



Investigating the Effect of the Passage of Time on the Quantitative and Qualitative Characteristics of River Water (Case Study: Absardeh River)

Fateme Dadvand¹, Yaser Sabzevari^{2*}, Jahangir Abedi Kopaei³

1. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Received: 17 October 2023/ Revised: 06 January 2024/ Accepted: 07 January 2024

<https://doi.org/10.22034/arwe.2024.709875>

Abstract

Today, the conditions of the earth and its changing due to the development of modern life have caused quantitative and qualitative changes in water resources in different regions. For this reason, it is necessary to investigate water resources, especially rivers, as the most important parts of available fresh water. Absardeh River located in the west of Iran in a period of 45 years (1974-2017) were investigated using the Mann-Kendall test. The results showed that the river has suffered a quantitative decline, which was not statistically significant at the 95% level ($Z=-1.33$). Qualitative changes also indicate the intensification of pollutants, especially the values of EC with $Z=3.9$ and TDS with $Z=3.85$, which were statistically significant at the 99% level. On the other hand, the quality of this river has not limited irrigation and agricultural uses.

Keywords: Absardeh River, Man-Kendal, Quality changes, River discharge.



بررسی تاثیر گذر زمان بر ویژگی‌های کمی و کیفی آب رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه آبرده)

فاطمه دادوند^۱، یاسر سبزواری^۲، جهانگیر عابدی کوپایی^۳

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

دریافت: ۲۵ مهر ماه ۱۴۰۲ / اصلاحات: ۱۶ دی ماه ۱۴۰۲ / پذیرش: ۱۷ دی ماه ۱۴۰۲

<https://doi.org/10.22034/arwe.2024.709875>

چکیده

شرایط امروز زمین و تغییرات به وجود آمده به دلیل توسعه‌های زندگی مدرن در بخش‌های مختلف، موجب بروز تغییرات کمی و کیفی در منابع آب در مناطق مختلف شده است. به همین دلیل بررسی تغییرات منابع آب به‌ویژه رودخانه‌ها به‌عنوان مهم‌ترین منابع آب شیرین در دسترس ضرورت می‌یابد. در این مطالعه با استفاده از آزمون من-کندال تغییرات کمی-کیفی رودخانه آبرده واقع در غرب ایران در دوره زمانی ۴۵ ساله (۱۳۹۶-۱۳۵۳) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که رودخانه از نظر کمی دچار افت شده که این افت از نظر آماری در سطح ۹۵ درصد معنی دار نبوده است ($Z=-1/33$). تغییرات کیفی نیز حاکی از تشدید آلاینده‌ها به‌ویژه مقادیر EC با $Z=3/9$ و TDS با $Z=3/85$ داشته که در سطح ۹۹ درصد از نظر آماری معنی‌دار بوده است. از طرفی وضعیت کیفیت این رودخانه محدودیتی برای آبیاری و مصارف کشاورزی نداشته است.

کلمات کلیدی: تغییرات کیفیت، دبی رودخانه، رودخانه آبرده، من-کندال.

مقدمه

رودخانه‌ها یکی از منابع‌های مهم تامین آب شیرین هستند که بخش زیادی از آب مورد نیاز در مصارف مختلف مانند صنعت، شرب و کشاورزی را تامین می‌کنند. رودخانه‌ها در گذر زمان، تحت تأثیر تغییرات کمی و کیفی قرار گرفته‌اند. این تغییرات شامل عواملی مانند تغییرات آب و هوا، تغییر الگوی بارش، تغییرات جمعیتی و فعالیت‌های انسانی است (Pohrebennyk et al., 2021). تغییرات کمی رودخانه‌ها به تغییر در حجم آب و جریان آنها اشاره دارد. تغییرات اقلیمی و الگوی بارش می‌تواند باعث تغییر حجم آب رودخانه‌ها شود (Gao et al., 2023; Nazeri and Mirabbasi., 2024). تغییرات کیفی رودخانه‌ها نیز به تغییر در خصوصیات آب اشاره دارد. عواملی مانند آلودگی آب، تغییر الگوی استفاده از آب و استفاده ناپایدار از منابع آب می‌تواند باعث تغییرات کیفی در آب رودخانه‌ها شود. این موضوع می‌تواند تأثیر مستقیمی بر روی جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی مرتبط با آب داشته باشد (Zhang et al., 2023). در برخی مناطق ایران، آب رودخانه‌ها به دلیل استفاده زیاد از آن به عنوان منبع آب شرب، آبیاری و تولید برق آلوده شده‌است. این موضوع می‌تواند تأثیری مخرب بر روی تنوع زیستی و منابع آب کشور داشته باشد (Sabzevari et al., 2019). علاوه بر تغییرات طبیعی، فعالیت‌های انسانی نیز می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر رودخانه‌ها داشته باشد. ساخت سدها و تغییر الگوی آبیاری، تخریب منابع طبیعی حاشیه رودخانه‌ها و استفاده بی‌رویه از آب می‌تواند باعث تغییرات قابل توجهی در رودخانه‌ها شود (Dehkordi et al., 2023). به‌طور کلی، تغییرات کمی و کیفی رودخانه‌های ایران نشان می‌دهد که مدیریت منابع آب و حفظ محیط زیست این منابع برای کشور بسیار حائز اهمیت است.

