

Using of CRU and GPCC data base in the analysis of long-term droughts in the Urmia Lake basin

Marzie Sadeghian Aghkandi¹, Hossein Rezaie^{*2}, Keivan Khalili³,
Farshad Ahmadi⁴

1. Ph.D. Student, Dept. of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: m.sadeghian@urmia.ac.ir
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: h.rezaie@urmia.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: k.khalili@urmia.ac.ir
4. Assistant Prof., Dept. of Hydrology and Water Resource, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. E-mail: f.ahmadi@scu.ac.ir

| Article Info | ABSTRACT |
|--|--|
| <p>Article type: Research Full Paper</p> <p>Article history: Received: 06.12.2023 Revised: 09.11.2023 Accepted: 11.19.2023</p> <p>Keywords: Bias Correction, Meteorological database, Meteorological drought, RDI index</p> | <p>Background and Objectives: Drought is a natural event that faces many countries with water shortage every year. Arid and semi-arid climate and improper distribution of rainfall in terms of space and time have increased the negative effect of water resources in Iran. In the present study, the meteorological drought condition of the Urmia Lake catchment was investigated using network data of precipitation, temperature and evapotranspiration in 10 synoptic stations from 1955 to 2019. For this purpose, the performance of network data of CRU (Climatic Research Unit) and GPCC (Global Precipitation Climatology Center) in estimating climatic parameters using ground data was evaluated. Then, network data was used to calculate RDI (Reconnaissance Drought Index) and drought monitoring was observed and analyzed during the statistical period study.</p> <p>Materials and Methods: The watershed of Urmia Lake is located in the northwest of Iran in the provinces of West and East Azerbaijan and Kurdistan, and its western border is the heights of Iran and Turkey. In the present research, at first, by referring to the Meteorological Organization of the Iran, the rainfall and temperature data of the studied stations were received and processed during a period of 65 years (1955-2019). Then, in order to introduce and use network data for places and times without statistics, from monthly precipitation data GPCC and (minimum, average and maximum) temperature components of CRU was used for 10 selected synoptic stations of Urmia Lake basin during the statistical period. In order to analyze the long-term drought and calculate the RDI index, the data of precipitation, temperature and evapotranspiration obtained from the network data were used.</p> <p>Results: In this study, two general approaches were used to calibrate the data used. The first is that all ground data extracted from meteorological stations are drawn in against the network data and a regression relationship is fitted to them. In the second, the monthly changes of the network data are taken into consideration and the calibration is done for each month separately. Therefore, monthly recalibration was done in all stations for the available data and the results showed that the calculation error in the CRU</p> |

data for temperature and evapotranspiration was much smaller and the temperature data values were able to estimate evapotranspiration with less error and better performance. For example, in Urmia station for ETo estimation, the value of the RMSE evaluation index between ground and CRU data is 0.918 mm/ day. While after calibration, this value decreased to 0.671 mm/day. This process of reducing the error between ground data and CRU has been repeated in all the stations studied. In Piranshahr and Saqez stations, the estimation of reference evapotranspiration was associated with more error than other stations. So that the MAE standard in the mentioned stations before calibration was 1.087 and 0.965 mm/day, respectively, and after calibration, this index decreased to 0.309 and 0.467 mm/day. In this section, in addition to statistical indicators, a violin chart was also used to show the data distribution. In general, it can be concluded that the climate data obtained from the CRU and GPCC databases show a good agreement with the time values, but the bias correction in them should always be considered.

Conclusion: The analysis of droughts in the catchment area of Lake Urmia indicates that from 1998 to 2019, RDI has more negative values, which indicates severe drought, and in other words, human activities and climatic conditions in the region with It faces a crisis. The results of the present study show the appropriate performance of CRU and GPCC network data in estimating hydrological parameters and it is recommended to use the above databases in areas where long-term ground data is not available.

Cite this article: Sadeghian Aghkandi, Marzie, Rezaie, Hossein, Khalili, Keivan, Ahmadi, Farshad. 2023. Using of CRU and GPCC data base in the analysis of long-term droughts in the Urmia Lake basin. *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (3), 107-125.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2024.21431.3654

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

کاربرد داده‌های شبکه‌ای CRU و GPCC در تحلیل خشک‌سالی‌های بلندمدت حوزه آبخیز دریاچه ارومیه

مرضیه صادقیان آقکندی^۱، حسین رضایی^{۲*}، کیوان خلیلی^۳، فرشاد احمدی^۴

۱. دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: m.sadeghian@urmia.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: h.rezaie@urmia.ac.ir
۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: k.khalili@urmia.ac.ir
۴. استادیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران. رایانامه: f.ahmadi@scu.ac.ir

| چکیده | اطلاعات مقاله |
|---|--|
| <p>سابقه و هدف: خشک‌سالی رویداد طبیعی است که هر ساله کشورهای زیادی را با کمبود آب مواجه می‌کند. اقلیم خشک و نیمه‌خشک و توزیع نامناسب بارندگی از نظر مکانی و زمانی سبب افزایش اثر منفی کمبود منابع آب در کشور ایران شده است. در پژوهش حاضر وضعیت خشک‌سالی هواشناسی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های شبکه‌ای بارش، دما و تبخیر و تعرق مرجع در ۱۰ ایستگاه سینوپتیک از سال ۱۹۵۵ الی ۲۰۱۹ مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا عملکرد داده‌های شبکه‌ای CRU (Climatic Research Unit) و GPCC (Global Precipitation Climatology Center) در برآورد پارامترهای اقلیمی با استفاده از داده‌های زمینی ارزیابی شد. سپس از داده‌های شبکه‌ای جهت محاسبه شاخص شناسایی خشک‌سالی RDI (Reconnaissance Drought Index) استفاده گردید و پایش خشک‌سالی طی دوره آماری مورد مطالعه مشاهده و مورد بررسی قرار گرفت.</p> | <p>نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۰۲/۰۳/۲۲ تاریخ ویرایش: ۰۲/۰۶/۲۰ تاریخ پذیرش: ۰۲/۰۸/۲۸</p> <p>واژه‌های کلیدی: اصلاح اریبی، پایگاه اطلاعاتی داده‌های هواشناسی، خشک‌سالی هواشناسی، شاخص RDI</p> |
| <p>مواد و روش‌ها: حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران در استان‌های آذربایجان غربی، شرقی و کردستان قرار گرفته و مرز غربی آن ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه است. در پژوهش حاضر در ابتدا با مراجعه به سازمان هواشناسی کشور داده‌های بارش و دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه طی یک دوره ۶۵ ساله (۱۹۵۵-۲۰۱۹) دریافت و پردازش شد. سپس جهت معرفی و استفاده از داده‌های شبکه‌ای برای مکان و زمان‌های فاقد آمار، از داده‌های بارش ماهانه GPCC و مؤلفه‌های (حداقل، متوسط و حداکثر) دمایی CRU، برای ۱۰ ایستگاه همدیدی</p> | |

منتخب حوزه دریاچه ارومیه در طی دوره آماری استفاده شد. جهت تحلیل خشک‌سالی بلندمدت و محاسبه شاخص RDI از داده‌های بارش، دما و تبخیر و تعرق حاصل از داده‌های شبکه‌ای استفاده گردید.

