^4$)، سازمان ملی اقیانوسی و جوی ($NOAA^5$) و مرکز ملی پیش‌بینی محیط زیست ($NCEP^6$) در برخی زمینه‌ها توسعه داده شده است. این سیستم با استفاده از چهار مدل سطح زمین ($CLM, Mosaic, Noah$ and VIC) پارامترهای سطح زمین مانند رطوبت خاک و دمای سطح و شارها مانند تبخیر و شار گرمای محسوس را شبیه‌سازی می‌کند (۱۵). دیو و سان (۲۰۱۱) تبخیر- تعرق را در حوضه رودخانه تکسی ($Tekesi$) در کشور چین طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹ با استفاده از تصاویر $MODIS$ و داده‌های مدل $GLDAS$ به‌عنوان داده‌های ورودی برای معادله پریستلی- تیلور به‌دست آوردند. سپس نتایج حاصل از معادله تجربی پریستلی- تیلور را با نسبت باون مقایسه کردند و

- 2- Global Land Data Assimilation System
- 3- The National Aeronautics and Space Administration
- 4- Goddard Space Flight Center
- 5- The National Oceanic and Atmospheric Administration
- 6- The National Center for Environmental Prediction

1- Evapotranspiration

۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱ به دست آوردند و به نتایج قابل قبولی دست یافتند (۱۷). بی و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی داده‌های رطوبت خاک حاصل از مدل GLDAS و داده‌های مشاهداتی نشان دادند که مدل LSMs برآورد دقیق‌تری از رطوبت خاک نسبت به مدل Mosaic در فلات داشته است. همچنین در این فلات مدل GLDAS-2 کارآیی پایین‌تری نسبت به مدل GLDAS-1 نشان داده است (۳). با بروز پدیده خشکسالی و افزایش بی‌رویه مصرف آب و کاهش منابع آب‌های زیرزمینی، استان قزوین با بحران کمبود آب مواجه شده است (۲). بنابراین برآورد تبخیر-تعرق به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم بیلان آب منطقه و همچنین یکی از عوامل مهم در بحث هدررفت آب می‌تواند تا حد زیادی برای این استان اهمیت داشته باشد. از این‌رو این پژوهش با هدف: ۱- برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از مدل GLDAS و اصلاح آن با استفاده از داده‌های بارش، رواناب و تبخیر-تعرق لایسمتر، ۲- برآورد پارامترهای مؤثر در تبخیر-تعرق شامل بارش و دما با استفاده از مدل GLDAS و مقایسه آن‌ها با داده‌های مشاهداتی انجام شد.

مواد و روش‌ها

استان قزوین با مساحتی معادل ۱۵۸۲۱ کیلومتر مربع به ترتیب بین طول و عرض جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه و ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه در گوشه شمال‌غرب و ۵۰ درجه و ۳۵ دقیقه و ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه در گوشه جنوب‌شرقی در حوزه مرکزی ایران واقع شده است. موقعیت این استان در سطح کشور در شکل ۱ نشان داده شده است. میانگین بارش سالانه در سطح استان از ۲۱۰ میلی‌متر در بخش‌های شرقی تا بیش از ۵۵۰ میلی‌متر در ارتفاعات شمال‌شرقی متغیر است. پرباران‌ترین نقاط استان دامنه‌های شمال‌شرقی در منطقه الموت با بارشی بیش از ۵۵۰ میلی‌متر بوده که این شرایط بارشی کم و بیش

ضریب تبیین ۰/۵۹۳ را بین نتایج گزارش کردند (۵). ونگ و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی مدل GLDAS/Noah در حوضه سانگوا (Songhua) واقع در کشور چین طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ پرداختند. براساس مقایسه‌ای که بین داده‌های مدل GLDAS و مشاهدات زمینی انجام شد، ضریب همبستگی ۰/۷۶ برای پارامتر بارش و ۰/۹۹ برای پارامتر دمای هوای نزدیک سطح زمین به دست آمد که نشان‌دهنده اعتبار داده‌های مدل GLDAS برای استفاده در بیلان آب و انرژی می‌باشد (۲۰). داویت (۲۰۱۱) طی مطالعه‌ای که برای بررسی تغییرات اقلیم و خشکی در حوضه رودخانه پلِت (Platte) انجام داد به بررسی رابطه میان تبخیر و بارش حاصل از مدل GLDAS پرداخت. نتایج حاصله رابطه معنی‌دار میان این دو پارامتر را نشان داد (۴). لی و همکاران (۲۰۱۲) رطوبت خاک را توسط مدل GLDAS و سنجنده AMSR-E از ماهواره Aqua به دست آوردند. بررسی‌ها نشان داد که نتایج به‌میزان رطوبت خاک وابسته است. ولی به‌طورکلی هر دو برآورد خوبی از رطوبت خاک دارند (۱۰). فریرا و همکاران (۲۰۱۳) مقدار کل تغییرات ذخیره آب حوضه یانگز در کشور چین را با استفاده از داده‌های ماهواره GRACE, TRMM و مدل GLDAS در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ برآورد کردند. سپس روند تغییرات تبخیر-تعرق حاصل از بیلان آبی با تبخیر-تعرق حاصل از مدل GLDAS مورد بحث و بررسی گرفت که نشان‌دهنده همخوانی روند تغییرات تبخیر-تعرق مدل GLDAS با داده‌های تبخیر-تعرق حاصل از بیلان آب می‌باشد (۸). بارش دومین پارامتر مهم از اجزاء بیلان آب است که سیدی و همکاران (۲۰۱۴) میزان بارش حاصل از شبیه‌سازی رواناب، در زمان وقوع سیل را توسط GLDAS و TRMM در حوضه رودخانه‌ای در ایالات متحده آمریکا طی سال‌های