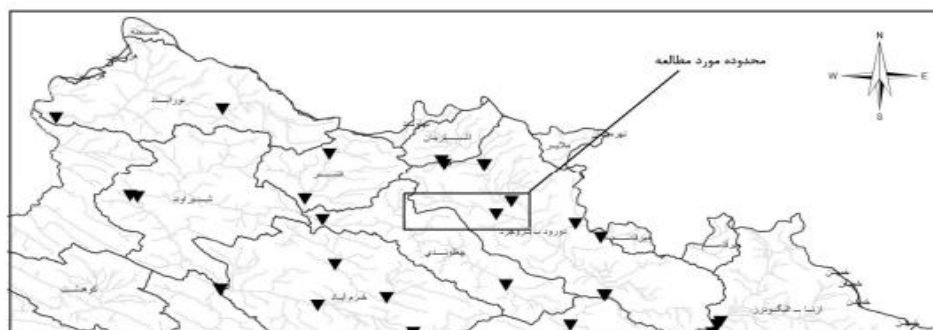
در پژوهشی دینامیک پارامترهای هیدروشیمیایی آب‌های سطحی از بالادست، بازه میانی و پایین‌دست رودخانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (Pohrebennyk et al., 2021). بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌های پایش زمانی و مکانی، یک ارزیابی جامع از وضعیت زیست محیطی آب‌های رودخانه (Inhulets اوکراین) توسط شاخص‌های هیدروشیمیایی انجام شد. این مطالعه یک تحلیل مقایسه‌ای از ارزیابی کیفیت آب رودخانه و یک ارزیابی یکپارچه بر اساس محاسبه شاخص‌های آلودگی آب، با استفاده از روش‌های مختلف انجام داد: نتیجه ارزیابی کیفیت آب در میزان آلودگی نشان داد از نظر یون‌های آمونیوم و کلاس کیفی ۳، BOD_5 آب کمی آلوده است. میزان فسفات آب در قسمت پایین بسیار کم است. با توجه به محتوای جامدات معلق، در فسفات‌ها و کلاس BOD_5 کیفیت آب، آب آلوده می‌شود به‌طور کلی، با توجه به غلظت بیش از حد مواد در دوره میانی، وضعیت کیفیت آب ضعیف است. چانگ (Chang., 2008) با بررسی مورفولوژی رودخانه و تغییرات کانال رودخانه دست یافتند کیفیت آب در رودخانه بیتووا تا اواخر دهه ۱۹۸۰ افزایش مداوم آلودگی را نشان داد و به دنبال آن به دلیل عوامل مختلف بهبود تدریجی داشت. ساموروک و همکاران (Sumorok et al., 2009) مطالعه‌ای را در دو مکان در نزدیکی شهر Łask در بخش سوم جریان رودخانه گرابیا و اولین بخش‌های جریان راسته رودخانه برودنیا در دو دوره مطالعه ۱۹۹۲-۱۹۹۳ و ۲۰۰۵-۲۰۰۶ انجام دادند. ویتک و جاروسیویچ (Witek and Jarosiewicz., 2009) با بررسی تغییرات طولانی مدت در وضعیت مواد مغذی آب رودخانه بیتووا کیفیت آب تا اواخر دهه ۱۹۸۰ افزایش مداوم آلودگی را نشان داد و به دنبال آن به دلیل عوامل مختلف بهبود تدریجی داشت. سبزواری و همکاران (Sabzevari et al., 2019) به بررسی تغییرات طولانی مدت کمیت و کیفیت رودخانه پرداختند. نتایج نشان داد در دوره سالانه، روند تغییرات تمامی پارامترهای کیفی به‌جز Na در سطح آماری ۹۹٪ معنی‌دار بوده است. در فصول تابستان روندهای افزایشی شدیدتر و روندهای کاهش‌ی ملایم‌تر رخ داد؛ به‌طوری‌که شدیدترین افزایش غلظت در این فصل اتفاق افتاده است. این در حالی است که در فصل زمستان نتایج خلاف تابستان رخ داده است. در فصل بهار نسبت به فصل پائیز در اغلب پارامترهای کیفی، روندهای کاهش‌ی بیش‌تر و افزایش‌ی کمتر بوده است. متاهدین و ابدواس (Motahedin and abdoavas., 2021) به بررسی کیفیت آب رودخانه حبله‌رود با استفاده از شاخص پارامترهای متداول کیفیت منابع آب سطحی (IRWQISC) و روش سطح پاسخ پرداختند. نتایج نشان داد پارامترهای EC، فسفات، نیترات، کدورت و pH با $۱/۵۱/۶۱$ ، $۱۹/۳۹$ ، $۴۴/۱۴$ ، $۱۱/۹$ و $۹۱/۳$ به ترتیب بیشترین سهم مشارکت را در پارامتر IRWQISC داشتند.

اکبرپور و همکاران (Akbarpour et al., 2022) به بررسی گرافیکی و تحلیل آماری تغییرات کیفی و کمی آب رودخانه پلرود استان گیلان پرداختند. نتایج نشان داد کیفیت آب رودخانه پلرود از لحاظ شرب در بازه زمانی بیست ساله و برای فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان در یک وضعیت مناسب قرار گرفته است. نتایج نمودار ویلکاکس که کیفیت آب رودخانه از لحاظ کشاورزی در یک وضعیت خوب و مناسب و نتایج نمودار پایپر نشان از تیپ آب و رخساره آن در رودخانه پلرود از نوع بی‌کربناته کلیسک است. همچنین مطابق آزمون من‌کندال روند خطی افزایشی در دبی سالانه رودخانه وجود دارد. یان و همکاران (Yan et al., 2023) به شناسایی تغییرات رودخانه توسط رویدادهای الگوی رودخانه زرد پایین، چین پرداختند. این مقاله استفاده از رویدادهای الگوی رودخانه (RPEM) را برای تعیین کمیت و توصیف فرآیندهای تغییر رودخانه، با ترکیب اطلاعات چند بعدی به‌طور کامل پیشنهاد می‌کنند. مرور پژوهش‌های انجام شده نشان از بروز تغییرات کمی-کیفی آب رودخانه‌ها با گذشت زمان دارد. پایش این تغییرات در هر منطقه نقش بسزایی در مدیریت منابع آب آن منطقه دارد. از این رو هدف از مطالعه حاضر بررسی و پایش تغییرات زمانی کمیت و کیفیت آب رودخانه آبرده در استان لرستان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه در برگرنده بخشی از حوزه رودخانه آبرده می‌باشد. مختصات جغرافیایی حوزه مورد مطالعه بین $48^{\circ} 28' 30''$ تا $48^{\circ} 42' 30''$ طول شرقی $33^{\circ} 44'$ تا $33^{\circ} 53'$ عرض شمالی بوده و در استال لرستان واقع است که بخشی از حوزه آبریز خلیج فارس و از سرشاخه‌های رودخانه دز محسوب می‌شود. در این محدوده، روستاها و زمین‌های کشاورزی در فاصله نزدیکی به این رود واقع شده‌اند و این اراضی از همین رودخانه تغذیه می‌شوند. شکل زیر نشان-دهنده محدوده مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. Geographical location of the studied area

روش‌شناسی

در این پژوهش به منظور بررسی تغییرات دبی و متغیرهای کیفی رودخانه آبرده با گذشت زمان از آزمون من-کندال استفاده شد. برای این هدف از اطلاعات ایستگاه هیدرومتری آبرده شامل: $\sum A$, Ca , Mg , Na , $\sum K$, SAR , TH ، TDS ، EC ، HCO_3^- ، pH ، Cl^- ، SO_4^{2-} و دبی در دوره زمانی (۱۳۹۶-۱۳۵۳) استفاده شد. این اطلاعات از وزارت نیرو، شرکت آب منطقه‌ای لرستان اخذ گردید.

آزمون من - کندال

آزمون من-کندال برای بررسی وجود روند زمانی برای هر سری از داده‌ها استفاده می‌شود. نتایج این آزمون نشان می‌دهد روند افزایشی یا کاهشی قابل توجهی در سطح اطمینان مشخصی در روند سری زمانی پارامتر وجود دارد یا خیر. استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال به نرمال بودن داده‌ها حساس نیست. آزمون من-کندال ابتدا توسط من (Mann., 1945) ارائه و سپس توسط کندال (Kendall, 1975) توسعه یافت. کاربرد این روش توسط سازمان جهانی

هواشناسی توصیه گردید. این روش برای بررسی روند داده‌ها بکار می‌رود. در این روش آماره S برای ماه عام و ایستگاه kام به شرح زیر محاسبه می‌گردد.

$$S_{gk} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n-1} \text{sgn}(X_{jgk} - X_{igk}), \forall i < j \leq n \quad (1)$$

که در آن n تعداد داده‌های سری می‌باشد و $\text{sgn}\theta$ تابع علامت و θ تفاضل دو مشاهده در هر یک از پارامترهای مورد بررسی در سال‌های مختلف i و j بوده که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{gn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (2)$$

من و کندال (Kendall, 1975) نشان دادند که وقتی $n \geq 10$ باشد، آماره S تقریباً به طور نرمال توزیع شده و دارای میانگین صفر و انحراف معیار زیر است:

$$(\sigma_{gg})_k = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum d(d-1)(2d+5)]}{18} \quad (3)$$

که در آن d تعداد داده‌های یکسان در سری زمانی می‌باشد. در این روش S_{gk} به صورت زیر نرمال می‌شود

$$S'_{gk} = S_{gk} - \text{sgn}(S_{gk}) \quad (4)$$

سپس آماره آزمون یا Z استاندارد شده که دارای توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس ۱ است، به شرح زیر بدست می‌آید:

$$Z_{gk} = \frac{S'_{gk}}{(\sigma_{gg})^{1/2}} \quad (5)$$

چنانچه مقدار Z بزرگ‌تر از $\pm 1/96$ باشد داده‌ها دارای روند می‌باشند و فرض صفر رد می‌شود در غیر این صورت فاقد روند است. Z: آماره توزیع نرمال استاندارد می‌باشد و در یک آزمون دو دامنه بسته به سطوح اعتماد مورد آزمون می‌تواند مقادیر مختلفی به خود گیرد و S: پارامتر روش من-کندال است که به نحوه محاسبه آن در بالا اشاره گردید. مقدار آماره Z برای سطوح اطمینان ۹۵ درصد و ۹۹ درصد به ترتیب برابر با ۱/۹۶ و ۲/۵۸ در نظر گرفته می‌شود.

