

مقدمه

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که بخش‌های مختلف زندگی انسان را در روی زمین تحت تأثیر قرار داده است. تغییر اقلیم عبارت است از هرگونه تغییر در آب و هوا در طول زمان که ناشی از عوامل طبیعی یا انسانی می‌باشد [۱۰]. بارش و دبی به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی می‌توانند برای درک تغییرات اقلیمی مورد استفاده قرار گیرند. تغییرات در پارامترهای آب و هوایی مانند دما و بارش به نوبه خود می‌تواند موجب بسیاری از ناهنجاری‌ها در شرایط اقلیمی گردد [۳]. شناخت و آشکارسازی روند گذشته سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی از نظر زمانی و مکانی برای تحلیل گران اقلیمی و برنامه ریزان منابع آب جهت اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌های مناسب آمادگی و انطباق با اثرات نامطلوب پدیده آب و هوایی، کاهش خسارت ناشی از آن و درک درست این متغیرها در سطح منطقه در طی دوره آتی حائز اهمیت است [۲۴]. از طرفی تغییرات مکانی و زمانی زیادی بین روند بارش و دبی در نواحی مختلف اقلیمی وجود دارد [۲۸]؛ بنابراین لازم است که در سطح هر منطقه این تغییرات مورد مطالعه قرار گیرد. روند تغییرات در سری‌های زمانی به دو صورت تدریجی و یا سریع (نقطه‌ای) اتفاق می‌افتد. روند سریع یا نقطه‌ای در طول یک سری زمانی به صورت شکست یا افزایش ناگهانی دیده می‌شود که عمدتاً در اثر اتفاقات و اقدامات خاص مانند احداث سازه‌های آبی رخ می‌دهد ولی روند تدریجی حاصل تغییرات جزئی در کل طول دوره آماری است. متداول‌ترین روش برای تحلیل روند سری‌های زمانی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آن‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری پارامتری و ناپارامتری می‌باشد.

در سال‌های اخیر، پژوهشگران متعددی از تحلیل روند برای ارزیابی اثرات پتانسیل تغییر اقلیم و تغییرپذیری آن روی سری‌های زمانی در نقاط مختلف جهان استفاده کرده‌اند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد. ترکمان و همکاران [۲۶] به تحلیل روند پارامترهای اقلیمی استان خوزستان با استفاده از آزمون من-کندال^۳ پرداختند. نتایج نشان داد که بارندگی دارای روند معنی‌دار کاهشی ولی دما و تبخیر و تعرق و رطوبت نسبی دارای روند معنی‌دار افزایشی است. سلمانی و همکاران [۲۰] تحلیل روند بلندمدت سری‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی در شرق حوزه گرگان رود پرداختند. نتایج نشان داد که مقادیر بارش و دما در تمام ایستگاه‌ها دارای روند صعودی است

تحلیل روند بلندمدت و بررسی رابطه بین سری‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد ایلام)

صادق عباسی^۱ و نورالدین رستمی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۴۰۰/۰۱/۱۵