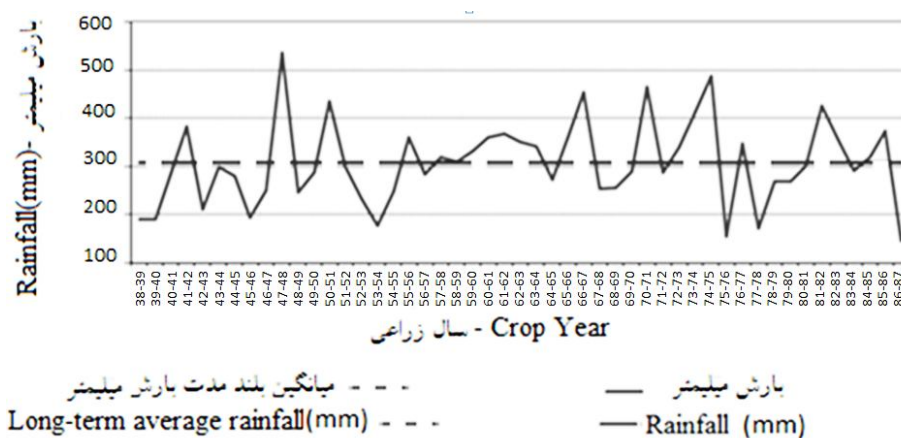
شمالی واقع در مرکز استان قزوین می‌باشد. میانگین بلندمدت بارندگی سال زراعی ایستگاه سینوپتیک قزوین ۳۰۷/۹ میلی‌متر است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود حداکثر بارندگی در سال زراعی ۴۸-۱۳۴۷ به میزان ۵۳۵ میلی‌متر و حداقل بارندگی متعلق به سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ به میزان ۱۴۷/۳ میلی‌متر است (۱). بنابراین با بررسی مقادیر بارندگی سال زراعی از سال ۱۳۳۸ تا ۱۳۸۷ و در صورت پذیرش تعریف خشکسالی با مقادیر بارندگی کم‌تر از میانگین و ترسالی با بارندگی بیش‌تر از میانگین، سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹ به‌عنوان سال خشک، ۸۱-۱۳۸۰ سال نرمال و ۸۲-۱۳۸۱ به‌عنوان سال زراعی تر می‌باشند.

در مناطق مرتفع شمالی شهرستان قزوین مشاهده می‌شود. به‌علاوه در ارتفاعات جنوب‌غربی استان (منطقه آوج) نیز مناطقی وجود دارد که بارش سالانه بیش از ۴۵۰ میلی‌متر را ثبت کرده است. کم‌ترین مقدار متوسط سالانه دما ۲ درجه سانتی‌گراد است که در قتل شمال‌شرقی و بیش‌ترین متوسط سالانه دما ۱۸ درجه سانتی‌گراد بوده که در مناطق کم‌ارتفاع شمال‌غربی پیرامون دریاچه سد سفیدرود به ثبت رسیده است. ایستگاه هواشناسی و تحقیقاتی اسماعیل‌آباد قزوین که لایسیمتر مورد استفاده در این پژوهش در آن قرار دارد، در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه



شکل ۱- موقعیت استان قزوین در سطح کشور.

Figure 1. The location of the Qazvin in the country.



شکل ۲- سری زمانی بارندگی سال زراعی ۳۹-۱۳۳۸ تا ۸۷-۱۳۸۶.

Figure 2. Time series of rainfall on 1338-39 to 1386-87.

دریافت و پردازش داده‌ها: داده‌های تبخیر- تعرق ($\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$)، رواناب (kg m^{-2}) و دمای هوا (درجه کلون) از محصولات GLDAS-NOAH با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه به صورت ماهانه و برای دوره زمانی آوریل سال ۲۰۰۰ میلادی تا مارس سال ۲۰۰۴ و همچنین بارش ($\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$) برای دوره زمانی ژانویه سال ۱۹۹۵ تا دسامبر سال ۲۰۱۵ از سایت سازمان ناسا و با فرمت CSV. دریافت و به منظور تبدیل واحد kg m^{-2} به mm از ضریب $(\frac{1000}{1000})$ و برای تبدیل ثانیه به روز از ضریب ۸۶۴۰۰ استفاده شد. داده‌های دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد از ایستگاه‌های هواشناسی قزوین، آوج و معلم‌کلايه به صورت روزانه برای دوره زمانی فروردین ۱۳۷۹ تا اسفند ۱۳۸۲ دریافت شد. داده‌های دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد از ایستگاه‌های هواشناسی قزوین، آوج و معلم‌کلايه به صورت روزانه برای دوره زمانی فروردین ۱۳۷۹ تا اسفند ۱۳۸۲ دریافت شد.

برای داده‌های تبخیر- تعرق لایسیمتر (میلی‌متر بر روز) نیز از یک لایسیمتر به ابعاد ۱×۲ متر مربع و عمق ۱/۵ متری از سطح زمین نصب شده در ایستگاه تحقیقات اسماعیل‌آباد قزوین استفاده شد. متأسفانه چون داده‌های تبخیر- تعرق لایسیمتر سال‌های اخیر در دسترس نبود بنابراین از داده‌های سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۲ در این پژوهش استفاده شده است. علاوه بر این داده‌های بارش (میلی‌متر) سه ایستگاه سینوپتیک قزوین (سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵)، آوج (سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۵) و معلم‌کلايه (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵) از سازمان هواشناسی دریافت شد که مشخصات ایستگاه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

با توجه به این‌که داده‌های ماهواره‌ای بر اساس سال میلادی و داده‌های ایستگاهی بر اساس سال شمسی می‌باشند بنابراین داده‌های روزانه ایستگاهی به داده‌های ماهانه میلادی تبدیل شدند.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک.

Table 1. Details of synoptic stations.

ارتفاع (متر) (Height (meter))	عرض جغرافیایی (Latitude)	طول جغرافیایی (Longitude)	ایستگاه سینوپتیک (Synoptic Station)
1279.2	36.15	50.03	قزوین (Qazvin)
1629.2	36.27	50.29	معلم کلايه (Moalem Kelaieh)
2034.9	35.34	49.13	آوج (Avaj)

در محاسبه تبخیر- تعرق حاصل از GLDAS مقدار آبیاری انجام شده در منطقه لحاظ نشده است بنابراین برای رفع این مشکل با استفاده از رابطه خطی میان بارش، رواناب، آبیاری و تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر (۲۲)، مقدار تبخیر- تعرق حاصل از آبیاری انجام شده در منطقه محاسبه

تبخیر- تعرق حاصل از GLDAS: با توجه به معادله بیلان ذخیره آب (رابطه ۱)، بارش به عنوان پارامتر ورودی و تبخیر- تعرق و رواناب به عنوان پارامترهای خروجی ذخیره آب در منطقه می‌باشند. بنابراین با توجه به اقلیم نیمه‌خشک منطقه، گرایش کلی به تخلیه آب ذخیره‌شده در منطقه وجود دارد اما آبیاری می‌تواند به عنوان عامل توزیع مجدد آب عمل کند (۱۲).

