

تحلیل زمانی و مکانی روند آبدهی رودخانه کر و خشکسالی حوضه سد درودزن

اسماعیل سهیلی^{۱*}، حسین ملکی نژاد^۲ و محمدرضا اختصاصی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۳)

چکیده

رودخانه کر تأمین کننده بخش مهمی از نیاز آبی، حوضه سد درودزن و مناطق اطراف آن در استان فارس است. در این پژوهش خشکسالی های هواشناسی و هیدرولوژیک این منطقه در چهار دهه اخیر بررسی شده است. بدین منظور روند زمانی و مکانی تغییرات جریان رودخانه در شش ایستگاه منتخب و در سه چارچوب زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بررسی شد. همچنین روند شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده SPI، در پنج ایستگاه منتخب با روش من- کندال اصلاح شده، مطالعه شد. نتایج نشان داد، روند جریان در همه چارچوب های زمانی کاهشی بوده است. روندهای کاهشی معنادار، در سطح اطمینان ۹۵ درصد، در مقیاس ماهانه، سالانه و نیز ماه های گرم سال از اردیبهشت تا شهریور مشاهده شد. این روندهای کاهشی معنادار از نظر مکانی در ایستگاه های میانه حوضه در مجاورت دشت های کشاورزی واقع شده اند. روند افزایشی معنادار تنها در ایستگاه سد درودزن، در خروجی حوضه و در ماه های گرم سال وجود دارد. درباره شاخص SPI نیز روندها در تمام چارچوب های زمانی کاهشی بوده است و تنها در دو ایستگاه و در چارچوب های زمانی بلندمدت ۹، ۱۲ و ۱۸ ماهه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار هستند. نتایج حاکی از وقوع خشکسالی های خیلی شدید ($SPI < -2$) در طی سال های ۶۲-۱۳۶۱ و ۸۷-۱۳۸۶ است.

واژه های کلیدی: من- کندال اصلاح شده، شاخص بارش استاندارد شده، SPI، آزمون روند، استان فارس

۱. بخش مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

۲. بخش مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

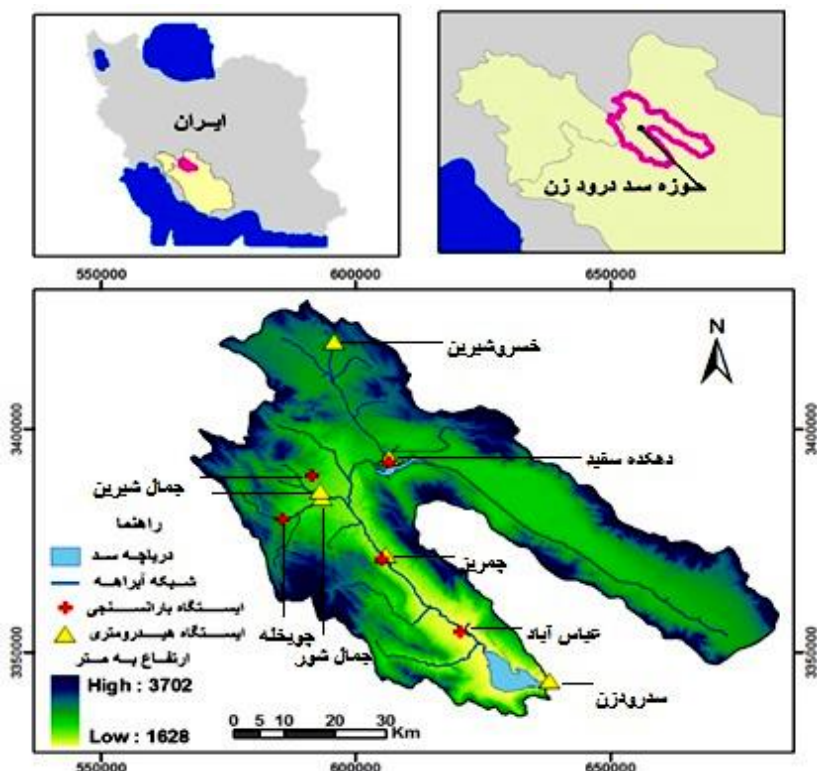
* مسئول مکاتبات: soheili@shirazu.ac.ir

مقدمه

محدودیت منابع آب جزء اصلی‌ترین چالش‌های پیش روی توسعه جوامع بشری از دیرباز تاکنون است. در این میان، مناطق خشک، نیمه‌خشک و بیابانی به دلیل دریافت کمتر نزولات جوی مشکلات بیشتری روبه‌رو و آسیب‌پذیرتر هستند. خشکسالی پدیده‌ای است که به آرامی رخ می‌دهد و اثرات مختلفی بر منابع و بخش‌های مختلف، از جمله کشاورزی و منابع طبیعی، به‌ویژه منابع آب می‌گذارد (۹). تداوم خشکسالی‌ها می‌تواند به تغییر ماهیت اقلیم یک منطقه منجر شود، همچنین خشکسالی‌ها در مقیاس زمانی طولانی به شدت بر منابع آبی سطحی مانند رودخانه‌ها، ذخیره آب در سدها و حتی منابع آب زیرزمینی تأثیرگذار هستند (۸). در برنامه‌ریزی برای منابع آب، خشکسالی هواشناسی به‌عنوان اولین حلقه در زنجیره‌های خشکسالی در نظر گرفته می‌شود (۶). خشکسالی‌های جریان رودخانه به‌معنای دوره‌هایی است که دبی رودخانه برای تأمین نیازهای برنامه‌ریزی شده، در نظام مدیریتی موجود کافی نیست (۳) و معمولاً در پی وقوع خشکسالی‌های هواشناسی میان‌مدت تا بلندمدت اتفاق می‌افتد. خشکسالی در بسیاری از موارد به کمبود بارش برمی‌گردد. شاخص استاندارد شده بارش (SPI) ارائه شده توسط مک‌کی (۱۰) از جمله شاخص‌های پرکاربرد است که برای بیان کمی پدیده خشکسالی و ارزیابی آن در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی استفاده می‌شود. این شاخص دارای مقیاس زمانی متنوعی است و به‌علت‌هایی نظیر سادگی، انعطاف در دوره زمانی و در دسترس بودن داده‌های ورودی (فقط بارش)، به یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها در سطح جهان تبدیل شده است (۱۵) سری‌های زمانی با مقیاس کمتر یا کوتاه‌مدت SPI برای اندازه‌گیری خشکسالی هواشناسی و کشاورزی استفاده می‌شوند و سری‌های زمانی با مقیاس میان‌مدت تا بلندمدت را می‌توان مبنایی برای اندازه‌گیری خشکسالی‌های هیدرولوژیک و یا اقتصادی و اجتماعی قرار داد (۸). بنابراین بررسی همزمان

خشکسالی‌های هواشناسی، روند تغییرات آبدهی حوضه و همچنین خشکسالی‌های هیدرولوژیک در چارچوب‌های زمانی مختلف، امکان ایجاد ارتباط بین آنها را فراهم می‌آورد. در این صورت می‌توان به مدیریت هرچه بهتر منابع آب و راهکارهای مناسب به‌منظور مقابله با اثرات سوء خشکسالی پرداخت.

