

## بررسی روند شاخص‌های جریان کم در استان اصفهان

❖ مسعود نصری\*؛ استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان.

❖ رضا مدرس؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی - دانشگاه صنعتی اصفهان.

### چکیده

با وجود مطالعات زیادی که در زمینه خشکسالی هواشناسی در استان اصفهان انجام شده است، مطالعه خاصی در مورد خشکسالی‌های هیدرولوژیک انجام نگرفته است. در این مطالعه برای اولین بار روند شاخص‌های جریان کم به عنوان مهم‌ترین شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک در حوزه‌های آبخیز استان اصفهان انجام گرفت. میانگین دبی روزانه به عنوان شاخص هیدرولوژیک و جریان‌های کم ۱، ۷، ۱۵، ۳۰ و ۹۰ روزه به عنوان شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک در ۲۲ ایستگاه هیدرومتری با حداقل دوره آماری ۲۰ ساله در این مطالعه محاسبه و روند آن‌ها در سطح استان بدست آمد. نتایج تحلیل روند با استفاده از روش من-کندال و همبستگی اسپیرمن نشان داد دبی میانگین روزانه و جریان‌های کم در اغلب ایستگاه‌ها دارای روند منفی است. جریان‌های کم در اغلب ایستگاه‌ها دارای روند منفی معنی‌دار هستند. همچنین به جز ایستگاه قلعه شاهرخ، شاخص‌های جریان کم در ایستگاه‌های حوضه سد زاینده رود دارای روند نزولی می‌باشند به طوریکه ایستگاه اسکندری شاهد شدیدترین روند کاهشی است. کاهش دبی روزانه و کاهش دبی جریان‌های کم به‌ویژه در سال‌های اخیر زنگ خطری برای مدیریت منابع آب به ویژه در حوضه سد زاینده رود است.

**واژگان کلیدی:** خشکسالی هیدرولوژیک- جریان‌های کم- روند- سد زاینده رود- استان اصفهان- ریسک- بحران آب

## ۱. مقدمه

هیدرولوژیک شاخص‌های کیفی آب را تحت تأثیر شدید قرار می‌دهد [۳]. در مطالعه دیگری در ترکیه روند دبی جریان و شاخص‌های آن بررسی و مناطقی که دارای روند کاهشی و افزایشی بودند مشخص شد [۸].

در سوئیس، روند شاخص‌های هیدرولوژیک بررسی و نشان داده شد. این شاخص‌ها در نقاط مختلف سوئیس هم دارای روند کاهشی و هم دارای روند افزایشی هستند. همچنین نشان داده شد که روند کاهشی دبی‌های جریان بیشتر در مناطق کوهستانی سوئیس وجود دارد [۲]. خشکسالی‌های هیدرولوژیک و روند افزایشی یا کاهشی دبی جریان رودخانه‌های اروپا نیز مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند [۱۰]. همچنین شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک در اتریش تغییرات مکانی و فصلی این شاخص‌ها را نشان داد [۱۱]. روند شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک در جمهوری چک مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید در اغلب مناطق شدت خشکسالی در حال افزایش است و شدت خشکسالی‌های تابستانه بیشتر از خشکسالی‌های زمستانه در حال افزایش است [۸]. در آمریکا در منطقه مینسوتا آمریکا تغییرات شاخص خشکسالی و ارتباط آن با تغییر اقلیم مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص گردید شدت خشکسالی هیدرولوژیک در تابستان و زمستان روند نزولی داشته‌اند [۱۴]. در مطالعه دیگری روند خشکسالی‌های هیدرولوژیک کانادا مورد بررسی قرار گرفت و مناطقی دارای روند افزایشی و کاهشی شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک تعیین گردید [۹].

در ایران با وجود قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه خشک شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک و روند آن‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند و اغلب مطالعات انجام شده در زمینه شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک مربوط به تحلیل فراوانی هستند. به عنوان مثال، ریسک خشکسالی‌های هیدرولوژیک حوزه دریاچه نمک با استفاده از توابع توزیع فراوانی برآورد گردیده است [۱۶]. مطالعات مشابهی در حوزه آبخیز مازندران و کرخه انجام

خشکسالی یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی در کشور ما می‌باشد که به دلیل شرایط جغرافیایی کشور احتمال وقوع آن در همه نقاط کشور و در شرایط مختلف وجود دارد. آگاهی از احتمال وقوع یا ریسک خشکسالی به ویژه در مناطقی که آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به خشکسالی دارند، از اهمیت زیادی برخوردار است. خشکسالی دارای انواع مختلفی است که در میان آن‌ها به خشکسالی هیدرولوژیک در کشور ما کمتر اشاره شده و مطالعات کمی در مورد آن صورت گرفته است.

