



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 13
No. 1 (49)

Received:
2022-10-20

Accepted:
2023-01-206

Pages: 27-40

Analysis of Precipitation Trends and characteristics on Agricultural Water Resources in Lorestan Province

Ehsan Lornezhad¹, Hossein Ebrahimi^{2*} and Hamidreza Rabieifar³

1) Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Kish International Branch, Islamic Azad University, Kish Island, Iran.

2) Associate Professor Department of Water Science and Engineering, Shahr-Ghods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3) Assistant Professor Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

*Corresponding author email: ebrahimi165@yahoo.com

Abstract:

Background and Aim: The analysis of hydrological events is one of the important components of the management of water resources and consumption. The amount of water consumption directly depends on the climatic phenomena in a region. Rainfall is one of the important indicators of climate change, which has been considered by researchers in the probabilistic analysis of hydrological phenomena. This research has been conducted with the aim of evaluating trend analysis and estimation of rainfall return period in water resources management of Lorestan province using modified Mann-Kendall method and bivariate probabilistic modeling.

Method: The study area is Lorestan province located in the western part of Iran. Based on the conceptual framework of the study, time series of rainfall data were collected for the statistical period of 35 years from 1365 to 1400. In order to analyze the trend of precipitation in the province, the modified Mann-Kendall non-parametric test was used. Furthermore, Archimedean joint functions were used to determine the return period of two variables, duration and height of precipitation.

Results: The results showed that in most parts of Lorestan province, the height of rainfall in the 10-year return period was less than 50 mm per day. This amount of rainfall will provide between 100 and 200 million cubic meters of agricultural water for eight cities. Noorabad and Aleshtar respectively have the highest and lowest predicted amounts of water in the next 10 years. Moreover, the comparison of precipitation trends showed that there was no significant decreasing or increasing trend at the 5% confidence level.

Conclusion: The results showed that although a significant decreasing or increasing trend was not detected using the Man-Kendall method in the cities of Lorestan province, the return period of rainfall indicates a decrease in available water resources for agriculture. Planning based on bivariate distribution functions showed that the duration of rainfall can play a decisive role in calculating the return period.

Keywords: Mann-Kendall method, Hydrological analysis, Joint functions, Non-parametric test





شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

iawsrcj@srbiau.ac.ir
iawsrcj@gmail.com

سال سیزدهم

شماره ۱ (۴۹)

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۷/۲۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۱۰/۳۰

صفحات: ۲۷-۴۰

تحلیل روند و مشخصه‌های بارش بر منابع آب کشاورزی در استان لرستان

احسان لرنژاد^۱، حسین ابراهیمی^{۲*} و حمیدرضا ربیعی^۳ فر

(۱) دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد بین الملل کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران.

(۲) دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

(۳) استادیار گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول: ebrahimi165@yahoo.com

چکیده:

زمینه و هدف: تحلیل رویدادهای هیدرولوژیکی یکی از مؤلفه‌های مهم ارزیابی مدیریت منابع و مصارف آب به‌شمار می‌روند. مقدار مصرف آب به‌طور مستقیم به پدیده‌های اقلیمی در یک منطقه بستگی دارد. بارندگی از یکی از شاخص‌های مهم تغییر اقلیم به‌شمار می‌رود که در تحلیل احتمالاتی پدیده‌های هیدرولوژیکی موردتوجه محققان قرار گرفته است. این تحقیق با هدف ارزیابی تحلیل روند و برآورد دوره بازگشت بارندگی در مدیریت منابع آب استان لرستان با استفاده از روش من-کندال اصلاح شده و مدل‌سازی احتمالاتی دومتغیره انجام گرفته است.

روش پژوهش: محدوده مورد مطالعه استان لرستان واقع در بخش غربی ایران است. برای دستیابی به این هدف، سری‌های زمانی اطلاعات بارندگی برای دوره آماری ۳۵ ساله از ۱۳۶۵ تا ۱۴۰۰ گردآوری شد. بمنظور تحلیل روند بارش در استان از آزمون ناپارامتریک من-کندال اصلاح شده استفاده گردید. همچنین برای تعیین دوره بازگشت دومتغیره مدت و ارتفاع بارش از توابع مفصل ارشمیدسی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج بررسی‌ها نشان داد که اکثر نقاط استان لرستان ارتفاع بارندگی در دوره بازگشت ۱۰ ساله کمتر از ۵۰ میلی‌متر در روز است. این مقدار بارندگی به‌طور متوسط بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلیون مترمکعب آب کشاورزی را برای هشت شهرستان تأمین خواهد کرد. نورآباد و الشتر به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر پیش‌بینی‌شده آب را در ۱۰ سال آینده داشته‌اند. علاوه بر این مقایسه روند بارش‌ها نشان داد که در سطح اطمینان ۵ درصد روند کاهش و افزایشی معنی‌داری وجود نداشته است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد اگرچه روند کاهش یا افزایشی معنی‌دار با استفاده از روش من-کندال در شهرستان‌های استان لرستان شناسایی نشده است اما دوره بازگشت بارندگی نشان‌دهنده کاهش منابع آب در دسترس برای کشاورزی است. برنامه‌ریزی بر اساس توابع توزیع دومتغیره نشان داد که مدت بارندگی می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در محاسبه دوره بازگشت داشته باشد.

کلیدواژه‌ها: روش من-کندال، تحلیل هیدرولوژیکی، توابع مفصل، آزمون ناپارامتریک



مقدمه

امروزه ارزیابی منابع آب برای مدیریت بهینه عرضه و تقاضا و همچنین بررسی تأثیر سناریوهای اقلیمی مؤثر بر سامانه‌های آبی امری اجتنابناپذیر است (زین‌الدینی و همکاران ۲۰۱۹). تعدد نیازهای استفاده از آب مانند کشاورزی، شرب و صنعت در کنار نیازهای زیستمحیطی اهمیت برنامه‌ریزی در زمینه تشخیص و تخصیص منابع آب تجدیدپذیر را افزایش داده است (آسیابی‌هیر و همکاران ۲۰۲۰). لذا جهت برنامه‌ریزی درازمدت منابع آب لازم است راه‌کارهای مقابله با تشدید بحران آب بر پایه نوسانات اقلیمی شناسایی و تأثیر آن بر منابع و مصارف آب ارزیابی گردد (Alamanos et al. 2018; Lalezari and Kerachian 2021). طی سال‌های اخیر، به دلیل اهمیت موضوع ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر مدیریت منابع آب مطالعات متعددی صورت گرفته است (Shrestha et al. 2017; Tan et al. 2021). در ایران می‌توان به مطالعات حوضه آبخیز زاینده-رود (Azaranfar et al. 2006; Sabaghi et al. 2020)، حوضه آیدوغموش آذربایجان شرقی (Ashofteh et al. 2007)، دریاچه ارومیه (Fakheri et al. 2011)، و حوضه آبخیز گرگان-رود (Azari et al. 2013) اشاره کرد. رحمانی^۱ و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی روند تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی بخشی از حوزه آبریز دریای خزر با استفاده از آزمون من-کندال به این نتیجه رسید که میزان عناصر کیفی در این منطقه رو به کاهش بوده است، یعنی کیفیت آب زیرزمینی منطقه رو به بهبود بوده است. خسروی و آذری^۲ (۲۰۲۲) ویژگی‌های آب و هوایی و نوسانات آن در ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر بهره‌برداری منابع آب را بررسی کردند. تحلیل روند سری‌های زمانی متغیرهای هیدرولوژی و هواشناسی یکی از روش‌های تعیین تغییر در مؤلفه‌های اقلیمی بود که با روش‌های مختلف پارامتری و ناپارامتری انجام شد. در این پژوهش روند بارش و دما در سه مقیاس زمانی سالانه، فصلی و ماهانه با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال و آزمون پتیت در سطح اطمینان ۹۵٪ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحلیل روند بارش نشان داد که بارش سالانه حوضه تغییر نکرده و روند آن در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست درحالی‌که در فصل زمستان مقدار بارش حوضه روند کاهشی داشته است و در پاییز نیز در نیمه جنوبی روند افزایشی است.

فلاح و شاکری^۳ (۲۰۲۲) رابطه‌ای را بین شاخص‌های اقلیمی و دمای بیشینه استان خوزستان برآزش دادند تا برای پیش‌بینی وقوع دماهای حدی در سطح منطقه مورد استفاده قرار گیرد. تحلیل روند شاخص‌های حدی اقلیمی در این مطالعه بر اساس اطلاعات ۳۰ ساله و توسط آزمون من-کندال انجام شد. نتایج نشان داد اکثر شاخص‌های حدی اقلیمی در دوره مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار بوده‌اند. همچنین همبستگی

معنی‌دار بین دمای بیشینه و شاخص‌های اقلیمی به دست آمد. میریان^۴ و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از آزمون آماری من-کندال تغییرات بلندمدت داده‌های بارش را برآورد و دوره‌های مرطوب و خشک ۳۵ ایستگاه همدیدی در ایران را شناسایی کردند. همچنین جهت شناخت تغییرات بارشی ایستگاه‌های مورد مطالعه، نقشه‌های میانگین، شاخص ضریب تغییرات و چولگی را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که الگوی کلی رژیم بارشی کشور به‌صورتی است که مقادیر بارش‌ها از نیمه شمالی به‌سوی نیمه جنوبی و از غرب به شرق کشور کاهش می‌یابد. علاوه بر این آزمون من-کندال نشان داد که داده‌های بارش در مقیاس فصلی روند معناداری را نشان نمی‌دهند.

