



Evaluating the Efficiency of Global Databases in Estimating Water Balance Components in Data Shortage Conditions

Sobhan Rostami¹ | Majid Delavar² | Vahid Shokri Kuchak³

1. Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: sobhan_rostami@modares.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: m.delavar@modares.ac.ir
3. Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: s.vahid@modares.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: September 15, 2022

Received in revised form:

October 17, 2022

Accepted: October 30, 2022

Published online: April 14, 2023

Keywords:

Evapotranspiration,
Global Database,
Groundwater,
Precipitation,
Water Balance.

ABSTRACT

Global database and satellite products with high spatial and time-lapse power, can be seen as a suitable alternative source for conducting studies of water balance components in statistically deficient areas and areas with no uniform distribution of stations. Use of this data provided that it has sufficient accuracy, for Iran, which many of its parts, especially desert and mountainous areas, due to the low density of stations, the short statistical period of new stations always faces problems of accessing local and time information in the region. They will be, of great importance it is. The main goal of the research is to assess the global database and satellite products to estimate real rainfall, Evapotranspiration, and changes in water storage in the Tashk-Bakhtegan basin. Used GLDAS, PERSIANN - CDR, CHIRPS, NCEP database to assess the rainfall according to our objectives. For real Evapotranspiration, the real amounts of evaporation and absorption were first extracted based on the Balance Torrent White equation, and the results were evaluated by the GLDAS database, GLEAM. The GRACE satellite was used to estimate the changes in the region's water reserves and to assess it the GLDAS satellite was used to extract annual changes in groundwater. Results obtained showed that the PERSIANN - CDR database performed best and consistent with its observational data across all statistical indicators before and after the Bias correction. GLEAM also had the best statistical performance in estimating Evapotranspiration before and after correction with Balance Torrent White Equation data. Comparison of the observation levels of underground water with data extracted from GRACE and GLDAS satellites indicates the existence of a similar trend, and, based on the power of GRACE's low locality segregation and the low area studied, the results for groundwater changes and Ground water is acceptable. The results of the present study show data from the PERSIANN- CDR satellite for rain, GLEAM model for real evaporation and absorption and GRACE satellite for estimating ground water changes as a convenient tool for making early, quick and low - cost estimates on Water Balance Components It will be used.

Cite this article: Rostami, S., Delavar, M., & Shokri Kuchak, V. (2023). Evaluating the Efficiency of Global Databases in Estimating Water Balance Components in Data Shortage Conditions. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (1), 17-42. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.348497.1020>





ارزیابی کارایی پایگاه‌های داده جهانی در برآورد مؤلفه‌های بیلان آبی در شرایط کمبود داده

سبحان رستمی^۱ | مجید دلاور^۲ | وحید شکری کوچک^۳

۱. گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: sobhan_rostami@modares.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: m.delavar@modares.ac.ir

۳. گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: s.vahid@modares.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۲۵

پایگاه داده‌های جهانی و محصولات ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، به‌عنوان یک منبع جایگزین مناسب برای انجام مطالعات برآورد مؤلفه‌های بیلان آب در مناطق فاقد آمار و مناطق با عدم توزیع یکنواخت ایستگاه‌ها می‌توانند موردتوجه واقع شوند. استفاده از این داده‌ها با شرط داشتن دقت کافی، برای کشور ایران که بسیاری از قسمت‌های آن به‌ویژه مناطق بیابانی و کوهستانی به‌دلیل تراکم پایین ایستگاه‌ها، طول دوره آماری کوتاه ایستگاه‌های جدید همواره با مشکلات دسترسی به اطلاعات مکانی و زمانی اقلیم مواجه می‌باشند، از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف اصلی این پژوهش ارزیابی پایگاه داده‌های جهانی و محصولات ماهواره‌ای در برآورد بارش، تبخیر و تعرق واقعی، تغییرات ذخیره آب و آب‌های زیرزمینی در حوضه طشک‌بختگان است. برای ارزیابی بارش از پایگاه داده‌های GLDAS، PERSIANN-CDR، CHIRPS و NCEP با توجه به اهداف ما، استفاده شد. برای تبخیر و تعرق واقعی ابتدا براساس معادله بیلان تورنت وایت مقادیر تبخیر و تعرق واقعی استخراج شد و نتایج آن با پایگاه داده‌های GLDAS و GLEAM ارزیابی شد. برای برآورد تغییرات ذخیره آب و آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از ماهواره GRACE و برای ارزیابی آن از ماهواره GLDAS برای استخراج تغییرات سالانه آب زیرزمینی استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد پایگاه داده PERSIANN-CDR در تمام شاخص‌های آماری قبل و بعد از اصلاح اریبی بهترین عملکرد و همخوانی با داده‌های مشاهدتی بارش را داشته است. پایگاه داده GLEAM نیز در برآورد تبخیر و تعرق قبل و بعد از اصلاح اریبی بهترین وضعیت از لحاظ شاخص‌های آماری را با داده‌های معادله بیلان تورنت وایت داشته است. مقایسه مقادیر مشاهداتی آبخوان‌ها آب زیرزمینی با داده‌هایی که از ماهواره GRACE و GLEAM استخراج شد، نشان‌دهنده وجود روند یکسان می‌باشد و باتوجه به قدرت تفکیک مکانی پایین ماهواره GRACE و مساحت کم منطقه مورد مطالعه نتایج به‌دست‌آمده برای تغییرات آب زمینی و آب زیرزمینی قابل قبول است. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد اطلاعات حاصل از ماهواره PERSIANN-CDR برای بارش، مدل GLEAM برای تبخیر و تعرق واقعی و ماهواره GRACE برای برآورد تغییرات آب زمینی، به‌عنوان ابزار مناسبی برای انجام برآوردهای اولیه، سریع و کم‌هزینه در خصوص پارامترهای بیلان آب مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها:

آب زیرزمینی، بارش، بیلان آب، پایگاه داده جهانی، تبخیر و تعرق.

استناد: رستمی، س.، دلاور، م. و شکری کوچک، و (۱۴۰۲). ارزیابی کارایی پایگاه‌های داده جهانی در برآورد مؤلفه‌های بیلان آبی در شرایط کمبود داده.

نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۳ (۱)، ۱۷-۴۲. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.348497.1020>



۱. مقدمه

یکی از مهم‌ترین چالش‌های کنونی بشر بحث تأمین آب است که این موضوع با توجه به تنش‌های مختلف با کمبود مواجه است. بنابراین موضوع کمبود آب، نیاز به مدیریت مؤثر منابع آب را افزایش می‌دهد (FAO, 2012). درحالی‌که تأکید در قرن بیستم بر توسعه منابع آبی بوده اما لازم است تغییر جهت در بهبود شیوه‌های مدیریت آب برای پاسخگویی به خواسته‌های جهان در حال تغییر در قرن ۲۱ ایجاد شود. هم‌چنین دستیابی به اطلاعات دقیق و به‌روز در زمینه‌های مدیریت منابع طبیعی، به‌ویژه برای منابع آب محدودیت جدی است.

در کشور ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، استفاده بهینه از منابع آب یک امر ضروری به‌شمار می‌رود. افزایش روزافزون جمعیت از یک‌سو و کاهش منابع آب زیرزمینی از سوی دیگر، بر لزوم ارزیابی کمی و انجام بیلان حوضه‌های آبریز تأکید می‌نماید. ارزیابی منابع آب یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین مراحل مدیریت منابع آب و لازمه مدیریت پایدار آن است. هدف اصلی ارزیابی منابع آب، برآورد و پیش‌بینی کمی و کیفی منابع آب برای تأمین نیازهای کلی بخش‌های جامعه و ارائه اطلاعات لازم جهت فعالیت‌های کاهش بلایای مربوط به آب و حفظ و بهبود شرایط زیست‌محیطی می‌باشد. این مهم در وهله اول نیازمند سیستم پایش مطلوب و دیدگاه‌های یکسان نسبت به برآورد منابع آب است.

به‌طور عمده بررسی مسایل آبی به‌منظور ارائه خدمات مدیریتی بهتر جهت بهره‌برداری صحیح کمی و کیفی از منابع آب نیازمند آگاهی و برآورد پتانسیل آبی منطقه و مصارف براساس اصل بقای ماده در چرخه آب صورت می‌گیرد. تدوین بیلان آبی یکی از عمومی‌ترین مطالعات در پروژه‌های توسعه منابع آب، به‌ویژه در نواحی خشک می‌باشد. روش‌های به‌کار گرفته‌شده در محاسبه مؤلفه‌های آب در دسترس می‌تواند نقش مهمی در نتایج داشته باشد (Wegchenkel *et al.*, 2003). بررسی پارامترهای بیلان عمومی منابع آب نشان می‌دهد که جهت تعیین مجهولات معادله بیلان، مشکلات فراوانی وجود دارد از جمله این که تخمین‌های مجهولات براساس نظرات شخصی و به دور از واقعیت صورت می‌گیرد که این امر منجر به محاسبه نادرست بیلان منابع آب می‌شود.

با توجه به گستردگی دامنه موضوع و نوع روش تجزیه و تحلیل، پارامترهای اجزای معادله عمومی بیلان آب ممکن است در یک دامنه وسیع قرار گیرند. عواملی هم‌چون دقت، روش انجام مطالعه، تعداد پارامترها و پیچیدگی ارتباطات داخلی بین پارامترها بر روی این دامنه مؤثر خواهد بود. بنابراین در هر مورد باید ملاحظات خاصی مدنظر قرار گیرد تا علاوه بر دسترسی آسان‌تر به پاسخ، جواب‌های به‌دست‌آمده نیز قابل استفاده باشند. به‌عنوان مثال، در یک منطقه وسیع به‌طور مؤثری می‌توان از عکس‌های ماهواره‌ای استفاده کرد و یا در یک محدوده کوچک مطالعاتی از روش‌های عددی به دقت مناسب بهره برد (Perry *et al.*, 1996).

از طرفی در دسترس نبودن داده‌های مشاهداتی کافی در اکثر مناطق جهان مسئله مهمی است که می‌تواند برآورد مؤلفه‌های بیلان منابع آب را با خطا مواجه کند. خوشبختانه امروزه، محصولات مبتنی بر سنجش از دور و پایگاه داده‌های جهانی در دسترس هستند، که اطلاعاتی را در مورد اجزای مختلف چرخه آب مانند بارش، تبخیر و تعرق واقعی و تغییرات ذخیره‌سازی ارائه می‌دهند. در سال‌های اخیر به روش‌های نوین محصولات ماهواره‌ای و پایگاه داده جهانی توسط مدیران و متخصصین آب توجه خاصی شده است. این داده‌ها در شرایط کمبود داده امکان بررسی توزیع مکانی برخی مؤلفه‌های بیلان و آبی را به‌آسانی، کم‌ترین هزینه، پوشش گسترده و پرکردن خلأهای اطلاعاتی فراهم کرده‌اند.

اگرچه امروزه دسترسی به پایگاه‌های اینترنتی برای کسب اطلاعات و داده‌های هیدرولوژی بسیار آسان می‌باشد، اما لازم به ذکر است که همواره ابهاماتی در خصوص صحت و تطبیق مناسب این اطلاعات وجود با شرایط محلی مطرح می‌باشد. بنابراین با اطلاعات دریافتی از این پایگاه‌ها می‌باید با احتیاط برخورد کرده و قبل از استفاده بررسی و

موردارزیابی قرار گیرند. در ایران و سایر مناطق جهان مطالعات زیادی در خصوص ارزیابی و کاربرد محصولات ماهواره‌ای و پایگاه داده جهانی برای برآورد مؤلفه‌های بیلان آب صورت گرفته است که در ادامه به چندین مورد از آن‌ها اشاره می‌شود.

Duan *et al.* (2016) در مطالعه خود در ایتالیا و منطقه Adige، هشت محصول ماهواره‌ای را (TRMM، GSMaP_MVK و CHIRPS، PGF، PCDR، CMORPH_BLD، CMORPH_CRT، CMORPH_RAW برای بارش را براساس شاخص‌های پیوسته (RMSE، MAE، ME، R2) و دودویی (FAR، POD) مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج ارزیابی نشان داد که از نظر معیارهای آماری CHIRPS، TRMM و CMORPH_BLD به‌طور قابل مقایسه‌ای به‌عنوان سه محصول برتر با بهترین عملکرد رتبه‌بندی می‌شوند، درحالی‌که PGF بدترین عملکرد را داشت. Lo Conti *et al.* (2014) شش محصول بارش ماهواره‌ای CMORPH، دو محصول TMPA و سه محصول PERSIANN را در جزیره Sicily مورد ارزیابی قرارداد. Nikolopoulos *et al.* (2013) سه محصول TRMM، CMORPH، 3B42 و PERSIANN را برای یک رویداد سیل بزرگ در منطقه Giulia Friuli Venezia ارزیابی کرد. Alnahit *et al.* (2020) مطالعه‌ای در حوضه آبریز جنوب‌شرقی آمریکا، ارزیابی محصولات مختلف بارش را برای مدل‌سازی جریان و کیفیت آب انجام دادند. محصولات مورد استفاده (PERSIANN-3B42RT، 3B42، PRISM) بهترین عملکرد کلی را نشان داد و پس از آن 3B42 و PERSIANN-CDR، درحالی‌که محصولات CFSR و PERSIANN نسبتاً برای شبیه‌سازی جریان و کیفیت آب ضعیف عمل کردند. Ghorbani *et al.* (2020) پایگاه PERSIANN و PERSIANN-CDR را در برآورد بارش مناطق نیمه‌خشک زاگرس مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج نشان داد که در هر دو مقیاس ماهانه و سالانه بیش‌ترین ضریب همبستگی، کم‌ترین RMSE و کم‌ترین اریبی نسبی متعلق به PERSIANN-CDR بود. برآورد بارش توسط PERSIANN و PERSIANN-CDR در مقیاس ماهانه از دقت بیش‌تری نسبت به مقیاس سالانه برخوردار بود. Zangeneh *et al.* (2019) مقادیر مشاهداتی بارش و اطلاعات ماهواره‌ای PERSIANN و CMORPH در حوضه آبخیز شاپور در استان فارس مورد مقایسه قرار دادند، یافته‌ها نشان داد همبستگی داده‌های مشاهداتی با CMORPH نسبت به PERSIANN در مقیاس ساعتی بیش‌تر است، اما مدل PERSIANN تعداد روزهای بارانی را با دقت بیش‌تری تخمین زد. Eini *et al.* (2018) عملکرد داده‌های باز تحلیل‌شده پایگاه‌های اقلیمی جهانی CRU و NCEP CFSR را در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی مدل SWAT در حوضه آبریز مهارلو را مورد ارزیابی قرار دادند نتایج مدل‌سازی نشان داد هر دو پایگاه داده در کنار مقادیر مشاهداتی دقت بالایی در مدل بارش-رواناب دارند، که در این بین پایگاه CRU بهتر از پایگاه NCEP CFSR توانست رواناب سطحی را شبیه‌سازی کند.

