بررسی روند مقادیر حدی جریان (جریان حداقل و سیل) در حوضه آبخیز سد سفید رود

اسماعیل دودانگه، سعید سلطانی* و علی سرحدی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۲/۲۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۲/۲۴)

چکیده

این مطالعه به بررسی روند متغیرهای اقلیمی و تأثیر احتمالی آنها بر تغییرپذیری منابع آبی می‌پردازد. برای این منظور آزمون‌های ناپارامتریک من- کندال و اسپیرمن جهت بررسی روند بارش سالانه، بارش حداکثر ۲۴ ساعته، سیل و جریان حداقل مربوط به ۲۳ ایستگاه منتخب هیدرومتری و ۱۸ ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه سد سفیدرود به کار گرفته شدند. نتایج نشان داد که روند مجموع بارش سالانه و بارش حداکثر ۲۴ ساعته در تعداد کمی از ایستگاه‌ها معنی‌دار است درحالی‌که در مورد جریان‌های حداقل و سیل این تعداد بالاتر است. با استفاده از آزمون توالی من- کندال (SQMK) نیز نقطه شروع روند پارامترهای اقلیمی، از جمله مجموع بارش سالانه مربوط به سال‌های ۱۹۶۵-۱۹۷۰، و نقطه شروع روند متغیرهای هیدرولوژیک، از جمله سیلاب مربوط به دهه ۱۹۷۰ – ۱۹۸۰، مشخص شد. نتایج نشان می‌دهد تغییرپذیری پارامترهای اقلیمی احتمالاً متأثر از تغییرات اقلیمی است. از طرف دیگر تغییر کاربری اراضی ممکن است یکی از عوامل مؤثر بر روند کاهشی جریان‌های حدی در دهه‌های گذشته باشد. بنابراین می‌توان گفت تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های بشر باعث روند کاهشی متغیرهای هیدرولوژیک می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل روند، پارامترهای هیدرولوژیک، تغییرات اقلیمی، آزمون من- کندال، حوضه سد سفید رود

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد، دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ssoltani@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه خشک، کمبود آب با تغییرپذیری اقلیم تشدید می‌شود (۷) و منابع آب حساسیت بسیار بالایی به تغییرات و نوسانات اقلیمی دارد (۱۹) به‌طوری‌که در سال‌های اخیر تأثیرتوأمان اقلیم و عوامل اقتصادی- اجتماعی باعث تشدید فرآیندهای بیابان‌زایی از دیدگاه منابع آب گردیده است (۱۴). بنابراین یکی از مسائل اساسی در مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی است. یکی از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی که باید مورد بررسی قرار گیرد بارش است چرا که ورودی سیکل هیدرولوژی در یک ناحیه بوده (۲) و در واقع ورودی اصلی به چرخه جهانی هیدرولوژی است (۱۹) و بیشترین نوسانات را در بین سایر عناصر اقلیمی دارد. این مسئله به ویژه در کشور ایران که متوسط بارش سالانه آن حدود ۲۵۰ میلی‌متر است اهمیت بیشتری دارد.

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه بررسی روند بارش و تأثیر آن بر منابع آب صورت گرفته است. از جمله می‌توان به مطالعه آکینرمی و همکاران اشاره کردکه به بررسی روند بارش در طول ۴۰ سال گذشته پرداختند و نشان دادند که افزایش معنی‌داری در مقدار بارش وجود داشته است (۳). کامسو به بررسی روند بارش سالانه و جریان پایه رودخانه مولونگازی در مالاوی پرداخت تا به الگوهای تغییر و روند بارش و جریان دست یابد(۱۹). مک کارتی و همکاران تغذیه توسط بارش را در یک سفره آب زیر زمینی در تانزانیای مرکزی مدل‌سازی کردند و دریافتند که ۱۵ درصد کاهش در رژیم بارش منجر به ۴۰تا۵۰ درصد کاهش در منابع آب زیر زمینی منطقه شده است (۱۰). ساموئلز و همکاران به بررسی تأثیر تغییر روند بارش بر جریان رودخانه اردن و سرشاخه‌های آن پرداختند (۱۷). دویت و همکاران به بررسی تأثیر پارامترهای اقلیمی از جمله بارش و دما بر مقادیر دبی کم رودخانه Meuse پرداختند. بررسی آنها نشان داد که تغییرات اقلیمی می‌تواند منجر به کاهش مقدار دبی رودخانه در فصول کم آبی شود (۵). صبوحی به بررسی روند پارامترهای اقلیمی از جمله مجموع بارش سالانه و بارش حداکثر ۲۴ ساعته در ۳۵ ایستگاه سینوپتیک کشور پرداخت (۱). رضئعی و همکاران به بررسی روند مجموع بارش سالانه در مناطق خشک و نیمه خشک کشور پرداختند و نشان دادند اکثر ایستگاه‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران روند معنی‌دار بارش را نشان نمی‌دهند (۱۵). مدرس و سرحدی به بررسی روند مقادیر مجموع بارش سالانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته در ۱۴۵ ایستگاه سینوپتیک کشور پرداختند و نشان دادند که مجموع بارش سالانه در طول چند سال گذشته روند کاهشی داشته است (۱۲).

درحالی‌که توضیح تغییرات اقلیمی تنها براساس بارش چندان واضح نیست (۹)، بسیاری از مطالعاتی که برای بیان تغییرات اقلیمی در ایران انجام شده است صرفاً بر اساس پارامتر بارش بوده است و کمتر روند همگام بارش و مقادیر جریان مورد بررسی قرار گرفته است. سیلاب‌ها از مهم‌ترین بلایای طبیعی هستند که سالانه خسارت زیادی را بر جوامع انسانی تحمیل می‌کنند. خشک‌سالی نیز یکی از وقایع اقلیمی حدی است که باعث خسارت معنی‌دار، هم بر محیط زیست و هم بر زندگی بشر می‌شود و معمولاً در ارتباط با دوره‌های زمانی طولانی و پایدار کمبود بارش، رطوبت خاک یا منابع آب برای فعالیت‌های اقتصادی – اجتماعی در یک منطقه قرار دارد (۱۱) بنابراین بررسی روند مقادیر دبی اوج سیلاب و نیز جریان‌های کمینه (به عنوان یکی از شاخص‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک) و ارتباط آنها با تغییر اقلیم یکی از مسائل بسیار مهم در مباحث هیدرواقلیم است.

هدف از این مطالعه بررسی روند بارش و روند مقادیر حدی جریان در زیرحوضه‌های حوضه آبخیز سد سفید رود است تا بتوان از این طریق مدیریتی بهینه و کارامد روی منابع آب منطقه اعمال کرد. در این مطالعه سعی شده است تا با بررسی روند عمومی بارش و جریان‌های حداقل و سیلاب در منطقه، نقطه شروع روند تعیین و سپس ارتباط روند بارش با روند مقادیر حدی جریان مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]

مواد و روش‌ها

الف) منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سد سفیدرود، با بارش متوسط سالانه ۴۱۵ میلی‌متر، به عنوان یکی از مهم‌ترین حوضه‌های کشور، دربرگیرنده ۹ استان است و چیزی در حدود ۵/۷ میلیون هکتار (۹ درصد) از مساحت کشور را در برمی‌گیرد (شکل۱) دو شاخه رودخانه اصلی قزل اوزن از غرب و شاهرود از شرق در این حوضه جریان دارند. این حوضه در طول‌های جغرافیایی ´ ۳۱ °۴۶ تا ´ ۴ °۵۱ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ´ ۵۴ °۳۴ تا ´ ۴۹ °۳۷ شمالی از شمال به خط‌الرأس رشته کوه البرز و از غرب به خط‌الرأس کوه‌های زاگرس محدود می‌شود و تأمین‌کننده آب مورد نیاز شرب و کشاورزی چندین استان کشور، از جمله تهران است.

ب)آماده‌سازی داده‌ها

به منظور انجام این مطالعه، ابتدا پایگاه داده‌های مورد نیاز شامل بارش (بارش متوسط سالانه، بارش حداکثر ۲۴ ساعته) و جریان (جریان متوسط ۷ روزه و دبی اوج لحظه‌ای برای ۲۳ ایستگاه منتخب حوضه سفید رود) ایجاد گردید. برای این منظور ابتدا آمار مربوط به دبی روزانه و دبی اوج لحظه‌ای مربوط به ۲۳ ایستگاه منتخب حوضه آبخیز سفیدرود (جدول۱) از سازمان تماب اخذ شد و سپس به منظور دستیابی به مقادیر جریان حداقل سالانه، میانگین متحرک ۷ روزه جریان در هر سال آبی برای تک تک ایستگاه‌ها محاسبه گردید. کمترین مقدار جریان ۷ روزه در هر سال آبی به عنوان جریان حداقل در آن سال در نظر گرفته شد. برای بازسازی داده‌های مفقود مربوط به دبی اوج لحظه‌ای، همبستگی این سری داده‌ها با داده‌های جریان حداکثر سالانه مورد آزمون قرار گرفت و به دلیل ضریب همبستگی بالا با داده‌های جریان حداکثر سالانه (۰/۹۳۶) نواقص آماری موجود بازسازی گردید. مقادیر بارش متوسط سالانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته برای ۱۸ ایستگاه سینوپتیک نیز از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید.

