

بررسی ارتباط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در استان خراسان رضوی

❖ مریم آذرخشی*؛ استادیار، گروه مهندسی طبیعت و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه

❖ جلیل فرزاد مهر؛ استادیار، گروه مهندسی طبیعت و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه

چکیده

خشکسالی هواشناسی با تاخیر زمانی بر منابع آب حوضه تاثیر می‌گذارد که منجر به وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی می‌گردد. ارزیابی تغییرات بارش و خشکسالی برای تعیین بحران‌های آبی موجود و مدیریت منابع آبی الزامی است. این پژوهش در ۴۱ حوزه آبخیز استان خراسان رضوی در طول سال‌های ۱۳۵۴-۱۳۹۴ به منظور تعیین رابطه زمانی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی انجام شد. شدت خشکسالی‌های هیدرولوژیکی با شاخص‌های SDI و شدت خشکسالی هواشناسی با شاخص SPI محاسبه شد. روند تغییرات بارش و دبی سالانه با آزمون من‌کندال بررسی شد. رابطه زمانی بین شاخص‌های ذکر شده با ضریب همبستگی پیرسون به صورت همزمان و با تاخیر زمانی ۱ تا ۱۲ ماه بررسی شد. نتایج آزمون من‌کندال بیانگر روند منفی دبی در همه حوضه‌ها بوده و بیشترین شیب کاهش دبی در حوضه پل خاتون (۰/۵۲-) اتفاق افتاده است. ترکیبی از روند مثبت و منفی تغییرات بارش در حوضه‌های مورد مطالعه مشاهده شد. اما روندهای مثبت محاسبه شده در هیچ کدام از حوضه‌ها در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نبوده است. در ۳۶/۵٪ از حوضه‌های مورد مطالعه ضرایب همبستگی معنی‌داری در سطح ۹۵٪ بین SDI و SPI بدست نیامد. در ۶۰٪ حوضه‌های مورد مطالعه بیشترین ضریب همبستگی بین بارش و دبی با یک ماه تاخیر، در ۲۵٪ حوضه‌ها بدون تاخیر زمانی در ۲/۵٪ حوضه‌ها با تاخیر زمانی ۲ ماهه و در ۲/۵٪ حوضه‌ها با تاخیر زمانی ۱۲ ماهه بدست آمد. رابطه بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در بیشتر حوضه‌ها معنی‌دار نشد که می‌توان آن‌را با وضعیت بدون روند بارش در بیشتر حوضه‌ها و روند کاهشی دبی توجیه کرد.

واژگان کلیدی: آزمون من‌کندال، تاخیر زمانی، دبی، شاخص SPI، شاخص SDI، ضریب همبستگی پیرسون

۱. مقدمه

خشکسالی موضوعی جهانی بوده و هر ساله در بخش‌هایی از کره زمین موجب خسارت‌های زیست محیطی و اقتصادی زیادی می‌شود. خشکسالی برخلاف بلایای طبیعی دیگر در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی و بتدریج عمل کرده و آثار آن با تاخیر زمانی به نظام ساختاری انتقال می‌یابد لذا امداد در هنگام وقوع خشکسالی در مقایسه با سایر بلایای طبیعی پیچیده‌تر و سخت‌تر می‌باشد. خشکسالی هواشناسی کلید شروع خشکسالی هیدرولوژیکی است. بنابراین درک خصوصیات خشکسالی هواشناسی و گسترش آن به خشکسالی هیدرولوژیکی برای هشدارهای زود هنگام مهم است [۳۴]. در شرایط گرمایش جهانی، تسریع چرخه آب خطر هیدرولوژیکی را در حوضه‌های رودخانه‌ای افزایش می‌دهد [۳۲]. بنابراین ارزیابی تغییرات بارش و خشکسالی برای تعیین بحران‌های آبی موجود و مدیریت منابع آبی الزامی است [۲]. افزایش وقوع خشکسالی‌ها نیز به عنوان یکی از پیامدهای گرمایش جهانی و تغییر اقلیم در مناطق مختلف در شمال غرب ایران [۱۷]، جنوب آمریکای جنوبی [۲۵] و حوضه رودخانه زرد چین [۳۲] مطرح شده است.

