



---

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

Fateme Dadvand<sup>1</sup>, Yaser Sabzevari<sup>2\*</sup>, Jahangir Abedi Kopaei<sup>3</sup>

- 1- MSc student, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
- 2- PhD student, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
- 3- Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

\*Corresponding Author, E-mail address: y.sabzevari@ag.iut.ac.ir

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

---

### 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 آبسرده)

فاطمه دادوند<sup>۱\*</sup>، یاسر سبزواری<sup>۲</sup>، جهانگیر عابدی کویایی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

\*نویسنده مسئول، آدرس ایمیل: Y.sabzevari@ag.iut.ac.ir

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

### 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 آبسرده 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 معنی دار بوده است. از طرفی وضعیت کیفیت این رودخانه محدودیتی برای آبیاری و مصارف کشاورزی نداشته است. کلمات کلیدی: تغییرات کیفیت، دبی رودخانه، رودخانه آبسرده، من-کندال.

### مقدمه

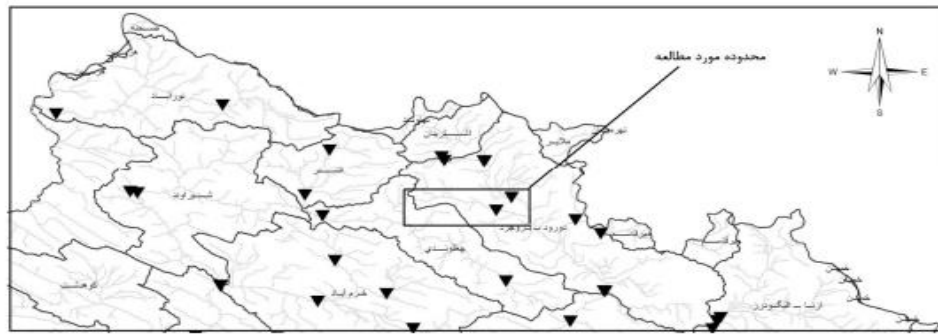
رودخانه‌ها یکی از منابع‌های مهم تامین آب شیرین هستند که بخش زیادی از آب مورد نیاز در مصارف مختلف مانند صنعت، شرب و کشاورزی را تامین می‌کنند. رودخانه‌ها در گذر زمان، تحت تأثیر تغییرات کمی و کیفی قرار گرفته‌اند. این تغییرات شامل عواملی مانند تغییرات آب و هوا، تغییر الگوی بارش، تغییرات جمعیتی و فعالیت‌های 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 شده است. 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 پایین دست 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<sub>5</sub> آب کمی آلوده است. میزان فسفات آب در قسمت پایین بسیار کم است. با توجه به محتوای جامدات معلق، در فسفات‌ها و کلاس BOD<sub>5</sub> 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 به جز Na در سطح آماری ۹۹٪ معنی‌دار بوده است. در فصول تابستان روندهای افزایشی شدیدتر و روندهای کاهش می‌یابیم رخ داد؛ به طوری که 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 کاهش می‌یابیم 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 ۶۱/۵۱٪، 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 برگیرنده بخشی از حوزه رودخانه آبرده می‌باشد. مختصات جغرافیایی حوزه مورد مطالعه بین ۲۸°۳۰' تا ۴۸°۴۲'۳۰" طول شرقی ۴۴' ۳۳° تا ۵۳' ۳۳° 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 نشان‌دهنده 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: Ca، Mg، Na، sum K، SAR، TH، TDS، EC، HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>، pH، Cl<sup>-</sup>، SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>، sumA 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 gام 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  $\theta$  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 به‌طور 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<sub>gk</sub> 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 دنباله ی U و U<sup>^</sup> در برابر هم ترسیم می شوند. دنباله ی U مقادیر سری زمانی پارامتر و دنباله ی U<sup>^</sup> همان مقادیر پارامتر در برابر ترتیب برعکس زمان می باشد. برای تعیین روند و نقاط جهش (تغییر ناگهانی در روند)، U نسبت به محور x و U<sup>^</sup> نسبت به محور y ترسیم می گردد.

