Trend Analysis and the Relationship Between Flow Variability, Precipitation, and River Sediment Load (Case Study: Selected Stations of Iran's Main Basins)

Fatemeh Modares [a], Manuchehr Farajzadeh[b*], Majid Shah Hosseini[c]
[a] *PhD Cadidate, Physical Geography, Faculty of Humanities, University of Tarbiat Modares, Tehran*
[b] *Professor, Physical Geography, Faculty of Humanities, University of Tarbiat Modares, Tehran*
[c] *Assistant Professor, Physical Geography, Faculty of Humanities, University of Tarbiat Modares, Tehran*

Research Full Paper
Article History (Received: 2025/05/25 Accepted: 2025/07/29)

Extended Abstract

1- Introduction

Changes in precipitation, discharge, and sediment load in rivers and water resources are crucial parameters in water resource management studies. This study analyzes the trends of discharge, precipitation, and sediment in the watershed areas of Zarrineh River, Qareh Sou, Kashaf Rud, and Dez over a 30-year period (2023-1994) using the non-parametric Mann-Kendall test and Pearson correlation method. The findings indicate a significant correlation between discharge and sediment without any delay, with correlation coefficients ranging from 0.68 to 0.96. Additionally, a significant correlation between discharge and precipitation is observed only in the Dez and Qareh Sou rivers, with a stronger connection to precipitation from one day prior. The trend analysis of precipitation and discharge across various stations indicates an overall decline in these parameters, except for the Aghdarband station in the Kashaf Rud basin. The highest decreasing Sen's slope for precipitation is noted at the Dez dam station, while significant reductions in discharge are seen at the Samian and Arbab Kandi stations. In other stations, changes appear as short-term fluctuations. An assessment of sediment trends reveals a decrease in sediment levels across most watersheds, excluding the Kashaf Rud basin. These changes are also found to be significant in various stations. Moreover, the Mann-Kendall graphical test indicates a break point and a shift in 1998 and again in 2007, which results in a notable decrease in discharge and sediment in the studied watersheds.

2-Methodology

The study area of this research includes four important watersheds in the country: Qara Su, Zarineh Rud, Dez, and Kashaf Rud. The Qara Su watershed, which is part of the Aras sub-basin, features the longest and most water-rich internal river of Ardabil province, named Qara Su. This river originates from the Talesh highlands. The Zarineh Rud watershed is located in the south and southeast of Lake Urmia and is recognized as the largest sub-basin of Lake Urmia. This watershed contains a river of the same name, which flows through the provinces of Kurdistan and West Azerbaijan and, at 302 kilometers long, is one of the longest and most water-rich rivers in the region. In this research, precipitation, flow, and sediment data were collected from the selected stations, and the trends of these time series data were analyzed using the non-parametric Mann-Kendall test and the Sen's slope estimator. Additionally, to identify points of change and trend breaks, the Mann-Kendall graphical method was employed, and Pearson correlation tests were conducted to examine the relationships between flow, precipitation, and sediment. The Mann-Kendall test is based on the ranks of data in time series and is used to assess trends in hydrological and meteorological data. The slope estimation of the trend line using the Sen method is employed as a non-parametric technique that calculates the median slope by analyzing the differences between observations in a time series. In this method, a slope is calculated for each pair of consecutive data points, and their median represents the slope of the trend line. Moreover, the correlation

* Corresponding Author: farajzam@modares.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

coefficient serves as a criterion to determine the degree of association between variables and to identify the type, direction, and extent of their linear correlations

3- Results

This study analyzed the trends of annual discharge, precipitation, and sediment load over a 30-year period (1994–2023) in four watersheds: Zarrineh River, Qareh Su, Kashaf rud River, and Dez. Using non-parametric methods like the Mann-Kendall test, Sen's slope estimator, and regression line slope, the researchers found a significant correlation ($p < 0.01$) between discharge and sediment load across all basins, with correlation coefficients ranging from 0.68 to 0.96. Discharge and precipitation showed lower correlation coefficients between 0.32 and 0.55, with only the Dez and Qareh Su rivers demonstrating significant correlations. Lagged analysis indicated that discharge correlated most strongly with precipitation from the previous day, except for the Dez River, which correlated with precipitation from two days earlier. Trend analysis found that precipitation and discharge were declining across most of the study period, particularly at Zarrineh River and Dez dam stations, where significant changes were noted (Mann-Kendall statistics of -2.3 and -2.0, respectively). The highest decline in precipitation was observed at Dez dam station with a Sen's slope of -5.8. In Qareh Su, significant declines in discharge were identified at Samian and Arbab Kandi stations, while some stations exhibited only minor fluctuations. Sediment load trends showed a universal decline across the studied basins, except for the Kashaf rud River. Notable reductions were observed at Samian station in Qareh Su and Taleh Zang station in Dez, both significant at the 1% level. The Mann-Kendall test indicated breakpoints in 1998 and 2007, signaling sustained reductions in discharge and sediment load across most basins throughout the period of study.

4. Discussion & Conclusions

This study investigates and analyzes the relationship and trends of precipitation, discharge, and sediment in the Zarrineh River, Qareh Su, Dez, and Kashf rud River. The amounts of discharge and sediment also follow the trends of precipitation; except for the Agh-Darband station in the Kashf rud River, in other stations, they show a decreasing and negative trend. This decreasing trend has become significant in the three rivers of Qareh Su, Zarrineh River, and Dez. The highest slope of change in discharge and sediment, similar to the precipitation variable, is related to the dam station. In the watersheds of East Azerbaijan, it corresponds to a significant decrease in discharge and sediment. The examination of the points of rupture and break in the changes also revealed that the changes are reducing in the studied variables. This decreasing trend has continued until the end of the studied statistical period. The analysis of the relationship between discharge, sedimentation, and precipitation also showed that there is no strong and significant correlation between discharge and either precipitation or sediment in any of the rivers studied. Therefore, despite a direct relationship, one should not always infer an increase or decrease in sedimentation to be directly related to an increase or decrease in precipitation and discharge. In conclusion, based on the results obtained from the analysis of the annual trends of precipitation, discharge, and sediment in the four rivers studied in different watersheds, it was determined that in most of the examined areas, the mentioned variables demonstrated a decreasing trend. Based on the slope estimator, the annual changes in discharge and sediment are more severe and more pronounced than those in precipitation in the region. The results of this study indicate that if attention is not paid to climatic and hydrological changes.

Key Words: Precipitation, Sen's Slope, Sediment, Trend, Discharge, Mann-Kendall.

Cite this article: Modares, F., Farajzadeh, M., & Shah Hosseini, M. (2026). Trend Analysis and the Relationship Between Flow Variability, Precipitation, and River Sediment Load (Case Study: Selected Stations of Iran's Main Basins). *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2026; 16 (1) :1-21*. http//doi.org/ 10.61882/jeer.405.1.1

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/ 10.61882/jeer.405.1.1
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

پژوهش‌های فرسایش محیطی ۱ :۱۶ (۶۱)، بهار ۱۴۰۵، ۲۱-۱
http://magazine.hormozgan.ac.ir

تحلیل روند و رابطه تغییرات دبی با بارش و بار رسوب رودخانه‌ای (مورد مطالعه: ایستگاه‌های منتخب حوضه‌های اصلی ایران)

فاطمه مدرس: *دانشجوی دکترا، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران*
منوچهر فرج زاده*: *استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران*
مجید شاه حسینی: *استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۷
DOI: http//doi.org/ 10.61882/jeer.405.1.1

چکیده

در این پژوهش، روند تغییرات دبی، بارش و رسوب سالانه طی یک دوره ۳۰ ساله (۱۴۰۲–۱۳۷۳) در حوضه‌های آبخیز زرینه‌رود، قره‌سو، کشف‌رود و دز با بهره‌گیری از آزمون ناپارامتری من-کندال، تخمین‌گر شیب سن و رگرسیون مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این روش‌ها، به منظور تحلیل دقیق‌تر نوسانات زمانی و فرکانسی متغیرهای بارش، دبی و رسوب، از تبدیل موجک پیوسته نیز استفاده شد تا تغییرات زمانی طیف فرکانسی نیز بررسی شود. نتایج نشان داد که بین دبی و رسوب، بدون تأخیر زمانی، همبستگی معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد و ضریب همبستگی بین ۰/۶۸ تا ۰/۹۶ متغیر است؛ به‌طوری که کمترین و بیشترین میزان همبستگی به ترتیب مربوط به زرینه‌رود و کشف‌رود است. نتایج تحلیل تأخیر زمانی نیز نشان داد که به جز رودخانه دز (با بیشترین همبستگی بین دبی و بارش دو روز قبل)، در سایر رودخانه‌های مورد بررسی، بیشترین همبستگی بین دبی و بارش یک روز قبل مشاهده شده است و در هر دو تأخیر زمانی، نتایج در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار هستند. نتایج تحلیل روند نیز حاکی از کاهش بارش و دبی در اغلب ایستگاه‌ها طی دوره آماری بوده است، به‌جز ایستگاه آق‌دربند در کشف‌رود. این کاهش در ایستگاه‌های زرینه‌رود و سد دز با آماره من-کندال برابر با ۲/۳- و ۲- در سطح ۵ درصد معنی‌دار گزارش شد. روند رسوب نیز در بیشتر حوضه‌ها کاهشی بوده و این روند در ایستگاه‌های سامیان (قره‌سو) با مقدار ۳/۱- و تله‌زنگ (دز) با مقدار ۳/۴- در سطح ۱ درصد و در ایستگاه‌های زرینه‌رود و سد دز در سطح ۵ درصد معنادار تشخیص داده شد. تحلیل گرافیکی آزمون من-کندال نیز نشان‌دهنده دو نقطه شکست مهم در سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۸۶ بود که بیانگر کاهش چشمگیر دبی و رسوب در ادامه دوره آماری است. نتایج تحلیل موجک نیز نشان داد که در اغلب ایستگاه‌ها، الگوی سالانه در بارش و دبی به‌عنوان مؤلفه غالب مشاهده می‌شود. همچنین در برخی ایستگاه‌ها نوسانات میان‌مدت با دوره‌های ۲۴ تا ۳۶ ماهه نیز شناسایی شد که می‌تواند با پدیده‌های اقلیمی مرتبط باشد. رفتار رسوب نسبت به دبی و بارش ناپیوسته‌تر و بیشتر وابسته به رخدادهای حدی بود، به‌طوری‌که در برخی حوضه‌ها مانند دز و قره‌سو، افزایش ناگهانی توان موجک در مقیاس‌های کوتاه‌مدت مشاهده شد. نتایج حاصل اهمیت تحلیل موجک به‌عنوان ابزاری مکمل در کنار روش‌های آماری سنتی را برجسته می‌سازد، چرا که این روش امکان بررسی دقیق‌تر و چندمقیاسی پویایی زمانی متغیرهای هیدرولوژیکی را فراهم می‌سازد.

