

مقاله علمی-پژوهشی

## بررسی یکپارچه روند پارامترهای هیدرومتئورولوژیک با تلفیق داده‌های زمینی و سنجش از دور در حوضه آبریز دز

زهره ایزدی<sup>۱</sup>، حسن ترابی پوده<sup>۲\*</sup>، علی حیدر نصرالهی<sup>۳</sup>، محمد ناظری تهرودی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۳

### چکیده

در این پژوهش، روند تغییرات بلندمدت پارامترهای هیدرومتئورولوژیک شامل بارش، دبی، شاخص سطح برگ (LAI)، پوشش سطح برف و تبخیر-تعرق (ET) در حوضه آبریز دز طی دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ با استفاده از داده‌های زمینی و ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های ماهواره‌ای از پلتفرم Google Earth Engine استخراج و به‌منظور تحلیل روند، از آزمون ناپارامتریک من-کندال اصلاح‌شده (MMK) با حذف اثرات خودهمبستگی و تخمین گر شیب سن استفاده شد. نتایج نشان داد که در اغلب ایستگاه‌های بارانسنجی، روند مشخص و معنی‌داری در بارش مشاهده نشده و تنها ایستگاه دورود کاهش معنی‌دار و ایستگاه ونایی افزایش قابل توجهی را ثبت کرده‌اند. در مقابل، بررسی دبی رودخانه‌ها بیانگر روند کاهشی غالب در سطح حوضه است، به‌ویژه در ایستگاه‌های سبزه چم‌چیت و تله‌زنگ که کاهش معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده شد. داده‌های سنجش از دور نیز نشان دادند که پوشش برف روند کاهشی معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۰ درصد داشته، در حالی که شاخص سطح برگ با افزایش معنی‌دار ( $Z=2.43$ ) همراه بوده است. پارامتر تبخیر-تعرق فاقد روند معنی‌دار بود که می‌تواند ناشی از محدودیت منابع آبی و تعادل بین افزایش پوشش گیاهی و کمبود رطوبت خاک باشد. به‌طور کلی، یافته‌ها بیانگر کاهش منابع آب سطحی در اثر ترکیب تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی است و لزوم مدیریت هوشمندانه و پایدار منابع آب و ارزیابی سناریوهای سازگاری را برجسته می‌سازد.

**واژه‌های کلیدی:** آزمون من-کندال اصلاح‌شده، تحلیل روند، سامانه گوگل ارث انجین، شیب سن

### مقدمه

(2011). با این حال، تغییرات اقلیمی به یکی از چالش‌های اساسی قرن حاضر تبدیل شده و تعادل طبیعی چرخه هیدرولوژیکی را در بسیاری از نقاط جهان بر هم زده است (IPCC, 2021). افزایش دمای جهانی و تغییرات در الگوهای بارش، تأثیرات قابل توجهی بر چرخه هیدرولوژیکی داشته‌اند (Abu Arra et al., 2025a; Trenberth, 2011). این تغییرات می‌توانند به بروز پدیده‌های حدی مانند سیل، خشکسالی و تغییر در رژیم جریان رودخانه‌ها منجر شوند (Vörösmarty et al., 2010). از این رو، درک روند بلندمدت متغیرهای هیدرومتئورولوژیک برای مدیریت منابع آب، پیش‌بینی بلایای طبیعی و تدوین استراتژی‌های سازگاری با تغییرات اقلیمی امری ضروری است.

در سال‌های اخیر، گسترش فناوری سنجش از دور، امکان استخراج داده‌های مکانی-زمانی با پوشش وسیع برای پارامترهای هیدرومتئورولوژیک را فراهم کرده است. این داده‌ها می‌توانند در کنار داده‌های ایستگاه‌های زمینی برای تحلیل جامع روند تغییرات مورد استفاده قرار گیرند (Zhang et al., 2018). پلتفرم ابری گوگل ارث

چرخه‌ی آب یکی از ارکان اساسی فرآیندهای زیست‌محیطی، هیدرولوژیکی و اقلیمی به شمار می‌آید که ارتباط متقابل میان اتمسفر، سطح زمین و اقیانوس‌ها برقرار می‌کند و در تنظیم تعادل انرژی و توزیع منابع آب نقش کلیدی دارد (Trenberth et al., )

۱ دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- استاد گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۴- دانشیار گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی علوم آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

(\* نویسنده مسئول: Email: torabi1976@gmail.com)

DOI: [10.22034/ijdi.2026.561327.2647](https://doi.org/10.22034/ijdi.2026.561327.2647)

تلفیق تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های آماری، روند افزایشی دما و کاهش بارش و دبی را مستندسازی کردند.

در مطالعات بین‌المللی، ابو آرا و همکاران در ترکیه با استفاده از روش‌های من-کندال، شیب سن و شیب سن استاندارد شده (SSS) به بررسی روند دما و بارش طی دوره ۵۴ ساله پرداختند. نتایج نشان داد روند دما در ۷۵ درصد ایستگاه‌ها افزایشی است. برای بارش، تنها دو ایستگاه روند کاهش ناچیز نشان دادند. همچنین روش SSS سازگاری بیشتری با من-کندال نسبت به شیب سن کلاسیک نشان داد (Abu Arra et al., 2025b). ابو آرا و همکاران چارچوب-ITA-NF را ارائه نمودند که روش تحلیل روند سنتی سن را با ادغام شاخص‌های بارش شدید، استانداردسازی آماری و رویکرد طبقه‌بندی نوآورانه مبتنی بر انحراف معیار (ITA-NF) بهبود بخشید. این چارچوب امکان تحلیل عینی و دقیق روندها را با نمایش تغییرات فراوانی در طبقات مختلف فراهم می‌کند (Abu Arra et al., 2025a). کسکین و همکاران با معرفی روش شیب سن مبتنی بر ریسک (RSS) در حوضه غربی دریای سیاه ترکیه، افزایش ۲/۰۹ درجه سانتیگرادی دما را در سطح اطمینان ۰/۹۹ برآورد کردند (et al., 2025). ابو آرا و سیسمن در مطالعه‌ای به مقایسه روش‌های پارامتری و ناپارامتری در مدل سازی خشکسالی پرداختند و برتری روش‌های ناپارامتری را در ارزیابی خشکسالی به‌ویژه در مقیاس‌های بلندمدت نشان دادند (Abu Arra and Şişman., 2025). همچنین توگرو و هینیس در سد آپای ترکیه با استفاده از روش ITA موفق به شناسایی روند افزایشی خشکسالی هیدرولوژیکی در تمام ماه‌ها شدند (Tuğrul and Hınıs, 2024). ابو آرا و سیسمن با معرفی ماتریس نوآورانه طبقه‌بندی خشکسالی (IDCM)، دوره‌های زمانی ۱۰ و ۲۰ ساله را به عنوان حداقل دوره قابل قبول برای ارزیابی خشکسالی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت پیشنهاد دادند (Abu Arra and Şişman, 2024). کسجین و همکاران نیز در منطقه ساحلی مدیترانه ترکیه تغییرات ناگهانی در بیش از ۸۵٪ سری‌های زمانی و تغییر روند خشکسالی با افزایش مقیاس زمانی را گزارش کردند (et al., 2025). Kesgin. در نهایت، کوگ بیگ بد و همکاران در بنین و چوداری و همکاران در کارناتاکای هند، با به‌کارگیری روش‌های نوین تحلیل روند، برتری چشمگیر روش ITA را در شناسایی روندهای معنی‌دار بارش در مقایسه با روش‌های سنتی نشان دادند (Kougbeagbed et al., 2024; Chowdari et al., 2023).