یافته‌ها: در مطالعه حاضر برای واسنجی داده‌های مورد استفاده از دو رویکرد کلی استفاده شد. رویکرد اول عبارت است از این‌که همه داده‌های زمینی مستخرج از ایستگاه‌های هواشناسی به ترتیب زمانی در مقابل داده‌های شبکه‌ای ترسیم شده و یک رابطه رگرسیونی به آن‌ها برازش داده می‌شود. در رویکرد دوم به تغییرات ماهانه داده‌های شبکه‌ای توجه شده و واسنجی برای هرماه به صورت جداگانه انجام می‌شود. از این رو واسنجی ماهانه در همه ایستگاه‌ها برای داده‌های موجود انجام شد و نتایج نشان داد که خطای محاسباتی در داده‌های CRU برای دما و تبخیر و تعرق به مراتب کوچک‌تر بوده و توانسته است مقادیر داده‌های دما و تبخیر و تعرق را با خطای کم‌تر و عملکرد بهتر برآورد نماید. به عنوان مثال در ایستگاه ارومیه برای تخمین ETo، مقدار شاخص ارزیابی RMSE بین داده‌های زمینی و شبکه‌ای CRU، ۰/۹۱۸ میلی‌متر در روز است. در حالی که بعد از واسنجی این مقدار به ۰/۶۷۱ میلی‌متر در روز کاهش یافت. این روند کاهش خطا بین داده‌های زمینی و شبکه‌ای CRU در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز تکرار شده است. در ایستگاه‌های پیرانشهر و سقز برآورد تبخیر و تعرق مرجع با خطای بیش‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌ها همراه بود. به طوری که معیار MAE در ایستگاه‌های مذکور قبل از واسنجی به ترتیب ۱/۰۸۷ و ۰/۹۶۵ میلی‌متر در روز بوده و بعد از عمل واسنجی این شاخص به مقدار ۰/۳۰۹ و ۰/۴۶۷ میلی‌متر در روز کاهش یافته است. در این بخش علاوه بر شاخص‌های آماری از نمودار ویولنی برای نشان دادن توزیع داده‌ها نیز بهره گرفته شد. به طوری که می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های اقلیمی به دست آمده از پایگاه‌های اطلاعاتی CRU و GPCP مطابقت خوبی با مقادیر زمانی نشان می‌دهند اما اصلاح آریبی موجود در آن‌ها همواره باید مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری: تحلیل خشک‌سالی‌های حوزه آبخیز دریاچه ارومیه بیانگر آن است که از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ شاخص RDI مقادیر منفی‌تری را به خود اختصاص داده که خشک‌سالی شدید را نشان می‌دهد و به عبارتی فعالیت‌های انسانی و شرایط اقلیمی را در منطقه با بحران مواجه می‌کند. نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده عملکرد مناسب داده‌های شبکه‌ای CRU و GPCP در برآورد پارامترهای هیدرولوژیک بوده و توصیه می‌گردد در مناطقی که داده‌های ثبت شده زمینی طولانی مدت در دسترس نیست از پایگاه‌های اطلاعاتی فوق استفاده شود.

استناد: صادقان آق‌کندی، مرضیه، رضایی، حسین، خلیلی، کیوان، احمدی، فرشاد (۱۴۰۲). کاربرد داده‌های شبکه‌ای CRU و GPCP در تحلیل خشک‌سالی‌های بلندمدت حوزه آبخیز دریاچه ارومیه. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳۰ (۳)، ۱۲۵-۱۰۷.

DOI: 10.22069/jwsc.2024.21431.3654



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

امروزه پدیده تغییر اقلیم از جمله چالش‌هایی است که در جهان مورد توجه قرار گرفته است. خشک‌سالی نیز از مخاطرات طبیعی شناخته شده و بخش جدایی‌ناپذیر تغییرات اقلیمی است و پدیده‌های حدی مانند خشک‌سالی بیش از سایر پدیده‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار می‌گیرند (۱). کاهش بارندگی و افزایش دما هر یک به تنهایی و یا به کمک هم می‌توانند موجب خشک‌سالی شوند (۲). خشک‌سالی موجب کاهش سریع جریان‌های سطحی، افت مخازن زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی خاک، تغییر کیفیت منابع آب و خاک، افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و نشست زمین می‌شود. از این رو، برای کاهش آثار این پدیده و مدیریت خطر آن، ارزیابی خشک‌سالی و تداوم دوره‌های آن ضروری است (۳). تاکنون شاخص‌های متعددی توسط پژوهش‌گران مختلف برای بررسی خشک‌سالی در دنیا معرفی و استفاده شده‌اند، شاخص پالمر، ذخیره آب سطحی، درصد نرمال، دهک‌ها، بارش استاندارد، رطوبت محصول، رطوبت خاک، محصول ویژه، بارش سراسری، ناهنجاری بارش، خشک‌سالی احيایی و بارش مؤثر از جمله این شاخص‌ها هستند که توسط افراد مختلف ارائه شده‌اند. در سالیان اخیر، شاخص‌های جدیدی مانند شاخص شناسایی خشک‌سالی یا *Reconnaissance Drought Index* (RDI) استفاده شده است. شاخص RDI در ایران و جهان سابقه طولانی ندارد و ارائه آن مربوط به سال ۲۰۰۴ است (۴). محاسبه RDI براساس دو فراسنج بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل بوده و در مطالعات انجام شده اعتبار آن در پایش خشک‌سالی‌ها مورد تأیید قرار گرفته است (۴). احمدزاده و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از شاخص RDI به تحلیل منطقه‌ای خشک‌سالی هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز آجی‌چای

پرداختند (۵). برای تحلیل منطقه‌ای خشک‌سالی هیدرولوژیکی ابتدا برای هر یک ایستگاه‌های آب‌سنجی حوزه سری زمانی شاخص خشک‌سالی جریان (SDI) به صورت ماهانه محاسبه شد. سپس برای هر یک از این مناطق سری زمانی RDI محاسبه و شدت خشک‌سالی و ترسالی در مناطق تعیین شده را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند در تمام ایستگاه‌ها مجموع درصد وقوع خشک‌سالی از مجموع درصد وقوع ترسالی بیش‌تر است طوری که این نسبت بیش از دو برابر است (۵). در پژوهش‌های دیگر نیز شاخص RDI در نقاط مختلف جهان برای تحلیل خشک‌سالی‌ها کاربردی شده و کارایی آن مورد تأیید قرار گرفته است (۶ و ۷).

دسترسی به داده‌ها و اطلاعات کافی و صحیح، نخستین گام در انجام مطالعات مهندسی و بهره‌برداری از منابع آب برای تأمین نیازهای مختلف انسانی است. اطلاعات و داده‌های موجود از اندازه‌گیری ایستگاه‌های همدیدی به دست آمده و زیربنای طیف گسترده‌ای از برنامه‌ها و مطالعات کاربردی در علوم مختلف محیطی به ویژه آب و هواشناسی و مسائل مربوط به آن است (۸). در حال حاضر به دلیل عدم دیدبانی و مشکوک بودن بخشی از داده‌ها (گسسته و پیوسته)، خلأهای فراوانی در داده‌ها دیده می‌شود. در همین راستا امروزه مراکز مهمی هم‌چون ناسا (NASA) و نوآ (NOAA) با استفاده از ابزارهای مختلف (سنجنده‌ها، مشاهدات میدانی، داده‌های ایستگاهی، داده‌های تاریخی و غیره) حجم قابل توجهی از داده‌های آب و هوایی را در مقیاس جهانی و منطقه‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی متفاوت در دسترس کاربران قرار داده‌اند (۹). علاوه بر این طی دهه‌های اخیر، مراکز دانشگاهی، ملی و بین‌المللی (CRU، GLDAS، ECMWF، GPCC) در راستای مطالعه تغییرات آب

مطالعه علمی خشک‌سالی زمينه‌ای برای کاهش اثرات این پدیده اقلیمی فراهم می‌کند. بررسی خشک‌سالی در حوزه دریاچه ارومیه، به‌خصوص براساس شاخص‌های چندمتغیره مانند RDI که علاوه بر بارش از دیگر پارامترهای اقلیمی برای برآورد خشک‌سالی استفاده می‌کند بسیار ضروری و دارای اهمیت است. در پژوهش حاضر برای برآورد شاخص شناسایی خشک‌سالی (RDI) از داده‌های شبکه‌ای و زمینی بارش، دما و تبخیر و تعرق استفاده شد. داده‌های لازم از ایستگاه‌های سینوپتیک تهیه و با آمار GPCP و CRU مورد ارزیابی و واسنجی قرار گرفت. پس از ارزیابی، به‌منظور تطویل دوره آماری از داده‌های شبکه‌ای و واسنجی شده در بازه زمانی ۱۹۵۵ تا ۲۰۱۹ استفاده و خشک‌سالی‌ها براساس شاخص RDI در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه پایش گردید.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در شمال‌غربی ایران با مختصات ۴۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و ۴۱ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی در استان‌های آذربایجان‌غربی، آذربایجان‌شرقی و کردستان قرار گرفته و مرز غربی آن ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه است. بلندترین ارتفاعات این حوزه شامل سبلان به ارتفاع ۴۸۱۱ متر و سهند به ارتفاع ۳۷۰۷ متر بوده و پایین‌ترین نقطه حوزه، دریاچه ارومیه به ارتفاع متوسط ۱۲۸۰ متر است. حوزه آبخیز دریاچه ارومیه یکی از حوزه‌های بسته ایران بوده و در تقسیم‌بندی حوزه‌های آبخیز ایران، حوزه اصلی به شمار می‌رود و مساحت آن، ۵۱۸۰۱ کیلومتر مربع می‌باشد (شرکت مدیریت منابع ایران، ۱۳۹۶). دریاچه ارومیه با طول ۱۳۰ کیلومتر آب ارتفاعات اطراف را به‌سوی خود جلب می‌کند (۱۵). میانگین دمای هوا ۱۲ درجه سلسیوس و متوسط بارندگی