در بررسی روند خشکسالی‌های هواشناسی، استفاده از روش‌های پارامتری و به‌ویژه ناپارامتری، به‌صورت گسترده مورد توجه بوده است (۷ و ۸). منتصری و همکاران (۱۲) تغییرات زمانی و مکانی دوره‌های ترسالی و خشکسالی را در شمال غرب کشور بر اساس دو شاخص SPI و RAI و به‌کمک دو آزمون من-کندال معمول و اصلاح‌شده، بررسی کردند. نتایج ایشان نشان‌دهنده وجود روند منفی در بیشتر ایستگاه‌ها به‌ویژه در غرب حوضه دریاچه ارومیه بود. زارع ابیانه و همکاران (۲۱) در مطالعه‌ای روند تغییرات بارش، دما و خشکسالی را در مقیاس فصلی و سالانه در استان همدان با شاخص SPI و آزمون من-کندال بررسی کردند. نتایج حاکی از افزایش خشکسالی‌های سالانه در ۶۷ درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه ایشان بود. کوثری و همکاران (۸) روند خشکسالی‌های هواشناسی و کشاورزی را در مناطق نیمه‌خشک، خشک و فراخشک جهان به‌کمک شاخص SPI و آزمون من-کندال بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد روندهای منفی SPI که نشان‌دهنده افزایش خشکسالی است، در مناطق خاورمیانه، مرکز استرالیا و غرب آمریکا بیشتر مشهود است. اسپینونی و همکاران (۱۶) به بررسی روند تغییرات شدت و فراوانی خشکسالی‌های فصلی در قاره اروپا، به‌کمک دو شاخص SPI و SPEI (شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده) در چارچوب زمانی سه ماهه (فصلی) پرداختند و نتیجه گرفتند که در طول سه دهه اخیر، شدت و فراوانی شرایط خشک در مناطق مرکزی، مدیترانه‌ای و شرق اروپا به‌ترتیب در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز افزایش چشمگیر داشته است.



شکل ۱. موقعیت حوضه سد درودزن در استان فارس و پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌سنجی داده‌های مورد استفاده

همکاران (۱۹) روند تغییرات جریان رودخانه را در شش دهه گذشته در شمال غرب اسپانیا، به کمک آزمون روند من-کنندال بررسی کردند. نتایج نشان داد که وقوع سیلاب‌های بزرگ در بالادست حوضه کاهش یافته، درحالی که جریان‌های حداقل در پایین‌دست حوضه افزایش داشته است.

این پژوهش با هدف بررسی روند خشکسالی‌های هواشناسی و آبدهی رودخانه‌ها در چارچوب زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در چهار دهه (۱۳۹۰-۱۳۵۰) اخیر در حوضه سد درودزن که یکی از مناطق کشاورزی استراتژیک در سطح استان فارس و کشور است، انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

سد درودزن از مهم‌ترین سدهای استان فارس و کشور است. سطح حوضه آبریز سد درودزن، که در شکل (۱) نشان داده شده است، حدود ۴۳۱۱ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط آن حدود

در رابطه با روند خشکسالی‌های هیدرولوژیک و همچنین بررسی جریان‌های آب‌های سطحی، ترابی‌پوده و ام‌مقلی‌زاده (۱۷) روند تغییرات جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری قسمت مرکزی حوضه رودخانه کرخه در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه را با استفاده از آزمون‌های آماری بررسی کردند. نتایج نشان داد در مقیاس سالانه بیش از ۷۰ درصد ایستگاه‌ها روند کاهشی معنادار در سطح اطمینان ۹۵ داشته‌اند. همچنین اودونگو و همکاران (۱۳) روند تغییرات ۵۰ ساله، بارش، جریان رودخانه و متوسط حجم سالانه دریاچه را در چارچوب زمانی مختلف (حداکثر، متوسط و حداقل ماهانه و فصلی) در کشور کنیا به‌کمک روش من-کنندال اصلاح‌شده، بررسی کردند. نتایج حاکی از روند کاهشی معنی‌دار تغییرات سطح دریاچه و جریان حداقل رودخانه بود. با توجه به عدم تغییر در بارش منطقه مورد مطالعه، ایشان نتیجه گرفتند، فعالیت‌های انسانی مانند تغییر پوشش زمین و توسعه زیر ساخت‌ها می‌تواند دلیل تغییرات جریان رودخانه و حجم دریاچه باشد ویشنت-سرانو و

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی و آب‌سنجی در حوضه سد درودزن

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول دوره آماری (سال)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین بارش (mm) / آبدهی (m ³ /s)
چمریز	باران‌سنجی	۴۵	۵۱/۱۰	۳۰/۴۵	۴۷۰/۱
عباس‌آباد	باران‌سنجی	۴۴	۵۲/۲۵	۳۰/۳۲	۴۵۱/۱
چوبیخله	باران‌سنجی	۳۹	۵۱/۸۹	۳۰/۵۵	۸۴۰/۲
دهکده سفید	باران‌سنجی	۳۹	۵۲/۱۱	۳۰/۶۶	۴۶۸/۶
جمال بیگ شیرین	باران‌سنجی	۴۳	۵۱/۹۵	۳۰/۶۴	۵۱۶/۱
چمریز	آب‌سنجی	۴۷	۵۱/۱۰	۳۰/۴۵	۲۵/۲۹
سد درودزن	آب‌سنجی	۳۷	۵۲/۵۸	۳۰/۳۱	۱۶/۷۳
خسروشیرین	آب‌سنجی	۳۷	۵۲/۰۲	۳۰/۹۰	۲/۳۴
جمال شور	آب‌سنجی	۳۷	۵۲/۰۱	۳۰/۹۰	۱/۷۵
جمال شیرین	آب‌سنجی	۴۱	۵۱/۹۵	۳۰/۶۴	۷/۴۵
دهکده سفید	آب‌سنجی	۳۷	۵۲/۱۱	۳۰/۶۶	۴/۷۸

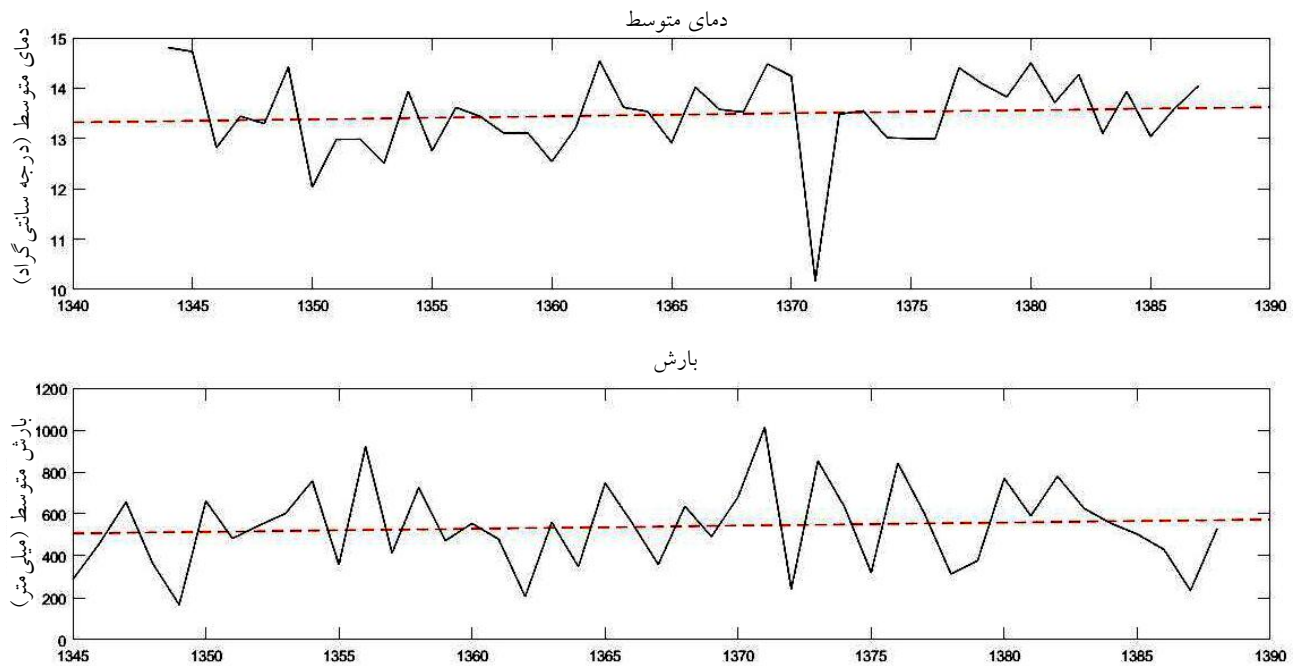
داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده

به منظور بررسی طولانی مدت روند خشکسالی هواشناسی و آبدهی جریان رودخانه در حوضه مورد مطالعه و همچنین ایجاد ارتباط بین تغییرات بارش و تغییرات آبدهی رودخانه، پس از بررسی ایستگاه‌های موجود، اقدام به انتخاب پنج ایستگاه هواشناسی و شش ایستگاه آب‌سنجی مطابق با جدول (۱) که حداقل دارای آمار در چهار دهه اخیر باشند، شد. همچنین به منظور امکان ایجاد ارتباط بیشتر، سعی شد موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی و آب‌سنجی تا حد امکان نزدیک هم انتخاب شوند. همچنین شکل (۲) نشان‌دهنده سری زمانی دمای متوسط و بارش متوسط منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۸۸ است. خط غیرممتد در این سری‌های زمانی معادله درجه یک برازش داده شده بر سری‌های زمانی دما و بارش متوسط منطقه مورد مطالعه است.