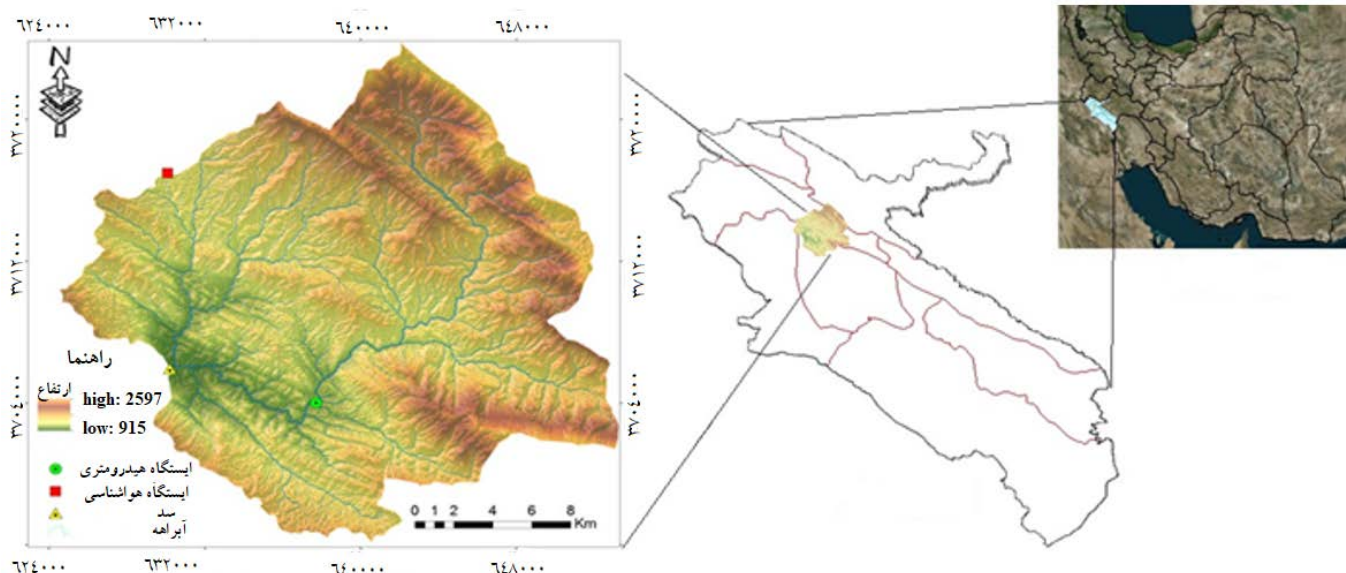
DOR: 20.1001.1.26454777.1400.9.33.4.7

چکیده

بارندگی و دبی از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژی هستند که پیش‌بینی رفتار آن‌ها جهت مدیریت منابع آبی اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش، روند پارامترهای بارش، دمای حداکثر، حداقل و متوسط و دبی در بازه زمانی ۳۰ ساله در ایستگاه شهر ایلام و ایستگاه گل‌گل مورد بررسی قرار گرفت. از آزمون‌های من-کندال و سن جهت تعیین روند و از آزمون پتیت جهت تعیین نقطه شکست استفاده شد. جهت بررسی رابطه بین دبی و بارش، شاخص خشکسالی SPI و SDI محاسبه و سپس رابطه آن‌ها در ۶ بازه زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه به روش همبستگی پیرسون تعیین گردید. نتایج نشان داد که روند بارندگی در برخی از ماه‌ها افزایش و برخی ماه‌های دیگر کاهشی است. روند میانگین دما و میانگین دمای حداکثر در اکثر ماه‌ها صعودی ولی روند میانگین دمای حداقل، غالباً نزولی است. روند دبی در اکثر ماه‌ها نزولی می‌باشد. نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که بین شاخص خشکسالی SPI و SDI همبستگی معنی‌داری وجود دارد. با توجه به نتایج آزمون پتیت، زمان تغییر متغیرها اوایل دهه ۸۰ می‌باشد و شکست در سری زمانی دبی بیش‌تر از بارش است که نشان می‌دهد در کنار عوامل اقلیمی، عوامل انسانی در آبدی حوزه مؤثر بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: آزمون پتیت، آزمون من-کندال، تخمین‌گر شیب سن، شاخص SPI، همبستگی پیرسون.

۱- کارشناس ارشد آبخیزداری، اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان ایلام
۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام،
Email: n.rostami@ilam.ac.ir نویسنده مسئول



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان و کشور

همبستگی پیرسون در بازه کوتاه مدت کم‌تر است و بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی تأخیر زمانی وجود ندارد؛ بنابراین در این مطالعه با توجه به اهمیت سد ایلام در تأمین آب شرب شهر ایلام روند پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی از قبیل بارش، دمای میانگین، حداقل و حداکثر و دبی در مقیاس ماهانه و سالانه با استفاده از آزمون من-کندال، تخمین‌گر شیب سن بررسی می‌گردد. سپس به بررسی هم‌زمان خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با شاخص SPI و SDI و تعیین نقطه شکست سری‌های زمانی با آزمون پتیت پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سد ایلام در جنوب شرقی شهرستان ایلام در موقعیت جغرافیایی بین $33^{\circ} 16' 50''$ تا $33^{\circ} 38' 56''$ عرض شمالی و $46^{\circ} 24' 24''$ تا $46^{\circ} 38' 56''$ طول شرقی و 33° تا $33^{\circ} 38' 58''$ عرض شمالی قرار دارد. این حوزه از شمال به کوه قلا رنگ، از شرق به کبیرکوه، از جنوب به کوه ورگشریف و از غرب به کوه شاه نخجیر و روستای ماربره محدود و در بین شهرستان‌های ایلام و مهران واقع شده و مهمترین رود در این حوزه رودخانه کنجانچم می‌باشد که از اتصال دو رودخانه چاويز و گل‌گل تشکیل شده است.

مساحت حوزه برابر با $477/52$ کیلومتر مربع، محیط آن $107/7$ کیلومتر و طول آبراهه اصلی نیز $40/67$ کیلومتر می‌باشد. ارتفاع بلندترین نقطه حوزه 2600 متر (در شمال حوزه کوه قلا رنگ) و ارتفاع پایین‌ترین نقطه حوزه 900 متر (در نقطه خروجی، جنوب غربی حوزه - بند انحرافی امیرآباد) قرار دارد. داده‌های مورد نیاز تحقیق حاضر عبارت‌اند از داده‌های ماهانه و سالانه بارش، دمای متوسط، دمای کمینه، دمای بیشینه و دبی که از دوره زمانی 1367 تا 1396 از سازمان هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان ایلام

ولی دبی دارای روند نزولی معنی‌دار است. شاکریان و همکاران [22] به بررسی روند تغییرات بارندگی و دبی رودخانه‌های حوزه کارون با استفاده از روش من-کندال پرداختند. نتایج نشان داد که بارندگی و دبی دارای روند کاهشی می‌باشند. کنعانی و همکاران [8] به تحلیل روند تغییرات تدریجی و سریع عوامل هیدرو اقلیمی حوزه آبریز ليقوان چای با استفاده از آزمون‌های من-کندال، سن¹ و پتیت² پرداختند. نتایج نشان داد که جریان دارای روند نزولی و دما روند افزایشی است. آن‌ها هم‌چنین به این نتیجه رسیدند که آبدهی حوزه دارای نقطه شکست می‌باشد. کوشکی و همکاران [9] به بررسی رابطه زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با شاخص SPI و SDI در حوزه آبخیز کرخه پرداختند. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی بین بارش و دبی در سطح 99 درصد معنی‌دار است.

الزوی و همکاران [4] به بررسی روند درازمدت بارش و دمای اتیوپی با آزمون من-کندال پرداختند. نتایج نشان داد که دمای متوسط روند افزایشی قابل توجهی را دارد. در حالی که بارندگی‌های فصلی و سالانه روند قابل توجهی را نشان نمی‌دهد. برهانی و همکاران [2] نیز با بررسی روند دمای حداکثر و بارش در مناطق نیمه‌خشک تیگرای غربی در کشور اتیوپی با آزمون من-کندال و سن نشان دادند که دمای حداکثر دارای روند افزایشی و بارش دارای روند کاهشی است؛ اما تحقیقات توصیف و همکاران [27] با بررسی روند بلندمدت بارندگی و پیش‌بینی‌های آینده در حوزه رودخانه ژيانگ چین با آزمون من-کندال و سن نشان داد که بارش دارای روند کاهشی است ولی پیش‌بینی حاکی از روند افزایشی برای سال‌های آینده دارد. ژانگ و همکاران [29] نیز با بررسی خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی و NDVI در حوزه رودخانه Heihe، در شمال غربی چین با شاخص SDI, VCI و SPI اعلام داشتند که ضریب