تحلیل گرافیکی من-کندال

برای ترسیم گراف من-کندال دو دنباله‌ی U و U[^] در برابر هم ترسیم می‌شوند. دنباله‌ی U مقادیر سری زمانی پارامتر و دنباله‌ی U[^] همان مقادیر پارامتر در برابر ترتیب برعکس زمان می‌باشند. برای تعیین روند و نقاط جهش (تغییر ناگهانی در روند)، U نسبت به محور x و U[^] نسبت به محور y ترسیم می‌گردد.

طبقه‌بندی آب از نظر کشاورزی

بررسی کیفیت آب آبیاری بر اساس درصد سدیم

میزان سدیم آب از پارامترهای مهم برای استفاده از آب در آبیاری زمین‌های کشاورزی است. افزایش سدیم در آب، نفوذپذیری خاک را کاهش می‌دهد (Ibrahim, 2002). درصد سدیم از رابطه (۶) محاسبه می‌شود (سازمان بهداشت جهانی):

$$\%Na = \left\{ \frac{(Na^+) + (K^+)}{(Ca^{2+}) + (Mg^{2+}) + (Na^+) + (K^+)} \right\} * 100 \quad (6)$$

در این معادله، تمامی غلظت‌ها برحسب میلی اکی والان در لیتر است.

طبقه‌بندی ویلکاکس، دپارتمان کشاورزی آمریکا

طبقه‌بندی ویلکاکس یکی از مهم‌ترین طبقه‌بندی‌ها در زمینه تعیین کیفیت آب کشاورزی است که بر مبنای دو پارامتر هدایت الکتریکی (برحسب میکروموس بر سانتیمتر، $EC \times 10^6$) و نسبت جذب سدیم به عنوان خطر قلیائیت در نظر گرفته می‌شود (Wilcox, 1948). نسبت جذب سدیم SAR طبق رابطه زیر با افزایش سدیم افزایش می‌یابد (Richards, 1954).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Mg^{2+}) + (Ca^{2+})}{2}}} \quad (7)$$

در آب‌های شور، سدیم جایگزین کلسیم و منیزیم موجود روی ذرات رس خاک می‌شود. این امر باعث تخریب ساختار خاک، تولید خاک قلیایی و در نهایت بسته‌شدن منافذ خاک می‌شود. از این رو انتقال آب و هوا در داخل خاک محدود می‌شود. این شرایط باعث کاهش بازدهی محصولات می‌شود. در این طبقه‌بندی آب کشاورزی به چهار گروه با کیفیت خوب، قابل قبول، نامناسب و بد تقسیم می‌شود. رده‌ها آب را از نظر کشاورزی در چهار نوع کیفیت و ۱۶ رده تقسیم می‌کنند: شیرین برای کشاورزی کاملاً بی‌ضرر (C1S1)، کمی شور برای کشاورزی تقریباً مناسب (C2S1، C1S2، C2S2)، شور برای کشاورزی با اعمال تمهیدات لازم (C1S3، C3S3، C3S2، C3S1، C2S3) و خیلی شور (C4S2، C4S3، C4S4، C3S4، C2S4، C1S4، C4S1).

طبقه‌بندی آب از نظر شرب

استانداردهای کیفیت آب

استانداردهای کیفیت آب مقادیر عددی یا بیان توصیفی متغیرهای کیفیت آب هستند که کاربری‌های تعیین شده برای یک پیکره آبی را بررسی می‌کنند. در این پژوهش مقادیر پارامترهای کیفیت آب رودخانه آبسرد با استانداردهای ملی ایران (۱۰۵۳)، سازمان جهانی بهداشت (WHO)، ایالات متحده (USEPA)، اتحادیه اروپا (EU)، استاندارد کیفیت آب‌های ایران مربوط به سازمان حفاظت محیط‌زیست مقایسه و بررسی شد.

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر نتایج به دو بخش تقسیم می‌شود:

بررسی تغییرات کیفیت آب

همانطور که پیش از این بیان شد، به‌منظور بررسی تغییرات کیفیت آب در ماه‌های مختلف در طول ۴۵ سال، از آمار ماهانه ثبت شده در ایستگاه مطالعاتی استفاده شد. در جدول‌های (۱) و (۲) مقادیر پارامترهای کیفی رودخانه آبسرد بر اساس استانداردهای جهانی WHO، EPA، EU، استاندارد ملی ایران (۱۰۵۳) و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران مقایسه شده است.

جدول ۱. مقایسه نتایج کیفیت شیمیایی آب در ایستگاه آبسرد

Table 1. Comparison of the results of chemical quality in Absardeh water station

پارامتر	واحد	استاندارد			آبسرد
		استاندارد WHO	استاندارد EPA	استاندارد ملی ایران	
pH	-	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	مطلوب
EC	μS/cm	-	-	400	استاندارد ملی ایران: 2000 استاندارد EU: نامطلوب
TDS	mg/l	1000	500	500	استاندارد WHO و ملی ایران: 1500 استاندارد EU و EPA: نامطلوب
SO ₄	mg/l	400	500	250	مطلوب
Cl	mg/l	250	250	250	مطلوب
Ca	mg/l	200	-	100	مطلوب
Mg	mg/l	150	-	50	مطلوب
Na	mg/l	200	-	150	مطلوب
K	mg/l	-	-	12	مطلوب

جدول ۲. مقایسه نتایج کیفیت شیمیایی آب ایستگاه مطالعاتی با استاندارد حفاظت محیط زیست ایران

Table 2. Comparing the results of the chemical quality of the water of the study station with the standard of environmental protection of Iran

پارامتر	واحد	استاندارد کیفیت منابع آب برای کاربری شرب		استاندارد کیفیت منابع آب برای کاربری کشاورزی	آبسرده
		گروه ۱	گروه ۲		
pH	-	6.5-8.5	5.5-9	6.5-8.4	مطلوب
EC	$\mu\text{S}/\text{cm}$	1000	2000	3000	مطلوب
SO ₄	mg/l	250	400	-	مطلوب

مقدار pH ایستگاه، بین ۶/۸ تا ۸/۴ متغیر و مقدار میانگین آن ۷/۷۵ است. نتایج مقایسه کمیت‌ها با استاندارد ملی ایران (استاندارد ۱۰۵۳) و استانداردهای جهانی WHO، EU، EPA نشان داد که مقادیر pH در دامنه مطلوب قرار دارد. EC آب ایستگاه آبرده بین ۲۲۰ تا ۷۲۴ با میانگین کل ۳۴۱ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر است. نتایج مقایسه کمیت‌ها با استاندارد ملی ایران و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران نشان می‌دهد که مقادیر EC در ایستگاه آبرده در دامنه مطلوب استاندارد ملی و محیط‌زیست ایران و استاندارد اتحادیه اروپا قرار دارد. غلظت TDS آب ایستگاه مطالعاتی، بین ۱۴۰ تا ۴۷۱ میلی‌گرم در لیتر با میانگین کل ۲۲۱/۵ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. نتایج مقایسه کمیت‌ها با استاندارد جهانی WHO، EU، EPA و استاندارد ملی ایران (۱۰۵۳) نشان می‌دهد که مقادیر TDS در دامنه مطلوب قرار دارد.

