

Spatial and Temporal Variation of Temperature and Precipitation Trends of Aras Transboundary River Basin

M. Nouri¹, S. Morid^{2*}, N. Karimi³ and H. Gholami⁴

Abstract

The Aras transboundary river has experienced a significant decreasing trend in inflow to the Aras Dam in recent years. In order to find out the cause, trend of changes in meteorological variables was evaluated. Working on a cross-border study area and lack of access to observational data, forced the use of TRMM3B43V7 and PERSIANN_CDR satellite products and CRU climate database as alternative data sources. Evaluation of precipitation products based on statistical criteria showed that the TRMM3B43V7 with R of 0.87 and 0.74 and RMSE of 65.64 and 84.56 mm and also, the BIAS values of 6.75% and 18.6%, respectively at the Kars and Mako stations had the best performance. Also, CRU climate database with high R and low RMSE and only 3.7% low estimate had acceptable results in temperature estimation in the study area. In order to investigate the trend of precipitation and temperature changes, non-parametric Mann-Kendall and Sense slope tests were used. The results showed that the trend of changes in precipitation on annual scale, except in the central parts of the basin, has been increasing. This change is more on seasonal scale, so that in the spring there was a downward trend and in the fall a reinforcer. Temperature also shows a uniform upward trend throughout the study area. According to the research, it is shown that climatic factors are not sufficient to justify the reduction of the inflow to the Aras Dam and the evaluation of human factors along with the effect of snowmelt is also necessary which is on the agenda of continuation to this study.

Keywords: Aras Transboundary Basin, Precipitation And Temperature Trend, CRU, PERSIANN_CDR, TRMM.

Received: July 16, 2021

Accepted: September 21, 2021

تغییرات مکانی و زمانی روند در دما و بارش حوضه آبریز فرامرزی ارس

مهراب نوری^۱، سعید مرید^{۲*}، نعمت‌اله کریمی^۳
و هوشنگ غلامی^۴

چکیده

رودخانه فرامرزی ارس طی سال‌های اخیر، روند کاهشی قابل توجهی در نقطه ورودی سد ارس داشته است. به منظور علت‌یابی این مشکل، به ارزیابی روند تغییرات متغیرهای هواشناسی در این حوضه پرداخته شد. به سبب فرامرزی بودن منطقه مطالعاتی و نبود دسترسی به داده‌های مشاهداتی، از محصولات ماهواره‌ای TRMM3B43V7^۱ و PERSIANN_CDR و پایگاه داده‌های اقلیمی CRU^۲ به عنوان منابع جایگزین استفاده شد. ارزیابی محصولات بارشی بر اساس معیارهای آماری نشان داد که TRMM3B43V7 با ضریب همبستگی ۰/۸۷ و ۰/۷۴ و ریشه دوم میانگین مربعات خطا ۶۵/۶۴ و ۸۴/۵۶ میلی‌متر و همچنین مقدار اریبی ۶/۷۵ و ۱۸/۶ درصد، به ترتیب در ایستگاه‌های باران‌سنجی قارص و ماکو بهترین عملکرد را داشته است. همچنین، پایگاه داده‌های اقلیمی CRU با ضریب همبستگی بالا و RMSE پایین و تنها با ۳/۷ درصد کم برآوردی نتایج قابل قبولی در برآورد دما در منطقه مطالعاتی داشت. به منظور بررسی روند تغییرات بارش و دما، از آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و شیب سنس بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که روند تغییرات بارش در مقیاس سالانه، جز در قسمت‌های مرکزی حوضه، به صورت افزایشی بوده است. این تغییرات در مقیاس فصلی بیشتر خود را نشان می‌دهد، به نحوی که در فصل بهار روند تغییرات به صورت کاهشی و در فصل پاییز به صورت افزایشی بوده است. دما نیز بطور یکسان در کل منطقه مطالعاتی سیر صعودی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج تحقیق، ملاحظه شد که عوامل اقلیمی برای توجیه کاهش ورودی‌ها به سد ارس کافی نیستند و بررسی عوامل انسانی به همراه اثر ذوب برف نیز لازم به توجه هستند که در دستور کار ادامه این مطالعات است.

کلمات کلیدی: حوضه فرامرزی ارس، روند تغییرات دما و بارش، CRU، PERSIANN_CDR، TRMM.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۴/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۶/۳۰

1- M.Sc. Graduate Student of Water Resources Engineering, College of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Professor, Department of Water Resources Engineering and Management, College of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: morid_sa@modares.ac.ir

3- Assistant Professor, Research Institute for Water Resources Studies and Research, Water Research Institute, Tehran, Iran.

4- M.Sc., Civil-Water Engineering, Head of Department of North Western Border Rivers and Shared Water Resources, Office of Border Water Resources and Shared Water Resources, Ministry of Energy, Tehran, Iran.

*- Corresponding Author

Dor: [20.1001.1.17352347.1400.17.3.5.0](https://doi.org/10.1001.1.17352347.1400.17.3.5.0)

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲- استاد، گروه مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۳- استادیار، پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب، موسسه تحقیقات آب، تهران.

۴- کارشناسی ارشد، عمران-آب، رئیس گروه رودخانه‌های مرزی و منابع آب مشترک شمال غرب کشور، دفتر رودخانه‌های مرزی و منابع آب مشترک، وزارت نیرو، تهران.

*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۴۰۰ امکانپذیر است.



بیش از ۲۶۰ حوضه رودخانه‌ای که حداقل توسط ۲ کشور مشترک‌اند، تقریباً ۵۰ درصد سطح زمین را پوشش می‌دهند. این موضوع باعث می‌شود، بسیاری از کشورها به استفاده از منابع آب مشترک برای توسعه ملی خود وابسته باشند. رودخانه ارس نیز یکی از رودخانه‌های فرامرزی ایران است که از کشور ترکیه سرچشمه گرفته و با اضافه شدن شاخه‌هایی از کشورهای ارمنستان و آذربایجان وارد ایران شده و سپس به دریای خزر تخلیه می‌شود. تغییرات اقلیمی و افزایش بهره‌برداری از منابع آب در بالادست حوضه سبب شده تا دبی این رودخانه روند کاهشی قابل توجهی در نقطه ورود به سد ارس طی سال‌های اخیر داشته باشد (UNDP, 2013). این تغییرات می‌تواند دلایلی مختلف در ارتباط با فعالیت‌های انسانی و تغییر در شرایط اقلیمی داشته باشد که مقاله حاضر به بُعد اقلیمی آن می‌پردازد. با این هدف، مطالعات متنوعی در کشور و سایر نقاط جهان صورت پذیرفته است. Fathian and Morid (2012) در تحقیقی روی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، تغییرات بارش، دبی و دما را با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که دما در سطح حوضه دارای روند غالب افزایشی می‌باشند. اما بارندگی رفتار متفاوت نشان داد، به طوری که در ۸ درصد ایستگاه‌ها روند افزایشی و در ۱۴ درصد از ایستگاه‌ها روند کاهشی مشاهده شد. Longobardi and Villani (2010) با هدف تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی بارندگی در منطقه کامپانیا^۲ در جنوب ایتالیا، روندهای بالقوه و معنی‌داری آنها را در ۲۱۱ ایستگاه باران‌سنجی طی دوره زمانی ۱۹۱۸ تا ۱۹۹۹ مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که روند، در مقیاس زمانی سالانه و فصلی به استثنای فصل تابستان، مثبت بوده است. در بررسی مطالعاتی که در این خصوص به انجام رسید، استفاده از روش‌های غیرپارامتریک بیشتر مورد توجه بود. البته مراجعی مانند Farrokhnia and Morid و Kahya and Kalaycı (2004) و Fathian and Morid (2012) تأکید داشتند که بدین منظور به یک روش بسنده نشود و حداقل دو روش مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال (2012) Fathian and Morid بطور همزمان آزمون‌های من- کندال، سنس تی، تایل سن و اسپیرمن را بکار بردند.