آب اساسی‌ترین نیاز بشر است، خشکسالی و کمبود آن می‌تواند به طور مستقیم و غیر مستقیم موجب بروز مشکلات و بحران‌های جدی شود. با افزایش جمعیت، نیازهای آبی به منظور تامین مواد غذایی و شرب نیز، افزایش یافته که این امر باعث می‌شود تا اثرات ناشی از بحران خشکسالی تشدید گردد [۱۵]. خشکسالی به طور کلی از چهار دیدگاه هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی و اقتصادی بررسی می‌شود. بعضی از اثرات کوتاه‌مدت خشکسالی با برگشتن شرایط به حالت عادی مرتفع می‌شوند. اما بعضی از اثرات آن مثل تخریب زیستگاه حیات وحش، تخریب تالاب‌ها، دریاچه‌ها و پوشش گیاهی به صورت طولانی مدت و یا دائمی باقی خواهد ماند.

برای ارزیابی خشکسالی و تعیین ویژگی‌های آن از

شاخص‌های خشکسالی استفاده می‌شود. شاخص‌های خشکسالی معمولاً توابع پیوسته‌ای از بارش یا دما، دبی رودخانه و یا سایر متغیرهای هیدرومتئورولوژیک قابل اندازه‌گیری می‌باشند. از این ابزار می‌توان برای طراحی سیستم هشدار خشکسالی، محاسبه احتمال پایان خشکسالی، تعیین یارانه‌های خشکسالی، ارزیابی خطر آتش‌سوزی جنگل و فراوانی طوفان‌های گرد و غبار، پیش بینی تولید، بررسی خصوصیات مکانی و زمانی خشکسالی، شدت خشکسالی و مقایسه مکان‌های مختلف استفاده کرد [۳]. از شاخص SPI با مقیاس‌های زمانی مختلف و SDI در مطالعات مختلفی به ترتیب برای محاسبه خشکسالی هواشناسی و هواشناسی استفاده شده است [۲۹، ۳۰، ۳۱ و ۲۳].

پژوهش‌های انجام شده در نقاط مختلف نشان داده که یک فاصله زمانی بین وقوع خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی است [۱۶] و خشکسالی هواشناسی زودتر از خشکسالی هیدرولوژیکی اتفاق می‌افتد [۳۲]. ارزیابی خشکسالی در حوضه گدار خوش [۱۲] و منطقه‌ای در یونان [۲۳] نشان داد تاخیر زمانی ۱۲ ماهه بین وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک بوده است. در سال‌های اخیر در حوضه قره‌سو خشکسالی هیدرولوژیکی با تاخیر زمانی یک یا دو ساله نسبت به خشکسالی هواشناسی رخ داده است [۱۶]. در استان تهران تاخیر یک ماهه [۸]، در حوضه‌های صوفی‌چای، مروق‌چای به صورت همزمان و سپس تاخیر یک ماهه [۲۷]، بین زمان وقوع خشکسالی هواشناسی تا هیدرولوژیکی وجود دارد. تاخیر زمانی ۱ تا ۷ ماهه از وقوع خشکسالی هواشناسی تا آشکار شدن خشکسالی هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز تجن [۱۱] و تاخیر ۲ تا ۶ ماهه در حوضه رودخانه پیرل چین [۳۴] و تاخیر ۴ تا ۱۰ هفته‌ای در کره جنوبی [۲۸] محاسبه شده است.

خشکسالی بر کلیه جنبه‌های زندگی و بخش‌های مختلف جامعه مخصوصاً محیط طبیعی تأثیر مستقیم و غیر مستقیم دارد که عدم درک مفهوم آن موجب تردید در تصمیم‌گیری

شمال شرق ایران واقع شده است. این استان شامل ۴ حوضه آبخیز اترک، قره‌قوم، کویر مرکزی و شرق ایران است. با توجه به وسعت قابل توجه این استان و وجود توپوگرافی‌های گوناگون آن و همچنین تاثیرپذیری این منطقه از توده‌های هوایی مختلف در طول سال، دارای آب و هوای متنوع می‌باشد. بلندترین و پست‌ترین نقطه استان به ترتیب قله بینالود با ارتفاع ۳۲۱۱ متر و دشت سرخس با ارتفاع ۳۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد [۵]. متوسط بارش استان ۲۰۸ میلی‌متر محاسبه شده است. توزیع بارش استان یکنواخت نبوده و بطور کلی مقدار آن از شمال به جنوب استان کاهش می‌یابد [۹].