کمترین مقدار SO₄ در طول رودخانه ۰/۰۲ میلی‌اکی‌والانت در لیتر و میانگین سالانه در این ایستگاه ۰/۲۴ میلی‌اکی‌والانت در لیتر است. بیشترین مقدار برابر با ۱۸ میلی‌اکی‌والانت در لیتر است. نتایج مقایسه مقادیر پارامتر SO₄ با استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، استاندارد ملی ایران، WHO، EU، EPA در جدول‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که مقادیر SO₄ در دامنه مطلوب و استاندارد قرار دارد. تغییرات غلظت HCO₃ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار HCO₃ ۴/۸ میلی‌اکی‌والانت در لیتر است. غلظت پارامتر CO₃ طی ۴۵ سال در رودخانه آبرده بین صفر تا ۰/۲ میلی‌اکی‌والانت در لیتر ثبت شده است. آنیون‌های CO₃ و HCO₃ سبب قلبایی شدن آب می‌شوند. تغییرات ملموسی برای این پارامتر در طول رودخانه مشاهده نشده است. آنیون کلر از حداقل ۰/۱ تا حداکثر ۲/۱ میلی‌اکی‌والانت در لیتر تغییر می‌نماید. بیشترین مقدار مربوط به ماه‌های کم آب و کمترین مقدار مربوط به ماه‌هایی است که دبی رودخانه زیاد است. افزایش غلظت کلر در آب‌های سطحی می‌تواند نتیجه‌ی نفوذ آب شور، تجزیه مواد معدنی و فصولات دامی و صنعتی باشد افزایش کلر زندگی آبزیان آب شیرین را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

کاتیون کلسیم از حداقل ۱/۵ تا حداکثر ۴/۵ میلی‌اکی‌والانت در لیتر تغییر می‌نماید و مقدار میانگین Ca ۲/۷ میلی‌اکی‌والانت در لیتر است. غلظت بالای کلسیم در آب آشامیدنی سبب ابتلا به سنگ کلیه در انسان می‌شود. کاتیون منیزیم از حداقل ۰/۰۵ میلی‌اکی‌والانت در لیتر تا حداکثر ۲/۵ میلی‌اکی‌والانت در لیتر تغییر می‌نماید. کاتیون پتاسیم مقادیر بین ۰/۰۱ تا ۰/۱۱ میلی‌اکی‌والانت در لیتر گزارش شده است. نتایج مقایسه مقادیر پارامتر K با استاندارد جهانی EU، حاکی از آن است که مقادیر پتاسیم در تمامی ایستگاه‌ها در دامنه مطلوب و استاندارد کیفی آب شرب اتحادیه اروپا قرار دارد.

پس از بررسی کیفیت آب بر اساس استانداردها با استفاده از اطلاعات ۴۵ ساله ایستگاه آبرده، اقدام به مدل‌سازی روند تغییرات میزان کمیت و کیفیت آب رودخانه در طول زمان شده است. جدول (۳) نشان دهنده مقدار آماره من-کندال متغیرهای کمی و کیفی رودخانه آبرده می‌باشد. بر اساس این جدول تغییرات مثبت و منفی در پارامترهای مختلف مورد بررسی مشاهده شد به طوری که مقادیر آماره بدست آمده از ۱/۳۳- تا ۳/۹۰+ متغیر می‌باشد.

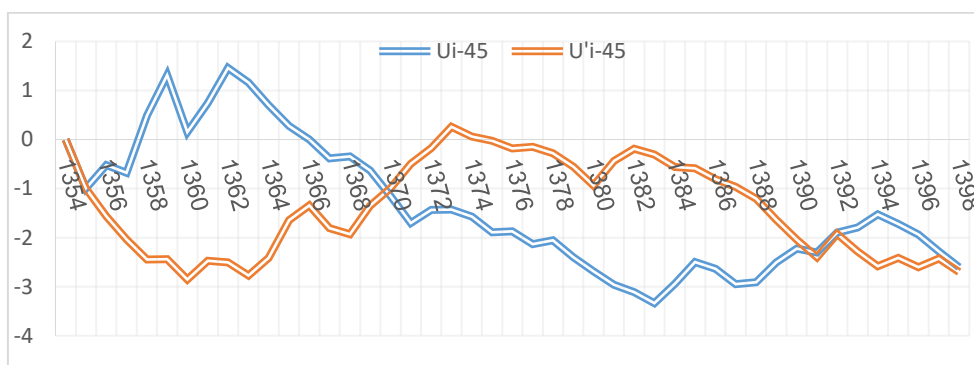
جدول ۳. مقدار آماره من-کندال متغیرهای کمی و کیفی رودخانه آبرده

Table 3. Man-Kendall statistic value of quantitative and qualitative variables of Absardeh river

SO ₄	Cl	pH	HCO ₃	EC	TDS	دبی	پارامتر
+1.12	+2.41	+0.89	+1.22	+3.90	+3.85	-1.33	z
%Na	TH	SAR	Sum K	Na	Mg	Ca	Sum A
-1.13	+1.73	-0.31	+1.77	-0.01	+1.46	+0.1	+1.40

دبی

نتایج آزمون من-کندال به منظور بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله دبی، روند کاهشی این پارامتر را نشان می‌دهد ($Z=-1/33$). ولی با توجه به مقدار آماره من-کندال، این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نبوده است. شکل (۲) نشان‌دهنده نمودار من-کندال مربوط به دبی سالانه رودخانه می‌باشد که روند کاهشی این پارامتر را نشان می‌دهد. طبق این نمودار در سال ۱۳۷۰ جهشی به صورت کاهشی در روند تغییرات دبی رخ داده است.



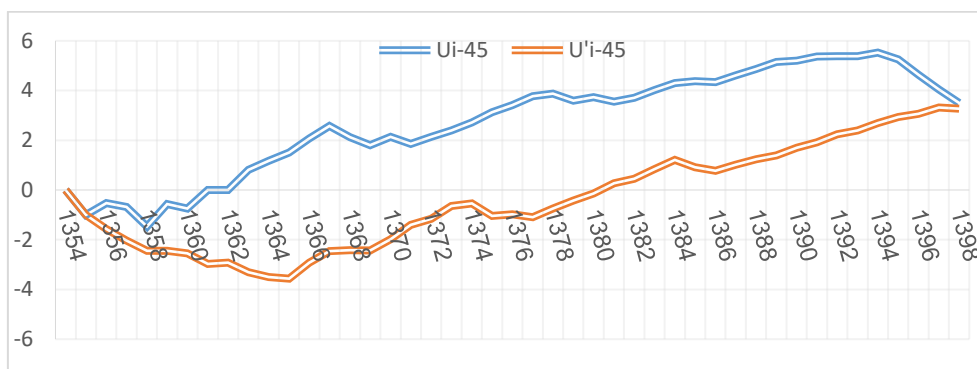
شکل ۲. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال برای دبی رودخانه آبرده

Fig. 2. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for Absarde river discharge

میزان املاح محلول (TDS)

آزمون من-کندال برای بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله TDS، افزایش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد ($Z=3/85$). با توجه به مقدار آماره من-کندال، این افزایش از نظر آماری در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. شکل (۳) نشان‌دهنده نمودار من-کندال مربوط به TDS سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد.