گذشت از رویکرد آماری برای بررسی روند، منطقه مطالعاتی در تحقیق حاضر حوضه‌ای فرامرزی می‌باشد که محدودیت‌های خاص خود را در تأمین آمار و داده دارد. چالشی که در دیگر مطالعات نیز به محدودیت‌های فنی و سیاسی آن اشاره شده است (Ahmed et al., 2018). بدین منظور یکی از روش‌های مؤثر در تهیه داده‌های مورد

در سال‌های اخیر با پیشرفت در زمینه‌های سنجش از دور، بانک‌های اطلاعاتی متنوعی توسعه یافته که محصولات ماهواره‌ای و تولید شده در مراکز تولید داده‌های اقلیمی از آن جمله هستند. به سبب گسترش این محصولات، نبود دسترسی آسان به داده‌ها، توزیع نامناسب ایستگاه‌ها و وجود داده‌های گم شده تاحدی جبران می‌شود و توزیع فضایی مناسبی از داده‌های مختلف در مقیاس وسیع فراهم می‌آید. در حال حاضر تعداد زیادی از محصولات دما و بارش ماهواره‌ای به صورت زمان واقعی در دسترس هستند (Ebert et al., 2007)، اما آنها در معرض خطاهای ناشی از اندازه‌گیری غیرمستقیم (Villarini et al., 2009)، عدم قطعیت نمونه‌گیری (Nijssen and Lettenmaier, 2004) و الگوریتم‌های بازیابی (McCollum et al., 2002) قرار دارند و خصوصیات این خطاها در مناطق مختلف آب‌وهوایی، رژیم‌های طوفان، شرایط سطحی، فصول و ارتفاعات تغییر می‌کند. بنابراین ارزیابی صحت این محصولات و مناسب بودن کاربرد آنها در مناطق مورد مطالعه امری ضروری است (Sorooshian et al., 2011). این مهم موضوع تحقیق Zhu et al. (2016) در مناطق مرطوب چین بوده است. آنها محصولات ماهواره‌ای TRMM-3B42-V7 و PERSIANN-CDR و محصول بازتحلیل شده NCEP-^۳CFSR^۵ را با داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که برآوردهای بارش حاصل از TRMM-3B42-V7 دارای کمترین خطا و اریبی بوده و بیشترین همبستگی را با داده‌های مشاهداتی در مقیاس زمانی ماهانه داشته است. در مطالعه‌ای دیگری اثر تغییرات مورد انتظار توزیع دما و بارش در آینده بر روی دسترسی منابع آب برای کشاورزی در شمال غربی آفریقا مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، داده‌های تاریخی بارش و دما با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای پایگاه‌های گروه خطرات اقلیمی بارش مادون قرمز با داده‌های ایستگاهی (CHIRPS^۶) و CRU به دست آمد، در حالی که پیش‌بینی‌های آینده دما و بارش از ریزمقیاس‌نمایی هماهنگ منطقه‌ای (CORDEX^۷) استخراج گردید. با مقایسه میانگین سالانه بارش مشاهداتی در دوره ۱۹۸۶-۲۰۰۵ و پایگاه‌های جهانی، CHIRPS از RMSE^۸ کمتری برخوردار بود، ضمن اینکه وضوح بالاتری را نیز داشت. همچنین، مقایسه داده‌های دما نشان داد که CRU کمترین RMSE را با داده‌های مشاهداتی در همه ایستگاه‌ها دارا است (Seif-Ennasr et al., 2016).

در راستای پاسخ به عوامل مؤثر بر کاهش آورد رودخانه ارس و مقدمه بالا، تحقیق حاضر تلاش دارد تا با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به

این منطقه بوده که از ارتفاعات ارزروم در ترکیه سرچشمه می‌گیرد و پس از آن در ادامه، عبور از کشورهای ارمنستان، آذربایجان و ایران را نیز طی کرده و به سد ارس واقع در مرز ایران و آذربایجان می‌ریزد. دریاچه سون^۹ ارمنستان با ۱۹۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا و ۱۲۴۲ کیلومتر مربع جزیی از این منطقه به شمار می‌آید.

میانگین سالانه دمای حوضه کورا-ارس °C ۹ تخمین زده می‌شود. میانگین دما در ماه ژانویه °C ۴- است که می‌تواند در مناطق سرد حوضه تا °C ۱۳- برسد. همچنین، در ماه جولای میانگین دما °C ۲۲ بوده که در جاهای گرم حوضه عدد °C ۲۸ مشاهده می‌شود (Bilalova and Shahana, 2019).

۲-۲- پایگاه‌های اقلیمی مورد استفاده

همانگونه که قبلا اشاره شد، سه پایگاه TRMM، PERSIANN_CDR و CRU برای این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است که در ادامه شرح مختصری از آنها ارائه می‌شود.

بررسی وضعیت ایستایی بارش و دما در حوضه سد ارس بپردازد. با توجه به سوابق بالا، سه محصول TRMM، PERSIANN_CDR و CRU از پایگاه‌های مطرح در تأمین داده‌های بارش نیز مورد استفاده و نتایج مربوط مقایسه و ارزیابی خواهند شد. سپس با کمک محصول منتخب به بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش و دما در حوضه بالا دست سد ارس پرداخته می‌شود.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز منتهی به سد ارس، بخشی از حوضه فرامرزی کورا-ارس است. منطقه موردنظر که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، در مختصات ۳۸/۵۸ و ۴۱/۳۰ درجه عرض جغرافیایی و ۴۰/۹۵ و ۴۶/۱۰ درجه طول جغرافیایی قرار گرفته است. این منطقه بین چهار کشور ارمنستان (۳۵/۸٪)، آذربایجان (۷٪)، ایران (۱۱/۸٪) و ترکیه (۴۵/۴٪) مشترک بوده و مساحتی بالغ بر ۵۱۲۷۲/۲۶ کیلومترمربع را پوشش می‌دهد. بازه تغییرات ارتفاعی منطقه بین ۵۱۱۲ متر (کوه آزارات) و ۷۲۸ متر (دریاچه سد ارس) با میانگین ارتفاعی ۲۹۲۲ متر است. رود ارس رودخانه اصلی

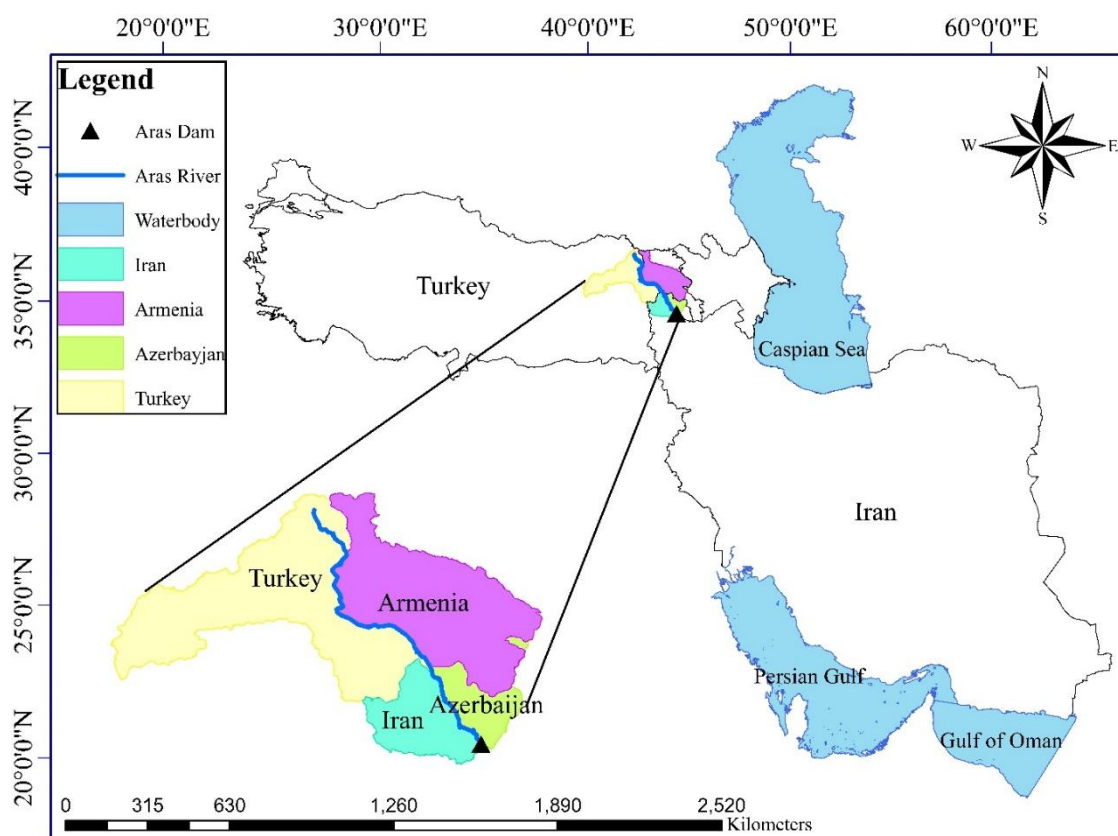


Fig. 1- Geographical location of the study area

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

تحقیقات منابع آب ایران، سال هفدهم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰
Volume 17, No. 3, Fall 2021 (IR-WRR)

PERSIANN_CDR -

پایگاه PERSIANN-CDR یک محصول تخمین بارندگی شبه‌جهانی است که توسط مرکز هواشناسی و سنجش از دور (CHRS¹⁰)، در دانشگاه کالیفرنیا ارواین (UCI¹¹) توسعه داده شده است. این پایگاه عرض جغرافیایی ۶۰ درجه جنوبی تا ۶۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی صفر تا ۳۶۰ درجه را با وضوح مکانی ۰/۲۵° پوشش می‌دهد (Ashouri et al., 2015). اطلاعات بارش آن نیز ابتدا توسط داده‌های مادون قرمز ماهواره شبکه‌ای (Gridsat-B1) و داده‌های بارش ساعتی مرحله ۴ مرکز ملی محیط زیست (NCEP¹²) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی تولید می‌شود و سپس توسط داده‌های ماهانه مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی (GPCP¹³) اصلاح می‌شود (Ashouri et al., 2015). نسخه فعلی PERSIANN-CDR محدوده زمانی ۱ ژانویه ۱۹۸۳ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۱۹ را در بر می‌گیرد.