واژگان کلیدی: تحلیل موجک، شیب سن، روند، من-کندال

* نویسنده عهده دار مکاتبات: farajzam@modares.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

۱ـ مقدمه

تغییرات بارش، دبی و رسوب در رودخانه ها و منابع آبی به عنوان پارامترهای مهم در مطالعات مدیریت منابع آب مورد توجه قرار می‌گیرند. از طریق ارتباط بین دبی و رسوب در یک رودخانه یا منبع آبی می‌توان نقش تغییرات دبی در تشکیل و تغییرات رسوب را بررسی نمود و نتایج حاصل از آن را برای برنامه‌ریزی منابع آبی و اقدامات مدیریتی مناسب مورد استفاده قرار داد. در اولویت بندی مدیریت حوضه های آبریز، تعیین میزان تغییرات دبی و رسوب، دارای اهمیت بسیار است (Khoshraftar & Mazini, 2011). به طور کلی وجود روند تغییرات در سری‌های زمانی اقلیمی و هیدرولوژیکی ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا در اثر فعالیت‌های بشر باشد. اثبات وجود روند معنی‌دار در یک سری زمانی به تنهایی نمی‌تواند دلیلی قاطع بر وقوع تغییر در یک منطقه باشد، اما فرض رخداد آن را تقویت می‌کند (Modrasi, Araghi nejad, Ebrahimi & Khaleghi, 2010). جهت تحلیل روند سری‌های زمانی از روش‌های آماری مختلفی می‌توان استفاده کرد که این روش‌ها به دو دسته کلی روش‌های پارامتری و ناپارامتری تقسیم می‌شوند. فرض اولیه آزمون‌های پارامتری، وجود توزیع نرمال در داده ها می‌باشد از آنجایی که بسیاری از داده ها در شرایط واقعی دارای چولگی بوده و توزیع نرمال ندارند بنابراین برای اینکه نتیجه بهتری بدست آید ترجیح داده می‌شود از آزمونهای ناپارامتری استفاده گردد (Goudarzi, Ahmadi & Hosseini, 2017; Hosseini, Salahi & Goudarzi, 2015). از جمله روش‌های معتبر ناپارامتری جهت بررسی روند، تغییرات آزمون من-کندال می‌باشد. این روش از معمول‌ترین روش‌های آماری است که برای بررسی وجود روندهای معنی‌دار در سری‌های زمانی اقلیمی و هیدرولوژیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. دلیل عمده استفاده از روش‌های ناپارامتریک در مقایسه با روش‌های آماری پارامتریک این است که روش‌های ناپارامتریک برای داده‌هایی که فاقد توزیع نرمال می‌باشند مناسب‌تر عمل می‌کنند Hosseinzadeh (Talaei, Tabari & Maroufi, 2009).

در دهه ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ راهبردهای آماری و ناپارامتریک برای ارتباط تغییرات دبی و رسوب آغاز شدند. روش‌های آماری سنتی بر اساس فرضیه‌های غرضی توسعه یافته‌اند که نتایج آن‌ها بسیار وابسته به تکراردهی داده‌ها و داده‌های نمونه‌ای از محیط مورد بررسی واریانس آماری است. این محدودیت‌ها با توجه به داده‌های دبی و رسوب که معمولاً تغییرات زیادی دارند، باعث شد تا پژوهشگران به دنبال روش‌های جدیدی برای تحلیل ارتباط تغییرات دبی و رسوب با استفاده از روش‌های ناپارامتریک بگردند Abbasi, Aalami & Faraji, 2022; Khorshiddoust, Esfandeyari, Hosseini et al, 2018). در تحلیل روند متغیرهای اقلیمی نظیر بارش، دما و مؤلفه‌های هیدرولوژیکی مانند رسوب و رواناب و نیز پارامترهای کیفی آب پژوهش‌های بسیاری انجام شده است. (Goudarzi, Salahi & Hoseini, 2015) به بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر میزان رواناب سطحی در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج نشان داد که همراه با تغییرات دما و بارش میزان رواناب نیز تغییر پیدا خواهد کرد. (Zhang, 2019) با استفاده از آزمون من-کندال به شناسایی روندهای معنی‌دار در داده‌های دبی و بار رسوب در حوضه رودخانه یانگ تسه پرداختند. نتایج نشان داد که در دو دهه اخیر دبی و بار رسوب کاهش یافته است و اقلیمی و فعالیت‌های انسانی نقش مهمی در این روندها دارند. (Liu, Fagherazzi, Liu and et al, 2022) به بررسی تغییرات دبی و روسوب در رودخانه پرل در چین پرداختند. نتایج نشان داد که بار رسوب سالانه و غلظت رسوبات معلق (SSC) در دوره ۱۹۵۰ تا ۲۰۲۰ به طور چشمگیری کاهش یافته است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

در مطالعه مشابه دیگری (Tang, Wang , Cheng and et al, 2024) تغییرات در دبی و رسوب به همراه عوامل مؤثر بر آنها را در حوضه رودخانه پرل در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۸ بررسی کردند. نتایج نشان داد که میانگین بار رسوب حوضه برابر با ۶۴/۷ میلیون تن در سال است که با نرخ کاهش قابل توجه ۷/۶- میلیون تن در هر ۱۰ سال همراه بوده است. (Fashtkari Sani, & Mehdizadeh, 2013) به بررسی روند بارش‌های فصلی و سالانه ایستگاه های حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون من‌کندال پرداختند. نتایج نشان داد که به غیر از فصل پاییز، در اکثر سری‌های زمانی مورد مطالعه، روند کاهشی و معنی‌داری بارش دیده می شود. (Hosseini, Salahi and Goudarzi, 2015) به بررسی روند تغییرات دما و بارش سالانه در یک دوره ۵۰ ساله (۲۰۱۴-۱۹۶۵) در ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون‌های من-کندال و تخمین‌گر شیب سن[1] پرداختند. نتایج نشان داد که در حوضه مورد بررسی در طول دوره آماری مورد مطالعه، دما دارای روند افزایشی و بارش دارای روند کاهشی بوده است. (Kateb & Mostafazadeh, 2019) به بررسی روند تغییرات دبی و رسوب با استفاده از آزمون من-کندال در حوزه آبخیز نیر در اردبیل پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص دبی و رسوب دارای روند کاهشی معنی‌دار می باشد. Abbasi, Aalami, and Faraji (2022) با استفاده از آزمون‌های من-کندال و تخمین‌گر شیب سن به تحلیل روند تغییرات تدریجی و سریع دبی جریان و بار رسوب رودخانه مردق‌چای در آذربایجان‌شرقی پرداختند. نتایج نشان داد دبی سالانه، ماهانه و دبی فصل بهار، تابستان و زمستان دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد. همچنین داده‌های بار رسوب سالیانه و تمام فصول در ایستگاه مردق‌چای نیز دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد. Farhadinejad, Vayskarami, and Zand, (2024) به بررسی رابطه بین تغییرات دبی و بارش در رودخانه تیره از زیرحوضه رودخانه دز پرداختند. نتایج نشان‌داد که بین دبی‌وبارش کوه بالادستی و همچنین میانه حوضه تیره ازنظر پیرسون درسطح معنی‌داری ۰/۰۵ همبستگی وجود دارد اما در خروجی حوضه تیره بین متغیرهای دبی‌وبارش همبستگی معنی‌دار مشاهده نمی‌شود.

همراه با تغییرات آب و هوایی و تغییر در الگوهای دما و بارش، مؤلفه‌های دیگری مانند مقدار رواناب و رطوبت خاک که برای سیستم‌های طبیعی و انسانی مهم هستند، دچار دگرگونی خواهند شد.-Shaemi and Habibi Nokhandan (2009) رودخانه ها یکی از منابع اصلی آب مصرفی می‌باشند. برای مدیریت بهتر این منابع، اطلاع از روند تغییرات بارش، دبی و رسوب آنها ضروری می باشد. به همین منظور در این پژوهش به بررسی تغییرات دبی، رسوب و بارش سالانه در ۳۰ سال اخیر در حوضه‌های قره سو، زرینه رود، کشف رود و دز با هدف تحلیل روند تغییرات و ارتباط بین دبی با بارش و رسوب در اقلیم‌های مختلف پرداخته شد. از نوآوری های این پژوهش استفاده از مدل موجک برای بررسی تغییرات، رفتارهای غیرخطی و نوسانات زمانی و دوره تناوب در متغیرهای مورد بررسی یعنی رسوب، دبی و بارش است.

۲ـ منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه پژوهش، چهار حوضه مهم کشور شامل قره‌سو، زرینه‌رود، دز و کشف‌رود است که موقعیت جغرافیایی آن‌ها در شکل (۱) آورده شده است. دلیل انتخاب حوضه‌های مذکور بررسی روند تغییرات دبی، بارش و رسوب در اقلیم‌های مختلف کشور است. حوضه قره‌سو از زیر حوضه‌های ارس است که رودخانه آن یعنی قره‌سو

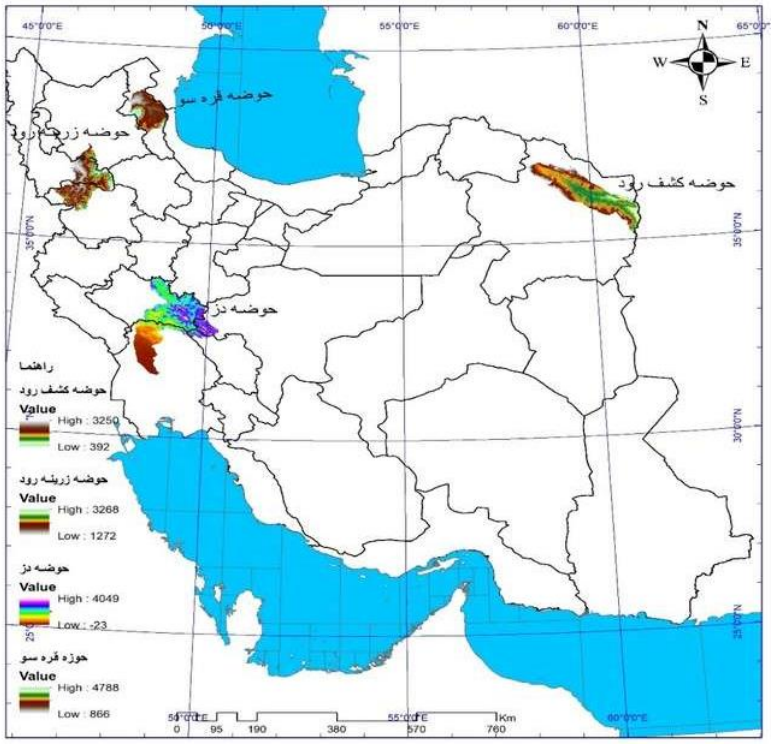
[1] Sen's Slope Estimator

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

بلندترین و پرآب‌ترین رود داخلی استان اردبیل است. این رودخانه از ارتفاعات تالش (باغرو) در شرق اردبیل سرچشمه گرفته و در مسیر خود ضمن عبور از دشت اردبیل، آب های جاری این منطقه از جمله بالیقلی چای را جمع کرده و همراه با دره رود و اهر چای به ارس می‌ریزد. حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه آبخیز مذکور به ترتیب ۱۲۹۰ و ۴۷۸۱ متر از سطح دریا و شیب متوسط آن ۱۱/۵۷ درصد می‌باشد. حوضه زرینه‌رود نیز در جنوب و جنوب شرقی دریاچه ارومیه واقع شده و از نظر وسعت، بزرگترین زیرحوضه از حوضه آبخیز دریاچه ارومیه است. زرینه‌رود یکی از رودخانه‌های مهم این حوضه است که در استان‌های کردستان و آذربایجان غربی جریان دارد. این رودخانه از دامنه‌های شرقی کوه‌های چهل‌چشمه در ۵۳ کیلومتری جنوب شرقی سقز سرچشمه می‌گیرد و با طول ۳۰۲ کیلومتر یکی از بلندترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های این منطقه است(Zahraei, and Hosseini, 2020) .