غلظت TDS آب ایستگاه آبرده، بین ۱۴۰ تا ۴۷۱ میلی‌گرم در لیتر با میانگین کل ۲۲۱/۵ میلی‌گرم در لیتر در طول رودخانه متغیر است. نتایج مقایسه کمیت‌ها با استاندارد جهانی WHO، EU، EPA و استاندارد ملی ایران (۱۰۵۳) نشان می‌دهد که مقادیر TDS در تمامی ایستگاه‌ها در بیشتر ماه‌های سال در دامنه مطلوب قرار دارد. بر اساس استاندارد EPA و EU که غلظت مجاز ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر است.

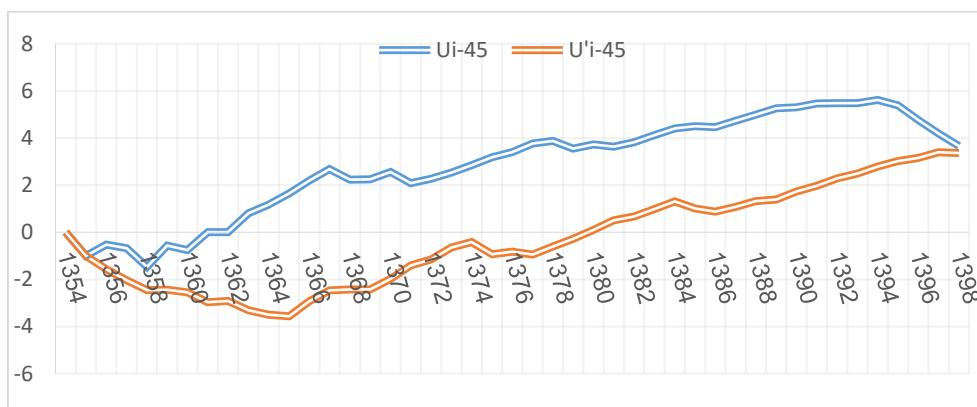


شکل ۳. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال برای املاح محلول رودخانه آبسرده

Fig. 3. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for Absarde river TDS

هدایت هیدرولیکی (EC)

نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله EC، افزایش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد ($Z=3/9$). با توجه به مقدار آماره من-کندال، این افزایش از نظر آماری در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. شکل (۴) نشان‌دهنده نمودار من-کندال مربوط به EC سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد.

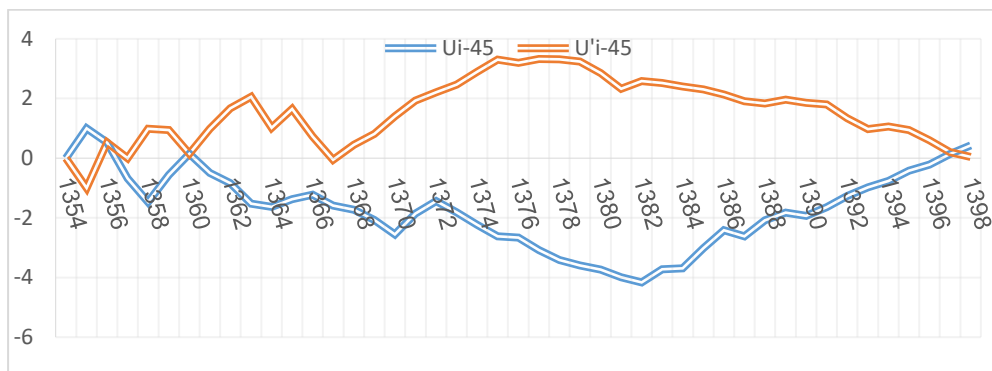


شکل ۴. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال EC رودخانه آبسرده

Fig. 4. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for the EC of Absarde river

قلیائیت (pH)

بررسی نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله pH، افزایش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد ($Z=0/9$). اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبوده است. شکل (۵) نشان‌دهنده نمودار من-کندال مربوط به pH سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار در سال ۷۷ روند تغییرات pH دارای جهشی به صورت کاهشی بوده و در مقابل در سال ۹۷ جهشی به صورت افزایشی اتفاق افتاده است.

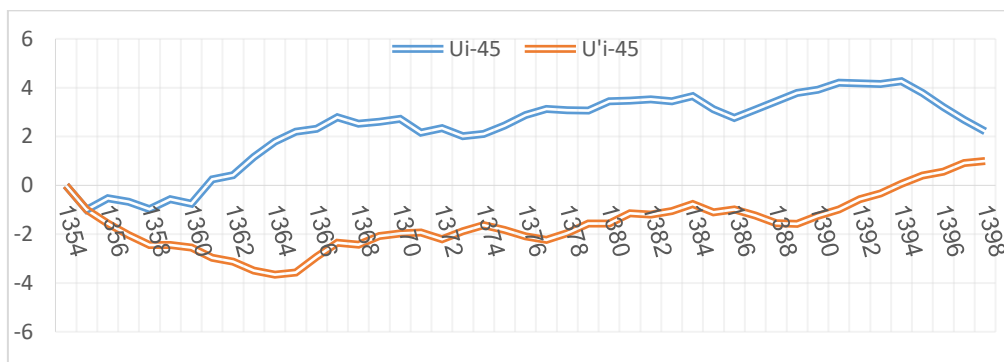


شکل ۵. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال pH رودخانه آبسرده

Fig. 5. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for the pH of Absarde river

بی کربنات کلسیم (HCO₃)

بررسی نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله HCO₃، افزایش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد (Z=۱/۲۲). اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. شکل (۶) نشان‌دهنده نمودار من-کندال مربوط به HCO₃ سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد.

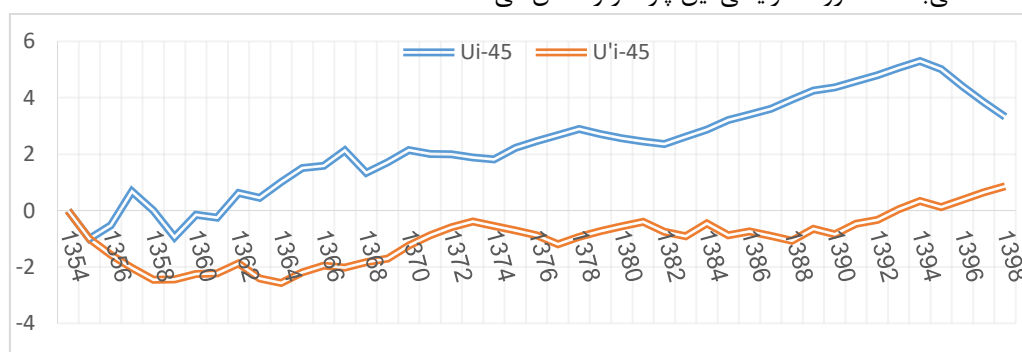


شکل ۶. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال HCO₃ رودخانه آبسرده

Fig. 6. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for the HCO₃ of Absarde river

کلر (Cl)

بررسی نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله Cl، افزایش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد (Z=۰/۱). اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. شکل (۷) نشان‌دهنده نمودار من-کندال مربوط به Cl سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد.