TRMM -

TRMM اولین ماهواره‌ای است که با همکاری سازمان هوانوردی و فضایی آمریکا (NASA) و آژانس کاوش‌های هوافضای ژاپن (JAXA¹⁴) در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ با هدف پایش و مطالعه بارش در مناطق حاره‌ای و جنب حاره‌ای شروع به کار کرد (Shuster et al., 2011). این ماهواره در مدار پایین زمین با ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری (در سال ۲۰۰۱ به ارتفاع ۴۰۲/۵ کیلومتر تغییر کرد) با شیب ۳۵ درجه و گردش دور زمین به میزان ۱۶ مدار در روز عمل می‌کند. آنالیز بارش چند ماهواره‌ای (TMPA¹⁵) یکی از محصولات TRMM می‌باشد که برای ترکیب اندازه‌گیری‌های بارش از سیستم‌های ماهواره‌ای متفاوت و باران‌سنج‌ها طراحی شده است (Huffman et al., 2007). ورژن ۷ الگوریتم TMPA دارای ۲ نسخه اصلی می‌باشد: الف) 3B42 که از ترکیب سنجنده‌های میکروویو و مادون قرمز به دست آمده و در وضوح زمانی ۳ ساعته قابل دسترس می‌باشد و ب) 3B43 که ورودی‌های مورد استفاده در آن سنجنده‌های میکروویو و مادون قرمز می‌باشد همچنین، باران‌سنج‌های مرکز آب و هواشناسی بارش جهانی

(GPCP¹⁶) برای تصحیح اریبی و فراهم کردن بهترین تخمین از بارش در وضوح مکانی ۰/۲۵° درجه با پوشش عرض جغرافیایی ۵۰ درجه شمالی تا ۵۰ درجه جنوبی به صورت ماهانه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Huffman et al., 2007). نسخه 3B43 الگوریتم TMPA در ژولای ۲۰۱۱ منتشر شده و داده‌های آن از سال ۱۹۹۸ تا کنون در دسترس قرار دارد. بعد از ۱۷ سال جمع‌آوری داده، ادوات روی TRMM در ۸ آوریل ۲۰۱۵ غیرفعال شدند؛ اما مجموعه داده‌ها تا سال ۲۰۱۸ تولید شده‌اند.

CRU -

پایگاه CRU، سری زمانی ماهانه داده‌های شبکه‌بندی شده جهانی را بر پایه مشاهدات بیش از ۴۰۰۰ ایستگاه زمینی است که در دانشگاه Anglia شرقی انگلستان قرار دارد (Belda et al., 2014). این اطلاعات از سازمان جهانی هواشناسی (WMO¹⁷) همراه با مرکز NOAA¹⁸ آمریکا تأمین می‌شوند (Guo et al., 2018). CRU TS4.03 آخرین ورژن داده‌های سری زمانی ماهانه این پایگاه است که با وضوح مکانی ۰/۵° محدوده زمانی ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۸ را پوشش می‌دهد. CRU از روش میانمایی ADW¹⁹ برای توسعه داده‌های شبکه‌بندی شده استفاده می‌کند (Harris et al., 2014) و نتایج قوی‌تری به دلیل انتخاب بهتر ایستگاه‌های مشاهداتی دارا است.

- داده‌های مشاهداتی زمینی

در این تحقیق، اطلاعات روزانه مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی قارص و ماکو از سازمان هواشناسی جهانی (WMO) جمع‌آوری و مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۲ موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. آمار بارش در ایستگاه‌های ذکر شده دارای مقادیر ثبت نشده زیادی در زمان‌های قبل از سال ۲۰۰۰ بود بنابراین این داده‌ها در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ مورد استفاده قرار گرفتند. جدول ۲ و شکل ۲ به ترتیب مشخصات پایگاه‌های مورد استفاده و شبکه اطلاعات بارش آنها را روی حوضه فرامرزی ارس نشان می‌دهد.

Table 1- Major characteristics of gridded precipitation dataset used in the study

جدول ۱- ویژگی‌های اصلی داده‌های شبکه‌بندی شده بارش در مطالعه

Product	Spatial/Temporal res	Spatial Coverage	Period	Reference
PERSIANN_CDR	0.25°-Daily	Global (60°S-60°N)	1983-Present	(Ashouri et al., 2015)
TRMM-3B43-V7	0.25°-Monthly	Global (50°S-50°N)	1998-Present	(Huffman et al., 2007)
CRU	0.5°-Monthly	Global (Land Only)	1901-Present	(Harris et al., 2014)

Table 2- Location of stations used in the basin upstream of Aras Dam

جدول ۲- موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده در حوضه بالادست سد ارس

Station	Longitude	latitude	Elevation	Precipitation	Temperature
Kars	43.107	40.604	1795	588.07	-----
Makoo	44.383	39.367	1411	279.5	10.57

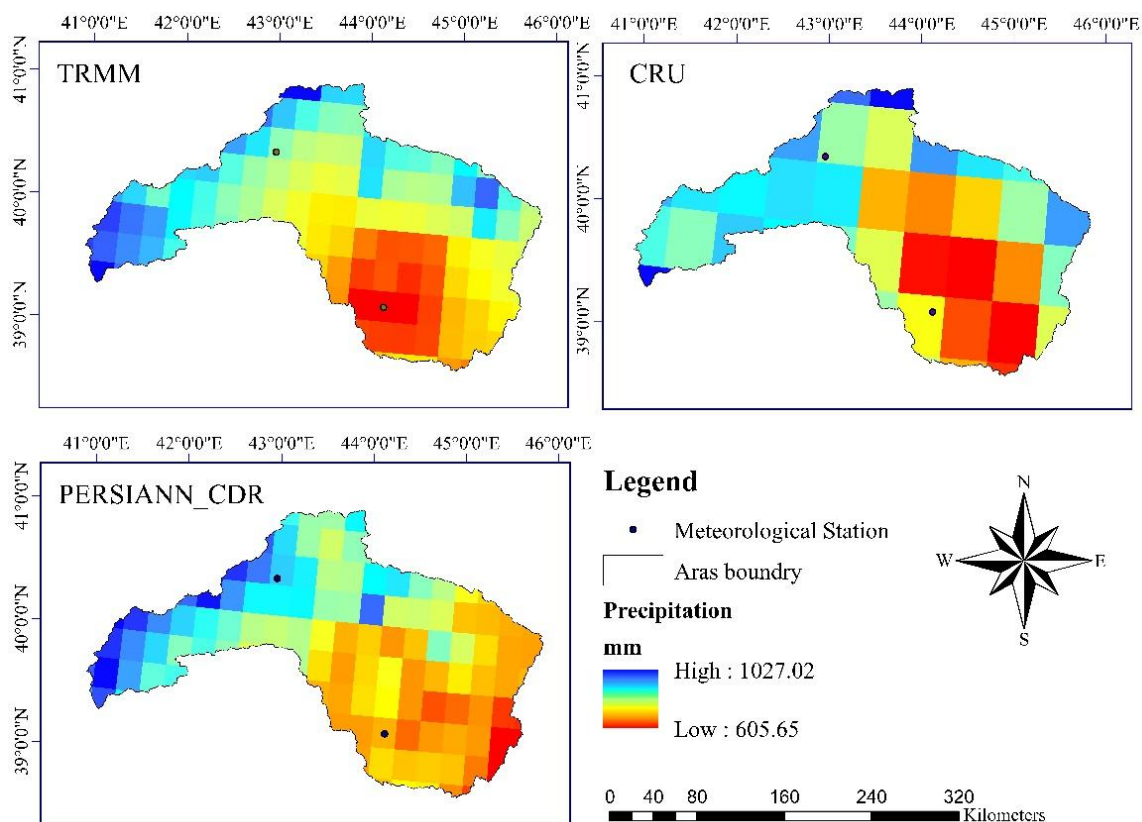


Fig. 2- Annual gridded precipitation dataset & location of precipitation observation stations used in this study