و هوایی شبکه‌ای داده‌های آب و هوایی را تولید و گسترش داده‌اند. این داده‌ها به‌طور معمول از درون‌یابی مشاهدات نامنظم فضایی حاصل می‌شوند و از جهات مختلف دارای اهمیت هستند (۱۰). فو و همکاران (۲۰۱۶) با ارزیابی هفت پایگاه داده بارش از جمله GPCP، GPCP، NCEP، CMAP در ۱۰ حوزه آبخیز اصلی چین طی دوره ۱۹۸۰ الی ۲۰۰۷، بیان کردند که داده‌های GPCP بالاترین همبستگی را با باران‌سنج‌ها داشته و مقدار خطای آن در همه حوزه‌های مورد مطالعه کم‌ترین است (۱۱). احمدی و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به ارزیابی آماری داده‌های بارش NCEP-NCAR، CMAP، GPCP، GPCP با داده‌های مشاهده‌ای در استان‌های البرز، قزوین، زنجان، کردستان و همدان پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که GPCP و GPCP نتیجه بهتری را ارائه می‌کند (۱۲). پژوهش دیگری در ایران برای ارزیابی آماری داده‌های شبکه‌ای بارش و دما با داده‌های مشاهده‌ای صورت گرفت. برای این منظور داده‌های ماهانه بارش GPCP مؤلفه‌های دمایی و بارش CRU با قدرت تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه طول جغرافیایی به همراه داده‌های ایستگاه‌های همدیدی دریافت و پردازش شد. نتایج ارزیابی نشان داد دقت بارش برآوردی توسط GPCP در تمامی مناطق ایران و مؤلفه‌های دمایی CRU از دقت و اعتبار بسیار بالایی برخوردارند (۱۳). اربابی سبزواری (۲۰۲۱) پایش فصلی خشک‌سالی در کشور ایران را با استفاده از داده‌های شبکه‌ای CRU انجام و نشان داد که طی دوره ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۵ بارش دوره‌های سرد سال روند کاهشی دارد. از نظر مکانی نیز جنوب و جنوب‌شرق ایران با فراوانی و تداوم بالای خشک‌سالی از شدت‌های مختلفی برخوردار می‌باشد (۱۴). با توجه به معضلات و خساراتی که خشک‌سالی به‌ویژه در دهه‌های اخیر برای کشور ایجاد کرده است،

شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه معتدل میانه با زمستان سرد و تابستان معتدل گرم می‌باشد. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

حوزه حدود ۳۵۰ میلی‌متر می‌باشد که منشأ اصلی آن، جریان‌های مدیترانه‌ای است. بخشی وسیعی از حوزه مورد مطالعه را دشت‌های سرسبز فراگرفته که ارتفاع آن‌ها از سطح دریا بین ۱۲۸۰ تا ۲۰۰۰ متر است.

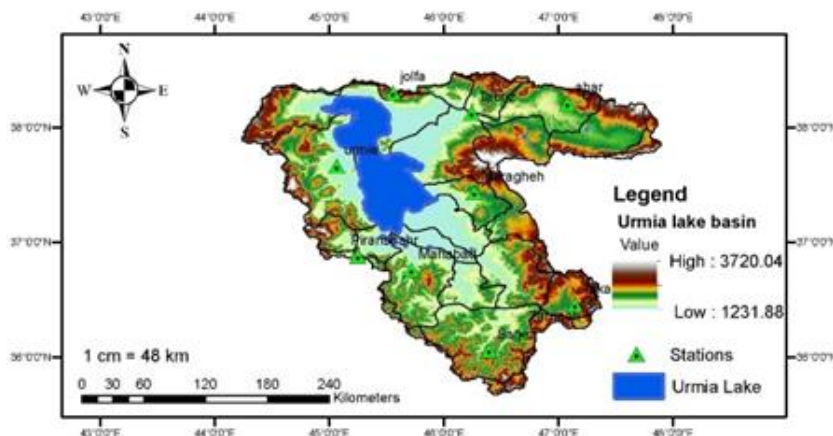


Figure 1. The location of the studied area and the boundary of Urmia lake basin.

فراسنج‌های دمایی ایستگاه‌های مورد مطالعه دریافت و پردازش شد. داده‌های شبکه‌بندی شده به همراه فراسنج‌های دمایی CRU و داده‌های بارش GPCC با تفکیک مکانی 0.5×0.5 درجه جغرافیایی از تارنماهای مربوطه دریافت و مورد استفاده قرار گرفتند. جدول ۱ اطلاعات ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در پژوهش حاضر از داده‌های بارش ماهانه (Global Precipitation Climatology Center) GPCC و مؤلفه‌های (حدافل، متوسط و حداکثر) دمایی CRU (Climatic Research Unit)، به همراه داده‌های بارش و دمای ماهانه ۱۰ ایستگاه همدیدی منتخب حوزه دریاچه ارومیه طی یک دوره ۶۵ ساله (۱۹۵۵-۲۰۱۹) استفاده شده است. در ابتدا با مراجعه به سازمان هواشناسی کشور داده‌های بارش و

Table 1. Geographical characteristics of the studied stations.

| Province | Station | Height above sea level (m) | latitude (°N) | Longitude (°E) | Longitude of satellite (°E) | Latitude of satellite (°N) |
|-----------------|------------|----------------------------|---------------|----------------|-----------------------------|----------------------------|
| West Azarbaijan | Urmia | 1315.9 | 37.66 | 45.06 | 45.25 | 37.75 |
| West Azarbaijan | Piranshahr | 1443.5 | 36.69 | 45.147 | 45.25 | 36.75 |
| West Azarbaijan | Takab | 1817.2 | 36.39 | 47.098 | 47.25 | 36.25 |
| West Azarbaijan | Zarineh | 2142.6 | 36.07 | 46.29 | 46.75 | 36.25 |
| West Azarbaijan | Mahabd | 1351.8 | 36.75 | 45.157 | 45.75 | 36.75 |
| East Azarbaijan | Ahar | 1390.5 | 38.43 | 47.067 | 47.25 | 38.25 |
| East Azarbaijan | Tbriz | 1361 | 38.12 | 46.242 | 46.25 | 38.25 |
| East Azarbaijan | Jolfa | 736.2 | 38.93 | 45.6 | 45.75 | 38.75 |
| East Azarbaijan | Maragheh | 1344 | 37.34 | 46.146 | 46.25 | 37.25 |
| Kurdistan | Saqez | 1522.8 | 36.22 | 46.31 | 46.25 | 36.25 |

چگونگی درون‌یابی به‌طور کامل توسط نیو و همکاران (۱۹۹۹) تشریح شده است (۱۷).

تاکنون پژوهش‌های متعددی در ارتباط با پایگاه داده پایگاه داده‌های بارش GPCC در سطح کشور انجام شده است. داده‌های GPCC که با درون‌یابی داده‌های ماهانه بارش ایستگاه‌های زمینی سرتاسر کره زمین (۷۰۰۰ تا ۸۰۰۰ ایستگاه هم‌مدیدی و کلیماتولوژی) تولید می‌شوند نیز در سه تفکیک مکانی $2/5 \times 2/5$ ، 1×1 و $0/5 \times 0/5$ درجه جغرافیایی هر دو سال یک‌بار به‌روز و به‌صورت رایگان در اختیار پژوهش‌گران جهان قرار می‌گیرد. این داده‌ها از سال ۱۹۰۱ به بعد را پوشش می‌دهد. در تولید این داده‌ها کوشش می‌شود تا از حداکثر ایستگاه‌های ممکن که از کیفیت لازم برخوردار هستند استفاده شود. علاوه بر این، GPCC از بسیاری از منابع اطلاعاتی دیگر مانند؛ داده‌های تاریخی آب و هوایی (GHNC) داده‌های سازمان غذا و کشاورزی (FAO) و داده‌های بارش واحد تحقیقات آب و هوایی دانشگاه ایست آنجلیا در شهر نوریدج انگلستان (CRU) برای افزایش کیفیت داده‌های بارش تولیدی خود استفاده می‌کند تا داده‌های تولید شده هرچه بیش‌تر با بارش نقاط مورد پیش‌بینی همخوانی داشته باشد (۱۳ و ۱۸).