رودخانه دز به عنوان یکی از مهمترین شاخه های رودخانه کارون بخشی از ارتفاعات زاگرس میانی را در بر می‌گیرد و از لحاظ‌تقسیم بندی کلی هیدرولوژی‌ایران، جزئی ازحوضه آبخیزخلیج فارس است. این رودخانه پس از سد دز، در شمال دزفول وارد جلگه خوزستان شده و با عبور از دماغه تاقدیس سردار آباد و در شمال اهواز به رودخانه کارون می‌پیوندد. حداکثر و حداقل ارتفاع این حوضه به ترتیب ۴۱۲۴ و ۱۹/۰۹ متر از سطح دریا می‌باشد. این‌حوضه کشیده و ضریب گراویلیوس آن برابر۱/۱۷ است. حوضه آبخیز کشف‌رود نیز یکی از زیر حوضه‌های بزرگ و مهم حوضه قره‌قوم در استان خراسان رضوی است. رودخانه کشف‌رود با طول ۲۹۰ کیلومتر، رودخانه اصلی این حوضه بوده که از آبریزهای جنوبی هزار مسجد و آبریزهای شمالی بینالود سرچشمه گرفته و پس از عبور از کلانشهر مشهد، در محل پل خاتون در شهرستان سرخس به رودخانه هری‌رود می‌پیوندد. حوضه کشف رود در منطقه‌ای با اقلیم گرم و خشک واقع شده و رودخانه کشف‌رود نیز جز رودخانه‌های سیلابی طبقه‌بندی می‌شود (Zahraei, and Hosseini, 2020.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه‌های مورد مطالعه

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

جهت بررسی روند تغییرات دبی، بارش و رسوب از هر رودخانه دو ایستگاه که داده‌های متغیرهای مورد بررسی را هم زمان و با دوره آماری بلندمدت ۳۰ سال (۱۴۰۲-۱۳۷۳) داشتند انتخاب گردید که مشخصات جغرافیایی آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

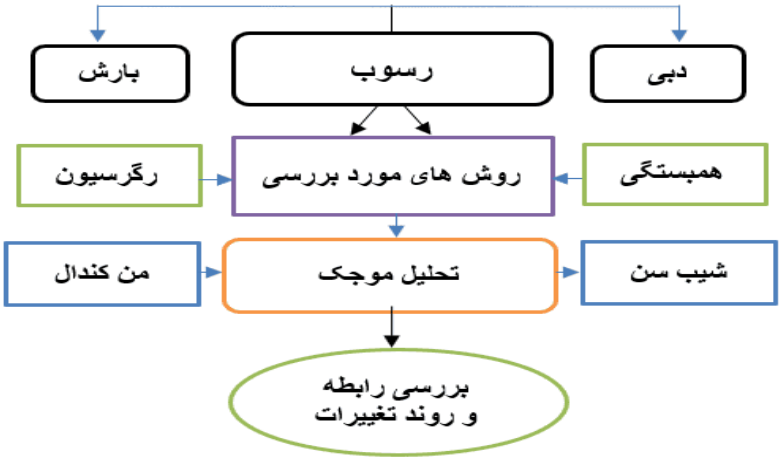
جدول۱- مشخصات ایستگاه های هیدرومتری، بارانسنجی و رسوب سنجی مورد بررسی

ردیف	نام رودخانه	نام ایستگاه	طول	عرض	ارتفاع
۱	قره سو	سامیان	۴۸-۰۱-۲۴	۳۸-۲۹-۵۱	۱۱۷۰
		ارباب کندی	۴۸-۱۴-۴۷	۳۸-۲۲-۲۶	۱۳۲۴
۲	زرینه رود	ساریقمیش	۴۵-۵۷-۰۰	۳۶-۲۶-۰۰	۱۳۸۰
		زرینه رود (میاندوآب)	۴۶-۰۲-۰۰	۳۶-۵۹-۰۰	۱۳۰۰
۳	دز	تله زنگ دز	۴۸-۴۶-۰۰	۳۲-۴۹-۰۰	۴۴۰
		سد دز	۴۸-۲۷-۰۰	۳۲-۳۳-۰۰	۵۲۵
۴	کشف رود	آق دربند	۶۰-۵۱-۲۲	۳۶-۰۰-۱۸	۵۵۸
		النگ اسدی	۵۹-۳۸-۴۳	۳۶-۱۵-۰۶	۹۱۴

۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ داده‌ها و مراحل اجرای پژوهش

در این پژوهش، پس از اخذ داده‌های بارش، دبی و رسوب ایستگاه‌های مورد بررسی (جدول ۱)، روند تغییرات سری زمانی بارش، دبی جریان و بار رسوب رودخانه، با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال و تخمینگر شیب سن در مقیاس سالانه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین در این پژوهش جهت بررسی نقاط جهش و شکست تغییرات از روش گرافیکی من-کندال و از آزمون همبستگی پیرسون برای بررسی رابطه بین دبی با بارش و رسوب در رودخانه‌های مورد مطالعه استفاده شد. علاوه بر این روش‌ها، به منظور تحلیل دقیق‌تر نوسانات زمانی و فرکانسی متغیرهای بارش، دبی و رسوب، از تبدیل موجک پیوسته نیز استفاده شد. فلوچارت انجام مراحل پژوهش در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲- فلوچارت انجام مراحل پژوهش

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

این روش امکان بررسی تغییرات زمانی طیف فرکانسی را فراهم می‌سازد و به درک بهتر رفتار دینامیکی سیستم‌های هیدرولوژیکی در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت کمک می‌کند.

۱-۱-۳- آزمون من- کندال[1]

آزمون ناپارامتریک من- کندال که توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۷۵ تکمیل گردید، بر پایه‌ی مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. این آزمون، برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Zhang, Vincent, Hogg, and et al, 2000) . مزیت این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، استفاده از مرتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها می‌باشد که به دلیل وجود چنین خاصیتی، می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده‌کرد و نیازی نیست که داده‌ها در قالب توزیع خاصی درآیند. فرض مورد بررسی در این آزمون به صورت زیر می‌باشد:

H_0: داده‌ها به صورت تصادفی توزیع شده‌اند (روند ندارند).

H_1: داده‌ها دارای روند هستند.

در این آزمون، اگر $x_1,x_2,\ldots,x_n$ مشاهدات مورد نظر باشند، آنگاه داریم:

$$S=\sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n}\operatorname{sgn}\left(x_j-x_k\right) \qquad (۱)$$

که در آن x_j مقدار داده j ام و sgn تابع علامت می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\operatorname{sgn}(x)=\begin{cases}+1 & if \quad x>0\\ 0 & if \quad x=0\\ -1 & if \quad x<0\end{cases} \qquad (۲)$$

در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود؛ در این مرحله می‌توان بجای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها در مجموعه مورد نظر (سری زمانی) استفاده کرده و مرتبه‌ها را به همین روش مقایسه نمود. به این دلیل، این آزمون یک آزمون برپایه مرتبه داده‌ها می‌باشد. با فرض این‌که داده‌ها مستقل بوده و توزیع یکنواخت دارند، میانگین و واریانس S از روابط زیر بدست می‌آید:

$$E(S)=0 \qquad (۳)$$

$$Var(S)=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{i=1}^{m}t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \qquad (۴)$$

1. Mann-Kendall

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

در رابطه بالا، n تعداد داده ها، m تعداد گره ها و t تعداد داده در هر گره می‌باشد. منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی، تشکیل یک گره را می‌دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره m ام برابر t می‌باشد. آماره این آزمون (Z) دارای توزیع نرمال بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & if \quad S>0\\ 0 & if \quad S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & if \quad S<0\end{cases} \qquad (۵)$$

این آزمون، یک آزمون دو طرفه است. بنابراین در صورتی که $|Z| \le Z_{\alpha/2}$ باشد، در سطح اطمینان α فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد. در حالت رد فرض صفر (یعنی وجود روند)، در صورتی که S>0 باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و در صورتی که S<0 باشد، سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود. اگر $|Z|>1.64$ در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد، اگر $|Z|>1.96$ در سطح معنی‌داری ۵ درصد و اگر $|Z|>2.57$ در سطح معنی‌داری ۱ درصد فرض صفر (عدم وجود روند) رد می‌شود(Kendall, 1975) .

۲-۱-۳- تخمین‌گر شیب سن[1]

تخمین شیب خط روند توسط (Sen, 1968) برای تشخیص روند در یک سری زمانی داده‌ها ارایه شد. این روش یک روش ناپارامتریک است که با استفاده از تحلیل تفاوت بین مشاهده‌ای یک سری زمانی، یک شیب میانه را برای سری زمانی داده‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌کند. در روش سن برای هر دو جفت داده متوالی یک شیب محاسبه می‌شود. شیب‌های محاسبه شده تشکیل یک سری زمانی می‌دهند که میانه آن‌ها شیب خط روند را نشان می‌دهد. در آزمون من-کندال شیب خط روند سری داده‌ها با روش تخمین‌گر سن از رابطه ناپارامتری زیر محاسبه می‌گردد.

$$\beta = Median\left[\frac{X_j - X_i}{j-i}\right](\forall j > i) \qquad (۶)$$

که در آن β برآوردگر شیب خط روند، X_i و X_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام و j ام می‌باشند و j یک واحد زمانی بعد از i می‌باشد مقادیر مثبت و منفی β نشان دهنده روند افزایشی و کاهشی در سری داده‌هاست (Sen, 1968).

۳-۱-۳- بررسی رابطه همبستگی

به طور کلی همبستگی معیاری برای تعیین میزان ارتباط بین متغیرها است. همچنین ضریب همبستگی بهترین معیار تشخیص وجود همبستگی و عدم همبستگی مابین متغیرها بوده و حتی نوع، جهت و میزان همبستگی خطی آنها را مشخص

1. Sens slope estimator

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

می‌کند. (Goudarzi, Ahmadi & Hosseini, 2017) برای بررسی همبستگی خطی متغیرها می‌توان از ضریب همبستگی پیرسون برای توزیع‌های نرمال استفاده کرد که توسط سر کارل پیرسون معرفی شده است. احتمالاً گسترده‌ترین کاربرد شاخص آماری همبستگی دو متغیری، ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون است که به طور معمول همبستگی پیرسون نامیده می‌شود. علامت اختصاری آن r است. ضریب پیرسون نشان می‌دهد که تا چه اندازه بین متغیرهای کمّی رابطه خطی وجود دارد. برای محاسبه همبستگی پیرسون از رابطه ۷ استفاده می‌شود (Goudarzi, Hosseini and Mesgari, 2016) که در این پژوهشی نیز جهت بررسی رابطی بین دبی با بارش و رسوب حوضه‌های مورد مطالعه استفاده شد.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \quad (۷)$$

در این رابطه n تعداد نمونه تصادفی و متغیرهای X و Y بهصورت y_i, x_i بیان می‌شود که متغیرهای مستقل و وابسته میباشند و r مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین دو متغیر است که این ضریب بین +۱ تا ۱- متغیر می‌باشد. در این پژوهش رابطه بین دبی با رسوب و بارش بصورت بدون تاخیر (همزمان) و در تاخیرهای زمانی یک تا دو روز نیز جهت تعیین بررسی تاثیرگذاری بارش بر دبی بررسی شد.