شکل ۲- داده‌های بارش شبکه‌بندی شده سالانه و موقعیت ایستگاه‌های مشاهداتی استفاده شده در این مطالعه

کندال و اسپیرمن است (Wang et al., 2011). اگرچه روش‌های اشاره شده، وجود روند در سری‌های زمانی را مشخص می‌نمایند، اما قادر به کمی‌سازی مقدار آن (تغییرات در واحد زمان) نیستند که برای این منظور می‌توان از روش پارامتری شیب رگرسیون خطی و یا روش ناپارامتری شیب سنس استفاده نمود. در این بخش به ارائه شرح مختصری از روش‌های ناپارامتری من- کندال و شیب سنس پرداخته می‌شود که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته شده است.

- آزمون تحلیل روند من- کندال ۲۰

این آزمون یکی از متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند است که ابتدا توسط Mann (1945) ارائه شد و سپس توسط Kendall

۳-۲ آزمون‌های روند داده‌های هواشناسی

تغییرات ایستگاهی (Stationary) در سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی به اشکال مختلف قابل وقوع می‌باشد که از مهمترین و در عین حال مرسوم‌ترین آنها، روند می‌باشد.

برای تشخیص و کمی‌سازی روند در این سری‌ها و حتی تعیین زمان وقوع آنها، روش‌های آماری متنوعی در مراجع مختلف پیشنهاد شده که شامل روش‌های پارامتری و ناپارامتری می‌باشد. تفاوت اصلی آنها در عدم نیاز به پیروی داده‌های مورد بررسی از یک توزیع خاص در روش‌های ناپارامتری است. همچنین روش‌های ناپارامتری، حساسیت کمتری به مقادیر حدی و داده‌های پرت سری زمانی مورد مطالعه دارند که این ویژگی‌ها موجب شده تا بیشتر مورد توجه باشند (Xu et al.,

$$B = \frac{ss \times N}{\bar{x}} \times 100 \quad (6)$$

که در آن ss شیب سنس، N تعداد سال آماری، \bar{x} میانگین بارش دوره مورد نظر و B درصد تغییرات نسبت به میانگین است.

۲-۴- روش درون‌یابی کریجینگ (Kriging)

کریجینگ یک روش تخمین زمین‌آماري است که مقادیر مجهول را با استفاده از مقادیر معلوم و یک نیم‌تغییرنما، برآورد می‌کند. این روش بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است. کریجینگ علاوه بر تخمین مقادیر مجهول، خطای مرتبط با آن تخمین را نیز محاسبه می‌کند. بنابراین می‌توان فاصله اطمینان تخمین را برای هر مقدار برآورد شده با استفاده از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n [\lambda_i \cdot z(x_i)] \quad (7)$$

که در آن، $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد در نقطه x_i ، λ_i وزن مربوط به متغیر Z و $z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر اصلی است. نرمال بودن متغیر Z شرط استفاده از این تخمین‌گر است. اگر Z توزیع نرمال نداشته باشد، باید از کریجینگ غیر خطی استفاده کرد. از آنجا که تخمین‌گر کریجینگ بهترین تخمین‌گر خطی نارایب است، بنابراین باید عاری از خطای سیستماتیک باشد و واریانس تخمین آن نیز حداقل باشد (Aghdasi, 2003).

۲-۵- معیارهای ارزیابی دقت نتایج

برای ارزیابی دقت برآورد پایگاه داده‌های PERSIANN-CDR، TRMM 3B43V7 و CRU از معیارهای آماری ضریب همبستگی پیرسون (R)، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و آماره آریبی که در زیر آمده‌اند، استفاده می‌شود:

ضریب همبستگی پیرسون (R): شدت ارتباط خطی بین ۲ متغیر را نشان می‌دهد و مقدار آن بین -۱ و +۱ است و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (7)$$

RMSE: میانگین خطا و انحراف پایگاه‌های داده‌های جهانی را با ایستگاه‌های باران‌سنجی مشاهده‌ای نشان می‌دهد و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (8)$$

درصد آریبی (BIAS): میانگین تمایل مدل را در بیش برآورد کردن یا کم برآورد کردن مقادیر مشاهده‌ای نشان می‌دهد. مقدار آریبی برابر

(1975) توسعه یافت و کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه شده است (Kendall, 1948; Mann, 1945; Mitchell et al., 1966). از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از آن است. برای محاسبه آماره این آزمون ابتدا پارامتر S با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S = k \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (1)$$

که در آن: n تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب داده‌های Z و k ام سری هستند. تابع علامت نیز برابر است با:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

سپس آماره آزمون با استفاده از رابطه زیر مشخص می‌گردد:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

در رابطه فوق واریانس S برابر است با:

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m (t(t-1)(2t+5))}{18} \quad (4)$$

که در آن: m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است. آماره آزمون MK تقریباً از نوع توزیع نرمال استاندارد تبعیت می‌کند.

۲-۱- آزمون شیب سنس^{۲۱} در تعیین شیب روند

در این روش تغییرات در مقادیر سری زمانی بر اساس محاسبه شیب تغییرات بین کلیه جفت داده‌های مشاهداتی (به ازای n داده تعداد کل شیب‌ها برابر با $n \times (n-1)/2$ می‌باشد) محاسبه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\beta = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad \text{for } i=1.2 \dots N \quad (5)$$

سپس میانه شیب‌های محاسبه شده به عنوان مقدار متوسط شیب سری زمانی در نظر گرفته می‌شود. مقدار مثبت شیب میانه حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن روند است. درصد تغییرات بارش و دما نیز با استفاده از شیب سنس و از معادله زیر به دست آمد (Yue and Hashino, 2003b):

۳-۱-۲- بررسی روند تغییرات بارش

- درصد تغییرات بارش براساس شیب سنس

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳ و عملکرد بهتر TRMM 3B43V7، در ادامه تغییرات بارش برای دوره زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ (طول دوره آماری موجود) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بر این اساس، شاخص "درصد تغییرات نسبت به میانگین سالانه بارش" (رابطه ۶) که براساس شیب سنس بدست می‌آید، بطور مکانی برای حوضه محاسبه و در شکل ۳ ارائه شده است. لازم به ذکر می‌باشد که برای تهیه این نقشه، ابتدا شاخص فوق برای هر کدام از پیکسل‌های محصول ماهواره‌ای TRMM 3B43V7 (پردازش سری زمانی موجود در هر پیکسل) محاسبه و سپس با استفاده از روش درون‌یابی Kriging، تغییرات مکانی آن احصاء شد.

همانطور که از شکل فوق قابل مشاهده می‌باشد، تغییرات سالانه بارش در بخش مرکزی منطقه مطالعاتی به صورت کاهشی-هرچند غیرمعنی‌دار بوده است. اما، در بخش‌هایی روند آن به صورت افزایشی بوده که مربوط به جنوب شرق و موقعیت کشور ایران است. قابل توجه اینکه روند تغییرات بارش در قسمتی از این منطقه معنی‌دار نیز می‌باشد (بخش هاشور خورده). به صورت کلی تغییرات فوق در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که بارش در آن به طور متوسط ۹/۹ درصد نسبت به میانگین بازه زمانی مورد مطالعه افزایش داشته است.

- روند در مرزهای کشورهای ساحلی حوضه

تفکیک کشوری نتایج نشان می‌دهد که آذربایجان با ۳۰/۵ درصد و ارمنستان با ۲/۳ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین افزایش بارش را از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ داشته‌اند. ترکیه و ایران نیز به ترتیب ۷/۶ و ۳۰/۰ درصد افزایش را در همین دوره زمانی تجربه کرده‌اند که شکل ۴ نیز گواه همین مساله است.