1. Sen
2. Pettitt

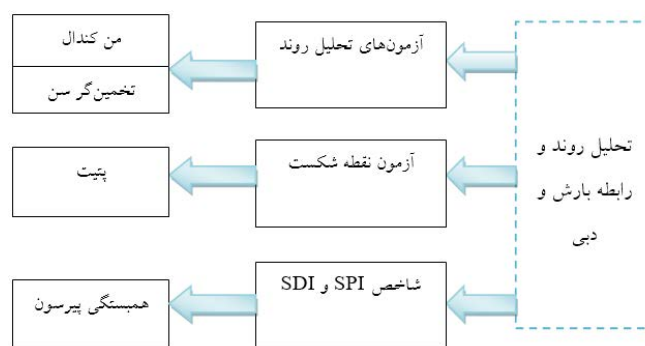
جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه-دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه-دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
ایلام	هواشناسی - سینوپتیک	۴۶ ۲۶	۳۸ ۳۳	۱۳۳۷
گل‌گل	هیدرومتری	۴۶ ۲۹	۲۸ ۳۳	۱۱۰۰

دریافت شده است. موقعیت منطقه و مشخصات ایستگاه هواشناسی شهر ایلام و ایستگاه هیدرومتری گل‌گل در شکل ۱ و جدول ۱ نشان داده شده است.

روش تحقیق

در این پژوهش، تحلیل روند و نقطه شکست سری‌های زمانی پارامترهای بارش، دمای حداکثر، حداقل و متوسط و دبی در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه در ایستگاه هواشناسی شهر ایلام و ایستگاه هیدرومتری گل‌گل مورد بررسی قرار می‌گیرد. مراحل انجام تحقیق در شکل شماره ۲ نشان داده شده است. جهت بررسی رابطه بین بارش و دبی شاخص خشکسالی هواشناسی SPI و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی SDI محاسبه و سپس در ۶ بازه زمانی به روش همبستگی پیرسون محاسبه گردید. برای انجام این پژوهش از داده‌ها اقلیمی و هیدرومتری تهیه شده از سازمان هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان ایلام برای یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۶۷-۱۳۹۶) استفاده شده است. در این تحقیق از آماره توصیفی (outlier) در نرم‌افزار SPSS ۲۶ جهت تعیین داده‌های پرت و آزمون Q-Q پلات جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها استفاده شد.



شکل ۲: مراحل انجام تحقیق

آزمون من-کندال

یکی از روش‌های پرکاربرد در بررسی تغییر روند داده‌ها، آزمون ناپارامتری من-کندال می‌باشد [۱۱]. در حقیقت این روش برای اولین بار توسط من در سال ۱۹۴۵ استفاده شد و کندال در سال ۱۹۷۵ توزیع آماری این آزمون را به دست آورد. این روش یکی از بهترین روش‌های آشکارسازی و تعیین روند داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی است. آزمون ناپارامتری من-کندال برخلاف آزمون‌های پارامتری هم چون t-test تابع توزیع مشخصی را برای

سری داده‌ها فرض نمی‌کند این در حالی است که قدرت تشخیص آن نیز به اندازه آزمون‌های پارامتری می‌باشد [۲۱]. به همین دلیل سازمان جهانی هواشناسی، آزمون من-کندال را برای بررسی و تشخیص روند در سری‌های زمانی اکیدا توصیه می‌کند [۱۲]. در این روش داده‌ها به ترتیب زمان وقوع مرتب می‌شوند و هر داده (x_i) با تمام داده‌های بعد از خود (x_j) مقایسه می‌شود. آماره S از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

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

که در آن n طول مجموعه داده‌ها و sign تابع علامت بوده با رابطه (۲) قابل محاسبه است:

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

برای متغیرهای تصادفی مستقل و دارای توزیع یکنواخت و بدون گره (دو یا چندین داده با مقادیر عددی مساوی) میانگین و واریانس پارامتر من-کندال (S) از روابط (۳ و ۴) به دست می‌آید:

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

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (4)$$

که در آن، n: تعداد داده‌های سری مشاهدات است. اگر در سری مشاهدات داده‌های تکراری وجود داشته باشد مقدار واریانس از رابطه (۵) محاسبه خواهد شد:

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (5)$$

که در آن t_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام و m برابر با تعداد گروه‌های جفتی می‌باشند. اگر تعداد داده‌های یک سری بیش از ۱۰ عدد باشد S از توزیع نرمال پیروی خواهد کرد و مقدار معیار آماری استاندارد (Zs) از رابطه (۶) محاسبه خواهد شد:

$$z_s = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (6)$$

بنابراین در یک آزمون دوطرفه برای تشخیص روند در سطح اعتماد α فرض صفر (عدم وجود روند) در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه (۷) برقرار باشد:

$$|z_s| \leq \alpha/2 \quad (7)$$

که α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و $z\alpha$ آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α می‌باشد

که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\alpha/2$ استفاده شده است [۲۱]. در صورتی که آماره Z_s مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

تخمین گر شیب سن

این روش برای تخمین روند شیب‌های نسبتاً خطی مناسب‌تر از روش رگرسیون معمولی است و کم‌تر تحت تأثیر داده‌های غیر نرمال و پرت قرار می‌گیرد شیب روند β در این روش قوی‌تر از رگرسیون خطی است [۱۳]. در این روش، تغییرات در مقادیر سری‌های زمانی بر اساس محاسبه شیب تغییرات بین کلیه جفت داده‌های مشاهداتی محاسبه شده و میانه آن‌ها به عنوان مقدار متوسط شیب سری زمانی مورد بررسی در نظر گرفته می‌شود. مقدار مثبت شیب میانه حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن دارد [۵]. مقدار شیب روند با استفاده از شیوه ارائه شده توسط تیل و سن با رابطه (۸) برآورد می‌شود [۲۱]:

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \quad \forall i < j \quad (8)$$

که در آن β برآوردگر شیب خط روند و x_i و x_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام و j ام می‌باشند. مقادیر مثبت B نشان دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن روند کاهشی را نشان می‌دهند. این روش در مطالعات هیدرولوژیکی به طور وسیعی استفاده شده است.