استان اصفهان و به ویژه حوزه آبخیز زاینده رود در چند دهه اخیر دچار خشکسالی‌های متعدد شده ولی خشکسالی‌های هیدرولوژیک در این استان مورد توجه قرار نگرفته است. حوزه سد زاینده رود منبع اصلی آورد آب به سد زاینده رود است. هرگونه کاهش در دبی ورودی به سد زاینده رود در حال حاضر و آینده باعث مشکلات عدیده مدیریتی در آب شرب، آب مورد نیاز صنعت و آب مورد نیاز کشاورزی استان‌هایی که از ذخیره آب سد استفاده می‌کنند، خواهد شد و راهکارهای مدیریت و مقابله با خشکسالی‌ها را بسیار سخت و پیچیده خواهد کرد. با وجود مطالعاتی که در خصوص تغییر اقلیم حوزه زاینده رود و خشکسالی‌های هواشناسی صورت گرفته، مطالعه دقیقی در خصوص خشکسالی‌های هیدرولوژیک حوزه زاینده رود و به ویژه روند تغییرات شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک صورت نگرفته است.

مطالعه خشکسالی هیدرولوژیک و روند تغییرات آن به همراه بررسی عوامل موثر بر آن در مناطق مختلف جهان اعم از مناطق خشک و نیمه‌خشک و مناطق مرطوب صورت گرفته است. به عنوان مثال در آمریکا تحلیل روند خشکسالی‌های هیدرولوژیک در مناطق غرب میانه و شمال غرب روند افزایشی را نشان داد [۴]. در نیوزلند اثر خشکسالی‌های هیدرولوژیک بر اکوسیستم‌های رودخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید خشکسالی

داشتن اطلاعات دقیق از وجود روند کاهشی یا افزایشی در شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک است. این تحقیق با طرح اهمیت خشکسالی‌های هیدرولوژیک در استان اصفهان به دنبال بررسی روند تغییرات شاخص‌های آن در حوزه‌های آبخیز استان اصفهان به ویژه حوزه آبخیز زاینده رود به منظور ارائه راهکارهای مقابله با خشکسالی است.

## ۲. روش شناسی

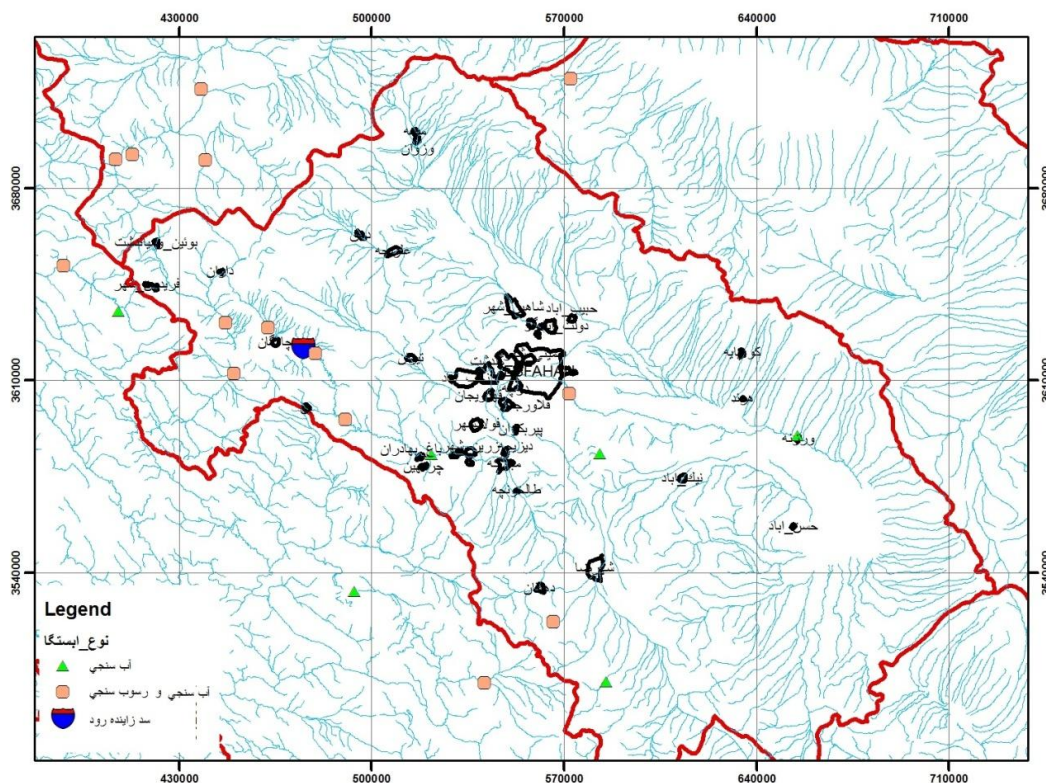
### ۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

از میان ۴۸ ایستگاه هیدرومتری موجود در سطح استان اصفهان، تعداد ۲۲ ایستگاه که دارای حداقل ۲۰ سال آمار روزانه دبی جریان هستند انتخاب شدند. شکل ۱ پراکنش ایستگاه‌های مورد استفاده در استان اصفهان و در حوزه آبخیز زاینده رود را نشان می‌دهد.