صفر نشان دهنده این است که مدل به خوبی توانسته است مقادیر مشاهده‌ای را پیش‌بینی کند. مقادیر مثبت و منفی به ترتیب بیانگر بیش برآورد کردن و کم برآورد کردن مدل است:

$$BIAS=100 \times \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \right] \quad (9)$$

که در آن، O_i مشاهدات اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه i ، P_i بارش تخمین زده شده توسط مدل در محل قرارگیری ایستگاه i ، \bar{O} میانگین مشاهدات کل ایستگاه‌ها، \bar{P} میانگین بارش‌های تخمین زده شده در محل قرارگیری کل ایستگاه‌ها و n تعداد کل داده‌ها است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱-۳- بارش

۳-۱-۱-۳- ارزیابی اطلاعات بارش در پایگاه‌های اقلیمی

محصولات بارش TRMM 3B43 V7، PERSIANN_CDR و CRU با داده‌های بارش مشاهداتی ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد ارزیابی قرار گرفتند. جدول ۳ معیارهای آماری محاسبه شده برای مقایسه این محصولات با بارش مشاهداتی ایستگاه‌های باران‌سنجی قارص و ماکو را در مقیاس زمانی سالانه برای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. داده‌های شبکه‌بندی شده بارش TRMM 3B43V7 با ضریب همبستگی بیشتر و RMSE کمتر نسبت به دو محصول PERSIANN-CDR و CRU عملکرد بهتری هم در دو ایستگاه داشته است. به جز پایگاه داده‌های اقلیمی CRU که مقدار بارش در ایستگاه قارص را ۱/۷۷ درصد نسبت به بارش مشاهداتی کمتر برآورد کرده، در بقیه موارد بیش‌برآوردی محصولات بارشی در ایستگاه‌های باران‌سنجی قابل ملاحظه است. علیرغم اینکه محصول ماهواره‌ای PERSIANN_CDR از حیث شدت ارتباط خطی (R) با بارش مشاهداتی در ایستگاه‌های باران‌سنجی نسبت به پایگاه داده‌های اقلیمی CRU عملکرد بهتری داشته، از نظر سایر معیارها بدترین عملکرد را به خود اختصاص داده است.

Table 3- Statistical analysis of precipitation products

جدول ۳- تجزیه و تحلیل آماری محصولات بارشی

Station	Statistics	CRU	PERSIAN_CDR	TRMM 3B43-V7
Kars	R	0.71	0.72	0.87
	RMSE (mm/year)	75.65	297.1	65.64
	BIAS (%)	-1.77	48.93	6.75
Makoo	R	0.61	0.63	0.74
	RMSE (mm/year)	173.2	378.83	84.56
	BIAS (%)	55.2	132	18.6

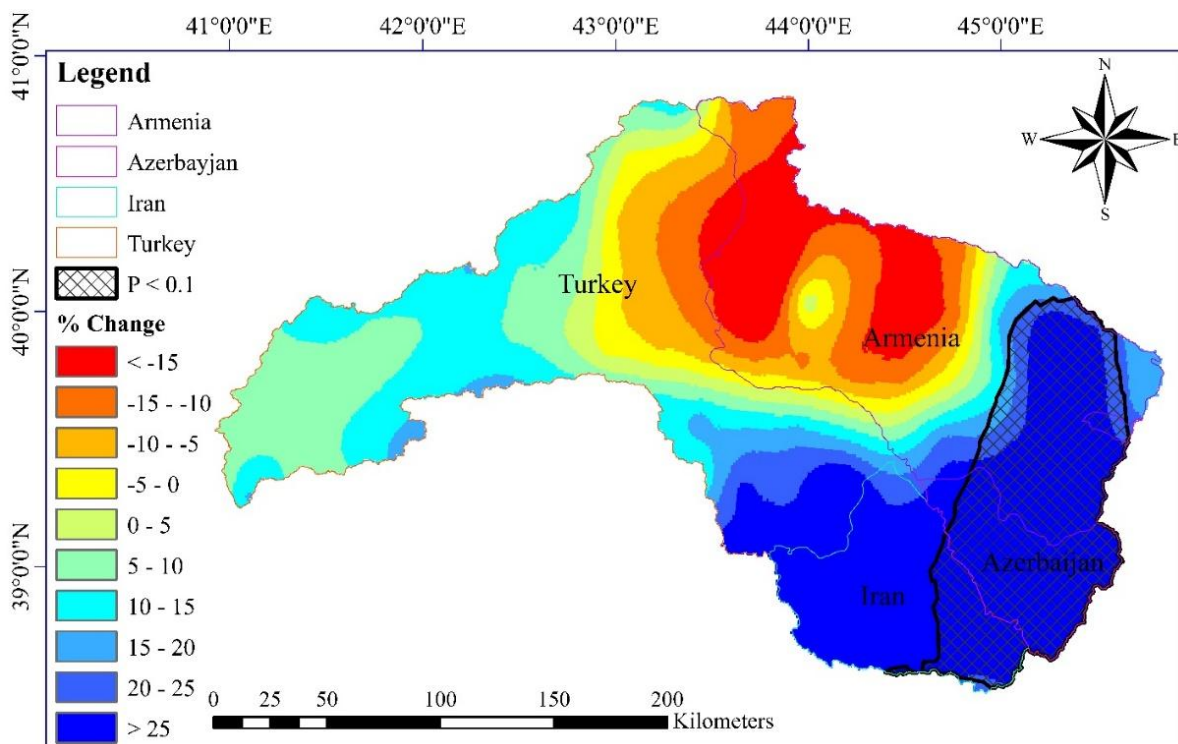


Fig. 3- Percentage of annual TRMM 3B43V7 precipitation changes compared to the average during the statistical period of 1998 to 2018

شکل ۳- درصد تغییرات بارش سالانه محصول TRMM 3B43V7 نسبت به متوسط در طول دوره آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸

براین اساس، درصد تغییرات سالانه دما مربوط به حوضه مطالعاتی با استفاده از پایگاه داده‌های اقلیمی CRU در شکل ۷ به صورت مکانی نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، تغییرات سالانه دما در کل حوضه به صورت افزایشی می‌باشد که درصد آن در قسمت شمالی منطقه مطالعاتی نسبت به مناطق جنوبی بیشتر بوده است. به صورت کلی تغییرات دما در منطقه مطالعاتی نشان از افزایش ۱۰/۱ درصدی (۰/۶۹ درجه سانتی‌گراد) نسبت به میانگین بازه زمانی از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ دارد که همانطور که در شکل (۸) نیز مشخص است، بیشترین افزایش مربوط به ترکیه با ۱۲/۶ درصد (۰/۸۵) درجه سانتی‌گراد) و کمترین تغییر در آذربایجان با ۴/۶ درصد (۰/۳۶) درجه سانتی‌گراد) بوده است. ارمنستان و ایران نیز به ترتیب ۹/۶ (۰/۵۹) درجه سانتی‌گراد) و ۵/۴ درصد (۰/۵۵) درجه سانتی‌گراد) افزایش را تجربه کرده‌اند.

بررسی تغییرات فصلی دما نیز که در شکل ۹ آمده نشان می‌دهد که دما در کل حوضه مطالعاتی و در تمام فصول به جز فصل پاییز روند افزایشی را تجربه می‌کند، که این تغییرات در هیچ یک از فصول معنی‌دار نمی‌باشد.

علاوه بر تغییرات سالیانه، بررسی روند فصلی بارش در منطقه مطالعاتی نیز انجام شد (شکل ۵). نتایج نشان می‌دهد که بجز در فصل بهار، در سایر فصول روند مثبت غالب می‌باشد. این روند در فصل پاییز بیشتر خودنمایی می‌کند. در فصل بهار، ضمن اینکه روند کاهشی غالب است، در حدود ۱۵ درصد از منطقه کاهش‌ها معنی‌دار هستند.

۳-۲- دما

برای این بخش و به منظور ارزیابی روند تغییرات دما، از پایگاه داده‌های اقلیمی CRU استفاده شد و مراحل قبل نیز برای آن تکرار گردید. البته با این تفاوت که دیگر مقایسه بین چند محصول انجام نپذیرفت و فقط پایگاه داده‌های اقلیمی CRU پس از مقایسه با تنها داده‌های مشاهداتی که برای ایستگاه ماکو طی دوره زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ در دسترس بود، مدنظر قرار گرفت. همانطور که در شکل ۶ نیز مشاهده می‌شود داده‌های دمای به دست آمده از این محصول، با ضریب همبستگی بالا و RMSE پایین و تنها با ۳/۷ درصد کم برآوردی، نتایج قابل قبولی در برآورد پارامتر دما در منطقه مطالعاتی داشته است.