Miralles *et al.* (2011) و Yang *et al.* (2017) ارزیابی تبخیر و تعرق روزانه مدل GLEAM به‌ترتیب در مقیاس سطح زمین جهان و هشت منطقه از شبکه‌های جریان‌های مشاهداتی و تحقیقاتی چین انجام دادند. نتیجه گرفتند که داده‌های مدل GLEAM در مقیاس زمان مختلف می‌تواند تبخیر و تعرق واقعی را با دقت قابل‌قبول برآورد کند. Faraji *et al.* (2017) و Dezfuli *et al.* (2020) به‌ترتیب داده‌های تبخیر و تعرق حاصل از مدل GLDAS را با استفاده از داده‌های مشاهداتی در استان قزوین و در شمال حوضه آبریز کرخه را ارزیابی کردند. یافته‌ها نشان داد همبستگی بالا بین داده‌های مشاهداتی و مدل‌هاست و آن‌ها می‌توانند جایگزین مناسبی برای مناطق فاقد آمار قبول باشند. Javadian *et al.* (2018) در مطالعه‌ای به بررسی و مقایسه روش‌های برآورد تبخیر و تعرق واقعی در حوضه

دریاچه ارومیه پرداختند، مقایسه نتایج تبخیر و تعرق GLEAM با الگوریتم SEBAL نشان داد که در بیش‌تر ماه‌ها اختلاف زیادی بین این دو روش دیده می‌شود، اما در مجموع در مقیاس سالانه اختلاف کمی با یکدیگر دارند. Yarahmadi *et al.* (2021) صحت مقادیر محصول تبخیر و تعرق واقعی پنج پایگاه جهانی شامل MYD16، MOD16، GLEAM، GLDAS و SSEBOP با استفاده از مقادیر تبخیر و تعرق حاصل از مدل SWAT در حوضه آبریز سد کرخه در مقیاس ماهانه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد مقادیر به‌دست‌آمده از مدل SSEBOP و GLEAM به‌ترتیب با درصد خطای ۲۶ درصد و ۱۶ درصد بیش‌ترین و کم‌ترین اختلاف را با مقادیر حاصل‌شده از مدل SWAT داشتند.

ارزیابی تغییرات آب‌های زیرزمینی با ماهواره GRACE در مناطق مختلف جهان انجام شده است. در حوضه رودخانه می‌سی‌سی‌پی Rodell and Chen (2007)، شمال هند Rodell and Velicogna (2009)، منطقه آتلانتیک میان Xiao and He (2015)، آفریقای شرقی Nanteza and Linage (2016)، حوضه سند در پاکستان Iqbal and Hossain (2016) و آلبرتا در کانادا Huang and Pavlic (2016) انجام شده است. Farokhnia *et al.* (2014)، Faraji *et al.* (2017)، Ashrafzade *et al.* (2015) و Hafezparast *et al.* (2021) قابلیت ماهواره GRACE و GLDAS را به‌ترتیب برای برآورد بیلان در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، تغییرات آب‌های زیرزمینی استان قزوین، منابع آب زیرزمینی جنوب ایران و تغییرات آب زیرزمینی استان کرمانشاه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد ماهواره GRACE برآورد خوبی از روند تغییرات آب و همچنین تغییرات سطح آب زیرزمینی دارد و همچنین همبستگی بین داده‌های تغییرات ذخیره آب از مدل GLDAS و GRACE و تغییرات سطح آب زیرزمینی حاصل‌شده از ماهواره GRACE و داده‌های مشاهداتی در سطح احتمال ۹۹ درصد معنادار است. سوابق و تجربیات قبلی حاکی تمرکز این مطالعات در ارزیابی منفرد برآوردهای انجام‌شده برخی متغیرهای هواشناسی یا هیدرولوژیکی و بدون توجه به ظرفیت و امکان به‌کارگیری آن‌ها در مطالعات بیلان می‌باشد. هدف از این مطالعه بررسی ظرفیت‌ها و امکان به‌کارگیری پایگاه‌های داده جهانی به‌منظور به‌کارگیری در مطالعات بیلان می‌باشد. بدین منظور با بررسی قابلیت به‌روزرسانی داده‌ها، قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب، برخی از پایگاه داده‌ها و محصولات ماهواره‌ای را برای برآورد مؤلفه‌های بیلان آبی انتخاب و به استناد داده‌های مشاهداتی و رویکرد مرسوم در مطالعات بیلان آبی کشور مورد ارزیابی قرار گرفت. نوآوری این پژوهش ارزیابی هم‌زمان چند نوع پایگاه داده به‌منظور به‌کارگیری در مطالعات بیلان و همچنین مقایسه آن‌ها با نتایج بیلان قبلی می‌باشد. ارزیابی‌های انجام‌شده در حوضه آبریز طشک‌بختگان در استان فارس به‌عنوان یک حوضه آبریز پایلوت در کشور انجام گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه طشک-بختگان با وسعت ۵۷۲۵۰ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی گسترش یافته است که بلندترین نقطه آن در غرب حوضه به ارتفاع حدود ۳۹۰۰ متر از سطح دریای آزاد و کم‌ترین ارتفاع در حاشیه دریاچه طشک-بختگان به ارتفاع حدود ۱۶۲۰ متر می‌باشد. این حوضه یکی از حوضه‌های درجه ۲ آبریز فلات مرکزی ایران بوده و بخش‌هایی از مناطق شمال، مرکز و جنوب شرقی استان فارس به همراه مناطق جزیبی از استان کهگیلویه و بویراحمد را شامل می‌شود (شکل ۱). ارتفاع بارش در این محدوده از حدود ۱۵۰ میلی‌متر در دشت‌های مرکزی الی ۶۵۰

میلی‌متر در ارتفاعات تغییر می‌کند و متوسط بارش حدود ۳۲۰ میلی‌متر می‌باشد. سد درودزن به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین سد های کشور و سد های ملامصدرا و سیوند از جمله سد های هستند که در دهه های اخیر به‌منظور کنترل سیلاب‌ها، تأمین آب برای نیازهای شرب، کشاورزی، صنعت و تولید برق در این حوضه به بهره‌برداری رسیده‌اند. بروز خشکسالی‌های چند سال اخیر، عدم رعایت حقابه‌های رودخانه‌ها، تالاب‌ها و دریاچه‌ها و برداشت بی‌رویه از منابع آب سطحی مشکلات جدی را در این حوضه ایجاد نموده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل بیابانزایی حوضه آبریز طشک- بختگان در دو مقطع زمانی سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۹۲ که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده است، حدود ۱۱۷ هزار هکتار از پهنه‌های آبی این حوضه (شامل دریاچه های طشک، بختگان و دریاچه کافتیر) در طول ۲۶ سال گذشته از بین رفته و تبدیل به نمک‌زارهای مستعد تولید گرد و غبار شده است (Iran Ministry of Energy, 2013).

۲.۲. روش‌شناسی مطالعه

در این پژوهش با توجه به‌دسترسی به پایگاه‌های جهانی داده، ارزیابی این پایگاه‌ها در برآورد سه مؤلفه بیلان آب مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس پایگاه داده‌ها براساس قدرت تفکیک مکانی، طول دوره پوشش زمانی، قابلیت بروزرسانی و همچنین امکان بهره‌گیری از آن‌ها برای مطالعات آینده انتخاب شدند. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است برای مؤلفه بارش پایگاه‌های CHIRPS، GLDAS، PERSIANN-CDR و NCEP و برای مؤلفه تبخیر و تعرق واقعی پایگاه‌های GLEAM و GLDAS و برای مؤلفه تغییرات ذخیره آب و تراز آب‌بیرزمینی از پایگاه داده GRACE و GLDAS برگزیده شدند. این مقادیر این پایگاه داده‌ها با داده‌های مشاهداتی موجود در منطقه ارزیابی و شاخص‌های ارزیابی استخراج شد. در ارزیابی تبخیر و تعرق به‌دلیل فقدان داده‌های مشاهداتی از نتایج معادله بیلان تورنت وایت استفاده شده است. در انتها مقادیر پایگاه داده‌ها در صورت عملکرد ضعیف در شاخص‌های ارزیابی، مورد اصلاح اریبی قرار گرفته و مجدداً شاخص‌های ارزیابی استخراج شده و در نهایت پایگاه داده‌های برتر شناسایی شدند.

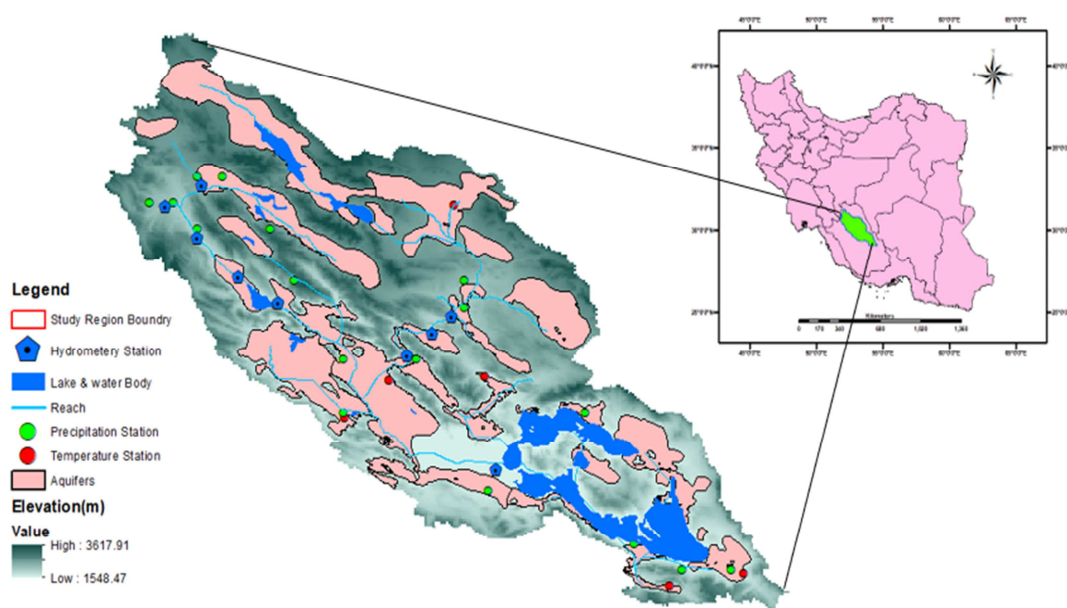


Figure 1. Tashk-Bakhtegan Basin

۳.۲ داده‌های ایستگاهی و اطلاعات مورداستفاده در ارزیابی

۱.۳.۲ بارش و دما

در این مطالعه داده‌های ماهانه بارش از ۱۷ ایستگاه با دوره آماری ۱۹۸۳-۲۰۱۳ از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. داده‌های مفقودی موجود در ایستگاه براساس روش رگرسیون خطی تکمیل شد. در شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های بارش مشاهداتی و در شکل (۳) نیز سری زمانی متوسط بارش در منطقه را مشاهده نمود. داده‌های ماهانه دما نیز را برای ۸ ایستگاه هواشناسی دارای آمار در دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۳ دریافت شده است. در شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌ها و در شکل (۴) مقادیر متوسط دما برای منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