آزمون پتیت

پتیت آزمونی ناپارامتری است که در سال ۱۹۷۹ توسط پتیت توسعه داده شد. این روش برای پیدا کردن نقاط تغییر در یک سری زمانی به کار برده می‌شود. تست پتیت آزمونی با پایه رتبه‌ای و بدون توزیع جهت تشخیص تغییرات معنی‌دار در میانگین سری زمانی است و این موضوع زمانی اهمیت دارد که هیچ فرضیه‌ای در مورد زمان تغییر موجود نباشد. آماره آزمون پتیت بر اساس رابطه (۹) قابل محاسبه است [۱۶]:

$$U = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (9)$$

در رابطه فوق n تعداد داده‌ها و t شماره ترتیبی داده‌های سری زمانی تا نقطه تغییر و بعد آن است [۲۵]. طول دوره آماری و n تعداد داده در سری آماری است. تابع sign (صفر) نیز به صورت رابطه ۲ محاسبه می‌شود. مقدار k از رابطه (۱۰) محاسبه شده و در رابطه (۱۱) جایگزین شده و آماره P به دست می‌آید:

$$|U_{t,n}| k = \max \quad (10)$$

$$p = 2 \times e^{-\frac{6k^2}{n^3 + n^2}} \quad (11)$$

در این آزمون، فرض H_0 بیانگر همگنی داده‌ها و فرض H_1 نشان دهنده سال وقوع شکست در سری زمانی مورد مطالعه می‌باشد. در صورتی که مقدار P محاسبه شده کوچک‌تر از α یا مقدار سطح معنی‌داری (۵ درصد) باشد می‌توان این نقطه تغییر را در سری، از نظر آماری معنی‌دار دانست. اگر P در آزمون پتیت کم‌تر از سطح معنی‌داری ۵ درصد باشد فرض صفر (عدم شکست) رد می‌شود.

در این مطالعه، آزمون پتیت بر اساس شبیه‌سازی ۱۰۰۰۰ تایی مونت کارلو (پیش فرض تست پتیت در نرم‌افزار xlstat) انجام شد.

شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

این شاخص در سال ۱۹۹۳ توسط مک کی و همکاران به منظور پایش خشکسالی اقلیمی ایالت کلرادو آمریکا ابداع گردید. برای محاسبه این شاخص می‌توان بارندگی ماهانه یا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه را با استفاده از یک توزیع مناسب مانند توزیع گاما و یا پیرسون تیپ سه برازش کرد. طبق این روش دوره‌های خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار -1 یا کم‌تر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد [۱۵]. این شاخص از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma} \quad (12)$$

که در آن P_i مقدار بارندگی در بازه زمانی مورد نظر، $\bar{P}$ متوسط بارندگی در دوره زمانی مورد مطالعه و σ انحراف معیار مقدار آرش است. طبقات مختلف خشکسالی بر اساس این شاخص در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: طبقات شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI

مقادیر SPI	طبقه خشکسالی
> 2	ترسالی بسیار شدید
$1/5$ تا $1/99$	خیلی مرطوب
1 تا $1/49$	مرطوب متوسط
$-1/99$ تا $-1/49$	نزدیک به نرمال
-1 تا $-1/49$	خشکسالی متوسط
$-1/99$ تا $-1/5$	خشکسالی شدید
< -2	خشکسالی بسیار شدید

شاخص دبی استاندارد شده (SDI)

شاخص خشکسالی جریانات رودخانه‌ای بر اساس حجم تجمعی جریانات رودخانه‌ای (V_{ik}) برای دوره مبنا (K) مربوط به (i) سال هیدرولوژیکی به صورت رابطه (۱۳) به دست می‌آید:

$$i = 1, 2, \dots, k = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \quad SDI_{ik} = \frac{V_{ik} - V_k}{S_k} \quad (13)$$

و V_k و S_k به ترتیب میانگین مجموع دبی و انحراف معیار حجم جریانات تجمعی برای دوره مبنا (k) می‌باشند. جدول ۳ طبقه‌بندی حالت‌های مختلف خشکسالی را به روش SDI نشان می‌دهد.

جدول ۳: طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس روش SDI

محدوده	وضعیت خشکسالی
$0 \leq SDI$	فاقد خشکسالی
$-1 \leq SDI \leq 0$	خشکسالی ملایم
$-1/5 \leq SDI \leq -1$	خشکسالی متوسط
$-1/5 \leq SDI \leq -2$	خشکسالی شدید
$SDI \leq -2$	خشکسالی خیلی شدید

نتایج

تجزیه و تحلیل روند ماهانه و سالانه سری‌های زمانی با آزمون من-کندال

جهت شناسایی روند در داده‌های بارندگی و دما و دبی از آزمون Man-Kendall (MK) استفاده شد. جدول ۴ نتایج مربوط به روند ماهانه و سالانه سری‌های زمانی با استفاده از این آزمون را نشان می‌دهند. نتایج نشان داد که بارندگی در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور، مهر، آبان و بهمن دارای روند افزایشی است اما هیچ کدام معنی‌دار نمی‌باشد. در فروردین، اردیبهشت، خرداد، آذر، دی و اسفند روند کاهشی است که این روند کاهشی در دی و اسفندماه معنی‌دار می‌باشد. بیش‌ترین روند کاهشی بارش مربوط به دی‌ماه می‌باشد. در مقیاس سالانه بارش دارای روند کاهشی است ولی این روند معنی‌دار نیست. شایان ذکر است در این تحقیق به علت عدم دسترسی به اطلاعات برف‌سنجی از داده‌های مربوط به بارش برف استفاده نشده است. نتایج روند میانگین دما نشان داد که دما در ماه‌های مهر، آبان و آذر روند کاهشی دارد اما هیچ کدام معنی‌دار نیست. در بقیه ماه‌ها و مقیاس سالانه دما رو به افزایش است. بیش‌ترین روند افزایش دما مربوط به بهمن و اسفندماه می‌باشد که این افزایش روند معنی‌دار است. میانگین دما حداکثر در هردو مقیاس ماهانه و سالانه دارای روند افزایشی می‌باشد که این روند اکثراً معنی‌دار نیز می‌باشد. بیش‌ترین روند افزایشی میانگین دما حداکثر مربوط به شهریورماه است. روند تغییرات میانگین دما حداقل در اکثر ماه‌های سال و سالانه نزولی است که در ماه مهر دارای بیش‌ترین روند کاهشی

معنی‌دار است.