۴-۱-۳- تحلیل موجک[1]

تبدیل موجک یک ابزار قدرتمند در پردازش سیگنال‌های غیرایستا و تحلیل داده‌های هیدرولوژیکی با رفتار ناپایدار در طول زمان است و این امکان را فراهم می‌سازد که اجزای فرکانسی سیگنال در بازه‌های زمانی مختلف شناسایی شوند. در واقع، اطلاعات زمانی و فرکانسی به‌صورت هم‌زمان قابل مشاهده است. به صورت ساده تر در این تبدیل، توزیع توان بر حسب فرکانس و زمان نشان داده می شود.

ایده اصلی تبدیل موجک این است که بر ضعف‌ها و محدودیت‌های موجود در تبدیل فوریه غلبه کند و بر خلاف تبدیل فوریه، می‌توان در سیگنال‌های غیر ایستا و سیستم‌های دینامیک نیز مورد استفاده قرار داد. لازم به ذکر است که معمولاً داده ها در مسائل هیدرولوژیکی مانند بررسی روند تغییرات دبی، بارش و رسوب، دارای نوسانات شدید، تغییرپذیری فصلی و رفتارهای ناپایدار هستندکه تبدیل موجک می‌تواند الگوهای پنهان و وابستگی‌های زمانی میان این پارامترها را با دقت بالاتری نسبت به روش‌های سنتی و مرسوم نشان دهد.

از لحاظ ریاضی، یک تبدیل موجک پیوسته را می‌توان توسط تابع زیر توصیف کرد:

$$X_w(\mathrm{a},\mathrm{b}) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\varphi^*(\frac{t-b}{a})dt \quad (۸)$$

که $\varphi(.)$ موجک مادر پیوسته است که توسط متغیر a مقیاس و توسط متغیر b منتقل شده است. مقدار متغیر مقیاس‌دهی و جابه‌جایی اعدادی پیوسته هستند، بنابراین تعداد بی شماری موجک وجود دارد. بنابراین تبدیل موجک پیوسته منجر به

1. Wavelet analysis

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

تولید حجم زیادی از ضرایب می‌شود و برای تحلیل دقیق نیازمند منابع محاسباتی بیشتری است. بنابراین می‌توان از تبدیل موجک گسسته با بهره‌گیری از فیلترهای گسسته بالاگذر و پایین‌گذر استفاده کرد که امکان تجزیه کارآمد و فشرده‌سازی داده‌ها را فراهم می‌سازد. در فرآیند تبدیل موجک گسسته، سیگنال اولیه با استفاده از یک جفت فیلتر مکمل (فیلتر پایین‌گذر و فیلتر بالاگذر) به دو مؤلفه تقسیم می‌شود:

جزء تقریبی که شامل اطلاعات کلی و روندهای بلندمدت سیگنال است.

جزء جزئیات که شامل نوسانات کوتاه‌مدت و تغییرات سریع سیگنال می‌باشد.

این روند به‌صورت بازگشتی برای اجزای تقریبی در سطوح بعدی نیز ادامه می‌یابد و در نهایت ساختاری سلسله‌مراتبی از ضرایب موجک حاصل می‌شود. این ویژگی امکان تحلیل را در چندین سطح مقیاس زمانی فراهم می‌کند.

در تحلیل موجک پیوسته، انتخاب تابع ویولت مادر نقش تعیین‌کننده‌ای در دقت، وضوح زمانی و فرکانسی نتایج دارد. در میان توابع مختلف، موجک Morlet به دلیل وضوح فرکانسی مناسب و ساختار شبه‌سینوسی، یکی از پرکاربردترین گزینه‌ها در تحلیل سیگنال‌های هیدرولوژیکی محسوب می‌شود. با این حال، در برخی موارد که اولویت با وضوح زمانی است، توابعی مانند موجک Paul که پایه زمانی باریک‌تری دارند، مناسب‌تر خواهند بود.

در این پژوهش، به منظور بررسی هم‌زمان تغییرات زمانی و بسامدی متغیرهای هیدرولوژیکی شامل بارش، دبی و بار رسوبی، از تحلیل موجک پیوسته با استفاده از موجک Morlet بهره گرفته شد. این روش با قابلیت تفکیک محلی سیگنال‌ها، امکان شناسایی نوسانات غالب در بازه‌های زمانی مختلف و تحلیل رفتارهای فرکانسی را فراهم می‌کند که به صورت زیر تعریف میشود:

$$\varphi(t) = e^{-t^2/2} e^{jKt} \pi^{-1/4} \quad (۹)$$

که K عدد موج است که غالبا مقدار آن برابر با ۶ در نظر گرفته می‌شود.

داده‌های ورودی شامل سری‌های زمانی ماهانه برای ایستگاه‌های مورد مطالعه بوده که پس از اعمال تبدیل موجک، اسکالوگرام‌های موجک برای هر متغیر ترسیم گردید. در این اسکالوگرام‌ها، محور افقی زمان، محور عمودی فرکانس و شدت رنگ نشان‌دهنده توان در هر نقطه زمان- فرکانس است. نتایج حاصل از این تحلیل نشان داد که تبدیل موجک قادر است به‌خوبی نوسانات دوره‌ای کوتاه‌مدت و میان‌مدت، رفتارهای غیرخطی و تغییرات مقطعی در سیگنال‌ها را آشکار سازد. این ویژگی‌ها تحلیل موجک را به ابزاری مؤثر در بررسی پویایی زمانی متغیرهای هیدرولوژیکی در مقیاس‌های مختلف تبدیل می‌کند.

۴- یافته‌ها

بررسی رابطه همبستگی بین دبی و میزان رسوب و همچنین بارش در تاخیرهای زمانی یک و دو روزه نشان داد که بین دبی و رسوب همه رودخانه‌های مورد بررسی رابطه همبستگی قوی و معنی‌داری وجود دارد به طوری که ضریب همبستگی بین دبی و رسوب رودخانه‌های مورد بررسی بین ۰/۶۸ تا ۰/۹۶ است که کمترین و بیشترین میزان آن به ترتیب مربوط به رودخانه‌های زرینه‌رود و کشف‌رود است و در همه رودخانه‌های مورد بررسی در سطح یک درصد

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

معنی‌دار شده است. بر این اساس رابطه مستقیم و معنی‌داری بین میزان دبی و رسوب به صورت همزمان در رودخانه‌های مورد مطالعه وجود دارد (جدول ۲). اما بررسی رابطه بین دبی و بارش نشان داد که این ارتباط به صورت همزمان نسبت به رسوب کمتر است به طوری که ضریب همبستگی بین دبی و بارش رودخانه‌های مورد بررسی بدون تاخیر زمانی بین ۰/۳۲ تا ۰/۵۵ است و این ارتباط نیز فقط در رودخانه‌های دز و قره سو معنی‌دار شده است. به همین منظور به بررسی رابطه دبی با بارش در تاخیرهای یک و دو روزه نیز پرداخته شد. نتایج نشان داد در هر دو تاخیر زمانی مورد بررسی رابطه مستقیم و معنی‌داری در سطح یک درصد در همه رودخانه‌های مورد بررسی وجود دارد. بر اساس نتایج بجز رودخانه دز که دبی با بارش دو روز قبل بیشترین ارتباط را دارد در سایر رودخانه‌های مورد بررسی بیشترین ارتباط بین دبی با بارش یک روز قبل وجود دارد.کمترین و بیشترین ضریب همبستگی در تاخیر یک روزه نیز مربوط به رودخانه‌های زرینه‌رود (با ضریب برابر با ۰/۵۱) و کشف‌رود (با ضریب برابر با ۰/۷۴) است (جدول ۲).

جدول۲. رابطه بین دبی و میزان رسوب و بارش در تاخیرهای زمانی مختلف در رودخانه‌های مورد بررسی

حوضه	همبستگی	بارش همزمان	بارش یک روز قبل	بارش دو روز قبل	رسوب همزمان
دز	ضریب همبستگی	**۰/۵۴**	**۰/۶۲**	**۰/۸۶**	**۰/۹۳**
	سطح معنی داری	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
قره سو	ضریب همبستگی	**۰/۵۵**	**۰/۵۷**	**۰/۴۲**	**۰/۷۲**
	سطح معنی داری	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
کشف رود	ضریب همبستگی	۰/۳۲	**۰/۷۴**	**۰/۶۸**	**۰/۹۶**
	سطح معنی داری	۰/۴۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
زرینه رود	ضریب همبستگی	۰/۳۸	**۰/۵۱**	**۰/۴۴**	**۰/۶۸**
	سطح معنی داری	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

اعداد برجسته ارتباط معنی‌دار را نشان می‌دهند.

نتایج حاصل از آزمون من-کندال و شیب سن بر روی داده‌های سالانه بارش در ایستگاه‌های بارانسنجی مورد مطالعه نشان داد که مقادیر آن به غیر از ایستگاه آق‌دربند در کشف‌رود، در سایر ایستگاه‌ها کاهشی است. آماره کاهشی من-کندال نیز فقط در ایستگاه‌های زرینه‌رود و سد دز به ترتیب با آماره ۲/۳- و ۲- در سطح ۵ درصد معنی داری شده است و در سایر ایستگاه‌ها مقادیر کاهشی و افزایشی آماره من-کندال معنی‌داری نبوده و تغییرات مذکور از نوع نوسانات کوتاه‌مدت آب و هوایی در منطقه است. نتایج حاصل از شیب سن نیز حاکی از تغییر افزایشی بارش در ایستگاه آق‌دربند در کشف‌رود و کاهش در سایر ایستگاه‌ها است. بیشترین شیب سن کاهشی نیز با ۵/۸- مربوط به ایستگاه سد دز است. در مجموع بارش در دوره مورد مطالعه (۱۴۰۲-۱۳۷۳) در غالب ایستگاه‌ها و مناطق مورد مطالعه دارای تغییرات کاهشی از نوع نوسانات کوتاه مدت آب و هوایی است (جدول ۳).

بر اساس نتایج حاصل از بررسی تغییرات دبی در طی دوره آماری مورد مطالعه (۱۴۰۲-۱۳۷۳)، میزان دبی به جز ایستگاه آق دربند در کشف‌رود، در سایر ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی کاهشی بوده است. این تغییرات کاهشی در ایستگاه‌های سامیان و ارباب کندی در قره سو به ترتیب به آماره من-کندال ۵/۷- و ۲/۸- در سطح ۱ درصد و در ایستگاه‌های زرینه‌رود و سد دز به ترتیب با آمار من-کندال ۲/۱- و ۲/۴- در سطح ۵٪ معنی‌دار شده است و در سایر

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

ایستگاه‌ها، تغییرات مذکور از نوع نوسانات کوتاه مدت در منطقه بوده است. بیشترین شیب سن تغییرات نیز مربوط به ایستگاه سد دز با ۱۲۰/۷- و کمترین تغییرات مربوط به ایستگاه آق دربند در کشف رود با ۰/۵ است (جدول۳).