آماري که برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از آن استفاده می‌شود، ضریب همبستگی است که توسط رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})(o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 (o_i - \bar{o})^2}}, -1 \leq r \leq 1 \quad (2)$$

که در آن، r ضریب همبستگی، p_i مقدار پیش‌بینی شده برای سال i ام، \bar{p} متوسط مقادیر پیش‌بینی در دوره n ساله، O_i مقدار مشاهده شده برای سال i ام و \bar{O} متوسط مقادیر مشاهده در دوره n ساله می‌باشد. از آن‌جا که مقادیر ضریب همبستگی همواره در بازه (۱ و -۱) قرار می‌گیرند، قضاوت از روی این ضریب ساده است و به خوبی میزان هماهنگی روند تغییرات مقادیر مشاهده شده نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. شاخص‌های کمی دیگری که به منظور ارزیابی نتایج مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از: ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای اریبی (MBE) و میانگین مطلق خطا (MAE) که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (C_i - M_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$MBE = \frac{\sum (C_i - M_i)}{n} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{\sum |C_i - M_i|}{n} \quad (5)$$

که در آن‌ها، C_i مقدار محاسبه شده، M_i مقدار مشاهده شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد. در شرایطی که MAE و MBE برابر صفر و یا نزدیک به صفر باشند، نشان‌دهنده این است که روش مورد استفاده دقت

می‌شود و سپس به مقدار اصلی تبخیر- تعرق حاصل از GLDAS افزوده می‌شود.

تبخیر- تعرق به دست آمده همان تبخیر- تعرق اصلاح شده است. در نتیجه محصول نهایی حاصل از GLDAS برای مطالعات هیدرواقليمی بسیار قابل اعتماد خواهد بود (۱۱).

$$\Delta S = \Delta(P - ET - R) \quad (1)$$

که در آن، S کل ذخیره آب در خاک (به طور کلی ذخیره آب سطحی، رطوبت خاک و آب زیرزمینی)، P بارش، ET تبخیر- تعرق و R رواناب می‌باشد. تمامی پارامترها بر حسب میلی‌متر می‌باشند.

در این پژوهش به منظور بهبود روند تغییرات داده‌های بارش حاصل از مدل GLDAS و کاهش خطای داده‌های آن از داده‌های ۲۱ سال (۱۹۹۵ تا ۲۰۱۰) بارش ایستگاه سینوپتیک قزوین، ۱۹ سال (۱۹۹۷ تا ۲۰۱۰) ایستگاه آوج و ۱۰ سال (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰) ایستگاه معلم کلايه استفاده شد. در گام اول به منظور کالیبراسیون داده‌ها رابطه خطی همبستگی بین داده‌های بارش حاصل از مدل GLDAS و داده‌های مشاهداتی طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ ایستگاه قزوین، سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۵ ایستگاه آوج و سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۶ ایستگاه معلم کلايه استخراج گردید (شکل‌های ۵ تا ۷). در گام بعدی به منظور صحت‌سنجی رابطه مذکور، از داده‌های سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ ایستگاه قزوین و آوج و سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ ایستگاه معلم کلايه کمک گرفته شد (جدول ۳). داده‌های سال ۲۰۱۰ به بعد مدل GLDAS در نسخه ۲/۱ این مدل ارائه شده است. بررسی این داده‌ها نشان داد که از دقت کافی برخوردار نمی‌باشند (۳)، بنابراین از داده‌های سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۵ صرف‌نظر شد.

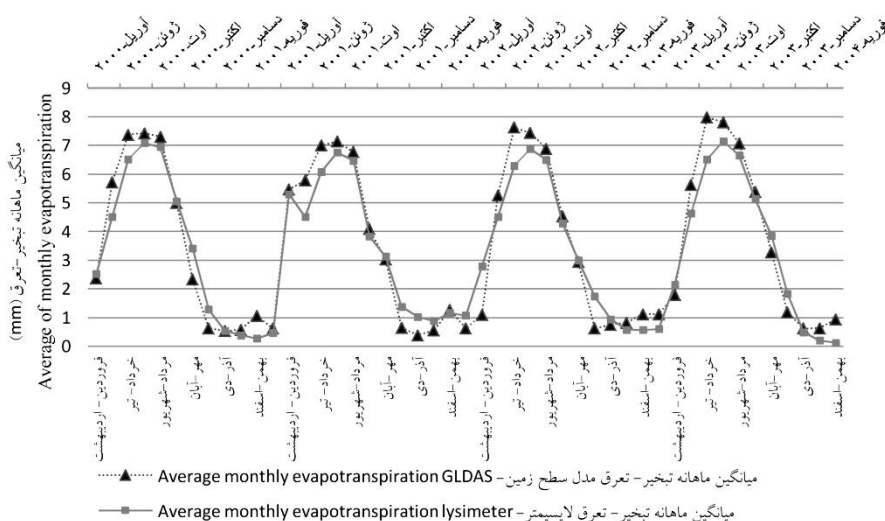
شاخص‌های سنجش خطا: یکی از شاخص‌های

بالایی دارد و با فاصله یافتن از صفر، دقت روش موردنظر کاهش می‌یابد (۱۸).