ج) تحلیل روند

یکی از ابزارهایی که برای تعیین تغییرات در اقلیم و سری‌های زمانی هیدرولوژیک استفاده می‌شود، تحلیل روند است. تحلیل روند به علت تأثیر جهانی تغییر اقلیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (۸). روش‌های متفاوتی برای تعیین روند وجود دارد که به دو دسته تقسیم می‌شود: روش پارامتریک و روش ناپارامتریک. از آزمون‌های پارامتریک می‌توان به آزمون تی اشاره کرد و از آزمون‌های ناپارامتریک من- کندال، اسپیرمن، من- ویتنی و کولموگروف- اسمیرنوف را می‌توان نام برد. آزمون اسپیرمن و من- کندال هر دو برای تعیین روندهای یکنواخت به کار برده می‌شوند (۱۳، ۲۰ و۲۱). یو و همکاران در سال ۲۰۰۲ نشان دادند که نتایج اسپیرمن تقریباً مشابه با نتایج آزمون من - کندال می‌باشد (۲۱).

آزمون من- کندال و اسپیرمن

آزمون‌های ناپارامتریک من- کندال و اسپیرمن در این مطالعه برای بررسی روند مقادیر حدی جریان (جریان حداقل سالانه و دبی پیک لحظه‌ای) و نیز مقادیر بارش مورد استفاده قرار گرفت. آزمون من- کندال برای ارزیابی حضور روند معنی‌دار آماری در سری‌های زمانی هیدرولوژیک و اقلیمی استفاده می‌شود (۴، ۶ و ۲۱).

آزمون من- کندال با تعریف آماره S به شکل زیر تعریف می‌شود:

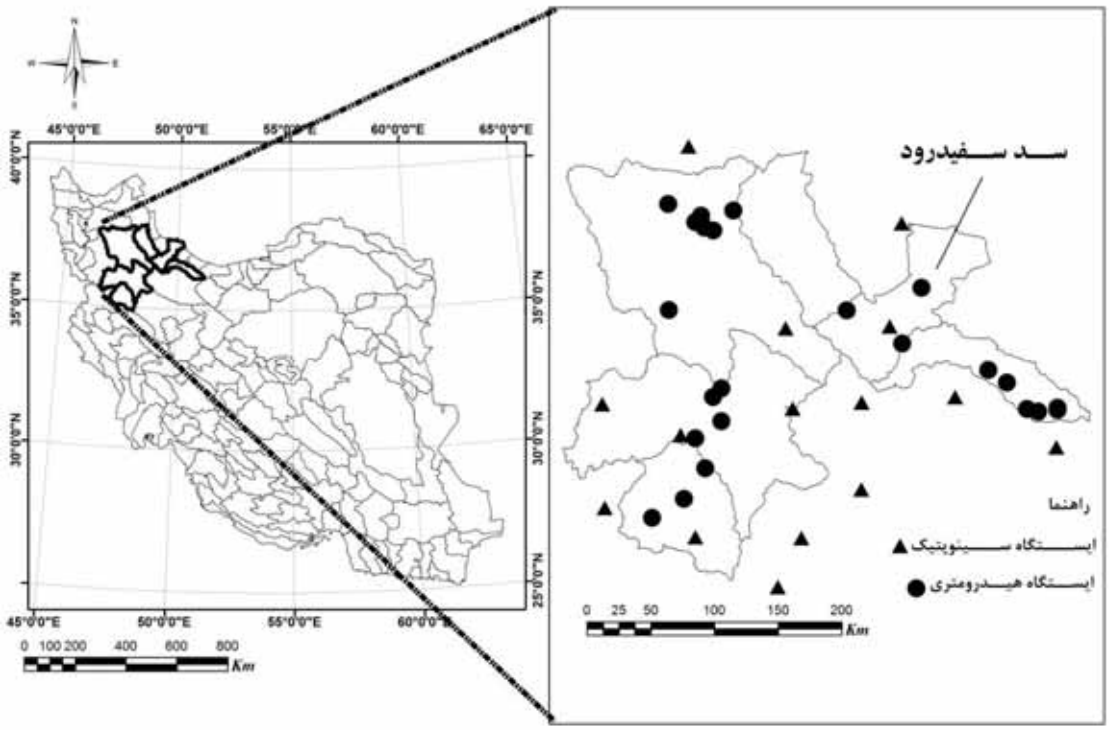
$$S = \sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{i-1} sign(x_i - x_j) \qquad [۱]$$

که در آن x_i و x_j مقادیر مرتب شده نمونه و n تعداد نمونه است. مقدار $\text{sign}(x_i - x_j)$ برای مقادیر $(x_i - x_j) < 0$ برابر با ۱- ، برای $(x_i - x_j) = 0$ برابر با صفر و برای $(x_i - x_j) > 0$ برابر با ۱ می‌باشد.

مقدار نمره استاندارد شده Z_{MK} و واریانس آماره **S** نیز از روابط زیر محاسبه می‌شود:

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و سینوپتیک منتخب حوضه آبخیز سد سفیدرود و اطراف آن

$$Z_{MK}=\begin{cases}\dfrac{s-1}{\sqrt{Var(s)}} & ,s>0\\ 0 & ,s=0\\ \dfrac{s+1}{\sqrt{Var(s)}} & ,s<0\end{cases} \qquad [۲]$$

$$Var(s)=\frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5)-\sum_{p=1}^{q}t_p(t_p-1)(2t_p+5)\right] \qquad [۲]$$

که t_p شماره گره برای مقدار pام و q تعداد گره‌هاست.

آماره آزمون به وسیله اسنیرزدر سال ۱۹۹۰ ارائه شده است (۱۸):

$$D=1-\frac{6\sum_{i=1}^{n}[R(x_i)-i]^2}{n(n^2-1)} \qquad [۳]$$

که $R(x_i)$ رتبه iام مشاهده x_i در نمونه‌ای به اندازه n می‌باشد.

آزمون توالی من-کندال (SQMK)

به منظور بررسی تغییرات روند در طول زمان و هم‌چنین زمان شروع هر گونه روند در داده‌ها، آزمون Sequential MK(SQMK) به کار گرفته شد (۱۸). با استفاده از آزمون SQMK، مقادیر u(t) و ú (t) محاسبه شده‌اند. برای محاسبه u(t) و ú (t) ابتدا مقادیر متوسط سالانه سری‌های زمانی x_j (j=1,…,n) با مقادیر x_i (i=1,…,j-1) مقایسه شده‌اند. در هر مقایسه تعداد $x_j > x_i$ محاسبه و با n_j مشخص شده‌اند. سپس آماره t با معادله زیر حساب شده است:

$$t_j=\sum_{1}^{i}nj \qquad [۴]$$

میانگین و واریانس آماره آزمون عبارت‌اند از :

$$E(t)=\frac{n(n-1)}{4} \qquad [۵]$$

$$Var(t_j)=\frac{j(j-1)(2j+5)}{2} \qquad [۶]$$

در نهایت مقادیر زنجیره‌ای u(t) و ú (t) محاسبه شدند.

$$u(t)=\frac{t_j-E(t)}{\sqrt{Var(t_j)}} \qquad [۷]$$

که u(t) عبارت است از متغیر استاندارد شده با میانگین صفر و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک و هیدرومتری واقع در حوضه آبخیز سد سفیدرود