محاسبه شاخص استاندارد شده بارش (SPI)

شاخص استاندارد شده بارش به‌طور معمول در مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲ و ۱۸ ماهه محاسبه می‌شود. برای محاسبه این شاخص مقادیر بارش هر ایستگاه بر توزیع

۲۱۶۷ متر از سطح دریا است. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۵۸۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه در محل سد درودزن ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. میزان متوسط تبخیر از طشتک ۲۵۴۶ میلی‌متر در سال و تبخیر از سطح آزاد آب دریاچه سد درودزن ۱۷۵۰ میلی‌متر در سال محاسبه شده است. رژیم آبدهی رودخانه این حوضه یک رژیم دائمی بوده که نتیجه ذوب برف و دبی چشمه‌هاست، از طرفی وقوع بارش‌های ۳۰۰-۲۰۰ میلی‌متری در طول یک واقعه با مقادیر روزانه بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر بارش که سبب طغیان رودخانه می‌شود، غیر عادی نیست (۱۴). بالغ بر ۱۱۲۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی حاصلخیز در پایین‌دست حوضه سد درودزن قرار دارد که در بسیاری از سال‌ها، این مناطق زیر دو کشت پاییزه و بهاره قرار می‌گیرند. نیاز آب بخش قابل توجهی از کشاورزان شهرستان‌های مرودشت، شیراز و خرامه از منابع آبی سد درودزن تأمین می‌شود. بنابراین تغییرات کوچکی در میزان بارش دریافتی و آبدهی رودخانه، می‌تواند شرایط اقتصادی اجتماعی ساکنین این حوضه را تحت تأثیر قرار دهد. از همین‌رو، بررسی خشکسالی‌ها و تغییر روند پارامترهای اقلیمی و آبدهی رودخانه در این حوضه از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.



شکل ۲. سری‌های زمانی دمای متوسط و بارش متوسط منطقه مورد مطالعه

را به متغیر تصادفی نرمال استاندارد یا همان SPI تبدیل می‌کند.

$$Z = \text{SPI} = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad (3)$$

for $0 < H(x) < 0.5$

$$Z = \text{SPI} = \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad (4)$$

for $0.5 < H(x) < 1.0$

ضرایب مربوط به روابط (۳) و (۴) به قرار زیر است (۱۱)

$$c_0 = 2/515517, c_1 = 0/802853, c_2 = 0/010328$$

$$d_1 = 1/432788, d_2 = 0/189269, d_3 = 0/001308$$

بدین ترتیب مقدار SPI نرمالیزه شده را نشان می‌دهد که نمایانگر مقدار انحرافات بالاتر و یا پایین‌تر از میانگین است. جدول (۲)، نشان‌دهنده طبقات خشکسالی بر اساس شاخص SPI است.

آزمون من-کندال

روش من-کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۰) توسعه یافت. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت

آماري مناسبی که معمولاً توزیع گاما و پیرسون تیپ سه هستند، برازش داده می‌شود. توزیع آماری گاما برازش خوبی با سری زمانی اقلیمی دارای چولگی مانند بارش دارد (۱۰). بنابراین برای یک ایستگاه معین با برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی شاخص بارش استاندارد شده محاسبه شد. تابع توزیع گاما به صورت تابع چگالی احتمال یا فراوانی به صورت رابطه (۱) تعریف شده است.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{for } x > 0 \quad (1)$$

در رابطه (۱) $\alpha > 0$ پارامتر شکل، $\beta > 0$ پارامتر مقیاس، $x > 0$ مقدار بارندگی و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است. زمانی که تابع گاما برای $x=0$ تعریف نشده باشد و توزیع بارندگی دارای مقادیر صفر باشد؛ در این حالت احتمال تجمعی از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (2)$$

در رابطه (۲)، q احتمال بارندگی صفر است، $G(x)$ احتمال تجمعی گاما و $H(x)$ مقادیر انتقال داده شده به نمره Z با استفاده از تقریب آبراموتیز و استوگان (۱) است. این تقریب که با استفاده از روابط (۳) و (۴) محاسبه می‌شود، احتمالات تجمعی

جدول ۲. طبقه‌بندی شاخص SPI و تعریف کلاس‌های خشکسالی متناظر با آن

طبقه‌بندی خشکسالی	مقدار شاخص SPI
به شدت مرطوب	۲ و بیشتر از آن
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹
نسبتاً مرطوب	۱/۰۰ تا ۱/۴۹
مرطوب ملایم	۰ تا ۰/۹۹
خشکسالی ملایم	۰ تا ۰/۹۹
نسبتاً خشک	-۱/۰۰ تا -۱/۴۹
خیلی خشک	-۱/۵۰ تا -۱/۹۹
به شدت خشک	-۲/۰۰ و کمتر از آن

$$\text{Var}(s) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)] \quad \text{if } n > 10 \quad (7)$$

$$\text{Var}(s) = \frac{[n(n-1)(2n+5)]}{18} \quad \text{if } n \leq 10 \quad (8)$$

که m معرف تعداد دنباله‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان در یک دنباله (تعداد گره‌ها) است. در نهایت نیز آماره Z به کمک رابطه (۹) استخراج شد:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (9)$$

آزمون من-کندال اصلاح شده

فرض اصلی بیشتر مطالعات تحلیل روند با استفاده از آزمون بر این است که داده‌های نمونه خودهمبستگی معنی‌داری ندارند، چنانچه یک سری دارای ضرایب خودهمبستگی مثبت باشد، احتمال اینکه آزمون من-کندال وجود روند را در این سری نشان دهد، افزایش می‌یابد. در این صورت فرض صفر، مبنی بر عدم وجود روند، رد می‌شود (۵، ۹ و ۱۷). در این روش، اثر همه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از داده‌ها حذف می‌شود و برای سری‌هایی استفاده می‌شود که ضرایب خودهمبستگی آنها در یک یا چند مورد

دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌هاست. در این روش با مقایسه هر یک از داده‌های یک سری زمانی به ترتیب سال وقوع با تمامی مشاهدات پس از آن، تابع علامت و سپس مقادیر مجموع یا همان پارامتر S و در نهایت آماره Z به شرح روابط زیر محاسبه می‌شود. مقدار مثبت Z روند افزایشی و مقدار منفی آن روند کاهشی را در سری زمانی نشان می‌دهد. اگر قدر مطلق Z بزرگ‌تر از $1/960$ یا $2/576$ شد به ترتیب در سطح پنج و یک درصد فرض صفر یعنی عدم وجود روند، رد و فرض یک که بیانگر وجود روند است، پذیرفته می‌شود (۱۸).