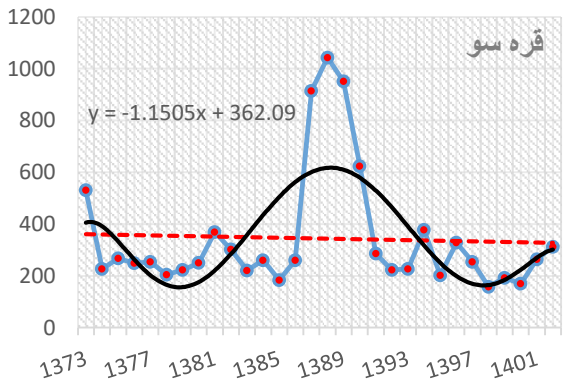
نتایج حاصل از اعمال آزمون من-کندال بر روی داده‌های رسوب در دوره آماری مورد مطالعه نیز نشان داد که مقادیر آن بجز ایستگاه آق‌دربند و النگ‌اسدی در کشف‌رود، در سایر ایستگاه‌ها کاهشی است. آماره کاهشی من کندال در ایستگاه‌های سامیان در قره سو با ۳/۱- و تله زنگ دز با ۳/۴- در سطح ۱٪ و در ایستگاه‌های زرینه رود و سد دز نیز در سطح ۵٪ داری روند معنی‌داری است. کمترین شیب سن تغییرات نیز با ۰/۲ درجه مربوط به ایستگاه آق دربند در کشف رود و بیشترین شیب تغییرات نیز با ۶۵۴/۵- مربوط به ایستگاه سد دز است (جدول۳). بر اساس نتایج با توجه به کاهش بارش و دبی در غالب ایستگاه‌ها و رودخانه‌های مورد مطالعه، میزان رسوب نیز کاهش پیدا کرده است.

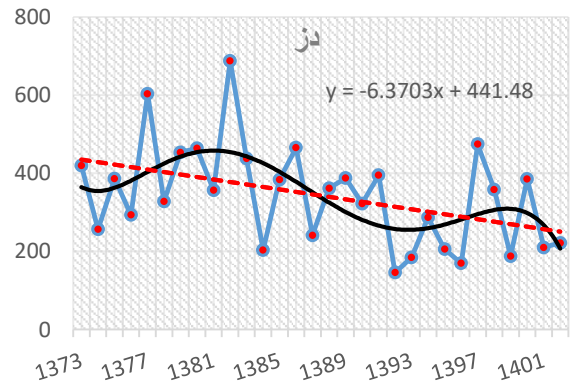
جدو۳- روند تغییرات متغیرهای مورد مطالعه در ایستگاه‌های مورد بررسی

نام حوضه	نام ایستگاه	بارش		دبی		رسوب	
		من کندال	شیب سن	من کندال	شیب سن	من کندال	شیب سن
قره سو	سامیان	-۰/۷	-۱/۳	-۵/۷**	-۷/۸	-۳/۱**	-۶۸/۹
	ارباب کندی	-۱/۲	-۴/۲	-۲/۸**	-۵/۳	-۰/۰۱	-۰/۰۲
زرینه رود	ساریقمیش	-۰/۱	-۰/۶	-۱/۵	-۱۸/۹	-۰/۸	-۳/۳
	زرینه رود (میاندوآب)	-۲/۳*	-۳/۳	-۲/۱*	-۴۹/۴	-۲/۱*	-۳۷۰/۹
دز	تله زنگ دز	-۰/۶	-۰/۵	-۱/۸	-۱۱۴/۸	-۳/۴**	-۷۸/۹
	سد دز	-۲*	-۵/۸	-۲/۴*	-۱۲۰/۷	-۲/۲*	-۶۵۴/۵
کشف رود	آق دربند	۰/۹	۱/۸	۱/۸	۰/۵	۰/۳	۰/۲
	النگ اسدی	-۰/۸	-۱/۲	-۱/۲	-۰/۹۴	۱/۷	۹۰/۵

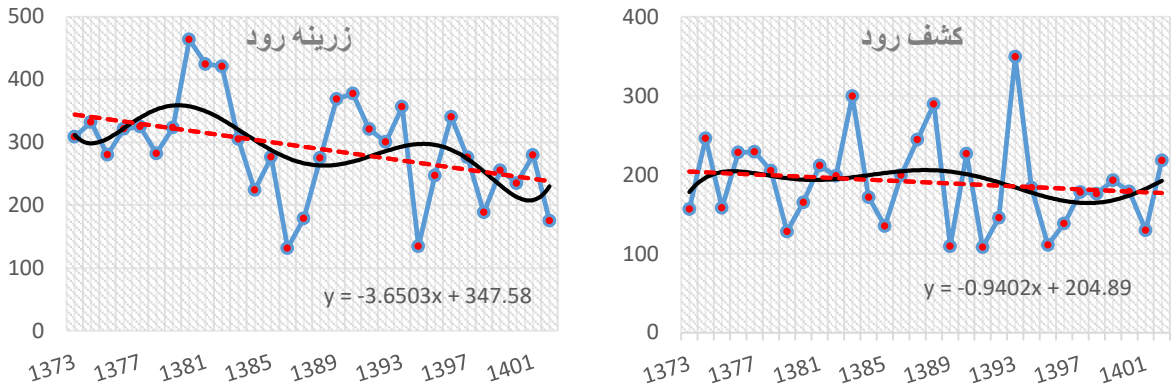
* معنی‌داری در سطح ۵ درصد ** معنی داری در سطح ۱ درصد

با توجه به اثرگذاری بارش بر دبی و رسوب، تغییرات بارش به‌صورت روند خطی و نیمه خطی طی دوره (۱۴۰۲-۱۳۷۳) بررسی شد نتایج نشان داد که در تمام رودخانه‌های مورد بررسی با وجود نوسانات زیاد بارش در مجموع بارش کاهش پیدا کرده است. بیشترین تغییرات بر اساس روند خطی مربوط با رودخانه دز و سپس زرینه‌رود و کمترین تغییرات نیز مربوط به کشف‌رود در شمال شرق کشور است (شکل ۳).



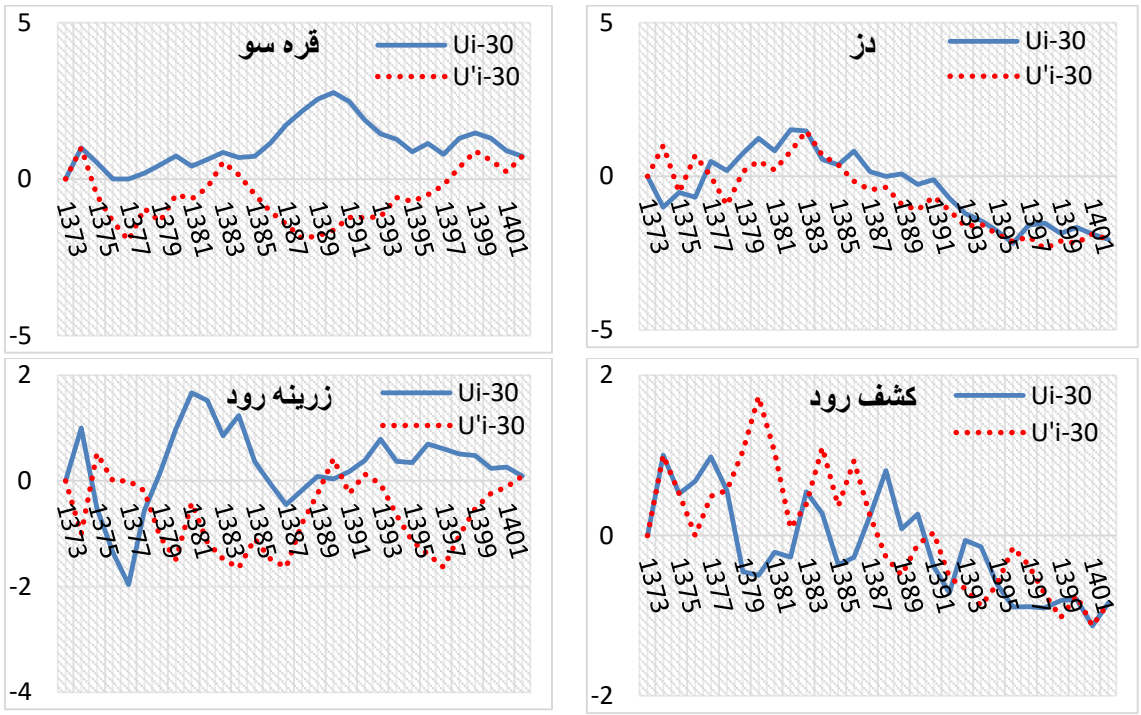


[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]



شکل ۳- تغییرات بارش بر اساس روند خطی و نیمه خطی در رودخانه‌های مورد مطالعه طی دوره (۱۴۰۱-۱۳۷۳)

بررسی روند تغییرات بارش در دوره ۳۰ ساله مورد بررسی (۱۴۰۲-۱۳۷۳) با استفاده از آزمون گرافیکی من-کندال جهت تعیین نقاط جهش نشان داد که با توجه به خصوصیات آزمون ناپارامتری من-کندال، روند کاهشی بارش سالانه در رودخانه‌های دارای روند معنی‌دار (زرینه‌رود و دز) از سال ۱۳۷۷ شروع و با وجود نوسان و افزایش در برخی سال‌ها، در سال ۱۳۸۶ نیز مجدد کاهش پیدا کرده است و این روند کاهشی تا پایان دوره آماری مورد مطالعه ادامه داشته است و نشان دهنده آن است که میانگین بارش سالانه در رودخانه‌های مذکور دارای روند کاهش معنی‌دار است (شکل ۴).