ایستگاه سینوپتیک	تعداد داده (سال آماری)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	ایستگاه هیدرومتری	تعداد داده (سال اماری)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
بیجار	۱۸	۳۵ °۵۳´	۴۷ °۳۷´	۱۸۸۳/۴	پالتی	۲۳	۳۶ °۴۶´	۴۷ °۲۷´	۱۷۰۰
قروه	۱۶	۳۵°۱۰´	۴۷ °۴۸´	۱۹۰۶	استور	۴۲	۳۷ ° ۳۰´	۴۷°۵۸´	۹۳۰
کرج	۲۱	۳۵ °۵۵´	۵۰ °۵۴´	۱۳۱۲/۵	باغکلایه	۲۷	۳۶ °۲۲´	۵۰ °۲۷´	۱۳۵۰
منجیل	۱۳	۳۶ °۴۴´	۴۹ °۲۴´	۳۳۳	بیانلو	۳۸	۳۶ °	۴۷ °۵۸´	۱۵۰۰
میانه	۱۹	۳۷ °۲۷´	۴۷ °۴۲´	۱۱۱۰	پلدختر	۳۸	۳۷ °۲۱´	۴۷ °۴۸´	۱۱۰۰
قزوین	۴۷	۳۶ °۱۵´	۵۰ °	۱۲۷۸/۳	حسن خان	۱۴	۳۵ °۲۶´	۴۷ °۴۱´	۱۷۰۰
سراب	۱۹	۳۷ °۵۶´	۴۷ °۳۲´	۱۶۸۲	دهگلان	۲۰	۳۵ °۱۷´	۴۷ °۲۵´	۱۸۲۰
زرینه	۱۶	۳۶ °۴´	۴۶ °۵۵´	۲۱۴۲/۶	سیاهدشت	۱۳	۳۶ °۲۷´	۵۰ °۱۷´	۹۷۰
سنندج	۴۵	۳۵ °۲۰´	۴۷ °	۱۳۷۳/۴	قره گونی	۳۱	۳۶ °۱۴´	۴۷ °۵۷´	۱۴۵۰
سقز	۴۱	۳۶ °۱۵´	۴۶ °۱۶´	۱۵۲۲/۸	گیلوان	۳۷	۳۶°	۴۹ °۰۱´	۳۲۰
مریوان	۱۴	۳۵ °۳۱´	۴۶ °۱۲´	۱۲۸۷	گلینک	۲۸	۳۶ °۱۰´	۵۰ °۴۴´	
بندرانزلی	۵۴	۳۷ °۲۸´	۴۹ °۲۸´	-۲۶/۲	لوشان	۳۹	۳۶ °۳۷´	۴۹ °۳۱´	۳۰۰
زنجان	۵۰	۳۶ °۴۱´	۴۸ °۲۹´	۱۶۶۳	موتورخانه	۲۰	۳۷ °۲´	۴۷ °۴۳´	۱۰۵۰
خدابنده	۱۱	۳۶ °۷´	۴۸ °۳۵´	۱۸۸۷	میانه شاریچای	۳۰	۳۷ °۲۷´	۴۷ °۴۱´	۱۱۰۰
خرمدره	۲۰	۳۶ °۱۱´	۴۹ °۱۱´	۱۵۷۵	هشتادجفت	۳۸	۳۶ °۱۰´	۴۷ °۵۳´	۱۵۰۰
آوج	۹	۳۵ °۳۴´	۴۹ °۱۳´	۲۰۳۴/۹	کوهسالار	۲۵	۳۷ °۳۱´	۴۷ °۲۳´	۱۵۰۰
همدان	۵۳	۳۴ °۵۱´	۴۸ °۳۲´	۱۷۴۹	سلامت آباد	۴۰	۳۵ °۵۱´	۴۷ °۵۳´	۱۶۵۰
نوژه	۲۷	۳۵ °۱۲´	۴۸ °۴۳´	۱۶۷۹/۷	بیجار		۳۷ °۰۱´	۴۹ °۴۰´	۴۰
					جوسنان علیزان	۱۰	۳۶ °۱۲´	۵۰ °۵۴´	
					کماکان	۱۵	۳۶ °۱۱´	۵۰ °۳۸´	۱۷۰۰
					میانه قرنقو	۳۸	۳۷ °۲۴´	۴۷ °۳۸´	۱۱۰۰
					نساره	۱۰	۳۵ °۵۲´	۴۷ °۴۵´	۱۷۲۵
					جوسنان	۱۰	۳۶ °۱۱´	۵۰ °۵۴´	۱۹۹۰

انحراف از معیار ۱. بنابراین در اطراف صفر نوسان می‌کند. مقادیر ú (t) به طور مشابه با u(t) محاسبه می‌شوند با این تفاوت که برای محاسبه آنها ترتیب سری داده‌های مورد استفاده در محاسبه u(t) عکس می‌شود (ترتیب داده‌ها از سال آخر به اول خواهد بود).

نتایج و بحث

الف) همگنی و تصادفی بودن داده‌ها

در مورد آزمون ناپارامتریک به نمونه مورد آزمون، فرض بر این است که داده‌ها باید مستقل باشند. بنابراین اولین مرحله کار با داده‌ها (داده‌های حداکثر جریان، حداقل جریان، بارش حداکثر ۲۴ ساعته و مجموع بارش سالانه) با انجام آزمون همگنی و تصادفی بودن داده‌ها انجام شد. همگنی داده‌ها با آزمون تام (ران تست) در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. این آزمون تغییرات سری زمانی را نسبت به یک مقدار مرکزی (معمولاً میانگین) ارزیابی می‌کند (۱۶). نتایج این آزمون نشان می‌دهد که سری زمانی بارش حداکثر ۲۴ ساعته در تمام ایستگاه‌ها همگن

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]

می‌باشد درحالی‌که آمار مربوط به مجموع بارش سالانه ناهمگنی را در ایستگاه‌های سراب و سنندج نشان می‌دهد. در مورد همگنی سری‌های جریان نیز سری زمانی دبی حداکثر لحظه‌ای فقط در ایستگاه بیجار ناهمگن است درحالی‌که در سری مقادیر جریان حداقل سالانه ناهمگنی را در چندین ایستگاه از جمله استور و کوهسالار می‌توان مشاهده کرد. تعدادی از این ایستگاه‌ها بر اساس آزمون من- کندال و اسپیرمن دارای روند می‌باشند (همگنی داده‌ها با $P > ۰/۰۵$ مشخص می‌شود). توابع خود همبسته (Autocorrelated Functions) عموماً برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها به کار می‌روند. تصادفی بودن با محاسبه همبستگی بین داده‌ها در تأخیرهای زمانی مختلف انجام می‌شود. در صورت تصادفی بودن داده‌ها، همبستگی بین داده‌ها در تمام تأخیرهای زمانی باید نزدیک صفر باشد. در صورتی‌که داده‌ها تصادفی نباشند یکی یا تعدادی از ضرایب خودهمبستگی به طور معنی‌داری غیر صفر خواهد شد. این توابع برای آزمون تصادفی بودن سری زمانی داده‌های مورد استفاده در این تحقیق به کار گرفته شد. نتایج آزمون خودهمبستگی نشان داد که سری زمانی جریان حداقل و دبی حداکثر لحظه‌ای در بیشتر ایستگاه‌ها به صورت تصادفی هستند. برای نمونه، توابع خودهمبستگی جریان حداقل و سری حداکثر لحظه‌ای دو ایستگاه پالتی و گیلوان در شکل۲ آورده شده است. در مورد داده‌های بارش نیز نتایج آزمون نشان می‌دهد که مجموع داده‌های بارش و حداکثر بارش ۲۴ ساعته در بیشتر ایستگاه‌ها (۱۲ ایستگاه از ۱۹ ایستگاه) ضرایب خود همبستگی صفر یا نزدیک به صفر دارند (شکل۳) بنابراین با توجه به این نکته که اکثر سری‌های مورد استفاده در این تحقیق تصادفی هستند آزمون ناپارامتریک من- کندال و اسپیرمن برای بررسی روند یکنواخت داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