بارش از مهم‌ترین پارامترها در تعریف خشک‌سالی یا بحران کم‌آبی است. بر این اساس، یک دوره زمانی با میزان بارشی کمتر از حد معمول همان منطقه را خشک‌سالی تعریف می‌کنند (مصطفی‌زاده و همکاران ۲۰۱۴). این پدیده تقریباً در تمام مناطق اقلیمی جهان اتفاق می‌افتد اما ویژگی آن از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است. خشک‌سالی اقلیمی زمانی رخ می‌دهد که میزان بارندگی سالانه کمتر از میانگین درازمدت آن باشد. اگر روند نزولی بارش‌ها تداوم یابد، منجر به وقوع خشک‌سالی هیدرولوژیکی می‌شود. اگر رطوبت قابل‌دسترس خاک برای محصولات کشاورزی به سطحی برسد که باعث پژمردگی گیاه و اثرات زیان‌بار بر روی میزان تولید گردد، خشک‌سالی کشاورزی حادث می‌شود (Samuel et al. 2013).

فنتاوه^۵ و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی تأثیر تغییرات آب و هوایی را بر منابع آب حوضه رودخانه وری واقع در اتیوپی شمالی مورد بررسی قرار داده است. در این تحقیق تأثیر تغییرات آب و هوایی منابع آب در حوضه وری (۱۷۹۷ کیلومترمربع) با استفاده از مدل‌های آب و هوایی (SDSM) و هیدرولوژیکی (WetSpa) را ارائه می‌دهد. یک مدل به‌طور کامل توزیع‌شده (WetSpa) برای شبیه‌سازی منابع آب پایه (۲۰۰۴-۲۰۱۰) و دوره‌های آینده (۲۰۱۵-۲۰۵۰) مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل‌های مرتفع دیجیتال (DEM)، ویژگی‌های استفاده از زمین، خاک، آب و هواشناسی حوضه رودخانه وری به‌عنوان ورودی‌های مدل WetSpa مورد استفاده قرار گرفت. لاله‌زاری و کراچیان^۶ (۲۰۲۱) تأثیر داده‌های بارندگی بر سیاست‌های تأمین آب کشاورزی را بر پایه عدم قطعیت ارزیابی کردند. مدل‌سازی بر اساس گام زمانی روزانه و تعیین عملکرد گیاهان با توجه به پراکنش بارندگی در طول فصل رشد استوار بوده است. نتایج نشان داد که برنامه‌ریزی بر پایه بارندگی در زمان واقعی راهکار مؤثرتری نسبت به تعیین نیاز آبی به‌صورت فصلی است.

بین مشخصه‌های یک رویداد هیدرولوژیکی، دوره بازگشت دو یا چندمتغیره را با دخالت دادن توابع توزیع تک‌متغیره محاسبه می‌کنند بکار گرفته شده است (Sabaghi et al. 2022). هر دوره بازگشت مشخصه‌های بارندگی بر پایه تحلیل دو متغیره محاسبه و میزان آب در دسترس برای کشاورزی در افق ۱۰ سال آینده برای هر یک از شهرستان‌های استان لرستان برآورد شده است. علاوه بر این با توجه به تأثیر تغییر اقلیم بر روند تغییرات بارش، روش من-کندال به منظور ارزیابی روند بارش در هر شهرستان بکار برده شده است. همچنین بروز خشک‌سالی به‌عنوان یک عامل اثرگذار بررسی شده است.

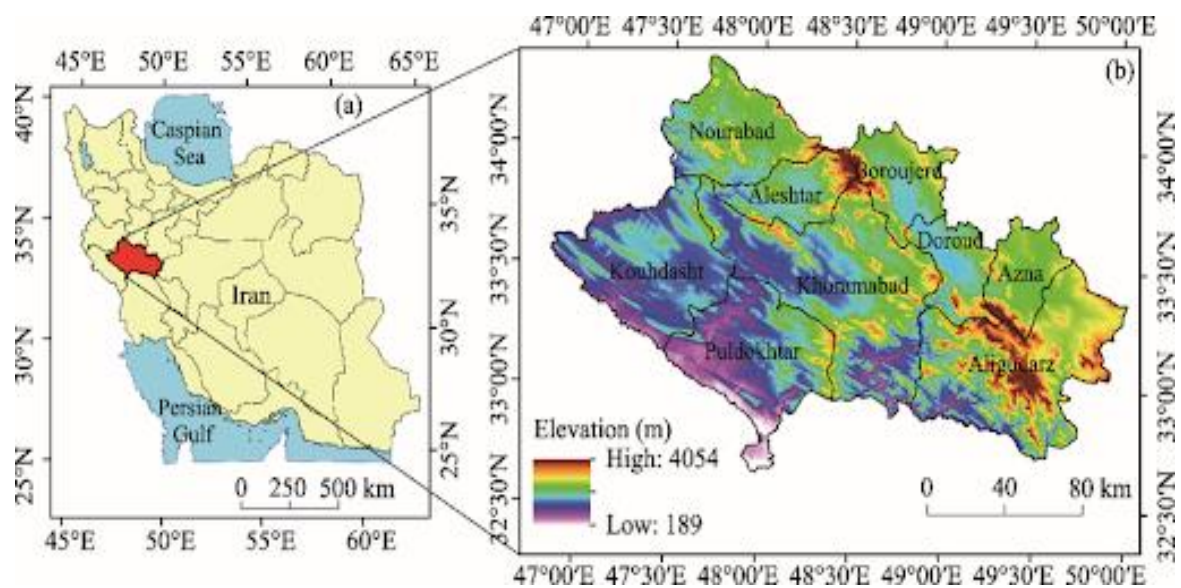
مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

استان لرستان با مساحت ۲۸۰۰۹ کیلومترمربع در غرب ایران، ۱/۷ درصد از کل مساحت کشور را در بر می‌گیرد. این استان بین مدارهای ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. موقعیت استان لرستان در ایران در شکل ۱ نشان داده شده است. داده‌های موردنیاز در این تحقیق شامل مقادیر روزانه بارش در ۹ ایستگاه سینوپتیک و کشاورزی استان لرستان در دوره آماری ۳۵ ساله (۱۳۶۵ تا ۱۴۰۰) است که از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. خصوصیات جغرافیایی و ایستگاه سینوپتیک اصلی و سینوپتیک تکمیلی در جدول ۱ نشان داده شده است.

صباغی^۷ و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از مدل احتمالاتی بارش رویدادهای وقوع سیلاب در دشت بارز استان خوزستان را پیش‌بینی کردند. تأثیر منابع عدم قطعیت بر مشخصه‌های بارندگی و رواناب با استفاده از توسعه یک مدل احتمالاتی چندمتغیره بر پایه توابع توزیع کاپولا تعیین شد. توزیع دو متغیره کلایتون برای دوره ۳۷ ساله گردآوری بارش داده شد و نتایج نشان داد که همبستگی بین مشخصه‌های بارندگی ۰/۷۳ و بین شدت بارندگی و رواناب ۰/۸۶ بر اساس شاخص پیرسون است. بنی بیات^۸ و همکاران (۲۰۲۲) از شدت و ارتفاع بارندگی برای برآورد خشک‌سالی کشاورزی و نقش آن در تأمین رطوبت خاک استفاده کردند. مدل بهینه‌سازی گرگ خاکستری با هدف کاهش تنش رطوبتی در ناحیه ریشه بکار گرفته شد. نتایج نشان داد که استفاده از مدل‌های پیش‌بینی بارش می‌تواند تا شاخص منفی آب زیرزمینی را به سمت مثبت و افزایش بهره‌وری آب تغییر دهد.