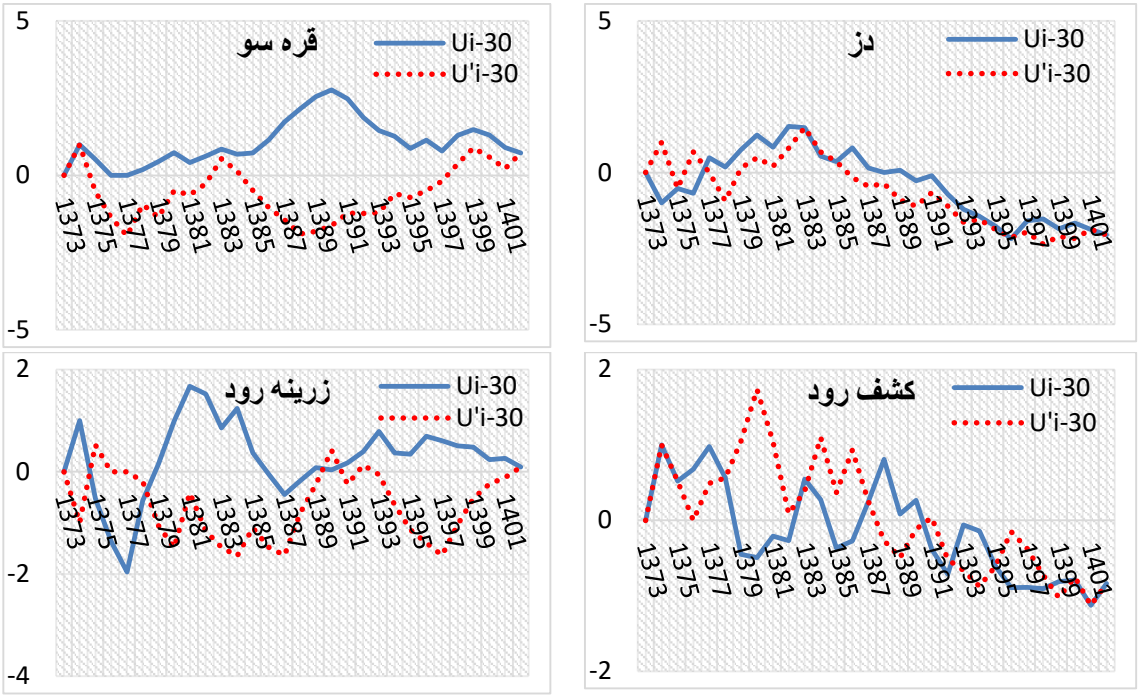


شکل ۴- روند تغییرات بارش بر اساس آزمون گرافیکی من-کندال در رودخانه‌های مورد مطالعه

بررسی روند تغییرات دبی نیز نشان داد که روند کاهشی دبی سالانه در رودخانه‌های دارای روند معنی‌دار (قره‌سو، زرینه‌رود و دز) از سال ۱۳۸۶ شروع و تا پایان دوره آماری ادامه دارد و نشان دهنده کاهش معنی‌دار دبی در

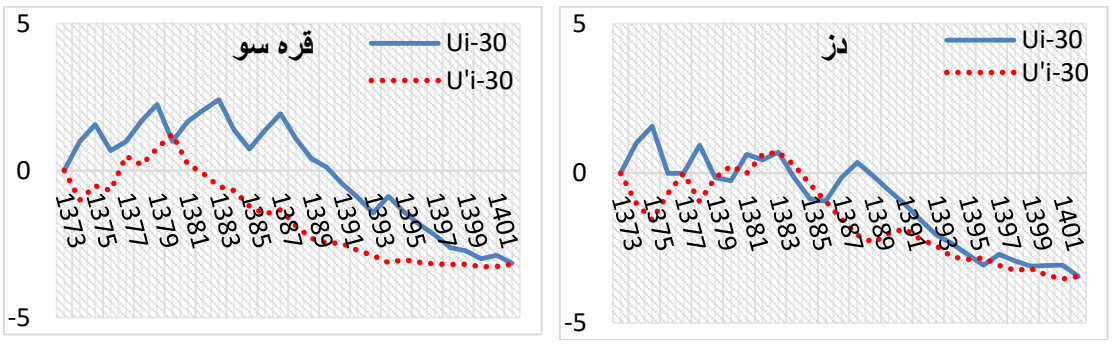
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

رودخانه‌های مذکور است (شکل ۵). البته در سال ۱۳۷۷ نیز یک نقطه جهش در کاهش دبی وجود داشته است و تا حدودی از روند کاهش بارش منطقه پیروی می‌کند.



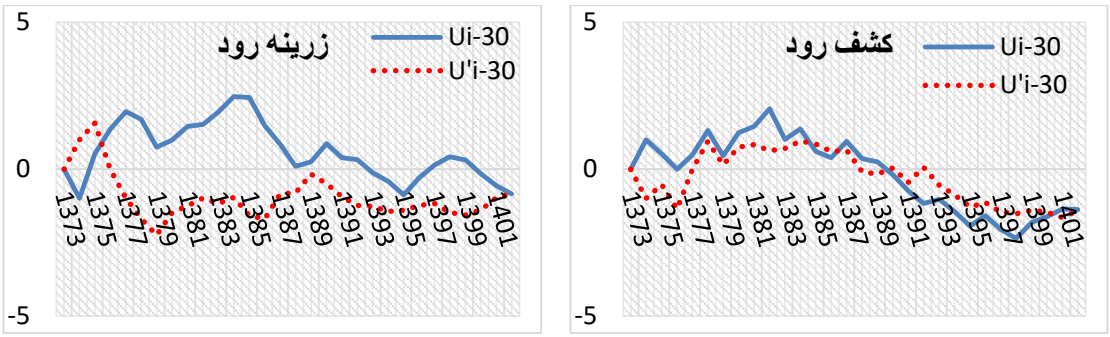
شکل ۵- روند تغییرات دبی بر اساس آزمون گرافیکی من-کندال در رودخانه‌های مورد مطالعه

بررسی تغییرات رسوب به‌صورت گرافیکی نیز نشان داد که روند کاهشی رسوب رودخانه‌های دارای روند معنی‌دار (قره‌سو، زرینه رود و دز) از سال ۱۳۷۸ شروع و تا پایان دور آماری ادامه داشته است (شکل ۶). بررسی روند تغییرات دبی، بارش و رسوب بصورت گرافیکی در مناطق مختلف مورد بررسی نشان می‌دهد که تغییرات متغیرهای مورد مطالعه به ویژه دبی و بارش و همچنین بارش و رسوب تا حد زیادی و گهگاه با تاخیر از یکدیگر پیروی کرده‌اند.



[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

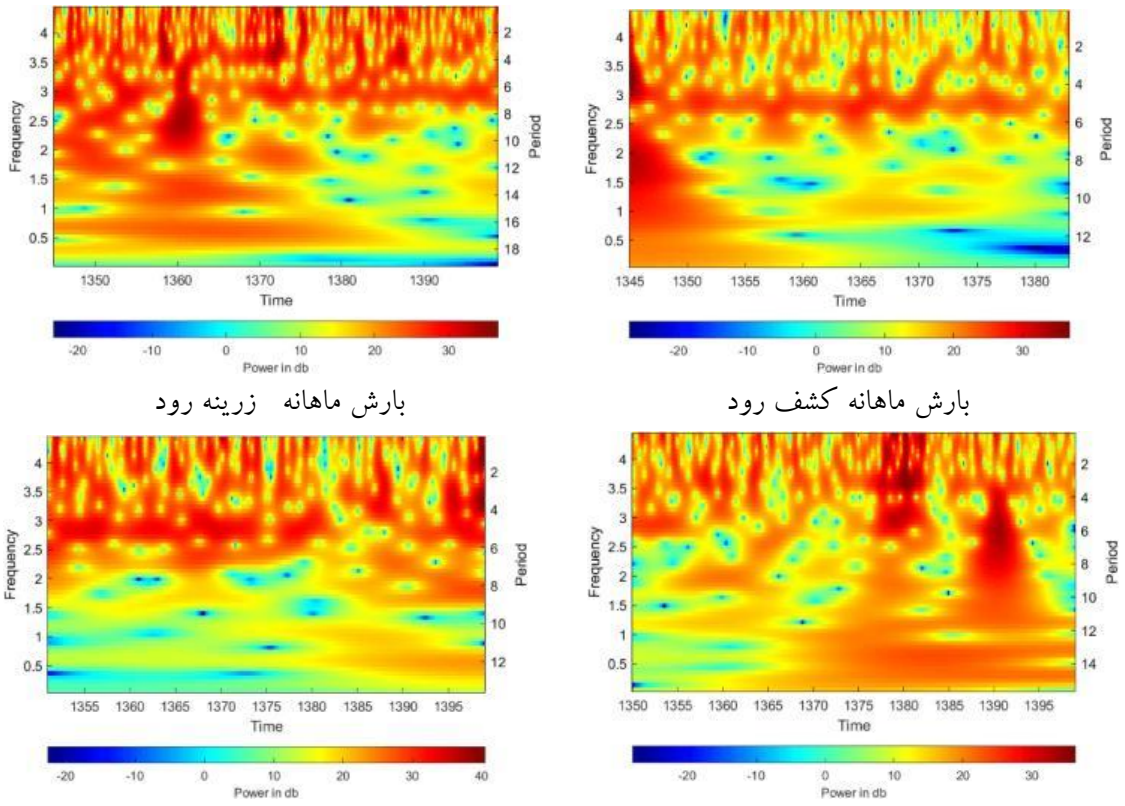


شکل ۶- روند تغییرات رسوب بر اساس آزمون گرافیکی من-کندال در رودخانه‌های مورد مطالعه

نتایج تبدیل موجک برای سری زمانی بارش ماهانه در چهار حوضه زرینه‌رود، کشف‌رود، دز و قره‌سو که در شکل (۷) نمایش داده شده است. نتایج بیانگر وجود تفاوت‌های معنادار در ساختار نوسانات زمانی و تناوبی بارش در این مناطق می‌باشد. اسکالوگرام‌ها با استفاده از موجک Morlet و داده‌های ماهانه تولید شده‌اند و دو محور افقی و عمودی آن به ترتیب زمان (سال) و فرکانس را نشان می‌دهند. شدت رنگ در نمودارها نشان‌دهنده توان موجک در مقیاس‌های مختلف است؛ رنگ‌های گرم‌تر نشان دهنده انرژی بالاتر و در نتیجه نوسانات قوی‌تر در سیگنال هستند. محور فرکانس که معادل معکوس دوره تناوب است، این امکان را فراهم می‌سازد تا رفتار بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف تحلیل شود. نواحی با فرکانس بالا (بخش‌های بالایی اسکالوگرام) بیانگر نوسانات سریع و کوتاه‌مدت (کمتر از ۶ ماه) و نواحی با فرکانس پایین (بخش‌های پایین‌تر) معرف نوسانات بلندمدت (بیش از ۱۲ ماه) هستند.

بر اساس نتایج در اغلب ایستگاه‌ها، چرخه سالانه با دوره زمانی ۱۲ ماهه به‌عنوان الگوی نوسانی غالب مشاهده می‌شود، به‌ویژه در زرینه‌رود که این الگو در بیشتر بازه‌های زمانی با شدت و تداوم بالا تکرار شده و نمایانگر بارش‌های فصلی منظم در این منطقه است. در کشف‌رود نیز این چرخه مشاهده می‌شود، اما با شدت کمتر و ظهور لکه‌هایی در فرکانس‌های پایین‌تر (۰/۳ تا ۰/۵) که معادل نوسانات با دوره‌های ۲۴ تا ۳۶ ماه هستند و می‌تواند ناشی از اثرگذاری پدیده‌های اقلیمی بزرگ‌مقیاس مانند نوسان جنوبی النینو باشد. در مقابل، اسکالوگرام‌های مربوط به حوضه‌های دز و قره‌سو رفتار متغیرتر و ناپایدارتری را نشان می‌دهند؛ به‌طوری که نوسانات کوتاه‌مدت با فرکانس‌های بالا (حدود ۲ تا ۴) در این دو حوضه بیشتر دیده می‌شود و احتمالاً مربوط به رخدادهای حدی و بارش‌های موقتی و شدید است. لکه‌های پرتوان (نواحی قرمز و قهوه‌ای رنگ) در اسکالوگرام‌ها نمایانگر دوره‌هایی از بارش با انرژی بالا هستند که در بازه‌های زمانی و فرکانسی مختلف ظاهر می‌شوند و به درک دقیق‌تر تغییرات زمانی بارش کمک می‌کنند. در حوضه‌هایی مانند دز و قره‌سو، این لکه‌ها بیشتر در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت و به‌صورت پراکنده مشاهده می‌شوند، که می‌تواند نشان‌دهنده رفتار غیرخطی، وقوع طوفان‌ها، یا تأثیرات موضعی باشد. در حالی که در حوضه‌هایی نظیر زرینه‌رود، رفتار نوسانی ساختارمندتر و پایدارتر است. به‌طور کلی، تحلیل موجک توانست با فراهم کردن دیدگاه هم‌زمان زمانی و فرکانسی، تفاوت‌های رفتاری بارش در حوضه‌های مختلف را با دقت بالاتری آشکار سازد و با تفکیک الگوهای غالب، میان‌مدت و کوتاه‌مدت، ابزار تحلیلی مکملی در کنار روش‌های آماری سنتی فراهم آورد.