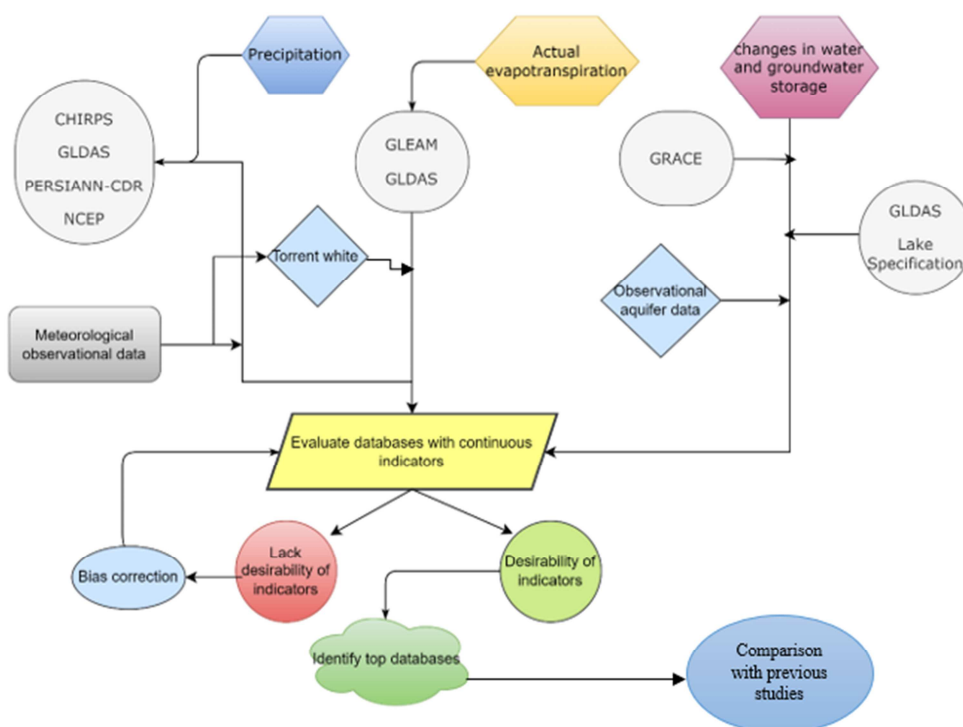


Figure 2. Research methodology

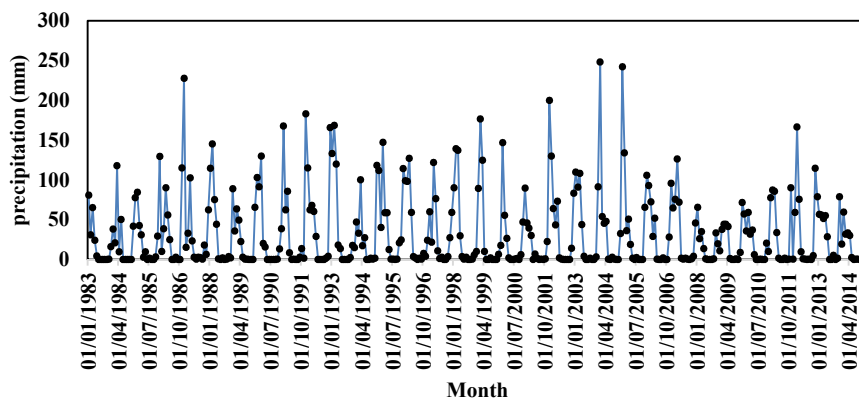


Figure 3. Average regional monthly precipitation data

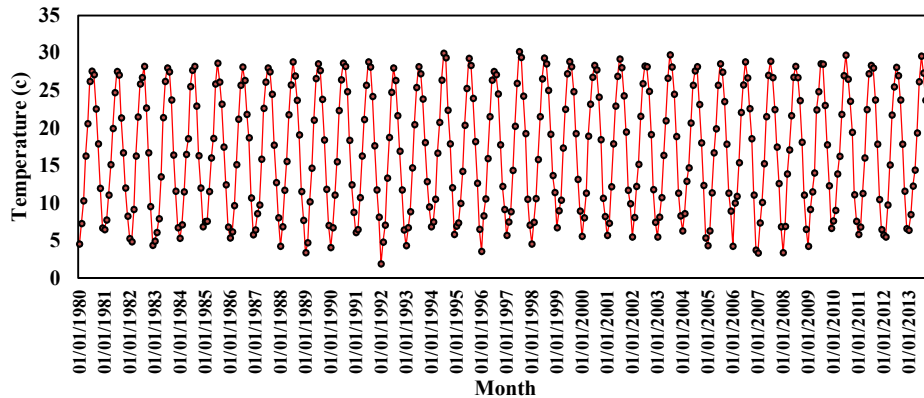


Figure 4. Average regional monthly temperature data

۲.۳.۲. تغییرات آب زیرزمینی

اطلاعات تراز آب زیرزمینی ۲۱ آبخوان معرف در سطح حوضه طشک-بختگان که دارای آمار قابل استفاده برای دوره زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۵ مورد بررسی در تحقیق حاضر بودند، از شرکت مدیریت منابع آب ایران اخذ گردید و مقدار سالانه تغییرات تراز آب زیرزمینی تمامی آبخوان‌های موجود در سطح حوضه پس از اعمال میانگین گیری وزنی براساس وسعت محدوده، مقدار متوسط منطقه‌ای تغییرات تراز آب زیرزمینی محاسبه شد. در شکل (۱) موقعیت آبخوان‌ها و در شکل (۵) متوسط تغییرات تراز آبخوان‌های منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. بیش‌ترین مساحت را آبخوان مرودشت-خرامه و کم‌ترین مساحت آبخوان خیر بوده است. تغییرات تراز آبخوان‌های مشاهداتی، روندی نزولی داشته و به‌طور متوسط کاهش‌ی معادل ۸۰ سانتی‌متر در سال داشته است.

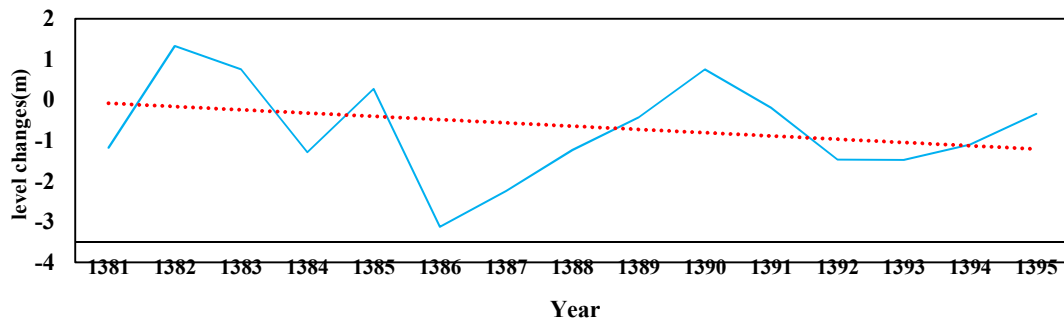


Figure 5. Aquifer level changes

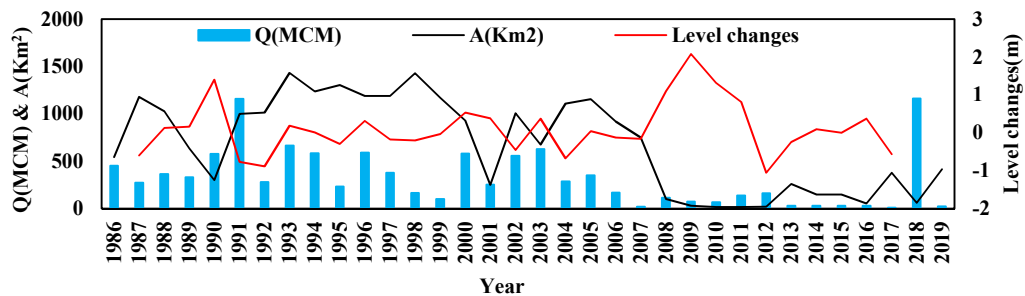


Figure 6. Bakhtegan and Tashk Lake area (Square Kilometer) along with annual inflow (MCM/year) Lake level changes (m/year)

۳.۳.۲. تراز دریاچه طشک - بختگان

اطلاعات مربوط به تغییرات جریان ورودی به دریاچه از شرکت مدیریت منابع آب ایران و مساحت آن از مطالعه Saghafian *et al.* (2021) دریافت شدند که از جمله اطلاعاتی هستند که در این مطالعه به منظور برآورد و کنترل تغییرات بودجه آبی پایگاه‌های جهانی مورد استفاده قرار گرفتند. باتوجه به اطلاعات در دسترس ارتفاع آب دریاچه محاسبه شد و تغییرات تراز دریاچه حاصل شد که در شکل (۶) قابل مشاهده است. در طول دوره آماری، کم‌ترین مساحت دریاچه طشک- بختگان در سال ۲۰۱۱ و برابر با ۱۷/۰۴ کیلومتر مربع است. این مقدار در مقایسه با بیش‌ترین مساحت دریاچه در سال ۱۹۹۳ با ۱۴۳۳/۲۸ کیلومتر مربع کاهش ۹۸ درصد را نشان می‌دهد. مساحت دریاچه در سال ۲۰۱۲ نسبت به سال ۱۹۹۳، ۸۰ درصد کاهش سطح را نشان می‌دهد که این به معنی بهبود جزیی جریان ورودی به دریاچه تحت تأثیر میزان بارش در منطقه نسبت به سال ۲۰۱۱ است. در سال ۲۰۱۹ با توجه به افزایش میزان بارش، مساحت دریاچه روند افزایشی داشته و به مقدار ۳۵/۴۱۵ کیلومتر مربع رسیده است. دریاچه در سال ۲۰۰۹ حدود ۲-۱/۵ متر افزایش تراز داشته و سپس روند کاهش در پی گرفته و تقریباً از سال ۲۰۱۴ به بعد تغییرات تراز ناچیزی داشته است.

۴.۳.۲. برآورد تبخیر و تعرق واقعی

باتوجه به این‌که در این منطقه داده‌های مشاهداتی برای تبخیر و تعرق موجود نیست، برای محاسبه تبخیر و تعرق روش تورنت وایت و مطابق دستورالعمل تهیه بیلان آب وزارت نیرو استفاده گردیده است. برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه از دمای ماهانه و روش تورنت وایت با روابط زیر استفاده شده است:

$$I_m = \sum_{n=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5}\right)^{1.514} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، I: نمایه حرارتی سال و T: دمای متوسط ماهانه در واحد سانتی‌گراد می‌باشد.

$$a = (6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{-5})I^2 + (1.792 \times 10^{-2})I + 0.49239 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، α : ضریب محاسباتی می‌باشد.

$$E_p = 16N_m \left(\frac{10T_m}{I}\right)^a \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن، E_p : تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه در واحد میلی‌متر و N_m : ضریب اصلاحی تورنت-وایت برای عرض‌های جغرافیایی مختلف می‌باشد.

تعداد کم پارامترهای ورودی مدل (بارش، دما)، این امکان را به کاربر می‌دهد تا از مدل برای حوضه‌هایی که داده‌های ثبت شده کم‌تری دارند، استفاده کند. مدل قادر است برای حوضه‌هایی که داده‌های ثبت شده‌ای برای تبخیر و تعرق وجود ندارد، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی حوضه را محاسبه نماید. Asadi *et al.* (2020) میزان تبخیر و تعرق در استان فارس با استفاده از شاخص‌های تجربی برآورد کردند. در بررسی آن‌ها ضریب همبستگی R^2 بین ارتفاع و روش‌های تورنت وایت، پنمن مانیتیت و هارگریوز سامانی بیش‌ترین مقدار را تورنت وایت با مقدار ۰/۹۱ داشته است.

برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی، مقدار بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه مقایسه گردید، در صورتی‌که بارندگی از تبخیر کم‌تر باشد، کل آن تبخیر واقعی محسوب شده و چنانچه این مقدار بیش‌تر باشد، بارندگی مازاد پس از کسر آب مورد نیاز رطوبت خاک، بارندگی مفید نامیده می‌شود که در برگیرنده رواناب و نفوذ است. مقدار «تبخیر و تعرق پتانسیل» در رابطه (۳) در عرض جغرافیایی صفر محاسبه شده است، که برای اصلاح آن باید مقدار «تبخیر و تعرق پتانسیل» محاسبه شده در ضریب اصلاحی K که مخصوص ماه و عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر است، ضرب شود $(\text{Eta} = K \times EP)$.

۵.۳.۲. پایگاه‌های داده جهانی

باتوجه به این‌که برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز سنجنده‌ها و پایگاه‌های متنوعی وجود دارند، با توجه به اهداف و قابلیت‌های پایگاه داده‌ها (بروزرسانی، قدرت تفکیک مکانی و زمانی)، سوابق و تجربیات قبلی برای مؤلفه‌های بیلان و همچنین امکان بهره‌گیری از آن‌ها برای مطالعات که در آینده صورت خواهد گرفت، پایگاه داده‌هایی انتخاب شد که در جدول (۱) می‌توان اطلاعات کل پایگاه داده‌ها و نوع داده‌ها را مشاهده کرد. در ادامه توضیح مختصر برای آن‌ها ارائه شده است.

۶.۳.۲. پایگاه داده PERSIANN-CDR^۱

مجموعه داده PERSIANN-CDR به صورت مشترک توسط دانشگاه کالیفرنیا و NOAA تهیه شده و اطلاعات را از سال ۱۹۸۳ تا کنون ارائه می‌دهد (Ashouri *et al.*, 2015; Duan *et al.*, 2016). و برآوردهای بارش آن از داده ماهواره‌ای IR و MW محاسبه می‌شود. PERSIANN-CDR با هدف پاسخ دادن به نیاز به یک مجموعه داده‌های پایدار، طولانی مدت، با وضوح بالا و جهانی برای مطالعه تغییرات و روند بارش باران، به‌ویژه رویدادهای بارش شدید، به دلیل تغییرات آب و هوایی و تغییرات طبیعی، مورد توجه قرار گرفته است. PERSIANN-CDR از الگوریتم PERSIANN با استفاده از داده‌های مادون قرمز Gridsat-B1 تولید می‌شود برخلاف محصول PERSIANN که در در زمان واقعی نزدیک و به طور منظم براساس اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای در دسترس است، PERSIANN-CDR داده‌های ماهانه سنجنده GPCP را در برآورد بارش خود قرار می‌دهد (Duan *et al.*, 2016).