امروزه با توجه به رشد جمعیت و افزایش تقاضای منابع آب برای تولید محصولات کشاورزی و به دلیل نمایان شدن پدیده تغییر اقلیم که اثرات منفی بر منابع آب جهان دارد، توجه به مدیریت منابع آب تحت تأثیر تغییر اقلیم بیش از پیش به چشم می‌خورد (Banibayat et al. 2022). از طرفی با توجه به موقعیت ایران و فرارگیری آن در کمربند خشک جهان، باعث شده است که بررسی پدیده تغییر اقلیم و ارزیابی اثرات آن روی منابع آب ایران بیشتر موجب توجه قرار گیرد. لذا در این تحقیق ارتفاع و مدت بارش به‌عنوان دو مشخصه اصلی بارندگی به‌صورت احتمالاتی با استفاده از توابع مفصل ارزیابی شده است. بدین منظور از توابع مفصل کاپولا که با استفاده از همبستگی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان لرستان در ایران

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های دارای آمار بلندمدت اقلیمی در استان لرستان

ردیف	ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	الشتر	سینوپتیک	48° 15	33° 49	1567
۲	الیگودرز	سینوپتیک	49° 42	33° 24	2022
۳	ازنا	سینوپتیک	49° 25	33° 27	1872
۴	بروجرد	سینوپتیک	48° 45	33° 55	1629
۵	درود	سینوپتیک	49° 00	33° 31	1522
۶	خرم‌آباد	سینوپتیک	48° 17	33° 26	1155
۷	کوه‌دشت	سینوپتیک	47° 39	33° 31	1198
۸	نورآباد	سینوپتیک	48° 00	34° 03	1859
۹	پل‌دختر	سینوپتیک	47° 43	33° 09	714
۱۰	سیلاخور	هواشناسی کشاورزی	48° 19	33° 11	1386

از آنجا که همواره بارش‌ها به‌عنوان عاملی بسیار تغییرپذیر و عاملی اساسی در موازنه آبی مورد توجه اقلیم شناسان بوده است، به این جهت بررسی روند تغییرات میانگین بارش سالانه به‌منظور ارزیابی و مدیریت درازمدت منابع آب در منطقه برای دستیابی به توسعه پایدار و حفظ وضعیت موجود، نقش به‌سزایی دارد (Sabagi et al. 2022). بنابراین اطلاعات هیدرولوژیکی بلندمدت منطقه مورد مطالعه به‌صورت روزانه جمع‌آوری و تحلیل شده و به‌عنوان پایه مدل شبیه‌سازی استفاده شد (Banibayat et al. 2022). میزان بارندگی بر اساس دوره‌های آماری موجود و میزان مصرف آب سالانه در محدوده هر یک از ایستگاه‌ها به تفکیک در جدول ۲ خلاصه شده است.

در گام بعد پارامتر θ برای توابع کاپولای مورد بررسی برآورد گردید و با استفاده از هر تابع مولد به تابع کاپولای مربوطه تبدیل شد (فرمان‌آرا و همکاران ۲۰۱۹). در واقع این توابع چندمتغیره برای پیوند دو تابع توزیع حاشیه‌ای انتخابی با استفاده از کدنویسی در نرم افزار MATLAB شبیه‌سازی شد. در نهایت، نتایج هر کدام از توابع با نتایج حاصل از احتمال تجربی مقایسه گردید و هر تابعی که مقادیر آن به مقادیر کاپولای تجربی نزدیک‌تر بود، به‌عنوان کاپولای مناسب انتخاب گردید. برای انجام آزمون نیکویی برازش از معیارهای حداکثر درست‌نمایی (MLE)، کرامر - ون مایسس (Sn)، اطلاعات آکائیک (AIC) و اطلاعات بیزی (BIC) استفاده شده است (Banibayat et al. 2022). از این‌رو، بهترین برازش به تابعی اختصاص پیدا می‌کند که مقدار آماره Sn معیار آکائیک و معیار بیزی در شرایطی که $p\text{-value} > 0.05$ کمتر باشد. روابط مربوط به توابع توزیع حاشیه‌ای، معیارهای ارزیابی و توابع توزیع دومتغیره توسط جن و جو^۱ (۲۰۱۹) تشریح شده است.

جدول ۲. اطلاعات بارش و مصرف آب کشاورزی

محدوده	دوره آماری (سال)		بارندگی سالانه (میلیمتر)	
	حداکثر	میانگین حداقل	حداکثر	میانگین حداقل
الشتر	۶۱۹	۲۱ (۱۳۸۹-۱۴۰۰)	۴۴۸	۲۵۴
الیگودرز	۶۳۱	۳۲ (۱۳۶۸-۱۴۰۰)	۳۸۴	۲۰۵
ازنا	۵۶۹	۱۸ (۱۳۸۲-۱۴۰۰)	۴۰۰	۲۵۲
بروجرد	۷۲۸	۲۹ (۱۳۷۱-۱۴۰۰)	۴۶۱	۲۷۹
درود	۸۸۴	۱۹ (۱۳۸۱-۱۴۰۰)	۶۱۳	۳۷۲
خرم‌آباد	۸۱۴	۶۶ (۱۳۳۴-۱۴۰۰)	۴۹۵	۲۲۰
کوه‌دشت	۴۸۵	۲۱ (۱۳۸۹-۱۴۰۰)	۳۷۷	۲۲۰
نورآباد	۶۱۴	۱۸ (۱۳۸۲-۱۴۰۰)	۴۶۰	۲۹۴
پل‌دختر	۴۹۳	۱۹ (۱۳۸۱-۱۴۰۰)	۳۶۸	۱۸۵
سیلاخور	۵۴۵	۱۵ (۱۳۸۵-۱۴۰۰)	۳۷۲	۲۲۹

تحلیل دومتغیره بارش

ارزیابی ارتفاع و مدت بارش برای هر رویداد بارندگی در دوره‌های مطالعه برای شهرستان‌های مختلف به کمک توابع دومتغیره فرانک، کلایتون، گامبل، گوسی و t انجام شد. برای کاربرد هر یک از این توابع نیاز است که مراحل ذیل دنبال شود. بعد از انتخاب و برازش توزیع حاشیه‌ای مناسب بر هر کدام از متغیرهای مورد بررسی، پارامترهای توابع توزیع حاشیه‌ای با روش حداکثر درست‌نمایی تخمین زده شد (Sabaghi et al. 2022).

آزمون من-کندال اصلاح شده

یکی از روش‌های متداول به‌منظور تحلیل سری‌های زمانی داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آن‌ها ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیمی اثر فعالیت‌های انسانی می‌باشد (Ochera et al. 2020; Hou et al. 2021). آزمون‌های تعیین روند به دو نوع تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از آزمون پارامتریک و ناپارامتریک. مزیت آزمون ناپارامتریک نسبت به آزمون پارامتریک مانند آزمون t این است که برای سری‌های زمانی که دارای توزیع آماری نرمال نمی‌باشند و همچنین برای داده‌هایی که تعدادی از آن‌ها مفقود یا حذف شده‌اند مناسب است. آزمون من-کندال، یک آزمون ناپارامتریک می‌باشد که روش آماری مناسبی برای اثبات وجود روند در سری‌های هیدرولوژیکی است (Hamed and Rao 1998). در سال‌های اخیر بسیاری از پژوهشگران از این آزمون

$$r_k = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x}) / \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (6)$$

و سپس با قرار دادن مقدار k معادل یک ضریب خودهمبستگی مرتبه اول محاسبه شد. آزمون معنی‌داری تابع به‌دست‌آمده به این صورت است که اگر مقدار T_1 بین دو مقدار c_1 و c_2 باشد، فرض می‌شود داده‌ها در سطح ۱۰ درصد معنی‌داری از یکدیگر مستقل هستند. در غیر این صورت فرض بر این است که داده‌ها خودهمبستگی داشته و بایستی قبل از انجام آزمون من-کنندال اثر خودهمبستگی آن‌ها از سری زمانی مرتفع گردد.

$$c_1 = -1 + 1/65\sqrt{n-2}/n - 2 \quad (8)$$

$$c_2 = -1 - 1/65\sqrt{n-2}/n - 2 \quad (9)$$

در مطالعه حاضر این آزمون برای سطوح اعتماد ۹۵٪ به کار گرفته شده است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود. جهت اصلاح آزمون برای سری‌های ماهانه که دارای خودهمبستگی نیز می‌باشند اصلاحاتی بر روی آزمون من-کنندال انجام دادند. در این روش در ابتدا مقادیر آماره S برای هر سال محاسبه شده و در نهایت نتایج مربوط به سال‌های مختلف با هم جمع می‌شوند.

$$S' = \sum_{j=1}^p S_j \quad (11)$$

در این رابطه S_j مقادیر S برای فصل $(j=1,2,\dots,p)$ می‌باشد. در حالتی که سری زمانی فاقد خودهمبستگی باشد واریانس S' با استفاده از رابطه ذیل تعیین می‌شود.

$$\sigma_{S'}^2 = \sum_{j=1}^p \text{Var}(S_j) \quad (12)$$

روش تعیین روند بارش

در این بخش در مرحله اول داده‌ها به ترتیب وقوع، ردیف می‌شوند و ترتیب زمانی داده‌ها با n نشان داده می‌شود. سپس، داده‌ها رتبه‌بندی می‌شوند که برای این منظور از آماره T که به‌صورت نسبت رتبه A به رتبه قبل تعریف شده استفاده می‌شود. سپس مقادیر امید ریاضی (E_i) ، واریانس V_i و شاخص من کندال u_i را می‌توان با استفاده از روابط عددی زیر محاسبه نمود. محاسبات با استفاده از کدنویسی در نرم‌افزار MATLAB انجام شده است.