شده است [۵ و ۶]. علاوه بر آن، در حوزه‌های آبخیز مازندران احتمال وقوع برخی شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک برآورد شده اند [۱۲]. با استفاده از جریان دبی روزانه حوزه آبخیز جیرفت احتمال وقوع خشکسالی‌های هیدرولوژیک با طول دوره بیش از یکسال برآورد شده‌اند [۱۳].

با وجود مطالعات فوق و سایر مطالعات انجام شده در زمینه شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک، تنها دو مطالعه در خصوص بررسی روند شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک کشور صورت گرفته است. روند شاخص جریان کم ۷ روزه در حوزه آبخیز کرخه بررسی شد، نتایج نشان داد روندهای افزایشی و کاهشی در دبی جریان کم وجود دارد [۱]. همچنین روند تغییرات زمانی و مکانی خشکسالی هیدرولوژیک در حوضه کرخه بررسی گردید [۱۵].

مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در آینده و نیاز به



شکل ۱۱. پراکنش ایستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه

بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر می‌باشد:

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت (Sign Function) و استخراج پارامتر  $S$  به صورت زیر:

اگر  $x_1, x_2, \dots, x_n$  مشاهدات مورد نظر باشند، آنگاه داریم:

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

که  $n$  تعداد مشاهدات سری و  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب داده‌های زام و  $k$  ام سری هستند. تابع علامت نیز به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. در این مرحله می‌توان به جای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها در مجموعه مورد نظر (سری زمانی) استفاده کرده و مرتبه‌ها را به همین روش مقایسه نمود.

ب) محاسبه واریانس توسط یکی از روابط زیر: با فرض اینکه داده‌ها مستقل بوده و توزیع یکنواخت دارند،

$$(3) \text{ اگر } n > 10$$

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

$$(4) \text{ اگر } n < 10$$

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

## ۲.۲. بر آورد شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک

در این بخش با استفاده از آمار دبی جریان حوزه‌های آبخیز استان اصفهان، ابتدا شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک استخراج می‌شوند.

شاخص‌های جریان‌های کم (Low Flow) شامل جریان‌های ۱، ۷، ۱۵ و ۳۰ و ۹۰ روزه می‌باشند. این شاخص‌ها مهم‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک هستند که در مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی‌های مقابله با اثرات خشکسالی از آن‌ها استفاده می‌شود. این شاخص در واقع حداقل میانگین چند روزه (۱، ۷، ۱۵، ...) در هر سال می‌باشد. شاخص‌های کوتاه مدت به منظور بررسی تأثیرات کوتاه مدت و شاخص‌های بلند مدت (۳۰ و ۹۰ روزه) به منظور تحلیل اثرات کم آبی ماهانه و فصلی مناسب هستند. به عنوان مثال شاخص جریان کم ۹۰ روزه شاخص مناسبی در تحلیل فصلی ریسک ناشی از خشکسالی هیدرولوژیک به ویژه در مناطقی که کشاورزی از آب سطحی استفاده می‌کند، از اهمیت خاصی برخوردار است.

## ۳.۲. تحلیل روند

در این بخش با استفاده از روش‌های ناپارامتری (من-کندال و اسپیرمن) روند تغییرات شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک که در بخش اول برآورد شده است، تعیین می‌گردد. روش من-کندال مهم‌ترین و کاربردی‌ترین روش تحلیل روند متغیرهای هیدرولوژیک است که در همه مطالعات مربوط به روند یابی و مطالعه تغییرات اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آزمون من-کندال قادر به شناسایی و جهت مثبت (افزایشی) یا منفی (کاهشی) وجود روند در داده‌ها می‌باشد ولی معادله‌ای برای روند ارائه نمی‌دهد. معادلات مورد استفاده در این روش فاکتوری را تحت عنوان توزیع نرمال استاندارد ( $Z_s$ ) محاسبه می‌نماید که این فاکتور به عنوان شاخص جهت تعیین وجود روند معنی‌دار در داده‌ها به کار می‌رود. فرض صفر این آزمون بر تصادفی

سری‌های  $x$  و  $y$  هستند. در مطالعه حاضر همبستگی شاخص‌های جریان کم به عنوان متغیر وابسته و زمان به عنوان متغیر مستقل در محاسبه ضریب همبستگی اسپیر من در نظر گرفته می‌شوند.