نتایج تحلیل روند دبی نشان داد که دبی در تمام ماه‌های سال به‌جز بهمن دارای روند کاهشی بوده است که این روند در اکثر ماه‌ها در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. روند کاهشی بارش و هم‌چنین افزایش دما و به طبع آن افزایش میزان تبخیر در کنار عوامل انسانی هم‌چون استفاده غیراصولی از آب در بخش کشاورزی، تغییر کاربری اراضی به همراه دیگر متغیرهای پنهان و واسطه‌ای به‌عنوان مجموعه از عوامل دخیل در کاهش دبی می‌باشند.

تجزیه و تحلیل روند ماهانه و سالانه سری‌های زمانی با تخمین گر سن

جدول ۵ نتایج تحلیل روند با تخمین‌گر سن را نشان می‌دهد. تحلیل روند بارندگی با این روش نشان داد بارش در برخی ماه‌های سال کاهش، در برخی ماه‌ها بدون روند و در برخی ماه‌ها روند افزایشی داشته است. بیش‌ترین میزان کاهش بارش مربوط به اسفندماه می‌باشد. روند دمای میانگین در اکثر ماه‌های سال و مقیاس سالانه دارای روند افزایشی بوده است که بیش‌ترین میزان افزایش دما به ماه بهمن مربوط است. روند دمای میانگین حداکثر در تمام ماه‌های سال و مقیاس سالانه افزایشی است که این افزایش در ماه اسفند بیش‌ترین مقدار را داشته است. روند میانگین دمای حداقل در اکثر ماه‌ها سال و مقیاس سالانه کاهشی بوده که این کاهش در مهرماه بیش‌ترین میزان بوده است. نتایج تحلیل روند دبی نشان داد که دبی در تمام ماه‌های سال به‌جز بهمن‌ماه دارای روند کاهشی بوده است

جدول ۴: نتایج بررسی روند تغییرات (آماره Z من-کندال) ماهانه و سالانه سری‌های زمانی

سری زمانی / ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
بارش	-۰/۰۷	-۰/۳۵	-۰/۵۵	۰/۶۶	۱/۸۲	۰/۴۹	۰/۳۴	۰/۳۵	-۱/۷۸	-۲/۵۳*	۱/۰۷	-۱/۹۹*	-۱/۵۷
میانگین دما	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۱۷	۰/۴۲	۱/۱۹	۱/۳۷	-۰/۵۵	-۰/۳۲	-۰/۶	۰/۷۱	۲/۵۵*	۲/۵۵*	۲*
میانگین دما حداکثر	۲/۶**	۲/۹۲**	۳/۸۷**	۴/۰۷**	۴/۰۱**	۵/۱۲**	۲/۶۴**	۰/۷۳	۱/۱۹	۲/۵۳**	۳/۵۳**	۳/۵۸**	۴/۹۶**
میانگین دما حداقل	-۱	-۱/۹۴	**۳/۲۱	*۲/۵۱	-۱/۳	-۱/۲۳	**۳/۳۵	**۲/۷۷	*۲/۳۴	-۰/۴۸	۱/۱۹	۰/۵۷	-۱/۹۸
دبی	**۳/۳۹	*۲/۳۳	**۳/۰۴	**۳/۶۵	**۴/۲۳	**۴/۲۷	**۴/۲۶	**۳/۶۵	**۲/۶۴	**۳/۷۴	۰	**۳/۳۵	**۳/۷۹

* در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است ** در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است

جدول ۵: نتایج بررسی روند تغییرات (شیب تخمین گر سن) ماهانه و سالانه سری‌های زمانی

سری زمانی / ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
بارش	-۰/۲۱	-۰/۱۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۴۹	-۲/۰۴	-۲/۴۹	۱/۱۵	-۲/۰۳	۰/۴۳-
میانگین دما	۰/۰۲	۰/۰۲	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۳	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۱	۰/۰۳
میانگین دما حداکثر	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۱	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۱
میانگین دما حداقل	-۰/۰۳	-۰/۰۵	-۰/۰۹	-۰/۰۸	-۰/۰۳	-۰/۰۵	-۰/۱۱	-۰/۰۷	-۰/۱	-۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۲	-۰/۰۴
دبی	-۷/۹۷	-۴/۶۱	-۲/۳۶	-۱/۳۷	-۰/۹۹	-۰/۹۵	-۱/۲۲	-۱/۴۳	-۱/۳۴	-۲/۵۷	۰/۰۱	-۶/۵۹	-۳/۲۵

که این روند در مقیاس سالانه نیز صادق است.

نتایج آزمون نقطه شکست برای سری‌های زمانی

در این تحقیق برای بررسی پتانسیل وقوع نقاط شکست در سری داده‌های ایستگاه مورد بررسی از آزمون پتیت استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که تمام متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی دارای ناهمگنی بوده یا به عبارت دیگر دارای جهش بوده‌اند. بارش به صورت مستقیم و دما به صورت واسطه‌ای هم‌چون افزایش میزان تبخیر بر روی سری زمانی دبی مؤثر هستند لذا برای درک بهتر این موضوع نتایج این آزمون برای تمامی متغیرها در جدول شماره ۶ آورده شده است. در شکل ۳ و ۴ نیز نمودار تغییرات نقطه‌ای بارندگی در ماه‌های بهمن (بدون شکست) و اسفند (دارای شکست) برای نمونه آورده شده است. با توجه به نتایج آزمون زمان تغییر متغیرها اوایل دهه ۸۰ می‌باشد. بیش‌ترین ناهمگنی در سری زمانی متغیر دبی و کم‌ترین ناهمگنی در سری زمانی متغیر میانگین دما بوده است. وجود نقطه تغییر در سری‌های زمانی داده‌ها را به دو سری متفاوت تقسیم می‌کند. تغییر زمانی در سری‌های زمانی اطلاعات

مهمی در اختیار می‌گذارد. برای مثال با بررسی این تغییرات ناگهانی می‌توان پی برد که عوامل طبیعی هم‌چون خشکسالی یا تغییر اقلیم چه هنگام سبب تغییر ناگهانی در متغیرهای اقلیمی گشته است که تأثیر این عوامل در شکست سری‌های زمانی در اوایل دهه ۸۰ کاملاً مشهود می‌باشد.