به‌عنوان بهترین گزینه جهت بررسی وجود روند تغییرات فصلی و سالانه دبی رودخانه‌ها، رواناب و بارش حوضه‌های آبخیز استفاده نموده‌اند (Babaeian et al. 2020). فرض صفر آزمون من-کنندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد (Elsner et al. 2009; Daba et al. 2018). در این روش ابتدا اختلاف بین هر یک از مشاهدات با تمام مشاهدات پس‌از آن توسط کدنویسی در MATLAB محاسبه شده و پارامتر S مطابق رابطه زیر به‌دست آمد:

برای یک نمونه تصادفی شامل n مشاهده، برآوردگر S را می‌توان با رابطه ذیل محاسبه کرد:

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

$$\text{sgn}[\psi] = \begin{cases} 1 & \text{if } \psi > 0 \\ 0 & \text{if } \psi = 0 \\ -1 & \text{if } \psi < 0 \end{cases} \quad (2)$$

که در آن، $i, j=1, 2, \dots, n$ و $\text{sgn}[\psi]$ تابع علامت است. من^{۱۰} (۱۹۴۵) و کندال^{۱۱} (۱۹۷۵) نشان دادند که وقتی تعداد مشاهده‌ها بیشتر از ۸ باشد، S تقریباً از توزیع نرمال تبعیت کرده و میانگین و انحراف معیار آن به‌صورت روابط ذیل تعیین می‌شود (مصطفی‌زاده و مهری ۲۰۱۸).

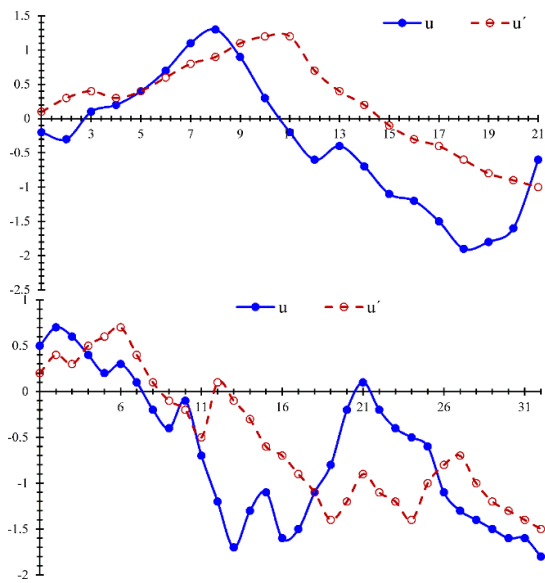
$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$V(S) = n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(t_i-1)(2t_i+5)/18 \quad (4)$$

که در آن t_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i می‌باشند. آماره من کندال استاندارد شده Z به‌صورت ذیل نوشته می‌شود.

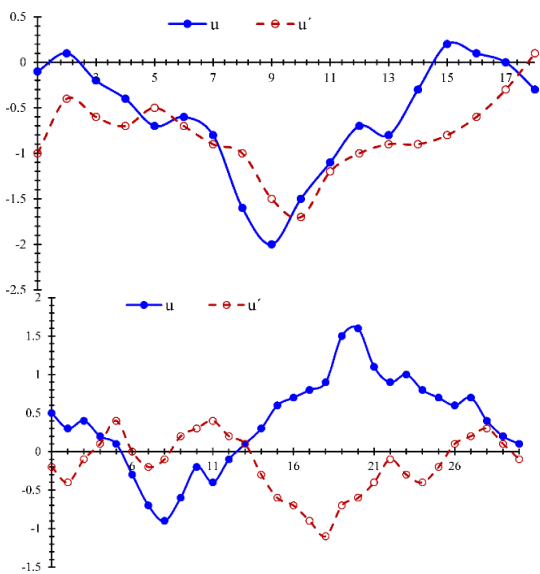
$$Z = \begin{cases} S - 1/\sqrt{V(S)} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ S + 1/\sqrt{V(S)} & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Z آماره آزمون من کندال استاندارد شده است که از توزیع نرمال تبعیت کرده و میانگین صفر و واریانس یک دارد. کومار و همکاران (۲۰۰۹) با حذف تأثیر خودهمبستگی مرتبه اول، آزمون من-کنندال را بهبود بخشیدند. برای این منظور ابتدا ضریب خودهمبستگی مرتبه k از رابطه ذیل به دست آمد.



شکل ۲. تغییرات بارش ایستگاه الشتر و الیگودرز با روش من-کندال

شکل ۳ تغییرات بارش ایستگاه ازنا به روش من کندال را نشان می‌دهد. کلیه نوسانات در محدوده بحرانی قرار داشته و تنها در ۴ مورد با یکدیگر برخورد داشته و نوسانات ناگهانی ایجاد کرده است. محدوده سال پنجم تا هفتم یا به عبارت دیگر بین سال‌های ۸۴ تا ۸۸ سه مورد جهش ناگهانی ایجاد شده است اما منجر به تغییر روند بارش نشده است. تغییرات بارش ایستگاه بروجرد در ۳ با مقایسه دو پارامتر u و u' نشان داده شده است. محدوده تغییرات این دو پارامتر بین -1 تا $1/6$ بوده است. ثبات بارش در این ایستگاه بیش از سایر نقاط استان مشاهده می‌شود به گونه‌ای که تنها دو بار و در نقطه حدود $u=u'=0.2$ شاهد برخورد نمودارها هستیم. بنابراین در محدوده بروجرد نیز روند مشخص افزایشی یا کاهش مشاهده نشد.



شکل ۳. تغییرات بارش ایستگاه ازنا و بروجرد با روش من-کندال

$$E_i = n_i(n_i - 1)/4 \quad (۳)$$

$$V_i = n_i(n_i - 1)(2n_i - 5)/72 \quad (۱۴)$$

$$u_i = \left(\sum t_i - E_i \right) / \sqrt{V_i} \quad (۱۵)$$

که، n_i ترتیب زمانی داده‌ها است. برای شناسایی روندهای جزئی و کوتاه‌مدت، نقاط جهش و شروع روند سری‌های زمانی از نمودار سری زمانی برحسب مقادیر u و u' استفاده شده است. نمودار سری زمانی مقادیر متوالی آماره‌های u و u' با استفاده از رابطه فوق برای u به دست خواهد آمد. برای محاسبه u' می‌توان مطابق با مراحل زیر عمل نمود. ابتدا، داده‌ها را توسط آماره T' رتبه‌بندی کرده و مقادیر امید ریاضی E_i' ، واریانس V_i' از روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$E_i' = (N - (n_i - 1))(N - n_i)/4 \quad (۱۶)$$

$$V_i' = ((N - n_i)(N - (n_i - 1))(2(N - (n_i - 1)(N - n_i)))) + 5/72 \quad (۱۷)$$

$$u_i' = - \left(\sum t_i' - E_i' \right) / \sqrt{V_i'} \quad (۱۸)$$

که در آن‌ها، N تعداد سال‌های آماری می‌باشد. محل تلاقی شاخص u و u' با ضریب اطمینان ۹۵ درصد نشان‌دهنده تغییرات سری زمانی بوده و رفتار u بعد از محل تلاقی وضعیت روند (کاهش یا افزایش) سری را نشان می‌دهد. عدم تلاقی دو شاخص معرف عدم روند سری می‌باشد.

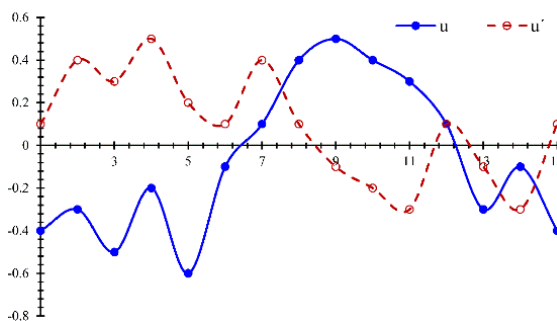
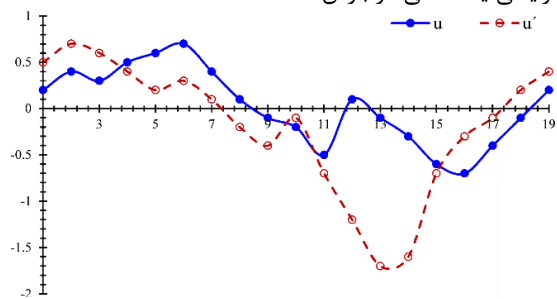
نتایج و بحث

تحلیل روند بارش

تحلیل روند به روش من-کندال توسط نمودار u و u' انجام گرفت که نمودار u و u' برای حداکثر بارش ایستگاه الشتر به صورت شکل ۲ به دست آمد. نتایج نشان داد که نمودارها در سال ۵، ۹ و ۲۱ همدیگر را قطع کرده‌اند که نشان‌دهنده تغییر و جهش ناگهانی بوده است اما در محدوده بحرانی $1/96 \pm$ بوده و روند خاصی را نشان نداده است. تغییرات ضرایب من کندال در ایستگاه الیگودرز بین $-1/6$ تا $0/8$ متغیر بوده است که نشان‌دهنده عدم وجود روند افزایشی یا کاهش در بارش است (شکل ۲). اما باین وجود در سال‌های چهارم، دهم، هیجدهم و بیست و پنجم دچار تغییرات ناگهانی بوده است. با توجه به اینکه آغاز آماربرداری در ایستگاه الیگودرز در سال ۱۳۶۵ بوده است مهرومومهایی که با جهش مواجه شده است به سال ۱۳۶۹، ۱۳۷۵، ۱۳۸۳ و ۱۳۸۹ باز می‌گردد.

