

Evaluation of available surface water resources in Qarah Tikan border basin using satellite products and GIS

Seyed Kamal Ghoreishi GharehTakan¹, Saeid Gharechelou^{2*}, Emad Mahjoobi³ , Saeed Golian^{4,5} ,
Hosein Salehi¹ 

¹Graduated M.Sc. Student, Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

²Assistant Professor, Department of Surveying, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

³Assistant Professor, Department of Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

⁴Associate Professor, Department of Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

⁵Senior Post Doctoral Researcher, Department of Geography, ICARUS at Maynooth University, Ireland

Abstract

Introduction

In the present study, the Qarah Tikan river basin in particular the subbasin of Qarah Tikan Village has been studied. This is located in the northeast of Iran and among the basins without ground station data. IMERG-Final satellite precipitation products, ERA5-Land reanalysis temperature and GLEAM evapotranspiration were used to evaluate the basin.

Materials and Methods

The water balance equation was used to calculate the available water. GLEAM global data (Shiklomanov, 2000) used for actual evapotranspiration and environmental needs obtained by the Lyon method were considered as outputs. The inflow to the basin and the precipitation, which was obtained from IMERG-Final-V06 (Huffman et al., 2019) satellite data were considered as the inputs. To calculate the environmental needs, the monthly runoff of the basin is required for which Justin's experimental method was used. For Justin's experimental method, monthly runoff, precipitation, and temperature of IMERG-Final satellite data and ERA5-Land were used. By using ArcMap and DEM the slope and area of the basin was produced.

Results and Discussion

The results of evaluating monthly temperature data showed that these data have a high ability to estimate the temperature and is reliable in remote areas where there is no weather station. According to the comparison of satellite precipitation data and ground stations, although they do not have high accuracy in estimating precipitation, but they have a good correlation and estimate precipitation with appropriate accuracy. Precipitation in 3 stations is underestimated and overestimated in 2 stations. Based on the long-term average, the annual rainfall of the basin is about 225.9 mm. A study of evapotranspiration data from the GLEAM shows that the long-term annual average is about 194.4 mm, which peaks in the spring due to greater access to water and rising temperatures. About 86% of the basin rainfall in the evaporation process is out of reach. The annual inflow to the basin was about 15.9 Mcm and the annual runoff from rainfall in the basin according to the Justin method was about one Mcm. The annual environmental need was determined to be about 7.5 Mcm. The annual water available is 11.8 Mcm.

Conclusion

To meet the demand of the agricultural sector in summer and control winter and spring floods, planning for the construction of a storage dam should be on the agenda. So, the output of the basin will be adjusted. This emphasizes the importance of remote sensing and GIS in the study of water resources in ungauged basins without proper ground station statistical data.

Keywords: Available water, Trounsboundary basin, Qarah Tikan, IMERG-Final, ERA5- Land

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: sgharachelo@shahroodut.ac.ir

Citation: Ghoreishi GharehTikan, S.K., Gharechelou, S., Mahjoobi, E., Golian, S., & Salehi, H. (2022). Evaluation of available surface water resources in Qarah Tikan border basin using satellite products and GIS. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(1), 1-13.

DOI: 10.22098/MMWS.2021.9107.1040

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.1.1.6

Received: 08 August 2021, Accepted: 24 September

Water and Soil Management and Modeling, Year 2022, Vol. 2, No. 1, pp.1-13

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





ارزیابی منابع آب سطحی قابل دسترس در حوضه مرزی قره تیکان با استفاده از محصولات ماهواره‌ای و GIS

سیدکمال قریشی قره‌تکان^۱، سعید قره‌چلو^{۲*}، عماد محجوبی^۳، سعید گلیان^۴، حسین صالحی^۱

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
^۲ استادیار، گروه نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
^۳ استادیار، گروه مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
^۴ دانشیار، گروه مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
^۵ پژوهشگر ارشد پسادکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه مینوت، ایرلند

چکیده

با رشد روزافزون جمعیت، تغییرات اقلیمی و افزایش فعالیت‌های صنعتی، استفاده بهینه از آب‌های مرزی جهت تأمین نیازهای جوامع، امری ضروری به نظر می‌رسد. شناسایی و ارزیابی منابع آب قابل دسترس و برنامه‌ریزی مناسب جهت برداشت از این منابع ارزشمند، می‌تواند منجر به بهبود شرایط حوزه آبخیز و آبخیزنشینان شود. شناسایی منابع تأمین و مصارف آب به‌عنوان اولین گام مدیریت منابع آب حوضه در اولویت است. عدم وجود اطلاعات با توزیع زمانی و مکانی مناسب در مناطق مرزی به دلایل مختلف از قبیل صعب‌العبور بودن یا مسائل امنیتی و یا عدم وجود ایستگاه‌های کافی مشاهدات زمینی، اجرای این گام را دچار چالش می‌کند. علم سنجش از دور به همراه تکنیک‌های موجود در سامانه اطلاعات جغرافیایی، امکان پایش و ارزیابی منابع آب این حوضه‌های آبریز را فراهم آورده است. در تحقیق حاضر، حوضه رودخانه قره‌تیکان و به‌طور خاص زیرحوضه روستای قره‌تیکان که در شمال شرق ایران و در همسایگی کشور ترکمنستان به‌عنوان یک حوضه فاقد آمار مورد بررسی قرار گرفته است. برای شناسایی و ارزیابی حوضه از محصولات بارش ماهواره‌ای IMERG-Final، دمای بازتحلیل ERA5-Land و تخریر و تعرق GLEAM استفاده شد. نتایج ارزیابی در طول دوره آماری ابتدای سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ تا انتهای سال آبی ۹۳-۱۳۹۲ نشان داد محصول دمای بازتحلیل شده دقت بالایی در تخمین دما داشته و محصول بارش ماهواره‌ای نیز همبستگی بالایی با داده‌های بارش دارد. لذا ترکیب محصولات ماهواره‌ای به‌همراه داده‌های ایستگاه‌های زمینی منجر به تخمین مناسب رواناب در حوضه‌های فاقد آمار و ایستگاه هیدرومتری می‌شود. در ادامه، دیگر اجزای بیلان آب حوضه شامل رواناب ورودی و نیاز محیط زیستی پایین دست با استفاده از روش‌های جاستین و لیون محاسبه شده و در نهایت مقدار آب قابل دسترس در ماه‌های مختلف مشخص شد. بر این اساس مشخص شد که امکان ذخیره حدود ۱۱/۸ میلیون مترمکعب در سال جهت تأمین نیاز و توسعه کشاورزی منطقه وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: آب قابل دسترس، حوضه‌های مرزی، قره تیکان، محصولات بارش ماهواره‌ای

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sgharachelo@shahroodut.ac.ir

استناد: قریشی قره‌تکان، س.ک.، قره‌چلو، س.، محجوبی، ع.، گلیان، س.، و صالحی، ح. (۱۴۰۱). ارزیابی منابع آب سطحی قابل دسترس در حوضه مرزی قره‌تیکان با استفاده از محصولات ماهواره‌ای و GIS. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۲(۱)، ۱-۱۳.

DOI: 10.22098/MMWS.2021.9107.1040

DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.1.1.6

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۳۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۲

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۱، دوره ۲، شماره ۱، صفحه ۱ تا ۱۳

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

در حال حاضر با توجه به روند افزایش جمعیت، توسعه فعالیت‌های کشاورزی و افزایش نیاز به آب، بهره‌برداری بی‌رویه و غیراصولی از یک سو و وقوع خشک‌سالی و نوسانات آب و هوایی از سوی دیگر، شناخت پتانسیل آبی هر منطقه برای تصمیم‌گیری در حفاظت و استفاده بهینه از منابع آب، ضروری است. استفاده بهینه و اقتصادی از منابع آب، نیاز به داشتن اطلاعات کاملی از حوضه‌های آبریز دارد تا بتوان با شناخت پتانسیل‌های موجود و مدیریت صحیح، از این منابع آبی، بهره‌برداری و از هدر رفتن و آلودگی منابع آب جلوگیری نمود (Motiee Langroudi et al., 2008). مدیریت حوضه آبریز تنها به آب‌های سطحی بستگی ندارد، بلکه به تمام عواملی که با سیستم حوضه در حال کنش و اندرکنش است، مرتبط بوده و تمامی آن‌ها در مدیریت حوضه دخیل هستند (Ratha and Agrawal, 2015). مدیریت حوضه آبریز، فرآیند سازمان‌دهی زمین و هدایت آب و دیگر منابع طبیعی مورد استفاده در حوضه است تا اثرات نامطلوب بر منابع آب و خاک را کاهش دهد. این مفهوم شامل ارتباطات اجتماعی-اقتصادی، انسانی و بیوفیزیکی بین خاک، آب و غیره می‌شود (Wang et al., 2016).