ب) روند داده‌های بارش سالانه

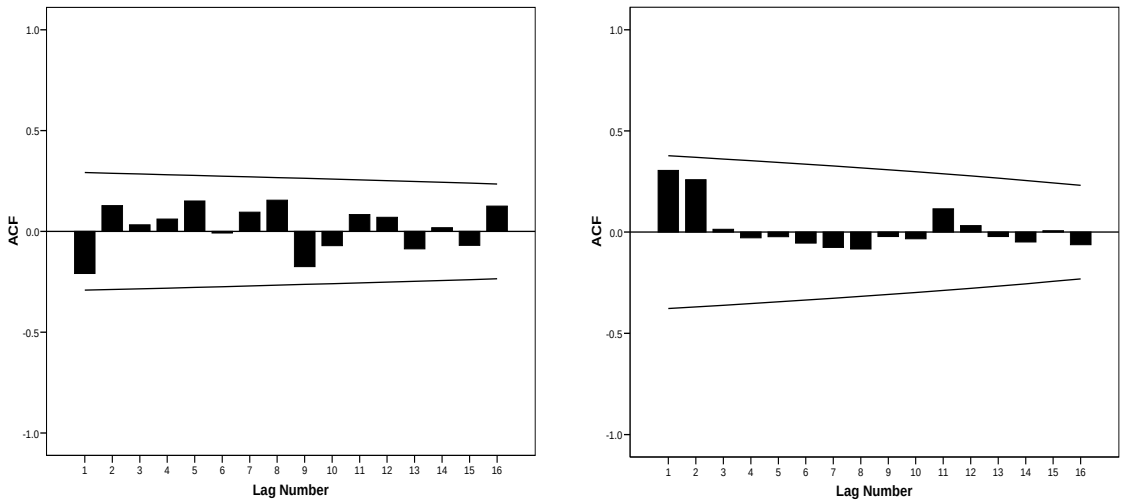
آماره‌های توصیفی بارش سالانه از جمله ضریب تغییرات (Cv)، ضریب چولگی (Cs) و ضریب کشیدگی (Ck) داده‌های بارش سالانه در جدول۲ نشان داده شده‌اند. متوسط مقادیرCv، Cs و Ck برای منطقه مورد مطالعه ۰/۲۴، ۰/۳۵ و ۰/۵۵ بود. ضریب تغییرات داده‌های بارش برای ایستگاه‌های کل منطقه مورد مطالعه تقریباً برابر است. با توجه به جدول ۲ بیشترین مقدار بارش سالانه در ایستگاه بندرانزلی و کمترین مقدار بارش در منجیل دیده می‌شود. مجموع بارش سالانه فقط در یک ایستگاه روند کاهشی معنی‌دار نشان داد. با این وجود روند کلی بارش در ۱۲ ایستگاه از کل ۱۸ ایستگاه موجود در داخل و اطراف حوضه منفی و در بقیه ایستگاه‌ها مثبت ارزیابی شد. به منظور بررسی پراکنش روند داده‌های بارش نقشه روند داده‌های مجموع بارش سالانه آورده شده است (شکل۴). با وجود روند کلی کاهش بارش در کل محدوده حوضه مورد مطالعه، بخش‌های جنوبی حوضه به ویژه در محل ایستگاه‌های بیجار و قروه در استان کردستان روند شدیدتری را نسبت به دیگر مناطق نشان می‌دهند. در حالی‌که آزمون‌های من- کندال و اسپیرمن فقط در ایستگاه بیجار روند معنی‌دار کاهش بارش را نشان دادند. در هیچ کدام از ایستگاه‌ها روند افزایشی مشهود نبود. نتیجه این مطالعه با مطالعه مدرس و سرحدی در بررسی روند مقادیر بارش کشور هماهنگی می‌کند. به‌طوری‌که یافته‌های آنها نیز روند شدیدتر کاهش بارش را برای مناطق غربی و شمالی کشور نشان می‌دهد (۱۲).

روند داده‌های بارش حداکثر ۲۴ساعته

در این بخش، آزمون من- کندال و اسپیرمن برای داده‌های بارش حداکثر ۲۴ ساعته ایستگاه‌های حوضه مورد استفاده قرار گرفت و مشابه داده‌های بارش سالانه تعداد ایستگاه‌های با روند مشخص منفی برابر با دو سوم ایستگاه‌های حوضه بود (۱۲ ایستگاه از مجموع ۱۸ ایستگاه). ولی در این اینجا روند معنی‌دار منفی برای ایستگاه بندرانزلی مشاهده شد که در بخش شمال شرقی حوضه قرار دارد. شکل ۵ موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک با روند منفی و مثبت را نشان می‌دهد. همانطور که از نمودار مشخص است ایستگاه‌های با روند منفی در بخش‌های شمالی

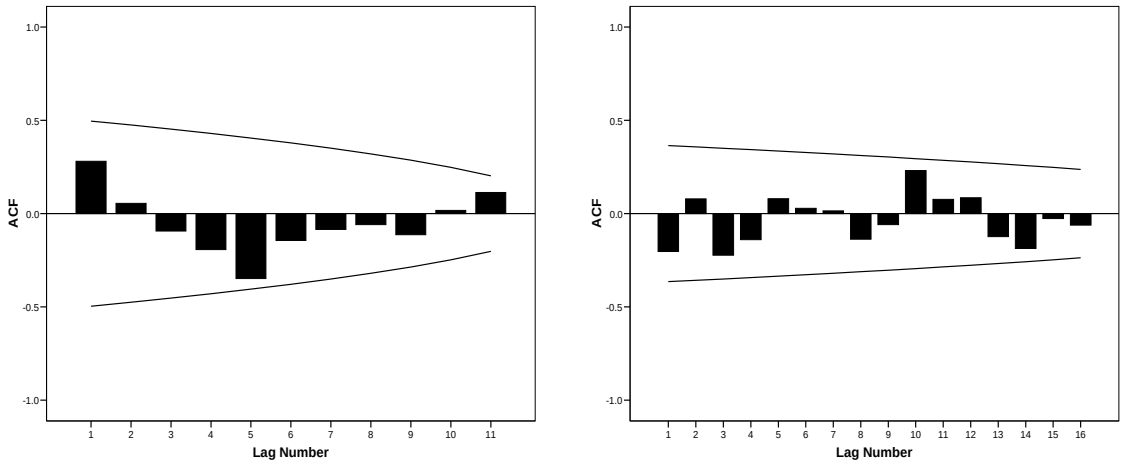
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]



(ب) **(الف)**

شکل۲. توابع خود همبستگی : الف) سری جریان حداقل (ایستگاه پالتی) و ب) دبی حداکثر لحظه‌ای (ایستگاه گیلوان)



(ب) **(الف)**

شکل۳. توابع خود همبستگی: الف) مجموع بارش سالانه (ایستگاه همدان) و ب) بارش حداکثر ۲۴ ساعته (ایستگاه منجیل)

حوضه و ایستگاه‌های با روند مشخص مثبت در بخش‌های جنوبی حوضه قرار دارند که در برنامه‌ریزی‌های حفاظت خاک و آبخیزداری برای جلوگیری از فرسایش بارانی باید مد نظر قرار گیرد چرا که بارش‌های شدید ممکن است تأثیر جدی روی فرسایش خاک داشته باشند. در اینجا، برای نمونه، سری زمانی بارش حداکثر ۲۴ ساعته و مجموع بارش سالانه برای دو ایستگاه بندر انزلی و زنجان به همراه خط روند داده‌ها آورده شده است (شکل۶).

روند مقادیر جریان حداقل

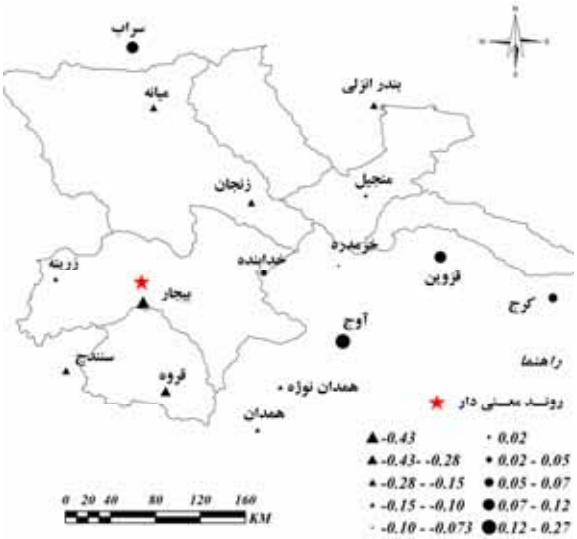
بر خلاف پارامترهای مربوط به بارش (بارش حداکثر ۲۴ ساعته و مجموع بارش سالیانه) مقادیر جریان حداقل روند کاهشی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]