۲.۲. داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از آمار بارش و دبی ماهانه ۴۱ حوزه آبخیز در استان خراسان رضوی با دوره آماری ۴۰ ساله (۱۳۹۴-۱۳۵۴) که از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی و سازمان تحقیقات منابع آب (تماب) اخذ شده استفاده گردید. در هر حوضه از ایستگاه هیدرومتری و ایستگاه هواشناسی موجود در آن حوضه و یا نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به حوضه مربوطه استفاده شد. موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. برای تعیین شدت خشکسالی هواشناسی از شاخص SPI و برای تعیین شدت خشکسالی هیدرولوژیکی از شاخص SDI استفاده شد. روند داده‌های بارش و دبی با آزمون من کندال مشخص شد. به منظور بررسی رابطه زمانی بین خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی از ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص‌های SDI و SPI محاسبه شده با مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه استفاده شد.

۳.۲. آزمون من-کندال

برای بررسی وجود روند در سری‌های آماری معمولاً از روش‌های پارامتری و ناپارامتری استفاده می‌شود. روش من کندال یکی از روش‌های آماری است که توسط اقلیم

و رکود در بخش‌های مختلف اقتصادی، مدیریتی و زیست‌محیطی می‌شود. استان خراسان رضوی یکی از قطب‌های تولید محصولات کشاورزی کشور بوده به طوری که مصرف بیش از حد آب در بخش کشاورزی منابع آبی دشت‌های این استان را در وضعیت بحرانی قرار داده است. تعداد زیادی از دشت‌های استان، به ویژه دشت‌های مهم و پرآب، نظیر دشت مشهد، تربت‌جام، تایباد، نیشابور، کاشمر، سبزوار و تربت حیدریه با کسری مخزن مواجه شده و سطح آب در آنها سال به سال پایین‌تر می‌رود. وقوع خشکسالی‌های شدید در سال‌های اخیر باعث شده است که فشار بر منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی استان خراسان رضوی بیشتر شود. درک درست و قابل اطمینان از خشکسالی هواشناسی به هیدرولوژیکی برای پیش‌بینی دقیق خشکسالی هیدرولوژیکی مهم است. درک فعلی ما از وضعیت انتشار خشکسالی محدود است زیرا خصوصیات هر خشکسالی و تاخیر زمانی بین خشکسالی به دلیل شرایط متغیر مکانی و اقلیمی یکسان نیست [۲۸]. بررسی رابطه بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی برای هشدار سریع و کاهش خشکسالی هیدرولوژیکی مهم است [۲۰]. با توجه به اینکه اثرات خشکسالی بر منابع آبی با تاخیر زمانی نسبت به شروع خشکسالی هواشناسی اتفاق می‌افتد. تعیین رابطه زمانی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب جهت تخصیص آب به بخش‌های مختلف مصرف و اصلاح الگوی کشت محصولات کشاورزی کمک کند. بنابراین هدف این تحقیق تعیین رابطه زمانی بین وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوزه‌های آبخیز استان خراسان رضوی می‌باشد.

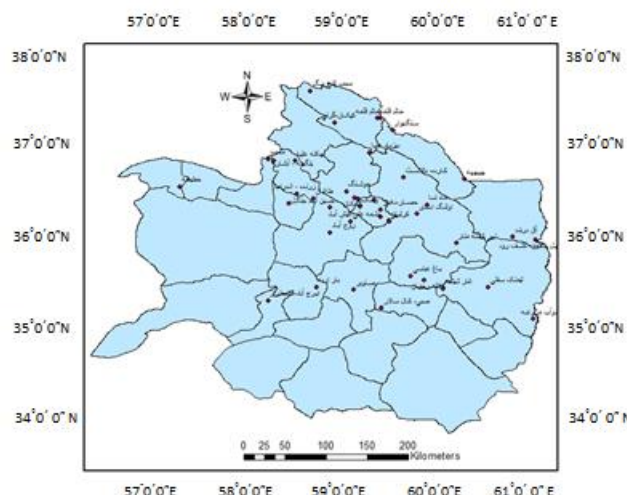
۲. روش‌شناسی

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

استان خراسان رضوی با مساحت ۱۱۸۸۵۴ کیلومتر مربع بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳° ۵۲' تا ۳۷° ۴۲' شمالی و طول جغرافیایی ۵۶° ۱۹' تا ۶۱° ۱۶' شرقی در

یکنواخت سیر صعودی یا نزولی داشته باشند داده‌ها دارای روند (Trend) هستند.