شاخص شناسایی خشک‌سالی RDI را می‌توان شاخص خشک‌سالی هواشناسی دانست. در پژوهش حاضر از شکل استاندارد شده این شاخص بهره‌گیری شد. مقدار اولیه شاخص (α_k) به‌صورت تجمعی و برای هر بازه زمانی قابل‌تعریف است. مقدار این شاخص برای سال i و بازه زمانی ماهانه از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$\alpha_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k PET_{ij}}, i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

$$RDI_{st}^{(i)} = \frac{y^{(i)} - \bar{y}}{\delta_y} \quad (2)$$

واحد تحقیقات آب و هوایی (CRU)، وابسته به دانشگاه شرق آنجلیا یکی از مؤسسات پیشرو در زمینه مطالعه تغییرات طبیعی و انسانی آب‌وهوا است که به تهیه مجموعه داده‌های آب و هوایی با تفکیک‌های مختلف می‌پردازد (۸). این مؤسسه مجموعه داده‌های سری زمانی از سال ۱۹۰۱ الی ۲۰۱۹ (نسخه فعلی) با قدرت تفکیک مکانی $0/5 \times 0/5$ درجه جغرافیایی در تمام خشکی‌های سطح زمین (به‌جز قطب جنوب) را پوشش می‌دهد. این مجموعه داده‌ها شامل شش متغیر آب و هوایی مستقل از جمله؛ دمای متوسط، دامنه دمای روزانه، بارش، تعداد روزهای بارانی، فشار بخار آب و پوشش ابر است. متغیرهای ثانویه (فراوانی روزهای یخبندان، تبخیر و تعرق پتانسیل) نیز از شش متغیر اولیه با استفاده از فرمول‌های شناخته‌شده مانند پنمن-مونتیث برآورد می‌شود و این مجموعه داده مستقیماً از داده‌های بازبینی شده بیش از ۴۰۰۰ ایستگاه‌های زمینی در خشکی‌ها به دست می‌آید (۱۵ و ۱۶). منبع این داده‌ها در مقیاس جهانی عبارت‌اند از: داده‌های ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی وابسته به سازمان هواشناسی جهانی، داده‌های ماهانه آب‌وهوا جهانی تهیه‌شده توسط مرکز ملی داده‌های آب و هوایی ایالات متحد (NCDC) داده‌های دهه‌ای رکوردهای جهانی هوا (WWE) که بین سرویس‌های ملی هواشناسی و NCDC ردوبدل می‌شود. علاوه بر ترکیب سامانمند داده‌های ذکر شده، از اطلاعات و داده‌های دیگری که حاصل تبادل با سایر دانشمندان و مؤسسات آب و هوایی است (مانند سازمان هواشناسی استرالیا و کانادا) و در قالب سری داده‌های آب و هوایی منتشر می‌شود، نیز استفاده می‌گردد. این مجموعه داده به‌طور خاص همگن نیست، زیرا بسیاری از مشاهدات اغلب توسط سازمان‌های ملی هواشناسی قبل از انتشار همگن می‌شوند (۱۵). برای تبدیل شبکه نامنظم داده‌ها به شبکه منظم نیز از روش‌های درون‌یابی به‌ویژه Thin-plate splines استفاده می‌شود که جزئیات

به منظور محاسبه شاخص RDI به داده‌های تبخیر و تعرق نیاز است؛ که در این پژوهش از روش پنمن-مانتیت فائو برای محاسبه آن استفاده شده است. طبقه‌بندی خشکسالی با توجه به شاخص خشکسالی مؤثر در جدول ۲ ارائه شده است.

که در آن، P_{ij} و PET_{ij} به ترتیب بارندگی و تبخیر و تعرق در ماه j از سال i و N تعداد سال آماری در دسترس می‌باشد. رابطه ۲ شکل اولیه محاسبه RDI است؛ که در آن، $y^{(i)}$ در واقع $\ln(\alpha_k^{(i)})$ و \bar{y} میانگین بارش درازمدت ایستگاه و $\hat{\sigma}_y$ انحراف معیار بارش هستند.

Table 2. Drought classification using RDI index (5).

| RDI Values | Category |
|----------------------|---------------------|
| $RDI \geq 2$ | Very severe wet |
| $1.5 \leq RDI < 2$ | Severe wet |
| $1 \leq RDI < 1.5$ | Moderate wet |
| $0 \leq RDI < 1$ | Mild wet |
| $-1 \leq RDI < 0$ | Mild drought |
| $-1.5 \leq RDI < -1$ | Moderate drought |
| $-2 \leq RDI < -1.5$ | Severe drought |
| $RDI < -2$ | Very severe drought |

تبخیر و تعرق مرجع به دست آمده از CRU، T^{obs} و P^{obs} متوسط a, b, c, d, e, f ضرایب معادله، بارندگی و دمای مشاهده‌ای ایستگاه‌های اقلیمی و T^{est} و P^{est} متوسط بارندگی (حاصل از CRU و GPCC) و دمای (حاصل از CRU) شبکه‌ای می‌باشد. قضاوت‌های کیفی در مورد کاربرد هر سری داده موضوعی است که در ارزیابی داده‌ها مدنظر قرار می‌گیرد. این معیارها روش هدفمند را برای ارزیابی عملکرد داده‌ها ارائه می‌کنند. در این مطالعه از شاخص‌های آماری ضریب تشخیص (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، آماره کلینگ-گوپتا (KGE) به منظور بررسی و ارزیابی عملکرد داده‌های زمینی و شبکه‌ای، استفاده شد. شاخص‌های مذکور با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند:

برای ارزیابی و واسنجی در پژوهش حاضر برای محاسبه شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) از داده‌های بارش، تبخیر-تعرق و دما در ۱۰ ایستگاه حوزه دریاچه ارومیه استفاده شد. تبخیر و تعرق مرجع برای هر ایستگاه از رابطه پنمن-مانتیت-فائو محاسبه گردید. در گام بعد داده‌های حاصل از CRU و GPCC برای واسنجی و ارزیابی با داده‌های زمینی مورد مقایسه قرار گرفت. واسنجی داده‌های شبکه‌ای با استفاده از معادلات زیر انجام پذیرفت:

$$ET_0^{PMF} = b + aET_0^{est}$$

$$P^{obs} = d + cP^{est} \quad (3)$$

$$T^{obs} = f + eT^{est}$$

در روابط فوق، ET_0^{PMF} مقدار تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده با روش پنمن-مانتیت-فائو، ET_0^{est}

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Y^{obs} - Y^{est})^2}{n}} \quad (4)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y^{obs} - Y^{est}| \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{\sum(Y^{obs} - \bar{Y}^{obs})(Y^{est} - \bar{Y}^{est})}{\sqrt{\sum(Y^{obs} - \bar{Y}^{obs})^2 \sum(Y^{est} - \bar{Y}^{est})^2}} \quad (6)$$

$$KGE = 1 - \sqrt{(CC - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2} \quad (7)$$

تشخیص (R^2) برای مقایسه و ارزیابی دقت داده‌های CRU و GPCC در مقابل داده‌های بارش زمینی، مؤلفه‌های دمایی و تبخیر- تعرق ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب حوزه آبخیز دریاچه ارومیه با کدنویسی در نرم‌افزار متلب، استفاده گردید. از آنجایی‌که هدف از انجام این پژوهش ارزیابی دقت داده‌های CRU و GPCC در محاسبه شاخص خشکسالی RDI و بررسی خشکسالی در منطقه مورد مطالعه است، مقدار بارش و تبخیر و تعرق هر یک از این دو پایگاه داده در نزدیک‌ترین نقطه به هر ایستگاه استخراج و پس از ارزیابی و واسنجی مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

جهت ارزیابی عملکرد داده‌های مورد استفاده، در این مطالعه شاخص خشکسالی RDI برای ۱۰ ایستگاه سینوپتیک منتخب حوزه دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های اقلیمی و شبکه‌ای محاسبه و مورد مقایسه قرار گرفت. برای واسنجی داده‌های مورد استفاده دو رویکرد کلی وجود دارد. رویکرد اول عبارت است از این‌که همه داده‌های زمینی مستخرج از

در روابط ذکر شده، Y^{obs} مقادیر متغیرهای مشاهده شده از ایستگاه‌های زمینی، Y^{est} مقادیر متغیرهای شبکه‌ای، n تعداد داده‌ها، CC ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی، α نسبت انحراف معیار داده‌های مشاهداتی و شبکه‌ای و β نسبت میانگین داده‌های مشاهداتی و شبکه‌ای می‌باشد. مناسب‌ترین داده برای محاسبه شاخص RDI گزینه‌ای خواهد بود که کم‌ترین مقدار RMSE و MAE و بیش‌ترین مقدار R^2 و KGE را به خود اختصاص دهد (۱۹).