جدول۲. پارامترهای آماری بارش مربوط به مجموع بارش سالانه در حوضه آبخیز سد سفیدرود

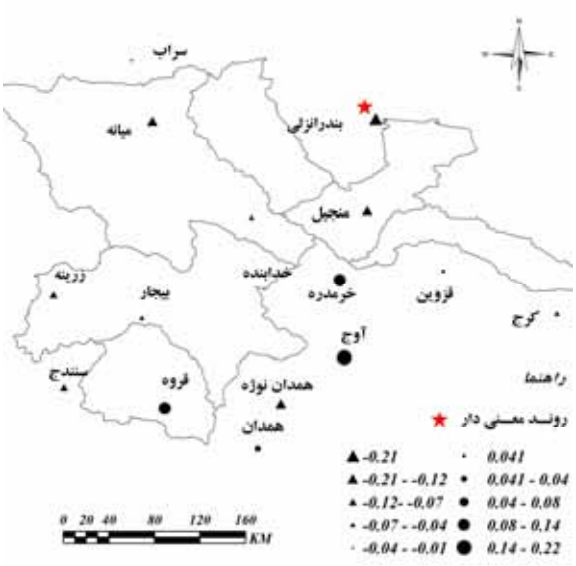
ایستگاه	تعداد داده (سال آماری)	میانگین (میلی‌متر)	ضریب چولگی	ضریب کشیدگی	ضریب تغییرات	انحراف معیار (میلی‌متر)	حداقل بارش (میلی‌متر)	حداکثر بارش (میلی‌متر)
بیجار	۱۸	۳۳۹/۸۷	۰/۵۲	۱/۴۷	۰/۲۲	۷۶/۱۷	۱۸۰/۱	۵۱۷/۷
قروه	۱۶	۳۴۱/۴۱	۱/۹۰	۶/۱۱	۰/۲۲	۷۶/۶۴	۲۲۲	۵۷۸/۴
کرج	۲۱	۲۴۳/۹۷	-۰/۱۲	-۰/۹۲	۰/۲۳	۵۷/۵۸	۱۴۲/۷	۳۳۸/۹
منجیل	۱۳	۲۰۹/۳۰	۰/۱۸	-۰/۷۰	۰/۳۲	۶۸/۷۱	۱۰۷/۹	۳۳۳/۴
میانه	۱۹	۲۸۲/۱۵	۰/۴۷	۰/۳۷	۰/۲۶	۷۵/۳۱	۱۶۱/۶	۴۴۱/۶
قزوین	۴۷	۳۱۶/۰۴	۰/۴۳	-۰/۴۴	۰/۲۷	۸۷/۴۳	۱۶۹	۵۱۵/۷
سراب	۱۹	۲۴۲/۲۳	-۰/۱۲	۱/۳۲	۰/۲۰	۵۰/۶۲	۱۲۲/۵	۳۵۴/۷
زرینه	۱۶	۴۰۲/۱۳	۰/۵۵	۰/۷۶	۰/۲۲	۹۰/۳۳	۲۶۵/۶	۶۱۶/۵
سنندج	۴۵	۴۵۸/۱۶	۰/۳۵	۰/۷۹	۰/۲۶	۱۲۱/۸۳	۲۰۰/۳	۷۷۹/۵
سقز	۴۱	۴۹۶/۵۵	۰/۵۷	-۰/۱۶	۰/۲۶	۱۳۳/۷۴	۲۷۲/۵	۷۹۰/۷
مریوان	۱۴	۹۹۱/۱۹	-۰/۰۳	-۰/۵۷	۰/۲۳	۲۳۵/۲۵	۵۹۳/۹	۱۴۲۲/۱
بندرانزلی	۵۴	۱۸۵۸/۵	۰/۸۶	۰/۵۵	۰/۲۲	۴۰۹/۹۸	۱۱۵۶/۲	۳۰۲۰/۲
زنجان	۵۰	۳۱۱/۷۴	۰/۷۳	۱/۵۲	۰/۲۹	۹۳/۳۰	۱۴۲/۵	۶۲۳/۸
خدابنده	۱۱	۳۷۷/۶۳	-۱/۱۰	۱/۵۶	۰/۱۸	۷۱/۷۳	۲۱۳/۴	۴۵۷/۷
خرمدره	۲۰	۳۰۱/۲۳	۰/۶۹	-۰/۰۸	۰/۲۸	۸۴/۵۲	۱۹۲/۱	۴۸۴/۴
آوج	۹	۳۸۸/۴	۰/۱۹	-۱/۰۴	۰/۱۷	۶۶/۰۶	۲۹۷/۶	۴۹۲/۷
همدان	۵۳	۳۳۴/۶۸	-۰/۲۷	۰/۰۸	۰/۲۶	۸۷/۴۹	۱۰۱/۴	۵۱۷/۷
نوژه	۲۷	۳۱۸/۴۳	۰/۵۱	-۰/۷۰	۰/۲۴	۷۸/۱۹	۱۹۹/۱	۴۸۱/۳



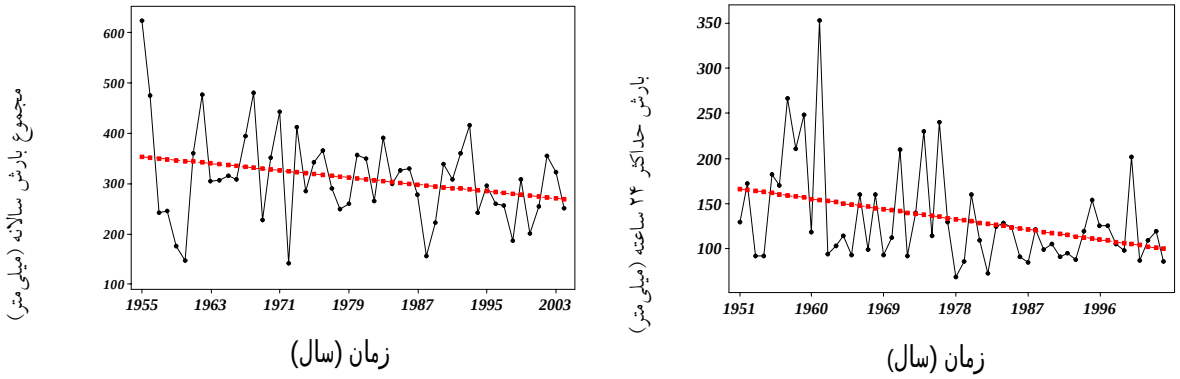
شکل۴. وضعیت روند مجموع بارش سالانه برای ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب حوضه آبخیز سد سفیدرود

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]



شکل۵ . وضعیت روند بارش حداکثر ۲۴ ساعته برای ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب حوضه آبخیز سد سفیدرود



(ب) (الف)

شکل۶. سری زمانی بارش حداکثر ۲۴ ساعته برای ایستگاه بندرانزلی (الف) وسری زمانی مجموع بارش سالانه برای ایستگاه زنجان (ب)

معنی‌دار را در اکثر ایستگاه‌های حوضه نشان می‌دهد به طوری‌که از ۲۳ ایستگاه هیدرومتری ۱۷ ایستگاه روند کاهشی را نشان می‌دهند که به طور یکنواخت در سرتاسر حوضه پراکنده شده‌اند (شکل۷). روند کاهشی جریان حداقل رودخانه‌ای را در سطح معنی‌داری ($P < ۰/۰۱$) در ایستگاه‌های پالتی، حسن‌خان، گیلوان، دهگلان و لوشان (شکل ۹الف) و روند کاهشی در سطح معنی‌داری ($P < ۰/۰۵$) را در ایستگاه‌های قره‌گونی و موتورخانه می‌توان مشاهده نمود(جدول۴). آزمون ناپارامتری اسپیرمن نیز نتایج مشابهی را برای ایستگاه‌های مذکور نشان می‌دهد، با این تفاوت که علاوه بر ایستگاه‌های مذکور برای ایستگاه‌های استور و نساره روند کاهشی و برای جوسنان علیزان روند افزایشی را در سطح معنی‌داری($P < ۰/۰۵$) نشان می‌دهد.

روند مقادیر دبی اوج لحظه‌ای (سیل)

بیشترین ضریب تغییرات سیلاب مربوط به ایستگاه حسن‌خان و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]

جدول۳. مقادیر روند برای پارامترهای بارش (مجموع بارش سالانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته) در حوضه آبخیز سد سفیدرود