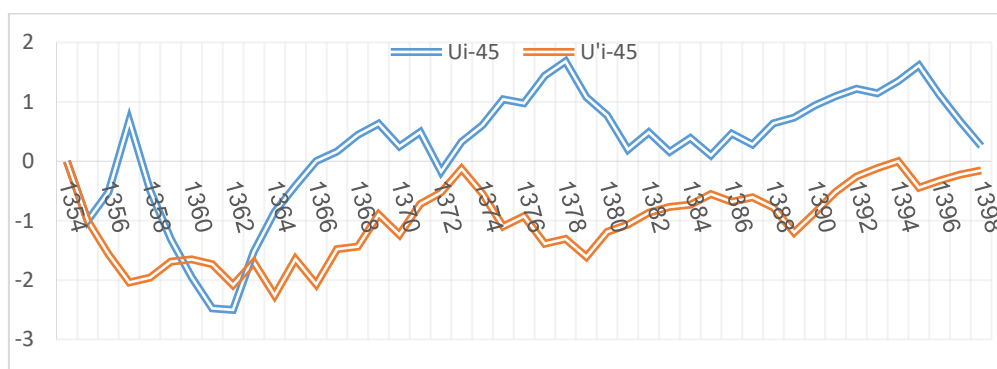


شکل ۷. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال Cl رودخانه آبسرده

Fig. 7. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for the Cl of Absarde river

سولفات (SO₄)

بررسی نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله SO₄، افزایش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد (Z=۱/۱۲). اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. شکل (۸) نشان‌دهنده نمودار من-کندال مربوط به SO₄ سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار در سال ۶۰ روند تغییرات SO₄ دارای جهشی به صورت کاهشی بوده و در مقابل در سال ۶۳ جهشی به صورت افزایشی اتفاق افتاده است.

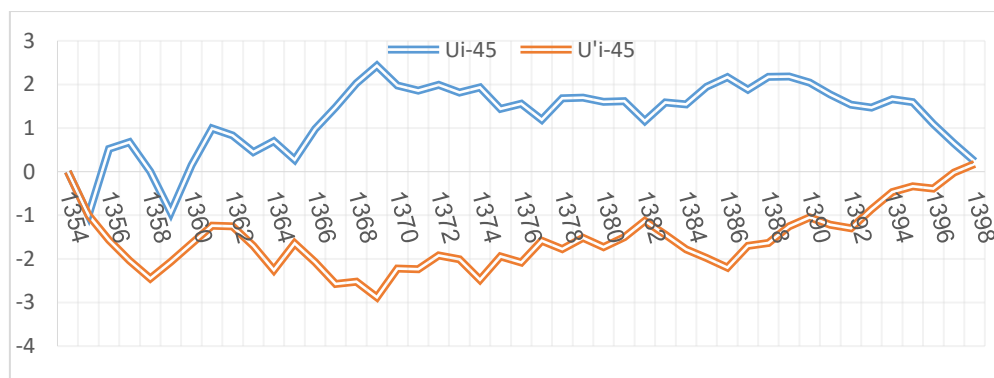


شکل ۸. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال SO₄ رودخانه آبسرده

Fig. 8. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for the so4 of Absarde river

مجموع آنیون‌ها

بررسی نتایج آزمون من-کندال برای بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله مجموع آنیون‌ها، افزایش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد (Z=۱/۴). اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. شکل (۹) نشان‌دهنده نمودار من-کندال مربوط به مجموع آنیون‌های سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد.

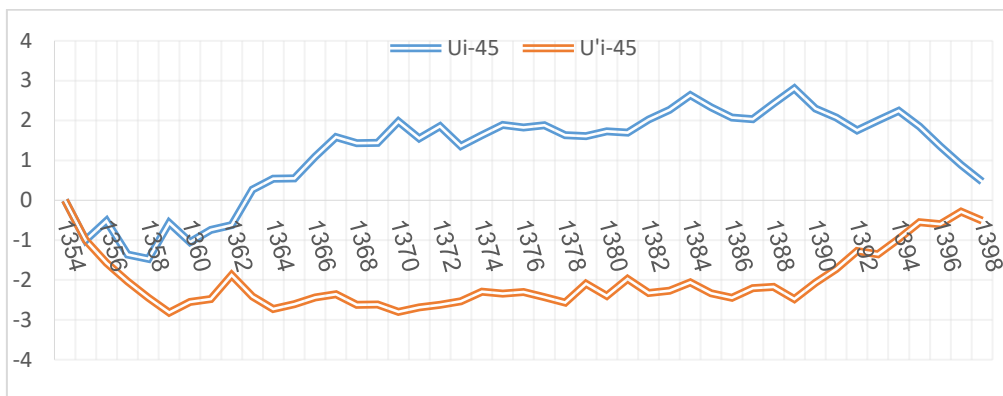


شکل ۹. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال مجموع آنیون‌ها رودخانه آبسرده

Fig. 9. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for sum of the Anions of Absarde river

کلسیم (Ca)

بررسی نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله Ca، افزایش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد (Z=۰/۱). اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. شکل (۱۰) نشان‌دهنده نمودار من-کندال مربوط به Ca سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد.

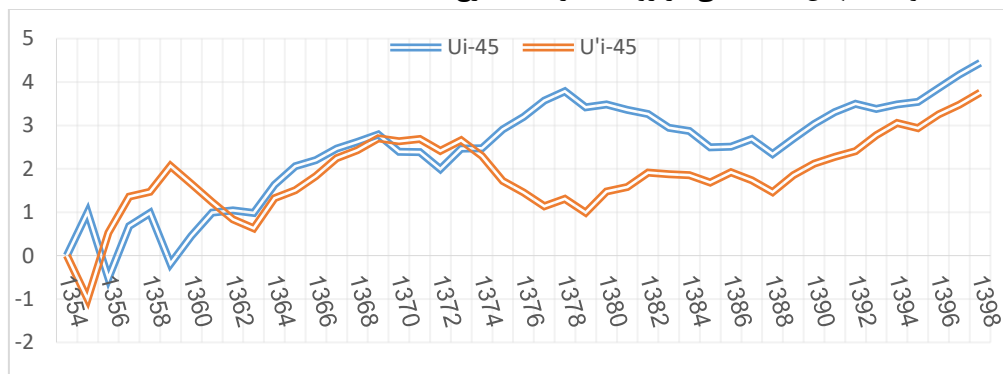


شکل ۱۰. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال Ca رودخانه آبسرد

Fig. 10. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for the Ca of Absarde river

منیزیم (Mg)

بررسی نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله Mg، افزایش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد ($Z=1/46$). اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. شکل (۱۱) نشان‌دهنده نمودار من-کندال مربوط به Mg سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار در سال‌های ۵۶ و ۶۹ جهش‌های منفی و در سال‌های ۶۲ و ۷۴ جهش‌های مثبتی در روند تغییرات Mg رخ داده است.