در ابتدا داده‌های شبکه‌بندی از سایت NOAA دریافت و با استفاده از قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی طی دوره مطالعاتی برای حوزه آبخیز دریاچه ارومیه استخراج گردید. به این ترتیب که داده‌های دریافتی CRU به نرم‌افزار ArcMAP انتقال و محدوده حوزه مورد مطالعه از کل جهان جدا شد. پس از دریافت و پردازش داده‌ها، سری زمانی داده‌های ذکر شده ساخته و آماده تجزیه تحلیل شد. در گام بعدی از چهار شاخص آماری شامل آماره‌های مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، آماره کلینگ- گوپتا (KGE) و ضریب

شاخص‌های خطا و شاخص‌های ارزیابی عملکرد، ارائه شده است. با توجه به این جداول مشاهده می‌شود که خطای محاسباتی در داده‌های CRU برای دما و تبخیر و تعرق به مراتب کوچک‌تر بوده و توانسته است مقادیر داده‌های دما و تبخیر و تعرق را با خطای کم‌تر و عملکرد بهتر برآورد نماید. به عنوان مثال در ایستگاه ارومیه برای تخمین ETo، مقدار شاخص ارزیابی RMSE بین داده‌های زمینی و شبکه‌ای CRU، ۰/۹۱۸ میلی‌متر در روز است. در حالی که بعد از واسنجی این مقدار به ۰/۶۷۱ میلی‌متر در روز کاهش یافت. این روند کاهش خطا بین داده‌های زمینی و شبکه‌ای CRU در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز تکرار شده است. در ایستگاه‌های پیرانشهر و سقز برآورد تبخیر و تعرق مرجع با خطای بیش‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌ها همراه بود. به طوری که معیار MAE در ایستگاه‌های مذکور قبل از واسنجی به ترتیب ۱/۰۸۷ و ۰/۹۶۵ میلی‌متر در روز بوده و بعد از عمل واسنجی این شاخص به مقدار ۰/۳۰۹ و ۰/۴۶۷ میلی‌متر در روز کاهش یافته است.

ایستگاه‌های هواشناسی به ترتیب زمانی در مقابل داده‌های شبکه‌ای CRU و GPCC ترسیم شده و یک رابطه رگرسیونی به آن‌ها برازش داده می‌شود. در این صورت ضریب به دست آمده از معادله رگرسیونی به عنوان ضریب اصلاحی مدنظر قرار می‌گیرد (۲۰). در رویکرد دوم به تغییرات ماهانه داده‌های شبکه‌ای توجه شده و واسنجی برای هر ماه به صورت جداگانه انجام می‌شود. در این صورت برای هر ماه یک ضریب اصلاحی به دست آمده و در نتیجه می‌توان به صورت مؤثرتری داده‌های مورد بررسی را واسنجی نمود. بابامیری و دین‌پژوه (۲۰۱۴) در واسنجی چهار مدل تجربی تخمین ETo مبتنی بر دما را برای حوزه آبخیز دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن هر دورویکرد فوق انجام دادند. نتایج این پژوهش‌گران نشان داد که استفاده از رویکرد واسنجی ماهانه از عملکرد بهتری در بهبود دقت روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق برخوردار است (۲۱). از این رو در مطالعه حاضر واسنجی ماهانه در همه ایستگاه‌ها برای داده‌های موجود انجام شد. در جدول‌های ۳ و ۴ نتایج

Table 3. Error index values for calculating average monthly Temperature (°C).

| Station | After Bias Correction | | | | Before Bias Correction | | | |
|------------|-----------------------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|
| | R ² | KGE | MAE | RMSE | R ² | KGE | MAE | RMSE |
| Urmia | 0.985 | 0.989 | 0.790 | 1.082 | 0.984 | 0.945 | 0.963 | 1.257 |
| Piranshahr | 0.924 | 0.944 | 1.373 | 2.301 | 0.841 | 0.836 | 2.485 | 3.913 |
| Takab | 0.988 | 0.991 | 0.664 | 1.034 | 0.986 | 0.911 | 1.031 | 1.355 |
| Zarneh | 0.950 | 0.964 | 1.459 | 2.087 | 0.931 | 0.732 | 3.371 | 3.892 |
| Mahabad | 0.986 | 0.990 | 0.673 | 0.949 | 0.959 | 0.699 | 2.865 | 3.712 |
| Ahar | 0.989 | 0.992 | 0.614 | 0.858 | 0.984 | 0.811 | 1.795 | 2.174 |
| Tabriz | 0.989 | 0.992 | 0.706 | 1.036 | 0.988 | 0.75 | 2.588 | 2.757 |
| Jolfa | 0.993 | 0.995 | 0.609 | 0.884 | 0.990 | 0.638 | 4.001 | 4.143 |
| Maragheh | 0.991 | 0.994 | 0.621 | 0.911 | 0.989 | 0.423 | 4.947 | 5.046 |
| Saqez | 0.981 | 0.986 | 0.954 | 1.294 | 0.976 | 0.972 | 1.168 | 1.475 |

Table 4. Error index values for calculating average monthly evapotranspiration (mm/month).

| Station | After Bias Correction | | | | Before Bias Correction | | | |
|------------|-----------------------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|
| | R ² | KGE | MAE | RMSE | R ² | KGE | MAE | RMSE |
| Urmia | 0.82 | 0.971 | 0.458 | 0.671 | 0.789 | 0.881 | 0.601 | 0.918 |
| Piranshahr | 0.933 | 0.953 | 0.309 | 0.419 | 0.852 | 0.598 | 1.087 | 1.405 |
| Takab | 0.896 | 0.928 | 0.390 | 0.617 | 0.865 | 0.872 | 0.569 | 0.772 |
| Zarneh | 0.895 | 0.927 | 0.418 | 0.650 | 0.832 | 0.827 | 0.694 | 0.860 |
| Mahabad | 0.940 | 0.957 | 0.323 | 0.448 | 0.887 | 0.850 | 0.577 | 0.726 |
| Ahar | 0.960 | 0.972 | 0.252 | 0.326 | 0.936 | 0.753 | 0.594 | 0.782 |
| Tabriz | 0.908 | 0.935 | 0.379 | 0.634 | 0.872 | 0.869 | 0.536 | 0.747 |
| Jolfa | 0.973 | 0.981 | 0.295 | 0.432 | 0.933 | 0.648 | 0.534 | 0.877 |
| Maragheh | 0.922 | 0.945 | 0.464 | 0.647 | 0.874 | 0.816 | 0.557 | 0.74 |
| Saqez | 0.945 | 0.888 | 0.467 | 0.745 | 0.747 | 0.737 | 0.965 | 1.165 |

افزایش و کاهش آن‌ها در یک جهت باشد) در این صورت مقادیر بزرگ‌تری را نیز نتیجه خواهد داد. از این‌رو کاربرد شاخص ضریب همبستگی برای ارزیابی مناسب به نظر نمی‌رسد. احمدی و مداح (۲۰۲۱) در پژوهش خود نشان دادند که استفاده از ضریب همبستگی می‌تواند به برداشت‌های غلط منجر شود. بنابراین باید شاخص KGE برای درک بهتر مورد بررسی قرار گیرد (۱۹). این شاخص، اصلاح‌شده آماره نش-ساتکلیف بوده و عملکرد داده‌ها را ارزیابی می‌کند (۲۳). با توجه به نتایج محاسبات در جدول‌های ۵ و ۶، شاخص KGE نیز بهبود بسیار چشمگیری را در عملکرد داده‌های شبکه‌ای مورد استفاده پس از واسنجی نشان می‌دهد. برای مثال در ایستگاه سینوپتیک ارومیه شاخص KGE در محاسبه تبخیر و تعرق با داده‌های شبکه‌ای CRU قبل از واسنجی عدد ۰/۸۸۱ و بعد از واسنجی به مقدار ۰/۹۷۱ ارتقا یافته است. در سایر ایستگاه‌ها نیز شرایط مشابه حاکم بوده و نشان می‌دهد که کاربرد داده‌های شبکه‌ای بدون واسنجی با خطای بسیاری همراه خواهد شد.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۴ مشاهده می‌شود که محاسبات مربوط به داده‌های شبکه CRU و مقایسه داده‌های شبکه‌ای با داده‌های زمینی از نظر شاخص R² وضعیت مطلوبی دارند و شاخص مذکور تفاوت چندانی با حالت قبل از واسنجی نداشته و در هر دو حالت (قبل و بعد از واسنجی) همواره مقادیر بزرگی را نشان می‌دهد. بنابراین مطابق نتایج به دست آمده از جدول و نتایج پژوهش رمضانی اعتدالی و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند استفاده از داده‌های پایگاه‌های اطلاعاتی CRU با توجه به گستردگی زمانی و مکانی، این داده‌ها ابزار مناسبی برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی متغیرهای هواشناسی است و می‌توان از داده‌های CRU به جای داده‌های زمینی در محاسبات استفاده کرد (۲۲). اما در جدول‌های ۵ و ۶ تفاوت بسیار چشمگیری را بین داده‌های شبکه GPCP با داده‌های شبکه CRU نشان می‌دهد. با توجه به شاخص R² مشاهده می‌شود که عملکرد داده‌های شبکه‌ای در تمامی ایستگاه‌ها قابل قبول است اما این نتیجه‌گیری نمی‌تواند صحیح باشد. ضریب همبستگی صرفاً تطابق داده‌ها را با یکدیگر نشان می‌دهد و اگر داده‌ها رفتار مشابهی داشته باشند (یعنی