### ۳. نتایج

#### ۳.۱. تحلیل روند دبی میانگین روزانه

دبی میانگین جریان یک شاخص مهم هیدرولوژیک است که در واقع بیانگر آورد جریان و بیلان آبی یک حوزه آبخیز است. نتایج آزمون من-کندال (جدول ۱) آمده است. در این جدول سلول‌های تیره دارای روند معنی‌دار در سطح ۱٪ و سلول‌های روشن‌تر بیانگر روند معنی‌دار در سطح ۵٪ درصد هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر آماره در بسیاری از ایستگاه‌ها منفی بوده و بیانگر کاهش معنی‌داری در دبی میانگین روزانه حوزه‌های آبخیز استان اصفهان است. از نقطه نظر مکانی نیز پراکنش ایستگاه‌هایی با روند کاهشی در غرب استان و بالا دست سد زاینده رود بیش از مناطق شرقی است.

در حوزه آبخیز زاینده رود نیز وضعیت ایستگاه‌های سدزاینده رود وضعیت کاهش شدید جریان را به جز حوضه قلعه شاهرخ نشان می‌دهد. نکته جالب توجه اینکه ایستگاه قلعه شاهرخ دارای روند مثبت در سطح ۵٪ است. دلیل این امر به احتمال فراوان اضافه شدن آب از طریق تونل‌های کوهرنگ است.

ضرایب همبستگی اسپیرمن (جدول ۲) نیز مؤید روند منفی دبی میانگین جریان در اغلب ایستگاه‌ها و معنی‌دار بودن این روند کاهشی در اغلب ایستگاه‌ها است. بالاترین ضریب همبستگی منفی مربوط به ایستگاه مندرجان و کمترین آن مربوط به ایستگاه اسکندری است که هر دو از نظر آماری معنی‌دار و مربوط به زیر حوضه سد زاینده رود هستند. وجود برخی ایستگاه‌های واقع در منطقه خشک و نیمه‌خشک شرق استان مانند پل هنجن، پل چوم، لنج و بند قدیمی با روند منفی از نتایج قابل

که  $n$  تعداد داده‌های مشاهده،  $m$  معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و  $t$  نشان دهنده فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد. (ج) نهایتاً آماره  $Z$ ، که دارای توزیع نرمال است، توسط یکی از روابط زیر تعیین می‌گردد:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

در یک آزمون دوطرفه جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2}$$

که  $\alpha$  سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و  $Z$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری  $\alpha$  می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از  $\alpha/2$  استفاده شده است. در این تحقیق سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ برای آزمون من-کندال مد نظر قرار گرفته است. در صورت مثبت بودن آماره  $Z$  ( $S > 0$ )، روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن ( $S < 0$ )، روند نزولی خواهد بود.

دومین روش ناپارامتری که به منظور تحلیل روند از آن استفاده می‌شود ضریب همبستگی اسپیرمن است. این روش معادل ضریب همبستگی پیرسون اما بر اساس رتبه‌بندی داده‌هاست و یک همبستگی خطی محسوب می‌شود. برای محاسبه ضریب همبستگی اسپیرمن ( $\rho$ ) از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (Rx_i Ry_i) - n \left( \frac{n+1}{2} \right)^2}{n(n^2-1)/12} \quad (6)$$

در اینجا  $n$  تعداد داده‌ها و  $Rx_i$  و  $Ry_i$  به ترتیب رتبه

که دیده می‌شود تغییرات محسوس و ناگهانی بیشتر در ۲ دهه اخیر اتفاق افتاده است.

توجه در این جدول می‌باشد. شکل ۲ تغییرات دبی میانگین روزانه را در ۴ ایستگاه نمایش می‌دهد. همان‌طور