بیش از ۴۵ درصد از خشکی‌های جهان در حوضه‌های آبریز مشترک بین‌المللی قرار دارند و زندگی بیش از ۴۰ درصد از مردم دنیا به جریان رودخانه‌های بین‌المللی وابسته است. کمبود و توزیع نامناسب منابع آب، افزایش بی‌رویه مصرف، نبود جایگزین مناسب برای منابع آب و تلاش برای بهره‌برداری بیش‌تر از منابع آب مشترک، سبب ایجاد بحران‌های آب و تنش‌های سیاسی در برخی مناطق دنیا شده است (Madani, 2014). به‌طور معمول مناطق مرزی به‌دلیل دور افتاده بودن و صعب‌العبور بودن، از امکانات مناسبی چه در راستای اندازه‌گیری منابع آب و چه در برنامه‌ریزی این منابع برخوردار نیستند. در حال حاضر کشور ایران در مسیر بحرانی آب قرار دارد و از عوامل عمده آن می‌توان به رشد سریع جمعیت و توزیع مکانی نامناسب آن، کشاورزی غیراصولی و الگوی کشت نامناسب و همچنین سوءمدیریت اشاره کرد (Mianabadi, 2013). یکی از مهم‌ترین بخش‌های برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب تخصیص آن میان ذی‌نفعان است. تخصیص منابع آب در شرایط ایده‌آل باید به گونه‌ای باشد که از نظر اقتصادی کارآمد، از بعد فنی قابل اجرا و از نظر اجتماعی همراه با توزیعی عادلانه باشد (Babel et al., 2005). منابع آبی و محدودیت‌های دسترسی به این منابع، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های پیش روی بشر در عصر حاضر است و چالش‌ها و راهکارهای مدیریت این منابع می‌تواند سرچشمه بسیاری از تحولات مثبت و منفی در جهان باشد (Poorasghar,

2001). بهره‌برداری منطقی و معقول منابع آب در یک جامعه می‌تواند راهکاری برای از بین بردن فقر و همچنین پیشرفت قابل توجه اقتصادی در یک منطقه باشد (Backeberg, 2005). در بسیاری از مناطق جهان، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، مدیران بخش آب، اغلب با مشکلات طراحی سامانه منابع آب روبرو می‌شوند و این به‌دلیل عدم دسترسی به اطلاعات هیدرولوژیکی کافی است. به‌منظور تعیین و فراهم‌سازی پارامترهای آماری، داشتن مجموعه‌ای از داده‌های هیدرولوژیکی ضروری است (Schultz, 1997). در دهه‌های اخیر علم سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در حوضه‌هایی که محدودیت دسترسی به ایستگاه‌های مشاهدات زمینی وجود دارد به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در شناسایی مشکلات حوضه آبریز و مدیریت منابع آب، توسط محققین در داخل و خارج از کشور مورد استفاده قرار گرفته است. برای نمونه، Kumar and Reshmidevi (2013) به کاربرد داده‌های سنجش از دور و ابزار GIS در بخش‌های مختلف مدیریت منابع آب نظیر تخمین پارامترهای هیدرولوژیکی مانند بارش، دما، تبخیر و تعرق، پهنه‌بندی منابع آب و خشک‌سالی، تشخیص مناطق مستعد سیل، مطالعات مربوط به آب‌های زیرزمینی، برداشت آب، مدیریت کشاورزی و مطالعات بارش و رواناب پرداختند. طبق پژوهش آن‌ها سنجش از دور و تکنیک‌های مربوط به استفاده از این داده‌ها یک ابزار کارا و قدرتمند در شناسایی و ارزیابی منابع آب است. Singh (2016) در مطالعه خود از GIS به‌عنوان یک ابزار قوی در زمینه درون‌یابی، هم‌پوشانی و استخراج اطلاعات یاد کرد و همچنین بیان کرد که از فناوری سنجش از دور برای به‌دست آوردن اطلاعات در طیف وسیع مکانی و زمانی می‌توان بهره جست. او به این نتیجه رسید که سنجش از دور و تکنیک‌های GIS در ایجاد پایگاه داده و تولید نقشه‌ها بسیار سریع‌تر و دقیق‌تر از روش‌های معمول است و استفاده یکپارچه از آن‌ها یک ابزار خوب برای تجزیه و تحلیل داده‌های هیدروژئولوژیکی است. Sheffield et al. (2018) در منطقه آمریکای لاتین و دریای کارائیب از اطلاعات ماهواره‌ای برای مدیریت منابع آب بهره بردند. آن‌ها بیان داشتند که نوآوری‌های حاصل از داده‌های ماهواره‌ای، تأمین نیازهای داده‌ای در مدیریت منابع آب را نسبت به روش‌های سنتی، بسیار ساده‌تر نموده است. لذا داده‌های سنجش از دور را برای شناسایی پتانسیل‌های توسعه در مناطق دوردست بسیار مناسب دانستند. Athari et al. (2017) در مطالعه‌ای به طراحی یک مدل مدیریت آبخیز در ایران پرداختند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که کاهش اثرات رویدادهای غیرمنتظره مانند سیل و خشک‌سالی از فواید اعمال برنامه‌ریزی در حوضه آبریز است که با شناسایی اقلیم حوضه و ایجاد نقشه‌های مکانی و اجرای برنامه‌های مناسب توسعه و جمع‌آوری

است که در دامنه شمالی ارتفاعات رشته‌کوه هزارمسجد و در بخش شمال غربی حوضه آبریز قره‌قوم در شهرستان کلات نادری در شمال شرقی استان خراسان رضوی واقع شده است. وسعت این منطقه حدود ۸۴۰ کیلومتر مربع بوده و با ارتفاع متوسط حدود ۱۱۸۰ متر در محدوده جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی و ۵۹ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی قرار دارد. ارتفاع بلندترین نقطه آن در قسمت جنوب‌غربی و در ارتفاعات هزار مسجد در حدود ۲۶۳۰ متر و پست‌ترین نقطه آن در بخش شمال شرقی حوضه و در نقطه خروجی به کشور ترکمنستان به حدود ۴۹۰ متر از سطح دریا می‌رسد. رشته‌کوه هزار مسجد در بخش جنوبی آن، ایجاد یک منطقه کوهستانی مرتفع نموده و در بخش شرقی آن منطقه پست دشت قره‌قوم ترکمنستان است که در شکل ۱ نمایش داده شده است. به دلیل تنوع این حوضه در ساختار خاک، شیب، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و غیره، برای بررسی بهتر، این حوضه به سه زیرحوضه با تنوع کم‌تر تقسیم شد. در این تحقیق تمرکز بر زیرحوضه روستای قره‌تیکان است که هم مرز با ترکمنستان بوده و شامل دو روستای قره‌تیکان و قلیچ‌آباد است.

فرآیند انجام این تحقیق در شکل ۲ آمده است. بر این اساس برای تعیین مشخصات فیزیوگرافی حوضه از داده‌های مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با تفکیک مکانی ۳۰ متر منطقه برگرفته از سایت USGS استفاده شد. نقطه تمرکز (خروجی) حوضه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات میدانی مشخص شد. با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS مرز حوضه و دیگر مشخصات فیزیوگرافیک حوضه از جمله نقشه مسیر آبراهه‌ها و همچنین نقشه رقوم ارتفاعی منطقه و مرز زیرحوضه‌ها استخراج شد (شکل ۳).