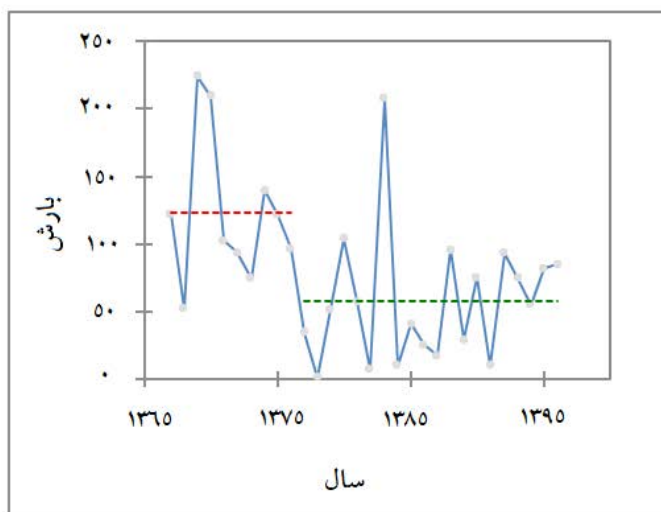
رابطه بین خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی

به‌منظور بررسی رابطه بین بارش و دبی ابتدا شاخص خشکسالی SPI و SDI در ۶ بازه زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه گردید سپس ضریب همبستگی پیرسون بین این دو شاخص در بازه‌های زمانی مذکور محاسبه گردید. نتایج نشان داد که بین شاخص خشکسالی SPI و SDI در سطح ۹۹ درصد همبستگی معنی‌دار وجود دارد که با افزایش گام زمانی میزان این همبستگی نیز بیش‌تر خواهد شد. جدول شماره ۷ نتایج همبستگی بین شاخص خشکسالی SPI و SDI را نشان می‌دهد.

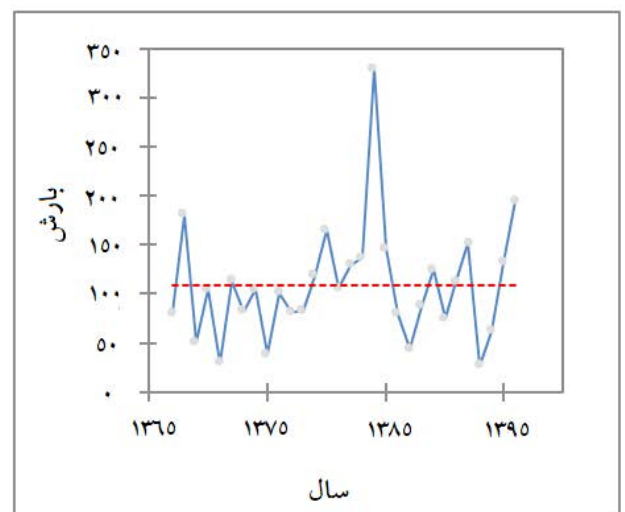
جدول ۶: نتایج آزمون پتیت جهت بررسی نقاط شکست در سری داده‌های ایستگاه سینوپتیک ایلام

سری زمانی/ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
بارش	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۴۲	۰/۷۹	۰/۲۴	۰/۵۶	۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۲۹	۰/۰۷	۰/۰۷
میانگین دما	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۲۴	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۴۶	۰/۷۵	۰/۵۹	۰/۲۶	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۱۱
میانگین دمای حداکثر	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۰۱	۰/۷۹	۰/۳۷	۰/۰۳	۰/۰۱	۰	۰
میانگین دمای حداقل	۰/۱۸	۰/۰۰۲	۰	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۲۲	۰/۳۶	۰/۷۸	۰
دبی	۰/۰۰۳	۰/۰۳	۰/۰۰۳	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۹۲	۰/۰۱	۰

اعداد قرمز به معنای شکست در سری زمانی است



شکل ۴: نمودار تغییرات نقطه‌ای بارش اسفندماه



شکل ۳: نمودار تغییرات نقطه‌ای بارش بهمن‌ماه

جدول ۷: ماتریس ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI و SDI

شاخص و دوره‌ها	SDI3	SDI6	SDI9	SDI12	SDI24	SDI48
SPI3	** ۰/۴۲	** ۰/۴۱	** ۰/۴۰	** ۰/۳۹	** ۰/۳۳	** ۰/۲۸
SPI6	** ۰/۴۵	** ۰/۶۱	** ۰/۶۰	** ۰/۵۸	** ۰/۵۱	** ۰/۴۴
SPI9	** ۰/۵۹	** ۰/۶۶	** ۰/۷۴	** ۰/۷۳	** ۰/۶۲	** ۰/۵۳
SPI12	** ۰/۶۵	** ۰/۷۲	** ۰/۷۶	** ۰/۷۹	** ۰/۶۹	** ۰/۶۰
SPI24	** ۰/۶۱	** ۰/۷۰	** ۰/۷۸	** ۰/۸۳	** ۰/۸۷	** ۰/۷۶
SPI48	** ۰/۶۱	** ۰/۷۰	** ۰/۷۶	** ۰/۸۰	** ۰/۸۷	** ۰/۹۶

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج بررسی روند با دو آزمون من-کندال و شیب سن نشان داد که نوسان بارش در ایستگاه مطالعاتی از روند ثابتی تبعیت نمی‌کند. به این صورت که در برخی ماه‌ها و مقیاس سالانه تغییر مشاهده شده در جهت کاهشی اما در برخی ماه‌ها روند صعودی داشته است که با نتایج تحقیق رضایی و همکاران [۱۸]، حیدری و همکاران [۶] هم‌خوانی دارد. در مورد متغیرهای دمای هوا (میانگین و حداکثر)، نتایج نشان داد که در اکثر مقیاس‌های زمانی روند افزایشی وجود دارد که با نتایج تحقیق کنعانی و همکاران [۸]، سهیلی و همکاران [۲۳]، انصاری و همکاران [۱] هم‌خوانی دارد؛ اما متغیر دمای حداقل در اکثر مقیاس‌های زمانی دارای روند نزولی است که با نتایج تحقیق جعفرزاده و همکاران [۷] مبنی بر افزایشی بودن روند دمای حداقل مخالفت دارد. نتایج بررسی روند دبی نشان داد که دبی در اکثر ماه‌های سال دارای روند کاهشی معنی‌دار می‌باشد که با نتایج تحقیق انصاری و همکاران [۱]، سلمانی و همکاران [۲۰] و ناظری طهرودی و همکاران [۱۴] هم‌خوانی دارد.