جدول ۱. مقادیر آماره من-کندال برای شاخص‌های جریان‌های کم در ایستگاه‌های منطقه

ایستگاه	۱ روزه	۷ روزه	۱۵ روزه	۳۰ روزه	۹۰ روزه	میانگین روزانه (مترمکعب بر ثانیه)
اسکندری	-۵/۸۵	-۵/۶۰	-۵/۴۶	-۵/۴	-۵/۰۲	-۲/۴۱
بن رود	-۱/۷۹	-۱/۴۵	-۱/۴۴	-۱/۰۸	-۱/۸۳	-۲/۹۶
پل بردکان	-۱/۲۸	-۱/۲۸	-۱/۲۸	-۱/۹۶	-۰/۴۶	-۱/۳۷
بند قدیمی	-۱/۷۲	-۱/۷۵	-۱/۵۶	-۱/۶۲	-۱/۵۱	-۱/۹۷
پل چوم	-۰/۸۵	-۱/۸۱	-۱/۷۷	-۱/۵۸	-۲/۶۲	-۲/۷۵
پل زمانخان	-۰/۶۰	-۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۶۹	۲/۶۲
پل کله	-۵/۶۲	-۵/۶۴	-۵/۴۷	-۵/۴۹	-۴/۰۸	-۲/۰۵
تنگه اسفرجان	-۲/۵۰	-۲/۶۱	-۱/۲۸	-۱/۸۹	-۲/۵۶	-۱/۴۳
تنگ زردآلو	-۳/۶۴	-۳/۶۰	-۳/۵۳	-۳/۵۶	-۳/۲۸	-۲/۶۸
چشمه لنگان	-۳/۰۵	-۳/۴۰	-۳/۵۷	-۳/۲۶	-۱/۶۱	-۱/۷۶
چم اسفند	-۴/۶۳	-۴/۷۶	-۴/۸۵	-۴/۹۸	-۴/۹۴	-۲/۴
حسین آباد ویست	۰/۰	-۰/۸۳	-۰/۸۳	-۱/۱۵	-۰/۴۵	-۰/۶۸
حسین آباد	۰/۷۶	۱/۸۴	۱/۹۳	۱/۶۴	۰/۸۴	۱/۱۰
زرد فهره	-۳/۵۹	-۴/۵۳	-۴/۷۸	-۴/۵۶	-۳/۸۱	-۲/۷۵
سد تنظیمی	۱/۰۹	۰/۵۲	۰/۵۷	۰/۱۲	-۱/۵۶	۰/۰۴
سراب هنده	۰/۶۴	۱/۱۳	۱/۰۵	۱/۱۷	۰/۲۹	-۰/۰۲
قلعه شاهرخ	۰/۶۴	۰/۲۶	۰/۰۳	۰/۰	۰/۱۲	۲/۳۰
لنج	-۳/۴۷	-۳/۸۰	-۳/۹۴	-۳/۵۴	-۳/۲۳	-۲/۰۸
مندرجان	-۲/۱۸	-۰/۰۶	-۰/۵۳	-۱/۳۶	-۱/۴۵	-۴/۰۳
هنجن	-۳/۱۰	۰/۲۶	۰/۱۳	۰/۲۵	-۰/۰۸	-۳/۸۰
وانشان	-۰/۹۱	-۰/۴۲	-۰/۳۴	-۰/۲۷	-۰/۲۴	-۰/۳۴
ورزنه	-۱/۱۴	-۰/۵۰	-۰/۶۲	-۱/۲۷	-۱/۳۴	-۲/۸۰

کاهش آن در ایستگاه اسکندری زیادتر از حوضه مندرجان است و در اغلب تداوم‌ها روند معنی‌داری دارند. از نظر مکانی نیز گرچه ایستگاه‌های واقع در منطقه خشک روند منفی در اغلب تداوم‌ها نشان می‌دهند ولی بسیاری از آن‌ها از نظر آماری معنی‌دار نیستند. این مسئله در ایستگاه‌های غرب استان نیز تا حدی دیده

### ۳.۲. تحلیل روند شاخص‌های خشکسالی هیدرولوژیک

آماره من-کندال آزمون روند شاخص‌های جریان کم در جدول ۱ برای ایستگاه‌های منطقه طرح نشان داده شده است. در حوضه سد زاینده رود روند جریان‌های کم به جز حوضه قلعه شاهرخ منفی است به طوری که شدت

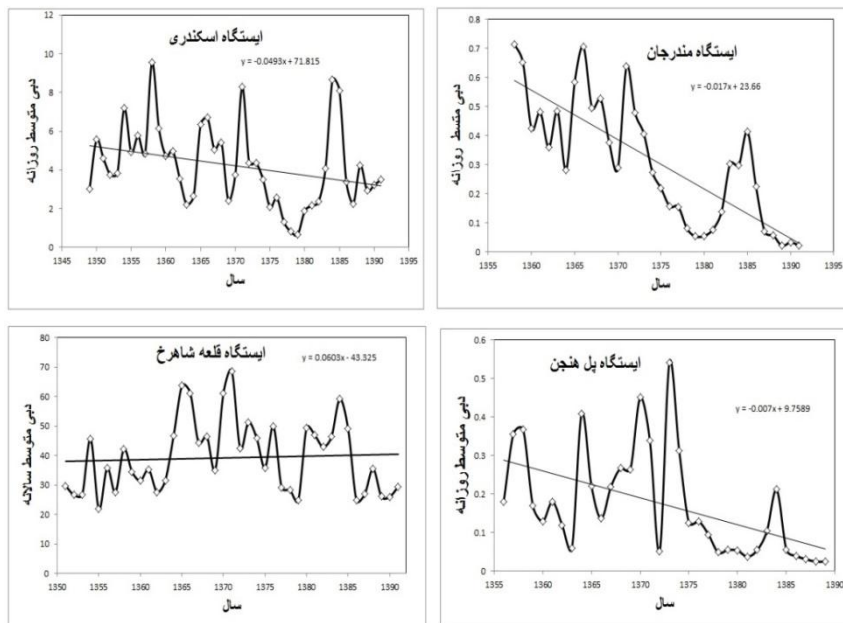
جریان‌های کم در پایین دست رودخانه زاینده رود است. ضرایب همبستگی اسپیرمن (جدول ۲) نیز روند منفی شاخص‌های جریان کم را در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. منفی بودن اغلب ضرایب و مطابقت نتایج آن با روش من-کندال در این جدول مشخص است.