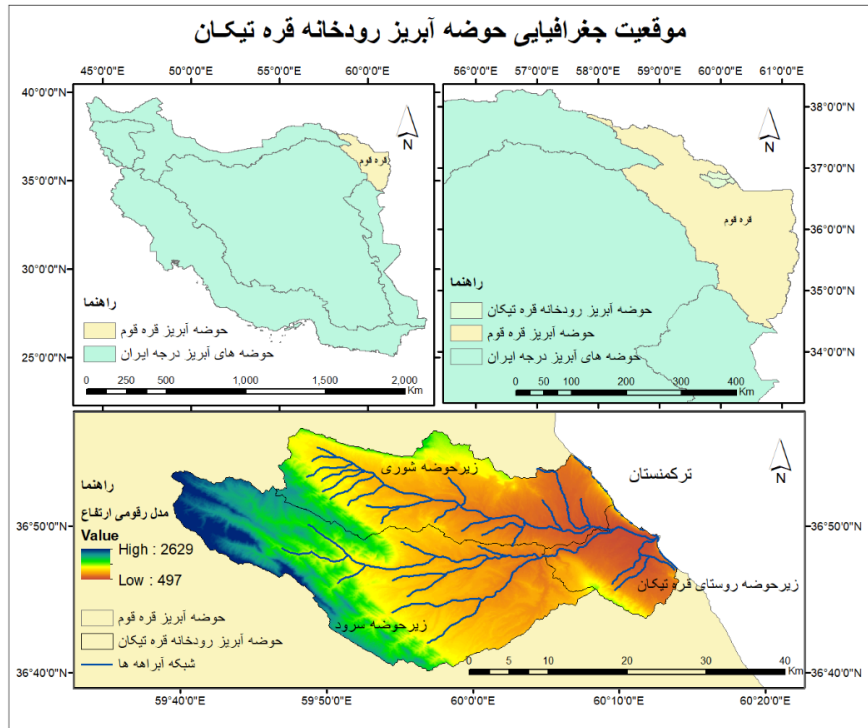
با توجه به فقدان ایستگاه زمینی، دمای میانگین سالانه حوضه از روی پایگاه داده‌های دمای بازتحلیل ERA5-Land در ارتفاع دو متری استخراج شد. این پایگاه، داده‌ها را به صورت شبکه‌ای با توان تفکیک فضایی 0.1×0.1 درجه و در مقیاس زمانی ساعتی و ماهانه ارائه می‌دهد (Muñoz-Sabater, 2021). از طرفی به دلیل صعب‌العبور و دورافتاده بودن این منطقه، ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود دوره آماری ناقص و کوتاهی داشتند که استفاده از آن‌ها را ناممکن کرده و مزیت کاربرد داده‌های ماهواره‌ای را نمایان می‌کند. بر این اساس داده‌های بارش منطقه از محصول ماهواره‌ای IMERG-Final V06 با توان تفکیک فضایی 0.1×0.1 درجه در مقیاس زمانی روزانه برداشت شد (Huffman et al., 2019). دوره آماری مورد مطالعه از ابتدای سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ تا انتهای سال آبی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ در نظر گرفته شد. ارزیابی محصولات ماهواره‌ای با ایستگاه‌های زمینی با استفاده از شاخص‌های آماری انحراف، همبستگی و خطای جذر میانگین مربعات صورت گرفت که به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۱ تا ۳ محاسبه شده‌اند.

اطلاعات کافی از حوضه می‌توان اثرات مخرب این وقایع را کاهش داد. Khudhair et al. (2020) با استفاده از داده‌های سنجش از دور و GIS در جلگه المحمدی در استان الانبار عراق به شناسایی و ارزیابی منابع و تعیین مکان‌های مناسب برای برداشت آب باران پرداختند. آن‌ها با ایجاد شش لایه موضوعی؛ یعنی ساختار خاک، شیب، تراکم زهکشی، پوشش گیاهی، فاصله تا جاده‌ها و عمق رواناب اقدام به یافتن مکان مناسب برای ساختار برداشت آب باران کردند. پس از وزن‌دهی به این لایه‌ها مشخص شد که ۱۲ درصد از کل منطقه مناسب و ۴۲ درصد تقریباً مناسب و ۴۶ درصد از منطقه برای برداشت آب باران نامناسب است. (Khazaei et al. (2019) در مطالعه‌ای چارچوب حسابداری آب را معرفی کردند که بر اساس بیلان آب تعریف شده است. در این روش اساس بیلان آب با تقسیم خروجی آب به بخش جریان خالص آب و مصرف آب در فرآیند تبخیر و تعرق بیان می‌شود. آن‌ها استفاده از داده‌های سنجش از دور را به دلیل سرعت بالا و نیز هزینه کم برآورد داده‌ها و همچنین امکان دستیابی به اطلاعات در حوضه‌های بدون ایستگاه اندازه‌گیری توصیه کردند. (Yousaf et al. (2021) در مطالعه‌ای در منطقه باری دوآب پاکستان به‌طور جامع از سنجش از دور و GIS برای نظارت بر کفایت آب در پاسخ به سامانه مدیریت آبیاری موجود استفاده کردند. آن‌ها از تصاویر ماهواره Landsat-8 و شاخص NDVI برای طبقه‌بندی محصولات و تعیین الگوی کشت و از تصاویر ماهواره MODIS برای ارزیابی کمبود آب در زمان آبیاری استفاده کردند.

رودخانه قره‌تیکان در شمال شرق ایران پس از طی مسیری به طول ۳۸ کیلومتر وارد خاک ترکمنستان می‌شود. به‌طور تقریبی سالانه در حدود نه میلیون مترمکعب آب از طریق این رودخانه از کشور خارج می‌شود. با توجه به این‌که بیش‌تر آبخیزنشینان به کشاورزی و دامداری اشتغال دارند، تقاضای شدیدی به آب در این منطقه احساس می‌شود که برای رفع این نیاز، شناخت و ارزیابی منابع آب و سپس مدیریت این منابع ضروری به نظر می‌رسد (Ghoreishi and Gharechelou, 2018). هدف از این تحقیق، بهره‌گیری از فناوری سنجش از دور در جهت تهیه داده‌های مورد نیاز هواشناسی و هیدرولوژی در این حوضه فاقد آمار و سپس استفاده از تکنیک‌های ابزار GIS در تحلیل، تلفیق و آماده‌سازی داده‌ها برای شناسایی و ارزیابی منابع آب در دسترس حوضه با هدف استفاده بهینه و جلوگیری از خروج این منابع ارزشمند است. در این راستا و با توجه به وضعیت موجود، سناریوی پیشنهادی بهره‌برداری از آب قابل دسترس در این حوضه نیز ارائه می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوضه آبریز رودخانه قره‌تیکان



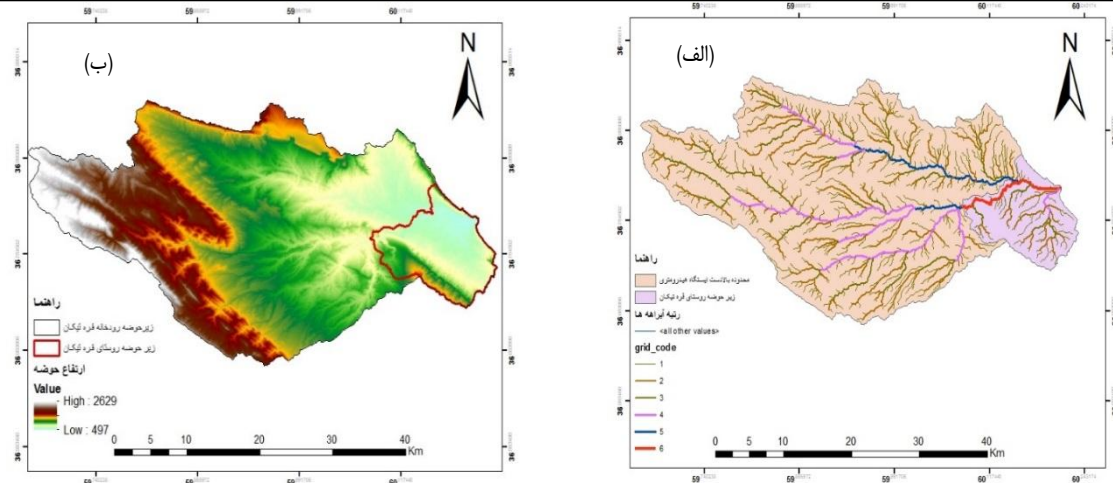
شکل ۱- موقعیت حوضه قره قوم در شمال شرق ایران و موقعیت حوضه آبریز رودخانه قره تیکان در حوضه قره قوم همراه با زیرحوضه‌های آبریز رودخانه قره تیکان را نشان می‌دهد.