نتایج آزمون همگنی سری زمانی متغیرهای هواشناسی نشان داد که تمام متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه تغییر ناگهانی داشتند که با نتایج تحقیق ناظری طهرودی و همکاران [۱۴] هم‌خوانی و با تحقیق سهیلی و همکاران [۲۳]، مبنی بر عدم وجود شکست در سری‌های زمانی بارش و دما مخالفت دارد. با توجه به نتایج آزمون پتیت بیش‌ترین ناهمگنی در سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی زمانی اتفاق افتاده است که سری دارای روند کاهشی یا افزایشی معنی‌دار است یا به عبارت دیگر دارای بیش‌ترین میزان کاهش یا افزایش روند بوده است. بیش‌ترین ناهمگنی در سری زمانی متغیر دبی مشاهده شده که این موضوع با توجه به اینکه بیش‌ترین روند معنی‌داری در این متغیر مشاهده شد دور از انتظار نیست. نتایج ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص SPI و SDI نشان داد که بین شاخص خشکسالی SPI و SDI در سطح ۹۹ درصد همبستگی معنی‌دار وجود دارد که با نتایج تحقیق کوشکی و همکاران [۹] و رودری و همکاران [۱۹] هم‌خوانی دارد. نتایج نشان داد که میزان همبستگی بین بارش و دبی با افزایش گام زمانی بیش‌تر شده است. روند کاهشی بارش در برخی از ماه‌ها به همراه افزایش دما میانگین و حداکثر در اکثر ماه‌ها، وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی به همراه متغیرهای پنهان و واسطه دیگر

باعث کاهش میزان دبی شده است که برای درک بهتر این موضوع پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی به بررسی اثر تغییر اقلیم، تغییر کاربری اراضی بر میزان دبی پرداخته شود تا با درک تمام عوامل مؤثر در کاهش دبی به درستی تصمیمات مدیریتی برای سال‌های آتی اخذ گردد. شایان ذکر است که آبدهی این ایستگاه تحت تأثیر استفاده نادرست از منابع آب قرار دارد که لزوم بررسی این موضوع نیز در تحقیقات آتی ضروری است. یکی دیگر از محدودیت‌های این قبیل تحقیقات کمبود داده مناسب یا پراکنش نامناسب ایستگاه‌ها می‌باشد که تحلیل داده‌ها را با مشکل مواجه می‌نماید؛ بنابراین در مناطقی که داده‌های مربوط به اجزای هیدرولوژی در دسترس نیستند یا محدود هستند، توصیه می‌شود برای دستیابی به سطح قابل قبولی از درک سیستم با حداقل متغیرهای پیش‌بینی کننده، از رویکرد صرفه‌جو^۱ استفاده شود [۱۷].

منابع

1. Ansari, M., Nori, Kh. R., and Fotohi s. 2017. Investigation of Temperature Precipitation and Flow Trend Using Nonparametric Mankendall (Case Study: Kaju River in Sistan and Baluchestan). Journal of Watershed Management Research. 14(7): 152-158. (Persian).
2. Berhane, A., Hadgu, G., Worku, W., and Abrha , B. 2020. Trends in extreme temperature and rainfall indices in the semi-arid areas of Western Tigray, Ethiopia. Environmental Systems Research. 9, 3. DOI: 10.1186/s40068-020-00165-6
3. Clark, J. S., Yiridoe, E. K., Burns, N. K., and Astatkie T. 2005. Trend analysis of temperature and precipitation Series at Selected Canadian Sites. Canadian journal of agricultural economics. 48(1): 27-38.
4. Elzopi, K., Chaturvedi, A., Madhava, K., Gopinath, G., Naveena, K., and Surendran, U. 2020.

1. Parsimonious approach

of Discharge Trend of Kasilian Watershed. Iranian Journal of Watershed Management Science. 24(8):1-8. (Persian).

14. Nazeri Tahroudi, M., Ahmadi, F., and Khalili, K. 2017. Evaluation the Trend and Trend Chang Point of Urmia Lake Basin Precipitation. Journal of Water and Soil. 31(2): 644-659. (Persian).

15. Paulo, A., Ferreira, E., Coelho, C., and PereiraL, S. 2005. Drought class transition analysis through Marko and Log liner models, an approach to early warning. Agriculture Water Management. 77:59- 81.

16. Pettitt, A N. A non-parametric approach to the change-point problem. 1979. Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics). 28(2):126-135.

17. Pirnia, A., Darabi, H., Choubin, B., Omidvar, E., Onyutha, Ch., Torabi Haghighi, A. 2019. Contribution of climatic variability and human activities to stream flow changes in the Haraz River basin, northern Iran. Journal of Hydro-environment Research. 25:12-24. DOI:10.1016/j.jher.2019.05.001.

18. Rezaei, P., and Ghorbanpor, A. 2018. Trend Analysis precipitation change in East Gilan Province. Journal of natural geography. 40(11): 105-120. (Persian).

19. Roodari, A., Hassanpour, F., Yaghoobzadeh, M., and Delavar, M. 2019. Investigation of Relation between Meteorological and Hydrological Drought in Sistan Plain. Journal Environmental Science and Technology. 21(6):33-44. (Persian).

20. Salmani, H., Sheikh, V. B., Mahini, AR., Ownagh, M., and Fathabadi A. 2019. Long-Term Trend Analysis of Climate and Hydrological Series using Removal of the Autocorrelation Statistical Methods in the Eastern Gorganrood Basin, Golestan Province. Journal of Watershed Management Research. 19(10):58-72. (Persian).