شناسان معاصر برای تعیین روند استفاده شده است [۷، ۲۷، ۳۱، ۳۳]. چنانچه سری زمانی داده‌ها به صورت



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

$$\text{Var}(S) = \text{رابطه (۳)} \quad \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^n t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

برای تعیین معنی‌داری ضریب Z و وجود یا عدم وجود روند از سطوح معنی‌داری ۵ و ۱ درصد استفاده شده است.

۴.۲. شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

SPI توسط مک‌کی و همکارانش در سال ۱۹۹۳ [۲۱]، برای تشخیص کمبود میزان بارندگی در مقیاس‌های زمانی چندگانه طراحی شده است. این مقیاس‌های زمانی منعکس کننده اثرات ویژه خشکسالی روی قابلیت دسترسی به منابع آبی مختلف می‌باشند.

اساس شاخص بارندگی استاندارد شده بر محاسبه احتمالات بارندگی برای هر مقیاس زمانی استوار است. محاسبه SPI شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما $\Gamma(\alpha)$ (رابطه ۴) بر توزیع فراوانی بارندگی کل برای یک ایستگاه معین می‌باشد. تام (۱۹۶۶) با استفاده از روش درست‌نمایی حداکثر برای برآورد بهینه α و β

در آزمون من کندال هر مقدار در سری زمانی به صورت پیوسته و پشت سرهم با بقیه مقادیر سری مورد مقایسه قرار می‌گیرد. برای آزمون من کندال ابتدا باید مقدار S را مشخص کرد که جمع همه شمارش‌ها را نشان می‌دهد (رابطه ۱).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(X_k - X_i) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن X_i و X_k مقادیر پشت سرهم سری زمانی می‌باشند. n طول دوره آماری و $\text{Sgn}(\theta)$ نیز برابر ۱، صفر و -۱ است. اگر θ به ترتیب بزرگتر از صفر، برابر یا کوچکتر از صفر باشد نتیجه آزمون Z براساس رابطه ۲ ارزیابی می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \rightarrow S > 0 \\ 0 \rightarrow S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \rightarrow S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن $\text{Var}(s)$ از رابطه ۳ بدست می‌آید و tp : تعداد مقادیر مشابه برای مقدار P ام می‌باشد [۱].

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

برای $0 < H(x) \leq 0.5$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

برای $0.5 < H(x) < 1$

ثابت‌های معادله عبارتند از [۳]:

$$C0 = 2/515517, C1 = 0/802853, C2 = 0/10328,$$

$$d1 = 1/432788, d2 = 0/189269, d3 = 0/001308$$

۵.۲. شاخص دبی جریان استاندارد شده SDI

شاخص خشکسالی دبی جریان استاندارد شده (SDI)، اولین بار توسط (Benzvi, 1987)، ارائه شد [۴]. این شاخص از رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود:

$$SDI = \frac{V_i - V_{average}}{\delta} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

که در آن V_i : مقادیر متوسط دبی ماهانه بر حسب متر مکعب بر ثانیه، $V_{average}$: میانگین دبی متوسط ماهانه در دوره آماری منتخب، δ : انحراف معیار داده‌ها در طول دوره آماری و SDI نیز شاخص دبی جریان استاندارد شده و بدون بعد است. رده بندی شدت خشکسالی و ترسالی بر اساس شاخص SPI و شاخص SDI در جدول ۱ ارائه شده است.

(یعنی $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$) معادلات ۵ و ۶ و ۷ را ارایه نمود [۳].

$$\Gamma(\alpha) = \int y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{X}}{\hat{\alpha}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad \text{رابطه (۷)}$$

و n : تعداد دیدبانی‌های مربوط به بارندگی است. چون تابع گاما برای $x=0$ (بارندگی صفر میلی‌متر) تعریف نشده است و توزیع بارندگی ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، تابع احتمال تجمعی که در برگیرنده مقادیر صفر هم باشد از رابطه (۸) بدست می‌آید که q : احتمال صفر بودن مقدار بارندگی و $G(x)$ تابع تجمعی گاما می‌باشد.