نتایج و بحث

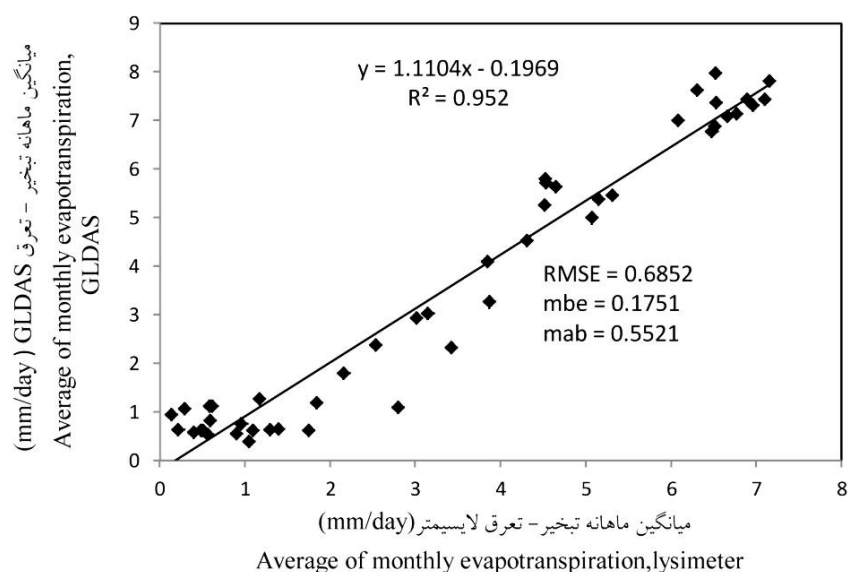
شکل ۳ نشان‌دهنده روند تغییرات میانگین ماهانه تبخیر- تعرق حاصل از لایسیمتر و GLDAS بر حسب میلی‌متر بر روز طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۲ می‌باشد و شکل ۴ دیاگرام پراکنش بین مقادیر تبخیر- تعرق حاصل از لایسیمتر و GLDAS را همراه با ضریب تبیین (۰/۹۵) و سایر شاخص‌های سنجش خطا نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با توجه به مقادیر شاخص‌های سنجش خطا $RMSE=0/69$ ، $MAE=0/55$ و $MBE=0/18$ مناسبی در برآورد مقادیر تبخیر- تعرق لایسیمتری داشته است. نتایج پژوهش‌های مویو و همکاران (۲۰۱۲) نیز بیانگر آن بوده است که تبخیر- تعرق اصلاح‌شده حاصل از GLDAS با داده‌های تبخیر- تعرق لایسیمتر، در بهترین حالت ضریب تبیین ۰/۹۲ و $RMSE=0/4$ را نشان می‌دهد (۶). بنابراین نتایج آنالیز آماری به‌دست آمده (شکل ۴) برای تبخیر- تعرق حاصل از مدل GLDAS و ایستگاه هواشناسی

در استان قزوین با توجه به خطاهای ناشی از تبدیل تبخیر- تعرق هفتگی لایسیمتر به ماه میلادی، می‌تواند نتیجه قابل‌قبولی در بر داشته باشد. مثبت بودن MBE بیش‌برآورد را در تخمین‌های GLDAS یادآور می‌شود که در شکل ۳ نیز تا حدودی مشهود است. از آنجایی‌که بیش‌برآوردها در ماه‌های اوج نیاز آبی گیاهان صورت می‌گیرد بنابراین باید این نکته را مدنظر قرار داد که ابعاد سازه‌های انتقال و توزیع آب، بیش از حد مورد نیاز بزرگ خواهند شد که اتلاف در منابع مالی و بودجه را تحمیل خواهد کرد. مقادیر شاخص‌های سنجش خطا به تفکیک سال زراعی در جدول ۲ نشان داده شده‌اند و دیده می‌شود که مقادیر قابل‌قبولی برای همه شاخص‌های به‌دست آمده است. میزان R^2 از سال زراعی ۸۰-۷۹ (سال خشک) به سمت سال زراعی ۸۲-۸۰ (سال تر) روند افزایشی را نشان می‌دهد. در سال زراعی ۸۱-۸۰ (سال نرمال) مقدار MBE نزدیک به صفر می‌باشد این در حالی است که در سال خشک و تر مقدار MBE نشان دهنده بیش‌برآورد در تخمین‌های مدل GLDAS می‌باشد.



شکل ۳- روند تغییرات تبخیر- تعرق لایسیمتر و GLDAS برای دوره ۴ ساله.

Figure 3. Trend of lysimeter and GLDAS evapotranspiration on 4 years period.



شکل ۴- دیاگرام پراکنش بین مقادیر تبخیر- تعرق حاصل از لایسیمتر و GLDAS و مقادیر شاخص‌های سنجش خطا برای دوره ۴ ساله.

Figure 4. Scattering diagram between of lysimeter and GLDAS evapotranspiration and error indices on 4 years period.

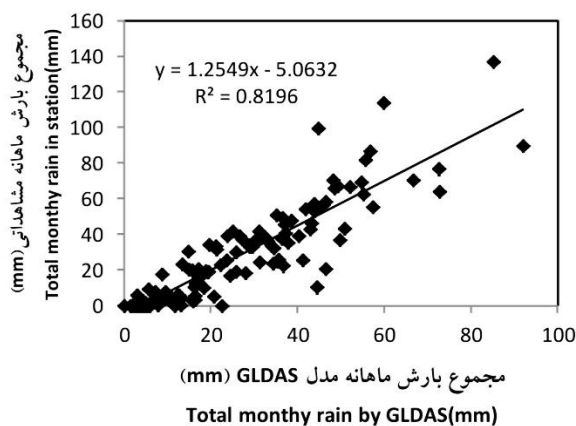
جدول ۲- مقادیر شاخص‌های سنجش خطا در تخمین تبخیر- تعرق توسط GLDAS برای سال زراعی ۸۰-۷۹ تا ۸۲-۸۱

Table 2. Crop evapotranspiration estimation error indices by GLDAS on 80-79 to 82-81.

MAE	MBE	RMSE	R ²	
0.517	0.225	0.653	0.9517	سال زراعی ۷۹-۸۰ year 79-80
0.610	-0.047	0.763	0.9593	سال زراعی ۸۰-۸۱ year 80-81
0.571	0.283	0.701	0.9621	سال زراعی ۸۱-۸۲ year 81-82

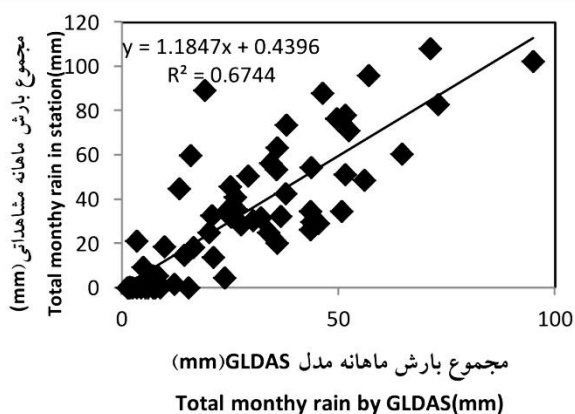
تیین ۰/۸۲، ۰/۶۷ و ۰/۷۰ برقرار است. نتایج صحت‌سنجی کالیبراسیون داده‌های مدل GLDAS بیانگر کاهش ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای اریبی (MBE) و میانگین مطلق خطا (MAE) در داده‌های کالیبره‌شده مدل GLDAS نسبت به داده‌های خام می‌باشد.