من-کندال نشان می‌دهد. نتایج بیانگر عدم بروز روند مشخص در طول دوره آماری بوده است. هرچند تغییرات ناگهانی در مقاطع مختلف اتفاق افتاده است. در شهرستان کوههدشت نیز مانند سایر نقاط استان روند معنی‌دار به روش من-کندال وجود نداشته است. تنها در سال سوم و سال شانزدهم جهش ناگهانی در بارش وجود داشته است.

شکل ۶ به ترتیب تغییرات بارش در ایستگاه‌های پل دختر و سیلاخور را نشان می‌دهد. علی‌رغم بروز جهش ناگهانی در این ایستگاه‌ها که نقاط تلاقی نمودارها مشاهده می‌شود اما برخوردها در محدود بحرانی اتفاق افتاده است. لذا با بررسی تمام منحنی‌های به‌دست‌آمده از روش من-کندال در ایستگاه‌های مختلف استان لرستان می‌توان نتیجه گرفت که در محدوده زمانی آماربرداری شده هیچ‌گونه روند قابل تشخیص افزایشی یا کاهش‌ی در بارش‌ها مشاهده نشده است.

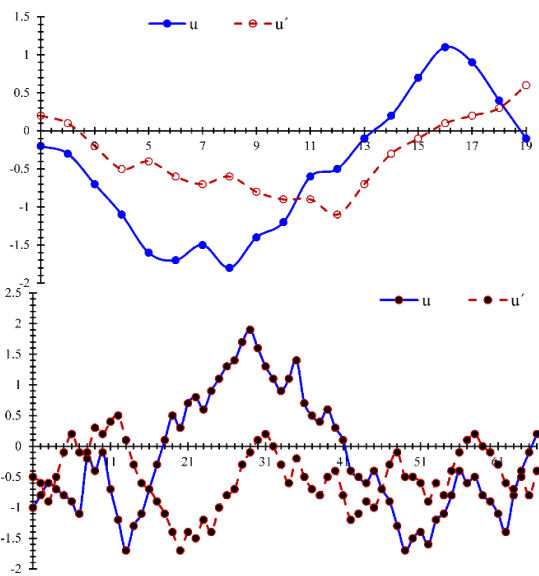


شکل ۶. تغییرات بارش ایستگاه پل دختر و سیلاخور با روش من-کندال

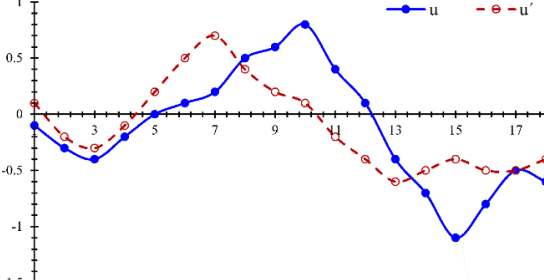
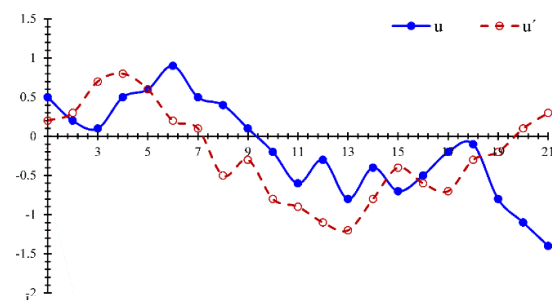
تحلیل فراوانی تک متغیره

در این مرحله با توجه به عدم وجود روند معنی‌دار در ایستگاه‌های بررسی شده، توابع توزیع فراوانی برای شهرستان‌های مختلف با یکدیگر مقایسه و بهترین تابع برای هر کدام از سری داده‌ها بر اساس رتبه و آماره‌های محاسبه شده در جدول ۳ مشخص شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده تابع توزیع فراوانی مقادیر حدی تعمیم‌یافته بیشترین تطابق را با داده‌های ارتفاع بارش در استان لرستان داشته است. ایستگاه‌های الیگودرز، درود، کوههدشت، نورآباد و سیلاخور از این تابع تبعیت کرده‌اند.

طبق محاسبات انجام شده به روش من-کندال تغییرات بارش در ایستگاه درود نیز فاقد روند مشخص است. مطابق شکل ۴ تنها در سال یازدهم و هجدهم تغییرات و جهش ناگهانی رخ داده است که در محدوده $\pm 1/96$ بوده است. داده‌های ثبت شده در ایستگاه خرم‌آباد به بیش از ۶۶ سال می‌رسد و می‌تواند نشان‌دهنده تغییرات بارش در کل استان نیز باشد (شکل ۴). دامنه نوسانات روش من-کندال در این ایستگاه فراتر از حد بحرانی نرفته و بنابراین بیانگر روند افزایشی و کاهش‌ی در بارش نیست. نقاط زمانی که موجب تغییرات ناگهانی بارش شده است سال شانزدهم، سال چهل و ششم و سال شصت و چهارم هستند.



شکل ۴. تغییرات بارش ایستگاه درود و خرم‌آباد با روش من-کندال



شکل ۵. تغییرات بارش ایستگاه کوههدشت و نورآباد با روش من-کندال

شهرستان نورآباد بیشترین مصرف آب کشاورزی در استان لرستان را دارد. شکل ۵ تغییرات بارشی این محدوده را به روش

جدول ۳. مقایسه توابع توزیع برای حداکثر ارتفاع بارش

تابع توزیع	کلموگروف اسمرینف	آماره	رتبه	اندرسون دارلینگ		کای اسکوتر	
				آماره	رتبه	آماره	رتبه
الشتر	لوگ نرمال	۰/۳۲	۳	۰/۲۸	۳	۱/۵	۱
الیگودرز	مقادیر حدی تعمیم‌یافته	۰/۲۱	۲	۰/۳۳	۲	۱/۷	۲
ازنا	لوگ پیرسون	۰/۰۹	۱	۰/۱۹	۴	۲/۶	۴
بروجرد	لوگ پیرسون	۰/۰۸	۴	۰/۲۸	۲	۲/۸	۱
درود	مقادیر حدی تعمیم‌یافته	۰/۱۷	۳	۰/۲۸	۱	۳/۷	۵
خرم آباد	گاما	۰/۲	۴	۰/۹۶	۲	۴/۳	۱
کوهدشت	مقادیر حدی تعمیم‌یافته	۰/۱۵	۱	۰/۵۷	۱	۱/۵	۲
نورآباد	مقادیر حدی تعمیم‌یافته	۰/۰۹	۲	۰/۲۸	۱	۳/۸	۳
پل دختر	لوگ نرمال	۰/۱۲	۳	۰/۴۵	۲	۳/۶	۱
سیلاخور	مقادیر حدی تعمیم‌یافته	۰/۲۱	۱	۰/۳۲	۲	۲/۸	۲

جدول ۴. مقایسه توابع توزیع برای حداکثر مدت بارش

تابع توزیع	کلموگروف اسمرینف	آماره	رتبه	اندرسون دارلینگ		کای اسکوتر	
				آماره	رتبه	آماره	رتبه
الشتر	مقادیر حدی تعمیم‌یافته	۰/۴۱	۲	۰/۴۸	۱	۲/۳	۲
الیگودرز	مقادیر حدی تعمیم‌یافته	۰/۳۷	۴	۰/۴۱	۱	۴/۷	۲
ازنا	گاما	۰/۱۸	۲	۰/۲۳	۲	۳/۱	۱
بروجرد	لوگ پیرسون	۰/۱۲	۱	۰/۱۶	۳	۲/۱	۲
درود	لوگ نرمال	۰/۱۴	۲	۰/۲۱	۲	۱/۷	۱
خرم آباد	گاما	۰/۲۳	۱	۰/۳۵	۲	۳/۰	۳
کوهدشت	لوگ لوجیستیک	۰/۲۶	۱	۰/۴۳	۱	۳/۵	۴
نورآباد	مقادیر حدی تعمیم‌یافته	۰/۴۱	۳	۰/۶۶	۱	۴/۸	۲
پل دختر	مقادیر حدی تعمیم‌یافته	۰/۱۶	۲	۰/۲۹	۳	۱/۶	۱
سیلاخور	لوگ پیرسون	۰/۳۶	۲	۰/۴۵	۲	۳/۲	۲

دوره بازگشت ارتفاع و مدت بارش

با تعیین بهترین توابع توزیع فراوانی تک متغیره، می‌توان دوره بازگشت حداکثر ارتفاع و مدت بارش را برای ۱۰ ایستگاه تعیین کرد (جدول ۵). با توجه به جدول ایستگاه خرم‌آباد تأثیر بیشتری در بیان آب کل استان داشته است. اطلاعات به‌دست‌آمده نشان می‌دهد ارتفاع بارش در مدت‌های بارش کوتاه‌تر با شدت بیشتر همراه بوده و احتمالاً شرایط سیلابی را به همراه داشته است. بنابراین در تحلیل دومتغیره ارتفاع و مدت بارش منبع تأثیر هرکدام متفاوت بوده و در نتیجه انتظار می‌رود همبستگی کمتری بین آن‌ها وجود داشته باشد.