Table1. Specifications of the used databases

Precipitation						
Source	Data	Period	Coverage	Freq.	Resolution	Data set
https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html	Precipitation	1979–present	Global	Monthly	1.875° × 1.875°	NCEP
http://chrsdata.eng.uci.edu	Precipitation	1983–present	60°S–60°N	Monthly	0.04°	PERSIANN-CDR
https://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas	Precipitation	1948 to present	Global	Monthly	0.25°, 1.0°	GLDAS
http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps/	Precipitation	1979 to present	40°N to 40°S and from 20°W to 55°E	Monthly/Daily/6hourly	0.05°	CHIRPS
Evapotranspiration						
https://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas	Evapotranspiration	1948–present	Global	Monthly	0.25°	GLDAS
https://www.gleam.eu/	Actual evaporation Transpiration	1980–present	Global	Monthly	0.25°/25km	GLEAM
Total Water Storage Change						
https://grace.jpl.nasa.gov/data/get-data/	Water Equivalent Thickness	2002–2019	Global	Monthly	1.0°	GRACE
https://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas	Storm surface runoff Baseflow-groundwater runoff Soil moisture Snow depth water equivalent Snow melt	1948–present	Global	3-hourly or monthly	0.25°, 1.0°	GLDAS

۲.۳.۷. پایگاه داده GLDAS^۲

سیستم تحلیل و شبیه‌سازی زمین در پوشش جهانی یا همان GLDAS، یک کار مشترک بین دانشمندان ناسا، NOAA، GSFC و NCEP است (Swenson, 2006). GLDAS سیستم مدل‌سازی جهانی سطح آب زمین است که از داده‌های مشاهده‌ای ماهواره‌ای و همچنین تحقیقات هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی پیشرفته آب و هوا استفاده می‌کند (Swenson, 2002). مدل GLDAS یک مدل عددی است که داده‌های سطح آب معادل را با قدرت تفکیک زمانی و مکانی مناسبی، تأمین می‌کند. مشکل عمده و اصلی در استفاده از چنین مدل‌های هیدرولوژی، نداشتن داده در مناطق پوشیده شده از آب است. با توجه به این که مدل‌های هیدرولوژی مانند مدل هیدرولوژی GLDAS فقط در مناطق خشکی مقدار دارند، لذا در این مطالعه با توجه به وجود دریاچه به‌منظور بررسی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی، از سری زمانی مشخصات دریاچه نیز استفاده شده است.

۲.۳.۸. پایگاه داده CHRIPS^۳

CHRIPS براساس تجارب قبلی با استفاده از تکنیک‌های هوشمند و بر مبنای داده‌های طولانی مدت ثبت شده بارش براساس مشاهدات مادون قرمز ابر، میزان بارش را تخمین می‌زند. داده‌های آن از مقادیر شش‌ساعته تا سه ماهه در دسترس است. CHRIPS برای نظارت بر خشکسالی و تغییرات اقلیمی در مقیاس شبه جهانی انجام می‌گیرد. همچنین آن را برای تجزیه و تحلیل روند بلند مدت استفاده می‌شود (Gao *et al.*, 2018).

۲.۳.۹. پایگاه داده NCEP-NCAR^۴

این مرکز پیش بینی و مدل‌سازی داده‌های اقلیمی، داده‌های باز تحلیل شده خود را به‌صورت تقریباً روزآمد از ۱۹۴۶ تا زمان واقعی عرضه کرد که هم‌اکنون نیز ادامه دارد. امروزه با پیشرفت‌های گسترده در زمینه‌های گوناگون فناوری و علوم جوی و اقیانوسی نسل جدیدتری از داده‌های باز تحلیل شده عرضه می‌شود که هم از نظر کارایی مدل و از نظر داده‌های ورودی مدل، بسیار توسعه پیدا کرده‌اند. داده‌های بارش NCEP-NCAR هر شش ساعت یک بار با مدل پیش بینی می‌شود که از مجموع چهار پیش بینی صورت گرفته در یک روز، مجموع بارش روزانه به‌دست می‌آید (Janowiak *et al.*, 2006; Bordi *et al.*, 1998). در این گونه مدل‌ها برای تولید داده‌های بارش که مهم‌ترین متغیر برای دسترسی و ارزیابی خشکسالی است از داده‌های مشاهده‌ای بارش استفاده نمی‌شود بلکه مقدار بارش از یک مدل فیزیکی که از متغیرهای دیگری مانند باد، دما، رطوبت ویژه و مانند آن بهره می‌برد پیش‌بینی می‌شود.

۲.۳.۱۰. پایگاه داده GLEAM^۵

مدل جهانی تبخیر سطح زمین آمستردام (GLEAM)^۱ یک الگوریتم است که اجزای مختلف تبخیر/تعرق شامل تعرق، برگاب تبخیر از سطح خاک خشک، تصعید برف و تبخیر از سطح آزاد آب را براساس دیده‌بانی‌های ماهواره‌ای، تخمین می‌زند. خروجی‌های مدل شامل تبخیر/تعرق پتانسیل، رطوبت خاک ناحیه ریشه، رطوبت سطح خاک و تنش تبخیری است. منطق این روش، به حداکثر رساندن اطلاعات مربوط به تبخیر، در مجموعه داده‌های موجود از مشاهدات اقلیمی و محیطی از فضاست (Miralles *et al.*, 2011). از مدل GLEAM معمولاً برای ارزیابی مقادیر دقیق، در مقیاس بزرگ و با وضوح بالا استفاده می‌شود. برای اطمینان از صحت مقادیر اندازه‌گیری شده توسط سنجنده‌های تبخیر/تعرق و همچنین برای افزایش کارایی مختلف آن‌ها، اعتبارسنجی زمینی در مقیاس بزرگ لازم است.

۱۱.۳.۲ پایگاه داده GRACE^۶

مأموریت گریس، یک مأموریت ماهواره‌ای است که از دو ماهواره مشابه و مجزا از هم تشکیل شده است. این دو ماهواره در ارتفاع حدود ۵۰۰ کیلومتری از سطح زمین با فاصله ۲۲۰ کیلومتر از هم حرکت می‌کنند (Tapley *et al.*, 2004). با تغییر میدان ثقل محلی که ماهواره‌ها از آن عبور می‌کنند، فاصله بین آن‌ها تغییر کرده و با آنالیز این تغییرات فاصله، می‌توان طول موج‌های بلند و متوسط میدان ثقل و همچنین تغییرات زمانی آن را اندازه‌گیری نمود. گریس می‌تواند تغییرات جرم در لایه سطحی زمین در مقیاس‌های بزرگ را به خوبی تخمین بزند (Hofmann *et al.*, 2006). پس از حذف اثرات جوی و اقیانوسی، سیگنال باقیمانده در یک مقیاس زمانی ماهانه در زمین به‌طور عمده مربوط به تغییرات ذخایر آب‌زمینی است (Landerer *et al.*, 2012). تغییرات ذخایر آب زمینی حاصل از گریس، از نسخه ششم داده‌های ماهانه سطح سه مرکز تحقیقات فضایی دانشگاه تگزاس آمریکا به‌دست آمدند.

۱۲.۳.۲ تغییرات آب زمینی

موجودی آب زمینی (TWS)^۷ عبارتست از مجموع آبی که در سطح و زیر سطح زمین موجود است. به عبارت دیگر TWS شامل آب زیرزمینی، رطوبت خاک و لایه‌های منجمد زیر سطحی، آب‌های سطحی، یخ و برف و همچنین رطوبت موجود در توده‌های زیستی می‌باشد. برآورد تغییرات TWS در مقیاس‌های مکانی بزرگ به دلیل کم‌بودن اطلاعات مورد نیاز معمولاً با چالش‌های فراوانی روبه‌رو می‌باشد. روش‌های معمول اندازه‌گیری TWSC^۸ عبارت از اندازه‌گیری چاه‌های گمانه، اندازه‌گیری رطوبت خاک و همچنین ثبت تغییرات تراز دریاچه‌ها می‌باشد. روش‌های مذکور دقت مناسبی دارند، اما برای برآورد TWSC در ابعاد وسیع بسیار هزینه بر خواهند بود و معمولاً با کمبود داده روبه‌رو هستند. در سال‌های اخیر داده‌های ماهواره‌ای به‌دست‌آمده از پروژه بازبانی گرانش و آزمایش اقلیمی (GRACE) و همچنین شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در قالب سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی (GLDAS) امکانات مناسبی را برای برآورد TWSC در ابعاد مکانی گسترده ایجاد نموده است. اطلاعات به‌دست‌آمده از پروژه‌های GRACE و GLDAS تاکنون در مطالعات هیدرولوژیکی متعددی مورد استفاده قرار گرفته است. در نکته قابل توجه در اغلب آن‌ها، استفاده هم‌زمان از نتایج این دو می‌باشد، به‌نحوی که می‌توان گفت داده‌های به‌دست‌آمده از این دو پروژه را می‌توان به‌عنوان مکمل یکدیگر در تحلیل‌های پیشرفته هیدرولوژیکی در مقیاس‌های مکانی بزرگ به کار گرفت.

۱۳.۳.۲ ارزیابی تغییرات آب زیرزمینی

با استفاده از اطلاعات مدل‌های داده‌های GLDAS و داده‌های GRACE می‌توان برآوردی در خصوص تغییرات آب زیرزمینی در سطح حوضه آبریز انجام در مقیاس سالانه داد. بر این اساس می‌توان از رابطه زیر جهت برآورد تغییرات آب زیرزمینی براساس اطلاعات استفاده نمود (Joodaki *et al.*, 2014; Frappart *et al.*, 2018):

$$\Delta GWL = \Delta TWS(GRACE) - (\Delta SM + \Delta SWE + \Delta QS + \Delta Qsb + \Delta Qsm)(GLDAS) - \Delta LV(Reports) \quad (۴)$$

از سری زمانی پیسکل‌های مؤلفه‌های استخراج‌شده از پایگاه GLDAS پس از تبدیل واحدهای مربوطه، سری زمانی متوسط درازمدت ماهانه حاصل می‌شود، سپس تغییرات سالانه هر کدام از مؤلفه‌ها با کسر کردن مقادیر ماه آخر از ماه اول هر سال به‌دست می‌آید، داده‌های GRACE نیز چون خود تغییرات آب‌زمینی را نشان داده با میانگین‌گیری از مقادیر ماهانه آن‌ها، تغییرات سالانه حاصل می‌شود. در رابطه (۴)، ΔGWL تغییرات آب‌های زیرزمینی، ΔTWS تغییرات ذخایر آب‌زمینی، ΔSM تغییرات رطوبت خاک در عمق ۱۰۰ الی ۲۰۰ سانتی‌متری، ΔSWE تغییرات آب معادل برف، ΔQS

تغییرات جریان‌ات سطحی، ΔQsb تغییرات جریان‌ات پایه، ΔQsm تغییرات ذوب برف، ΔLV تغییرات تراز دریاچه می باشد. بعد از کسر اثرات هیدرولوژی مدل GLDAS از داده‌های ماهواره‌های GRACE، در نهایت به تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی از مشاهدات ماهواره‌های GRACE است، خواهیم رسید. در شکل (۷) می‌توان تغییرات ذخیره آب حاصل از GRACE، شکل (۸) شبکه بندی داده‌های GRACE در منطقه و در شکل (۹) تغییرات پارامترهای استخراج شده از مدل GLDAS را مشاهده نمود.