شکل ۳ تغییرات سری زمانی شاخص‌های جریان کم با تداوم‌های مختلف برای برخی ایستگاه‌های شاخص را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود افت ناگهانی دبی جریان‌های کم در ۲ دهه اخیر بسیار محسوس است.

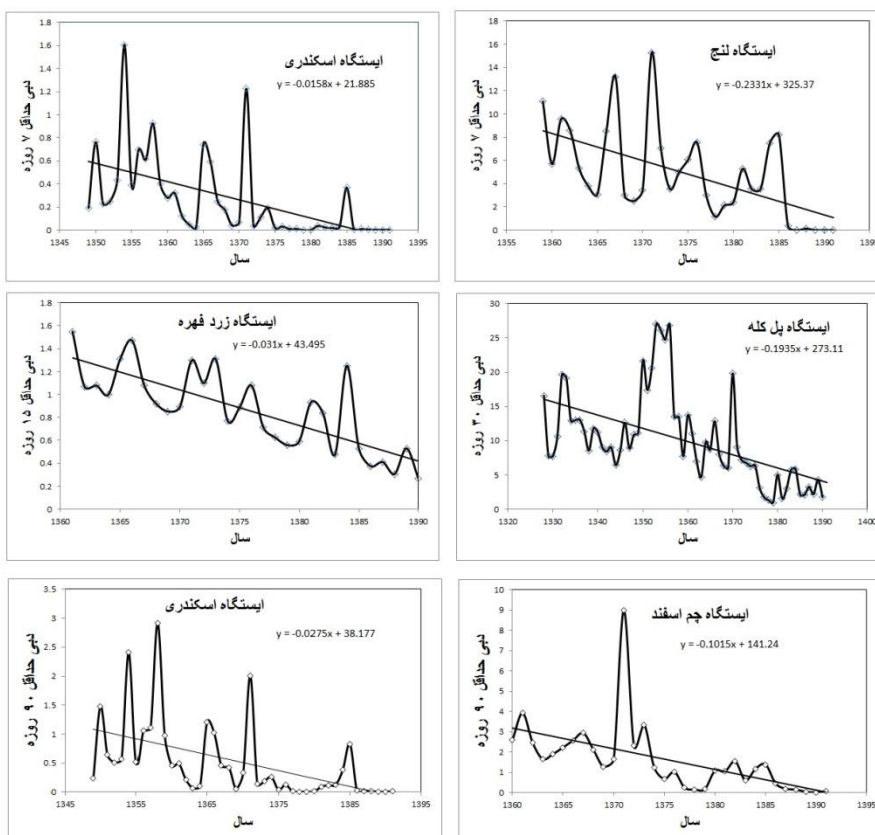
می‌شود با این تفاوت که ایستگاه‌های دارای روند منفی معنی‌دار بیشتر است (به عنوان مثال ایستگاه‌های چشمه لنگان و زردفهره). در حوزه آبخیز زاینده رود نیز علاوه بر روند منفی جریان‌های کم در حوضه سد زاینده رود، در پایین دست سد و در مسیر حرکت رودخانه زاینده رود به سمت شرق نیز شاهد روند منفی در اغلب ایستگاه‌ها هستیم. ایستگاه‌هایی مانند پل کله یا پل لنج که دارای روند منفی معنی‌دار هستند و یا ایستگاه‌های پل چوم و ورزنه که دارای روند منفی اما از نظر آماری غیر معنی‌دار هستند نشان از تأثیر مدیریت سد زاینده‌رود بر دبی