Table 5. Error index values for calculating average monthly Rainfall with CRU data (mm/month).

| Station | After Bias Correction | | | | Before Bias Correction | | | |
|------------|-----------------------|-------|--------|--------|------------------------|--------|--------|--------|
| | R ² | KGE | MAE | RMSE | R ² | KGE | MAE | RMSE |
| Urmia | 0.764 | 0.831 | 8.982 | 13.454 | 0.699 | 0.681 | 9.495 | 14.322 |
| Piranshahr | 0.656 | 0.760 | 21.626 | 31.423 | 0.554 | -0.228 | 30.703 | 48.513 |
| Takab | 0.672 | 0.766 | 10.726 | 15.364 | 0.515 | 0.698 | 12.650 | 18.376 |
| Zarneh | 0.268 | 0.502 | 16.580 | 24.106 | 0.076 | 0.484 | 21.229 | 32.398 |
| Mahabad | 0.768 | 0.836 | 10.689 | 15.974 | 0.707 | 0.813 | 12.034 | 17.701 |
| Ahar | 0.668 | 0.774 | 7.624 | 10.401 | 0.612 | 0.715 | 10.359 | 13.887 |
| Tabriz | 0.649 | 0.756 | 8.271 | 12.347 | 0.539 | 0.688 | 11.558 | 16.277 |
| Jolfa | 0.657 | 0.758 | 6.5 | 9.164 | 0.454 | 0.546 | 12.831 | 16.301 |
| Maragheh | 0.738 | 0.812 | 8.916 | 12.895 | 0.491 | 0.707 | 12.754 | 17.425 |
| Saqez | 0.77 | 0.836 | 12.078 | 19.22 | 0.715 | 0.410 | 14.834 | 24.53 |

Table 6. Error index values for calculating average monthly Rainfall with GPCC data (mm/month).

| Station | After Bias Correction | | | | Before Bias Correction | | | |
|------------|-----------------------|-------|--------|--------|------------------------|-------|--------|--------|
| | R ² | KGE | MAE | RMSE | R ² | KGE | MAE | RMSE |
| Urmia | 0.938 | 0.955 | 4.842 | 7.219 | 0.934 | 0.785 | 6.09 | 8.865 |
| Piranshahr | 0.777 | 0.844 | 16.023 | 26.173 | 0.713 | 0.49 | 20.863 | 35.948 |
| Takab | 0.757 | 0.828 | 8.923 | 13.559 | 0.74 | 0.855 | 9.165 | 14.634 |
| Zarneh | 0.809 | 0.865 | 9.441 | 14.275 | 0.778 | 0.873 | 9.832 | 16.150 |
| Mahabad | 0.899 | 0.928 | 6.249 | 10.906 | 0.894 | 0.942 | 6.352 | 11.617 |
| Ahar | 0.734 | 0.817 | 6.586 | 9.494 | 0.733 | 0.781 | 8.285 | 11.707 |
| Tabriz | 0.775 | 0.842 | 6.481 | 10.24 | 0.749 | 0.847 | 6.893 | 10.753 |
| Jolfa | 0.662 | 0.763 | 6.365 | 9.135 | 0.603 | 0.676 | 8.896 | 12.669 |
| Maragheh | 0.867 | 0.912 | 6.074 | 9.512 | 0.856 | 0.905 | 6.415 | 10.158 |
| Saqez | 0.898 | 0.928 | 7.892 | 13.247 | 0.888 | 0.921 | 8.459 | 14.545 |

آمار یا عدم اندازه‌گیری پارامتر معلوم در بازه خاص موردنظر از داده‌های شبکه ماهواره‌ای استفاده کرد. برای بررسی بهتر می‌باید علاوه بر شاخص‌های آماری از نمودارهایی استفاده شود که توزیع داده‌ها را نیز ارزیابی نماید. یکی از این نمودارها، نمودار پراکندگی است. نمودار پراکندگی صرفاً پراکندگی داده‌ها را حول خط یک به یک نشان می‌دهد. هر

نتیجه جدول‌های ۳ تا ۶ و ارزیابی‌های صورت گرفته نشان از تأثیر بهتر عملیات واسنجی روی داده‌های شبکه‌ای CRU و GPCC است، که باعث نزدیک شدن داده‌های مذکور به داده‌های هواشناسی زمینی می‌شود به طوری که در برخی از ماه‌های سال دقیقاً مقدار ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک را به دست می‌آورد. با توجه به این امر می‌توان در ایستگاه‌های فاقد

از پایگاه‌های اطلاعاتی CRU و GPCCR مطابقت خوبی با مقادیر زمانی نشان می‌دهند اما اصلاح اریبی موجود در آن‌ها همواره باید مورد توجه قرار گیرد. برای ارزیابی خشکسالی با استفاده از شاخص RDI، پس از حصول اطمینان از داده‌های مورد نیاز جهت برآورد شاخص خشکسالی RDI از فراسنج‌های بارش و تبخیر و تعرق به دست آمده استفاده می‌شود. شاخص RDI در سه حالت ۶ ماهه، ۹ ماهه و یکساله برآورد گردید تا تغییرات ماهانه خشکسالی در طول دوره آماری مورد مطالعه را بهتر نشان دهد. پایش خشکسالی در دوره‌های ۱۰ ساله بین مقیاس‌های مختلف محاسباتی انجام گرفت. به منظور پرهیز از پرحجم شدن مقاله در این بخش تنها نمودار ایستگاه مهاباد ارائه شده است. نتایج محاسبات (6M) RDI و (9M) RDI نزدیک بهم بوده و اختلاف خیلی کمی باهم دارند در حالی که (12M) RDI نتایج متفاوتی به دست آورده است. طبق پژوهش احمدی و همکاران (۲۰۲۱) برای پایش خشکسالی حوزه درورد- بروجرد از شاخص RDI در مقیاس سالانه، ماهانه و منطقه مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند مقیاس سالانه خشکسالی را بهتر نمایان می‌کند (۲۴). بنابراین شاخص RDI در مقیاس سالانه برای ایستگاه مهاباد ترسیم و در شکل ۳ ارائه شده است. با توجه به روند خشکسالی نشان داده شده در شکل ۳ از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ خشکسالی‌های شدید در حال وقوع می‌باشد. در سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز نتیجه به همین شکل بوده است. به طوری که در پایش ده سال اخیر از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ خشکسالی‌های پی در پی با شدت‌های خفیف، متوسط و گاهی شدید به وقوع پیوسته‌اند. شکل ۴ شاخص RDI سالانه در ایستگاه مهاباد را نشان می‌دهد. مطابق این شکل و جدول ۲ می‌توان چنین استنباط کرد که در سال‌های ۱۹۵۷ تا ۱۹۶۴، ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۳، ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ خشکسالی خفیف تا خیلی شدید اتفاق افتاده است.