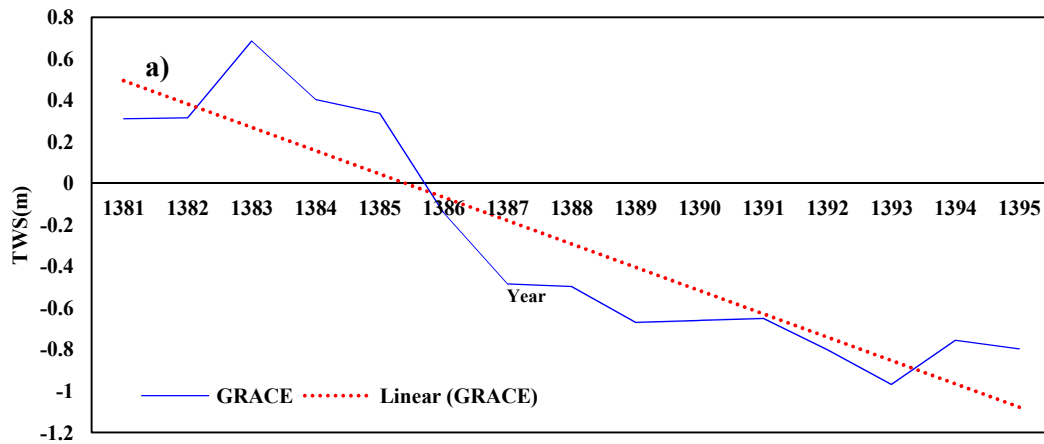


Figure 7. Water storage changes from GRACE

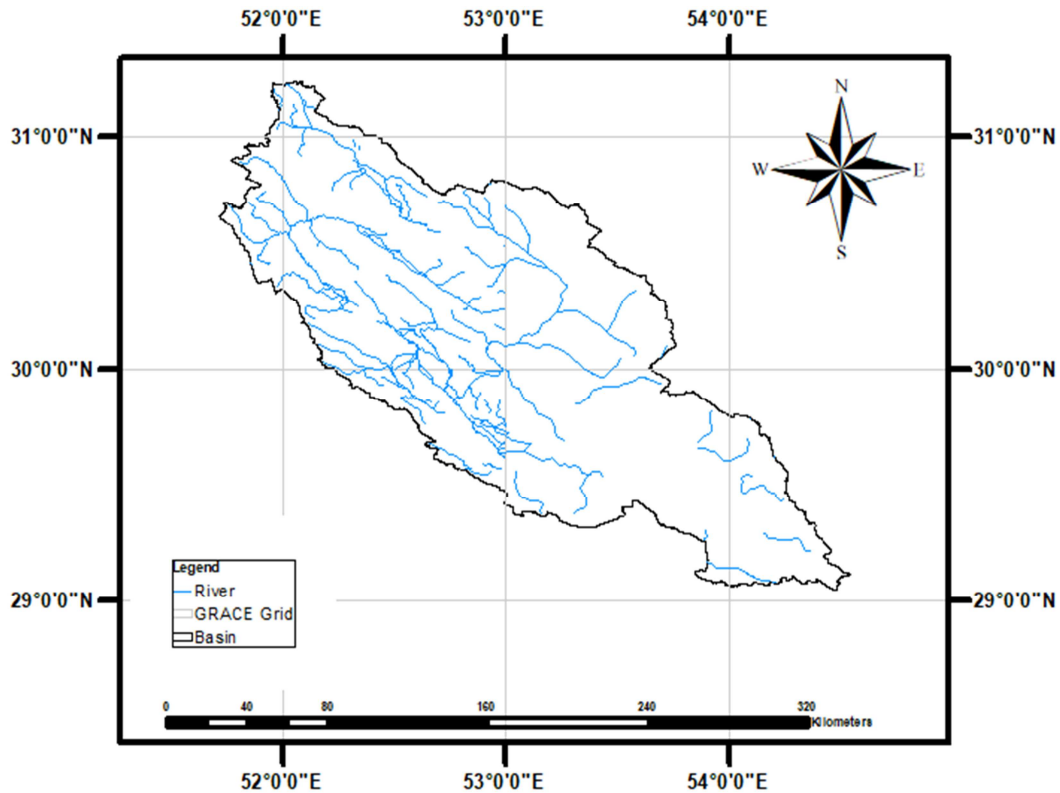


Figure 8. Grace data resolution

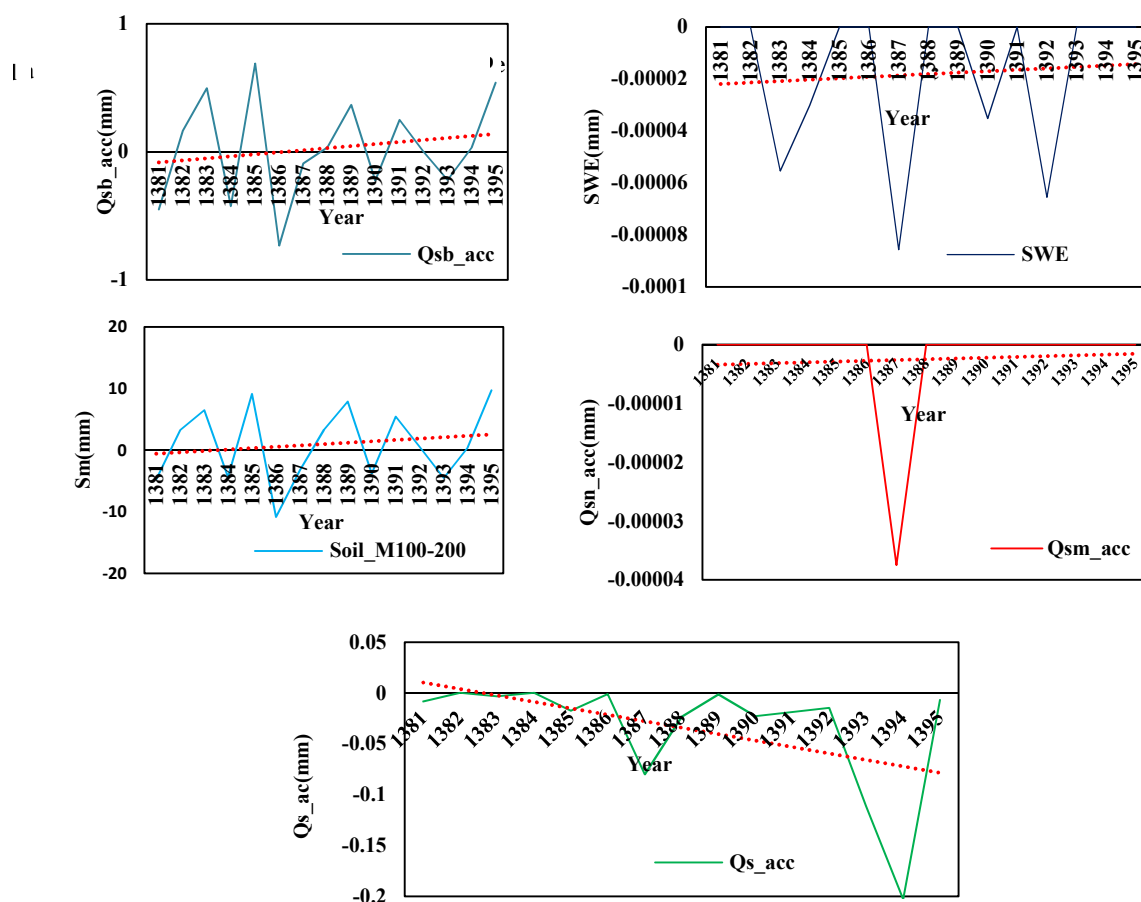


Figure 9. a) Baseflow-groundwater runoff, b) Snow depth water equivalent, c) Soil moisture, d) snow melt, e) surface runoff.

۱۴.۳.۲. ارزیابی پایگاه داده‌ها

ارزیابی پایگاه داده‌ها معمولاً با روش ارزیابی آماری پیوسته و در یک دوره تاریخی درازمدت انجام می‌شود. در جدول (۲) معادلات شاخص‌های پیوسته (R^2 , NSE, RMSE) ارائه شده است. اطلاعات دریافت شده از پایگاه‌ها به صورت شبکه بندی می‌باشد و هر کدام از این شبکه‌ها یک سری زمانی اطلاعات دارند که این اطلاعات با شرایط واقعی اختلافاتی داشتند. در نقاطی که ایستگاه سنجش مشاهداتی با سری اطلاعات دراز مدت موجود بوده، اطلاعات سلول پوشش دهنده یا مجاور از پایگاه داده استخراج شد. سپس اطلاعات پایگاه‌های جهانی را برای متوسط منطقه با ایستگاه‌های مشاهداتی مقایسه شد. در ارزیابی اولیه ممکن است بین اطلاعات پایگاه‌ها و مشاهداتی اختلافی به طور متوسط وجود داشته باشد در این موارد از روش‌های اصلاح الگو (Delta Change) بهره برده شد.

Table 2. List of the statistical metrics used in the evaluation of the global data

Statistical Indexes	Equation	Optimum Value	Unit
Correlation Coefficient	$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})(p_i - \bar{p})]^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2 \times \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}$	1	-
Root mean square error	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n}}$	0	mm/month (Rainfall-ETa) m/year (GRACE)
Nash-Sutcliffe efficiency	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2}$	1	-

۲.۳.۱۵. اصلاح اریبی داده‌ها

در این مطالعه به منظور اصلاح اریبی داده‌های مستخرج از پایگاه‌های جهانی از روش تغییر عامل استفاده شد (Jones and Hulme, 1996). این روش تا حد زیادی می‌تواند نتایج پایگاه داده‌ها را با واقعیت‌های منطقه تطبیق بهتری دهد. روابط (۵) و (۶) این روش را شرح می‌دهد:

$$\Delta_{month} = 1 + \frac{\overline{O_{month}} - \overline{D_{month}}}{\overline{D_{month}}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\Delta_{month} = \overline{O_{month}} - \overline{D_{month}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در این روابط، $\overline{D_{month}}$: میانگین پارامتر مورد نظر مشاهداتی در یک ماه خاص در طول دوره تاریخی و $\overline{O_{month}}$: میانگین پارامتر مورد نظر مشاهداتی در یک ماه خاص در طول دوره تاریخی می‌باشد.

رابطه (۵) برای مؤلفه بارش و رابطه (۶) نیز برای مؤلفه‌های دما و تبخیر- تعرق استفاده می‌شود. در نهایت ۱۲ مقدار برای ۱۲ ماه سال در طول دوره آماری حاصل می‌شود و با ضرب مقادیر در داده‌های پایگاه داده‌ها، اصلاح اریبی بر روی داده‌های بارش و با جمع مقادیر در داده‌های پایگاه داده‌ها، اصلاح اریبی بر روی داده‌های دما و تبخیر- تعرق انجام می‌شود. بعد از اصلاح الگو پایگاه داده‌ها دوباره ارزیابی می‌شوند.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. ارزیابی پایگاه‌های جهانی در برآورد بارش

با استفاده از داده‌های بارش مشاهداتی ایستگاه‌های بارندگی موجود در منطقه و در مجاورت آن، به ارزیابی دقت و اعتبارسنجی داده‌های بارش جهانی (NCEP, CHIRPS, PERSIANN-CDR, GLDAS) به صورت ماهانه از سال ۱۹۸۳-۲۰۱۳ پرداخته شد. در شکل (۱۰) و شکل (۱۱) به ترتیب می‌توان مقادیر منطقه‌ای سالانه و درازمدت سالانه پایگاه داده‌های بارش و داده‌های مشاهداتی را مشاهده نمود. همان‌طور که مشاهده می‌شود داده‌های مشاهداتی بارش در تمام دوره آماری مورد بررسی مقادیر بیشتری از پایگاه داده‌های منتخب داشته‌اند. شکل (۱۲) نیز همبستگی داده‌های بارش با پایگاه داده‌های منتخب را نشان می‌دهد.

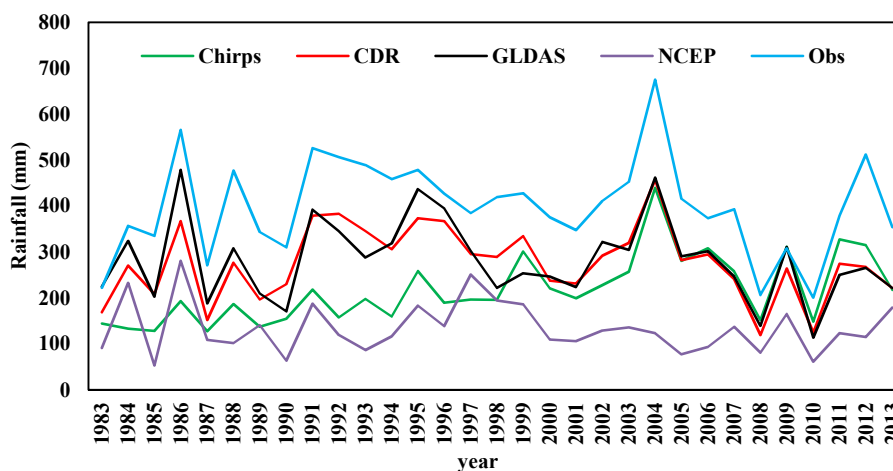


Figure 10. Average regional annual rainfall (Before bias correction)

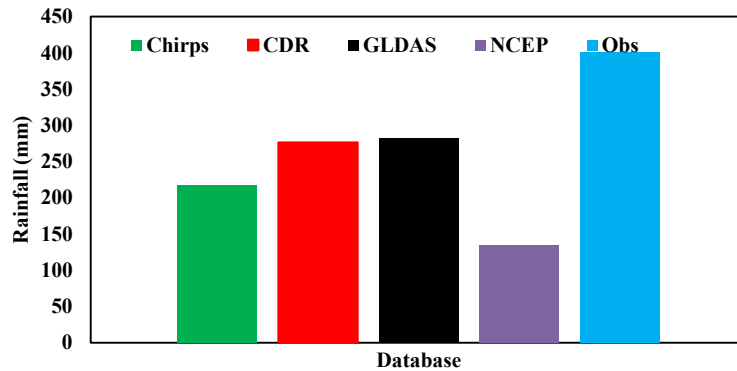


Figure 11. Regional average annual long-term rainfall (Before bias correction)

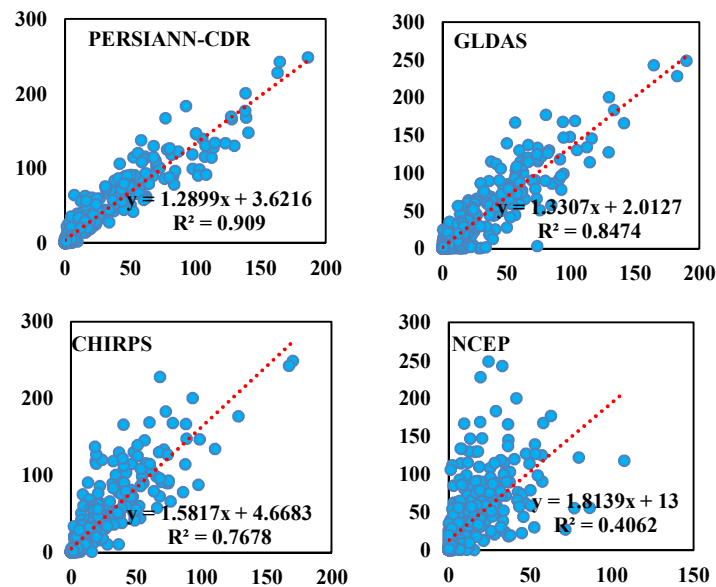


Figure 12. Correlation coefficient observational data with precipitation databases (Before bias correction)