Figure 1- Location of Karakum Basin in northeastern of Iran with Location of the catchment area of Qarah Tikan River in Karakum sub-basins.



شکل ۲- نمودار مراحل انجام تحقیق

Figure 2- Flowchart of the research



شکل ۳- نقشه اطلاعات فیزیوگرافی حوضه، (الف) شبکه آبراهه‌ها، (ب) مدل رقومی ارتفاع
Figure 3- Physiographic information of the watershed, (a) Waterways Network, (b) DEM

در روش جاستین با استفاده از داده‌های حوضه مجاور، رواناب در حوضه مورد نظر تخمین زده می‌شود. معادلات به‌کار رفته در این روش عبارتند از:

$$S = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{A}} \quad (4)$$

$$R = W/A \quad (5)$$

$$K = \frac{R(1.8T+32)}{S^{0.155} P^2} \quad (6)$$

به‌طوری که A مساحت حوضه (کیلومترمربع)، H_{max} حداکثر ارتفاع حوضه (کیلومتر)، H_{min} حداقل ارتفاع حوضه (کیلومتر)، W آبدهی سالانه حوضه (میلیون مترمکعب)، P متوسط بارش سالانه در حوضه (سانتی‌متر)، T متوسط دمای سالانه حوضه (سانتی‌گراد)، S شیب متوسط حوضه، R عمق رواناب سالانه حوضه و K ضریب جاستین است. در این روش ابتدا مساحت و اختلاف ارتفاع بین بلندترین و پایین‌ترین نقطه حوضه‌ای که در آن داده‌های ایستگاه هیدرومتری و اطلاعات بارش سالانه و دمای متوسط سالانه موجود است، مشخص شده و سپس با استفاده از روابط فوق، ضریب جاستین حوضه محاسبه می‌شود (Magesh et al., 2011). سپس با فرض یکسان بودن این ضریب برای دو حوضه مجاور، در حوضه فاقد آمار هیدرومتری، با توجه به داده‌های بارش سالانه و دمای متوسط و همچنین مشخصات فیزیوگرافی حوضه، مقدار رواناب تخمین زده خواهد شد (Ghoreishi and Gharechelou, 2018). در نهایت نیاز محیط زیستی رودخانه به‌عنوان رواناب خروجی از حوضه، مطابق با روش لیون تعیین شد. این روش که متغیر بودن جریان رودخانه را در نظر می‌گیرد شامل سه مرحله زیر است:

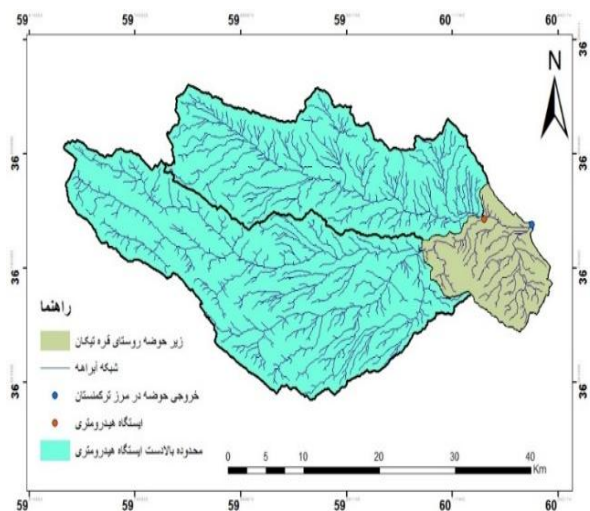
$$BIAS = \frac{\sum(S-O)}{N * \sum(O)} \quad (1)$$

$$CC = \left(\frac{\sum(S-\bar{S})(O-\bar{O})}{\sqrt{\sum(S-\bar{S})^2 \sum(O-\bar{O})^2}} \right) \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum(S-O)^2 / N} \quad (3)$$

در روابط فوق، S و O به‌ترتیب مقدار محصول ماهواره‌ای و داده زمینی، \bar{S} و \bar{O} به‌ترتیب میانگین مقادیر محصول ماهواره‌ای و داده‌های زمینی و N تعداد داده‌ها است.

علاوه بر این به‌منظور تخمین رواناب ورودی به حوضه از داده‌های ایستگاه هیدرومتری قره‌تکان استفاده شد (شکل ۴). در ادامه با استفاده از روش جاستین رواناب حاصل از بارش در حوضه محاسبه شد. در نهایت با جمع رواناب ورودی و رواناب حاصل از بارش در حوضه، جریان رواناب خروجی از حوضه به‌دست آمد.

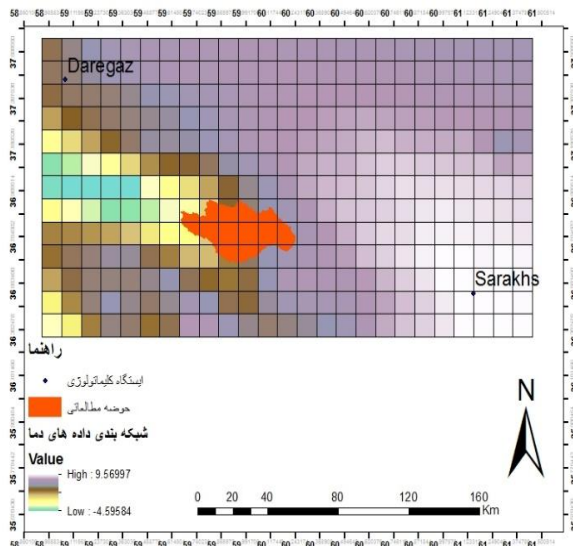


شکل ۴- موقعیت ایستگاه هیدرومتری و نقطه خروجی حوضه
Figure 4- Location of hydrometric station and basin outlet

Land از دو ایستگاه سرخس و درگز به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه‌ها در مجاورت حوضه بهره گرفته شد. جدول ۱، اطلاعات مربوط به این ایستگاه‌ها و شکل ۵ موقعیت آن‌ها و همچنین سلول‌بندی پایگاه ERA5-Land و شکل ۶ نقشه هم‌دمای حوضه آبریز رودخانه قره‌تیکان و میانگین دمای هر سلول در کل دوره آماری سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲-۱۳۹۳ را نشان می‌دهد. بر این اساس میانگین دمای محدوده هدف در بازه ۲۰ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی
Table 1- Specifications of climatology stations

نام ایستگاه	سرخس	درگز
ارتفاع (متر)	514	278
میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)	18.6	19.21
انحراف از معیار (درجه سانتی‌گراد)	9.85	10.24
طول دوره آماری	1379-1398	1386-1398



شکل ۵- موقعیت دو ایستگاه سرخس و درگز نسبت به حوضه آبریز قره‌تیکان و دمای میانگین روزانه بر اساس پایگاه داده ERA5-Land در ارتفاع دو متری در روز ۱۱ دی ۱۳۸۴ با کمینه دمای میانگین ۴/۵۹- و بیشینه ۹/۵۷ سانتی‌گراد

Figure 5- Location of Sarakhs and Dargaz stations in relation to Qara-Tikan catchment area and daily average temperature based on ERA5-Land database on January 1, 2005 with a minimum average temperature of -4.59 and a maximum of 9.57

جدول ۲ نتایج ارزیابی داده‌های دما با استفاده از سه شاخص آماری انحراف، همبستگی و خطای جذر میانگین مربعات را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود داده‌های پایگاه ERA5-Land همبستگی بسیار خوبی با ایستگاه‌های زمینی دارند، البته مقداری دما را بیش‌تر از واقعیت تخمین می‌زند.

(۱) تعیین دوره‌های کم آب و پر آب: به این ترتیب که ماه‌هایی که دبی کم‌تری از دبی میانگین سالانه دارند ماه‌های کم آب و ماه‌هایی که دبی بیش‌تری دارند ماه‌های پر آب خواهند بود.

(۲) محاسبه دبی میانه: به این ترتیب که ابتدا با میانگین‌گیری از دبی روزهای یکسان هر سال، هیدروگراف میانگین برای کل روزهای سال به‌دست می‌آید. سپس دبی روزانه در هر ماه به‌صورت صعودی مرتب شده و داده پانزدهم به‌عنوان دبی میانه آن ماه در نظر گرفته می‌شود.