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad \text{رابطه (۸)}$$

مقادیر Z یا SPI از رابطه ۹ بدست می‌آید.

$$Z = SPI = \pm \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \text{رابطه (۹)}$$

جدول ۱. طبقه بندی وضعیت خشکسالی و ترسالی با استفاده از شاخص SPI [۲۱] و شاخص SDI [۲۳]

مقادیر SPI	وضعیت رطوبتی
۲ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	خشکسالی متوسط
-۱/۵ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
-۲ و کمتر	خشکسالی بسیار شدید

هواشناسی و هیدرولوژیکی را در حوضه‌های مورد مطالعه خراسان رضوی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج جدول ۲ وضعیت نرمال هیدرولوژیکی بیشترین فراوانی وقوع را دارد. خشکسالی‌های بسیار شدید هیدرولوژیکی کمترین احتمال وقوع را دارند. بیشترین احتمال وقوع مربوط به شرایط نرمال هواشناسی است. با افزایش پایه زمانی شاخص SPI فراوانی وضعیت نرمال کمتر شده و نوسانات ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها بهتر مشخص می‌شود.

شکل ۲ درصد فراوانی حوضه‌های با شدیدترین ترسالی و خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی را بر حسب سال وقوع نشان می‌دهد.

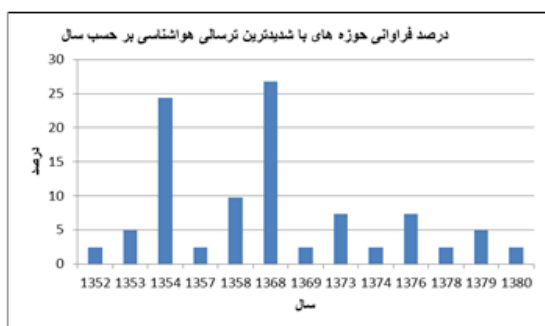
پس از محاسبه شاخص‌های خشکسالی از ضریب همبستگی پیرسون برای پیدا کردن رابطه بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی استفاده شد [۲۶، ۱۱، ۱۶، ۱۰]. ضریب همبستگی پیرسون به طور همزمان و با تأخیر زمانی ۱ تا ۱۲ ماهه بین شاخص‌های SPI و SDI محاسبه گردید. برای محاسبه شاخص‌های خشکسالی از نرم‌افزار DIP و برای تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار Excel و SPSS استفاده شد.

۳. نتایج

جدول ۲ میانگین درصد وقوع کلاس‌های خشکسالی

جدول ۲. متوسط درصد نسبی وضعیت خشکسالی حوضه‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص SPI و SDI

شاخص	ترسالی بسیار شدید	ترسالی شدید	ترسالی متوسط	نرمال	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید
SDI	۴/۸۲	۲/۶۲	۴/۳۵	۸۳/۳۴	۴/۳۱	۰/۴۳	۰/۱۳
SPI3	۱/۸۵	۴/۶۷	۱۰/۶۳	۷۲/۳۱	۶/۰۴	۳/۰۶	۱/۴۴
SPI6	۱/۷۴	۴/۳۸	۱۰/۵۰	۶۹/۵۷	۷/۸۱	۳/۷۰	۲/۳۰
SPI12	۱/۶۷	۴/۳۱	۱۰/۳۰	۶۹/۶۳	۷/۶۱	۳/۶۷	۲/۸۱
SPI24	۲/۱۰	۴/۹۳	۱۰/۴۳	۶۹/۰۶	۷/۴۴	۳/۶۳	۲/۴۱
SPI48	۱/۹۹	۵/۲۳	۱۰/۶۹	۶۷/۶۵	۷/۸۱	۴/۴۳	۲/۲۲



شکل ۲. درصد حوضه‌های با شدیدترین ترسالی و خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی بر حسب سال وقوع

هواشناسی و هیدرولوژیکی را تجربه کرده‌اند. نتایج تعیین روند داده‌های دبی و بارش متوسط سالانه حوضه‌های مورد مطالعه در دوره زمانی ۱۳۵۴ تا ۱۳۹۴ در جدول ۳ نشان داده شده است.