### طبقه بندی آب از نظر کشاورزی

#### بررسی کیفیت آب آبیاری بر اساس درصد سدیم

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

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

در این معادله، تمامی غلظت ها بر حسب میلی اکی والان در لیتر است.

#### طبقه بندی ویلکاکس، دپارتمان کشاورزی آمریکا

طبقه بندی ویلکاکس یکی از مهم ترین طبقه بندی ها در زمینه تعیین کیفیت آب کشاورزی است که بر مبنای دو پارامتر هدایت الکتریکی (بر حسب میکروموس بر سانتیمتر،  $EC \times 10^6$ ) و نسبت جذب سدیم به عنوان خطر قلیاییت در نظر گرفته می شود (Wilcox, 1948). نسبت جذب سدیم SAR طبق رابطه زیر با افزایش سدیم افزایش می یابد (Richards, 1954).

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

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

### طبقه بندی آب از نظر شرب

#### استانداردهای کیفیت آب

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

#### نتایج و بحث

در پژوهش حاضر نتایج به دو بخش تقسیم می شود:

#### بررسی تغییرات کیفیت آب

همانطور که پیش از این بیان شد، به منظور بررسی تغییرات کیفیت آب در ماه های مختلف در طول ۴۵ سال، از آمار ماهانه ثبت شده در ایستگاه مطالعاتی استفاده شد. در جدول های (۱) و (۲) مقادیر پارامترهای کیفی رودخانه آبرده بر اساس استانداردهای جهانی WHO، EU، EPA، استاندارد ملی ایران (۱۰۵۳) و سازمان حفاظت محیط زیست ایران مقایسه شده است.

جدول ۱- مقایسه نتایج کیفیت شیمیایی آب در ایستگاه آبرده

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

آبرده	استاندارد ملی ایران		استاندارد EU	استاندارد EPA	استاندارد who	واحد	پارامتر
	حداکثر	حداکثر مطلوب					
مطلوب	6.5-9	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	-	pH
استاندارد ملی ایران: مطلوب استاندارد EU: نامطلوب	2000	1500	400	-	-	μS/cm	EC
استاندارد WHO و ملی ایران: مطلوب استاندارد EU و EPA: نامطلوب	1500	100	500	500	1000	mg/l	TDS
مطلوب	400	250	250	500	400	mg/l	SO <sub>4</sub>
مطلوب	400	250	250	250	250	mg/l	Cl
مطلوب	400	300	100	-	200	mg/l	Ca
مطلوب	150	30	50	-	150	mg/l	Mg
مطلوب	200	200	150	-	200	mg/l	Na
مطلوب	-	-	12	-	-	mg/l	K

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

آبرده	استاندارد کیفیت منابع آب برای کاربری کشاورزی	استاندارد کیفیت منابع آب برای کاربری شرب		واحد	پارامتر
		گروه ۲	گروه ۱		
مطلوب	6.5-8.4	5.5-9	6.5-8.5	-	pH
مطلوب	3000	2000	1000	μS/cm	EC
مطلوب	-	400	250	mg/l	SO <sub>4</sub>

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 SO<sub>4</sub> 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 SO<sub>4</sub> با استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، استاندارد ملی ایران، WHO، EU و EPA در جدول‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که مقادیر SO<sub>4</sub> در دامنه مطلوب و استاندارد قرار دارد. تغییرات غلظت HCO<sub>3</sub> نشان می‌دهد که بیشترین مقدار HCO<sub>3</sub> ۴/۸ میلی‌اکی‌والانت در لیتر است. غلظت پارامتر

CO<sub>3</sub> طی ۴۵ سال در رودخانه آبرده بین صفر تا ۰/۲ میلی‌اکی‌والانت در لیتر ثبت شده است. آنیون‌های CO<sub>3</sub> و HCO<sub>3</sub> سبب قلیایی 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 سدیم از حداقل ۰/۰۱ میلی‌اکی‌والانت در لیتر تا حداکثر ۰/۰۶ 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.