(۳) تعیین دبی نیاز محیط زیستی: به این ترتیب که برای ماه‌های پر آب، ۴۰ درصد دبی میانه و برای ماه‌های کم آب ۶۰ درصد دبی میانه به‌عنوان نیاز محیط زیستی منظور خواهد شد. برای بررسی میزان تبخیر و تعرق رخ داده در این حوضه، از داده‌های مدل جهانی تبخیر آمستردام GLEAM استفاده شد (Shiklomanov, 2000). این داده‌ها با توان تفکیک مکانی ۰/۲۵ × ۰/۲۵ و در مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه هستند. سپس با استفاده از رابطه ۷، میزان تبخیر واقعی محاسبه شد.

$$E = E_t + E_b + E_w + E_i + E_s \quad (7)$$

که در آن E تبخیر واقعی، E_t تعرق، E_b تبخیر از سطح خاک لخت، E_w تبخیر از سطح آب‌های آزاد، E_i تبخیر از برگ‌اب و E_s تصعید از برف است.

به‌منظور مدیریت منابع آب موجود در حوضه آبریز قره‌تیکان، ارزیابی منابع آب موجود در حوضه در قالب بیلان عمومی آب انجام می‌گیرد. به محاسبه و پایش مبادلات آب در یک محدوده خاص در یک چرخه که بر اساس بقای جرم استوار است بیلان آب می‌گویند (Alessa et al., 2008). هدف از بررسی بیلان، به‌دست آوردن رابطه عناصر ورودی و خروجی و تعیین مقادیر هر یک از آن‌ها و نیز میزان ذخیره آب در محدوده مورد مطالعه است. بر این اساس منابع آب قابل دسترس طبق رابطه ۸ قابل محاسبه است:

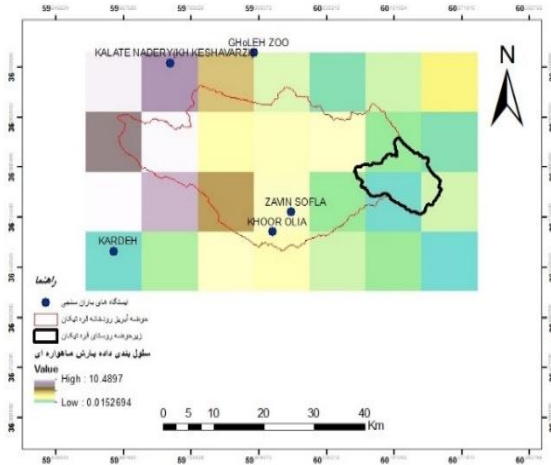
$$AW = P + R_{in} - ET - R_{env} - \Delta S \quad (8)$$

که در آن AW مقدار آب قابل دسترس، P میزان بارش، R_{in} رواناب ورودی به حوضه، ET تبخیر و تعرق رخ داده در سطح حوضه، R_{env} رواناب محیط زیستی لازم برای پایین‌دست حوضه و ΔS میزان مصرف آب است.

۳- نتایج و بحث

پیش از ورود به مرحله ارزیابی محصولات ماهواره‌ای، لازم به تأکید است که به واسطه وجود خطا و عدم قطعیت در این محصولات، صرفاً به‌عنوان تخمینی از مقادیر پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری شده شناخته می‌شوند.

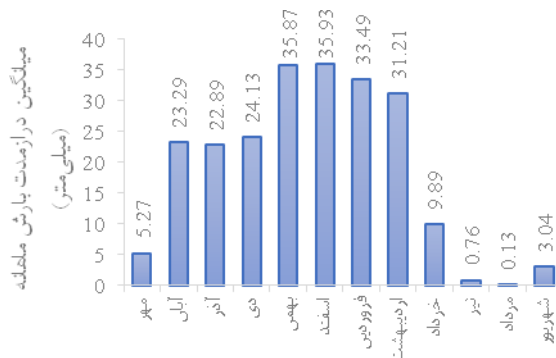
به‌دلیل عدم وجود ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی در منطقه، برای ارزیابی داده‌های دمای استخراج شده از پایگاه ERA5-



شکل ۷- موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی و شبکه‌بندی محصول IMERG در روز ۱۱ دی ۱۳۸۴ با ۱۰/۴۹ میلی‌متر به‌عنوان بیش‌ترین بارش و تقریباً ۰/۰۱ میلی‌متر به‌عنوان کم‌ترین میزان بارش

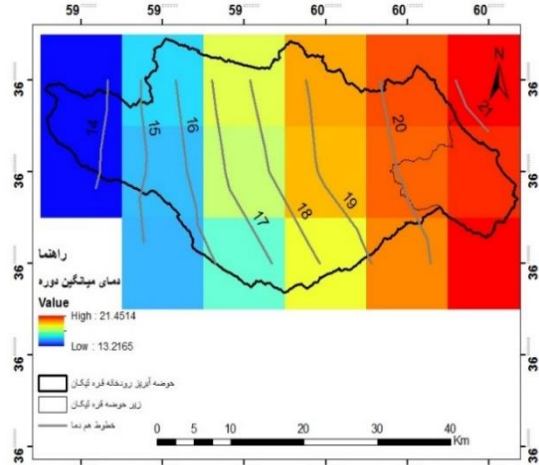
Figure 7- Location of rain gauges and cellular stations of IMERG product on January 1, 2005 with 10.49 mm as the highest rainfall and approximately 0.01 mm as the lowest rainfall

پس از استخراج داده‌های محصول ماهواره‌ای بارش روزانه IMERG و تبدیل به بارش ماهانه، برای محاسبه میانگین بارش ماهانه حوضه، میزان مساحت واقع شده هر سلول در منطقه در میزان بارش آن ضرب شده و سپس تقسیم بر مساحت کل منطقه شد (شکل ۸). همان‌طور که مشاهده می‌شود اغلب عمده بارش‌ها در ماه‌های بهمن تا اردیبهشت رخ می‌دهد.



شکل ۸- میانگین بارش ماهانه در طول دوره مطالعاتی
Figure 8. Average of monthly rainfall during the study period

پس از استخراج داده‌های تبخیر و تعرق از پایگاه GLEAM، میزان تبخیر رخ داده در هر سلول در میزان سهم مساحت آن سلول ضرب شده و در مساحت کل حوضه تقسیم شد و در نهایت این اعداد با هم جمع شدند. در جدول ۴، میزان تبخیر و تعرق ماهانه حوضه آمده است. علت کم‌تر بودن تبخیر و تعرق واقعی در فصل تابستان، کمبود بارش‌ها و فقدان آب برای تبخیر است.



شکل ۶- میانگین دمای هر سلول از ERA5-Land و نقشه هم‌دمای حوضه

Figure 6- Mean temperature of each cell from ERA5-Land and basin isotherm map using this data

به‌منظور ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای بارش با ایستگاه‌های مشاهدات زمینی نیز از ایستگاه‌های مجاور حوضه استفاده شد. شکل ۷، موقعیت ایستگاه‌ها و هم‌چنین سلول‌بندی داده‌های بارش IMERG و پراکندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی منتخب را نشان می‌دهد. جدول ۳ نتایج این ارزیابی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود به‌طور کل داده‌های IMERG همبستگی قابل‌قبولی با ایستگاه‌های زمینی دارند. بیش‌ترین همبستگی در ایستگاه قله‌زو و کم‌ترین همبستگی در ایستگاه خورعلیا دیده می‌شود. در دو ایستگاه کلات و کارده، بیش‌برآورد و در سه ایستگاه خورعلیا، زاوین و قله‌زو کم‌برآورد وجود دارد.