چقدر داده‌ها به خط یک به یک نزدیک باشند دقت مدل بالا بوده و اگر فاصله از آن بیش تر باشد یا به عبارتی پراکندگی بیش تر باشد، دقت مدل پایین ارزیابی می‌شود. این نمودار هیچ اطلاعات دیگری در خصوص نوع برآورد (کم برآورد یا بیش برآورد) و توزیع داده‌ها ارائه نمی‌دهد. از این رو استفاده از نمودار ویلونی می‌تواند به عنوان یک جایگزین مناسب بسیار مفید واقع شود. نمودار ویلونی علاوه بر این که بیشینه، کمینه و متوسط داده‌ها را نمایش می‌دهد، نماینده توزیع داده‌ها نیز می‌باشد و بدین صورت می‌توان کارایی روش‌های برآورد پارامترهای آب و هواشناسی را مورد مقایسه قرار داد. در شکل ۲ نمودارهای ویلونی برای سه پارامتر بارش (ایستگاه سینوپتیک ارومیه)، دما (ایستگاه سینوپتیک مراغه) و تبخیر و تعرق (ایستگاه سینوپتیک اهر) برای حالت‌های قبل و بعد از اصلاح اریبی ارائه شده است. به دلیل پرهیز از افزایش حجم صفحات، در شکل ۲ یک ایستگاه برای نشان دادن نتایج انتخاب و ارائه شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که CRU بارش‌ها را کم‌تر از مقادیر زمینی برآورد کرده و پس از اصلاح، مقادیر CRU بهبود یافته است. دقت داده‌های GPCCR در مقایسه با CRU بهتر بوده اما همچنان نیاز به واسنجی دارد. پس از اصلاح مشاهده می‌شود که ویلون بارش‌های برآوردی از طریق GPCCR واسنجی شده به داده‌های مشاهداتی بسیار نزدیک‌تر شده است. در خصوص پارامتر دما نیز مشاهده می‌شود که مقادیر حاصل از CRU پس از اصلاح به طور قابل ملاحظه‌ای به ویلون مشاهداتی در ایستگاه سینوپتیک مراغه نزدیک شده‌اند. برخلاف دما و بارش، تبخیر و تعرق، بیش تر از مقادیر واقعی در ایستگاه سینوپتیک اهر برآورد شده و پس از اصلاح، خطای موجود در داده‌ها بسیار کاهش یافته و میانگین مقادیر مشاهداتی و اصلاح شده به یکدیگر نزدیک شده‌اند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های اقلیمی به دست آمده

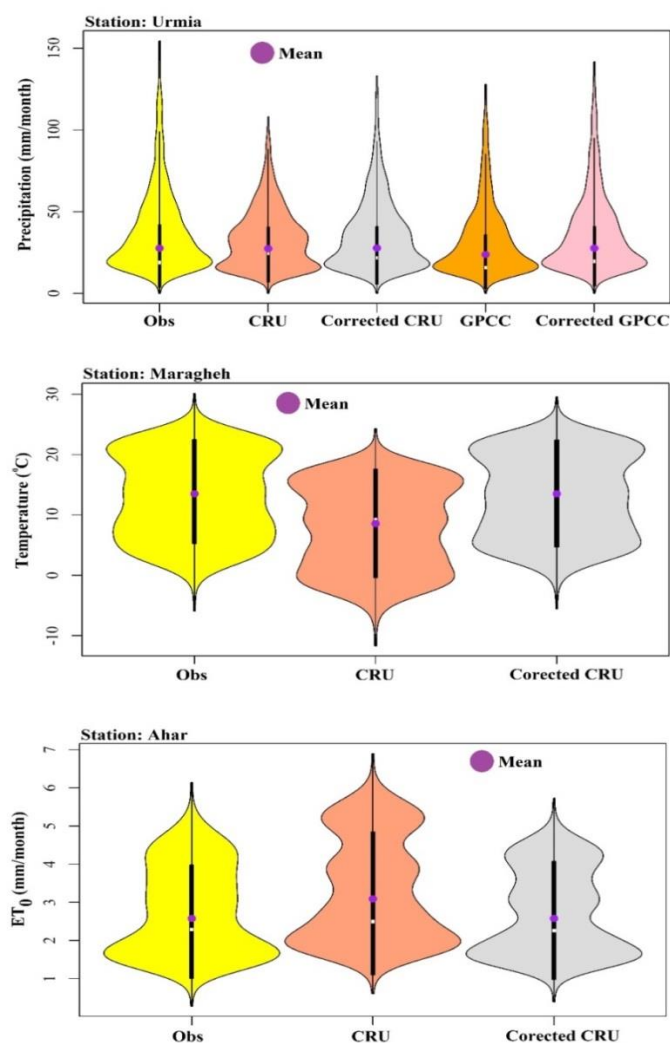


Figure 2. Violin plot of observed values, CRU and GPCC databases before and after bias correction.

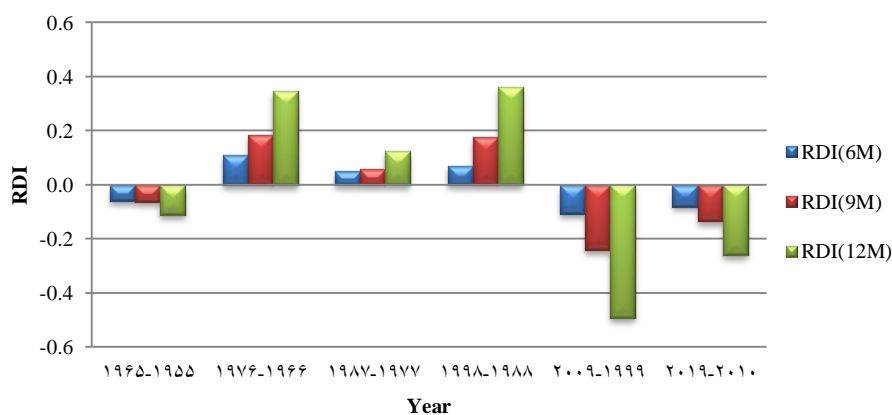


Figure 3. The result of calculation RDI for 6, 9 and 12 month in Mahabad.

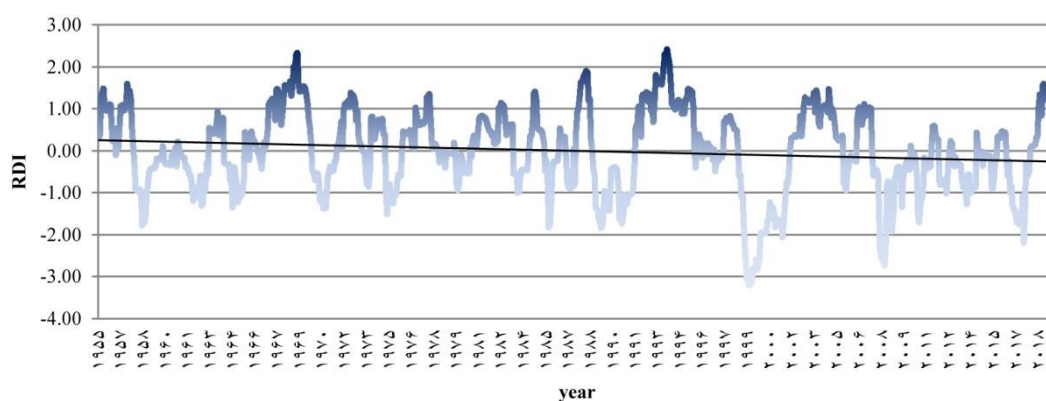


Figure 4. Annual RDI to show drought of the study period in Mahabad.

کاهش یافته است و به ویلون داده‌های مشاهده‌ای

بسیار شبیه شده‌اند.

♦ شاخص RDI، با کاهش بارندگی و افزایش دما و تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه سال ۱۹۹۸ را خشک‌ترین سال در همه ایستگاه‌ها اعلام داشته است. نتایج شاخص RDI نشانگر این است که خشک‌سالی هواشناسی در حوزه دریاچه ارومیه وجود داشته و با گذر زمان در حال پیشروی می‌باشد.

♦ شاخص RDI به‌علت استفاده از داده‌های بارندگی و تبخیر و تعرق، قابلیت اعلام خشک‌سالی در اثر کمبود بارندگی و در نتیجه کمبود دبی را دارد و به‌همین دلیل بهتر می‌تواند به برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب کمک کند.