دیاگرام پراکنش بین مقادیر بارش حاصل از مدل GLDAS و داده‌های مشاهداتی همراه با ضریب تییین و سایر شاخص‌های سنجش خطا به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل‌های ۵ تا ۷ و نتیجه صحت‌سنجی رابطه‌های به‌دست آمده در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ایستگاه قزوین، معلم‌کلایه و آوج به‌ترتیب ضریب



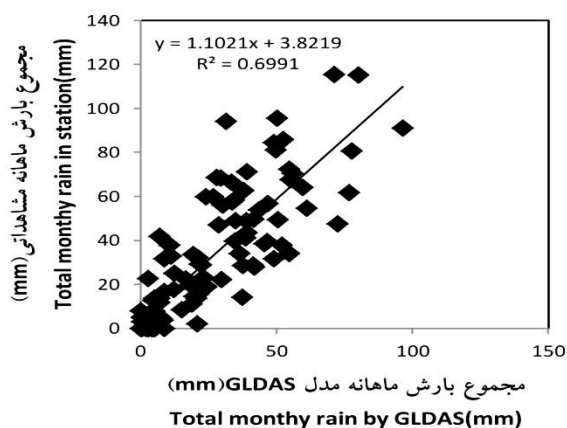
شکل ۵- نمودار همبستگی بین مجموع بارش ماهانه مدل GLDAS و ایستگاه قزوین (۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵).

Figure 5. The correlation between total monthly rainfall from GLDAS model and Qazvin station (1995 to 2005).



شکل ۶- نمودار همبستگی بین مجموع بارش ماهانه مدل GLDAS و ایستگاه معلم کلايه (۲۰۰۱ تا ۲۰۰۶).

Figure 6. The correlation between total monthly rainfall from GLDAS model and Moalem Kelaie station (2001 to 2006).



شکل ۷- نمودار همبستگی بین مجموع بارش ماهانه مدل GLDAS و ایستگاه آوج (۱۹۹۷ تا ۲۰۰۵).

Figure 7. The correlation between total monthly rainfall from GLDAS model and Avaj station (1997 to 2005).

جدول ۳- آنالیز آماری صحت‌سنجی داده‌های بارش به تفکیک ایستگاه بر حسب میلی‌متر در ماه.

Table 3. Rainfall data statistical analysis in each station (mm/month).

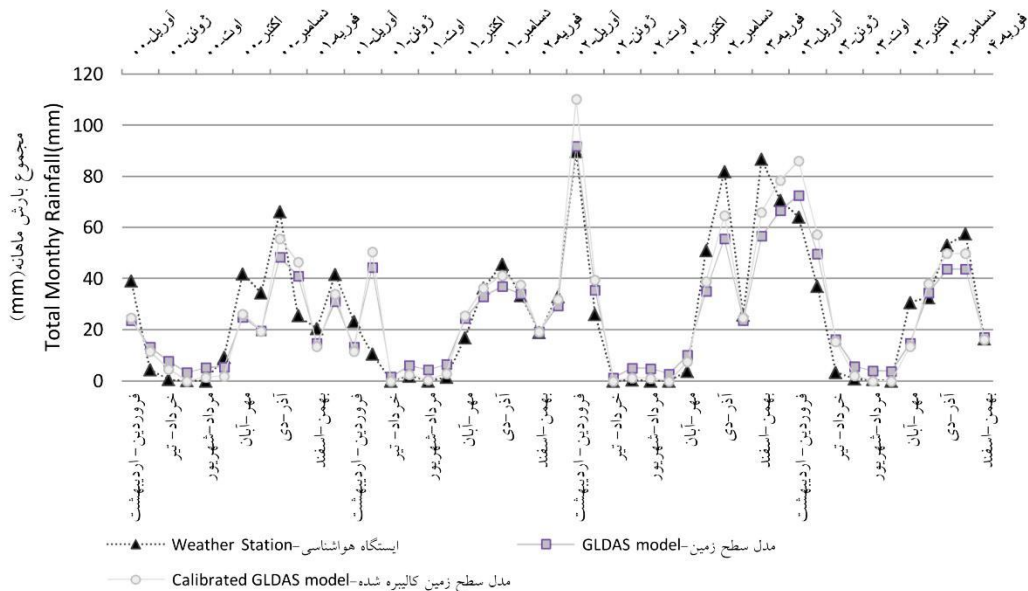
MAE		MBE		RMSE		ایستگاه Station
GLDAS	C-GLDAS	GLDAS	C-GLDAS	GLDAS	C-GLDAS*	
9.9	8.9	-2.9	-2.2	14.8	13.83	قزوین Qazvin
14.5	11.9	-10.5	-6.5	21.1	16.42	معلم‌کلايه Moalem kelaie
16.11	14.5	-12.9	-6.6	23.56	20.46	آوج Avaj

* مدل سطح زمین (GLDAS) کالیبره شده.

* Calibrated GLDAS model

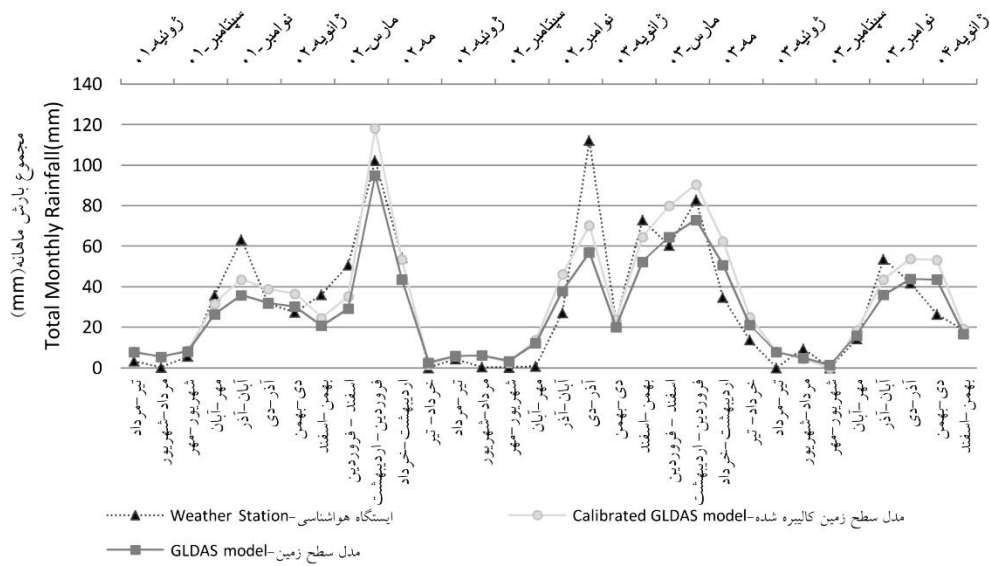
همان‌طور که مشاهده می‌شوند بهبود روند تغییرات در داده‌های کالیبره شده نسبت به داده‌های خام مدل GLDAS تا حدودی مشهود است.