جدول ۲- نتایج ارزیابی داده‌های دمای ماهانه پایگاه ERA5-Land
Table 2- Evaluation results of monthly temperature data of ERA5-Land database

نام ایستگاه	سرخس	درگز
میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)	18.60(21.76 [°])	19.3(21.10 [°])
RMSE	3.443	2.045
CC	0.996	0.999
Bias	0.157	0.130

* دمای میانگین ERA5-Land در طول دوره سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳-۱۳۹۲

جدول ۳- نتایج ارزیابی محصول بارش ماهواره‌ای IMERG
Table 3- Evaluation results of IMERG satellite precipitation product

نام ایستگاه	میانگین بارش (میلی‌متر)	RMSE	CC	Bias
کلات	24.63 (29.04 [°])	18.88	0.77	0.19
خورعلیا	25.63 (19.76 [°])	19.79	0.70	-0.22
زاوین	25.77 (21.57 [°])	17	0.78	-0.15
کارده	19.83 (20.88 [°])	17.13	0.71	0.06
قله‌زو	26.54(23.20 [°])	17.46	0.81	-0.14

° بارش میانگین IMERG در طول دوره سال آبی ۱۳۸۴-۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲-۱۳۹۳

جدول ۵- دبی و آورد ماهانه ورودی به حوضه

Table 5- Monthly inflow to the watershed

ماه	میانگین دبی (لیتر بر ثانیه)	آبدهی ماهانه (میلیون مترمکعب)
مهر	1023.32	2.652
آبان	418.2	1.084
آذر	410.44	1.064
دی	362.33	0.939
بهمن	318.11	0.825
اسفند	717.44	1.798
فروردین	707.33	1.895
اردیبهشت	1018.11	2.727
خرداد	290.56	0.778
تیر	84.56	0.226
مرداد	13.78	0.037
شهریور	569.56	1.525

جدول ۴- تبخیر و تعرق ماهانه حوضه

Table 4- Monthly evapotranspiration of the watershed

ماه	تبخیر و تعرق (میلی متر بر ماه)	حجم تبخیر و تعرق ماهانه (میلیون مترمکعب)
مهر	2.48	0.18
آبان	6.51	0.48
آذر	4.71	0.35
دی	4.98	0.37
بهمن	13.81	1.02
اسفند	30.1	2.22
فروردین	45.26	3.33
اردیبهشت	48.90	3.59
خرداد	28.95	2.13
تیر	5.90	0.43
مرداد	0.91	0.07
شهریور	1.77	0.13

جدول ۶- نتایج رابطه تجربی جاستین

Table 6- Results of Justin's experimental relationship

نام حوضه	مجاور	اصلی
مساحت تحت پوشش (کیلومتر مربع)	837.53	73.48
اختلاف ارتفاع بیش‌ترین و کم‌ترین (کیلومتر)	2.036	0.932
آبدهی سالانه در محل ایستگاه (میلیون مترمکعب)	15.55	0.9535*
شیب	0.070	0.108
بارش سالانه (سانتی‌متر)	26.79	22.59
دمای متوسط سالانه (درجه سانتی‌گراد)	17.31	20.42
عمق رواناب سالانه (سانتی‌متر)	1.86	1.2976*
ضریب جاستین	0.246*	0.246

* محاسبه شده بر اساس رابطه تجربی جاستین

در صورت برنامه‌ریزی برای حداکثر بهره‌برداری از منابع آب حوضه می‌توان رواناب محیط زیستی پایین‌دست را به‌عنوان حداقل رواناب خروجی حوضه برای حفظ پایداری رودخانه در نظر گرفت. بدین منظور از روش لیون استفاده شد و ضریب تبدیل رواناب به جریان محیط زیستی برای ماه‌های پر آب و کم آب به‌ترتیب برابر 0.4 و 0.6 لحاظ شد. در جدول ۸، دبی و آورد ماهانه ورودی و هم‌چنین رواناب حاصل از بارش در حوضه و فرآیند تعیین میزان نیاز محیط زیستی هر ماه مشخص شده است. شکل ۱۰ حجم رواناب ماهانه نیاز محیط زیستی حوضه پایین‌دست را نشان می‌دهد.

در نهایت با مشخص شدن تمام اجزای بیلان عمومی آب، میزان آب قابل دسترس در حوضه در هر ماه محاسبه شد. جدول ۹، حجم آب هر یک از اجزای بیلان آب و میزان آب قابل دسترس در حوضه در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. در شکل ۱۱، مقادیر ماهانه هر یک از اجزای بیلان آب حوضه نشان داده شده است.

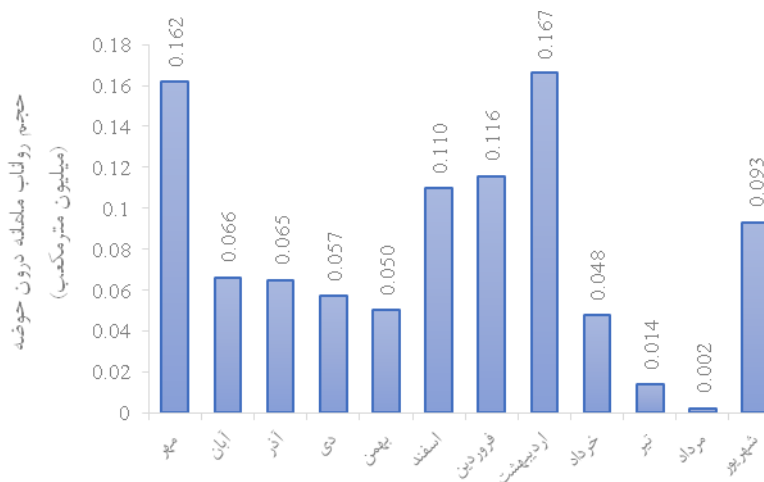
همان‌طور که گفته شد از داده‌های ایستگاه هیدرومتری قره‌تیکان در بالادست حوضه جهت محاسبه رواناب ماهانه ورودی به حوضه استفاده شد. در جدول ۵، دبی و آورد ماهانه ایستگاه ورودی به زیرحوضه روستای قره‌تیکان ارائه شده است. بیش‌تر آورد رودخانه در ماه‌های اسفند تا اردیبهشت است.

به‌دلیل مرزی و دور افتاده بودن منطقه مطالعاتی، ایستگاه هیدرومتری برای محاسبه خروجی از حوضه وجود ندارد. لذا رواناب حاصل از بارش در حوضه با استفاده از روش تجربی جاستین برآورد شده است. ایستگاه هیدرومتری قره‌تیکان که در بالادست زیرحوضه روستای قره‌تیکان قرار دارد به‌عنوان ایستگاه مجاور و اطلاعات بالادست زیرحوضه شوری و سررود به‌عنوان حوضه مجاور، مورد استفاده قرار گرفت. دمای متوسط سالانه از داده‌های دمای بازتحلیل شده ERA5-Land، مقدار بارش سالانه از محصول ماهواره‌ای IMERG، شیب متوسط و حداقل و حداکثر ارتفاع طبق مشخصات فیزیوگرافی تعیین شدند. جدول ۶ نتایج نتایج روش جاستین برای حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس این روش، در این حوضه سالانه 0.95 میلیون مترمکعب رواناب ایجاد می‌شود. در روش جاستین، رواناب به‌صورت عمق رواناب سالانه به‌دست می‌آید؛ اما به‌دلیل این‌که برای محاسبه بیلان آب، به رواناب ماهانه نیاز است، با استفاده از داده‌های ماهانه ایستگاه مجاور و محاسبه سهم هر ماه از رواناب کل سالانه در این ایستگاه، رواناب به‌صورت ماهانه در خروجی حوضه محاسبه شد (Abbasi, 2016) (جدول ۷). شکل ۹ تغییرات رواناب ماهانه حوضه را نشان می‌دهد. رواناب خروجی حوضه از جمع رواناب ورودی و رواناب حاصل از بارش در حوضه به‌دست آمد.