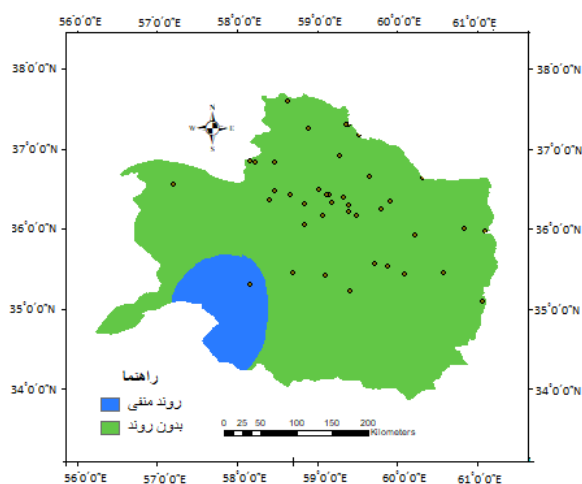
بر اساس شکل ۲ بیشترین تعداد حوضه‌های مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۴ دارای مرطوبترین وضعیت هواشناسی و هیدرولوژیکی بودند. در سال‌های ۱۳۵۹ و ۱۳۶۳ بیشترین تعداد حوضه‌ها شدیدترین خشکسالی

جدول ۳. نتایج آزمون من کندال تعیین روند داده‌های دبی و بارش در حوضه‌های منتخب استان خراسان رضوی