♦ استفاده از داده‌های شبکه‌ای می‌تواند اطلاعات مورد نیاز در خصوص پایش‌های درازمدت را در اختیار پژوهش‌گران قرار داده و در نتیجه تحلیل‌های مختلف هیدرولوژیک مانند آنالیز روند، تعیین خشک‌سالی‌ها و مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی را فراهم نماید.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، قابلیت شاخص خشک‌سالی RDI برای پایش زمانی خشک‌سالی در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه و در طول ۶۵ سال مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. این شاخص با استفاده از داده‌هایی شبکه‌ای CRU و GPCC در همه ایستگاه‌ها محاسبه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که:

♦ از داده‌های شبکه‌ای CRU و GPCC به‌شرط اعمال واسنجی می‌توان برای ایستگاه‌های اندازه‌گیری نشده یا اگر برداشت داده با وقفه و مشکل همراه بوده است، استفاده کرد. همچنین این پایگاه‌های اطلاعاتی داده به دلیل داشتن طول دوره آماری بلندمدت می‌توانند در تکمیل اطلاعات مورد نیاز آب و هوایی برای مناطق مختلف کشور و به‌ویژه حوزه آبخیز دریاچه ارومیه مورد استفاده قرار گیرند.

♦ استفاده از رابطه رگرسیونی خطی به‌صورت ماهانه برای واسنجی داده‌های مورد استفاده نشان داد که انجام واسنجی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای خطای داده‌ها را کاهش داده و موجب بهبود عملکرد آن‌ها شده است. با مقایسه پلات نموداری ویلون‌های قبل و بعد از واسنجی مشاهده می‌شود که حالت‌های بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی به‌شدت

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این متن به شکل ذیل است: نویسنده اول: استاد راهنمای اول رساله و مسئول مکاتبات در همه موارد انجام پژوهش نظارت و مشارکت داشته‌اند، نویسنده دوم: دانشجوی مقطع دکتری است و همه موارد انجام پژوهش با ایشان بوده است. نویسنده سوم: استاد راهنمای دوم رساله بود و در همه موارد انجام پژوهش نظارت و مشارکت داشته‌اند. نویسنده چهارم: استاد مشاور رساله بود و در تهیه داده‌ها و انجام پژوهش نظارت و مشارکت کامل داشته‌اند.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها است.

حمایت مالی

این پژوهش از حمایت معنوی معاونت آموزشی و پژوهشی دانشگاه ارومیه در قالب پژوهانه دانشجویی نویسنده اول برخوردار بوده است. مطالعه حاضر بخشی از رساله دکتری مهندسی منابع آب نویسنده دوم (مرضیه صادقیان آفکندی) می‌باشد.

بی‌نوشت

1. National Aeronautics and Space Administration (NASA)
2. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
3. Climatic Research Unit (CRU)
4. Global Precipitation Climatology Center (GPCC)
5. Reconnaissance Drought Index (RDI)
6. Root Mean Square Error (RMSE)
7. Mean Absolut Error (MAE)
8. Kling- Gupta Efficiency (KGE)

تقدیر و تشکر

در پایان بر خود لازم می‌دانیم از اساتید گروه آب دانشگاه ارومیه برای یاری در مقالات مستخرج از رساله دکتری ایشان تقدیر و تشکر نماییم.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

در پژوهش حاضر که حاصل رساله دکتری است از داده‌های ماهواره‌ای جهانی مستخرج از پایگاه‌های اطلاعاتی CRU و GPCC استفاده شده است.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

منابع

1. Moeinifar, S., Asadi, M. A., Malekinezhad, H., & Talebi, A. (2021). Determining the appropriate statistical distribution to calculate RDI in arid regions (Case study: Central Iran). *Journal of Arid Biome*, 11 (1), 105-121. [In Persian]
2. Node Farahani, M. A., Rasekhi, A., Parmas, B., & Keshvan, A. (2018). The Effects of climate Change on Temperature, Precipitation and Drought in UpcominGPeriod in Shadegan Basin. *Iran-Water Resources Research*, 3 (14), 160-173. [In Persian]
3. Moafimadani, F., Mosavibaygani, M., & Ansari, H. (2015). Prediction of Khorasan Razavi Province drought condition at 2011-2030 with LARS-WG downscaling model. *Geography and Environmental Hazard*, 7 (2), 157-17. [In Persian]
4. Tsakiris, G., & Vangelis, H. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*. 9 (10), 3-11.
5. Ahmadzadeh, H., Fakheri Fard, A., Ghorbani, M. A., & Tajrishy, M. (2021). Regional Analysis of Hydrological Drought in Ajichai Basin Using RDI

- Index. *Journal of Water and Soil Science*, 25 (3), 13-30. [In Persian]
6. Ortiz-Gómez, R., Flowers-Cano, R. S., & Medina-García, G. (2022). Sensitivity of the RDI and SPEI Drought Indices to Different Models for Estimating Evapotranspiration Potential in Semiarid Regions. *Water Resour. Manage.* 36, 2471-2492. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03154-9>
 7. Ramezani Etedali, H., Khodabakhshi, F., & Kanani, E. (2022). Effects of climate change on drought according to IPCC AR5 (case study: Ilam). *Journal of Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)*. 12 (1) 45, 87-107. [In Persian]
 8. Miri, M., Azizi, G., Khoshakhlagh, F., & Rahimi, M. (2017). Evaluation Statistically of Temperature and Precipitation Datasets with Observed Data in Iran. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 10 (35), 39-51. [In Persian]
 9. Kotteck, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, *Meteorologists Zeitschrift*. 15 (3), 259-263.
 10. Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, A. (2007). Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification, *Hydrology and Earth System Sciences*. 11 (42), 1633-1644.
 11. Fu, Y., Xia, J., Yang, W., Xu, B., We, X., Chen, Y., & Zhang, H. (2016). Assessment of multiple precipitation products over major river basins of China, *Theoretical and Applied Climatology*. 123 (3), 11-22.
 12. Ahmadi, M., Kaviani, A., Daneshkar Arasteh, P., & Faraji, Z. (2020). Statistical Evaluation of Precipitation Data from GPCC, GPCP, CMAP and NCEP-NCAR with Observational Data in Alborz, Qazvin, Zanzan, Kurdistan and Hamedan Provinces, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 6 (13), 1879-1896. [In Persian]
 13. Miri, M., Raziiei, T., & Rahimi, M. (2016). Evaluation and statistically comparison of TRMM and GPCC datasets with observed precipitation in Iran. *Journal of Earth and Space Physics*, 42 (3), 672-657. [In Persian]
 14. Arbaby Sabzevari, A. (2021). Seasonal drought monitoring in the Iran using network data. *Natural Geography Quarterly*, 13 (52), 36-62. [In Persian]
 15. Harris, I., Jones, P., Osborn, T. J., & Lister, D. H. (2014). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset, *International Journal of Climatology*. 34 (2), 623-642.
 16. Mitchell, T., & Jones, P. (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology*. 25 (1), 693-712.
 17. New, M., Hulme, M., & Jones, P. (1999). Representing Twentieth-Century Space-Time Climate Variability. Part I: Development of a 1961-90 Mean Monthly Terrestrial Climatology. *Journal of Climate*. 12 (3), 829-856.
 18. Pepin, N. C., Losleben, M., & Hartman, M. (2005). A Comparison of SNOTEL and GHCN/CRU Surface Temperatures with Free-Air Temperatures at High Elevations in the Western United States: Data Compatibility and Trends, *Journal of Climate*. 18 (1), 1967-1985.
 19. Ahmadi, F., & Maddah, M. A. (2021). Development of Wavelet-Kstar Algorithm Hybrid Model for the Monthly Precipitation Prediction (Case Study: Synoptic Station of Ahvaz). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52 (2), 409-420. [In Persian]
 20. Babamiri, O., & Dinpazhoh, Y. (2016). Comparison and evaluation of twenty methods for estimating reference evapotranspiration based on three general categories: air temperature, solar radiation and mass Transfer in the basin of Lake Urmia. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 20 (77), 145-161. [In Persian]
 21. Babamiri, O., & Dinpazhoo, Y. (2014). Comparison of Four Temperature Based Reference Crop Evapotranspiration Estimation Method at Urmia Lake Basin. *Irrigation Sciences and Engineering*, 37 (1), 43-54. [In Persian]

22. Ramezani Etedali, H., Ababaei, B., & Kaviani, A. (2018). Analysis of long-term changes in temperature over iran using the cru ts dataset. *Journal of Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)*, 8 (1), 25-47. [In Persian]
23. Ahmadi, F., & Valinia, M. M. (2020). Prediction of Monthly River Flow Using Hybridization of Linear Time Series Models and Bayesian network (Case Study: Bakhtiari River). *Journal of Water and Irrigation Management*, 10 (2), 233-245. [In Persian]
24. Ahmadi, M., Paimozd, S., & Rahimi, M. (2021). Comparison of Hydrological and Meteorological Drought Monitoring using RDI and EDI Indices. *Environment and Water Engineering*, 7 (4), 683-696. [In Persian]