مطابق با ارتفاع بارش در خصوص مدت بارندگی نیز رتبه‌بندی توابع توزیع تک متغیره در جدول ۴ خلاصه شده است. همچنان تابع توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته با چهار بار اولویت برای ایستگاه‌های الشتر، الیگودرز، نورآباد و پلدختر بهترین نتایج را داشته است. نتایج نشان داد که هیچ‌یک از سری داده‌ها از دارای توزیع نرمال نبوده‌اند. توزیع نرمال عمدتاً در رتبه ۴ تا ۸ برای همه داده‌ها قرار داشت.

جدول ۵. برآورد حداکثر ارتفاع و مدت بارش برای دوره بازگشت‌های دو، ۱۰ و ۲۵ ساله

	ساله ۲۵		ساله ۱۰		ساله ۲	
	مدت	ارتفاع	مدت	ارتفاع	مدت	ارتفاع
	دقیقه	میلی‌متر	دقیقه	میلی‌متر	دقیقه	میلی‌متر
الشتر	۶۸۵	۸۱	۵۴۶	۴۷	۳۹۴	۳۱
الیگودرز	۶۲۳	۷۹	۵۱۴	۴۳	۳۴۹	۳۳
ازنا	۷۰۲	۷۴	۵۶۷	۴۲	۴۳۸	۳۲
بروجرد	۵۸۲	۶۹	۴۵۲	۳۵	۳۲۹	۲۶
درود	۶۱۴	۷۲	۴۸۳	۳۶	۳۴۷	۲۶
خرم آباد	۶۳۰	۷۵	۵۰۴	۳۷	۴۶۲	۲۸
کوهدشت	۶۴۲	۹۲	۵۱۸	۵۵	۳۸۹	۳۹
نورآباد	۵۰۳	۸۲	۳۹۷	۴۶	۳۰۷	۳۴
پل دختر	۷۱۱	۷۸	۵۳۶	۴۴	۳۵۱	۳۳
سیلاخور	۶۳۴	۷۳	۵۴۴	۴۲	۴۱۶	۲۷

جدول ۶ مقایسه همبستگی داده‌های حداکثر ارتفاع و مدت بارش سالانه

تابع همبستگی	توابع همبستگی		
	تاو کندال	رئواسپیرمن	پیرسون
الشر	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۵۱
الیگودرز	۰/۶۲	۰/۶۵	۰/۷۱
ازنا	۰/۴۶	۰/۵۱	۰/۵۸
بروجرد	۰/۴۲	۰/۵۵	۰/۶۳
درود	۰/۳۹	۰/۴۳	۰/۵۰
خرم آباد	۰/۶۷	۰/۷۲	۰/۸۰
کوهدهشت	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۶۷
نورآباد	۰/۵۶	۰/۵۹	۰/۷۲
پل دختر	۰/۴۱	۰/۵۴	۰/۶۱
سیلاخور	۰/۶۲	۰/۷۳	۰/۸۱

در استان در جدول ۶ مقایسه شده است. با توجه به جدول، همبستگی بین ارتفاع و مدت بارش در الیگودرز بیش از سایر ایستگاه‌ها است. در این شهرستان به دلیل تغییر مدت زمان بارندگی متناسب با ارتفاع بارش، هیدروگراف‌های به دست آمده یکنواخت‌تر از سایر مناطق استان است.

تعیین توابع مفصل

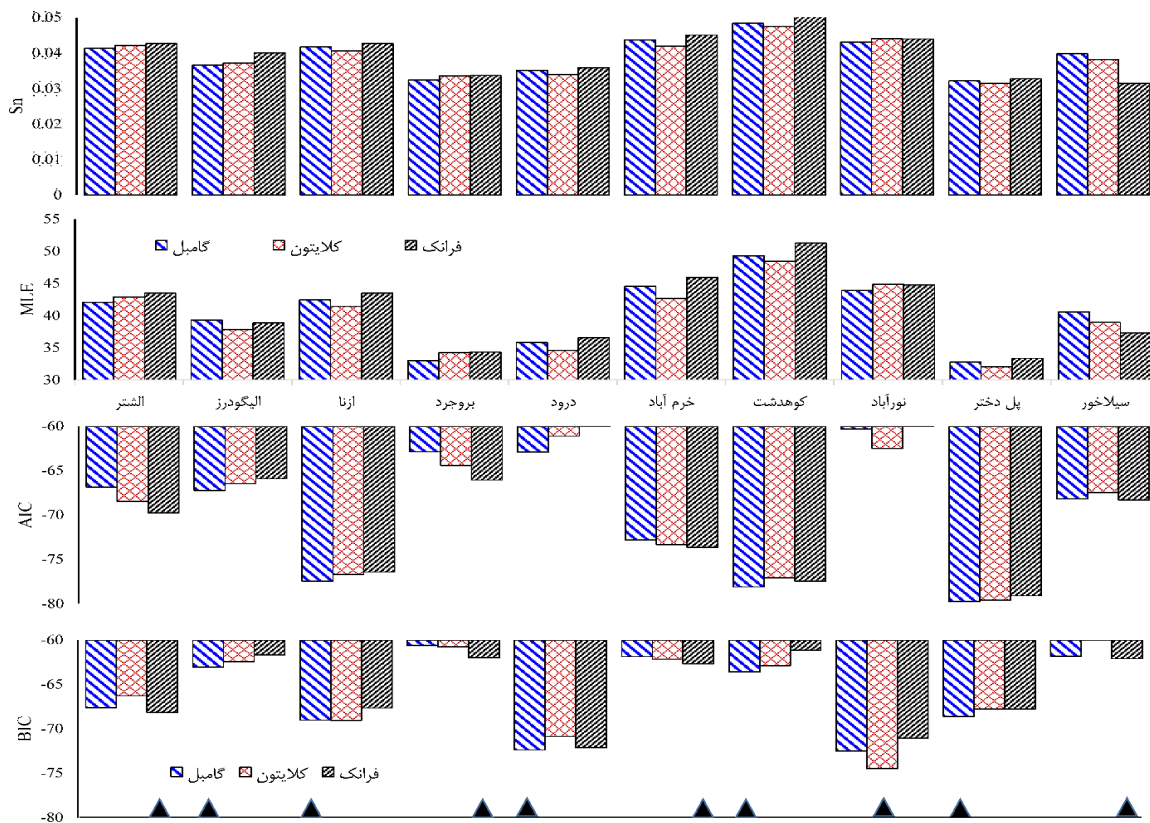
پس از تعیین همبستگی داده‌ها، پارامتر تتا برای توابع مختلف مفصل با استفاده از دو روش تاو کندال و اسپیرمن برآورد و در جدول ۷ خلاصه شده است. پنج تابع گامبل، کلابتون، فرانک، گوسی و t مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج سه تابع ارشمیدسی قابل قبول بوده و در این بخش ارائه شده است. روش‌های عکس تاو کندال و عکس رئواسپیرمن شیوه‌های بکار گرفته شده برای تخمین پارامتر θ هستند که از جمله روش‌های مبتنی بر رتبه هستند و در آن‌ها تخمین پارامتر مستقل از توزیع حاشیه‌ای است. روش‌های عکس تاو کندال و عکس رئواسپیرمن مربوط به گشتاورها هستند.

همبستگی مشخصه‌های بارش

همان‌گونه که در بخش روش تحقیق اشاره شده است گام بعدی در تحلیل چندمتغیره اطلاعات ارزیابی همبستگی داده‌ها با توجه به روش‌های تاو کندال، رئواسپیرمن و پیرسون است. بنابراین پارامترهای حداکثر ارتفاع بارش و حداکثر مدت بارش

جدول ۷. پارامتر θ برای توابع فرانک، کلابتون و گامبل

تابع مفصل	ارتفاع بارش		مدت بارش	
	عکس تاو کندال	عکس رئواسپیرمن	عکس تاو کندال	عکس رئواسپیرمن
گامبل	۱/۰۲	۱/۱۲	۱/۹۷	۱/۷۹
	۱/۸۶	۲/۰۵	۲/۱۴	۱/۹۴
	۱/۳۸	۱/۵۲	۱/۶۸	۱/۵۳
	۱/۱۶	۱/۲۷	۱/۴۵	۱/۳۲
	۱/۳۲	۱/۴۵	۱/۶۴	۱/۴۹
	۱/۹۵	۲/۱۴	۱/۱۲	۱/۰۲
	۱/۹۴	۲/۱۳	۱/۱۶	۱/۰۶
	۱/۸۴	۲/۰۳	۱/۶۶	۱/۵۱
	۱/۵۳	۱/۶۸	۲/۱۵	۱/۹۶
	۱/۴۲	۱/۵۶	۱/۶۸	۱/۵۲
کلابتون	۱/۳۸	۱/۵۲	۲/۶۹	۲/۴۴
	۲/۵۴	۲/۷۹	۲/۹۲	۲/۶۵
	۱/۸۸	۲/۰۷	۲/۲۹	۲/۰۸
	۱/۵۸	۱/۷۴	۱/۹۸	۱/۸
	۱/۸	۱/۹۸	۲/۲۴	۲/۰۴
	۲/۶۶	۲/۹۲	۱/۵۳	۱/۳۹
	۲/۶۴	۲/۹۱	۱/۵۸	۱/۴۴
	۲/۵۱	۲/۷۶	۲/۲۷	۲/۰۶
	۲/۱	۲/۳	۲/۹۴	۲/۶۷
	۱/۹۴	۲/۱۳	۲/۲۹	۲/۰۸
فرانک	۲/۸۹	۳/۱۸	۴/۷۶	۴/۳۳
	۴/۴۶	۴/۹۱	۵/۰۸	۴/۶۲
	۳/۵۶	۳/۹۲	۴/۲۳	۳/۸۴
	۳/۱۵	۳/۴۷	۳/۷۹	۳/۴۵
	۳/۴۶	۳/۸	۴/۱۶	۳/۷۸
	۴/۶۲	۵/۰۸	۳/۱۸	۲/۸۹
	۴/۶	۵/۰۶	۳/۲۳	۲/۹۷
	۴/۴۳	۴/۸۷	۴/۲	۳/۸۲
	۳/۸۵	۴/۲۳	۵/۱۱	۴/۶۴
	۳/۶۴	۴	۴/۲۲	۳/۸۳