ایستگاه	مجموع بارش سالانه				بارش حداکثر ۲۴ ساعته			
	آماره من کندال	مقدار P-	آماره اسپیرمن	مقدار P-	آماره من کندال	مقدار P-	آماره اسپیرمن	مقدار P-
بیجار	-۰/۴۳*	۰/۰۱	-۰/۶۲**	۰/۰۰۵	-۰/۰۴	۰/۷۹	-۰/۰۷	۰/۷۷
قروه	-۰/۲۸	۰/۱۲	-۰/۴۵	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۴۴	۰/۲۲	۰/۳۹
کرج	۰/۰۷	۰/۶۲	۰/۰۸	۰/۷۲	-۰/۰۶	۰/۶۹	-۰/۰۹	۰/۶۸
منجیل	۰/۰۲	۰/۹۰	-۰/۰۳	۰/۹۱	-۰/۱۲	۰/۵۴	-۰/۱۸	۰/۵۴
میانه	-۰/۱۶	۰/۳۱	-۰/۲۲	۰/۳۵	-۰/۱۶	۰/۳۲	-۰/۲۵	۰/۲۹
قزوین	۰/۱۲	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۰۴۱	۰/۶۸	۰/۰۶	۰/۶۷
سراب	۰/۱۲	۰/۴۴	۰/۲۴	۰/۳۱	-۰/۰۳	۰/۸۳	-۰/۰۴	۰/۸۴
زرینه	-۰/۱۳	۰/۴۷	-۰/۱۹	۰/۴۷	-۰/۱۰	۰/۵۵	-۰/۲۳	۰/۳۷
سنندج	-۰/۱۵	۰/۱۲	-۰/۲۴	۰/۱۱	-۰/۰۷	۰/۴۵	-۰/۱۱	۰/۴۴
سقز	-۰/۰۸	۰/۴۴	-۰/۱۳	۰/۴۱	۰/۰۸	۰/۴۳	۰/۱۲	۰/۴۵
مریوان	-۰/۲۹	۰/۱۳	-۰/۳۹	۰/۱۵	-۰/۱۵	۰/۴۴	-۰/۲۲	۰/۴۴
بندرانزلی	-۰/۱۷	۰/۰۶	-۰/۲۶	۰/۰۵	-۰/۲۱*	۰/۰۲	-۰/۳۲*	۰/۰۱
زنجان	-۰/۱۵	۰/۱۱	-۰/۱۹	۰/۱۶	-۰/۰۵	۰/۶۰	-۰/۰۷	۰/۶۰
خدابنده	۰/۰۵	۰/۸۱	۰/۰۹	۰/۷۹	-۰/۰۱	۰/۹۳	-۰/۱۰	۰/۷۵
خرمدره	-۰/۰۷	۰/۶۴	-۰/۱۳	۰/۵۷	۰/۱۲	۰/۴۳	۰/۱۵	۰/۵۲
آوج	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۲۲	۰/۴۰	۰/۳۶	۰/۳۳
همدان	-۰/۱۰	۰/۲۵	-۰/۱۷	۰/۲۲	-۰/۱۳	۰/۱۵	-۰/۲۱	۰/۱۱
نوژه	-۰/۱۲	۰/۳۴	-۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۰۴	۰/۷۲	۰/۰۱	۰/۹۳

**: معنی‌داری در سطح ۱ درصد *: معنی‌داری در سطح ۵ درصد

کمترین آن مربوط به ایستگاه جوسنان است. بالاترین ضریب کشیدگی در ایستگاه‌های باغکلایه، بیجار و حسن‌خان دیده می‌شود (با ضریب کشیدگی بالای ۱۰). مقدار ضریب چولگی برای تمامی ایستگاه‌ها کم است. نتایج روند مقادیر سیلاب در جدول۴ آورده شده است. از مجموع ۲۳ ایستگاه هیدرومتری در سطح حوضه ۱۶ ایستگاه روند منفی نشان می‌دهند. بر اساس آزمون من- کندال و اسپیرمن روند کاهشی مقادیر حدی سیل در دو ایستگاه پالتی و گیلوان (شکل۹ب) در سطح ($P < ۰/۰۵$) و روند افزایشی آن در ایستگاه بیجار در سطح ($P < ۰/۰۱$) معنی‌دار است. با مقایسه نقشه روند مربوط به مقادیر حدی جریان (شکل ۷ و ۸) در حوضه مشخص می‌شود که مقادیر جریان کم نسبت به سیلاب روند شدیدتری را در کل حوضه نشان می‌دهند. نتایج آزمون SQMK نشان می‌دهد که شروع روند کاهشی برای مجموع بارش سالانه در اکثر ایستگاه‌های سینوپتیک مربوط به سال‌های ۱۹۶۵- ۱۹۷۰ می‌باشد در حالی‌که شروع روند کاهشی مقادیر جریان (جریان حداقل و سیلاب) مربوط به دهه ۱۹۷۰ - ۱۹۸۰ می‌باشد. در اینجا برای نمونه مقادیر Sequential، u(t) و u´(t)، مربوط به مجموع بارش سالیانه، جریان حداقل۷ روزه، سیلاب و بارش حداکثر ۲۴ ساعته ایستگاه‌های زنجان، لوشان، گیلوان و بندرانزلی آورده شده است. همان‌طورکه از شکل ۱۰ مشخص است نقطه شروع روند مجموع بارش سالانه و بارش حداکثر ۲۴ ساعته در ایستگاه‌های زنجان و بندرانزلی مربوط به سال‌های ۱۹۷۱ و ۱۹۷۶ و نقطه شروع روند مقادیر جریان حداقل و سیلاب مربوط به

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]

جدول۴. مقادیر روند برای پارامترهای جریان (جریان حداقل و دبی حداکثر لحظه‌ای) در حوضه آبخیز سد سفیدرود

ایستگاه	جریان حداقل				دبی حداکثر لحظه‌ای			
	آماره من کندال	مقدار P-	آماره اسپیرمن	مقدار P-	آماره من کندال	مقدار P-	آماره اسپیرمن	مقدار P-
پالتی	-۰/۵۳**	۰	-۰/۶۸**	۰	-۰/۳۰*	۰/۰۳	-۰/۴۱*	۰/۰۳
استور	-۰/۱۸	۰/۰۵	-۰/۲۹*	۰/۰۳	-۰/۰۵	۰/۵۸	-۰/۰۶	۰/۶۴
باغکلایه	-۰/۱۸	۰/۱۳	-۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۷۰	۰/۱۰	۰/۵۵
بیانلو	۰/۲۴	۰/۱۰	۰/۳۰	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۳۹
پلدختر	-۰/۱۵	۰/۱۰	-۰/۲۱	۰/۱۲	-۰/۱۶	۰/۰۸	-۰/۲۵	۰/۰۷
حسن خان	-۰/۴۶**	۰/۰۰۴	-۰/۶۴**	۰/۰۰۲	-۰/۰۲	۰/۸۸	-۰/۰۶	۰/۸۲
دهگلان	-۰/۴۹**	۰	-۰/۶۲**	۰	۰/۱۲	۰/۳۴	۰/۱۶	۰/۳۹
سیاهدشت	-۰/۱۳	۰/۳۹	-۰/۱۷	۰/۴۶	۰/۱۲	۰/۵۴	۰/۲۳	۰/۴۴
قره گونی	-۰/۲۶*	۰/۰۳	-۰/۴۰*	۰/۰۲	-۰/۱۷	۰/۱۵	-۰/۲۴	۰/۱۷
گیلوان	-۰/۲۷**	۰/۰۰۷	-۰/۴۳**	۰/۰۰۳	-۰/۲۳*	۰/۰۲	-۰/۳۳*	۰/۰۲
گلینک	۰/۰۲	۰/۷۶	۰/۰۴	۰/۷۵	-۰/۰۴	۰/۶۷	-۰/۰۵	۰/۷۳
لوشان	-۰/۴۷**		-۰/۶۷**	۰	-۰/۰۸	۰/۵۲	-۰/۱۲	۰/۵۳
موتورخانه	-۰/۲۱*	۰/۰۲	-۰/۳۰*	۰/۰۳	-۰/۱۱	۰/۴۲	-۰/۱۹	۰/۳۵
میانه شاریچای	-۰/۱۵	۰/۲۳	-۰/۲۵	۰/۱۷	-۰/۱۵	۰/۲۱	-۰/۲۰	۰/۲۵
هشتادجفت	-۰/۲۱	۰/۰۸	-۰/۳۳	۰/۰۶	-۰/۱۳	۰/۲۸	-۰/۲۱	۰/۲۴
کوهسالار	۰/۰۱	۰/۹۰	-۰/۰۱	۰/۹۱	-۰/۱۱	۰/۳۲	-۰/۲۵	۰/۱۳
سلامت آباد	۰/۰۷	۰/۵۱	۰/۰۸	۰/۶۱	-۰/۱۳	۰/۳۲	-۰/۲۵	۰/۱۸
بیجار	-۰/۰۱	۰/۹۰	-۰/۰۳	۰/۸۳	۰/۴۰**	۰	۰/۶۰**	۰
جوسنان علیزان	۰/۳۵	۰/۰۶	۰/۵۷*	۰/۰۲	۰/۲	۰/۲۹	۰/۲۱	۰/۴۴
کماکان	۰/۲۴	۰/۶۴	۰/۴۰	۰/۶۴	-۰/۲۱	۰/۲۳	-۰/۳۰	۰/۲۳
میانه قرنقو	-۰/۰۳	۰/۳۲	-۰/۰۵	۰/۲۴	-۰/۱۲	۰/۵۸	-۰/۱۳	۰/۶۸
نساره	-۰/۴۱	۰/۷۴	-۰/۵۶*	۰/۷۵	-۰/۰۱	۰/۹۳	-۰/۱۷	۰/۶۱
جوسنان	-۰/۱۵	۰/۸۰	-۰/۲۱	۰/۸۱	۰/۱	۰/۵۸	۰/۱۲	۰/۶۴