با وجود حجم گسترده مطالعات در زمینه تحلیل روند، مطالعاتی که به بررسی همزمان روند متغیرهای هیدرومتئورولوژیک در یک حوضه آبریز با تلفیق داده‌های زمینی و ماهواره‌ای پرداخته باشند، محدود است. بنابراین، هدف از این مطالعه، تحلیل روند تغییرات پارامترهای هیدرومتئورولوژیک (دبی، بارش، شاخص سطح برگ،

انجین (GEE)، امکان استخراج کارآمد سری‌های زمانی و اطلاعات منابع آبی مانند مساحت سطح آب، رطوبت سطحی و زیر سطحی، بارش باران، سطح پوشش برف، عمق برف، آب معادل برف، آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق، پوشش گیاهی، آشکارسازی مناطق سیل زده، پایش خشک‌سالی و غیره را فراهم کرده است و در اختیار کاربران و پژوهشگران قرار می‌دهد (Gorelick et al., 2017).

برای دستیابی به تحلیلی جامع، تلفیق داده‌های زمینی با داده‌های مشتق شده از سنجش از دور رویکردی نوآورانه و کارآمد محسوب می‌شود (McCabe et al., 2017). از روش‌های معمول در تحلیل سری‌های زمانی داده‌های هیدرومتئورولوژیک، بررسی وضعیت روند در داده‌هاست که می‌تواند ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی، تغییرات اقلیمی یا تأثیرات فعالیت‌های انسانی باشد (معروفی و طبری، ۱۳۹۰). برای تحلیل علمی این داده‌ها، استفاده از آزمون‌های ناپارامتریکی ضروری است. آزمون من-کندال (MK) و تخمین‌گر شیب سن (SS) به‌طور گسترده‌ای برای تشخیص و تعیین مقدار روند در داده‌های محیط‌زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Helsel and Hirsch, 2002; Sen, 2012). مطالعات متعددی در حوزه تحلیل روند تغییرات پارامترهای هیدرومتئورولوژیک انجام شده است که عمدتاً به بررسی روندهای تک‌متغیره‌ای همچون دبی رودخانه، دما و بارش پرداخته‌اند (Verma et al., 2023; Alashan., 2023; Gao et al., 2017). ادامه، مروری بر مهم‌ترین دستاوردهای این پژوهش‌ها ارائه می‌شود.

در ایران، پژوهش‌هایی همچون علیزاده و حسینی (۱۴۰۲) در حوضه تجن، نوروزی و همکاران (۱۴۰۱) در خوزستان، و امیدوار و همکاران (۱۴۰۳) در مقیاس ملی، با به‌کارگیری روش‌های آماری ناپارامتریکی به‌ویژه آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن، به ترتیب کاهش دبی رودخانه، افزایش دما و کاهش بارش را گزارش کرده‌اند. پژوهش حسونند و همکاران (۱۴۰۱) در حوضه‌های کرخه و دز نشان داد روش ITA (تحلیل روند نوآورانه) در مقایسه با آزمون من-کندال، توانایی بهتری در شناسایی روندهای پنهان و نایک‌نواخت سری‌های زمانی بارش دارد. مطالعاتی نظیر سیزواری و همکاران (۱۴۰۱) در لرستان و بالویی و همکاران (۱۴۰۳) در خوزستان، با استفاده از شاخص‌های خشکسالی و روش‌های ناپارامتریکی، روند افزایشی خشکسالی و کاهش منابع آبی را تأیید نموده‌اند. نتایج پژوهش ناظری تهرودی و همکاران (۱۳۹۶) در حوضه دریاچه ارومیه ترکیبی از روند کاهش و افزایش بارش را ارائه داد. علیزاده و جعفری (۱۴۰۳) در استان اصفهان کاهش پوشش گیاهی و افزایش دمای سطح زمین را در بیشتر زیست‌اقلیم‌ها شناسایی کردند. در حوزه پایش ماهواره‌ای، ابراهیمی خوسفی (۱۴۰۲) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه سیستان، کاهش معنادار پهنه‌های آبی دائمی و منابع آب زیرزمینی را که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی بوده، مورد تأکید قرار داد. علوی و همکاران (۱۴۰۲) نیز در تالاب میانکاله با

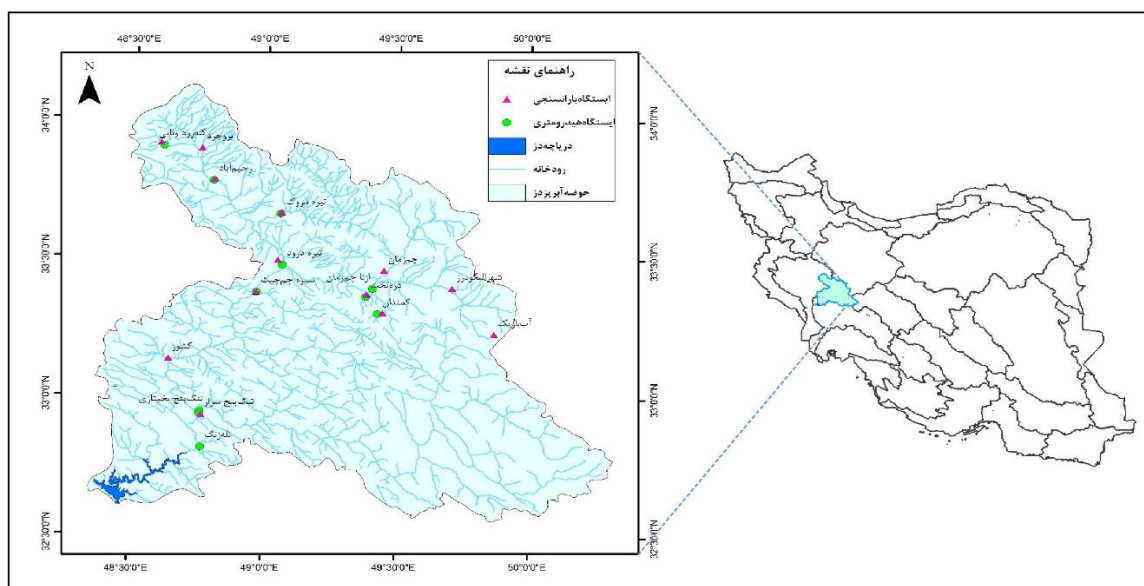
منطقه دارد. این حوضه با دارا بودن سد بزرگ دز، یکی از اصلی‌ترین منابع آبی برای استان‌های خوزستان و لرستان محسوب می‌شود. همچنین، این منطقه به دلیل قرارگیری در یک اقلیم نیمه‌خشک و تأثیرپذیری از سامانه‌های مختلف جوی، از نظر مطالعات تغییرات اقلیمی و تحلیل روندهای هیدروولوژیکی بسیار حائز اهمیت است. این حوضه آبریز در مختصات جغرافیایی  $48^{\circ}17'$  تا  $50^{\circ}20'$  طول شرقی و  $32^{\circ}17'$  تا  $34^{\circ}15'$  عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱).