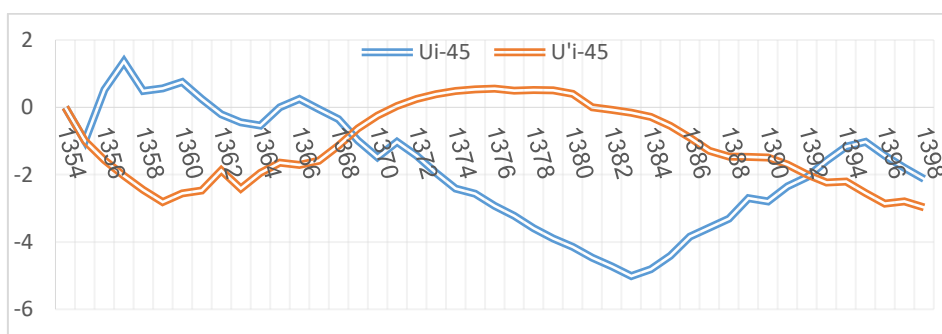


شکل ۱۱. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال Mg رودخانه آبسرد

Fig. 11. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for the Mg of Absarde river

سدیم (Na)

بررسی نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله Na، کاهش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد ($Z=-0/19$). اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. شکل (۱۲) نشان‌دهنده نمودار من-کندال مربوط به Na سالانه رودخانه می‌باشد که روند کاهشی این پارامتر را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار در سال ۶۹ روند تغییرات Na دارای جهشی به صورت کاهشی بوده و در مقابل در سال ۹۱ جهشی به صورت افزایشی اتفاق افتاده است.

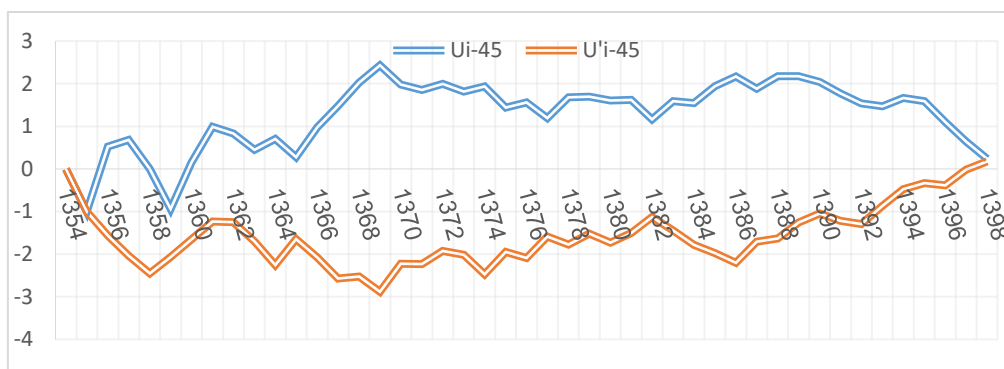


شکل ۱۲. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال Na رودخانه آبرده

Fig. 12. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for the Na of Absarde river

مجموع کاتیون‌ها

بررسی نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله مجموع کاتیون‌ها، افزایش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. شکل ۱۳ نشان‌دهنده‌ی نمودار من-کندال مربوط به مجموع کاتیون‌ها سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد.

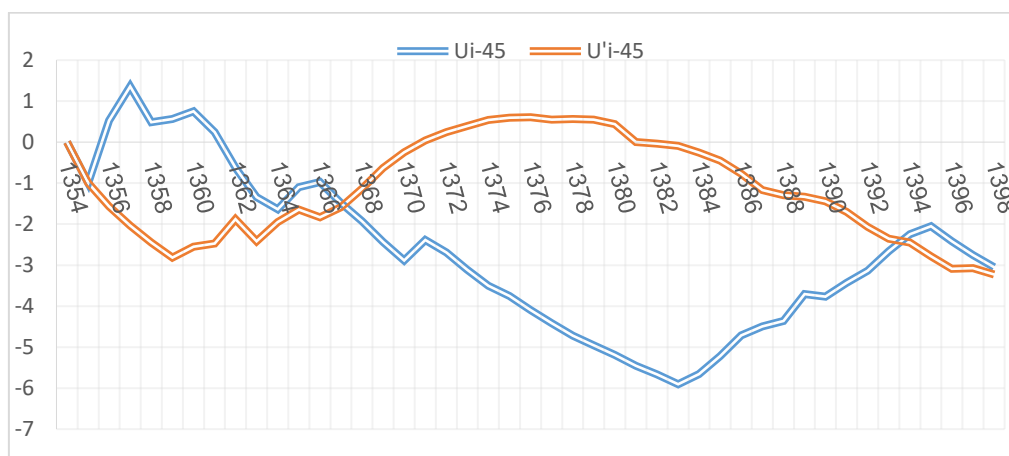


شکل ۱۳. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال مجموع کاتیون‌های رودخانه آبرده

Fig. 13. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for sum of the Cations of Absarde river

نسبت جذبی سدیم (SAR)

بررسی نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله نسبت جذبی سدیم، کاهش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. شکل ۱۴ نشان‌دهنده‌ی نمودار من-کندال مربوط به نسبت جذبی سدیم سالانه رودخانه می‌باشد که روند کاهشی این پارامتر را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار در سال ۶۷ روند تغییرات نسبت جذبی سدیم دارای جهشی به صورت کاهشی بوده و در مقابل در سال ۹۳ جهشی به صورت افزایشی اتفاق افتاده است.

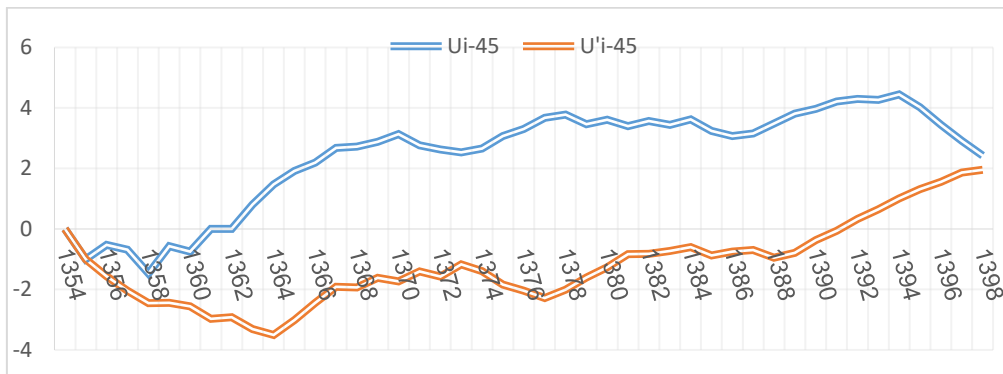


شکل ۱۴. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال SAR رودخانه آبرده

Fig. 14. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for the SAR of Absarde river

سختی کل (TH)

بررسی نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله سختی کل، افزایش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد ($Z=1/73$). اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. شکل ۱۵ نشان‌دهنده‌ی نمودار من-کندال مربوط به سختی کل سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد.