روند تغییرات داده‌های مجموع بارش ماهانه حاصل از مدل GLDAS، مدل کالیبره شده و داده‌های مشاهداتی به تفکیک ایستگاه سینوپتیک در شکل‌های ۸ تا ۱۰ نشان داده شده است.



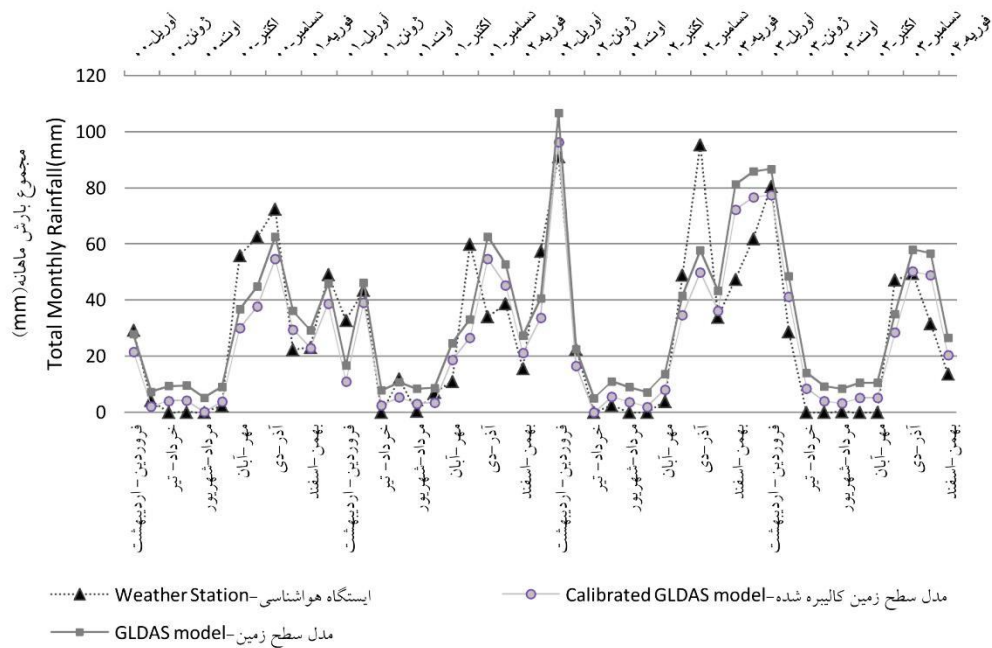
شکل ۸- روند تغییرات مجموع بارش ماهانه ایستگاه قزوین - آوریل ۲۰۰۰ تا فوریه ۲۰۰۴ (mm).

Figure 8. Total monthly rainfall trends in Qazvin station between April 2000 to February 2004 (mm).



شکل ۹- روند تغییرات مجموع بارش ماهانه ایستگاه معلم کلايه - جولای ۲۰۰۱ تا فوریه ۲۰۰۴ (mm).

Figure 9. Total monthly rainfall trends in Moalem kelaie station between July 2001 to February 2004 (mm).



شکل ۱۰- روند تغییرات مجموع بارش ماهانه ایستگاه آوج - آوریل ۲۰۰۰ تا فوریه ۲۰۰۴ (mm).

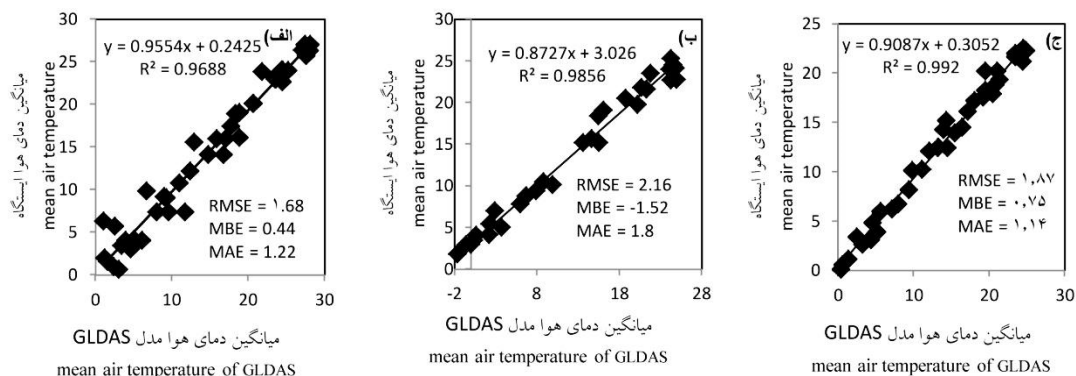
Figure 10. Total monthly rainfall trends from Avaj station on April 2000 to February 2004 (mm).