پوشش برف و تبخیر-تعرق) با استفاده از آزمون‌های ناپارامتریک و تلفیق داده‌های زمینی با داده‌های مستخرج از پلتفرم Google Earth Engine در حوضه آبریز دز است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌ها

حوضه آبریز دز از حوضه‌های حیاتی و استراتژیک در غرب ایران است که نقش مهمی در تأمین آب شرب، کشاورزی و تولید برق



شکل ۱- حوضه آبریز دز و موقعیت ایستگاه‌ها

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های بارانسنجی در حوضه آبریز دز

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)	ارتفاع (متر)	میانگین (میلیمتر)	انحراف معیار
۱	چم‌چیت	۹۷.۴۸	۳۸.۳۳	۱۲۹۹	۶۶/۹۴	۲۲/۲۴
۲	کشور	۶۴.۴۸	۱۴.۳۳	۷۶۰	۷۵/۹۴	۲۵/۵۸
۳	بروجرد	۷۵.۴۸	۸۹.۳۳	۱۵۷۰	۴۳/۵۳	۱۱/۵۵
۴	شهر دورود	۰۵.۴۹	۴۹.۳۳	۱۴۸۹	۵۵/۳۳	۱۶/۲۶
۵	ونایی	۵۹.۴۸	۹۱.۳۳	۱۹۶۶	۶۲/۱۰	۲۰/۹۶
۶	مروک دوخواهران	۰۶.۴۹	۶۷.۳۳	۱۵۶۲	۳۲/۳۵	۱۰/۳۷
۷	چم‌زمان	۴۵.۴۹	۴۶.۳۳	۱۸۶۹	۳۹/۳۱	۱۳/۸۵
۸	دره تخت	۳۸.۴۹	۳۷.۳۳	۱۸۶۵	۵۸/۶۰	۱۶/۸۱
۹	شهر الیگودرز	۷۱.۴۹	۴۰.۳۳	۲۰۰۷	۵۳/۴۵	۱۴/۱۷
۱۰	کمندان	۴۴.۴۹	۳۱.۳۳	۲۰۲۴	۶۱/۶۱	۱۸/۵۳
۱۱	آب‌باریک	۸۷.۴۹	۲۳.۳۳	۲۶۲۲	۳۱/۸۶	۱۱/۴۳
۱۲	رحیم‌آباد	۸۰.۴۸	۷۸.۳۳	۱۴۸۲	۳۹/۹۳	۱۱/۹۳
۱۳	تنگ‌پنج‌بختیاری	۷۷.۴۸	۹۳.۳۲	۶۲۹	۸۴/۶۲	۲۳/۹۹

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری در حوضه آبریز دز

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی (E)	عرض جغرافیایی (N)	ارتفاع (متر)	میانگین (مترمکعب بر ثانیه)	انحراف معیار
۱	ازنا چم‌زمان	۴۱.۴۹	۳۹.۳۳	۱۸۴۳	۰/۷۲	۰/۸۰
۲	دره تخت	۳۸.۴۹	۳۶.۳۳	۱۹۰۱	۱/۲۶	۰/۳۳
۳	گله‌رود ونایی	۶۱.۴۸	۹۰.۳۳	۱۹۴۹	۱/۷۸	۰/۴۴
۴	کمندان	۴۳.۴۹	۳۰.۳۳	۲۰۹۰	۱/۳۰	۰/۴۵
۵	رحیم‌آباد	۸۰.۴۸	۷۸.۳۳	۱۴۸۴	۵/۱۲	۳/۲۱
۶	سبزه چم‌چیت	۹۷.۴۸	۳۸.۳۳	۱۲۹۴	۷/۹۷	۴/۸۲
۷	تیره دورود	۰۶.۴۹	۴۸.۳۳	۱۴۴۲	۱۰/۹۱	۷/۸۴
۸	تیره مروک	۰۵.۴۹	۶۶.۳۳	۱۵۴۶	۲/۳۶	۲/۵۲
۹	تنگ پنج بختیاری	۷۶.۴۸	۹۵.۳۲	۵۶۱	۱۰۷/۱۷	۳۷/۹۳
۱۰	تنگ پنج سزار	۷۶.۴۸	۹۴.۳۲	۵۷۴	۸۲/۳۸	۴۲/۶۰
۱۱	تله زنگ	۷۷.۴۸	۸۲.۳۲	۵۹۷	۲۰۰/۱۴	۸۳/۶۱

رابطه (۳) و (۴) قابل محاسبه می‌باشند. در نهایت آماره Z من-کندال، از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

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

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \times \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2) \cdot r_i \quad (3)$$

$$r_i = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

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

براساس پژوهش حامد و راثو، این روش در مقایسه با آزمون مرسوم من-کندال از دقت بیشتری در تشخیص معنی‌داری روند برخوردار است، بدون آنکه تاثیر منفی بر توان آزمون داشته باشد (Hamed and Rao., 1998). این روش در تحقیقات زیادی مانند Kumar و همکاران (۲۰۰۹) و Khalig و همکاران (۲۰۰۹) به کار برده شده است.

در آزمون من-کندال، آماره استاندارد شده‌ی آزمون (Z) با مقادیر بحرانی متناظر با سطوح معنی‌داری مختلف از توزیع نرمال استاندارد مقایسه می‌شود. در سطح معنی‌داری  $\alpha$ ، اگر مقدار مطلق آماره آزمون  $|Z|$  کوچکتر یا مساوی مقدار بحرانی  $Z(1-\alpha/2)$  باشد، فرضیه صفر پذیرفته می‌شود که نشان‌دهنده عدم وجود روند معنی‌دار در داده‌ها است. در مقابل، چنانچه  $|Z|$  از مقدار بحرانی فراتر رود، فرضیه صفر رد شده و وجود یک روند معنی‌دار در داده‌ها تأیید می‌شود (Helsel et al., 2020).

در این مطالعه، برای بررسی روندها، سطوح معنی‌داری  $\alpha$  برابر ۰/۲۰، ۰/۱۵، ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ به کار گرفته شده‌اند. به طور مشخص، مقادیر بحرانی Z برای سطوح  $\alpha$  فوق به ترتیب برابر ۱/۲۸، ۱/۴۴، ۱/۶۴، ۱/۹۶ و ۲/۵۸ هستند؛ بنابراین اگر مقدار  $|Z|$  از این حدود

در این مطالعه، داده‌های ماهانه بارش و دبی در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ از شرکت آب منطقه‌ای لرستان و سازمان آب و برق خوزستان اخذ گردید. همچنین، داده‌های ماهواره‌ای شاخص سطح برگ (LAI)، پوشش سطح برف و تبخیر-تعرق با استفاده از سنجش از دور و پلتفرم Google Earth Engine برای همین بازه زمانی استخراج شد. در نهایت، ۱۳ ایستگاه باران‌سنجی و ۱۱ ایستگاه هیدرومتری به‌عنوان پایه تحلیل روند بارش و دبی انتخاب شدند. جهت تحلیل روند متوسط ماهانه پارامترهای ذکر شده در هر سال و تغییرات آن در طول دوره مورد بررسی از آزمون من-کندال اصلاح شده و تخمینگر شیب سن استفاده شد که در ادامه به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

در شکل ۱، موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز دز به همراه پراکنش ایستگاه‌های بارانسنجی و هیدرومتری نمایش داده شده است. مشخصات این ایستگاه‌ها به تفکیک، در جداول ۱ (ایستگاه‌های بارانسنجی) و ۲ (ایستگاه‌های هیدرومتری) ارائه شده است.