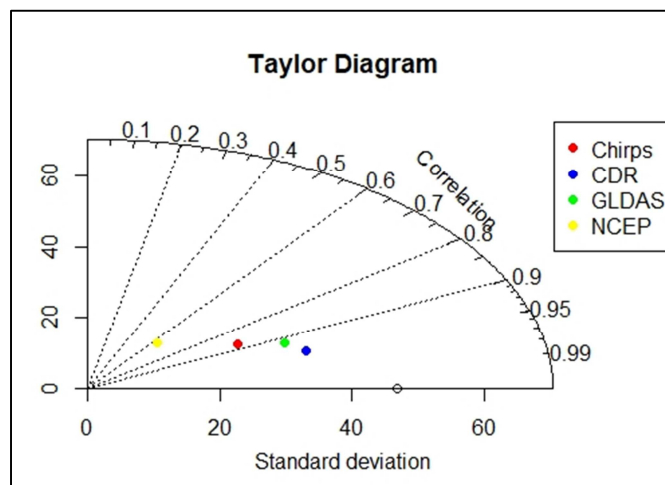


Figure 13. Taylor diagram (Before bias correction)

Table 3. Values of evaluation indicators (Before bias correction)

Dataset	CHIRPS	PERSIANN-CDR	GLDAS	NCEP
r2	0.77	0.91	0.85	0.41
RMSE	31.15	20.18	23.38	44.44
NSE	0.56	0.81	0.75	0.10

در جدول (۳) شاخص‌های ارزیابی مربوط به بارش منطقه‌ای در هر یک از پایگاه داده‌ها نشان داده شده و در شکل (۱۳) نیز دیاگرام تیلور ارائه شده است. نتایج نشان داد پایگاه داده PERSIANN-CDR در تمامی شاخص‌های ارزیابی بهترین عملکرد را داشته و پایگاه داده‌های GLDAS, CHIRPS و NCEP به ترتیب در رتبه‌های بعدی می‌باشند.

۲.۳. اطلاع‌رسانی پایگاه داده‌های بارش

با توجه به این که در ارزیابی اولیه بین اطلاعات پایگاه‌ها و مشاهداتی اختلافی به‌طور متوسط وجود داشت از روش اصلاح الگو (Delta Change) استفاده شد و دوباره نمودار و شاخص‌های ارزیابی محاسبه شد. اصلاح ارزیابی باعث شد مقادیر پایگاه داده‌ها در درازمدت سالانه با همدیگر و با داده‌های مشاهداتی اختلاف کمتری داشته باشند (شکل ۱۴). متوسط منطقه‌ای سالانه بارش پایگاه داده‌ها و مشاهداتی در شکل (۱۵) ارائه شده است. ضریب همبستگی در شکل (۱۶)، شاخص‌های ارزیابی پایگاه داده‌ها در جدول (۴) و نمودار تیلور در شکل (۱۷) بعد از اصلاح ارزیابی نشان می‌دهند که پایگاه داده PERSIANN-CDR همچنان در تمامی شاخص‌های ارزیابی بهترین عملکرد را داشته و پایگاه داده‌های GLDAS, CHIRPS و NCEP به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گیرند.

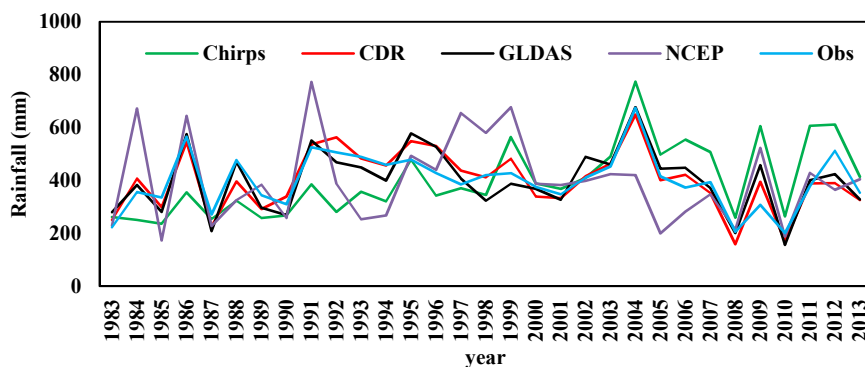


Figure 14. Average regional annual rainfall (After bias correction)

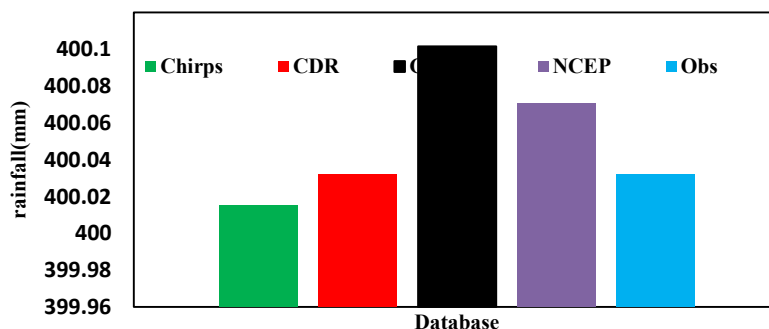


Figure 15. Regional average annual long-term rainfall (After bias correction)

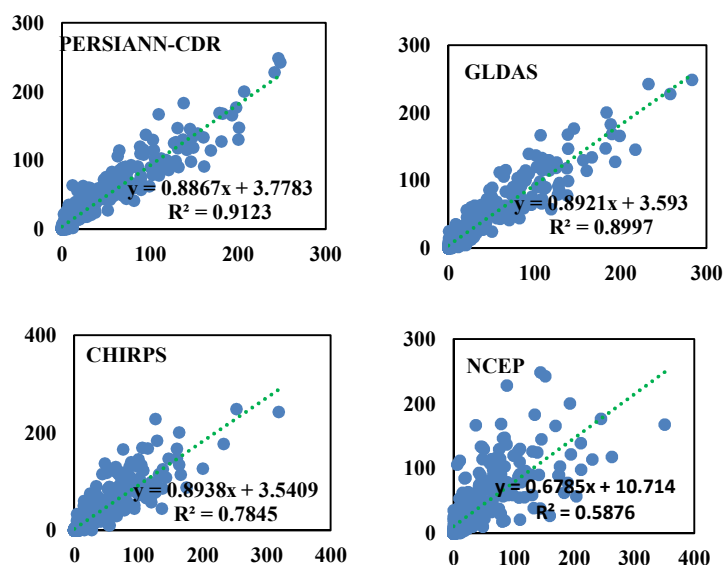


Figure 16. Correlation coefficient observational data with precipitation databases (After bias correction)

Table 4. Values of evaluation indicators (After bias correction)

Dataset	CHIRPS	PERSIANN-CDR	GLDAS	NCEP
r2	0.78	0.92	0.9	0.58
RMSE	22.32	15.02	15.80	34.60
NSE	0.77	0.9	0.89	0.45

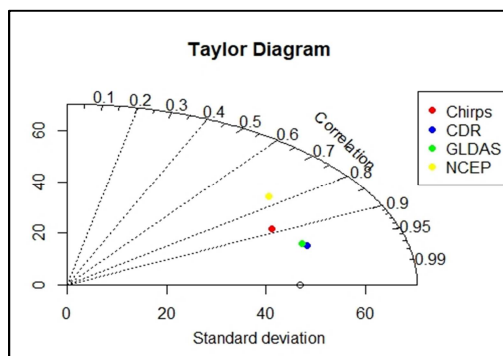


Figure 17. Taylor diagram (After bias correction)

۳.۳. ارزیابی پایگاه داده‌های تبخیر و تعرق واقعی

همان‌طور که اشاره شد، پایگاه‌های GLDAS و GLEAM برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی انتخاب شدند. در شکل (۱۸) نمودارهای تبخیر و تعرق ماهانه متوسط منطقه‌ای حاصل شده از معادله بیلان تورنت وایت و پایگاه‌های داده نشان داده شده است. طبق نمودارها مقادیر تبخیر و تعرق واقعی رابطه بیلان در مقادیر ماکزیمم آن نسبت به پایگاه داده‌ها بیشتر می‌باشد و در نقاط حداقلی مقادیر رابطه بیلان کمتر از پایگاه داده است. خروجی‌های مدل GLEAM و GLDAS به صورت ماهانه با مقادیر حاصل از معادله بیلان تورنت وایت مقایسه شد. ضریب همبستگی در شکل (۱۹) و شاخص‌های ارزیابی در جدول (۵) آورده شده است. بالاترین R^2 و NSE و کمترین RMSE و NSE مربوط به مدل GLEAM می‌باشد.

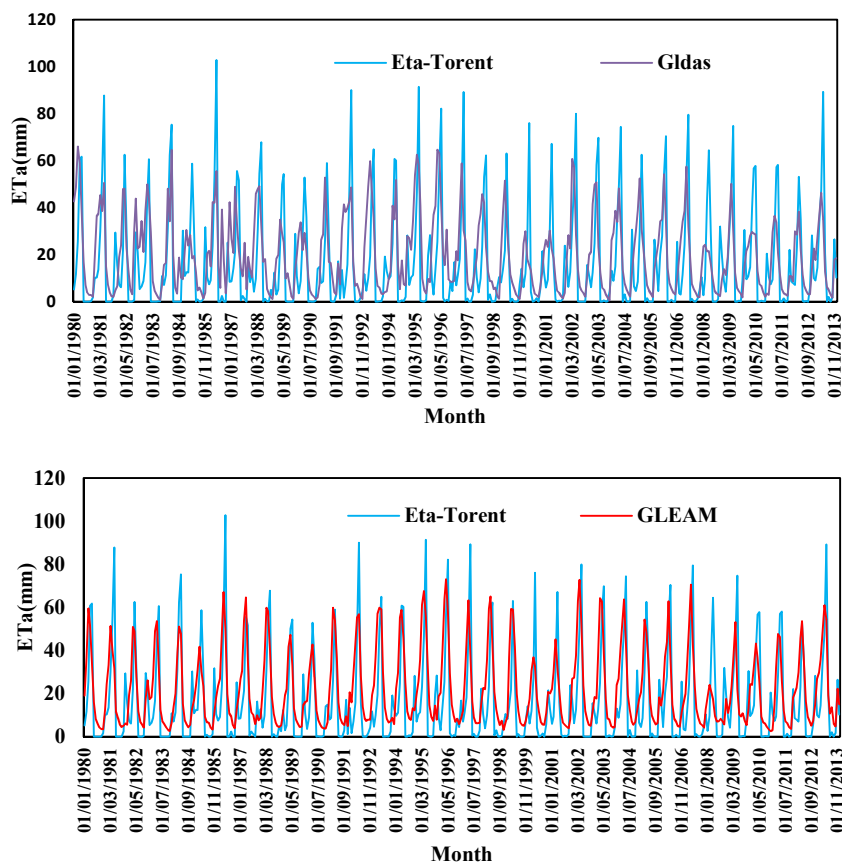


Figure 18. Monthly actual evapotranspiration data from the databases with the Torrent White balance equation (Before bias correction)

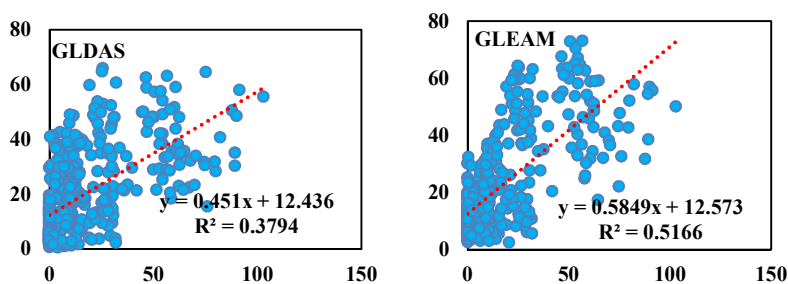


Figure 19. Correlation coefficient observational data with actual evapotranspiration databases (Before bias correction)

Table 5. Values of evaluation indicators (Before bias correction)

Dataset	GLEAM	GLDAS
r2	0.52	0.38
RMSE	16.36	17.70
NSE	0.43	0.34

۴.۳. اطلاع‌رسانی پایگاه‌های تبخیر و تعرق واقعی

با توجه به این‌که در ارزیابی اولیه بین اطلاعات پایگاه‌ها و مشاهداتی اختلافی به‌طور متوسط وجود داشت از روش اصلاح

الگو (Delta Change)، استفاده شد و نتایج آن در نمودارهای شکل (۲۰)، ضریب همبستگی در شکل (۲۱) و شاخص‌های ارزیابی در جدول (۶) آورده شده است. نتایج اصلاح آریبی نشان می‌دهد که وضعیت تمام شاخص‌های آماری بهبود یافته است به نحوی که هم‌چنان مدل GLEAM در تمامی شاخص‌های آماری عملکرد بهتری داشته است.