ایستگاه	بارش متوسط سالانه (mm)	دبی متوسط سالانه (lit/s)	دبی حداقل سالانه (lit/s)	شیب روند	Z	شیب روند	Z	بارش
ایرج آباد	۱۳۴/۶	۶۹۸/۶	۱۰۲/۵	-۰/۰۲۱	-۴/۳۲**	-۰/۸۹۱	۰/۸۸	
باراریه	۳۱۳/۷	۵۵۳/۶	۹۷/۴	-۰/۰۰۸	-۲/۰۸*	-۱/۷۵۶	-۱/۴۵	
حسین آباد	۱۶۹/۷	۶۸۱/۶	۰/۰	-۰/۰۲۱	-۴/۳۳**	۱/۲۱۱	۱/۷۸+	
حطیظه	۲۱۵/۱	۵۰۷/۸	۰/۰	-۰/۰۱۲	-۲/۷۶**	۰/۳۷۵	۰/۵۵	
دورود	۲۲۴/۸	۴۵۷/۱	۱۰/۴	-۰/۰۱۱	-۲/۵۰*	۰/۳۹۰	۰/۴۷	
دیزبادعلیا	۴۱۴/۵	۱۶۸/۹	۱۵/۷	-۰/۰۰۳	-۲/۱۷*	-۳/۵۵۵	-۱/۷۵+	
روح اباد	۲۲۲/۶	۲۴۶/۳	۰/۰	-۰/۰۰۸	-۲/۳۱**	-۲/۵۶۲	-۲/۹۵**	
زرنده	۲۰۵/۱	۶۸۴/۷	۱۵/۸	-۰/۰۲۶	-۴/۶۹**	-۱/۲۳۵	-۱/۴۵	
صبی	۲۲۹/۱	۶۵۲/۹	۴۸/۶	-۰/۰۳۱	-۵/۲۰**	-۲/۵۰۳	-۲/۱۳*	
صنوبر	۳۰۸/۷	۴۴۸/۱	۶۲/۳	-۰/۰۱۴	-۳/۴۶**	-۴/۴۶۹	-۲/۹۴**	
طاغون	۲۵۸/۹	۵۲۱/۴	۳۹/۱	-۰/۰۱۰	-۲/۶۲**	-۰/۹۸۱	-۰/۶۶	
عیش آباد	۲۷۹/۸	۱۲۹۴/۷	۲۵۷/۱	-۰/۰۲۱۰	-۲/۲۷*	۱/۵۸۳	۰/۹۳	
ینگچه	۲۷۵/۲	۱۴۲/۷	۳۷/۲	-۰/۰۰۳	-۴/۱۱**	۲/۰۳۷	۱/۲۲	
امامزاده رادکان	۲۱۹/۰	۴۶۵/۲	۰/۰	-۰/۰۰۷	-۲/۲۹*	-۱/۷۴۵	-۲/۰۸*	
اولنگ اسدی	۱۸۸/۹	۸۱۹/۷	۱۳/۷	-۰/۰۰۷	-۰/۷۱	-۱/۵۰۴	-۱/۹۶*	
آبقد فریزی	۲۸۰/۱	۶۶/۶	۰/۵	-۰/۰۰۲	-۲/۹۰**	-۰/۱۱۷	-۰/۱۰	
آق دربند	۲۷۳/۷	۱۲۷۶/۶	۳۵/۸	-۰/۰۲۴	-۱/۹۹*	۰/۹۸۱	۰/۶۶	
باغ عباسی	۲۸۵/۹	۶۱۱/۱	۱۱۷/۲	-۰/۰۱۶	-۳/۵۵**	-۱/۰۰۰	-۰/۸۹	
پل خاتون	۲۷۸/۷	۱۷۵۹/۳	۱۴/۳	-۰/۰۵۲	-۳/۵۰**	-۱/۲۳۲	-۰/۹۶	
تینمک سفلی	۱۹۴/۴	۸۱/۰	۱/۱	-۰/۰۰۲	-۲/۵۰*	-۲/۱۲۸	-۲/۵۹**	
جاغرق	۳۳۴/۷	۲۷۱/۸	۱۴/۰	-۰/۰۰۴	-۱/۷۱	-۳/۵۳۶	-۲/۲۸*	
چکنه علیا	۳۵۹/۴	۸۸/۸	۳۱/۴	-۰/۰۰۱	-۲/۸۵**	-۱/۹۶۵	-۲/۰۷*	
چهچه	۲۱۶/۳	۶۳۷/۰	۱۱۱/۳	-۰/۰۱۳	-۲/۷۸**	-۲/۰۰۰	-۲/۱۵*	
حاتم قلعه	۲۲۴/۸	۱۸۲۵/۳	۷۷۱/۵	-۰/۰۱۶	-۱/۶۱	۰/۳۹۰	۰/۴۷	
حصار	۲۱۴/۴	۴۵۱/۴	۴۲/۵	-۰/۰۰۹	-۲/۳۶*	۰/۶۲۵	۰/۵۹	
دولت آباد	۲۴۶/۱	۴۰۱/۹	۹۶/۴	-۰/۰۰۴	-۲/۰۳*	-۳/۰۱۹	-۳/۲۱**	
ز شک	۳۵۳/۷	۵۳۷/۳	۱۲۹/۴	-۰/۰۰۳	-۱/۰۶	-۱/۱۰۰	-۰/۷۸	
سدکارده	۲۶۰/۴	۱۰۷۷/۱	۱۵۸/۰	-۰/۰۴۲	-۴/۷۴**	-۲/۳۷۵	-۲/۴۱*	
سراسیاب	۲۳۸/۵	۶۰۰/۶	۷/۳	-۰/۰۰۸	-۱/۴۵	-۱/۸۱۸	-۱/۳۱	
سنگدیوار	۳۰۲/۷	۹۲۵/۶	۵۷۷/۹	-۰/۰۰۱	-۰/۴۷	۰/۹۴۳	۰/۵۴	
غارشیشه	۲۳۹/۷	۲۵۶/۳	۰/۰	-۰/۰۱۱	-۴/۵۹**	-۱/۱۲۴	-۱/۰۴	
موشنگ فریزی	۳۳۶/۰	۱۷۱۵/۶	۳۲۱/۰	-۰/۰۲۴	-۲/۰۱*	-۴/۸۲۲	-۳/۰۱**	
کپکان	۲۷۳/۸	۱۴۱/۱	۴۹/۰	-۰/۰۰۱	-۱/۵۷	۰/۸۹۳	۰/۸۷	
کرتیان	۲۵۴/۱	۴۸۸/۲	۳۹/۶	-۰/۰۱۱	-۲/۷۱**	-۲/۵۰۵	-۱/۶۶+	
کلاته رحمان	۲۸۰/۵	۳۱۳/۱	۸/۴	-۰/۰۰۹	-۳/۷۱**	-۱/۴۷۲	-۱/۰۰	
گلمکان	۲۴۸/۳	۳۴۵/۶	۱۰۱/۶	-۰/۰۰۴	-۱/۷۳+	۱/۲۸۳	۰/۹۶	
محمدتقی بیگ	۲۷۰/۰	۱۵۹۵/۳	۷۷۵/۵	-۰/۰۱۷	-۲/۷۸**	۱/۰۵۱	۱/۲۲	
ماه نسا	۲۰۴/۲	۹۳/۶	۰/۳	-۰/۰۰۴	-۵/۲۷**	-۲/۲۹۱	-۲/۷۷**	
چشمه علی	۳۵۳/۷	۴۶۰/۶	۹۶/۹	-۰/۰۰۸	-۲/۶۹**	-۱/۱۰۰	-۰/۷۸	
نشیب	۲۷۵/۲	۱۴۵/۰	۴۵/۳	-۰/۰۰۲	-۱/۹۴+	۲/۰۳۷	۱/۲۲	
باغسنگان	۱۵۳/۵	۲۰۱/۴	۰	-۰/۰۰۶	-۳/۹۰**	-۱/۸۲۰	-۲/۶۹**	