ضریب تبیین بیش از ۰/۹ برقرار است. نتایج سنجش خطای انجام شده بیانگر آن است که حداکثر $MAE=1/8$ و $RMSE=2/16$ درجه سانتی‌گراد در ماه است که نشان‌دهنده دقت بالای داده‌های دمای هوای حاصل از مدل GLDAS می‌باشد. مقدار مثبت

داده‌های دمای هوای نزدیک سطح زمین نیز به‌عنوان یک پارامتر تأثیرگذار بر تبخیر-تعرق در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود بین داده‌های دمای هوای حاصل از مدل GLDAS و داده‌های ایستگاهی

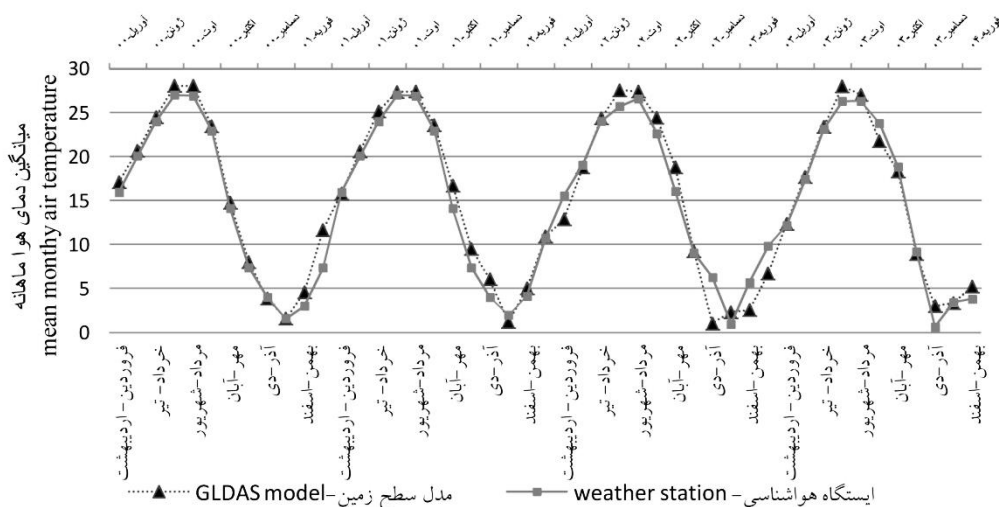
حاصل از مدل GLDAS با روند تغییرات داده‌های ایستگاهی را به خوبی نشان می‌دهد. بنا به پژوهش‌های فنگ و همکاران (۲۰۰۹)، رویل و همکاران (۲۰۱۲)، ونگ و همکاران (۲۰۱۱) و فرجی و همکاران (۲۰۱۴)، اگرچه در مقادیر به‌دست آمده از پارامترهای تبخیر-تعرق، بارش، رواناب و دمای حاصل از مدل GLDAS با داده‌های زمینی اختلاف‌هایی وجود دارد ولی روند تغییرات به خوبی شبیه‌سازی شده‌اند. بنابراین در مناطق فاقد آمار جایگزین مناسبی برای داده‌های زمینی می‌باشند (۶، ۷، ۱۶ و ۲۰).

در ایستگاه‌های قزوین و آوج و مقدار منفی آن در ایستگاه معلم‌کلايه به‌ترتیب نشان‌دهنده بیش برآورد و کم‌برآورد مدل GLDAS در تخمین داده‌های دمای هوا است. نتایج پژوهش‌های مویو و همکاران (۲۰۱۱) و ونگ و همکاران (۲۰۱۱) نشان می‌دهد که بین داده‌های دمای هوای GLDAS و ایستگاه هواشناسی ۰/۹۹ تا $R^2=0/۷۶$ و $RMSE=۳/۴۳$ °C می‌باشد (۱۴ و ۲۰). بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج حاصل از پژوهش‌های سایر پژوهشگران همخوانی دارد. همچنین شکل ۱۲ همخوانی روند تغییرات دمای



شکل ۱۱- دیاگرام پراکنش میانگین دمای هوای ماهانه (°C) ایستگاه هواشناسی و GLDAS همراه با مقادیر شاخص‌های سنجش خطا: (الف)، ایستگاه قزوین (ب)، ایستگاه معلم‌کلايه (ج)، ایستگاه آوج.

Figure 11. The average monthly air temperature distribution diagram (°C) weather station and GLDAS with indices of measurement error (A), Qazvin station (B), Moalem Kelaie station (C), Avaj station.



شکل ۱۲- روند تغییرات میانگین ماهانه دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد- ایستگاه قزوین- آوریل ۲۰۰۰ تا فوریه ۲۰۰۴.

Figure 12. The trends of total monthly air temperature (°C) - Qazvin station- April 2000 to February 2004.

بحث و نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده اصلاح داده‌های تبخیر- تعرق GLDAS در بهبود همبستگی این داده‌ها با داده‌های تبخیر- تعرق لایسومتر بسیار مؤثر واقع شده است. نتایج بررسی داده‌های بارش حاصل از مدل GLDAS و داده‌های مشاهداتی نشان داد که همبستگی بین آن‌ها در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین نتایج بیانگر آن است که کالیبراسیون داده‌های بارش حاصل از مدل GLDAS در کاهش خطای آن‌ها مؤثر واقع شده است.

همان‌طور که مشاهده شد بین داده‌های دمای هوای GLDAS و ایستگاه هواشناسی همبستگی بالایی وجود دارد. بنابراین با توجه به سهولت دسترسی به داده‌های مدل GLDAS و گستردگی بازه زمانی داده‌های قابل دسترس این مدل (۱۹۴۸ تا ۲۰۱۰) استفاده از داده‌های تبخیر- تعرق اصلاح شده و داده‌های بارش کالیبره شده و همچنین داده‌های دمای هوای حاصل از مدل GLDAS در مناطق فاقد آمار و یا غیرقابل دسترس پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. Absy, A., and Saeidi, M. 2011. Development of water quality index in Qazvin province, Environmental sciences. 8: 3. 117-128. (In Persian)
2. Aghabeigi, V. 2014. Manage the urban water crisis caries water wells in the province of Qazvin. The second national conference on crisis management and HSE vital arteries, industry and urban management. (In Persian)
3. Bi, H., Ma, J., Zheng, W., and Zeng, J. 2016. Comparison of soil moisture in GLDAS model simulations and in situ observations over the Tibetan Plateau. J. Geophysic. Atm. 121: 6. 2658-2678.
4. Davitt, A. 2011. Climate variability and drought in the South Platte River basin. Thesis submitted in fulfillment of the requirement for the degree master of art (earth and atmospheric science). The city college of the city university of New York.
5. Du, J.P., and Sun, R. 2012. Estimation of evapotranspiration for ungagged areas using MODIS measurements and GLDAS data. Procedia Environmental Sciences. 13: 1718-1727.
6. Fangl, H., Beaudoin, H., Rodell, M., Tengl, W., and Vollmer, B. 2009. Global land data assimilation (GLDAS) products, services and application from nasa hydrology data and information services center (HDISC). ASPRS 2009 Annual Conference Baltimore, Maryland March 8-13.
7. Faraji, Z., Vazifedust, M., Kaviani, A., Shakiba, A., and Fakharzadeh, M. 2014. Evaluation rainfall, temperature and humidity of the Global Land Data Assimilation System (GLDAS) Product in Khorasan Razavi. The second national conference on agricultural water management. (In Persian)
8. Ferreira, V., Gong, Z., He, X., and Zhang, Y. 2013. Estimating Total Discharge in the Yangtze River Basin Using Satellite-Based Observations. Remote Sensing. 5: 7. 3415-3430.
9. Gao, Y., Long, D., and Li, Z. 2008. Estimation of daily Evapotranspiration from remotely sensed data under complex terrain over the upper Chao river basin in north China. Inter. J. Rem. Sens. 29: 11. 3295-3315.
10. Liu, Y., He, Q., Zhang, H., and Mamtimin, A. 2012. Improving the CoLM in Taklimakan Desert hinterland with accurate key parameters and an appropriate parameterization scheme, Adv. Atmos. Sci. 29: 2. 381-390.
11. Longuevergne, L., Scanlon, B.R., and Wilson, C.R. 2010. GRACE hydrological estimates for small basins: evaluating processing approaches on the High Plains Aquifer, USA. Water Resources Research. 46: 11. doi:10.1029/2009WR008564.