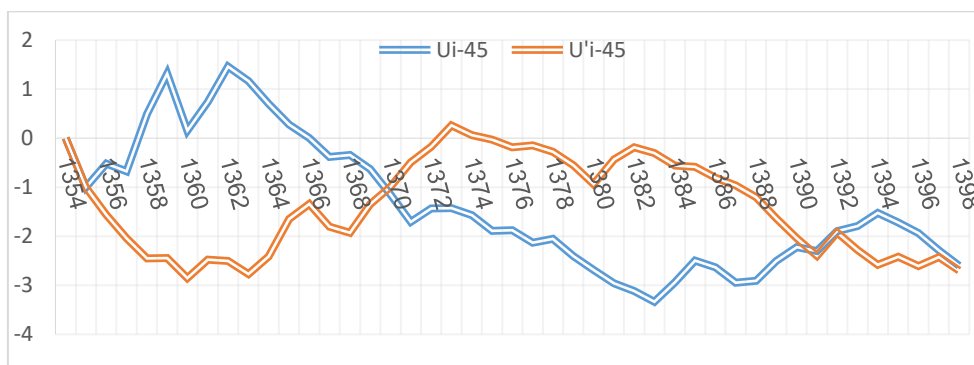
جدول ۳- مقدار آماره من-کندال متغیرهای کمی و کیفی رودخانه آبرده

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

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

## 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.

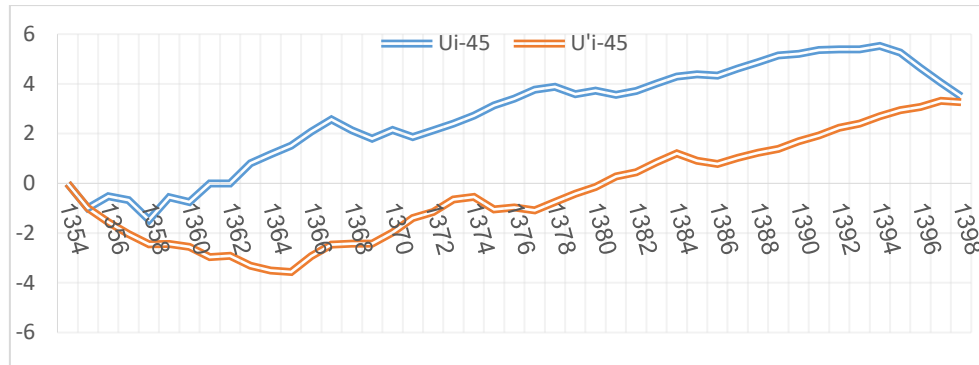


شکل ۲- تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال برای دبی رودخانه آبرده

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.

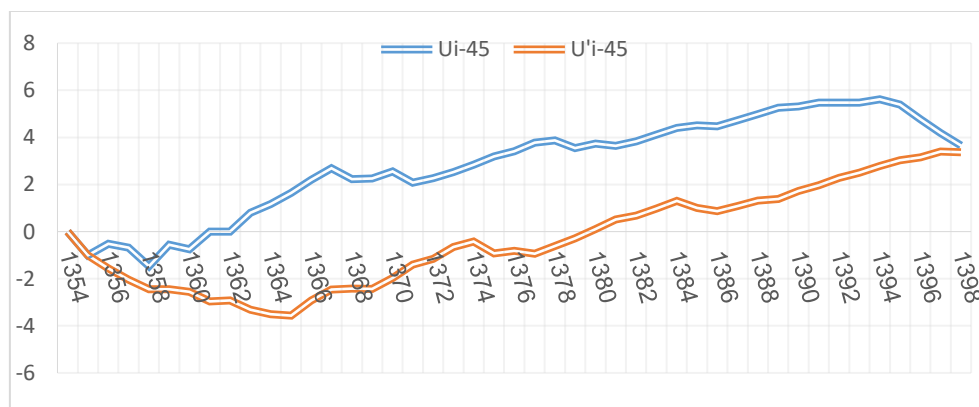


شکل ۳- تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال برای املاح محلول رودخانه آبرده