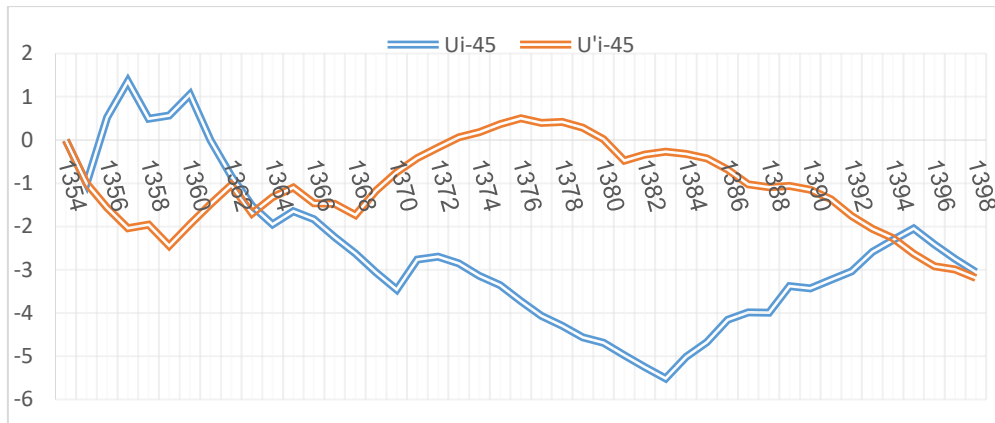


شکل ۱۵. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال سختی کل رودخانه آبسرده

Fig. 15. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for the TH of Absarde river

درصد سدیم

در این بخش به منظور بررسی کیفیت آب رودخانه مطالعاتی برای مصارف آبیاری از شاخص درصد سدیم استفاده شد. بعد از محاسبه درصد سدیم بر اساس غلظت کاتیون‌های یک و دو ظرفیتی برای منبع مطالعاتی در سال‌های مختلف، روند تغییرات آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله درصد سدیم، کاهش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد ($Z = -1/13$). اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. شکل ۱۶ نشان‌دهنده نمودار من-کندال مربوط به درصد سدیم سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار جهشی منفی در سال ۱۳۶۴ و جهشی مثبت در سال ۱۳۹۴ در روند تغییرات درصد سدیم رخ داده است.



شکل ۱۶. تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال درصد سدیم رودخانه آبسرده

Fig. 16. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for the Na% of Absarde river

طبقه‌بندی آب بر اساس نمودار ویلکاکس

در این بخش با استفاده از طبقه‌بندی ویلکاکس کیفیت آب در رودخانه آبسرده در سال‌های مورد مطالعه جهت مصارف کشاورزی مورد تحلیل قرار گرفت. جدول زیر نشان‌دهنده طبقه‌بندی ویلکاکس طی سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۹۶ می‌باشد. بر اساس این جدول به جز سال‌های ۱۳۵۵ و ۱۳۵۸ که رده کیفیت از نوع C1-S1 بوده که شیرین برای کشاورزی و کاملاً بی‌ضرر است و مابقی سال‌ها در رده C2-S1 قرار دارند که کمی شور ولی برای کشاورزی مناسب است. به‌طور کلی طبقه‌بندی ویلکاکس نشان داد که رودخانه آبسرده از نظر کشاورزی دارای محدودیت کیفی نمی‌باشد.

جدول ۴. طبقه‌بندی ویلکاکس برای سال‌های مختلف

Table 4. Wilcox classification for different years

1366	1365	1364	1363	1362	1361	1360	1359	1358	1357	1356	1355	1354	
C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C1-S1	C2-S1	C2-S1	C1-S1	C2-S1	رده
1379	1378	1377	1376	1375	1374	1373	1372	1371	1370	1369	1368	1367	سال
C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	رده
1392	1391	1390	1389	1388	1387	1386	1385	1384	1383	1382	1381	1380	سال
C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	رده
									1396	1395	1394	1393	سال
									C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1	رده

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی روند تغییرات هیدرولوژیک سالانه رودخانه آبرده طی ۴۵ سال گذشته پرداخته شد. نتایج آزمون من-کندال نشان داد که میزان آب رودخانه طی این بازه‌ی زمانی دارای روند کاهشی بوده است ($Z < 0$) ولی با توجه به مقدار آماره Z این روند از نظر آماری معنی‌دار نبوده است. در بررسی کیفیت آب رودخانه مورد مطالعه مشخص شد که وضعیت کیفی رودخانه در گذشت زمان دست‌خوش تغییرات شده و میزان اکثر آلاینده‌ها به ویژه هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول افزایش یافته است که دلیل آن را می‌توان توسعه کشاورزی و مناطق شهرنشینی در حوزه آبریز رودخانه بیان نمود. بررسی شاخص‌های تعیین‌کننده وضعیت کیفیت برای کشاورزی و آبیاری نشان داد که به‌طور کلی رودخانه آبرده برای بخش کشاورزی محدودیتی ایجاد نمی‌کند.

منابع

- Akbarpour Bazargani, M., Amiri, E. & Ashuri, M. (2022). Graphical survey and statistical analysis of qualitative and quantitative changes in river water (case study: Polroud, Gilan province). *Iranian Irrigation and Drainage Journal*, 16(3), 596-608. (In Persian)
- Chang, H. (2008). *River Morphology and River Channel Changes*.
- Dehkordi, A. K., Nafchi, R. F., Samadi-Boroujeni, H., Boroujeni, M. K., & Ostad-Ali-Askari, K. (2024). Assessment of morphological changes of river bank erosion using landsat satellite time-series images. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(3), 102455.
- Gao, L., Mei, J., Li, J., Zhang, W., & Lai, C. (2023). Effect of intense rainfall and high riverine water level on compound flood hazards in a river-valley city: A case study of Yingde, China. *Journal of Hydrology*, 625, 130044.
- Ibrahim, A.A. (2002). Irrigation water quality evaluation of Al-Hassa springs and its predictive effects on soil properties. *Pakistan Journal of Biological sciences*. 5(6), 651-655.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Measures*, Charles Griffin, London.
- Khalili, A. S. & Bazrafshan, C. (2004). An analysis of the changes in annual, seasonal, and monthly rainings in five Iranian old stations in the past one seventeen and sixteen years, *Desert*, 9(1), 25-25. (In Persian)

- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259.
- Mitryasova, O., Pohrebennyk, V., Salamon, I., Oleksiuk, A., & Mats, A. (2021). Temporal Patterns of Quality Surface Water Changes. *Journal of Ecological Engineering*, 22(4), 283-295.
- Motahedin, P., & Abdos, A. (2021). Investigating the water quality of Habaleroud River using the Iran Surface Water Resources Quality Index (IRWQISC) and the response surface method. *Iran Water Resources Research*, 17(3), 1-19.
- Nazeri Tahroudi, M., & Mirabbasi, R. (2024). Joint Frequency Analysis of discharge-Suspended Sediment Load Based on Copula Functions in the Zayanderood Qale Shahrokh Sub-Basin. *Applied water engineering researches*, online.
- Richards, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils 78,154.
- Richards, L. A. (Ed.) (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils (No. 60). US Government Printing Office.
- Sabzevari, Y., Heidari Motlgh, A., & Nasrolahi, A. (2020). Investigating the long-term annual and seasonal changes in river quality (case study: Aleshtar River). *Environment and Water Engineering*, 5(4), 292-303. (In Persian)
- Sumorok, B., Żelazna-Wieczorek, J., & Kostrzewa, K. (2009). Qualitative and quantitative phytoseston changes in two different stream-order river segments over a period of twelve years (Grabia and Brodnia, central Poland). *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 38(1), 55-63.
- Wilcox, L. V. (1948). The quality of water for irrigation use.
- Witek, Z., & Jarosiewicz, A. (2009). Long-term changes in nutrient status of river water. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18(6).
- Yan, C., Li, Z., Boota, M. W., Shi, C., & Xu, J. (2023). Identifying river changes by river pattern events: a case study of the Lower Yellow River, China. *Geocarto International*, 38(1), 2168070.
- Zhang, W. X., Yue, F. J., Wang, Y., Li, Y., Lang, Y. C., & Li, S. L. (2023). Dynamic N transport and N₂O emission during rainfall events in the coastal river. *Science of The Total Environment*, 903, 166206.