### آزمون من-کندال اصلاح شده

در این پژوهش اگرچه داده‌ها به مقیاس سالانه تبدیل شده‌اند، اما برای اطمینان از کنترل اثر هرگونه خودهمبستگی باقی مانده، از آزمون من-کندال اصلاح شده (Modified MK) استفاده شد.

آزمون من-کندال اصلاح شده (MMK) به منظور حذف اثر کامل ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار توسط Hamed و Rao (۱۹۹۸) ارائه گردید. در این آزمون همه ساختار خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی بررسی و حذف می‌گردد. ابتدا واریانس اصلاح شده که با  $V(S)^*$  نشان داده می‌شود به شرح زیر حساب می‌شود:

$$V(S)^* = V(S) \cdot \frac{n}{n^*} \quad (1)$$

که در آن،  $V(S)$  از رابطه (۲)،  $n^*$  اندازه مؤثر نمونه و  $r_i$  ضریب خودهمبستگی با تأخیر  $i$  در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد به ترتیب از

روند آماری معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند. براساس نقشه روند شکل ۲ (که در این مطالعه با استفاده از روش درون‌یابی مکانی وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) تولید شدند) و جدول ۳ مقادیر آماره Z من-کندال و شیب سن (Sen's Slope) در این ایستگاه‌ها نزدیک به صفر بوده که نشان‌دهنده ثبات نسبی در مقادیر بارش سالانه در طول دوره مطالعه (۲۰۰۲-۲۰۲۱) است. این نتیجه می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که در مقیاس کلی حوضه، تغییرات اقلیمی تأثیر یکنواخت و معنی‌داری بر مقدار کل بارش سالانه نداشته است. مطالعه امیدوار و همکاران (۱۴۰۳) در مقیاس ملی بر ناپایداری و عدم وجود روند یکنواخت در بارش پاییزه ایران تأکید کرده است. همچنین، تحقیق حسونند و همکاران (۱۴۰۱) در همین حوضه (کرخه و دز) نشان داده که روند بارش بسیار پراکنده و غیریکنواخت است و به کارگیری روش‌های پیشرفته‌تری مانند ITA برای شناسایی روندهای پنهان ضروری می‌باشد.

در میان ایستگاه‌های مورد بررسی ایستگاه شهر دورود با آماره Z برابر با ۲/۱۱ و شیب سن برابر ۱/۶۳- تنها ایستگاهی است که یک روند کاهشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان می‌دهد. این کاهش می‌تواند ناشی از عوامل محلی از جمله تغییر در الگوهای جوی منطقه‌ای، تأثیرات توپوگرافی یا حتی فعالیت‌های انسانی باشد. در مقابل، ایستگاه ونایی یک روند افزایشی بسیار معنی‌دار را در سطح اطمینان ۹۹ درصد ثبت کرده است. شیب سن این ایستگاه حاکی از افزایش ۲/۸۸ میلی‌متری بارش در سال است (شکل ۲ و جدول ۳).

بیشتر باشد، روند در آن سطح معنی‌داری قابل استناد است. برون و النور و یو و همکاران نیز در مطالعات هیدرولوژیک معتبری از سطوح معناداری چندگانه ۰/۲۰، ۰/۱۵، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ برای ارائه تحلیلی جامع‌تر از قدرت روندها بهره گرفتند (Burn and Elnur, 2002; Yue et al., 2002).

### تخمین گر شیب سن

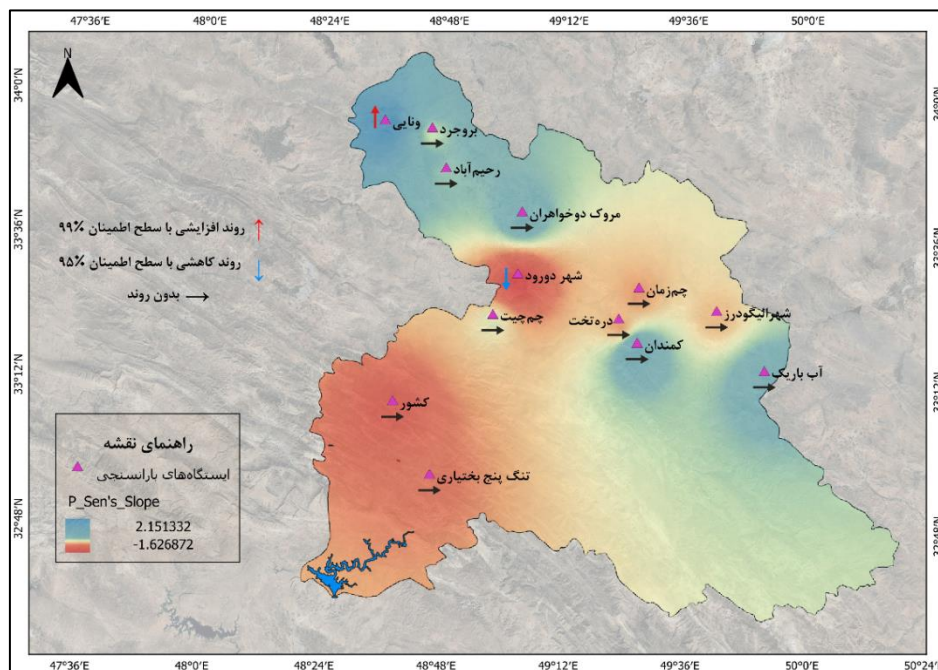
یک شاخص بسیار مفید در آزمون من-کندال، شیب خط روند یا به اصطلاح شیب سن (Sen's Slope) می‌باشد که بزرگی روند یکنواخت را نشان می‌دهد. مقدار شیب روند با استفاده از شیوه ارائه شده توسط تیل و سن از رابطه زیر برآورد می‌شود (Theil., 1950; Sen., 1968):

$$\beta = \text{Median} \left( \frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \quad \forall i < j \quad (6)$$

که در آن  $\beta$  برآوردگر شیب خط روند و  $x_i, x_j$  به ترتیب مقادیر مشاهداتی  $i$  ام و  $j$  ام می‌باشند. مقادیر مثبت  $\beta$  نشان‌دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن روند کاهشی را نشان می‌دهند. این روش در مطالعات هیدرولوژیکی به‌طور وسیعی استفاده شده است. لازم به ذکر است که برآورد مقدار شیب سن جهت محاسبات آزمون من-کندال اصلاح شده مورد نیاز می‌باشد.