12. Moiwo, J.P., Yang, Y., Tao, F., Wenxi, L., and Shumin, H. 2011. Water storage change in the Himalayas from the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) and an empirical climate model. *Water Resources Research.*, vol, 47, W07521, doi:10.1029/2010WR010157.
13. Mobasheri, M., and Khavarian, H. 2004. Analysis methods of using satellites to determine the evapotranspiration. *J. Geograph. Sci.* 3: 3-4. 83-98. (In Persian)
14. Moiwo, J.P., Yang, Y., Li, H., Han, S., and Hu, Y. 2012. Comparison of GRACE with in situ hydrological measurement data shows storage depletion in Hai River basin, Northern China. *Water SA.* 35: 663-670.
15. Rodell, M., Houser, P.R., Jambor, U., Gottschalk, J., Mitchell, K., Meng, C.J., Arsenault, K., Cosgrove, B., Radakovich, J., Bosilovich, M., Entin, J.K., Walker, J.P., Lohmann, D., and Toll, D. 2004. The Global Land Data Assimilation System. *Bulletin of the American Meteorological Society.* 85: 3. 381-394.
16. Rui, H., Teng, W., Vollmer, B., Mocko, D.M., Beaudoin, H.K., Whiteaker, T., Valentine, D., Maidment, D., and Hooper, R. 2012. New and Improved GLDAS data sets and data services at NASA GES DISC. Hydrology Data Holdings Portal Land Data Assimilation System. 4th WCRP May 7-11.
17. Seyyedi, H., Anagnostou, E.N., Beighley, E., and McCollum, J. 2014. Satellite-driven downscaling of global reanalysis precipitation products for hydrological applications. *Hydrology and Earth System Sciences.* 18: 5077-5091.
18. Sokuti Oskooi, R., Mahdian, M., and Mahmoudi, Sh. 2007. Compared the performance of some geostatistical methods to predict the spatial distribution of soil salinity, Urmia plain case study. *J. Res. Cons.* No. 74. (In Persian)
19. Szilagyi, J., and Jozsa, J. 2008. New findings about the complementary relationship-based evaporation estimation methods. *J. Hydrol.* 354: 1-4. 171-186.
20. 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. *J. Geophysic. Res.* 116: D21. doi: 10.1029/2011JD015990.
21. Xu, C.Y., and Singh, V.P. 2005. Evaluation of three complementary relationship evapotranspiration models by water balance approach to estimate actual regional evapotranspiration in different climatic regions. *J. Hydrol.* 308: 105-121.
22. Yang, Y., Moiwo, J.P., and Hu, Y. 2010. Estimation of irrigation requirement for sustainable water resources reallocation in North China. *Agricultural Water Management.* 97: 1711-1721.



Evaluation of evapotranspiration, precipitation and air temperature from global land data assimilation system (GLDAS) by lysimeter data in Qazvin province

*Z. Faraji¹, A. Kaviani² and A.R. Shakiba³

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, University of Guilan,

²Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Imam Khomeini International University,

³Associate Prof., Dept. of RS and GIS Science, University of Shahid Beheshti

Received: 09/14/2016; Accepted: 09/21/2017

Abstract

Background and Objectives: Water storage depletion is an increasing hydrological threat to agricultural production and socio-economic stability across the globe. It is fast approaching threshold levels especially in arid/semiarid regions like IRAN with low precipitation and excessive evapotranspiration (ET). The more accurate for the estimating evapotranspiration as one of the most important parameters that cause water loss can be a step towards enhancing human ability to control and manage the water crisis. Unfortunately, with outbreak phenomenon of drought and excessive increase in water consumption and reducing groundwater resources, Qazvin province is facing a water shortage crisis. This paper introduces a new method to increase the accuracy of Evapotranspiration and calibration of rainfall data of Global Land Data Assimilation System (GLDAS) model and also introducing GLDAS Evapotranspiration, rainfall and temperature as a suitable replacement for the records data, especially in regions where have no data and Inaccessible places.

Materials and Methods: In this study which was proceed in Qazvin, evapotranspiration and temperature for the years 1379 to 1382 and rainfall for the years 1995 to 2010 has been studied. According to 50-years of rainfall data, years 80-79, 81-80 and 82-81, respectively, were selected as dry, normal and wet crop year. Quantitative indices that have been used to evaluate the results are such as correlation coefficient (R), root mean square error (RMSE), mean bias error (MBE) and Mean Absolute Error (MAE).

Results: The results of the GLDAS evapotranspiration data and lysimeter $R^2=0.95$, $RMSE=0.68$ (mm/month) shows that there is a high correlation between the two data series. In addition to the Evapotranspiration, temperature and precipitation as well as two parameters affecting evapotranspiration were evaluated. The statistical results indicate that R^2 is more than 0.9 between air temperature of GLDAS and station and $R^2=0.67$ between precipitation of GLDAS and station data.

Conclusion: According to results, using data from evapotranspiration, temperature and precipitation derived from GLDAS model as an alternative to the observational data in areas where have no data is suggested.

Keywords: Evapotranspiration, Remote sensing, GLDAS, Precipitation

* Corresponding Author; Email: zfaraji9101@gmail.com