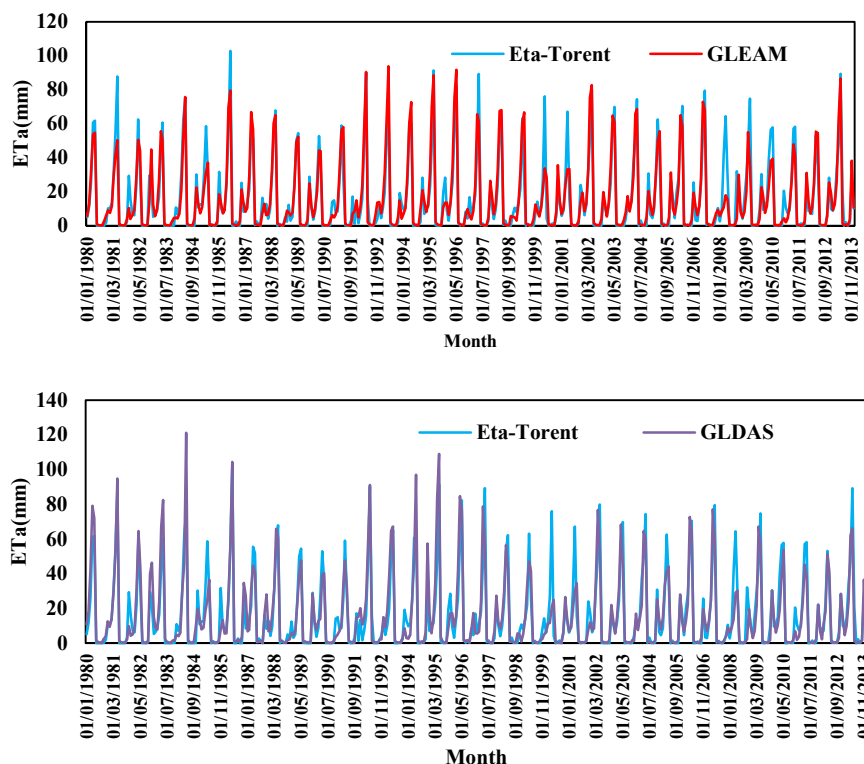


Figure 20. Monthly actual evapotranspiration data from the databases with the Torrent White balance equation (After bias correction)

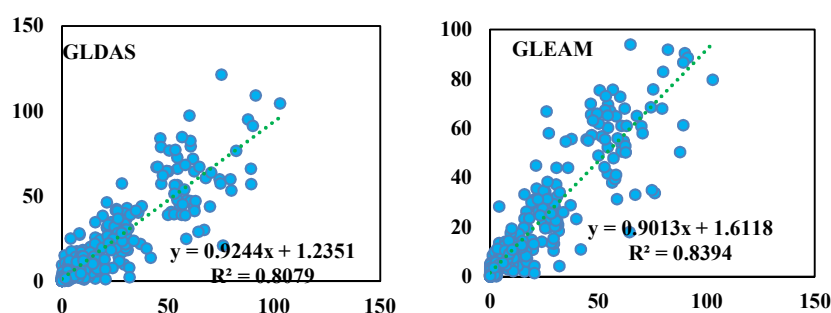


Figure 21. Correlation coefficient observational data with actual evapotranspiration databases (After bias correction)

Table 6. Values of evaluation indicators (After bias correction)

Dataset	GLEAM	GLDAS
r2	0.84	0.81
RMSE	8.86	9.96
NSE	0.83	0.79

۵.۳. تغییرات آب‌زمینی

۵.۳.۱. مقایسه تغییرات سطح آب زیرزمینی حاصل از GRACE و داده‌های مشاهداتی

محصولات ماهواره‌ای اگرچه در حال توسعه هستند اما بدون مقایسه و صحت‌سنجی آن‌ها با داده‌های مشاهداتی نمی‌توان از آن‌ها استفاده کرد. با توجه به این‌که ماهواره GRACE مقدار کل تغییرات ذخیره آب زمینی که شامل تغییرات آب‌های زیرزمینی، رطوبت خاک، آب معادل برف، جریان‌ات پایه، آب‌های سطحی و تراز دریاچه است، پس برای دستیابی به تغییرات آب‌های زیرزمینی پارامترهای مذکور از مقدار تغییرات ذخیره آب حاصل از ماهواره GRACE کسر شد. در این مطالعه برای محاسبه رطوبت خاک، آب معادل برف، جریان‌ات پایه، آب‌های سطحی از داده‌های ماهانه مدل GLDAS با قدرت تفکیک مکانی ۱ درجه استفاده شد. روند تغییرات سطح آب زیرزمینی حاصل از GRACE و داده‌های مشاهداتی برای سال آبی ۱۳۸۱ الی ۱۳۹۵ در شکل (۲۲-ا) نشان داده شده است. طی سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ روند تغییرات آب‌های زیرزمینی کاهش شدید رخ داده است. از سال ۱۳۸۶ تا سال ۱۳۹۰ تغییرات آب‌های زیرزمینی نزولی بوده است و از این دوره به بعد تغییرات به صورت نزولی و در انتها دوره مقدار صعودی بوده است. در شکل (۲۲-ب) نیز می‌توان تغییرات تجمعی تراز آبخوان‌های مشاهداتی و ماهواره GRACE را مشاهده نمود که نشان‌دهنده روند یکسان با مقادیری اختلاف است. نتایج تحلیل‌های آماری داده‌های ماهواره GRACE با داده‌های آبخوان‌های مشاهداتی نشان‌دهنده $R^2=0.52$ ، $RMSE=0.84$ و $NSE=0.47$ برای تغییرات تراز (متر در سال) است (جدول ۷). ضریب همبستگی تغییرات داده‌های آبخوان مشاهداتی و پایگاه داده GRACE در شکل (۲۳) نمایش داده شده است. با توجه به خطاهای موجود در داده‌های GRACE و استفاده مستقیم از آن‌ها در مناطق کوچک باعث ایجاد اختلافاتی با داده‌های مشاهداتی خواهد شد نتایج حاصل شده را می‌توان در حد قابل قبول برای این منطقه استفاده کرد.

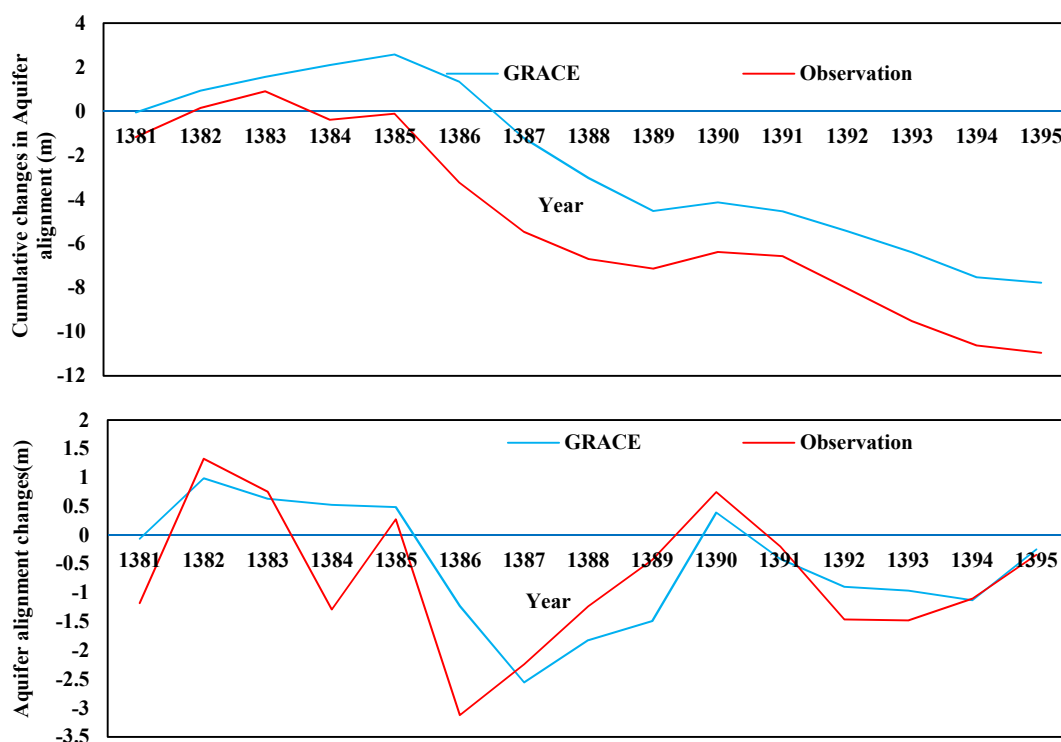


Figure 22. a) Aquifer alignment changes, b) Cumulative changes in Aquifer alignment

Table 7. Values of evaluation indicators

Dataset	r2	RMSE	NSE
GRACE	0.52	0.84	0.47

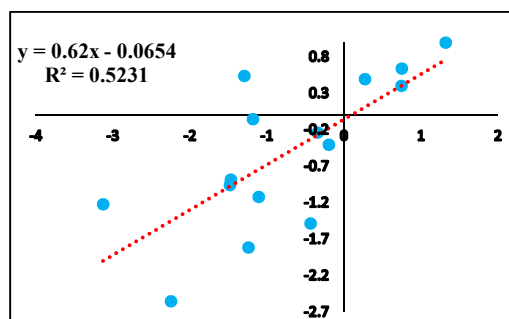


Figure 23. Correlation coefficient of observed groundwater changes with the values obtained from GRACE and GLDAS database

۴. نتیجه گیری

برآورد مؤلفه‌های بیلان آب در مقیاس منطقه‌ای جهت بهبود مدیریت منابع آب، پیش‌بینی‌های اقلیمی و پایش خشکسالی بسیار حائز اهمیت است. با توجه به نقص‌های موجود در داده‌های زمانی و مکانی مؤلفه‌های بیلان استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند جایگزین مناسبی برای داده‌های زمینی قلمداد گردند. در این پژوهش سه مؤلفه بیلان آب در حوضه طشک‌بختگان مورد بررسی قرار گرفت. برای مؤلفه بارش دقت مدل‌های GLDAS، CHRIPS، PERSIANN-CDR و NCEP، مؤلفه تبخیر و تعرق از مدل‌های GLEAM و GLDAS در مقیاس ماهانه و برای تغییرات آب زمینی و تغییرات تراز آب زیرزمینی از GRACE و GLDAS در مقیاس سالانه با داده‌های مشاهداتی مقایسه و ارزیابی شدند. همان‌طور که در جدول (۸) نشان داده شده است. نتایج بیانگر آن است در بین ماهواره‌های مؤلفه بارش، پایگاه داده PERSIANN-CDR در تمامی شاخص‌های آماری در حالت قبل از اصلاح اریبی و بعد از آن عملکرد بهتری نسبت به سایر ماهواره‌ها داشته است و در حالت کلی وضعیت تمامی ماهواره‌های برآورد مؤلفه بارش بعد از اصلاح اریبی بهتر شده است. مقایسه نتایج ارزیابی بارش پایگاه داده‌ها با پژوهش‌های مشابه مانند Eini *et al.* (2018) و Shokri Koochak *et al.* (2020) به ترتیب ماهواره PERSIANN-CDR را برای شبیه‌سازی رواناب مدل SWAT در حوضه دریاچه مهارلو و عملکرد الگوریتم ماهواره و بررسی ناهمواری‌ها بر آن در حوضه حله پرداختند و هاهنگی نسبتاً خوب این ماهواره را با داده‌های مشاهداتی را نشان دادند. از بین دو پایگاه داده‌ای که برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی و ارزیابی مقادیر آن‌ها با داده‌های حاصل از معادله بیلان تورنت وایت به کارگرفته شد، مدل GLEAM توانایی بهتری در برآورد این مؤلفه نسبت به مدل GLDAS داشته است. مقادیر شاخص‌های ارزیابی دو پایگاه داده تبخیر و تعرق واقعی بعد از اصلاح اریبی بهبود چشم‌گیری داشته‌اند. مقایسه نتایج ارزیابی تبخیر-تعرق پایگاه داده‌ها با مطالعات مشابه Yarahmadi *et al.* (2021) و Javadian *et al.* (2018) به ترتیب ماهواره GLEAM را برای بررسی و مقایسه روش‌های برآورد تبخیر و تعرق واقعی در حوضه دریاچه ارومیه و مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق با نتایج حاصل از مدل SWAT حوضه آبریز سد کرخه پرداختند که یافته‌ها نشان از همبستگی بالایی بین ماهواره با الگوریتم SEBAL مدل SWAT داشت. بررسی مقدار تغییرات آب‌زمینی حاصل از GRACE و GLDAS وجود روند یکسان در بین نتایج آن‌ها و داده‌های مشاهداتی آبخوان‌ها را نشان می‌دهد، هرچند مقداری اختلاف بین مقادیر به‌دست‌آمده با آن‌ها دیده می‌شود که علت آن را می‌توان

به قدرت تفکیک مکانی پایین ماهواره GRACE و مساحت کم منطقه مورد مطالعه دانست. Fatolazadeh *et al.* (2016) براساس ماهواره GRACE و GLDAS یک طرح برای ارزیابی تغییرات ذخیره آب‌های زیرزمینی در ایران ارائه کردند و آن‌ها نتایج روش‌های خود در برآورد تغییرات ذخیره آب زمین، با اندازه‌گیری داده‌های چاه‌های پیرومتری در نزدیکی دریاچه ارومیه مقایسه کردند که با نتایج آن‌ها موافقت‌های مطلوب را نشان داد. مقایسه نتایج مطالعه حاضر با مطالعات بیلان انجام‌شده در حوضه مورد مطالعه نیز در جدول (۹) آورده شده است. لازم به ذکر است با توجه به این که گزارش‌های بیلان حوضه آبریز طشک- بختگان در سطح ۲۰ محدوده مطالعاتی ارائه شده است و نتایج حاصل از محصولات ماهواره‌ای براساس متوسط کل منطقه بوده، بنابراین برای مقایسه نتایج، مقادیر مؤلفه‌های بیلان در مطالعات اطلس منابع آب حوضه و به‌هنگام‌سازی طرح جامع آب برای محدوده‌های مطالعاتی تجمیع و به متوسط منطقه‌ای تبدیل شد. دوره مطالعه حاضر سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۸۳، اطلس منابع آب حوضه ۱۹۶۷ تا ۲۰۰۶ و به‌هنگام‌سازی طرح جامع آب ۱۹۶۷ تا ۲۰۱۱ می‌باشد. بر این اساس مؤلفه بارش کم‌ترین اختلاف را با ۱۰/۷ درصد افزایش نسبت به گزارش اطلس منابع آب، مؤلفه تبخیر و تعرق با ۲۲/۲ درصد افزایش مقدار، کم‌ترین اختلاف را نسبت به نتایج گزارش به‌هنگام‌سازی بیلان منابع آب، مؤلفه تغییرات آب‌زمینی نیز براساس نتایج مطالعه حاضر ۰/۰۶ میلیارد مترمکعب حاصل شده که با گزارش نتایج گزارش به‌هنگام‌سازی بیلان منابع آب که مقدار آن صفر بوده است، تطابق بیشتری دارند. لازم به ذکر است بخشی از اختلافات مربوط به تفاوت در دوره آماری می‌باشد. در مجموع نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر نشان‌دهنده قابلیت مناسب داده‌های پایگاه‌های جهانی منتخب برای برآورد سریع و کم‌هزینه مؤلفه‌های بیلان آبی می‌باشد.