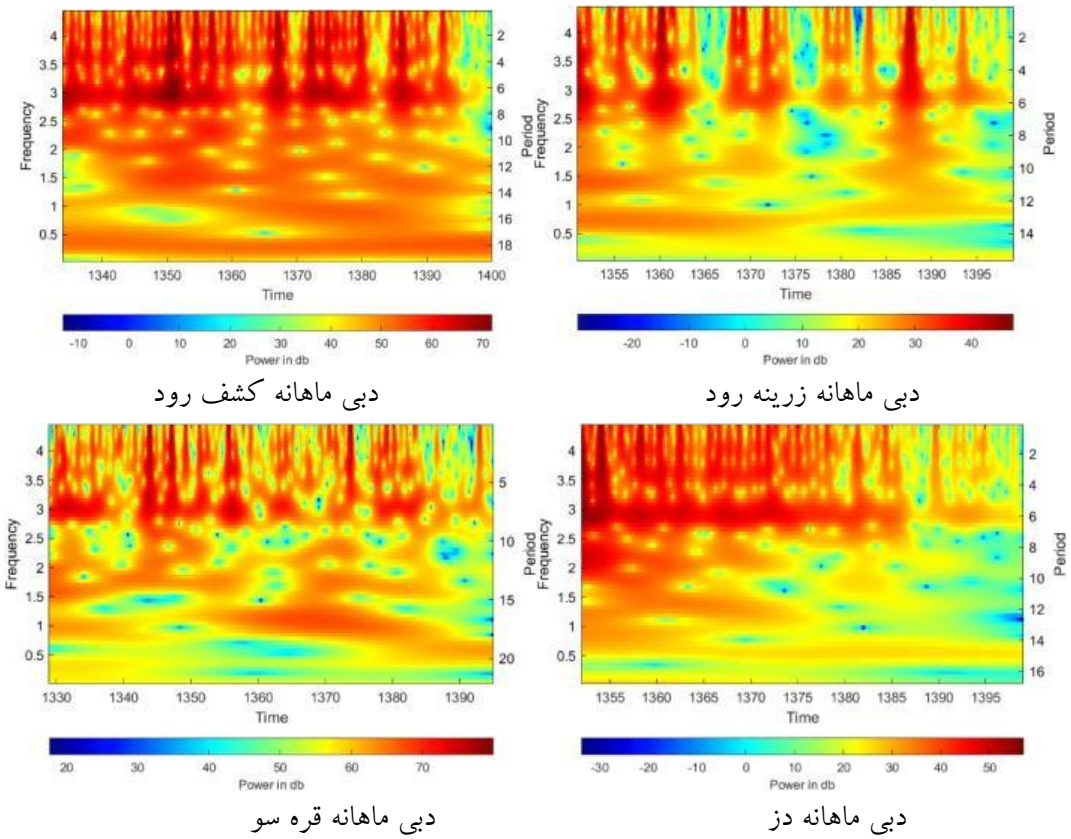
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]



شکل (۷) تحلیل موجک بارش ماهانه رودخانه های مورد مطالعه

در شکل (۸) تبدیل موجک برای سری زمانی دبی ماهانه چهار رودخانه مورد مطالعه ارائه شده است. در اسکالوگرام دبی زرینه‌رود، الگوی سالانه با شدت متوسط و پراکندگی نسبتاً منظم در بیشتر بازه زمانی مشاهده می‌شود. این الگو بیانگر تأثیرگذاری بارش فصلی بر جریان رودخانه است. در رودخانه کشف‌رود، توان در فرکانس‌های بالا نیز به‌طور چشم‌گیری ظاهر شده که نشان‌دهنده نوسانات کوتاه‌مدت و واکنش سریع رودخانه به رخدادهای بارشی است. همچنین لکه‌های پراکنده با انرژی بالا در بازه‌های زمانی مختلف، رفتار ناپایدار و غیرخطی دبی را در این حوضه برجسته می‌کنند. اسکالوگرام قره‌سو نیز حاکی از نوسانات کوتاه‌مدت و رفتاری پرنوسان است. توان در بازه‌های فرکانسی بالاتر نسبتاً زیاد است، که می‌تواند ناشی از بارش‌های مقطعی، ذوب برف یا سیلاب‌های موقتی باشد. در مقابل، در رودخانه دز، توان در فرکانس‌های پایین‌تر و به‌صورت لکه‌های متراکم و محدود ظاهر شده که نشان‌دهنده رفتار هموارتر دبی و تأثیرپذیری از منابع ذخیره مانند برف یا مخازن سدها می‌باشد. به‌طور کلی، تبدیل موجک دبی می‌تواند به‌عنوان مکملی قدرتمند در مطالعات هیدرولوژیکی برای شناسایی الگوهای زمانی، تشخیص تأخیر در پاسخ حوضه به بارش و تمایز بین اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت بر دبی رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]



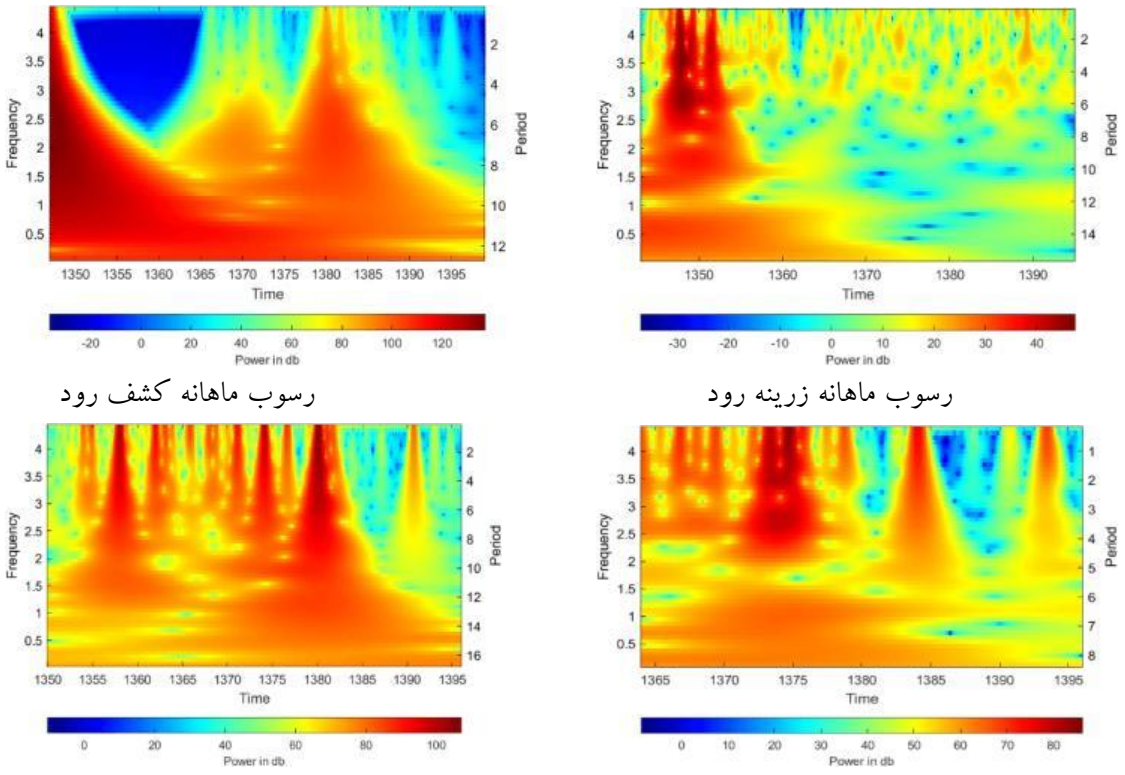
دبی ماهانه زرینه رود　　دبی ماهانه کشف رود

دبی ماهانه دز　　دبی ماهانه قره سو

شکل (۸) تحلیل موجک دبی ماهانه رودخانه های مورد مطالعه

شکل (۹) نیز نتایج تبدیل موجک برای سری زمانی رسوب ماهانه چهار رودخانه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در نمودار رسوب کشف‌رود، یک الگوی نوسانی با انرژی بسیار بالا در بازه زمانی حدود سال‌های ۱۳۵۰ تا ۱۳۶۵ مشاهده می‌شود که می‌تواند نشان‌دهنده وقوع فرسایش‌های شدید یا رسوب‌زایی بالا در آن سال‌ها باشد. در ادامه، کاهش چشمگیر توان موجک در کل فرکانس‌ها مشاهده می‌شود که ممکن است ناشی از کاهش بارندگی، مداخلات انسانی، یا اقدامات حفاظتی در حوضه باشد. در اسکالوگرام زرینه‌رود، نوسانات رسوبی منظم‌تری با تمرکز در مقیاس‌های میانی دیده می‌شود. این الگو حاکی از تأثیرگذاری چرخه‌های فصلی بر فرآیند رسوب‌زایی در این حوضه است و از یک الگوی نسبتاً پایدار و همزمان با بارش و دبی حکایت دارد. همچنین، نبود نوسانات شدید در مقیاس‌های بسیار پایین می‌تواند نشانه‌ای از کنترل نسبی بر منابع رسوبی در منطقه باشد. در رودخانه قره‌سو، شدت بالای توان موجک در مقیاس‌های کوتاه‌مدت (فرکانس‌های بالاتر از ۲) در بازه‌های زمانی پراکنده دیده می‌شود، که نشانگر وقوع رخدادهای حدی و ناگهانی رسوب‌زایی است. این رفتار ممکن است نتیجه بارندگی‌های تند و سیلابی یا حساسیت بالای حوضه به تغییرات پوشش زمین باشد. در نمودار دز نیز رفتار رسوب نسبتاً نوسانی و متناوب است، اما در بازه‌های خاص مانند سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۰، انرژی موجک در فرکانس‌های بالا به‌طور محسوسی افزایش یافته که می‌تواند نشانه‌ای از رسوبات ناشی از سیلاب‌های موقتی یا فعالیت‌های انسانی نظیر کشاورزی یا تخریب پوشش گیاهی باشد. با این حال، شدت توان در مقیاس‌های بلندمدت کمتر است که ممکن است به دلیل وجود سدها و کنترل نسبی فرسایش باشد.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]
[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]