### نتایج و بحث

از بین ایستگاه‌های بارانسنجی مورد مطالعه، ۱۱ ایستگاه فاقد



شکل ۲- نقشه‌ی تحلیل روند بارش و مقادیر شیب سن در ایستگاه‌های بارانسنجی با سطوح اطمینان مختلف

جدول ۳- خلاصه نتایج تحلیل‌های آماری و روند ایستگاه‌های بارانسنجی در حوضه آبریز دز

ردیف	نام ایستگاه	آماره Z من کندانال	شیب سن (میلیمتر در سال)	روند
۱	چم‌چیت	-۰/۲۹	-۰/۲۶	→
۲	کشور	-۰/۹۴	-۱/۱۹	→
۳	بروجرد	-۰/۵۵	-۰/۱۹	→
۴	شهر دورود	-۲/۱۱ <sup>b</sup>	-۱/۶۳	↓
۵	ونایی	۲/۸۹ <sup>a</sup>	۲/۱۵	↑
۶	مروک دوخواهران	۱/۰۷	۰/۳۰	→
۷	چم‌زمان	-۰/۵۵	-۰/۱۸	→
۸	دره تخت	-۰/۶۲	-۰/۵۹	→
۹	شهر الیگودرز	-۱/۰۴	-۰/۵۱	→
۱۰	کمدان	۰/۸۴	۰/۵۴	→
۱۱	آب‌باریک	۰/۹۱	۰/۲۸	→
۱۲	رحیم آباد	-۰/۱۰	-۰/۰۶	→
۱۳	تنگ پنج بختیاری	-۰/۶۸	-۰/۷۷	→

<sup>a</sup> سطح اطمینان ۹۹ درصد

<sup>b</sup> سطح اطمینان ۹۵ درصد

حاکی از کاهش جریان در پایین‌دست حوضه است، که ممکن است به تغییرات اقلیمی و مدیریت آب مرتبط باشد. این یافته‌ها با پژوهش‌های علیزاده و حسینی (۱۴۰۲) در حوضه تجن (کاهش دبی) و حسونند و همکاران (۱۴۰۱) در حوضه‌های کرخه و دز (تغییرات بارش و دبی) مطابقت دارد، اما سطوح اطمینان پایین‌تر در برخی ایستگاه‌ها نشان‌دهنده نیاز به بررسی عوامل انسانی بیشتر است. ترابی پوده و امامقلی‌زاده (۱۳۹۴) این روند کاهش‌ی معنی‌دار در حوضه دز را نشان‌دهنده تأثیر عوامل اقلیمی و کاهش منابع آب زیرزمینی بر جریان رودخانه‌ها دانستند. گزارش ارزیابی‌های IPCC به طور کلی پیش‌بینی کرده است که در بسیاری از مناطق نیمه‌خشک جهان، تغییرات اقلیمی منجر به کاهش رواناب و افزایش تنش آبی خواهد شد. یافته‌های ما در حوضه دز، نمونه‌ای عینی از تحقق این پیش‌بینی‌ها در یک منطقه نیمه‌خشک است (IPCC., 2021).

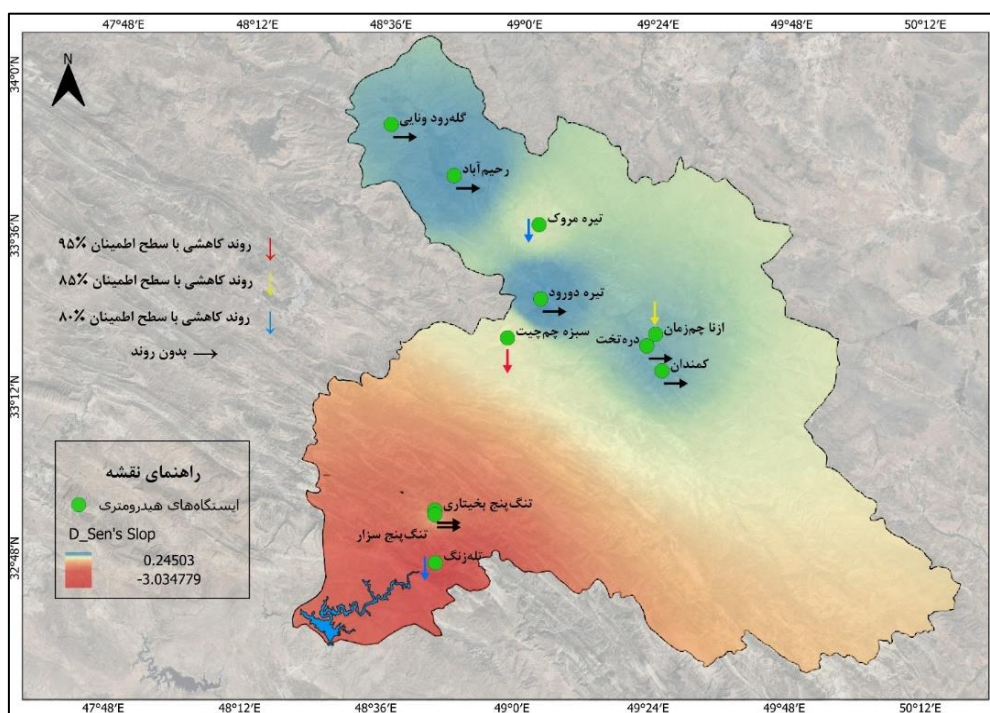
نتایج تحلیل روند پارامترهای سنجش از دور که از پلتفرم GEE استخراج شده‌اند شامل پوشش سطح برف، شاخص سطح برگ (LAI) و تبخیر-تعرق (ET) که در شکل ۴ و جدول زیر منعکس شده، برای تبیین روند دبی حیاتی است. پارامتر پوشش برف یک روند کاهش‌ی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۰ درصد ( $Z=-1.78$ ) را نشان می‌دهد. کاهش پوشش برف که منبع اصلی تغذیه رودخانه‌های دائمی است، یکی از کلیدی‌ترین دلایل کاهش دبی در حوضه محسوب می‌شود. این پدیده به طور مستقیم با افزایش دما در منطقه مرتبط است و پیامدهای جدی برای تامین آب در فصل خشک دارد (IPCC., 2023).

به طور کلی، اگرچه در مقیاس حوضه، روند غالب بارش بدون روند است، اما وجود روندهای معنی‌دار و مخالف در ایستگاه‌های مجاور، لزوم توجه به تحلیل‌های محلی و خرد را به جای تعمیم‌دهی کلان نشان می‌دهد. این ناهمگونی، مدیریت منابع آب را با چالش مواجه می‌سازد. نتایج تحلیل دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری (جدول ۴) نشان‌دهنده یک روند غالب کاهش‌ی در سطح حوضه است. کاهش معنی‌دار دبی در ۴ ایستگاه از ۱۱ ایستگاه هیدرومتری، حاکمی از یک کاهش جدی در منابع آب سطحی حوضه است. ایستگاه سبزه چم‌چیت با آماره Z برابر با  $-۲/۳۰$  و شیب سن برابر  $-۰/۳۱$  میلی‌متر در سال روند کاهش‌ی بسیار معنی‌دار در دبی را در سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان می‌دهد. همچنین ایستگاه‌هایی نظیر ازنا چم‌زمان کاهش در سطح ۸۵ درصد، تیره مروک و تله زنگ کاهش در سطح ۸۰ درصد، روند کاهش‌ی دبی را تأیید می‌کنند.