Table 8. Final table of database evaluation indicators for water balance components

Study	Current Study	Comprehensive water plan	Water Resources Atlas
Time period	1983-2011	1967-2011	1967-2006
Variable			
Precipitation Volume (mcm/yr)	11.09	9.55	10.01
Actual Evapotranspiration Volume (mcm/yr)	7.26	5.94	5.37
Time period	2002-2011	1967-2011	1967-2006
Variable			
Ground water Change (mcm/yr)	0.06	0.00	-0.32

Table 9. Comparing the results obtained from current study with water resources balance reports

Component	Database	Monthly					
		Before bias correction			After bias correction		
		R ²	RMSE	NSE	R ²	RMSE	NSE
Precipitation	GLDAS	0.85	23.38	0.75	0.90	15.80	0.89
	PERSIANN-CDR	0.91	20.18	0.81	0.92	15.02	0.9
	CHIRPS	0.77	31.15	0.56	0.78	22.32	0.77
	NCEP-NCAR	0.41	44.44	0.10	0.58	34.60	0.45
Actual evapotranspiration	GLDAS	0.38	17.70	0.34	0.81	9.96	0.79
	GLEAM	0.52	16.36	0.43	0.84	8.86	0.83
Groundwater level changes	GRACE	Yearly		Yearly		Yearly	
		R ²	RMSE	R ²	RMSE	NSE	NSE
		0.52	0.84	0.84	0.47	0.47	0.47

۵. پی‌نوشت‌ها

1. The Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks-Climate Data Record
2. Global Land Data Assimilation System
3. Climate Hazards Center Infrared Precipitation with station data
4. National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research
5. Global Land Evaporation Amsterdam Model

6. Gravity Recovery and Climate Experiment
7. Terrestrial Water Storage
9. Terrestrial Water Storage Change

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Abdi, A., Ghahreman, N., & Ghamghami, M. (2020). Evaluation of evapotranspiration estimations of GLEAM model in northern part of Karkhe basin. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(2), 366-378. (In Persian).
- Alnahit, A., Mishra, A., & Khan, A. (2020). Evaluation of high-resolution satellite products for streamflow and water quality assessment in a Southeastern US watershed. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 27. 10.1016/j.ejrh.2019.100660.
- Asadi, M., & Karami, M. (2020). Estimation of evapotranspiration in Fars province using experimental indicators. *JOURNAL OF GEOGRAPHICAL SCIENCES*, 20(56), 159-175. (In Persian).
- Ashrafzade, A., Judaki, G.H., & Sharifi, M. (2015) Iran's groundwater resources assessment using data from the GRACE satellite gravity survey. *Journal of Research Science and Technology Mapping*, 5(4), 73-84. (In Persian).
- Ashouri, H., Hsu, K.L., Sorooshian, S., Braithwaite, D.K., Knapp, K.R., Cecil, L.D., Nelson, B.R., & Prat, O.P. (2015). PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(1), 69-83.
- Banitalebi Dehkordi, M., & Rezaie, H. (2019). Evaluation of renewable water resources of Urmia Lake Basin using GLEAM. *Iran Water Resources Research*, 15(3), 144-154. magiran.com/p2068729. (In Persian).
- Bordi, I., Fraedrich, K., Petitta, M., & Sutera, A. (2006). Large-scale assessment of drought variability based on NCEP/NCAR and ERA-40 Re-Analyses, *Water Resours Manage*, 20, 899- 915.
- Eini, M. R., Javadi, S., Delavar, M., & Darand, M. (2018). Accuracy of PERSIANN-CDR Precipitation Satellite Database in Simulation Assessment of Runoff in SWAT Model on Maharlu Basin. *Physical Geography Research Quarterly*, 50(3), 563-576. doi: 10.22059/jphgr.2018.238898.1007096. (In Persian).
- FAO. (2012). FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). FAO
- Faraji, Z., Kaviani, A., & Ashrafzadeh, A. (2017). Assessment of GRACE satellite data for estimating the groundwater level changes in Qazvin province. *Iranian journal of Ecohydrology*, 4(2), 463-476. doi: 10.22059/ije.2017.61482. (In Persian).
- Farokhnia, A., & Morid, S. (2014). Assessment of GRACE and GLDAS Capabilities for Estimation of Water Balance in Large Scale Areas, a Case Study of Urmia Lake Watershed. *Iran-Water Resources Research*, 10(1), 51-62. (In Persian).
- Fatolazadeh, F., Voosoghi, B., & Naeni, M.R. (2016). Wavelet and Gaussian Approaches for Estimation of Groundwater Variations Using GRACE Data. *Ground Water*, 54(1), 74-81. doi: 10.1111/gwat.12325. Epub 2015 May 11. PMID: 25962402.
- Frappart, F., & Ramillien, G. (2018). Monitoring groundwater storage changes using the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satellite mission: A review. *Remote Sensing*, 10(6), 829, 2018.

- Gao, F., Zhang, Y., Chen, Q., Wang, P., Yang, H., Yao, Y., & Cai, W. (2018). Comparison of two long-term and high-resolution satellite precipitation datasets in Xinjiang, China. *Atmospheric Research*, 212, 150-157.
- Ghorbani, L., Jafari, R., & Bashari, H. (2020). Evaluating the Performance of PERSIANN and PERSIANN-CDR Satellite Products in Precipitation Estimation in Semi-Arid Region of Zagros. *Desert Management*, 7(14), 15-28. doi: 10.22034/jdmal.2020.38472. (In Persian).
- Hafezparast, M. (2021). Monitoring groundwater level changes of Mianrahan aquifer with GRACE satellite data. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15(2), 428-443. (In Persian).
- Hofmann-Wellenhof, B., & Moritz, H. (2006). Physical geodesy. Springer Science & Business Media, 2006.
- Huang, J.L., & Pavlic, G. (2016). Mapping groundwater storage variations with GRACE: A case study in Alberta, Canada. *Hydrogeology Journal*. 24: 1663-1680.
- Iqbal, N., & Hossain, F. (2016). Satellite Gravimetric Estimation of Groundwater Storage Variations Over Indus Basin in Pakistan. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(8), 3524-3534. Doi: 10.1109/JSTARS.2016.2574378.
- Janowiak, J., Gruber, A., Kondragunta, C., Livezey, R., & Huffman, G. (1998). A comparison of the NCEP-NCAR reanalysis precipitation and the GPCP raingauge-satellite combined dataset with observational error consideration. *Journal of Climate*, 11, 2960-2979
- Javadian, M., Kordi, F., & Tajrishi, M. (2018). Comparing different methods of actual evapotranspiration estimation in Urmia Lake Basin. 11th International Congress of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian).
- Jones, P., & Hulme, M. (1996) Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations. *International Journal of Climatology*, 16(4), 361-377
- Joodaki, G., Wahr, J., & Swenson, S. (2014). Estimating the human contribution to groundwater depletion in the Middle East, from GRACE data, land surface models, and well observations. *Water Resources Research*, 50(3), 2679-2692. (In Persian).
- Landerer, F. W., & Swenson, S. C. (2012). Accuracy of scaled GRACE terrestrial water storage estimates. *Water resources research*, 48(4).
- Lo Conti, F., Hsu, K.L., Noto, L.V., & Sorooshian, S. (2014). Evaluation and comparison of satellite precipitation estimates with reference to a local area in the Mediterranean Sea. *Atmos. Res.*, 138, 189-204.
- Ministry of Energy. (2013). Updating the comprehensive water plan of Maharloo-Bakhtegan. Jamab/ (In Persian)
- Miralles, D.G., Holmes, T.R.H., De Jeu, R.A.M., Gash, J.H.C., Meesters, A.G.C.A., & Dolman, A.J. (2011). Global land-surface evaporation estimated from satellite-based observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 453-469.
- Nanteza, J., & Linage, C.R. (2016). Monitoring groundwater storage changes in complex basement aquifers: An evaluation of the GRACE satellites over East Africa. *Water Resources Research*, 52, 9542-9564.
- Nikolopoulos, E.I., Anagnostou, E.N., & Borga, M. (2013). Using high-resolution satellite rainfall products to simulate a major flash flood event in northern Italy. *J. Hydrometeorol.*, 14, 171-185.
- Perry, C. J. (1996). The IIMI water balance framework: a model for project level analysis, No H019241, IWMI Research Reports, International Water Management Institute.
- Rodell, M., & Chen, J.L. (2007). Estimating groundwater storage changes in the Mississippi River basin (USA) using GRACE. *Hydrogeology Journal*, 15, 159-166.
- Rodell, M., Velicogna, I., & Famiglietti, J.S. (2009). Satellite-based estimates of groundwater depletion in India. *Nature*, 460(7258), 999-1002. doi: 10.1038/nature08238. Epub 2009 Aug 12. PMID: 19675570.

- Saghafian, B., KhanAhmadi Bafghi, H., & Daneshkar Arasteh, P. (2021). Forecasting the Area of the Bakhtegan and Tashk Lake Using Remote Sensing and Climatic Factors. *Iran-Water Resources Research*, 17(1), 151-165. (In Persian).
- Swenson, S., Yeh, P. J. F., & Wahr, J. J. Famiglietti. (2006). A comparison of terrestrial water storage variations from GRACE with in situ measurements from Illinois. *Geophysical Research Letters*, 33.
- Shokri Koochak, S., Akhoond Ali, A. M., & Sharifi, M. R. (2020). Performance Assessment of The PERSIANN and PERSIANN-CDR Satellite Precipitation Algorithms and Survey of the Irregularities Effect on It (Case Study: Helleh River Basin). *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(2), 511-527. doi: 10.22059/ije.2020.299034.1301. (In Persian).
- Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S., & Hsu, K.-L. (2018). A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, 56, 79-107.
- Swenson, S., & Wahr, J. (2002). Methods for inferring regional surface mass anomalies from GRACE measurements of time-variable gravity. *J. Geophys. Res.*, 107(B9), 2193, doi: 10.1029/2001JB000576.
- Tapley, B. D., Bettadpur, S., Watkins, M., & Reigber, C. (2004). The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results. *Geophysical Research Letters*, 31(9).
- Wegchenkel, M. (2003). Long term evaluation of land use changes on catchment water balance area study form North-East Germany. *Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C*, 28(33-36).
- Xiao, R.Y., & He, X.F. (2015). Monitoring Groundwater Variations from Satellite Gravimetric and Hydrological Models: A Comparison with in-situ Measurements in the Mid-Atlantic Region of the United States. *Remote Sens*, 7, 686-703.
- Yang, X., Yong, B., Ren, L., Zhang, Y., & Long, D. (2017). Multi-scale validation of GLEAM evapotranspiration products over China via ChinaFLUX ET measurements. *International Journal of Remote Sensing*, 38(20), 5688-5709.
- Yarahmadi, J., Shamsoddini, A., mirlatifi, S., & Delavar, M. (2021). Use of Ensemble Methods for Improving Accuracy of Remotely Sensed-derived Actual Evapotranspiration of Global Databases Case Study: (Karkheh Dam Watershed). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 10(3), 47-66. (In Persian).
- zangenehinanlu, M., Ghahraman, B., & Faridhosseini, A. (2018). Comparison of observed rainfall and satellite rainfall data PERSIANN and CMORPH-interpolation methods in hourly and daily scale. (case study: Shopoor basin). *Iran-Water Resources Research*, 14(4), 1-12. (In Persian).
- Duan, Z., Liu, J., Tuo, Y., Chiogna, G., & Disse, M. (2016). Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. *Science of the Total Environment*, 573, 1536-1553. ISSN 0048-9697.