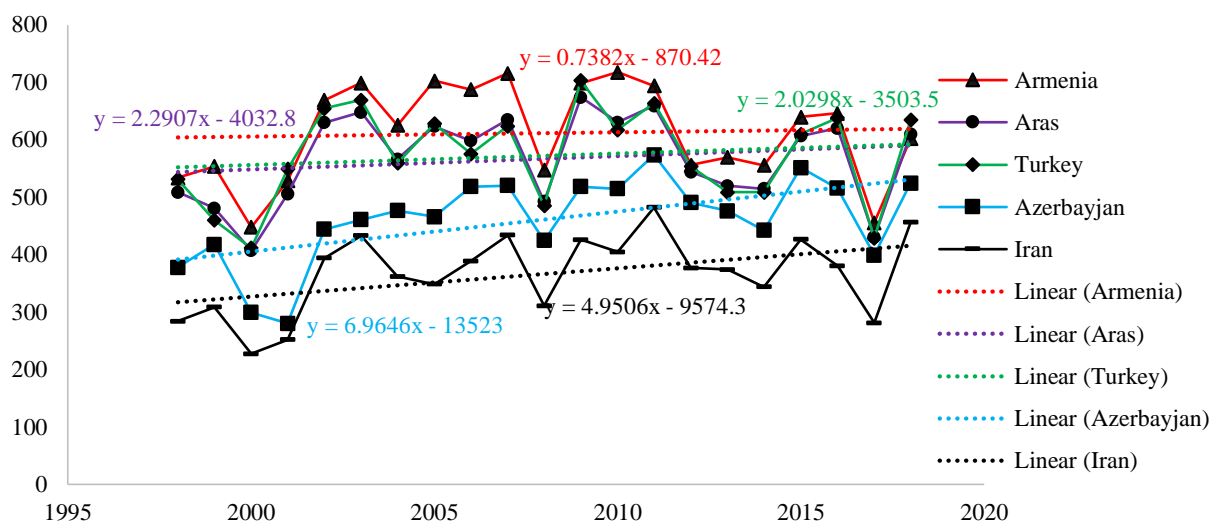


Fig. 4- Annual rainfall time series for countries in the study area from 1998 to 2018
 شکل ۴- سری زمانی بارش سالانه مربوط به کشورهای موجود در منطقه مطالعاتی از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸

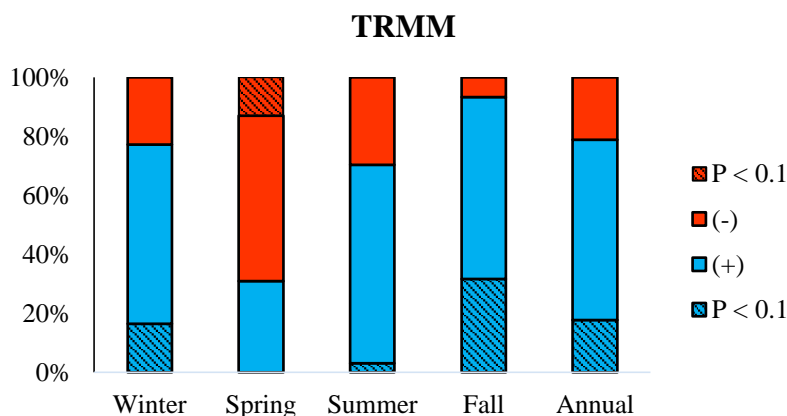


Fig. 5- Pixels percent with overall negative and positive trends and significant (confidence level $\geq 90\%$) negative and positive trends in annual and seasonal time scales
 شکل ۵- درصد پیکسل‌های با روند مثبت و منفی و روندهای مثبت و منفی معنی‌دار ($P < 0.1$) در مقیاس زمانی سالانه و فصلی

مختلف، با استفاده از داده‌های مشاهداتی محدود از سازمان جهانی هواشناسی (WMO)، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق مطابق ذیل قابل ارائه هستند:

- براساس معیارهای آماری مختلف، ارزیابی‌ها نشان داد که مقادیر بارش حاصل از محصول ماهواره‌ای TRMM 3B43V7 عملکرد بهتری نسبت به محصولات CRU و PERSIANN_CDR داشته است. بنابراین، روند تغییرات بارش با استفاده از این محصول برای دوره زمانی ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸ مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج به دست آمده نشان داد که بارش به طور متوسط ۹/۹ درصد نسبت به بازه زمانی مورد مطالعه افزایش داشته است. بررسی تغییرات فصلی بارش نیز نشان از روند افزایشی آن در تمام فصول به جز فصل بهار دارد.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

رودخانه ارس طی سال‌های اخیر، روند کاهشی قابل توجهی در نقطه ورودی سد ارس داشت که به منظور علت‌یابی این مشکل، به ارزیابی روند تغییرات بارش به عنوان یکی از مؤلفه‌های اثرگذار بر میزان آبدهی رودخانه در این حوضه آبریز پرداخته شد. به سبب فرامرسی بودن این رودخانه و به تبع آن عدم دسترسی به داده‌های هواشناسی زمینی، از محصولات ماهواره‌ای و پایگاه‌های داده‌ای اقلیمی، به عنوان منابع جایگزین در این ارزیابی استفاده گردید. به علت وجود خطاهای ناشی از اندازه‌گیری غیرمستقیم، عدم قطعیت نمونه‌گیری و الگوریتم‌های بازیابی، صحت محصولات بارشی و مناسب بودن کاربرد آنها در مناطق

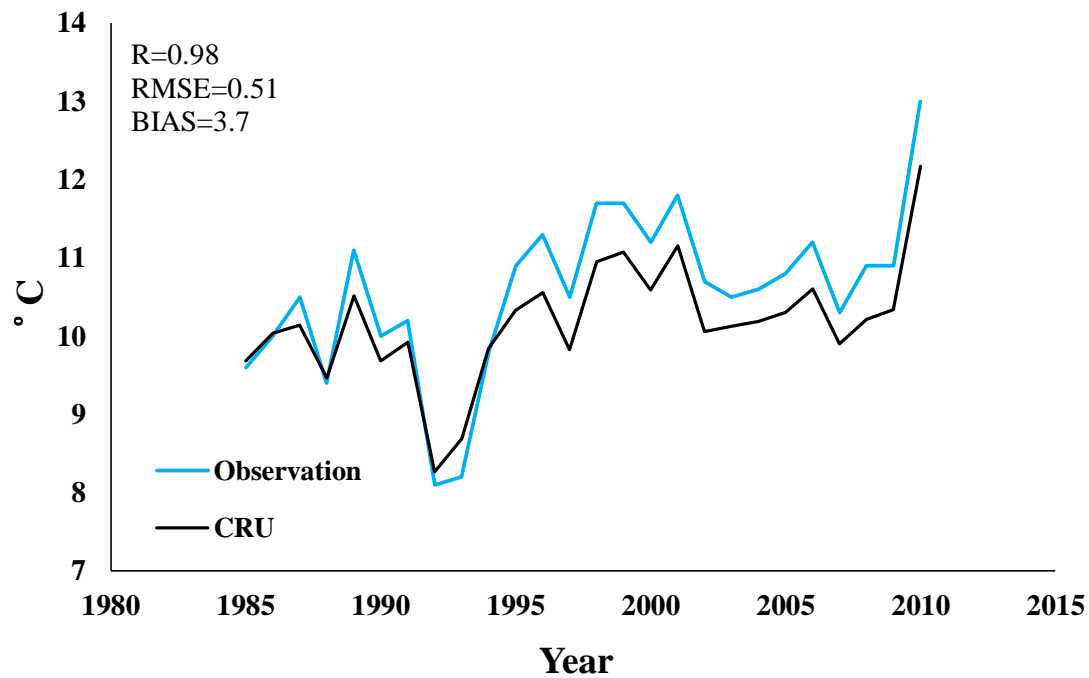


Fig. 6-The annual temperature series of the CRU versus the observational data of the Mako station during the period 1985 to 2010

شکل ۶- سری زمانی دمای سالانه محصول CRU در مقابل داده‌های مشاهداتی ایستگاه ماکو طی دوره زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰

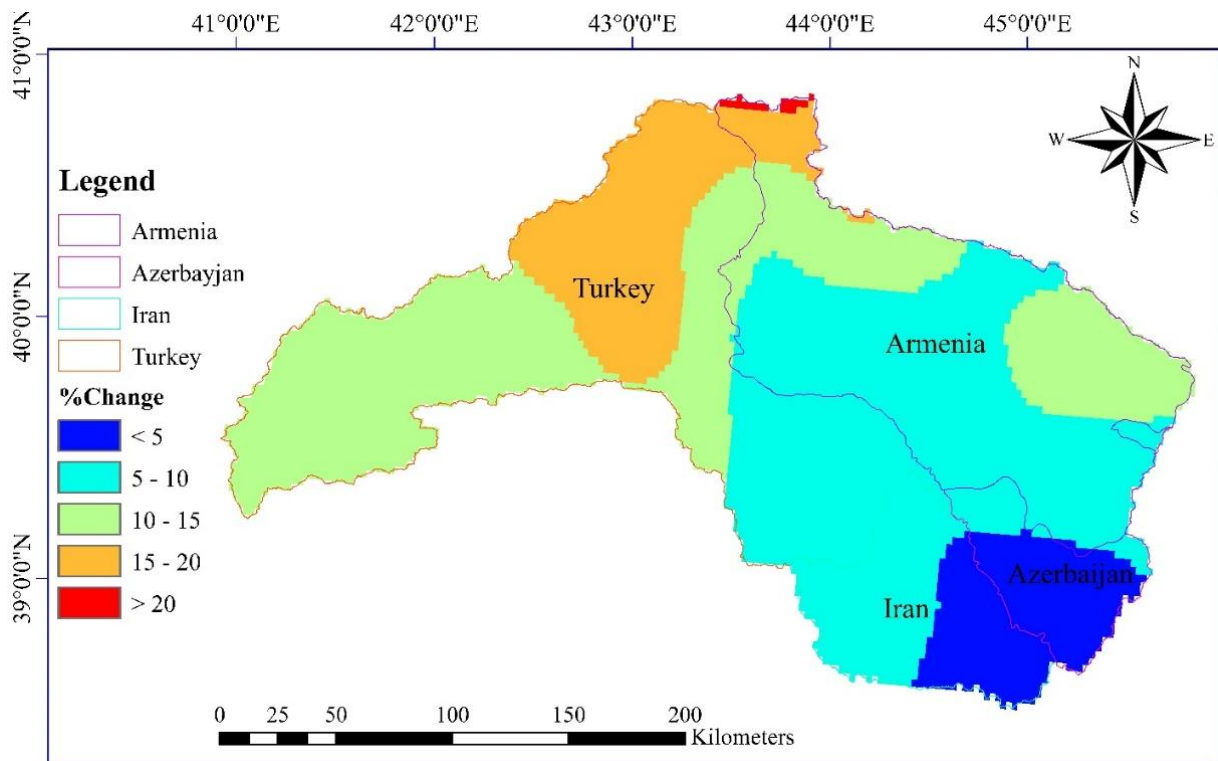


Fig. 7- Percentage of annual CRU temperature changes compared to the average during the statistical period of 1998 to 2018

شکل ۷- درصد تغییرات دمای سالانه محصول CRU نسبت به متوسط در طول دوره آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸

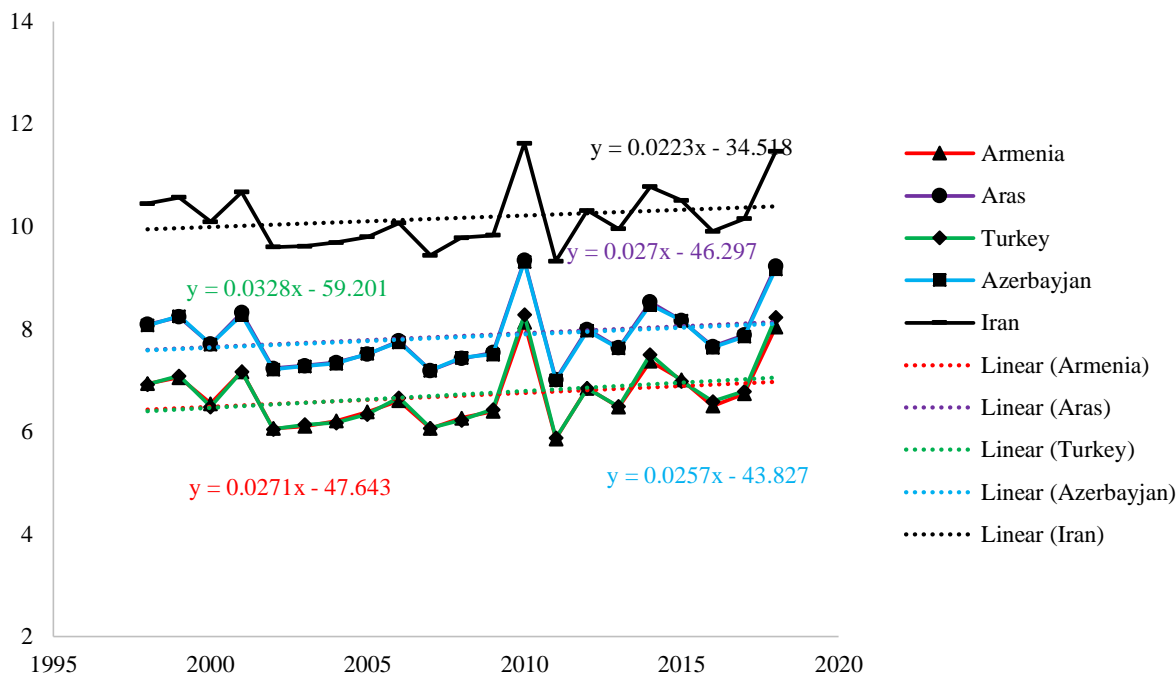


Fig. 8- Annual temperature time series for countries in the study area from 1998 to 2018
 شکل ۸- سری زمانی دمای سالانه مربوط به کشورهای موجود در منطقه مطالعاتی از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۸

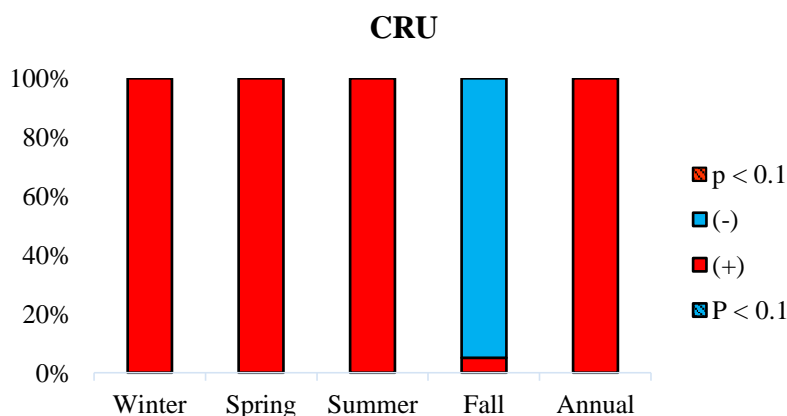


Fig. 9- Pixels percent with overall negative and positive trends and significant ($P < 0.01$) negative and positive trends in annual and seasonal time scales
 شکل ۹- درصد پیکسل‌های با روند مثبت و منفی و روندهای مثبت و منفی معنی‌دار ($P < 0.01$) در مقیاس زمانی سالانه و فصلی

واقعیت‌ها و نتایج تحقیق نشان داد که حوضه تواماً با افزایش بارش و دما درگیر است. عواملی که می‌توانند اثرات معکوسی بر آورد رودخانه ارس و ورودی به سد آن داشته باشد. اما، بنظر نمی‌رسد که این عوامل اقلیمی به تنهایی توانسته باشند کاهش آورد رودخانه ارس را سبب شوند. لذا، ضروری است تا عوامل انسانی مانند تغییرات پوشش/کاربری اراضی نیز مورد ارزیابی خاص قرار گیرند.

ارزیابی داده‌های پایگاه اقلیمی CRU نیز برای دما با استفاده از داده‌های مشاهداتی ایستگاه ماکو به انجام رسید که حاکی از عملکرد مناسب آن برای استفاده در منطقه مطالعاتی بود. نتایج نشان داد که منطقه مطالعاتی افزایش 0.33% درجه سانتی‌گراد در سال را تجربه کرده است. بررسی تغییرات فصلی دما نیز نشان از روند افزایشی آن در تمام فصول به جز فصل پاییز دارد، هرچند که این تغییرات در هیچ یک از فصول معنی‌دار نبوده است.