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 آبرده

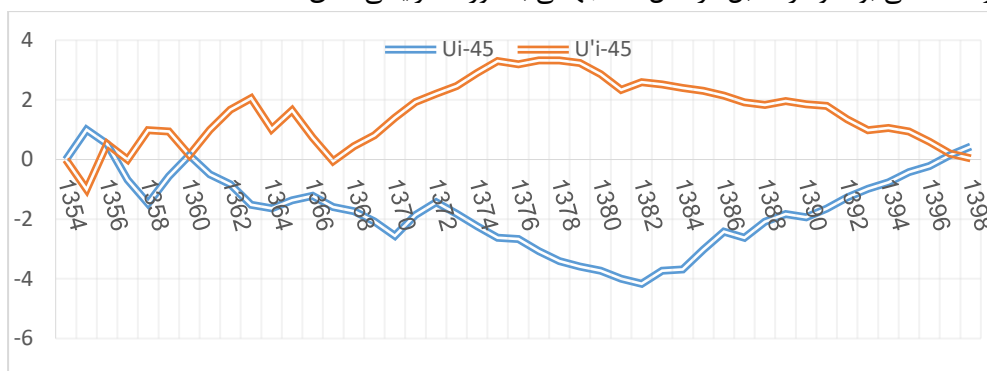
Fig. 4. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for the EC of Absarde river

### 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 می باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می دهد. 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.

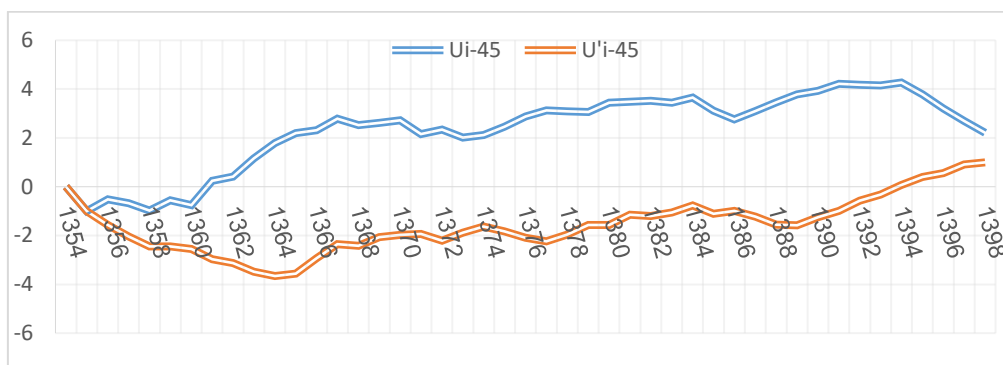


شکل ۵- تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال pH رودخانه آبرسره

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

### بی کربنات کلسیم (HCO<sub>3</sub>)

بررسی نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات HCO<sub>3</sub> ۴۵ ساله، افزایش در میزان این پارامتر را نشان می دهد (Z=۱/۲۲). اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این افزایش از نظر آماری معنی دار نمی باشد. شکل (۶) نشان دهنده نمودار من-کندال مربوط به HCO<sub>3</sub> سالانه رودخانه می باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می دهد.

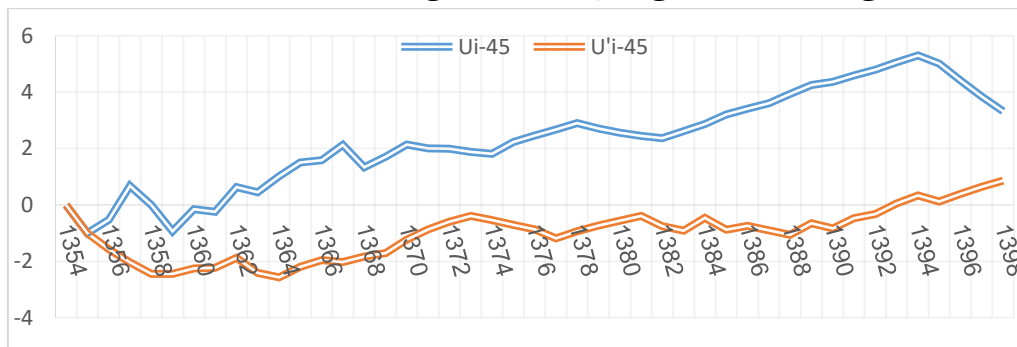


شکل ۶- تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال HCO<sub>3</sub> رودخانه آبرسره