ابتدا اختلاف بین هر یک از مشاهدات سری زمانی با تمام مشاهدات بعد از آن محاسبه شده و پارامتر S مطابق رابطه (۵) به دست آمد:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (5)$$

که n تعداد مشاهدات سری و x_k و x_j به ترتیب داده‌های k ام و j ام سری هستند. تابع علامت sgn نیز به صورت رابطه (۶) محاسبه شد:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

در مرحله بعد محاسبه واریانس S توسط یکی از روابط (۷) یا (۸) محاسبه شد:

نزولی معنادار سری زمانی دبی (در سطح اطمینان پنج درصد) در ایستگاه‌های مورد بررسی است. مقادیر کوچک‌تر از ۱/۹۶ و بزرگ‌تر از ۱/۹۶- سری‌های بدون روند معنادار هستند. مقادیر معنادار با علامت ستاره* در جدول مشخص شده‌اند. وجود روندهای معنادار صعودی و نزولی و همچنین بدون روند معنادار در این جدول قابل مشاهده است. با این حال مقادیر بدون روند معنادار از فراوانی به مراتب بیشتری برخوردار است. ۸۳ درصد از روندها بدون معنا هستند. در مراتب بعدی، روندهای معنادار نزولی از فراوانی بیشتری نسبت به نوع صعودی برخوردار است. در واقع به غیر از ایستگاه سد درودزن، که در پایین دست سد قرار دارد و متأثر از آب رها شده از سد است، بقیه ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی هستند. ایستگاه سد درودزن در ماه‌های گرم سال یعنی اردیبهشت تا شهریور دارای روند صعودی معنادار است. ایستگاه‌هایی مانند چمریز، جمال شور و جمال شیرین در برخی از ماه‌ها دارای روند نزولی معنادار هستند.

توزیع مکانی روندهای مورد بررسی در مقیاس زمانی ماهانه دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در حوضه سد درودزن در شکل (۳) نمایش داده شده است. این شکل نشان‌دهنده آن است که روندهای معنادار نزولی بیشتر در ماه‌های گرم سال و در بخش غربی حوضه، قرار دارند. در واقع روندهای معنادار در سرشاخه‌ها مشاهده نمی‌شوند و بیشتر در بخش‌های مرکزی و غرب، نزدیک به بخش‌های خروجی حوضه که کاربری کشاورزی و برنج‌کاری دارند، قرار دارند.

جدول (۴) نشان‌دهنده مقادیر Z آزمون من- کندال اصلاح شده در سری‌های زمانی دبی فصلی، سالانه و ماهانه پیوسته است. در این جدول نیز سری‌های زمانی بدون روند فراوانی بیشتری دارند. با این حال، همانند مقیاس ماهانه، ایستگاه‌های چمریز، جمال شور و جمال شیرین در مقیاس سالانه و همچنین ماهانه پیوسته دارای روند نزولی هستند. ایستگاه دهکده سفید نیز در سری زمانی ماهانه پیوسته دارای

معنی دار باشند (۴، ۷ و ۱۷). ابتدا ضریب خودهمبستگی مرتبه K ام از رابطه (۱۰) محاسبه شد.

$$rk = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x}_t)(x_{t+k} - \bar{x}_t)}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x}_t)^2} \quad (10)$$

در رابطه (۱۰) ضریب خودهمبستگی مرتبه k ام و \bar{x} میانگین سری زمانی است. معنی‌داری ضریب خودهمبستگی مرتبه K ام در سطح ۹۵ درصد از رابطه (۱۱) بررسی شد. در صورتی که مقدار ضریب همبستگی داده‌های سری زمانی در شرط زیر صدق نکند، ضریب خودهمبستگی معنی‌دار بوده و باید اثر آن حذف شود.

$$\frac{1-1/96\sqrt{n-k-1}}{n-k} \leq rk \leq \frac{1+1/96\sqrt{n-k-1}}{n-k} \quad (11)$$

سپس واریانس اصلاح شده $V(S)^*$ آماره Z من- کندال از روابط (۱۲) و (۱۳) محاسبه شد

$$V(S)^* = V(S) \frac{n}{n^*} \quad (12)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \times \sum_{k=1}^{n-1} (n-k)(n-k-1)(n-k-2) \quad (13)$$

در رابطه (۱۲) و (۱۳)، $V(S)$ از رابطه (۷) محاسبه می‌شود و ضریب اصلاحی واریانس سری‌های خودهمبسته است.

در نهایت آماره Z آزمون من- کندال با جایگزینی واریانس اصلاح شده به جای واریانس در رابطه (۶) به دست آمد.

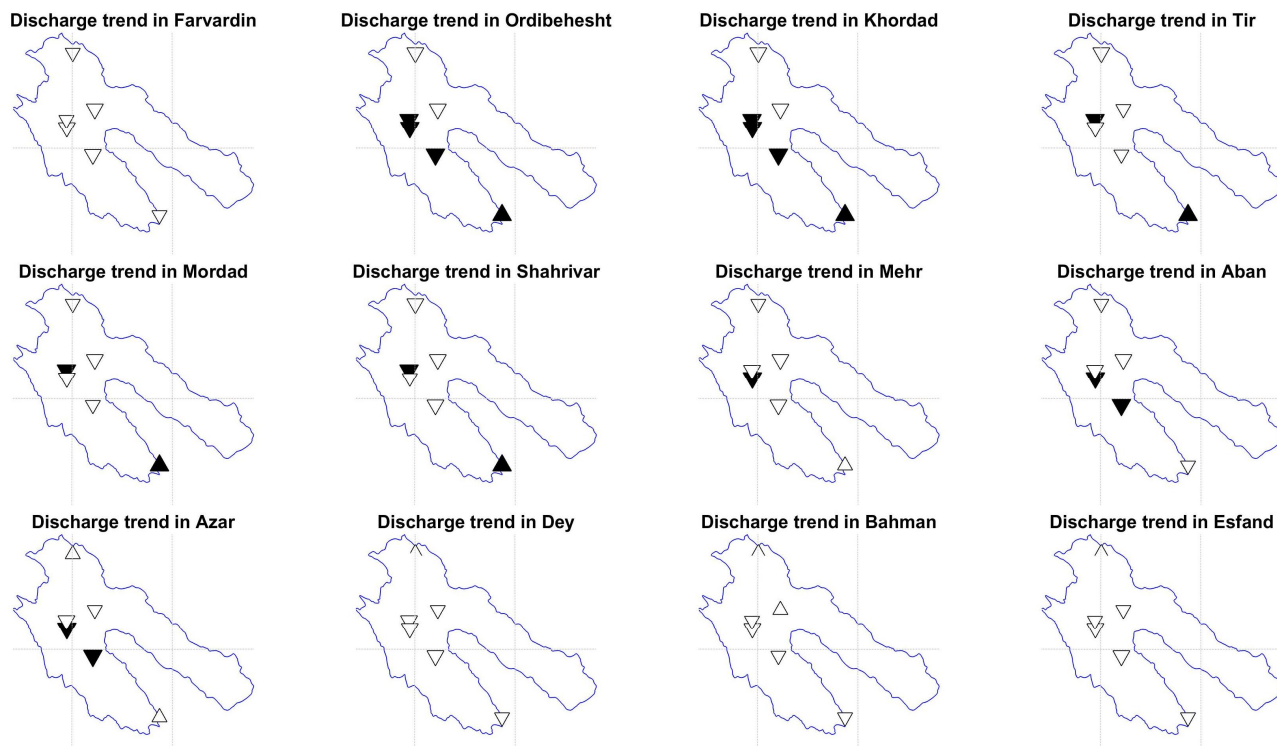
بحث و نتایج

نتایج حاصل از آزمون روند من- کندال اصلاح شده بر سری‌های زمانی ایستگاه‌های هیدرومتری و همچنین سری‌های زمانی SPI در ادامه آمده است. جدول (۳) حاوی اطلاعات مقادیر Z حاصل از آزمون من- کندال در سری زمانی دبی‌های ماهانه شش ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه است. در این جدول، مقادیر Z بزرگ‌تر از ۱/۹۶ و همچنین کوچک‌تر از ۱/۹۶- به ترتیب نشان‌دهنده روند صعودی و