جدول ۲. ضرایب همبستگی اسپیرمن برای شاخص‌های جریان‌های کم در ایستگاه‌های منطقه

ایستگاه	۱ روزه	۷ روزه	۱۵ روزه	۳۰ روزه	۹۰ روزه	میانگین روزانه (مترمکعب بر ثانیه)
اسکندری	-۰/۷۸	-۰/۷۸	-۰/۷۷	-۰/۷۶	-۰/۷۱	-۰/۳۹
بن رود	-۰/۲۸	-۰/۲۳	-۰/۲۳	-۰/۱۸	-۰/۲۸	-۰/۴۲
پل بردکان	-۰/۲۹	-۰/۲۸	-۰/۲۸	-۰/۴۴	-۰/۲۹	-۰/۳۵
بند قدیمی	-۰/۳۹	-۰/۴۱	-۰/۳۹	-۰/۳۹	-۰/۳۹	-۰/۵۱
پل چوم	-۰/۱۹	-۰/۳۵	-۰/۳۵	-۰/۳۱	-۰/۴۸	-۰/۴۹
پل زمانخان	-۰/۰۶	-۰/۰۳	-۰/۰۱	-۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۴۶
پل کله	-۰/۶۷	-۰/۶۷	-۰/۶۶	-۰/۶۷	-۰/۵۰	۰/۱۳
تنگه اسفرجان	-۰/۶۲	-۰/۲۳	-۰/۲۶	-۰/۳۷	-۰/۴۶	-۰/۳۰
تنگ زردآلو	-۰/۶۳	-۰/۶۴	-۰/۶۳	-۰/۶۴	-۰/۶۱	-۰/۵۰
چشمه لنگان	-۰/۶۰	-۰/۶۴	-۰/۶۵	-۰/۶۰	-۰/۳۸	-۰/۳۶
چم اسفند	-۰/۷۵	-۰/۷۹	-۰/۸۰	-۰/۸۲	-۰/۸۲	-۰/۷۱
حین آباد ویست	-۰/۷۷	-۰/۱۸	-۰/۰۱	-۰/۳۰	-۰/۰۱	-۰/۱۷
حسین آباد	۰/۱۳	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۱۵	-۰/۰۱
زرد فهره	-۰/۶۵	-۰/۷۵	-۰/۷۷	-۰/۷۵	-۰/۶۸	-۰/۵۱
سد تنظیمی	۰/۱۱	۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۷	-۰/۳۲	۰/۰۲
سراب هنده	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۱
قلعه شاهرخ	۰/۰۵	-۰/۰۲	-۰/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۰۱	۰/۰۵
لنج	-۰/۶۱	-۰/۶۳	-۰/۶۴	-۰/۵۹	-۰/۵۵	-۰/۴۰
مندرجان	-۰/۴۳	۰/۰۲	-۰/۰۷	-۰/۱۵	-۰/۲۰	-۰/۷۹
هنجن	-۰/۵۷	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۴	-۰/۰۱	-۰/۶۴
وانشان	-۰/۲۴	-۰/۲۰	-۰/۱۷	-۰/۰۹	۰/۰	-۰/۰۴
ورزنه	-۰/۳۶	-۰/۲۲	-۰/۱۷	-۰/۲۴	-۰/۲۵	-۰/۴۰



شکل ۲. تغییرات سالانه دبی میانگین روزانه در ۴ ایستگاه منتخب



شکل ۳. تغییرات سالانه جریان کم در تداوم‌های مختلف برای چند ایستگاه شاخص



#### ۴. بحث و نتیجه گیری

وقوع خشکسالی هیدرولوژیک اهمیت زیادی در تأمین آب مورد نیاز کشاورزی و شرب یک منطقه دارد به طوری که افزایش شدت آن می تواند به بحران های عمیق اقتصادی و اجتماعی بینجامد. با وجود بحران های کم آبی در یک دهه اخیر در استان اصفهان و با وجود مطالعات متعدد در زمینه خشکسالی هواشناسی، خشکسالی های هیدرولوژیک کمتر مورد توجه قرار گرفته اند. در این تحقیق روند جریان های کم به عنوان مهم ترین شاخص خشکسالی هیدرولوژیک در استان اصفهان مورد آزمون قرار گرفت. نتایج بیانگر کاهش دبی جریان های کم در اغلب ایستگاه های مورد مطالعه و در تداوم های مختلف است. نکته قابل توجه روند منفی جریان های کم در حوزه آبخیز زاینده رود است که تأمین کننده آب شرب، کشاورزی و آب مورد نیاز صنعت در حوزه زاینده رود است. پراکنش مکانی ایستگاه های دارای روند منفی نیز از نکات قابل توجه است به طوری که وجود روند منفی در ایستگاه های شرق استان با توجه به قرار گرفتن این ایستگاه ها در منطقه خشک و نیمه خشک استان از نظر مدیریت منابع آب بسیار حائز اهمیت بوده و توجه خاصی از طرف برنامه ریزان را طلب می کند. تغییرات سری زمانی جریان های کم نیز نشان دهنده کاهش ناگهانی دبی جریان در ۲ دهه اخیر در اغلب ایستگاه ها است. این موضوع را می توان به طور خاص در ایستگاه های پایین

دست سد زاینده رود مشاهده کرد.