هیچ‌یک از ایستگاه‌های جدول ۵، روند افزایش‌ی معنی‌داری را نشان نداده‌اند. غلبه‌ی روند کاهش‌ی دبی، نشان‌دهنده قرارگیری حوضه در معرض تنش هیدرولوژیکی و کاهش منابع آب سطحی در طول دوره مورد مطالعه است. بر اساس شکل ۳، نقشه تحلیل روند دبی نشان‌دهنده تمرکز روند کاهش‌ی در بخش‌های شمالی و مرکزی حوضه (مانند سبزه چم‌چیت و ازنا چم‌زمان) است، که با کاهش بارش در ایستگاه‌های مجاور (مانند شهر دورود) همخوانی دارد. ایستگاه تله زنگ با داشتن شیب سن  $-۳/۰۳$  میلی‌متر در سال، بیشترین میزان کاهش را در بین کلیه ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر جمعی کاهش بارش در بالادست، برداشت‌های آب و یا تغییرات کاربری اراضی باشد. الگوی توزیع مکانی در شکل ۳

آن‌ها می‌توان به توسعه فعالیت‌های کشاورزی و آبیاری، تغییر کاربری اراضی، احیای مراتع و پروژه‌های جنگل‌کاری اشاره کرد (Chen et al., 2019). نتایج تحقیق قربانیان و همکاران نیز نشان داد برخی نواحی ایران، در دهه‌های اخیر افزایش پوشش گیاهی را تجربه کرده‌اند (Ghorbanian et al., 2022).

براساس تجزیه و تحلیل‌های آماری شاخص سطح برگ (LAI) در حوضه آبریز دز یک روند افزایشی معنی‌دار را در سطح اطمینان ۹۵ درصد ( $Z=2.43$ ) نشان می‌دهد. این نتیجه حاکی از آن است که تراکم و گستردگی پوشش گیاهی در این حوضه در دوره مورد بررسی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. افزایش پوشش گیاهی می‌تواند ناشی از عوامل انسانی و مدیریتی مختلفی باشد که از جمله



شکل ۳- نقشه‌ی تحلیل روند دبی و مقادیر شیب سن در ایستگاه‌های هیدرومتری با سطوح اطمینان مختلف

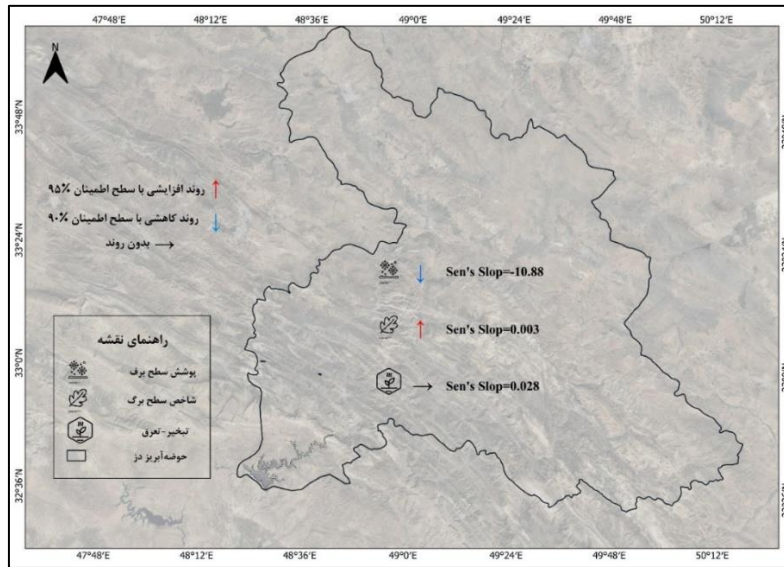
جدول ۴- خلاصه نتایج تحلیل‌های آماری و روند ایستگاه‌های هیدرومتری در حوضه آبریز دز

ردیف	نام ایستگاه	آماره Z من کندال	شیب سن (مترمکعب بر ثانیه در سال)	روند
۱	ازنا چرمان	-۱/۴۶ <sup>b</sup>	-۰/۰۴	↓
۲	دره تخت	-۰/۸۸	-۰/۰۱	→
۳	گله‌رود ونایی	-۰/۹۴	-۰/۰۲	→
۴	کمندان	-۰/۹۴	-۰/۰۲	→
۵	رحیم‌آباد	۱/۲۷	۰/۱۵	→
۶	سبزه چم‌چیت	-۲/۳۰ <sup>a</sup>	-۰/۳۲	↓
۷	تیره دورود	۱/۱۴	۰/۲۵	→
۸	تیره مروک	-۱/۴۰ <sup>c</sup>	-۰/۱۶	↓
۹	تنگ‌پنج بختاری	-۱/۲۷	-۱/۴۳	→
۱۰	تنگ‌پنج سزار	-۰/۲۹	-۰/۴۸	→
۱۱	تله زنگ	-۱/۴۰ <sup>c</sup>	-۳/۰۴	↓

<sup>a</sup> سطح اطمینان ۹۵ درصد

<sup>b</sup> سطح اطمینان ۸۵ درصد

<sup>c</sup> سطح اطمینان ۸۰ درصد



شکل ۴- تحلیل روند و مقادیر شیب سن پارامترهای مستخرج از GEE با سطوح اطمینان مختلف

افزایش LAI از یک سو می‌تواند مثبت تلقی شود (جذب بیشتر دی‌اکسیدکربن، امنیت غذایی بیشتر، حفاظت خاک و...) اما از سوی دیگر به معنای افزایش تبخیر-تعرق و در نتیجه مصرف بیشتر آب است که می‌تواند در تشدید کاهش دبی رودخانه‌ها نقش داشته باشد (Zeng et al., 2019).

همزمانی افزایش شاخص سطح برگ با کاهش یا ثبات بارش و کاهش پوشش برف، پیچیدگی‌هایی را نشان می‌دهد، از جمله اینکه تغییرات اکوسیستم به صورت مکانی متفاوت رخ داده است. یعنی برخی نواحی با مدیریت آب (آبیاری) سبزتر شده‌اند در حالی که منابع آبی در حال کاهش‌اند. مثلاً نواحی پست‌تر با آبیاری ممکن است سبزتر شوند در حالی که مناطق کوهستانی با کاهش ذخیره برفی روبه‌رو شدند.

جدول ۵- خلاصه نتایج تحلیل‌های آماری و روند پارامترهای مستخرج از GEE در حوضه آبریز دز

ردیف	پارامتر	واحد	میانگین	انحراف معیار	Z من کندانال	روند
۱	پوشش سطح برف	کیلومتر مربع	۵۶/۷۳۲	۲۳۱/۳۳	<sup>b</sup> ۷۸/۱-	↓
۲	تبخیر-تعرق	میلیمتر	۷۳/۴	۰/۸۸	۲۰/۱	→
۳	شاخص سطح برگ	درصد	۲۷/۰	۰/۰۴	<sup>a</sup> ۴۳/۲	↑

<sup>a</sup> سطح اطمینان ۹۵ درصد

<sup>b</sup> سطح اطمینان ۹۰ درصد

افزایش تبخیر-تعرق گردد (Chen et al., 2019). با این حال، به نظر می‌رسد که در شرایط حوضه آبریز دز، محدودیت منابع آبی نقش کلیدی در خنثی‌سازی این اثر ایفا کرده است. این یافته با پژوهش‌های صورت‌گرفته در سایر مناطق نیمه‌خشک جهان که در آنها افزایش LAI لزوماً به افزایش متناسب ET منجر نشده است، همخوانی دارد. در همین راستا مطالعات جهانی نشان داده‌اند که افزایش دمای سطح زمین در دهه‌های اخیر، معمولاً با افزایش تبخیر-تعرق بالقوه همراه است، ولی در صورت محدودیت منابع آبی و کاهش رطوبت خاک، تبخیر-تعرق واقعی ممکن است تغییر چندانی نکند (Zeng et al., 2019).