**: معنی‌داری در سطح ۱ درصد *: معنی‌داری در سطح ۵ درصد

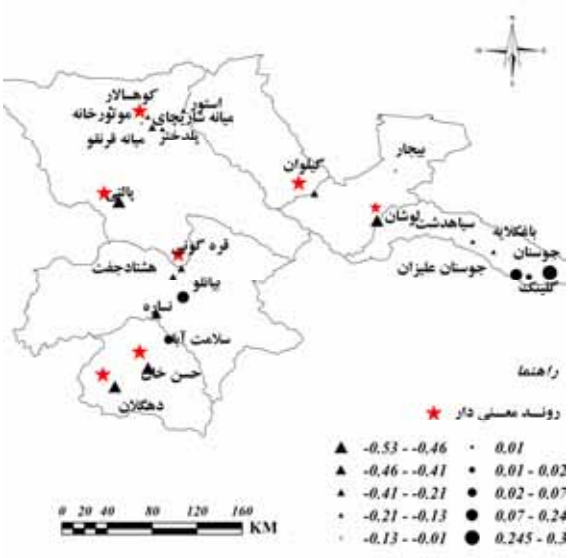
سال‌های ۱۹۷۳ و ۱۹۸۱ می‌باشد. نتایج مشابهی برای مقادیر Sequential در سایر ایستگاه‌های حوضه مشاهده شده است.

نتیجه‌گیری

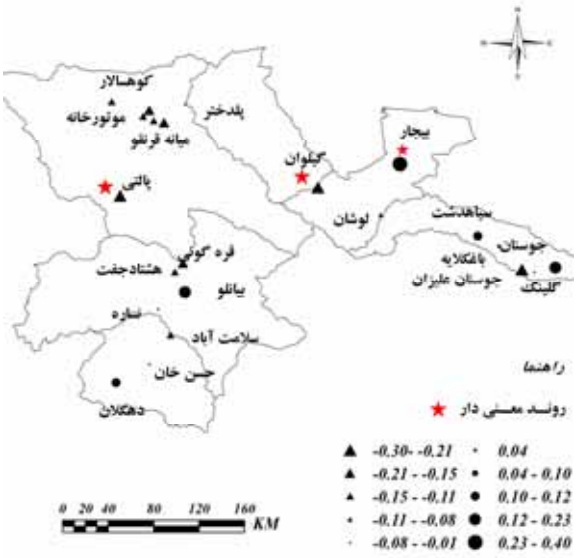
مجموعاً ۱۸ ایستگاه باران‌سنجی و ۲۳ ایستگاه هیدرومتری برای بررسی روند داده‌های بارش و جریان و ارتباط آنها در حوضه آبخیز سد سفیدرود انتخاب شدند. نتایج این مطالعه نشان دهنده روند کاهشی بعضی از پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیک طی چند سال گذشته است. مجموع بارش سالانه روند کاهشی قابل توجهی را در سراسر حوضه و مخصوصاً در بخش‌های جنوبی حوضه نشان می‌دهد. نتایج آزمون من- کندال برای بارش حداکثر ۲۴ ساعته به جز بخش‌های جنوب شرقی حوضه، در اکثر نقاط روند کاهشی را نشان می‌دهد. در بخش جنوب شرقی حوضه روند مقادیر بارش حداکثر ۲۴ ساعته مثبت بوده است. با مراجعه به نقشه روند سیلاب مشخص می‌شود که در همین بخش از حوضه جریان‌های حداکثر نیز روند افزایشی از خود

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]



شکل۷. وضعیت روند مقادیر جریان حداقل برای ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب حوضه آبخیز سد سفیدرود

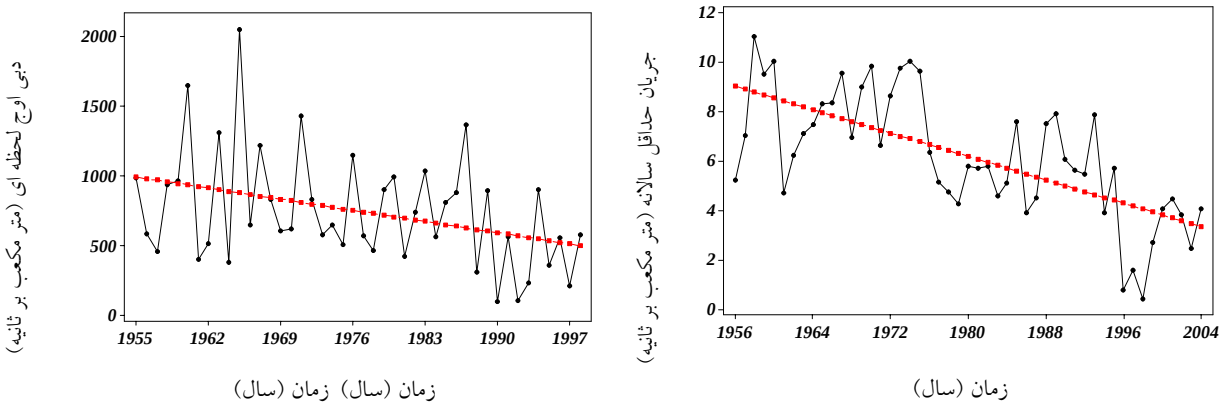


شکل ۸. وضعیت روند مقادیر سیل برای ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب حوضه آبخیز سد سفیدرود

نشان داده‌اند که این موضوع تأثیرپذیری روند سیلاب از روند بارش حداکثر ۲۴ ساعته را نشان می‌دهد. با توجه به موقعیت منطقه مورد مطالعه در اقلیم خشک و نیمه خشک و مخصوصاً به دلیل وجود سازندهای حساس به فرسایش آبی در منطقه، فرسایش خاک از جمله ویژگی‌های بارز منطقه مورد مطالعه است که ممکن است طی چند دهه گذشته تحت تأثیر روند افزایشی بارش حداکثر ۲۴ ساعته و نیز سیلاب قرار داشته باشد. که این موضوع باید مورد توجه مدیران و سیاستگزاران در زمینه حفاظت خاک و آبخیزداری قرار گیرد. مقادیر جریان حداقل نیز در اکثر ایستگاه‌های حوضه روند معنی‌دار کاهش را نشان داد

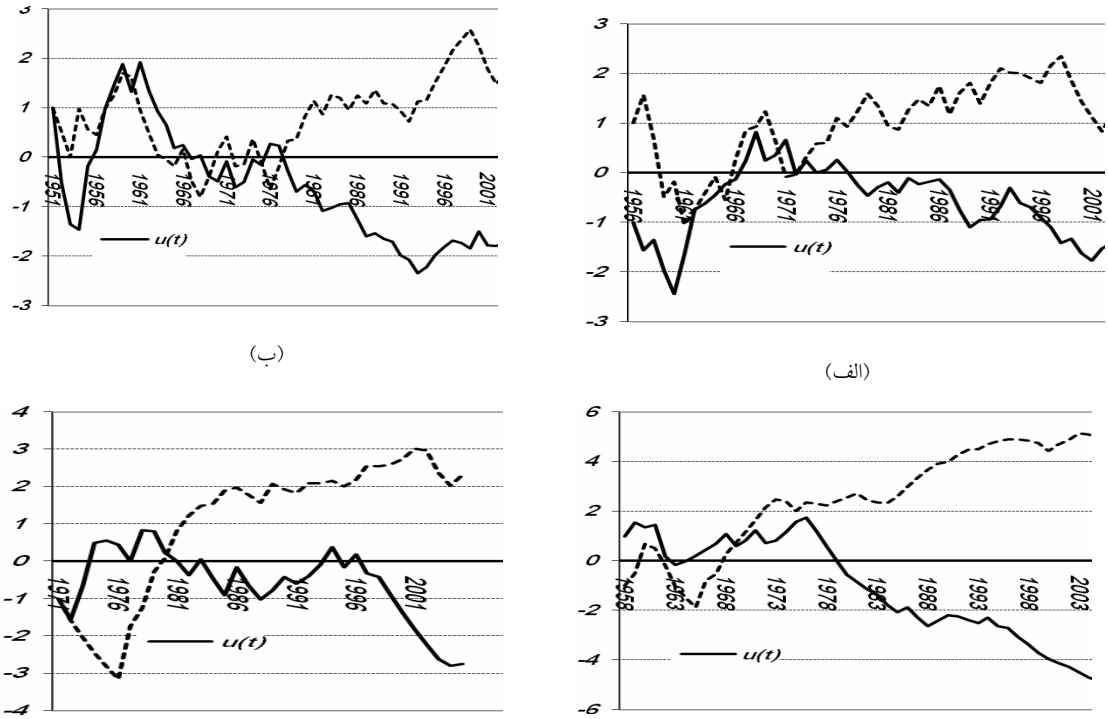
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]