جدول ۳. نتایج آزمون من- کندال اصلاح شده بر سری داده‌های دبی ماهانه

اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	نام ایستگاه
-۱/۲۲	-۰/۸۵	-۱/۵۳	-۲/۱۷*	-۲/۶۰*	-۱/۲۸	-۱/۷۴	-۰/۸۰	-۰/۴۱	-۲/۸۱*	-۲/۶۸*	-۱/۲۷	چمبریز
۰	-۰/۸۵	-۰/۴۶	۰/۷۲	-۰/۶۹	۰/۶۷	۲/۵۲*	۲/۹۳*	۳/۳۶*	۳/۴۵*	۲/۳۴*	-۰/۴۱	سد درودزن
۱/۶۸	۱/۸۱	۱/۸۷	۰/۱۴	-۰/۱۲	-۰/۶۳	-۱/۵۸	-۰/۸۴	-۱/۰۱	-۱/۰۷	-۱/۱۸	۰	خسروشیرین
-۰/۴۱	-۰/۶۷	-۱/۳۱	-۱/۰۱	-۱/۸۳	-۱/۸۷	-۳/۹۸*	-۲/۱۲*	-۳/۱۸*	-۲/۹۲*	-۲/۱۳*	-۰/۵۲	جمال شور
-۱/۴۳	-۱/۲۲	-۱/۹۰	-۲/۶۸*	-۲/۶۸*	-۱/۹۶*	-۰/۸۶	-۱/۶۹	-۱/۹۵	-۲/۲۹*	-۲/۱۸*	-۱/۳۲	جمال شیرین
-۰/۲۷	۰/۲۲	-۰/۴۶	-۰/۵۸	-۱/۸۹	-۱/۰۸	-۱/۵۴	-۱/۵۷	-۰/۶۴	-۱/۳۳	-۱/۷۷	-۱/۳۲	دهکده سفید

*: اعداد بزرگ‌تر از ۱/۹۶ بیانگر معنادار بودن روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد و علامت مثبت یا منفی نشان‌دهنده روند افزایشی یا کاهش می‌باشد.



شکل ۳. نقشه پراکنش مکانی معناداری روند دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در حوضه سد درودزن در سری‌های زمانی ماهانه گسسته (به تفکیک ۱۲ ماه سال) در بازه زمانی ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ (مثلث‌های سیاه نشان‌دهنده معنادار بودن روند و جهت رأس مثلث به سمت بالا و پایین به ترتیب نشان‌دهنده روند افزایش و کاهش است. مثلث‌های سفید نشان‌دهنده عدم وجود روند در سری‌های زمانی است).

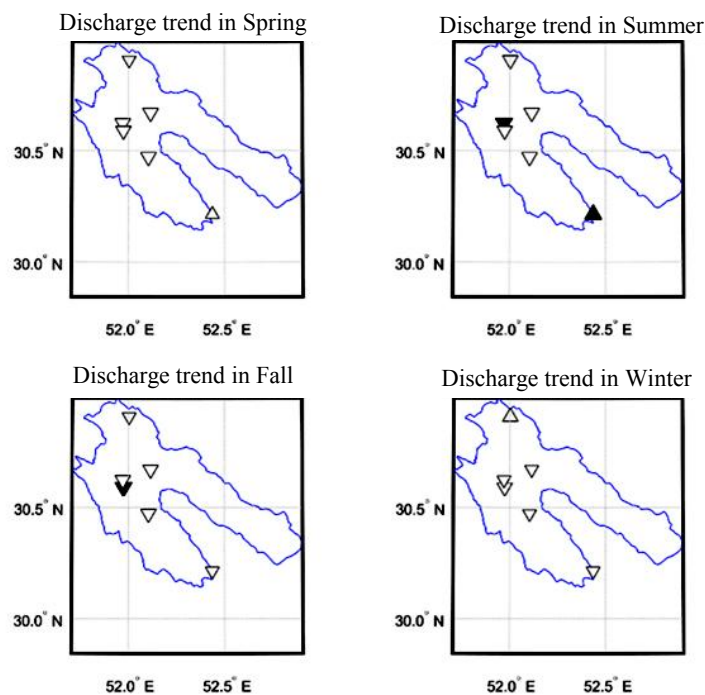
جدول ۴. نتایج آزمون من- کندال اصلاح‌شده بر سری داده‌های دبی فصلی، سالانه و ماهانه پیوسته

نام ایستگاه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه	ماهانه پیوسته
چمریز	-۱/۷۸	-۱/۰۸	-۱/۸۱	-۰/۹۱	-۲/۲۹*	-۴/۸۴*
سد درودزن	۰/۶۴	۲/۷۱*	-۰/۱۷	-۰/۷۸	-۰/۲۵	۰/۷۹
خسروشیرین	-۰/۵۹	-۱/۰۲	-۰/۱۵	۱/۸۵	-۰/۴۸	-۰/۷۱
جمال شور	-۱/۰۲	-۲/۶۶*	-۱/۶۳	-۰/۰۴	۱/۱۸	-۳/۳۰*
جمال شیرین	-۱/۴۳	-۱/۵۴	-۲/۵۲*	-۱/۳۵	-۲/۹۴*	-۴/۵۴*
دهکده سفید	-۱/۴۶	-۱/۳۱	-۱/۳۲	۰	-۰/۸۰	-۳/۲۶*

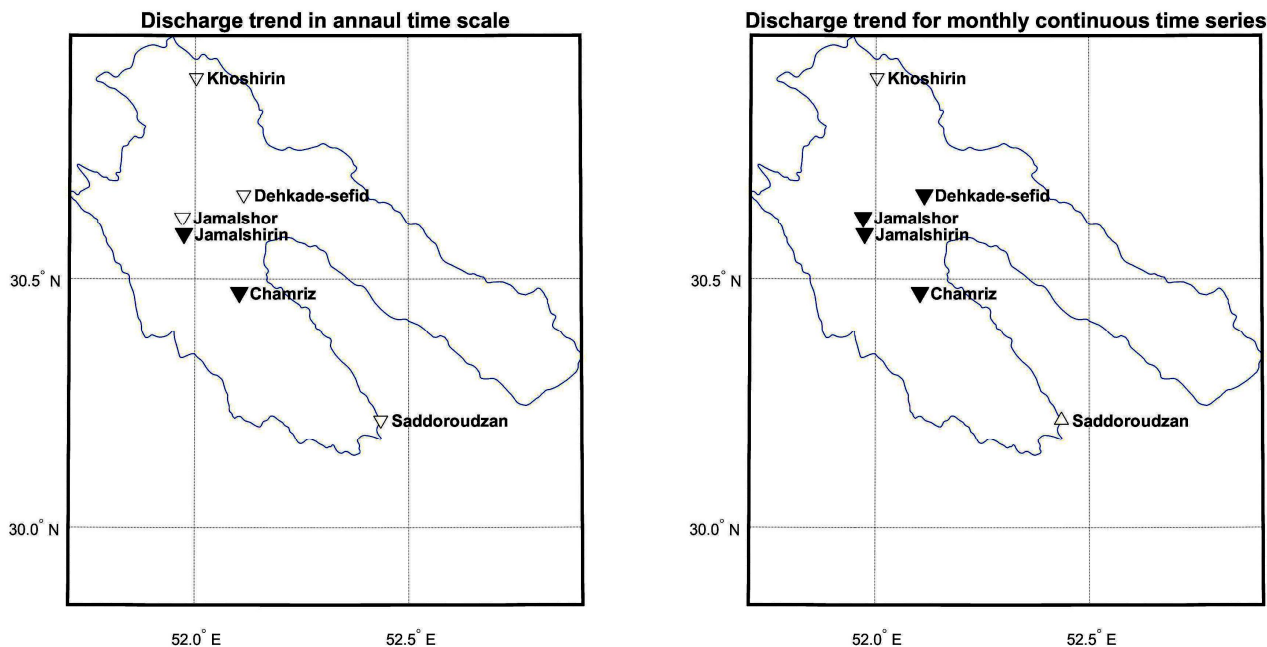
*: اعداد بزرگ‌تر از ۱/۹۶ بیانگر معنادار بودن روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد و علامت مثبت یا منفی نشان‌دهنده روند افزایشی یا کاهشی است.

که بیشتر روندها دارای علامت منفی البته بدون معناداری آماری هستند. فقط ایستگاه‌های جمال شور و شیرین به ترتیب در فصل‌های تابستان و پاییز دارای روند نزولی معنادار هستند. روند صعودی دبی در ایستگاه سد درودزن (خروجی حوضه سد) در فصل تابستان نیز در این شکل قابل

روند نزولی معنادار است. ایستگاه سد درودزن در فصل تابستان دارای روند صعودی معنادار هستند. توزیع مکانی روندهای فصلی جریان در شکل (۴) و روندهای ماهانه پیوسته و سالانه شکل (۵) نمایش داده شده است. توزیع مکانی روندهای فصلی دبی حاکی از آن است



شکل ۴. نقشه پراکنش مکانی معناداری روند دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در حوضه سد درودزن در سری زمانی فصلی و در بازه زمانی ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ (مثلث‌های سیاه نشان‌دهنده معنادار بودن روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد و جهت رأس مثلث به سمت بالا و پایین به ترتیب نشان‌دهنده روند افزایش و کاهش است. مثلث‌های سفید نشان‌دهنده عدم وجود روند در سری‌های زمانی است).