پی نوشتها

- 1- Tropical Rainfall Measuring Mission
- 2- Climatic Research Unit
- 3- Campania
- 4- National Centers for Environmental Prediction
- 5- Climate Forecast System Reanalysis
- 6- Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations
- 7- Coordinated Regional Downscaling Experiment
- 8- Root Mean Square Error
- 9- Sevan
- 10- Center for Hydrometeorology and Remote Sensing
- 11- University of California Irvine
- 12- National Centers for Environmental Prediction
- 13- Global Precipitation Climatology Project
- 14- Japan Aerospace Exploration Agency
- 15- TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis
- 16- Global Precipitation Climatology Centre
- 17- World Meteorological Organization
- 18- National Oceanic and Atmospheric Administration
- 19- Angular Distance-Weighted
- 20- Mann-Kendall (MK)
- 21- Sen's Slope (SS)

۶- مراجع

- Aghdasi F (2003) Study of geostatistical methods for mapping of precipitation in the daily and annual time scales (Case study: Borkhar plain). M.Sc. Thesis of Tehran university, 112p. (In Persian)
- Ahmed K, Shahid S, Ismail T, Nawaz N, and Wang X J (2018) Absolute homogeneity assessment of precipitation time series in an arid region of Pakistan. *Atmósfera* 31(3):301-316
- Aksornsingchai P, Srinilta C (2011) Statistical downscaling for rainfall and temperature prediction in Thailand. Paper Presented at the Proceedings of the International Multiconference of Engineers and Computer Scientists 1:356-361
- Alexakis DD, Tsanis IK (2016) Comparison of multiple linear regression and artificial neural network models for downscaling TRMM precipitation products using MODIS data. *Journal of Environmental Earth Sciences* 75(14):1077
- Alijanian M, Rakhshandehroo G R, Mishra A K and Dehghani M (2017) Evaluation of satellite rainfall climatology using CMORPH, PERSIANN-CDR, PERSIANN, TRMM, MSWEP over Iran. *Royal Meteorological Society* 37(14):4896-4914
- Ashouri H, Hsu K L, Sorooshian S, Braithwaite D K, Knapp K R, Cecil L D, Nelson B R, and 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

- Atkinson P M (2013) Downscaling in remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 22:106-114
- Belda M, Holtanová E, Halenka T, and Kalvová J (2014) Climate classification revisited: From Köppen to Trewartha. *Climate Research* 59(1):1-13
- Bilalova S (2019) Assessment of the Impacts of Climate Change on the Hydrology of the Kura River Basin. M.Sc. Thesis in Environmental Sciences and Policy, Leuphana University Lüneburg
- Davis J C and Sampson R J (1986) Statistics and data analysis in geology. New York, Wiley: 646.
- Dinku T, Ceccato P, Grover-Kopec E, Lemma M, Connor S and Ropelewski C.F (2007) Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography. *International Journal of Remote Sensing* 28(7):1503-1526
- Duan Z, Bastiaanssen W G M (2013) First results from Version 7 TRMM 3B43 precipitation product in combination with a new downscaling- calibration procedure. *Remote Sensing of Environment* 131:1-13
- Ebert E E, Janowiak J E, and Kidd C (2007) Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models. *Bulletin of the American Meteorological Society* 88(1):47-64
- Farrokhnia A, Morid S (2014) Assessment of the effects of temperature and precipitation variations on the trend of river flows in Urmia Lake watershed. *Journal of Water and Wastewater* 25(3):86-97 (In Persian)
- Fathian F, Morid S (2012) Investigation of meteorological and hydrological variables trends in Urmia Lake basin using nonparametric methods. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 43(3):259-269 (In Persian)
- Gebremicael T G, Mohamed Y A, Zaag P v d, Gebremedhin A, Gebremeskel G, Yazew E, and Kifle M (2019) Evaluation of multiple satellite rainfall products over the rugged topography of the Tekeze-Atbara basin in Ethiopia. *International Journal of Remote Sensing* 40(11):4326-4345
- Guo D, Li D, and Hua W (2018) Quantifying air temperature evolution in the permafrost region from 1901 to 2014. *International Journal of Climatology* 38(1):66-76

- Harris I, Jones P D, Osborn T J, and Lister D H (2014) Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3. 10 Dataset. *International Journal of Climatology* 34(3):623-642
- Huffman G J, Bolvin D T, Nelkin E J, Wolff D B, Adler R.F, Gu G, Hong Y, Bowman K P, and Stocker E F (2007) The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology* 8(1):38-55
- Hunink J, Immerzeel W, and Droogers P (2014) A High-resolution Precipitation 2-step mapping Procedure (HiP2P): Development and application to a tropical mountainous area. *Remote Sensing of Environment* 140:179-188
- Immerzeel W, Rutten M, and Droogers P (2009) Spatial downscaling of TRMM precipitation using vegetative response on the Iberian Peninsula. *Remote Sensing of Environment* 113(2):362-370
- Jia S, Zhu W, Lu A, and Yan T (2011) A statistical spatial downscaling algorithm of TRMM precipitation based on NDVI and DEM in the Qaidam Basin of China. *Journal of Remote Sensing of Environment* 115(12):3069-3079
- Katiriae-Boroujerdy P S, Asanjan A A, Hsu K L, and Sorooshian S (2017) Intercomparison of PERSIANN-CDR and TRMM-3B42V7 precipitation estimates at monthly and daily time scales. *Atmospheric Research* 193:36-49
- Kendall M G (1948) Rank correlation methods. Griffin, London
- Li W, He X, Sun W, Scaioni M, Yao D, Fu J, Chen Y, Liu B, Gao J, and Li X.J (2019) Evaluating three satellite-based precipitation products of different spatial resolutions in Shanghai based on upscaling of rain gauge. *International Journal of Remote Sensing* 40(15):5875-5891
- Longobardi A, Villani P (2010) Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. *International Journal of Climatology* 30(10):1538-1546
- Ma Z, Shi Z, Zhou Y, Xu J, Yu W, and Yang Y (2017) A spatial data mining algorithm for downscaling TMPA 3B43 V7 data over the Qinghai–Tibet Plateau with the effects of systematic anomalies removed. *Remote Sensing of Environment* 200:378-395
- Mann H B (1945) Nonparametric tests against trend. *Journal of the Econometric Society* 13(3):245-259
- McCaffrey S.C and Sinjela M (1998) The 1997 United Nations convention on international watercourses. *American Journal of International Law* 92(1):97-107
- McCollum J R, Krajewski W F, Ferraro R R and Ba, M B (2002) Evaluation of biases of satellite rainfall estimation algorithms over the continental United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 41(11):1065-1080
- Mitchell J, Dzerdzeevskii B, Flohn H, Hofmeyr W, Lamb H, Rao K, and Wallén C (1966) Climatic change. Technical Note, World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland No. 79. 99
- Nijssen B, Lettenmaier D P (2004) Effect of precipitation sampling error on simulated hydrological fluxes and states: Anticipating the Global Precipitation Measurement satellites. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 109(D2)
- Salman S.A, Shahid S, Ismail T, Al-Abadi A M, Wang X j and Chung E S (2019) Selection of gridded precipitation data for Iraq using compromise programming. *Measurement* 132:87-98
- Sorooshian S, AghaKouchak A, Arkin P, Eylander J, Foufoula-Georgiou E, Harmon R, Hendrickx J M, Imam B, Kuligowski R, and Skahill B (2011) Advanced concepts on remote sensing of precipitation at multiple scales. *Bulletin of the American Meteorological Society* 92(10):1353-1357
- Yue S, & Hashino M (2003) Long term trends of annual and monthly precipitation in Japan 1. *JAWRA, Journal of the American Water Resources Association* 39(3):587-596
- Tan M, Ibrahim A, Duan Z, Cracknell A, and Chaplot V (2015) Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia. *Remote Sensing* 7(2):1504-1528
- Tan M L, Santo H (2018) Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia. *Atmospheric Research* 202:63-76
- UNDP (2013) Reducing transboundary degradation in the Kura Ara(k)s river basin International Water Learning Exchange and Resource Network, Report KAP/1375 (GEF)/2272 (UNDP)
- Villarini G, Krajewski W F, and Smith J A (2009) New paradigm for statistical validation of satellite precipitation estimates: Application to a large sample of the TMPA 0.25° 3-hourly estimates over Oklahoma. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 114(D12)
- Zhang Q, Shi P, Singh V P, Fan K, and Huang J (2017) Spatial downscaling of TRMM-based precipitation data using vegetative response in Xinjiang, China. *International Journal of Climatology* 37(10):3895-3909

Zhao H, Yang B, Yang S, Huang Y, Dong G, Bai J, and Wang Z (2018) Systematical estimation of GPM-based global satellite mapping of precipitation products over China. Atmospheric Research 201:206-217

Zhao Q, Xuan W, Liu L, Xu Y (2016) Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. International Journal of Climatology 30(17):3061-3083