جدول ۷- دبی و حجم رواناب ماهانه در حوضه

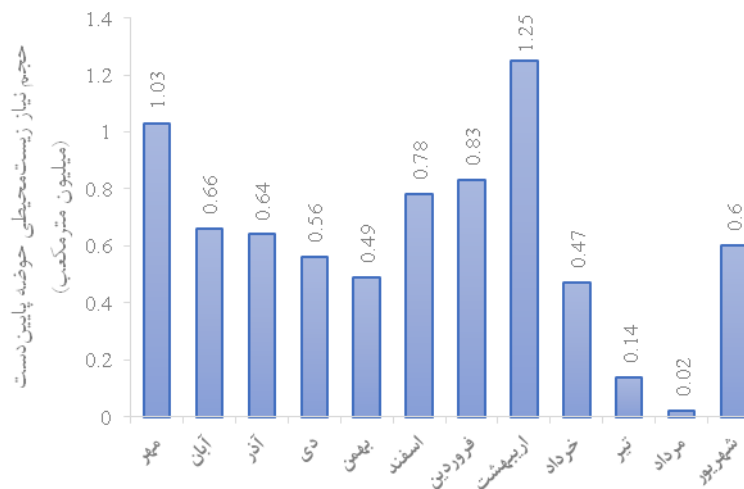
Table 7- Monthly runoff in the watershed

ماه	سهم رواناب هر ماه از رواناب سالانه بر اساس ایستگاه مجاور	دبی میانگین ماهانه حوضه اصلی (لیتر بر ثانیه)	حجم رواناب ماهانه حوضه اصلی (میلیون مترمکعب)
مهر	0.1706	62.51	0.162
آبان	0.0697	25.55	0.066
آذر	0.0684	25.08	0.065
دی	0.0604	22.14	0.057
بهمن	0.0530	19.43	0.050
اسفند	0.6115	43.83	0.110
فروردین	0.1218	43.21	0.116
اردیبهشت	0.1754	62.20	0.167
خرداد	0.050	17.75	0.048
تیر	0.0146	5.17	0.014
مرداد	0.0024	0.84	0.002
شهریور	0.0981	34.80	0.093



شکل ۹- حجم رواناب ماهانه ایجاد شده در حوضه

Figure 9- Monthly runoff volume created in the basin



شکل ۱۰- جریان محیط زیستی ماهانه خروجی از حوضه

Figure 10- Monthly environmental outflow of the watershed

جدول ۸- دبی و آورد ماهانه ورودی ایجاد شده در حوضه و جریان محیط زیستی خروجی

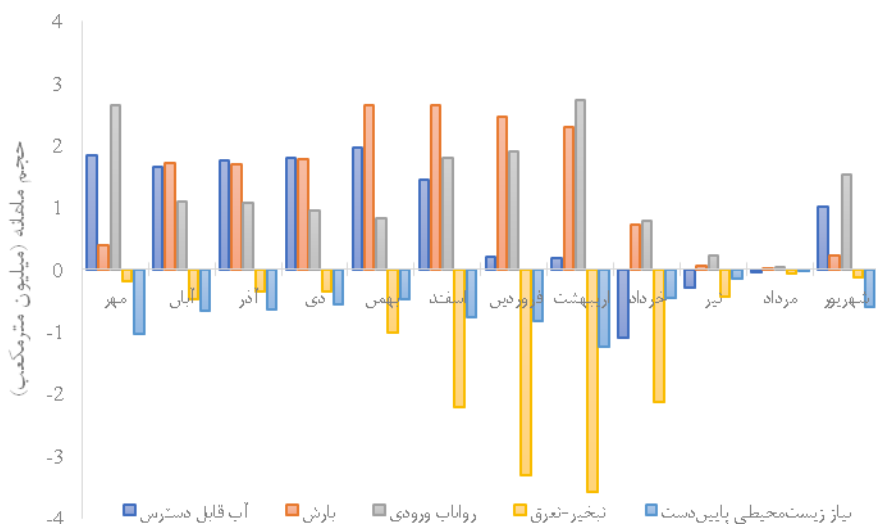
Table 8- Monthly inflow, created in the watershed and environmental outflow

ماه	دبی ورودی (لیتر بر ثانیه)	دبی تخمین زده شده (لیتر بر ثانیه)	رواناب حوضه (لیتر بر ثانیه)	حجم جریان رودخانه (میلیون مترمکعب)	درصد آورد	دبی میانه (لیتر بر ثانیه)	نوع ماه	جریان محیط زیستی (لیتر بر ثانیه)	حجم جریان محیط زیستی (میلیون مترمکعب)
مهر	1023.22	62.74	1085.96	2.815	17.07	992.37	پر آب	396.95	1.03
آبان	418.22	25.65	443.87	0.151	6.98	424.29	کم آب	254.57	0.66
آذر	410.44	25.17	435.61	1.129	6.85	413.42	کم آب	248.05	0.64
دی	362.33	22.22	384.55	0.997	6.05	362.58	کم آب	217.55	0.56
بهمن	318.11	19.51	337.62	0.875	5.31	314.21	کم آب	188.53	0.49
اسفند	693.53	43.99	737.52	1.912	11.59	749.78	پر آب	299.91	0.78
فروردین	730.91	43.37	774.28	2.007	12.17	802.64	پر آب	321.06	0.83
اردیبهشت	1052.05	62.43	1114.48	2.889	17.52	1203.92	پر آب	481.57	0.25
خرداد	300.24	17.82	318.06	0.824	5	304.43	کم آب	182.66	0.47
تیر	87.37	5.18	92.55	0.240	1.46	87.09	کم آب	52.25	0.14
مرداد	14.24	0.84	15.08	0.039	0.24	14.21	کم آب	8.53	0.02
شهریور	588.54	34.92	623.46	1.616	9.8	581.02	پر آب	232.41	0.60

جدول ۹- حجم هر یک از اجزای بیلان آب حوضه (میلیون مترمکعب)

Table 9- Watershed water balance components (MCM)

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
بارش	0.378	1.711	1.682	1.772	2.635	2.640	2.640	2.293	0.727	0.056	0.009	0.224
رواناب ورودی به حوضه	2.652	1.084	1.064	0.939	0.825	1.798	1.895	2.727	0.778	0.226	0.037	1.525
رواناب خروجی	1.030	0.660	0.640	0.560	0.490	0.780	0.830	1.250	0.470	0.140	0.020	0.600
تبخیر و تعرق	0.182	0.478	0.346	0.366	1.015	2.215	2.325	3.592	2.126	0.433	0.067	0.130
آب قابل دسترس	1.827	1.657	1.759	1.786	1.957	1.442	0.200	0.177	-1.091	-0.291	-0.041	1.019



شکل ۱۱- حجم ماهانه هر یک از اجزای بیلان عمومی آب

Figure 11- Monthly volume of each components of the general water balance

زیرزمینی برداشت می‌شود؛ بنابراین، منبع آب متفاوت در حوضه مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما به دلیل عدم وجود اطلاعات مناسب در مورد آب‌های زیرزمینی در این تحقیق این منبع آبی مورد بررسی قرار نگرفته است؛ بنابراین، حجم عظیمی از تعرق انجام

همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار آب قابل دسترس در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد منفی شده است که این به دلیل افزایش تعرق در این سه ماه است. در این ماه‌ها جریان سطحی در حوضه بسیار کاهش یافته و آب جهت آبیاری مزارع از آب‌های

مقادیر پارامترهای خطا در آن بسیار ناچیز بوده و همبستگی بسیار بالایی نیز دیده می‌شود. در مقابل محصول بارش ماهواره‌ای با دقت کم‌تری داده‌های بارش این حوضه را نمایندگی می‌کند، اما به هر حال از همبستگی قابل قبولی برخوردار است. بر این اساس میانگین درازمدت بارش سالانه حوضه در حدود ۲۲۵/۹ میلی‌متر است. از طرفی بررسی داده‌های تبخیر و تعرق پایگاه جهانی حاکی از میانگین درازمدت سالانه در حدود ۱۹۴/۴ میلی‌متر است. به این ترتیب در حدود ۸۶ درصد بارش‌های حوضه تحت فرآیند تبخیر از دسترس خارج می‌شوند. آورد سالانه ورودی به حوضه حدود ۱۵/۹ میلیون مترمکعب و رواناب سالانه حاصل از بارش درون حوضه طبق روش جاستین حدود یک میلیون مترمکعب به‌دست آمد. از طرفی با هدف حداکثر بهره‌برداری پایدار از منابع آب حوضه، رواناب خروجی حوضه برابر نیاز محیط زیستی پایین‌دست در نظر گرفته شد. به این ترتیب بر اساس روش لیون، نیاز محیط زیستی سالانه برای حفظ پایداری رودخانه در حدود ۷/۵ میلیون مترمکعب مشخص شد. در نتیجه با لحاظ بارش، رواناب، تبخیر و تعرق و نیاز محیط زیستی، مقدار سالانه آب در دسترس حوضه برای اهداف مختلف در حدود ۱۱/۸ میلیون مترمکعب است. پراکندگی این منبع آب در ماه‌های مختلف مشخص شده و حاکی از آن است که جهت تأمین نیازهای بخش کشاورزی در فصل تابستان و هم‌چنین کنترل سیلاب‌های زمستان و بهار، برنامه‌ریزی برای طراحی و اجرای سد ذخیره‌ای باید در دستور کار قرار گیرد. در این شرایط خروجی حوضه نیز تنظیم شده خواهد بود. رویکرد اتخاذ شده در این تحقیق بار دیگر بر اهمیت و توانایی سنجش از دور و GIS در مطالعات منابع آب حوضه‌های فاقد آمار مناسب تأکید می‌کند.