شکل ۵. نقشه پراکنش مکانی معناداری روند دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در حوضه سد درودزن در سری زمانی سالانه (سمت چپ) و ماهانه پیوسته (سمت راست) در بازه زمانی ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ (مثلث‌های سیاه نشان‌دهنده معنادار بودن روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد و جهت رأس مثلث به سمت بالا و پایین به ترتیب نشان‌دهنده روند افزایش و کاهش است. مثلث‌های سفید نشان‌دهنده عدم وجود روند در سری‌های زمانی است).

جدول ۵. نتایج آزمون من کندال اصلاح شده در سری‌های زمانی SPI

نام ایستگاه	SPI ۱ ماهه	SPI ۳ ماهه	SPI ۶ ماهه	SPI ۹ ماهه	SPI ۱۲ ماهه	SPI ۱۸ ماهه
چمریز	-۱/۶۵	-۱/۶۳	-۱/۹۷*	-۳/۵۹*	-۵/۱۸*	-۴/۶۱*
عباس آباد	-۰/۵۱	-۰/۳۴	-۰/۲۳	-۰/۴۵	-۰/۷۱	-۰/۲۳
چوخله	-۰/۲۲	-۰/۰۷	۰/۱۹	۰/۲۷	۰/۶۱	۰/۶۱
دهکده سفید	-۰/۶۹	-۰/۶۴	-۰/۵۵	-۰/۸۸	-۰/۸۶	-۰/۲۵
جمال بیگ شیرین	-۰/۹۰	-۰/۷۹	-۰/۸۴	-۱/۶۳	-۲/۶۹*	-۲/۶۷*

*: اعداد بزرگ‌تر از ۱/۹۶ بیانگر معنادار بودن روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد و علامت مثبت یا منفی نشان‌دهنده روند افزایشی یا کاهش‌ی است.

جریان ماه یا ماه‌های آینده را نیز در نظر می‌گیرد، می‌تواند تأثیر بارش بر دبی را به‌خوبی نشان دهد. با دقت در شکل (۷) مشخص می‌شود تغییرات میانگین متحرک سری‌های سه‌ماهه جریان رودخانه به‌جز در چند دوره زمانی کوتاه مطابق با تغییرات SPI سه‌ماهه بوده است. در دوره‌های زمانی که عدم مطابقت میانگین متحرک جریان و SPI سه‌ماهه دیده می‌شود، با دقت در سری SPI ۱۲ ماهه می‌توان دریافت که در این دوره‌ها، خشکسالی‌های شدید اتفاق افتاده، از این‌رو جریان نیز به‌تبع این خشکسالی‌ها با کاهش شدید روبه‌رو بوده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روند سری‌های زمانی دبی متوسط در مقیاس‌های ماهانه، فصلی، سالانه و ماهانه پیوسته به‌همراه سری‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI و در حوضه سد درودزن مورد بررسی شد. نتایج به‌وضوح نشان‌دهنده روند نزولی دبی در بیشتر موارد و همچنین افزایش خشکسالی در طی سال‌های اخیر در حوضه مورد مطالعه است.

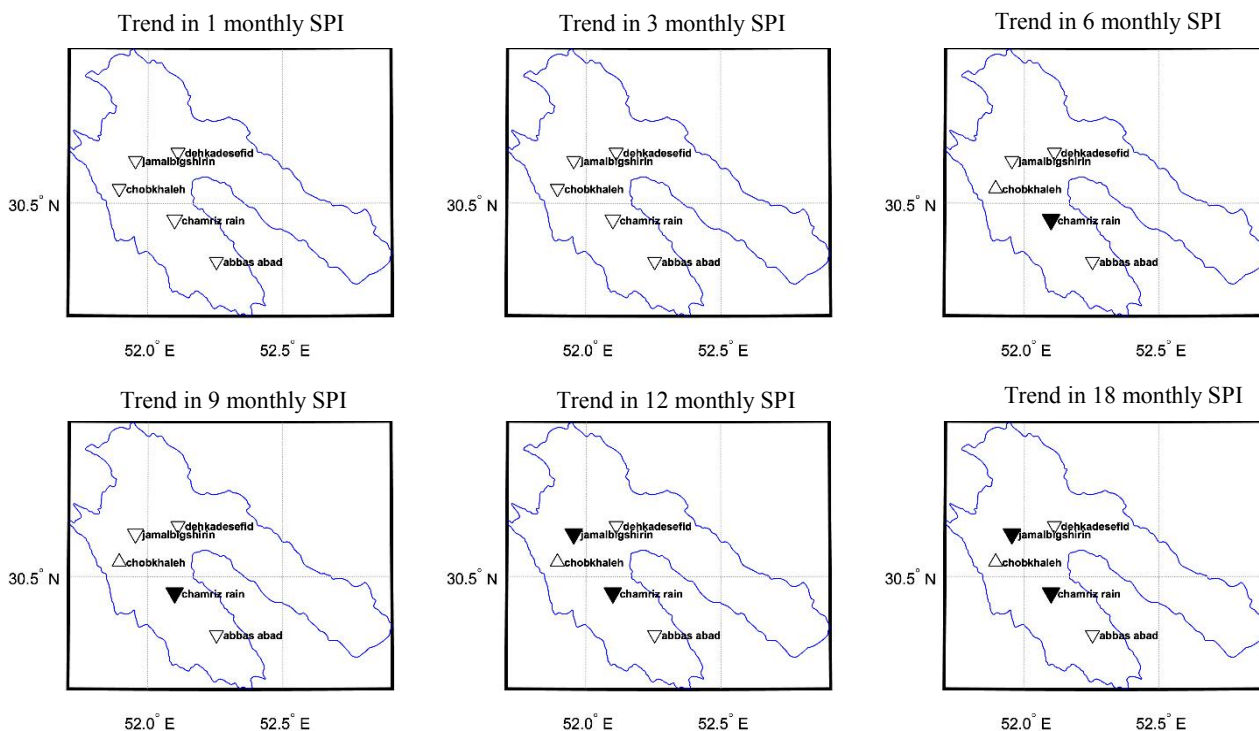
بررسی روند سری زمانی دبی در ماه‌های مختلف مطابق با جدول (۳)، در این حوضه نشان می‌دهد که تقریباً در تمامی ماه‌ها روند کاهشی دبی در همه ایستگاه‌ها وجود دارد. این روندهای کاهشی به‌ویژه در ماه‌های گرم سال، یعنی اردیبهشت و خرداد تا شهریور در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار هستند و تنها، ایستگاه سد درودزن که در خروجی حوضه و در پایین‌دست سد قرار دارد، روند افزایشی معنی‌دار در فصول گرم سال دارد که این موضوع بیانگر تأثیر آبدی این ایستگاه از آب

مشاهده است. توزیع مکانی داده‌های سالانه و به‌ویژه، سری زمانی ماهانه پیوسته دبی، وجود روندهای معنادار نزولی را بیشتر مشخص می‌کند. در ایستگاه‌های واقع در بخش‌های مرکزی و غرب حوضه درودزن که منتهی به بخش‌های خروجی آن نیز می‌شود، روندهای نزولی معنادار قابل مشاهده است. در مقیاس سالانه و ماهانه پیوسته، ایستگاه سد درودزن روند معنادار افزایشی را نشان نمی‌دهد.