Fig. 6. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for the HCO<sub>3</sub> of Absarde river

### کلر (Cl)

بررسی نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات Cl ۴۵ ساله، افزایش در میزان این پارامتر را نشان می دهد (Z=۰/۱). اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این افزایش از نظر آماری معنی دار نمی باشد. شکل (۷) نشان دهنده نمودار من-کندال مربوط به Cl سالانه رودخانه می باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می دهد.

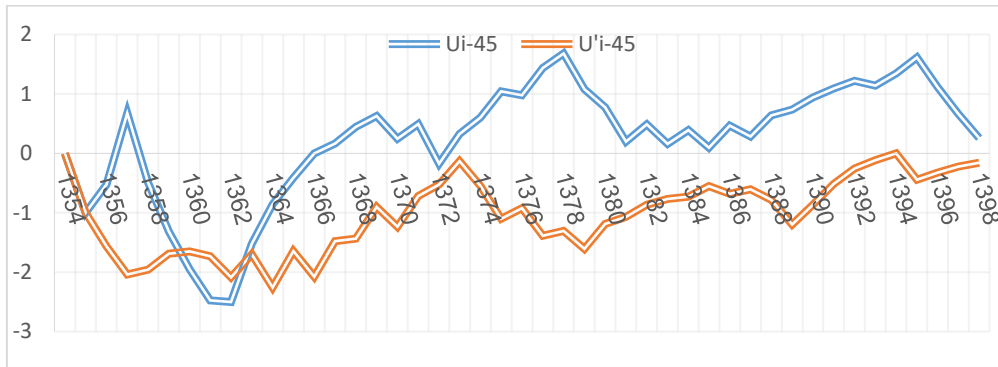


شکل ۷- تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال Cl رودخانه آبرسره

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

سولفات (SO<sub>4</sub>)

بررسی نتایج آزمون من-کندال جهت بررسی روند تغییرات ۴۵ ساله SO<sub>4</sub>، افزایش در میزان این پارامتر را نشان می‌دهد ( $Z=1/12$ ). 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 SO<sub>4</sub> سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار در سال ۶۰ روند تغییرات SO<sub>4</sub> دارای جهشی به صورت کاهشی بوده و در مقابل در سال ۶۳ جهشی به صورت افزایشی اتفاق افتاده است.

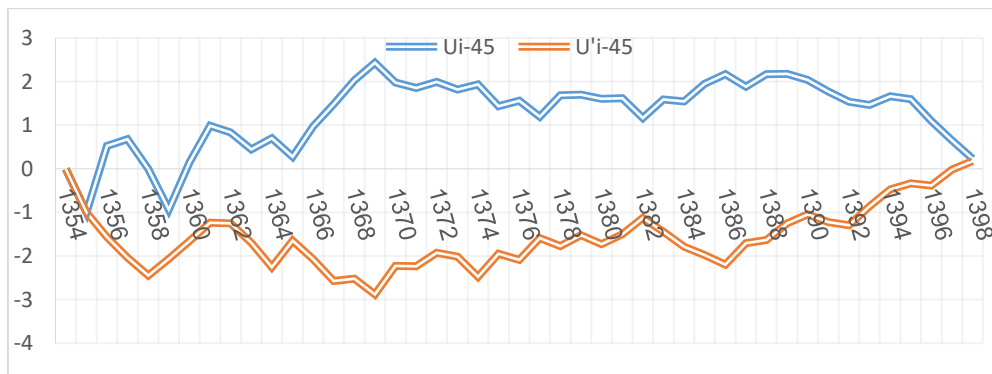


شکل ۸- تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال SO<sub>4</sub> رودخانه آبسرد

Fig. 8. Determining the 45-year mutation points using the Mann-Kendall diagram for the so<sub>4</sub> 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 ( $Z=1.4$ ). 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.