براساس تحلیل‌های آماری انجام شده بر روی داده‌های سری زمانی تبخیر-تعرق هیچ روند آماری معنی‌داری برای این پارامتر در حوضه آبریز دز طی دوره مطالعاتی (۲۰۲۱-۲۰۲۰) مشاهده نشد. مقدار آماره Z من-کندانال برای این پارامتر ۱/۲۰ محاسبه گردید که در سطح اطمینان ۹۵ درصد فاقد معنی‌داری آماری است. این نتیجه حاکی از آن است که اگرچه ممکن است نوسانات سالانه در مقادیر ET وجود داشته باشد، ولی این تغییرات به اندازه‌ای نبوده که بتوان یک روند افزایشی یا کاهش‌ی پایدار را برای آن تأیید نمود.

با افزایش معنی‌دار شاخص سطح برگ (LAI) در حوضه که عمدتاً می‌تواند ناشی از گسترش فعالیت‌های کشاورزی و پروژه‌های احیای پوشش گیاهی باشد به طور معمول انتظار می‌رود که منجر به

## نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که اگرچه تغییرات بارش در حوضه آبریز دز فاقد روند یکنواخت و معنی‌دار است، اما روند کاهشی چشمگیر دبی رودخانه‌ها در چند ایستگاه کلیدی، نشانه‌ای از کاهش جدی منابع آب سطحی طی دو دهه اخیر است. کاهش پوشش سطح برف و افزایش شاخص سطح برگ، ترکیبی از اثرات اقلیمی و انسانی را بازتاب می‌دهد؛ به‌ویژه توسعه فعالیت‌های کشاورزی و آبیاری که باعث افزایش پوشش گیاهی و در عین حال، افزایش مصرف آب شده است. در حالی که تبخیر-تعرق تغییر معنی‌داری را نشان نداد، محدودیت منابع آبی به‌عنوان عامل کنترل‌کننده تبخیر-تعرق در منطقه نیمه خشک دز قابل توجه است. به‌طور کلی، یافته‌ها حاکی از آن است که تلفیق داده‌های زمینی و ماهواره‌ای رویکردی مؤثر برای درک جامع پویایی‌های هیدرومتئورولوژیک حوضه‌های آبریز محسوب می‌شود. تحلیل روندها نشان می‌دهد که حوضه دز در معرض تنش هیدروولوژیکی قرار دارد و ادامه این روند می‌تواند تبعاتی چون کاهش رواناب، افت کیفیت زیست‌محیطی و ناپایداری اکوسیستم‌های آبی را در پی داشته باشد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از روش‌های نوآورانه تحلیل روند (مانند ITA و RSS) در کنار داده‌های با تفکیک مکانی بالاتر استفاده شود تا ضمن بهبود دقت برآوردها، راهکارهای سازگاری و مدیریت منابع آب در شرایط تغییر اقلیم بهینه‌سازی گردد.

## منابع

- ابراهیمی خوسفی، م. ۱۴۰۲. تحلیل تغییرات مساحت تالاب‌های هامون و سایر پهنه‌های آبی منطقه سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *مجله جغرافیا و توسعه*. ۲۱(۷۱): ۱۳۹-۱۶۵.
- امیدوار، ک.، طایی، ن. و راوری، ف. ۱۴۰۳. آشکارسازی تغییرات زمانی-مکانی بارش پاییزه ایران بر اساس آمار درازمدت و آزمون‌های ناپارامتریک. *نیوار*. ۴۹(۱۲۸-۱۲۹): ۱-۱۸.
- بالویی، ح.، کابلی زاده، ع.، محمدی، م. و شاهین، ر. ۱۴۰۳. پایش تغییرات زمانی-مکانی خشک‌سالی هواشناسی و تحلیل روند متغیرهای اقلیمی در استان خوزستان بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰. *مخاطرات محیط طبیعی*. ۱۳(۴۰): ۷۳-۹۴.
- ترابی‌پوده، ح. و امام‌قلی‌زاده، ص. ۱۳۹۴. تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های شمال حوضه رودخانه دز با استفاده از روش TFPW-MK. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*. ۲۲(۳): ۳۹-۵۵.
- حسنوند، ز.، یاراحمدی، د. و میرهاشمی، س. ۱۴۰۱. تحلیل روند تغییرات سری زمانی بیشینه بارش روزانه و سالانه حوضه آبریز

- کرخه و دز. *مخاطرات محیط طبیعی*. ۱۱(۳۲): ۱۴۹-۱۶۸.
- سبزواری، س.، دادوند، م.، نصرالهی، ع. و علی حیدر، م. ۱۴۰۱. پایش تغییرات زمانی خشکسالی هواشناسی در مناطقی از غرب ایران. *رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط‌زیست*. ۱(۲): ۶۲-۷۹.
- علوی، ص.، سلیمانی، ک.، شکرپان، ف. و مختارپور، م. ۱۴۰۲. بررسی روند تغییرات پارامترهای هیدرواقلمی تالاب میانکاله، مازندران. *هیدروژئومورفولوژی*. ۳۷(۱۰): ۱۰۲-۱۱۹.
- علیزاده، ق.، و جعفری، ا. ۱۴۰۳. بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی زیست‌اقلمی‌های استان اصفهان در اثر تغییرات پارامترهای اقلیمی. *خشک بوم*. ۱۴(۲): ۱۹-۳۳.
- علیزاده، ق. و حسینی، س. م. ۱۴۰۲. تحلیل آماری روند تغییرات بلندمدت بارش، دبی و کاربری اراضی در حوزه آبخیز تجن. *مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز*. ۳(۲): ۴۷-۶۶.
- معروفی، صفر و طبری، حسین. ۱۳۹۰. آشکارسازی روند تغییرات دبی رودخانه مارون با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری. *تحقیقات جغرافیایی (توقف انتشار)*. ۲۶(۱۰۱): ۱۲۵-۱۴۶.
- ناظری تهرودی، م.، احمدی، ف.، و خلیلی، ک. ۱۳۹۶. بررسی روند و زمان تغییر روند بارش حوضه دریاچه ارومیه. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. ۳۱(۲): ۶۴۴-۶۵۹.
- نوروزی، م.، همایی، م. و ترکمان، ع. ۱۴۰۱. تحلیل روند پارامترهای اقلیمی استان خوزستان با استفاده از آزمون من کندال (TFPW-MK). *مطالعات علوم محیط زیست*. ۸(۲): ۶۵۱-۶۵۲.
- Abu Arra, A. and Şişman, E. 2024. Innovative drought classification matrix and acceptable time period for temporal drought evaluation. *Water Resources Management*. 38(8): 2811-2833.
- Abu Arra, A. and Şişman, E. 2025. New insights into meteorological and hydrological drought modeling: A comparative analysis of parametric and non-parametric distributions. *Atmosphere*. 16(7): 846.
- Abu Arra, A., Alashan, S. and Şişman, E. 2025a. A new framework for innovative trend analysis: integrating extreme precipitation indices, standardization, enhanced visualization, and novel classification approaches (ITA-NF). *Natural Hazards*. 1-33.
- Alashan, S. 2023. Comparison of sub-series with different lengths using Şen-innovative trend analysis. *Acta Geophysica*. 71(1): 373-383.
- Arra, A. A., Keskin, M. Z. and Şişman, E. 2025b. Trend Analysis of Hydro-Meteorological Variables Using Mann-Kendall and Sen's Slope with Standardization (SSS): Case Study of the Kızılırmak Catchment, Türkiye. *Physics and Chemistry of the Earth. Parts*