گرفته از منبع آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود که در بیان آب لحاظ نشده است. از این رو جهت اولویت‌بندی و برنامه‌ریزی، میزان آب قابل دسترس در این سه ماه، صفر در نظر گرفته شد.

۴- نتیجه‌گیری

فقدان اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژیکی همواره مسأله اساسی مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب بوده است. در این میان سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی به‌ویژه در حوضه‌هایی که شبکه مناسب پایش زمینی وجود ندارد می‌تواند نقش شایانی در رفع این مسأله داشته باشد. به این منظور در این مطالعه، تلاش شد تا با حداکثر بهره‌برداری از ظرفیت سنجش از دور، اطلاعات مورد نیاز با هدف توسعه بیان آب حوضه آبریز قره‌تیکان به‌عنوان حوضه‌ای فاقد آمار، گردآوری شود. بر این اساس داده‌های مربوط به خاک، پوشش گیاهی، بارش، مساحت، آبراهه‌ها، شیب و جهت شیب حوضه بر پایه پردازش داده‌های ماهواره‌ای تهیه شد. این داده‌ها پیش‌نیاز ارزیابی و شناخت حوضه هستند.

هم‌چنین برای پردازش و استخراج لایه‌های نام برده شده و داده‌های مربوط به دما و تبخیر و تعرق، از نرم‌افزار GIS استفاده شد. لازم به ذکر است در بخش شناسایی و ارزیابی حوضه آبریز رودخانه قره‌تیکان فقط از داده‌های رواناب مشاهدات زمینی استفاده شد و سایر داده‌ها از تکنیک پردازش داده‌های سنجش از دور و بر پایه پایگاه داده‌های ماهواره‌های رایگان در سطح جهانی از تارنماهای توزیع‌کننده این داده‌ها تأمین شد. نتایج ارزیابی‌ها نشان داد داده‌های دمای جهانی بازتحلیل شده دقت بالایی در تخمین دمای حوضه دارند؛ چرا که

منابع

قریشی قره‌تکان، س.ک.، و قره‌چلو، س. (۱۳۹۷). بررسی وضعیت آب‌های سطحی خروجی از مرزهای ایران در منطقه کلات نادری با استفاده از GIS. هفتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه یزد.

مطیعی لنگرودی، س.ح.، ولایتی، س.، و اکبرقلی، ف. (۱۳۸۷). بررسی وضعیت منابع آب منطقه کلات با تأکید بر مشکلات تأمین آب روستایی. پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۰(۶۳)، ۱-۱۴.

پوراصغر سنگاچین، ف. (۱۳۸۰). بررسی چالش‌های منابع آب کشور. نشریه برنامه و بودجه، ۶(۷ و ۸)، ۸۵-۱۲۲.

خزایی، س.، رایینی، م.، داوری، ک.، و شفیعی، م. (۱۳۹۷). معرفی چارچوب حسابداری آب + WA. آب و توسعه پایدار، ۵(۲)، ۱۱۷-۱۲۸.

عباسی، ل. (۱۳۹۵). تعیین پارامترهای بیان منابع آب محدوده مطالعاتی باغ‌ملک در استان خوزستان. دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

References

Abbasi, L. (2016). Determining the parameters of water resources balance in Baghmalek study area in Khuzestan Province. The Second National Congress of Irrigation and Drainage of Iran, Isfahan, Iran (in Persian).

Alessa, L., Kliskey, A., Lammers, R., Arp, C., White, D., Hinzman, L., & Busey, R. (2008). The arctic water resource vulnerability index:

an integrated assessment tool for community resilience and vulnerability with respect to freshwater. *Environmental Management*, 42, 523.

Athari, Z., Pezeshki Rad, G., Abbasi, E., Alibaygi, A., & Westholm, E. (2017). Designing a model for integrated watershed management in Iran. *Water Policy*, 19(6), 1143-1159.

- Babel, M., Gupta, A.D., & Nayak, D. (2005). A model for optimal allocation of water to competing demands. *Water Resources Management*, 19(6), 693-712.
- Backeberg, G.R. (2005). Water institutional reforms in South Africa. *Water policy*, 7(1), 107-123.
- Ghoreishi Gharetekan, S.K., & Gharechelou, S. (2018). Investigation of surface water discharge from Iran's borders in Kalat Naderi region using GIS. 7th Iranian National Water Resources Management Conference, Yazd, Iran (in Persian).
- Huffman, G.J., Stocker, E.F., Bolvin, D.T., Nelkin, E.J., & Tan, J. (2019). GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V06, Edited by Andrey Savtchenko, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC).
- Khazaei, S., Raeini Sarjaz, M., Davari, K., & Shafiei, M. (2019). Introducing the water accounting plus (WA+) framework. *Journal of Water and Sustainable Development*, 5(2), 117-128 (in Persian).
- Khudhair, M.A., Sayl, K.N., & Darama, Y. (2020). Locating site selection for rainwater harvesting structure using remote sensing and GIS. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 881(1), 012170.
- Kumar, D.N. & Reshmidevi, T. (2013). Remote sensing applications in water resources. *Journal of the Indian Institute of Science*, 93(2), 163-188.
- Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 4(4), 315-328.
- Magesh, N.S., Chandrasekar, N., & Soundranayagam, J.P. (2011). Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds, parts of Western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India: a GIS approach. *Environmental Earth Sciences*, 64(2), 373-381.
- Mianabadi, H. (2013). Political, security and legal considerations in the management of border rivers. *Intrnational Relation Research*, 3(9), 203-233.
- Motiee Langroudi, S.H., Velayati, S., & Akbaroghli, F. (2008). Investigating the situation of water resources in Kalat region with emphasis on rural water supply problems. *Geographical Research Quarterly*, 40(63), 1-14 (in Persian).
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., & Thépaut, J. N. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13, 4349-4383.
- Poorasghar Sanghachin, F. (2001). Investigating the challenges of water resources management in the country. *The Journal of Planning and Budgeting*, 6(7-8), 85-122 (in Persian).
- Ratha, D., & Agrawal, V.P. (2015). A digraph permanent approach to evaluation and analysis of integrated watershed management system. *Journal of Hydrology*, 525, 188-196.
- Schultz, G.A. (1997). Use of remote sensing data in a GIS environment for water resources management. Pp. 3-15, In: Baungartner M, Schultz G A and Johnson A I (eds), *Remote Sensing and Geographic Information Systems for Design and Operation of Water Resources Systems*, IAHS Publications, Walingford, Oxfordshire, UK.
- Sharma, S.K. (2019). Role of remote sensing and GIS in integrated water resources management (IWRM). Pp. 211-227, In: Ray S. (eds), *Ground Water Development-Issues and Sustainable Solutions*, Springer, Singapore.
- Sheffield, J., Wood, E.F., Pan, M., Beck, H., Coccia, G., Serrat-Capdevila, A., & Verbist, K. (2018). Satellite remote sensing for water resources management: Potential for supporting sustainable development in data-poor regions. *Water Resources Research*, 54(12), 9724-9758.
- Shiklomanov, I.A. (2000). Appraisal and assessment of world water resources. *Water International*, 25(1), 11-32.
- Singh, A. (2016). Managing the water resources problems of irrigated agriculture through geospatial techniques: An overview. *Agricultural Water Management*, 174, 2-10.
- Wang, G., Mang, S., Cai, H., Liu, S., Zhang, Z., Wang, L., & Innes, J.L. (2016). Integrated watershed management: evolution, development and emerging trends. *Journal of Forestry Research*, 27, 967-994.
- Yousaf, W., Awan, W.K, Kamran, M., Ahmad, S.R., Bodla, H.U., Riaz, M., Umar, M., & Chohan, K. (2021). A paradigm of GIS and remote sensing for crop water deficit assessment in near real time to improve irrigation distribution plan. *Agricultural Water Management*, 243, 106443.