(الف) (ب)

شکل۹. سری زمانی مقادیر جریان حداقل برای ایستگاه لوشان (الف) و مقادیر دبی اوج لحظه‌ای برای ایستگاه گیلوان (ب)



(الف) (ب) (ج) (د)

شکل۱۰. مقادیر Sequential، u(t) (خطوط توپر) و u´(t) (خط چین‌ها) برای الف) مجموع بارش سالانه (ایستگاه زنجان) ب) بارش حداکثر ۲۴ ساعته (ایستگاه بندرانزلی) ج) متوسط جریان حداقل ۷ روزه (ایستگاه لوشان) و د) دبی حداکثر لحظه‌ای (ایستگاه گیلوان)

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]

به‌طوری‌که بیشترین معنی‌داری کاهش را در بین پارامترهای دیگر داشته است. دبی حداکثر لحظه‌ای نیز در بعضی نقاط روند کاهشی داشته است. با این وجود روند افزایشی مقادیر سیلاب در نتیجه افزایش بارش حداکثر ۲۴ ساعته، در بعضی از نقاط مشاهده شد.

از آنجایی‌که تاکنون در کشور مطالعات کمی در زمینه تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر منابع آب در مقیاس حوضه آبخیز صورت گرفته است این مطالعه تصویری از روند بارش و جریان را در طول چند سال گذشته نشان می‌دهد و با مشخص کردن نقطه شروع روند هر یک از پارامترها نشان دهنده ارتباط صنعتی شدن و تغییرات اقلیمی است، که منابع طبیعی و محیط زیست را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با بررسی نتایج آزمون توالی من- کندال مشخص شد که نقطه شروع روند بارش در حوضه مربوط به سال ۱۹۷۰ بوده است. این یافته‌ها با نتایج محققین دیگرهماهنگی دارد، برای مثال مدرس و همکاران (۱۲) با بررسی روند مجموع بارش سالانه برای کل کشور نشان دادند که شروع روند کاهش بارش مربوط به سال ۱۹۷۰ و همزمان با جهش صنعتی در کشور اتفاق افتاده است. نقطه شروع روند جریان تحت تاثیر روند بارش و بعد از آن اتفاق می‌افتد. شروع روند کاهشی برای جریان‌های حداقل عمدتاً مربوط به سال ۱۹۷۳ و شروع روند کاهشی برای سیلاب مربوط به سال‌های ۱۹۷۵-۱۹۸۰ می‌باشد. از طرف دیگر نقطه شروع روند بارش حداکثر ۲۴ ساعته تقریباً همزمان با شروع روند کاهشی مقادیر سیلاب و عمدتاً از سال‌های ۱۹۷۵-۱۹۸۰بوده است که این موضوع دلیل دیگری بر این مدعاست که جریان‌های حداکثر لحظه‌ای عمدتاً ناشی از بارش‌های حداکثر ۲۴ ساعته در حوضه اتفاق افتاده است. چرا که قبلاً با آزمون من- کندال نیز مشخص شده بود که در بخش‌هایی که بارش حداکثر ۲۴ ساعته روند افزایشی نشان می‌دهد، مقادیر مربوط به روند سیلاب نیز مثبت بوده است. هر چند نتایج این مطالعه نشان دهنده روند کاهشی پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیک طی دهه‌های گذشته بوده است، با این وجود نمی‌توان به طور قطع از تاثیر تغییرات اقلیمی و صنعتی شدن بر جریان‌های طبیعی رودخانه صحبت کرد چرا که این امر نیاز به بررسی‌های بیشتر در زمینه تغییرات کاربری اراضی دارد، زیرا همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد با وجود روند کلی کاهش بارش در حوضه، روند معنی‌دار در تعداد کمی از ایستگاه‌ها مشاهده شد.

درحالی‌که در مورد جریان و به ویژه جریان حداقل روند معنی‌دار کاهشی را در بیشتر ایستگاه‌ها و با شدت بیشتر می‌توان مشاهده کرد که علت این امر می‌تواند ناشی از احداث سازه‌های آبی و یا افزایش سطح زیر کشت و تغییر قابل توجه در کاربری اراضی در بخش‌های بالایی حوضه باشد که باعث کاهش مقدار جریان در پایین دست شده است. با توجه به اینکه روند کاهشی بارش در سرتاسر حوضه تأثیر قابل توجهی در حجم آب ورودی به سد سفیدرود خواهد داشت و از طرفی سد سفیدرود به لحاظ موقعیت استراتژیک خود در بخش شمال غربی تهران تأمین کننده آب شرب و کشاورزی مردم در چندین استان کشور است، بنابراین نتایج این مطالعه می‌تواند مورد استفاده متخصصین در امر برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب سد سفیدرود واقع شود.

منابع مورد استفاده

۱. صبوحی، ر. ۱۳۸۶. بررسی روند پارامترهای اقلیمی در ۳۵ ایستگاه سینوپتیک ایران. پایان نامه کارشناسی‌ارشد بیابان‌زدایی. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. مهدوی، م. ۱۳۸۵. *هیدرولوژی کاربردی*. جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران.

3. Akinremi, O. O., S. M. McGinn and H. W. Cutforth. 2001. Seasonal and spatial patterns of rainfall trends on the Canadian prairies. J. Climate 14(9): 2177-2182.

4. Burn, D.H. 1994. Hydrologic effects of climate changes in west central Canada. J. Hydrol. 160: 53-70.

5. De Wit, M. J. M., B. van den Hurk , P. M. M. Warmerdam, P. J. J. F. Torfs, E. Roulin and W. P. A. van Deursen.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]

2007. Impact of climate change on low-flows in the river Meuse. Climatic Change 82:351–372.
6. Hirsch, R.M. and J.R. Slack. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. Water Resour. Res. 20(6): 727-732.
7. Hisdal, H. and L.M. Tallaksen. 2003. Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark. J. Hydrol. 281:230–247.
8. Kruger, A.C. and S. Shongwe. 2004. Temperature trends in south Africa: 1960-2003. Intl. J. Climatol. 24: 1929-1945.
9. Luis, M. D., M. F. Garcia-Cano, J. Cortina, J. Raventos, J. C. Gonzalez and J. R. Sanchez. 2001. Climate trends, distributions and short-term vegetation dynamics in a Mediterranean shrubland. Forest Ecol. and Manage. 147:26-5-37.
10. McCarthy, J. J., O. F. Caziani, N. A. Leary, D. J. Dokken and K. S. White (Eds.), 2001. Climate change: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of working Group II to the Third Assesment Report of the Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) Report, GRID ARENDAL.
11. Modarres, R. 2007. Streamflow drought time series forecasting. Stochastic Environ. Res. Risk Assess. 21:223–233.
12. Modarres, R. and A. Sarhadi. 2009. Rainfall trend analysis of Iran in the last half of the twentieth century. J. Geophys. Res. 114: 1-9.
13. Oxoz, B. and M. Bayazit. 2003. The power of statistical tests for trend detection.Turk. J. Eng. Env. Sci. 27: 247-251.
14. Puigdefabregas and J., T. Mendizabal. 1998. Perspectives on desertification: western Mediterranean. J. Arid Environ. 39: 209-224.
15. Raziei, T., P. D. Arasteh and B., Saghafian. 2005. Annual rainfall trend in arid and semi arid region of Iran. ICID 21st European Regional Conference, pp. 1–8.
16. Rodrigo, S., M. J. Esteban-Parra, D. Pozo-Vazquez and Y. Castro-Diez. 2000. Rainfall variability in southern Spain on decadal to centennial time scales. J. Climatol. 20 (7): 721-732.
17. Samuels, R., A. Rimmer and P. Alpert. 2009. Effect of extreme rainfall events on the water resources of the Jordan River. J. Hydrol. 375: 513-523.
18. Sneyers, R.1990. On the statistical analysis of series of observations, Tech. Note 143, 192 pp., Geneva, Switzerland.
19. Socrates Ngongond, C. 2006. An analysis of long-term rainfall variability, trends and groundwateravailability in the Mulunguzi river catchment area, Zomba mountain, Southern Malawi. Quaternary Intl. 148: 45–50.
20. Xu, Z.X., K. Takeuchi and H. Ishidaira. 2003. Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation. J. Hydrol. 279: 144-150.
21. Yue, S., P. Pilon and G. Cavadias. 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. J. Hydrol. 259: 254-271.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.20.4]