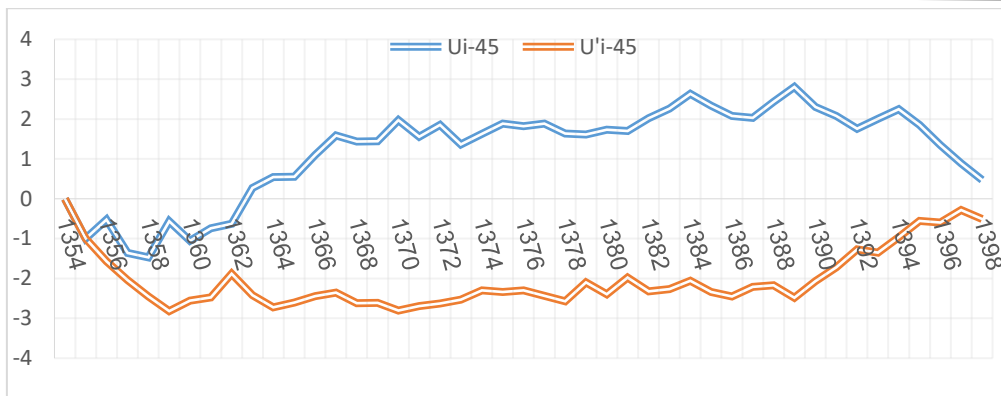


شکل ۹- تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال مجموع آنیون‌ها رودخانه آبسرد

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 ( $Z=0/1$ ). 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.

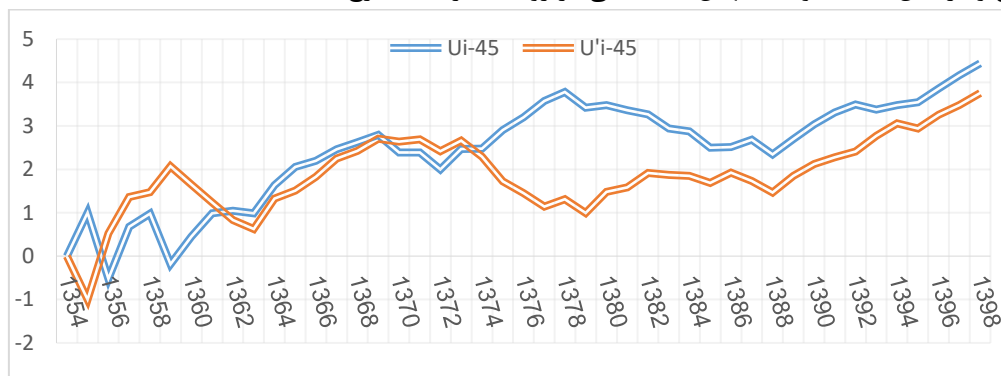


شکل ۱۰- تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال Ca رودخانه آبسرده

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.

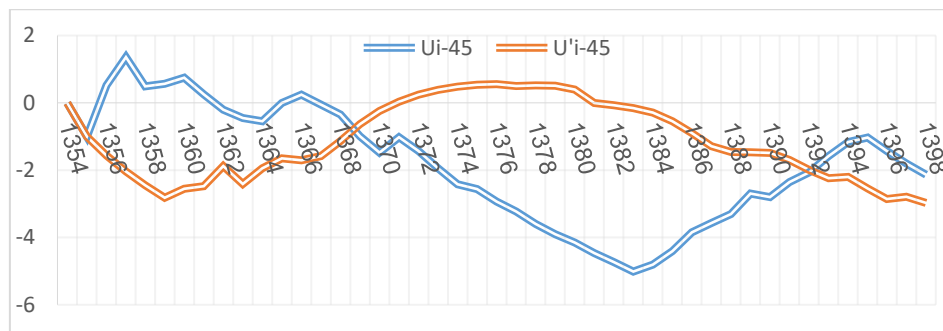


شکل ۱۱- تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال Mg رودخانه آبسرده

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.