21. Serrano, A., Mateos, V L., and Garcia, J A. 1999. Trend of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1995. Physics and Chemistry of the Earth. 24 (1-2):85-90.

22. Shakerian, s., Torabi Podeh, H., Shahinejad, S., and Naghav, i H. 2019. Investigation of the Rainfall and

Trend analysis of long-term rainfall and temperature data for Ethiopia. South African Geographical Journal. DOI: 10.1080/03736245.2020.1835699

5. Farokhnia, A., and Morid, A. 2014. Assessment of the Effects of Temperature and Precipitation Variations on the Trend of River Flows in Urmia Lake Watershed. Journal of Water Waste Water. 25(3):86-97. (Persian).

6. Heidari, S., Goodarzi, M., Shamsipoor, A. A., Bazgir, S., and Abdolahi Kakrudi, A. 2018. Evaluating Statistical Methods for Detecting Trend of Precipitation (Case Study: Kermanshah Province). Journal Watershed ManagementResearch. 12(42): 81-90. (Persian).

7. Jafarzadeh, MS., Rohani, H., Heshmatpor, A., and Kashani, M. 2016. Detecting Trend of Meteorological Series across the Gorganrood Basin in the Last Three Decades. Journal of Watershed Management Research. 13(7):230-240. (Persian).

8. Kanani, R., Fakheri-Fard, A., Ghorbani, M. A., and Dinpashoh, Y. 2019. Trend Analysis of Gradual and Rapid Variations of Hydro-Climatological Factors (Case study: Lighvanchai Basin). Journal of Water and Soil Science. 29(1):97-110. (Persian).

9. Koushki, R., Rahimi, M., Amiri, M., Mohammadi, M., and Dastorani J. 2017. Investigation of relationship between meteorological and hydrological drought in Karkheh watershed. Journal Eco Hydrologi. 4(3):698-687. (Persian).

10. Kundu, A., Chatterjee, S., Dutt, D., and Siddiqui, AR. 2015. Meteorological trend analysis in Western Rajasthan (India) using geographical information system and statistical techniques. Journal Environment and Earth Science. 5(5):90-99.

11. Malekian, A., Choubin, B., Liu, J. Sajedi-Hosseini, F. 2019. Development of a New Integrated Framework for Improved Rainfall-Runoff Modeling under Climate Variability and Human Activities. Water Resources Management. 33:2501–2515. DOI:10.1007/s11269-019-02281-0

12. Mitchell, JM., Dzerdzeevskii, B., Flohn, H., Hofmeyr, W L., Lamb, H. H., Rao, KN., and al. Climate change. WMO. 1966.

13. Nassaji Zavareh. M., Khorshiddoust, AM., Rasouli, A. A., and Slajegheh A. 2014. Assessment

27. Touseef, M., Chen, L., Yang, K and Chen, Y. 2020. Long-Term Rainfall Trends and Future Projections over Xijiang River Basin, China. *Advances in Meteorology*, DOI: 10.1155/2020/6852148
28. Zhang, W., Yan, Y., Zheng, J., Ling, L., Dong, X., and Cai, H. 2009. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Global and Planetary Change*. 69(1-2): 35-47.
29. Zhong, F., Cheng, Q., and Wang, P. 2020. Meteorological Drought, Hydrological Drought, and NDVI in the Heihe River Basin, Northwest China: Evolution and Propagation. *Advances in Meteorology*. DOI:10.1155/2020/2409068
- flow river trend in The Great Karun Basin Using the TFPW-MK. *Journal of Iran Water Resources Research*. 15(3): 272-282. (Persian).
23. Soheili, E., Malekinezhad, H., and Ekhtesasi, MR. 2019. Analysis of Trends in Temperature and Precipitation in Doroodzan Dam Basin using the Modified Mann-Kendall Test. *Journal of Watershed Management Research*. 18(9): 123-134. [Persian].
24. Some, B S., Ezani. A. and Tabari H. 2012. Spatio-temporal trends and change point of precipitation in Iran. *Atmospheric Research*. 113:1-12.
25. Thiel, H. A rank-invariant method of linear and polynomial analysis, 1950.
26. Torkaman, M., Noroozi, A. A., and Homaei, M. 2019. Analysis of the trends of climate parameters using Mann Kendal test (TFPW-MK) in Khuzestan province. *Journal of Environmental Sciences Studies*. 4(1): 884-895. (Persian).



Abstract

Long-term Trend Analysis and the Relationship Between Meteorological and Hydrological Series (Case study: Ilam Dam Watershed)S. Abbasi¹ and N. Rostami²

Received: 2020/12/11 Accepted: 2021/04/14

Rainfall and discharge are the most important climatic and hydrological parameters, the prediction of their behavior is of special importance for water resources management. In this study, the trend of precipitation parameters, maximum, minimum and average temperature and flow over a period of 30 years in Ilam meteorological station and Gol-Gol hydrometric station evaluated. Mann-Kendall and Sen's slope estimator tests were used to determine the trend and Pettitt test was used to determine the change point. To investigate the relationship between discharge and precipitation, SPI and SDI drought indices were calculated and then their relationship in 6 time periods of 3, 6, 9, 12, 24 and 48 months was determined by Pearson correlation method. The results showed that the rainfall trend increased in some months and decreased in others. The average temperature trend and the maximum temperature trend are upward in most months, but the minimum average temperature trend is often downward. Discharge trends are declining in most months. The results of Pearson correlation coefficient showed that there is a significant correlation between SPI and SDI drought indices. According to the results of Pettitt test, the time of change of variables is in the early 80's and the change point in the discharge time series is more than precipitation, which shows that along with climatic factors, human factors have been effective in the discharge rate of the basin.

Keywords: : Pettitt test, Man-Kendall test, Sen's slope estimator, SPI Index, Pearson correlation.

1. Master of Watershed Management, Natural Resources and Watershed Management Organization of Ilam province

2. Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran, Author Corresponding, Email: n.rostami@ilam.ac.ir