2025. Actual and potential trend analysis under climate change using risk Sen's Slope (RSS) in Western Black Sea Basin in Türkiye. *International Journal of Climatology*. 45(1): e8703.
- Khalig, M. N., Ouarda, T. B. M. J., Gachon, P., Sushama, L. and St-Hilaire, A. 2009. Identification of hydrological trends in the presence of serial and cross correlations: A review of selected methods and their application to annual flow regimes of Canadian rivers. *Journal of Hydrology*. 368(1-4): 117-130.
- Kougbeagbede, H., Onah, M. W., Houeto, A. and Hounvou, F. S. 2024. Applications of innovative polygon trend analysis and trend polygon star concept methods for the variability of precipitation at synoptic stations in Benin (West Africa). *American Journal of Environmental Protection*. 13(6): 209-218.
- Kumar, S., Merwade, V., Kam, J. and Thurner, K. 2009. Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology*. 374(1-2): 171-183.
- McCabe, M. F., Rodell, M., Alsdorf, D. E., Miralles, D. G., Uijlenhoet, R., Wagner, W. and Verhoest, N. E. 2017. The future of Earth observation in hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences*. 21(7): 3879-3914.
- Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*. 63(324): 1379-1389.
- Sen, Z. 2012. Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*. 17(9): 1042-1046.
- Theil, H. 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. *Indagationes Mathematicae*. 12(85): 173.
- Trenberth, K. E. 2011. Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*. 47(1-2): 123-138.
- Trenberth, K. E., Fasullo, J. T. and Mackaro, J. 2011. Atmospheric moisture transports from ocean to land and global energy flows in reanalyses. *Journal of Climate*. 24(18): 4907-4924.
- Tuğrul, T. and Hınıs, M. A. 2024. Trend analysis of hydrological and meteorological drought in Apa Dam, Türkiye. *Environmental Earth Sciences*. 83(17): 502.
- Verma, S., Kumar, K., Verma, M. K., Prasad, A. D., Mehta, D. and Rathnayake, U. 2023. Comparative analysis of CMIP5 and CMIP6 in conjunction with the hydrological processes of reservoir catchment, Chhattisgarh, India. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 50, 101533.
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P. and Davies, A/B/C. 136: 104115.
- Burn, D. H. and Hag Elnur, M. A. 2002. Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology*. 255(1-4): 107-122.
- Chen, C., Park, T., Wang, X., Piao, S., Xu, B., Chaturvedi, R. K. and Myneni, R. B. 2019. China and India lead in greening of the world through land-use management. *Nature Sustainability*. 2(2): 122-129.
- Chowdari, K. K., Deb Barma, S., Bhat, N., Girisha, R., Gouda, K. C. and Mahesha, A. 2023. Trends of seasonal and annual rainfall of semi-arid districts of Karnataka, India: Application of innovative trend analysis approach. *Theoretical and Applied Climatology*. 152(1): 241-264.
- Gao, L., Huang, J., Chen, X., Chen, Y. and Liu, M. 2017. Risk of extreme precipitation under nonstationary conditions during the second flood season in the Southeastern Coastal Region of China. *Journal of Hydrometeorology*. 18(3): 669-681.
- Ghorbanian, A., Mohammadzadeh, A. and Jamali, S. 2022. Linear and non-linear vegetation trend analysis throughout Iran using two decades of MODIS NDVI imagery. *Remote Sensing*. 14(15): 3683.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. and Moore, R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 202, 18-27.
- Hamed, K. H. and Rao, A. R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*. 204(1-4): 182-196.
- Helsel, D. R. and Hirsch, R. M. 2002. *Statistical Methods in Water Resources*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 4, chapter A3.
- Helsel, D. R., Hirsch, R. M., Ryberg, K. R., Archfield, S. A. and Gilroy, E. J. 2020. *Statistical methods in water resources*. U.S. Geological Survey.
- IPCC. 2021. *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- IPCC. 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Kesgin, E., Yıldız, S. G. and Güçlü, Y. S. 2024. Spatiotemporal variability and trends of droughts in the Mediterranean coastal region of Türkiye. *International Journal of Climatology*. 44(4): 1036-1057.
- Keskin, M. Z., Abu Arra, A., Akca, S. and Şişman, E.

- global terrestrial stilling and its implications for wind energy production. *Nature Climate Change*. 9(12): 979-985.
- Zhang, W., Villarini, G., Slater, L. and Vecchi, G. A. 2018. Improved ENSO representation in climate models and its implications for climate change detection. *Journal of Climate*. 31(19): 7803-7819.
- P. M. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*. 467(7315): 555-561.
- Yue, S., Pilon, P. and Cavadias, G. 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*. 259(1-4): 254-271.
- Zeng, Z., Ziegler, A. D., Searchinger, T., Yang, L., Chen, A., Ju, K. and Wood, E. F. 2019. A reversal in

## Integrated Investigation of Hydrometeorological Parameter Trends Using Combined Ground-Based and Remote Sensing Data in the Dez River Basin

Z. Izadi<sup>1</sup>, H. Torabi poodeh<sup>2\*</sup>, A.H. Nasrolahi<sup>3</sup>, M. Nazeri Tahroudi<sup>4</sup>

Received: Dec.03, 2025

Accepted: Jan.03, 2026

### Abstract

In this study, the long-term trends of hydrometeorological parameters, including precipitation, river discharge, Leaf Area Index (LAI), snow cover, and evapotranspiration (ET) in the Dez River basin were investigated over the period from 2002 to 2021 using ground-based and satellite data. Satellite data were extracted from the Google Earth Engine platform, and for trend analysis, the modified non-parametric Mann-Kendall (MMK) test, which removes the effects of autocorrelation, along with the Sen's slope estimator, were employed. The results indicated that most rain gauge stations showed no clear and significant trend in precipitation, with only Dorud station recording a significant decrease and Venaei station showing a significant increase. In contrast, the analysis of river discharge revealed a predominantly decreasing trend across the basin, particularly at the Sabbe Cham-Chit and Tele Zang stations, where significant decreases were observed at the 95% confidence level. Remote sensing data also indicated that snow cover experienced a significant decreasing trend at the 90% confidence level, while the Leaf Area Index showed a significant increase ( $Z=2.43$ ). The evapotranspiration parameter exhibited no significant trend, which could be attributed to limited water resources and a balance between increased vegetation cover and soil moisture deficit. Overall, the findings indicate a decline in surface water resources due to a combination of climate change and human activities, highlighting the need for smart and sustainable water resource management and the evaluation of adaptation scenarios.

**Keywords:** Google Earth Engine, Modified Mann-Kendall test, Sen's slope, Trend analysis

1- PhD student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran

2\*- Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran

4- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran

(\*-Corresponding Author Email: torabi1976@gmail.com)