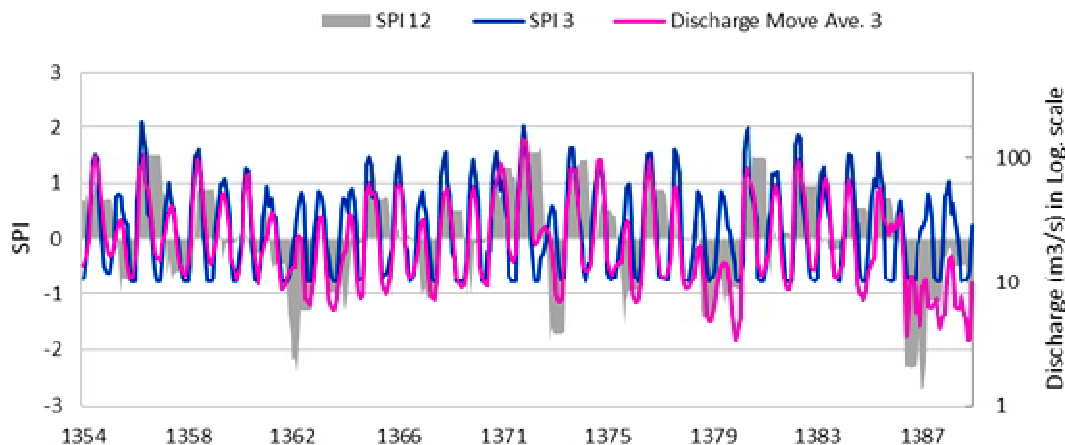
جدول (۵) نشان‌دهنده مقادیر Z آزمون من-کندال اصلاح‌شده در سری‌های زمانی SPI ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۸ ماهه است. روند صعودی معنادار در این جدول مشاهده نمی‌شود. از طرفی بیشتر روندها نزولی بوده است که در مقیاس ۱ و ۳ ماهه روند معنادار نیست اما در مقیاس‌های ۶، ۹، ۱۲ و ۱۸ ماهه ایستگاه چمریز و در مقیاس ۱۲ و ۱۸ ماهه ایستگاه جمال شیرین روند نزولی معنی‌داری را نشان می‌دهد.

توزیع مکانی روندها در مقیاس‌های زمانی مورد بررسی در شکل (۶) نشان داده شده است. در کل روندهای دارای علامت منفی در این شکل و در رابطه با هر مقیاس زمانی مشاهده می‌شود، البته بیشتر آنها معنادار نیستند. فقط ایستگاه‌های چمریز و جمال شیرین دارای روند منفی معنادار هستند. این ایستگاه‌ها در غرب و نقاط مرکزی حوضه قرار گرفته‌اند.

همچنین شکل (۷) نمودار سری‌های زمانی میانگین متحرک سه‌ماهه جریان در مقیاس لگاریتمی و SPI ۳ و ۱۲ ماهه ایستگاه چمریز را نشان می‌دهد. به‌طور معمول تأثیر بارش در یک ماه مشخص بر جریان ماه‌های آینده رودخانه نیز اثرگذار است، از این‌رو میانگین متحرک جریان با توجه به ماهیت خود، که



شکل ۶. نقشه پراکنش مکانی معناداری روند SPI در سری‌های زمانی مختلف مورد بررسی در حوضه سد درودزن در بازه زمانی ۱۳۵۰ تا ۱۳۹۰ (توجه: مثلث‌های سیاه نشان‌دهنده معنادار بودن روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد و جهت رأس مثلث به سمت بالا و پایین به ترتیب نشان‌دهنده روند افزایش و کاهش است).



شکل ۷. مقایسه سری‌های زمانی میانگین متحرک سه‌ماهه جریان و SPI ۳ و ۱۲ ماهه ایستگاه چمریز

کاهش معنی‌دار در بخش‌های غربی و مرکزی و نزدیک به خروجی حوضه قرار گرفته‌اند. همچنین بررسی فصلی تغییرات روند دبی مطابق با جدول (۴) و شکل (۴) نشان داد در همه ایستگاه‌ها روند کاهش دبی وجود دارد و فقط ایستگاه درودزن

رها شده از سد برای مصارف کشاورزی به‌ویژه در فصول گرم سال است. بنابراین با وجود روند کاهش دبی در کل حوضه، این ایستگاه روند افزایشی نشان می‌دهد. توزیع مکانی روندها مطابق با شکل (۳)، نشان می‌دهد ایستگاه‌های دارای روند

در فصل تابستان داری روند معنی‌دار افزایشی است. از طرفی نتایج روند سری‌های زمانی سالانه و ماهانه پیوسته مطابق با جدول (۴) و شکل (۴) نیز نشان داد روند کاهش دبی در همه حوضه حاکم است و باز هم روندهای کاهش معنی‌دار مربوط به ایستگاه‌های مرکز و نزدیک به خروجی حوضه است.

بررسی خشکسالی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت حوضه بر اساس شاخص SPI نشان از روند کاهش این شاخص به‌ویژه در چارچوب‌های زمانی بلندمدت است. باید توجه داشت که روند کاهش SPI به معنای روند افزایشی وقوع خشکسالی‌هاست. برای درک و تحلیل بهتر روندهای اتفاق افتاده، در اینجا لازم است تا علت وقوع خشکسالی‌های با مقیاس زمانی طولانی مدت بررسی شود. معمولاً یک فصل یا بیشتر کمبود بارش اتفاق می‌افتد تا خشکسالی ایجاد شود (۲۰). وقتی یک خشکسالی طولانی مدت، برای مثال ۱۲ ماهه رخ می‌دهد، به معنی آن است که جمع بارش در ۱۲ ماه متوالی در ماه مورد نظر و در آن سال نسبت به همین دوره در سال‌های دیگر کاهش داشته است. در واقع تکرار دو یا چند خشکسالی فصلی که در یک فصل بارش اتفاق می‌افتد، می‌تواند باعث ایجاد یک خشکسالی بزرگ‌تر و طولانی‌تر شوند. حتی گاهی این امکان وجود دارد که طی دو یا سه فصل بارش، شرایط نرمال تجربه شده باشد. از آنجا که سری‌های زمانی خشکسالی معمولاً طبقه‌بندی می‌شود، ممکن است شرایط فصول بارش مذکور در کلاس نرمال قرار گیرند، اما وضعیت آن بیشتر متمایل به شرایط خشک باشد و نه شرایط تر. در چنین حالتی، تکرار دو یا چند فصل بارش در سری‌های زمانی کوتاه‌مدت خشکسالی چندان قابل تشخیص نیست، اما در سری‌های زمانی میان‌مدت یا بلندمدت خشکسالی نظیر سری‌های زمانی ۹، ۱۲ ماهه و یا بیشتر قابل تشخیص هستند (۸).

در تحلیل نتایج این مطالعه، می‌توان به این نکته اشاره کرد که حوضه سد درودزن در استان فارس، یکی از قطب‌های کشاورزی در سطح استان و کشور به حساب می‌آید و در بسیاری از سال‌ها، اراضی کشاورزی تحت دو کشت پاییزه از