شکل ۷. مقایسه توابع توزیع ارشمیدسی کلایتون، گامبل و فرانک در ارزیابی متغیرهای بارش

مورد ارزیابی قرار گیرد و برنامه مصرف آب بر اساس نیازهای بلند برنامهریزی گردد. بنابراین در این پژوهش دو دوره بازگشت ۲ ساله و ۱۰ ساله مورد بررسی قرار گرفته است.

مقایسه دوره بازگشت‌های تک متغیره و دومتغیره نشان داد که استفاده از توابع مفصل در حالت (یا) تفاوت محسوسی را در برآورد متغیرهای بارش در یک دوره بازگشت خاص نشان می‌دهد. این نتیجه در مطالعات مشابه نیز تأیید شده است (Wang et al. 2021). برای نمونه در دوره بازگشت ۲ ساله، حداکثر ارتفاع بارش پیش‌بینی‌شده توسط کلایتون (یا) در شهرستان خرم‌آباد به میزان ۱۳ میلی‌متر بیش از حالت تک‌متغیره است. این در شرایطی است که فاصله حداکثر بارش در دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰ ساله حدود ۶۵ میلی‌متر است که نصف فاصله بین تک متغیره و چندمتغیره است. همبستگی بین متغیرهای بارش به‌عنوان دو عامل احتمالاتی عدم قطعیت هیدرولوژیکی در این مسئله میزان اختلاف بین دوره بازگشت تک متغیره و دومتغیره را تعیین می‌کند. به‌عبارت‌دیگر هر چه همبستگی بین این دو عامل بیشتر باشد از استقلال آن‌ها در حالت تک متغیره وجود دارد کاسته شده و اختلاف بین مقادیر حداکثر ارتفاع بارش سالانه و حداکثر مدت بارش سالانه در یک دوره بازگشت معین افزایش می‌یابد. بنابراین اهمیت روش مورد استفاده در تعیین میزان آب در دسترس نقش مهمی در بروز کم‌آبی دارد.

مقایسه معیارها و توابع توزیع چندمتغیره نشان می‌دهد که تابع فرانک برای شهرستان‌های الشتر، بروجرد، خرم آباد و سیلاخور بهترین انتخاب بوده است (شکل ۷). همچنین تابع کلایتون گزینه مناسب برای نورآباد بوده است. شهرستان‌های پل دختر، کوهدشت، درود، ازنا و الیگودرز نیز از تابع گمبل تبعیت کرده‌اند. این توابع که هر سه از توابع ارشمیدسی محسوب می‌شوند، نتایج قابل قبولی داشته‌اند و مقدار p آن‌ها بیش از ۰/۰۵ است.

برآورد دوره بازگشت چندمتغیره ارتفاع و مدت بارش

با توجه به مباحث احتمالاتی مطرح شده در بخش توابع حاشیه‌ای تک‌متغیره و توابع چندمتغیره مقادیر دوره‌های بازگشت حداکثر ارتفاع و مدت بارش سالانه برای ایستگاه‌های استان لرستان در جدول ۸ برآورد شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، کمترین دوره بازگشت ابتدا به تابع چندمتغیره در حالت (یا)، سپس به تابع تک متغیره و در نهایت به تابع چندمتغیره در حالت (و) تعلق دارد. در حالت کلی نیز این مقایسه در خصوص حالت (یا) و (و) وجود دارد (افشاری‌پور و همکاران ۲۰۱۹). برای نمونه اگر هدف از مدیریت مصرف آب از منظر کوتاه‌مدت ارزیابی شود باید دوره بازگشت دوساله و در نگاه میان‌مدت بایستی دوره بازگشت ۱۰ ساله مدنظر قرار گیرد. برای برنامهریزی در افق بلندمدت که معمولاً ۲۵ ساله در نظر گرفته می‌شود نیاز است تا زیرساخت‌ها و سند آمایش استان

جدول ۸. برآورد دوره‌های بازگشت تک متغیره و چندمتغیره (ارتفاع: میلی‌متر؛ مدت: دقیقه)

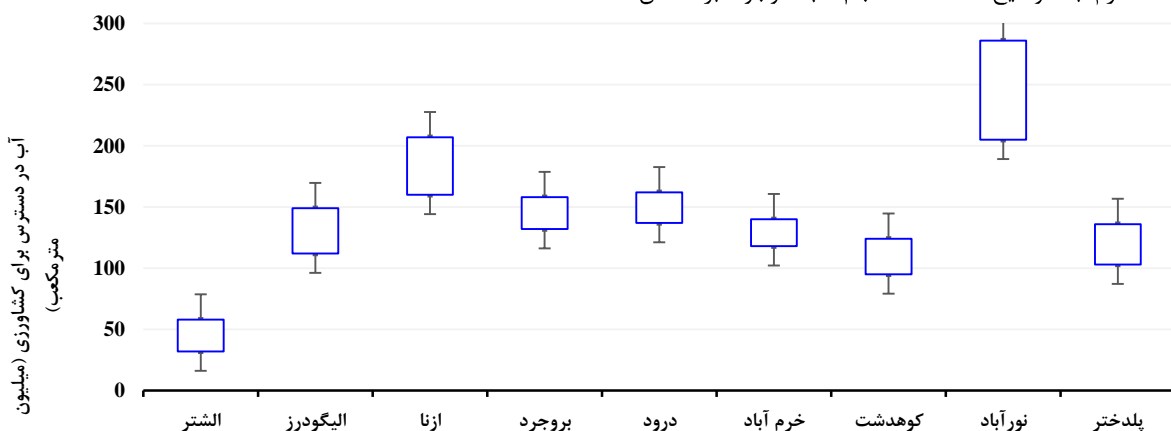
دوره بازگشت	تابع دومتغیره (و)		تابع دومتغیره (یا)		توابع توزیع حاشیه‌ای	
	ارتفاع	مدت	ارتفاع	مدت	ارتفاع	مدت
الشتر	۱۹	۳۶۵	۳۸	۴۲۶	۳۱	۳۹۴
الیگودرز	۲۲	۳۲۷	۴۵	۵۸۷	۴۷	۵۴۶
ازنا	۲۰	۳۹۲	۴۱	۴۷۱	۳۲	۴۳۸
بروجرد	۱۷	۲۸۵	۳۴	۳۶۹	۲۶	۳۲۹
درود	۲۴	۳۱۲	۲۹	۳۷۸	۲۶	۳۴۷
خرم‌آباد	۱۸	۳۲۶	۳۲	۴۰۵	۲۸	۴۶۲
کوه‌دشت	۳۱	۴۷۵	۴۱	۵۴۹	۳۷	۵۰۴
نورآباد	۲۸	۲۵۸	۳۹	۴۲۸	۳۹	۳۸۹
پلدختر	۲۶	۳۰۶	۳۷	۳۹۶	۳۳	۳۵۱
سیلاخور	۲۲	۳۸۲	۳۴	۴۷۱	۲۷	۴۱۶
	۳۹	۵۰۳	۴۵	۵۶۹	۴۲	۵۴۴

مساحت هر شهرستان و با توجه به ضریب همبستگی بین آب کشاورزی و بارندگی تخمین زده شده است. حدود نشان داده شده در شکل ۱۰ نیز بر اساس میزان اطمینان ۹۵ درصد که در مدل احتمالاتی مورد استفاده قرار گرفته است به دست آمد.