رسوب ماهانه زرینه رود | رسوب ماهانه کشف رود

رسوب ماهانه قره سو | رسوب ماهانه دز

شکل (۹) تحلیل موجک رسوب رودخانه های مورد مطالعه

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

شرایط آب و هوایی و کمبود بارندگی و ضعف پوشش گیاهی در اغلب حوضه‌های آبخیز کشور معضل مشترک و عمومی است و عوامل دیگر از قبیل توپوگرافی، جنس سازندهای زمین شناسی و غیره نقش عمده و اساسی در مسأله فرسایش و رسوب دارند. لذا در این پژوهش رابطه و روند تغییرات بارش، دبی و رسوب در رودخانه‌های زرینه‌رود، قره‌سو، دز و کشف‌رود مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. منابع اطلاعاتی و آماری از شبکه ایستگاه‌های بارانسنجی و هیدرومتری سازمان آب منطقه‌ای دریافت گردید و پس از بررسی رابطه و اثرگذاری بارش بر دبی و رسوب در تاخیرهای زمانی مختلف به بررسی روند متغیرهای مذکور طی دوره آماری (۱۴۰۲-۱۳۷۳) با استفاده از آزمون‌های من-کندال، تخمینگر شیب سن و روند خطی و نیمه خطی و همچنین تحلیل موجک پرداخته شد. بررسی رابطه بین متغیرهای مورد بررسی نشان داد که بین دبی و رسوب همه رودخانه‌های مورد بررسی رابطه مستقیم و معنی‌داری وجود دارد. اما بررسی رابطه بین دبی و بارش نشان داد که این ارتباط ضعیف تر از رسوب است و فقط در رودخانه‌های دز و قره سو معنی‌دار شده است. به همین منظور به بررسی رابطه دبی با بارش در تاخیرهای یک و دو روزه نیز پرداخته شد. نتایج نشان داد در هر دو تاخیر زمانی مورد بررسی رابطه مستقیم و معنی‌دار در سطح یک درصد در همه رودخانه‌های مورد بررسی وجود دارد. بر اساس نتایج به جز رودخانه دز که دبی با بارش دو روز قبل بیشترین ارتباط را دارد در سایر رودخانه‌های مورد بررسی بیشترین ارتباط بین دبی با بارش یک روز قبل وجود دارد. نتایج حاصل مطالعات Farhadinejad, Vayskarami, and Zand, (2024) در بررسی رابطه بین دبی و بارش در حوضه دز مورد تایید قرار می‌دهد.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

بررسی روند تغییرات با استفاده از آزمون‌های آماری مختلف نشان داد که نوع تغییرات، در سری‌های بارشی به جز ایستگاه آق‌دربند در کشف‌رود در سایر ایستگاه‌ها از نوع کاهشی و منفی می‌باشد. آماره کاهشی من کندال نیز فقط در ایستگاه‌های زرینه رود و سد دز معنی داری شده است و در سایر ایستگاه‌ها مقادیر کاهشی و افزایشی آماره من-کندال معنی‌دار نبوده و تغییرات مذکور از نوع نوسانات کوتاه‌مدت آب و هوایی در منطقه است. بیشترین شیب سن کاهشی نیز با ۵/۸- مربوط به ایستگاه سد دز است. در مجموع بارش در غالب ایستگاه‌ها و رودخانه‌های مورد مطالعه دارای تغییرات کاهشی از نوع نوسانات کوتاه مدت آب و هوایی است. نتایج حاصل با مطالعات (Hosseini, Salahi and Goudarzi, 2015) مبنی بر تغییرات کاهشی بارش در حوضه دریاچه ارومیه مطابقت دارد. میزان دبی و رسوب نیز به پیروی از تغییرات بارش به جز ایستگاه آق‌دربند در کشف‌رود در سایر ایستگاه‌ها از نوع کاهشی و منفی می‌باشد. این تغییرات کاهشی در هر سه رودخانه قره‌سو، زرینه‌رود و دز معنی‌دار شده است. بیشترین شیب سن تغییرات دبی و رسوب نیز همچون متغیر بارش مربوط به ایستگاه سد دز است. نتایج این بخش نیز با مطالعات (Kateb, & Mostafazadeh, 2019) در حوضه نیر در اردبیل و همچنین مطالعات Abbasi, Aalami and Faraji, (2022) در حوضه‌های آذربایجان شرقی مبنی بر کاهش معنی‌دار دبی و رسوب مطابقت دارد. بررسی نقاط جهش و شکست تغییرات نیز نشان داد که تغییرات کاهش در متغیرهای مورد بررسی دارای دو نقطه جهش یکی در سال ۱۳۷۷ و دیگری در سال ۱۳۸۶ است و این روند کاهشی تا پایان دوره آماری مورد مطالعه ادامه داشته است. بررسی رابطه بین دبی و میزان رسوب و بارش نیز نشان داد که بین دبی با بارش و رسوب هیچکدام از رودخانه‌های مورد بررسی رابطه همبستگی قوی و معنی‌داری وجود ندارد. بر این اساس با وجود رابطه مستقیم همیشه نمی‌توان افزایش یا کاهش میزان رسوب را به افزایش و کاهش بارش و دبی تعمیم داد. نتایج تحلیل موجک نیز نشان داد که رفتار رسوب در مقایسه با دبی و بارش از پیوستگی زمانی کمتری برخوردار بوده و بیشتر تحت تأثیر رخدادهای حدی و مقطعی قرار دارد. این تحلیل امکان شناسایی زمان وقوع، شدت و مقیاس‌های فرکانسی پدیده‌های فرسایشی را فراهم کرده و اطلاعات ارزشمندی برای مدیریت حوضه آبخیز و طراحی اقدامات حفاظتی ارائه می‌دهد.

در مجموع بر اساس نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات بارش، دبی و رسوب سالانه در هر چهار رودخانه مورد بررسی در حوضه‌های مختلف، مشخص گردید که در غالب مناطق مورد بررسی متغیرهای مذکور دارای روند کاهشی بوده است و بر اساس تخمین‌گر شیب سن نیز تغییرات در دبی و رسوب سالانه شدیدتر و مشخص‌تر از تغییرات بارش در منطقه است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که در صورت عدم توجه به تغییرات اقلیمی و هیدرولوژیکی و عدم انطباق برنامه‌های مدیریت منابع آب با روند متغیرهای اقلیمی و نیازهای آتی، در آینده با چالش‌های آبی بزرگتری مواجه خواهیم بود.

منابع

1. Abbasi, H., Aalami, M. T., Faraji, M. (2022). Investigation of the discharge and sediment load trends of the Mardaghchay River using nonparametric tests. Hydrogeomorphology, 9 (32): 104-87.
2. Farhadinejad, T. , Vayskarami, I. and Zand, M. (2024). Investigating the relationship between river flow changes caused by drought and the quality of surface water resources in the Tirah River Basin. Watershed Engineering and Management, 16(1), 64-81.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]

3. Fashtkari Sani, S., Mehdizadeh, M (2013), Study of seasonal and annual precipitation trends of stations in the Urmia Lake basin using the Mann-Kendall test, First National Conference on Water and Meteorology, Kerman, 7 p.
4. Goudarzi, M., Ahmadi, H., Hosseini, S. A. 2017. Examination of relationship between teleconnection indexes on temperature and precipitation components (Case study: Karaj Synoptic Stations). Iranian Journal of Ecohydrology, 4 (3), 1–25.
5. Goudarzi, M., Hosseini, S. A., Mesgari, E. 2016. Climate Models. Azarkelk Publications, Zanjan, Iran.
6. Goudarzi, M., Hosseini, S. A., Mesgari, E., Chobeh, S. 2017. Hydrologic Models. Azarkelk Publications, Zanjan, Iran.
7. Goudarzi, M., Salahi, B., Hoseini, A. (2015). Study on Effects of Climate Changes on Surface Runoff Changes Case Study: Urmia Lake Basin. Iranian journal of Ecohydrology, 2(2), 175-189.
8. Hosseini, S.A.., Salahi, B., Goudarzi, M. 2015. Study of trend in annual temperature and precipitation changes in the last half century in the Urmia Lake watershed. First International Congress on Earth, Space and Clean Energy, University of Mohaghegh Ardabili, 9 p.
9. Hosseinzadeh Talaei, P., Tabari, H., Maroufi, S (2009), Comparison of parametric and nonparametric methods in studying the trend of monthly, seasonal and annual changes in river discharge and rainfall in the Gamasyab watershed, 8th International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, 9 p.
10. Kateb, F., Mostafazadeh, R. (2019). Study of trends in discharge and sediment changes using the Mann-Kendall test in the Nir basin, Ardabil province, First International Conference and Fourth National Conference on Protection of Natural Resources and Environment, Ardabil.
11. Kendall, M.G. (1975). Rank Correlation Measures, Charles Griffin, London. 272p.
12. Khorshiddoust, A. M., Esfandeyari, F., Hosseini, S. A., & Dolatkhah, P. (2018). Estimate of the Aras River Basin Sediment through Artificial Neural Network (Case Study: Dareh Roud Sub basins). Journal of Geography and Planning, 22(65), 141-162.
13. Khoshraftar, R., & Mazini, F. (2011). Statistical analysis of discharge and sediment from the Gharesoo watershed (Golestan Province) [In Persian]. Geographical Space, 11(33), 101–121. SID. https://sid.ir/paper/91321/fa
14. Liu Z, Fagherazzi S, Liu X, Shao D, Miao C, Cai Y, Hou C, Liu Y, Li X and Cui B (2022) Long-term variations in water discharge and sediment load of the Pearl River Estuary: Implications for sustainable development of the Greater Bay Area. *Front. Mar. Sci.* 9:983517. doi: 10.3389/fmars.2022.983517
15. Modrasi, F., Araghi nejad, Sh., Ebrahimi, K., Khaleghi, M. (2010), Regional study of climate change using statistical tests (case study: Gorganrood-Qarasu basin), Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries), 3: 476-489.
16. Sen, P.K (1968). Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association, 63:1379–1389.
17. Shaemi, A., Habibi-Nokhandan, M (2009), Global Warming and Bio-Ecological Consequences, First Edition, Ferdowsi University of Mashhad Publications. 216 p.
18. Tang J, Wang W, Cheng H, Jin H, Zhao, T, Xie Y, 2024. Changes in runoff and sediment discharge along with their driving factors in the Pearl River basin from 1961 to 2018, International Journal of Sediment Research, 39 (3): 386-400.
19. Zahraei, A., Hosseini, S. A. (2020). Climate change and effect on water resource. Hawar publication, Ilam, Iran.
20. Zhang, X., Vincent, L.A., Hogg, W.D., Niitsoo, A (2000) Temperature and rainfall trends in Canada during the 20th century. Atmospheric Ocean, 38: 395-429.
21. Zhang, Y., et al. (2019). Decadal changes in river runoff in response to climate variability. Water Research, 65(14), 69–98.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-21]

[DOI: 10.61882/jeer.405.1.1]