اواخر پاییز تا اواخر بهار و کشت بهاره از اواخر بهار تا اواسط پاییز قرار می‌گیرند. از طرفی به علت رژیم دائمی رودخانه در این حوضه در مناطق پایین دست و در دشت‌های اطراف رودخانه مانند منطقه کامفیروز در کشت تابستانه محصول برنج با نیازآبی زیاد، کشت می‌شود. بنابراین با شروع ماه‌های گرم سال و رسیدن به انتهای کشت پاییزه و شروع کشت بهاره، مصرف آب در بخش کشاورزی افزایش یافته در نتیجه برداشت از منابع آب رودخانه به منظور تأمین آب مورد نیاز محصولات کشاورزی افزایش می‌یابد. این موضوع در کنار کاهش دبی رودخانه ناشی از کاهش بارش در ماه‌های گرم سال، منجر به افت شدید جریان رودخانه می‌شود. همچنین با شروع ماه‌های گرم و افزایش تقاضای آب اراضی پایین دست سد درودزن، خروجی آب از سد برای تأمین آب اراضی پایین دست، افزایش می‌یابد، بنابراین روند افزایش معنی‌دار دبی در این ایستگاه در ماه‌های گرم سال از اردیبهشت تا شهریور و فصل تابستان، مؤید این مطلب است. نتایج پژوهش‌های مشابهی در این منطقه نیز نشان می‌دهد که کاهش جریان رودخانه، علاوه بر کاهش بارش، ناشی از افزایش سطح کشت و توسعه کشاورزی در این منطقه است. به طوری که مطالعه انجام شده در سال ۱۳۹۵ توسط باقری و همکاران (۲) نیز نشان می‌دهد که سطح زیر کشت اراضی کشاورزی آبی از سال ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵ در بالادست سد درودزن از ۴۶ به ۲۱۵ هزار هکتار و در پایین دست سد درودزن این مقدار از ۱۵۱ به ۲۶۸ هزار هکتار افزایش یافته است یعنی به ترتیب ۴/۶ و ۱/۸ برابر شده است. همچنین نتایج مطالعه رنجبر و همکارانش (۱۴) در بالادست سد درودزن، نشان می‌دهد که تأثیر عوامل اقلیمی بر کاهش جریان ورودی رودخانه به مخزن سد در ماه‌های گرم سال یعنی اول اردیبهشت، کمتر است. پژوهش‌های مشابهی که در کشورهای دیگر مانند اسپانیا و کنیا انجام گرفته نیز مؤید این نکته است که تأثیر فعالیت‌های انسانی بر روند نزولی جریان‌ات رودخانه‌ها بیشتر از عوامل اقلیمی و خشکسالی‌هاست (۵، ۱۳، ۱۴، ۱۷ و ۱۹). با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که در

نکته قابل تأمل در این خصوص مربوط به نگرانی از ادامه این روند در آینده است، به طوری که با ادامه روند خشکسالی و افزایش تقاضا برای آب، در صورت عدم مدیریت به منظور استفاده بهینه از آب، منطقه دچار کاهش شدید منابع آب و بحران‌های ناشی از آن خواهد شد.

حوضه مورد مطالعه علاوه بر خشکسالی‌های ناشی از کاهش نزولات جوی، عوامل دیگری نظیر افزایش تقاضا برای مصارف کشاورزی باعث روند کاهش جریانی رودخانه، به‌ویژه در ماه‌های گرم سال شده است. این موضوع در مورد ایستگاه‌هایی که در دشت‌های کشاورزی قرار دارند به وضوح دیده می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Abramowitz, M. and A. Stegun. 1965. Handbook of mathematical formulas, graphs and mathematical tables. New York: Dover Publications Inc.
2. Bagheri, M. H., A. Bagheri and Gh. A. Sohooli. 2016. Analysis of changes in the Bakhtegan lake water body under the influence of natural and human factors. *Iran-Water Resources Research* 12(37): 1-11. (In Farsi).
3. Byzedi, M. and B. Saghafian. 2011. Regional analysis of stream flow drought in southwestern of Iran. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering* 5(14): 37-52. (In Farsi).
4. Darand, M. 2014. Analysis of variations in extreme temperature and precipitation in Oromieh indices as the signs of climate change. *Journal of Water and Soil Conservation* 21(2): 1-29. (In Farsi).
5. Farokhnia, A. and S. Morid. 2014. Assessment of the effects of temperature and precipitation variations on the trend of river flows in Urmia Lake Watershed. *Journal of Water and Wastewater* 25(3): 86-97. (In Farsi).
6. Khalili, D. 2016. Challenges facing water resources management under drought conditions in Iran. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 1(2): 149 -164. (In Farsi).
7. Khaliq, M. N., T. B. M. J. Ouarda, P. Gachon, L. Sushama and A. St-Hilaire. 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: 117-130.
8. Kousari, M., M. Ekhtesasi and H. Malekinezhad. 2017. Investigation of long term drought trend in semi-arid, arid and hyper-arid regions of the world. *Desert Management* 4(8): 36-53. (In Farsi).
9. Marofi, S., B. Khatar, M. Sadeghifar, N. Parsafar, and A. R. Ildoromi, 2015. The prediction of drought using the SARIMA time series and index SPI, in the central region of the Hamedan Province, *Journal of Water Research in Agriculture* 28(1): 213-225. (In Farsi).
10. McKee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *In: Proceeding of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, California.*
11. Mishra, A. K. and V. P. Singh. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 391(1): 202-216.
12. Montaseri, M., B. Amirataee, and K. Khalili. 2016. Identification of Trend in spatial and temporal dry and wet periods in northwest of Iran based on SPI and RAI indices. *Journal of Water and Soil* 30(2): 655-671. (In Farsi).
13. Odongo, V. O., C. Tol, P. R. Oel, F. M. Meins, R. Becht, J. Onyando and Z. Su. 2015. Characterisation of hydro climatological trends and variability in the Lake Naivasha basin, Kenya. *Hydrological Processes* 29(15): 3276-3293.
14. Ranjbar, A., D. Khalili, S. Zand Parsa and A. A. Kamgar-Haghighi. 2015. Regional drought monitoring based on infelw into the doroodzan reservoir OIR in Fars Provinc. *Journal of Irrigation Science and Engineering* 38(1): 79-96. (In Farsi).
15. Shokoohi, A. and R. Morovati. 2014. An investigation on the Urmia Lake Basin drought using RDI and SPI indices. *Watershed Engineering and Management* 6(3): 232-246. (In Farsi).
16. Spinoni, J., G. Naumann and J. V. Vogt. 2017. Pan-European seasonal trends and recent changes of drought frequency and severity. *Global and Planetary Change* 148: 113-130.
17. Torabi Poodeh, H. and S. Emamgholizadeh. 2015. Trend analysis of streamflow changing of north watershed of Dez River with TFPW-MK procedure. *Journal of Water and Soil Conservation* 22(3): 39-55. (In Farsi).
18. Vafakhah, M., M. Bakhshi Tiragani and M. Khazaei. 2012. Analysis of rainfall and discharge trend in kashafrood watershed. *Geography and Development Iranian Journal* 10(29): 77-90. (In Farsi).
19. Vicente-Serrano, S., J. Zabalza-Martínez, G. Borràs, J. López-Moreno, E. Pla, D. Pascual and C. Azorin-Molina. 2017. Extreme hydrological events and the influence of reservoirs in a highly regulated river basin of northeastern Spain. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 12: 13-32.
20. WMO. 2012. Standardized Precipitation Index User Guide. Retrieved from CH-1211 Geneva 2, Switzerland:
21. Zareabyaneh, H., M. Bayatvarkeshi and V. Yazdani. 2011. Trend analysis of annual and seasonal temperature, precipitation and drought in Hamedan province. *Journal of Irrigation and Water Engineering* 1(3): 47-58. (In Farsi).

Spatial and Temporal Trend Analysis of Stream Flow in the Kor River and Drought in the Doroodzan Dam Basin

E. Soheili^{1*}, H. Malekinezhad² and M. R. Ekhtesasi²

(Received: August 4-2017 ; Accepted: January 23-2019)

Abstract

The Kor River in Fars province supplies an important part of water requirement in the Doroodzan dam basin and its surrounding area. In this study, the meteorological and hydrological droughts of this area were investigated in the last four decades. For this purpose, the temporal and spatial trend variability of the stream flow was investigated in monthly, seasonal, and annual time scales in the 6 selected stations. The trends of Standardized Precipitation Index SPI, as the drought index, in the 5 selected stations were also studied by the modified Mann-Kendall method. The results indicated that the trend in the stream flow was decreasing in all time scales. Significant downward trends were observed at 95% confidence level on monthly, annual and monthly time scales, especially in the warm months from May to September. These significant downward trends were located spatially in the stations located near the agriculture area, in the middle part of the basin. The significant upward trend existed only at the Doroodzan dam station, at the outlet in the area and in the warm months of the year. In the case of the SPI index, trends were decreasing in all time scales and were significant only at 2 stations in the long-term periods, 9, 12, and 18 months, at 95% confidence level. The results, therefore, indicated the occurrence of severe droughts ($SPI < -2$) during 1982-83 and 2007-8 periods.

Keywords: Modified Mann-Kendal, Standardized Precipitation Index, SPI, Trend test, Fars province

1. Department of Range land and Watershed Management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran.

2. Department of Range land and Watershed Management, College of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

*: Corresponding Author, Email: soheili@shirazu.ac.ir