نتیجه‌گیری

با توجه به وضعیت بحرانی آب در استان لرستان نیاز است. جهت برنامه‌ریزی درازمدت منابع آب، وضعیت بارش در آینده بررسی گردد تا بتوان با مدیریت مناسب راهکارهای مقابله با تشدید بحران را شناسایی و بکار برد. بنابراین بارندگی به‌عنوان عامل اصلی بیلان آب در استان با مشخصه‌های ارتفاع و مدت بارش مورد تجزیه و تحلیل توسط توابع مفصل قرار گرفت. نتایج نشان داد که تابع ارشمیدسی فرانک بیشترین سازگاری را برایشهرستان‌های استان لرستان داشته است. در مطالعه افشاری‌پور و همکاران (۲۰۱۹) نیز تابع مفصل فرانک انتخاب اول برای برآورد دوره بازگشت متغیره‌های بارش بوده است. همچنین تابع مقادیر حدی تعمیم یافته نتایج قابل قبولی در بخش توابع توزیع حاشیه‌ای داشته است. مقادیر حدی تعمیم یافته در مطالعه بنی‌بیات و همکاران (۲۰۲۱) نیز توصیه شده است. دوره بازگشت بارش ۱۰ ساله به‌عنوان معیار تأمین آب کشاورزی در آینده مدنظر قرار گرفت و حجم آب قابل تأمین با ضریب اطمینان ۹۵ درصد برای شهرستان‌های مختلف پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که شهرستان‌های نورآباد و ازنا دامنه وسیع‌تری از احتمالات بارش را دارند و احتمال بروز کم‌آبی برای کشاورزی در آن‌ها کمتر است. تحقیقات آینده می‌تواند به ارزیابی تنش‌های دمایی بر کشاورزی و خشک‌سالی تمرکز یافته و نتایج آن در ترکیب با عامل بارندگی برای برنامه‌ریزی آب کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد.

در این مرحله با توجه به دوره بازگشت‌های به‌دست‌آمده می‌توان حجم آب در دسترس برای کشاورزی در افق ۱۰ سال آینده را پیش‌بینی نمود (شکل ۸). بر این اساس، بیشتری حجم آب در دسترس متعلق به شهرستان نورآباد با ۲۱۰ تا ۲۶۵ میلیون مترمکعب برآورد شده است. الشتر با متوسط ۴۸ میلیون مترمکعب آب سالانه کمترین منابع آب را در اختیار خواهد داشت. لازم به توضیح است که حجم آب موجود بر اساس



شکل ۸. حجم آب موجود برای کشاورزی در افق ۱۰ ساله (۱۴۰۱ تا ۱۴۱۱) برای شهرستان‌های استان لرستان

Reference:

- Afsharipour, Z., Behramand, A.R., Abdolhosseini, M. 2019. Bivariate frequency analysis of rainfall intensity and depth using copula functions (Case study: Chehelchai Watershed, GorganRood, Golestan). *Irrigation and water Engineering*. 9(2):121-134 [in Persian]
- Alamanos, A., Mylopoulos, N., Vasiliades, L., & Loukas, A. 2018. Climate change effects on the availability of water resources of Lake Karla watershed for irrigation and Volos city urban water use. In *Proceedings of the 14th Protection and Restoration of the Environment (PRE) Conference*, Thessaloniki, Greece, 3-6.
- Asaibi Hir, R., Mostafazadeh, R., Raoof, M., Esmali-Ouri, A. 2020. Evaluating surface water sustainability of Ardabil Province watersheds. *Watershed Engineering and Management*. 11(4): 984-998 [in Persian]
- Ashofteh, P. and A. Masahbavani. 2007. Impact of climate change on the intensity and frequency of flooding in future periods, case study: Aidoghmoush Basin, East Azarbaijan. *Technical Workshop on the Impacts of Climate Change on Water Resources Management*, Tehran [in Persian].
- Azaranfar, A., A. Abrishamchi and M. Tagrishi. 2006. Assessment effects of climate change on precipitation and temperature in zayandehrud basin using the model of the turn popular. 2nd National Conference on Water Resources Iran, Esfahan [in Persian].
- Azari, M., H.R. Moradi, B. Saghafian and M. Framarzi. 2013. Assessment of hydrological effects of climate change in Geourganroud River. *Journal of Water and Soil*, 12: 537-547.
- Babaeian, I., Kwon, W.T., and Im, E.S., 2004: Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, climate research lab, 98pp.
- Banibayat, A., Ghorbanizadeh Kharazi, H., Eslami, H. 2022. Drought Monitoring in Bivariate Probabilistic Framework for the Maximization of Water Use Efficiency. *Iran J Sci Technol Trans Civ Eng* 46, 573–584.
- Chen L. and Guo S. 2019. *Copulas and Its Application in Hydrology and Water Resources*. Springer <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0574-0>.
- Daba, M., G. Mamo and G.N. Rao. 2018. Evaluating potential impact of climate change on hydro-meteorological variables in upper Blue Nile Basin, case study: fincha sub-basin. *International Conference on Climate Change Effects*, 27-30.
- Elsner MM, Cuo L, Voisin N, Hamlet AF, Deems JS, Lettenmaier DP, Mickelson KEB, Lee SY. 2009 Implications of 21st century climate change for the hydrology of Washington State. *Washington Climate Change Impacts Assessment: Evaluating Washington's future in a changing climate*.
- Fakheri, A., S. Romiyfar, H. Aboali and A. Khaki Torabi. 2011. Investigation effects of climate change on water inflow into Lake Orumiyeh using SDSM micro-scale model. The 4th conference on Water Resources Management, Amirkabir Technology University, Tehran [in Persian].
- Fallah, G. and Shakri, F. 1401. Evaluation of the role of climate change and remote sensing signals on the maximum temperature of Hordi study in Khuzestan province. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*. 22(67): 439-457 [in Persian].
- Farmanara, S.M., Bakhtiari, B., Sayari, N. 2019. Analysis of meteorological drought characteristics under the influence of climate change with Copula approach in Fars province. *Water and Soil*. 34(5): 1157-1173 [in Persian]
- Fentaw, F., Mekuria, B. and Arega, A. 2018. Impacts of Climate Change on the Water Resources of Guder Catchment, Upper Blue Nile, Ethiopia. *Ethiopia. WaterSA*, 1(1), 16-29.
- Hamed, K., Rao, R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*. 204:182-196.
- Kendall, M. G., 1975. *Rank correlation methods*. Charles Griffin, London.
- Khosravi, A. and Azari, M. 1401. Determining the temporal and temporal trends of temperature and precipitation changes in Kashf River basin. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*. 22(66): 289-306 [in Persian].
- Lalehzari, R., Kerachian, R. 2021. An Integrated Framework for Optimal Irrigation Planning Under Uncertainty: Application of Soil, Water, Atmosphere and Plant Modeling. *Iran J Sci Technol Trans Civ Eng* 45, 429–442.
- Mann, H. B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13, pp 245-259.
- Mirian, M., Karampour, M., Moradi, M., Ghaemi, H., and Nasiri B. 1401. Analysis of statistics and anomalies of 50-year rainfall of Iran's synoptic stations (period 1960-2010). *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*. 1402. 23(68): 243-327 [in Persian].
- Mostafazadeh, R., Mehri, S. 2018. Trends in Variability of Flood Coefficient in River Gauge Stations of Ardabil Province, Iran. *Journal of Watershed Management Research*. 9(17): 82-95 [in Persian]
- Mostafazadeh, R., Shahabi, M. and Zabihi, M. 2014. Analysis Planning of Space meteorological drought using Triple Diagram Model in the Kurdistan Province, Iran. *Geographical Planning of Space Quarterly Journal*. 5(17): 129-140 [in Persian]

- Ochera, G., Sierra, A., Vives, L. 2020. Spatio-temporal effect of climate change on water balance and interactions between groundwater and surface water in plains, science of the Total Environment, 722, 137886.
- Sabaghi, B., Shafai Bajestan, M., Aminnejad, B. 2022. Uncertainty Analysis of Rainfall-Runoff Relationships Using Fuzzy Set Theory and Copula Functions. *Iran J Sci Technol Trans Civ Eng* 46, 2667-2676.
- Sabaghi, M., Nazari, M., Araghinejad, Sh. 2020. Economic impacts of climate change on water resources and agriculture in Zayandehroud river basin in Iran, *Agricultural Water Management*, 241, 106323.
- Samuel, K., L. Michele, E. Warburton, G. Archer van and P.W. Graham. 2021. Impacts of climate change on water resources in Southern Africa: A review study of Vernonia, Oregon, USA. *Applied Geography*, 46: 137-146.
- Shrestha N K, Du X, and Wang J. 2017. Assessing climate change impacts on fresh water resources of the Athabasca River Basin Canada. *Science of the Total Environment* 601:425-440
- Tan, M L, Yusop Z, Chua V P and Chan NW 2021. Climate change impacts under CMIP5 RCP scenarios on water resources of the Kelantan River Basin Malaysia. *Atmospheric Research* 189:1-10.
- Wang, C., Shang, Y., Khayatnezhad, M. 2021. Fuzzy stress-based modeling for probabilistic irrigation planning using Copula-NSPSO. *Water Resource Management*. 35, 4943-4959.
- Zainadini, S., Anvari, S., Zahmatkesh, Z. 2019. Investigation of Water Allocation Conditions in Aharchay Basin under Climate Change Impacts. *Irrigation science and engineering*. 42(4): 195-210 [in Persian]

یادداشت ها

-
- ¹ Rahmani
² Khosravi and Azari
³ Fallah and Shakeri
⁴ Mirian
⁵ Fentaw
⁶ Lalehzari and Kerachian
⁷ Sbaghi
⁸ Banibayat
⁹ Chen and Guo
¹⁰ Mann
¹¹ Kendall