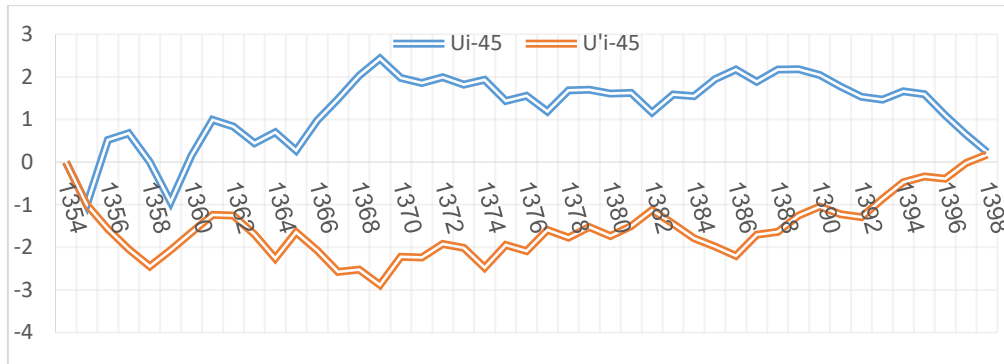


شکل ۱۲- تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال Na رودخانه آبسرده

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 ( $Z=1/77$ ). اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. شکل ۱۳ نشان‌دهنده نمودار من-کندال مربوط به مجموع کاتیون‌ها سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد.

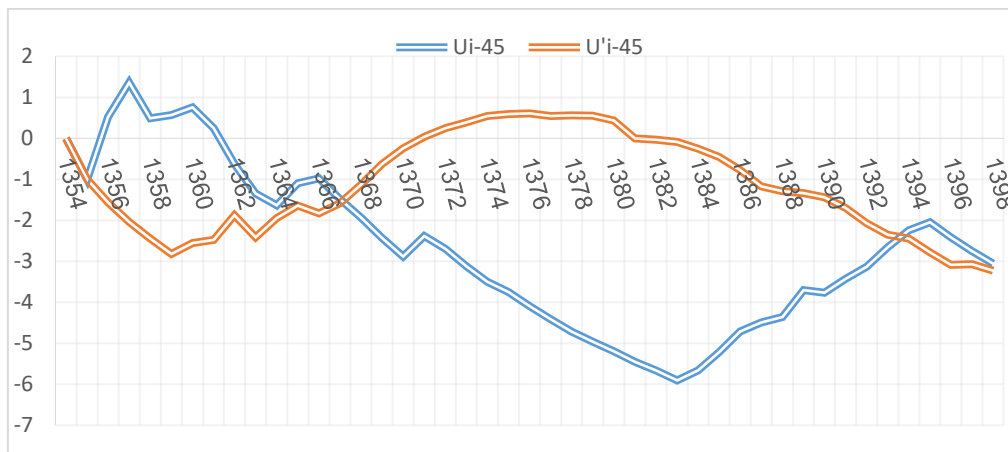


شکل ۱۳- تعیین نقاط جهش ۴۵ ساله به روش نمودار من-کندال مجموع کاتیون‌های رودخانه آبرده

**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 ( $Z=-0/31$ ). اما با توجه به مقدار آماره من-کندال این پارامتر، این کاهش از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. شکل ۱۴ نشان‌دهنده 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 نشان‌دهنده نمودار من-کندال مربوط به سختی کل سالانه رودخانه می‌باشد که روند افزایشی این پارامتر را نشان می‌دهد.



سال	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392
رده	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
سال	1393	1394	1395	1396									
رده	C2-S1	C2-S1	C2-S1	C2-S1									

### 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 N<sub>2</sub>O emission during rainfall events in the coastal river. *Science of The Total Environment*, 903, 166206.