نتایج این هم بیانگر تأثیر خشکسالی های چند سال اخیر در استان اصفهان بر روند جریان های کم و هم تأثیر مدیریت انسانی (مدیریت سد زاینده رود) و برداشت های بی رویه بر کاهش دبی جریان های کم در پایین دست رودخانه زاینده رود است به طوری که نه تنها آب های سطحی بلکه آب های زیرزمینی را نیز تحت تأثیر شدید قرار داده است. گرچه مطالعه دقیق اثر مدیریت منابع آب و برداشت آب بر روند کاهشی جریان های کم نیازمند اطلاعات دقیق است تا بتوان به صورت کمی اثر مدیریت را نشان داد. همچنین مطالعه روند آب های سطحی و زیرزمینی در حوزه زاینده رود انجام نشده است که بتوان با آن ها مقایسه ای انجام داد.

بنابراین در مطالعات آینده لازم است اثر مدیریت بر جریان های کم به طور ویژه و با مطالعه دقیق میزان بهره برداری در بالا دست و حوزه آبخیز هر کدام از ایستگاه های هیدرومتری مورد بررسی قرار گیرد. همچنین با استفاده از مدل های چند متغیره اثر خشکسالی های هواشناسی بر کاهش جریان های کم می توان به درک جامع تری از متغیرهای مؤثر بر کاهش دبی جریان های کم در استان اصفهان و به ویژه حوزه آبخیز زاینده رود دست یافت به طوری که بتوان به صورت عددی سهم تغییر اقلیم و خشکسالی هواشناسی را از سهم مدیریت منابع بر روند شاخص های جریان های کم نشان داد.

## References

- [1] Azizabadi Farahani, M., Khalili, D. (2013). Seasonality Characteristics and Spatio-temporal Trends of 7-day Low Flows in a Large, Semi-arid Watershed. *Water Res. Manage.*, 27, 4897-4911.
- [2] Birsan, MV., Molnar, P., Burlando, P. and Pfandler, M. (2005). Stream flow trends in Switzerland. *Journal of Hydrology*, 312-329.
- [3] Caruso, BS. (2002). Temporal and spatial patterns of extreme low flows and effects on stream ecosystems in Otago, New Zealand. *Journal of Hydrology*, 115-133.

- [4] Douglas, EM., Vogel, RM. and Kroll, CN.(2000). Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. *Journal of Hydrology*, 90–105.
- [5] Eslamian, S.S., Zareei, A. And Abrisham chi, A. (2004). *natural resources and agricultural sciences technology, water and soil* 1(27), 27-38.
- [6] Eslamian, S.S., Ghasemi, M. And Soltanigard, S. (2012). Computation and Regionalization of Low Flow Indices and Determination of Hydrological Drought Durations in Karkhe Watershed. *J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour., Water and Soil Sci.*, 16(59),1-14.
- [7] Fiala, T., Ouarda, TBMJ. and Hladný, J. (2010). Evolution of low flows in the Czech Republic. *Journal of hydrology*, 206–218.
- [8] Kahya, E. and Kalaycı, S. (2004). Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*, 128–144.
- [9] Khaliq, MN., Ouarda, T. and Gachon, P. (2009). Identification of temporal trends in annual and seasonal low flows occurring in Canadian rivers: The effect of short-and long-term persistence. *Journal of hydrology*, 183–197.
- [10] Korhonen, J. and Kuusisto, E. (2010). Long-term changes in the discharge regime in Finland. *Hydrology Research*, 253-268.
- [11] Laaha, G. and Blöschl, G. (2007). A national low flow estimation procedure for Austria. *Hydrological Sciences Journal*. 52, 625-644.
- [12] Modarres, R. (2008). Regional frequency distribution type of low flow in North of Iran by L-moments. *Water resources management*, 823-841.
- [13] Modarres, R. and Sarhai, A. (2010). Frequency distribution of extreme hydrologic drought of southeastern region, Ira, *Journal of hydrologic engineering. Journal of Hydrologic. Engineering.*, 15(4), 255–264.
- [14] Novotny, EV. and Stefan, HG. (2007). Streamflow in Minnesota: Indicator of climate change. *Journal of Hydrology*, 319–333.
- [15] Saadat, S., Davar Khalili, A., Kamgar-Haghighi, A., Zand-Parsa, S.( 2013). Investigation of spatio-temporal patterns of seasonal streamflow droughts in a semi-arid region. *Natural Hazards*, 69:1697–1720.
- [16] Zehtabian, Gh. and Mosavi, A.A. (2000). Investigation and determination of hydrologic indices by the aid of analogous watersheds (case study: Salt lake drainage basin), *Biaban*, 5(2), 65-78.