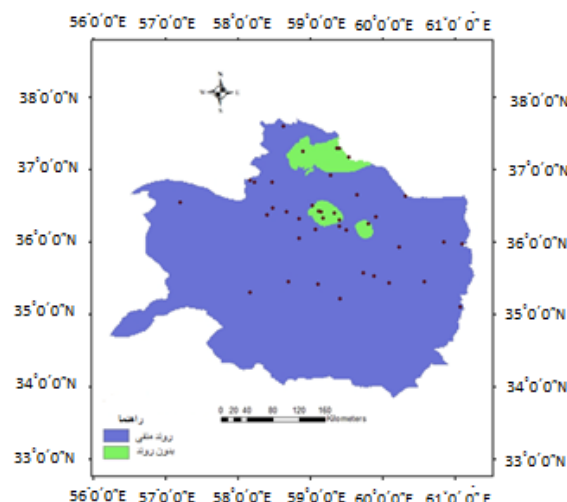
※: سطح معنی داری ۵ درصد و ※※: سطح معنی داری ۹۹ درصد

شیب خط روند کاهشی مقدار دبی مربوط به حوضه پل خاتون ($-0/052$) و سد کارده ($-0/046$) می‌باشد. نقشه‌های پهنه‌بندی روند تغییرات با روش کریجینگ عمومی [۱۳] تهیه شده است. نقشه پهنه‌بندی روند تغییرات دبی در شکل ۳ و نقشه پهنه‌بندی روند شاخص SDI در شکل ۴ نشان داده شده است. شکل ۴ نشان می‌دهد فقط در یک ایستگاه (ایرج آباد) روند شاخص SDI منفی بوده و خشکسالی هیدرولوژیکی در حال افزایش است.



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی روند تغییرات شاخص SDI در خراسان رضوی

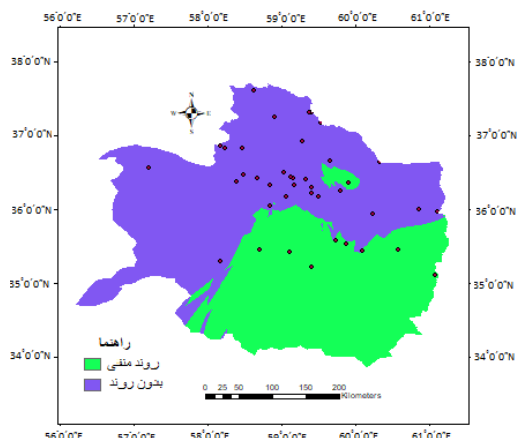
بر اساس نتایج جدول ۳، در همه حوضه‌ها مقدار دبی روند کاهشی دارد و مقدار این کاهش در ۶ حوضه اولنگ اسدی، حاتم قلعه، زشک، سرآسیاب، سنگدیوار، کپکان از نظر آماری معنی‌دار نیست. در سه ایستگاه نشیب، گلمکان و جعفرق روند منفی دبی در سطح ۹۰٪ معنی‌دار است و در بقیه ایستگاه روند منفی دبی سالانه در سطح ۹۵٪ و ۹۹٪ معنی‌دار است. یعنی در بیشتر حوضه‌های مورد مطالعه مقدار دبی دارای روند کاهشی است. بیشترین



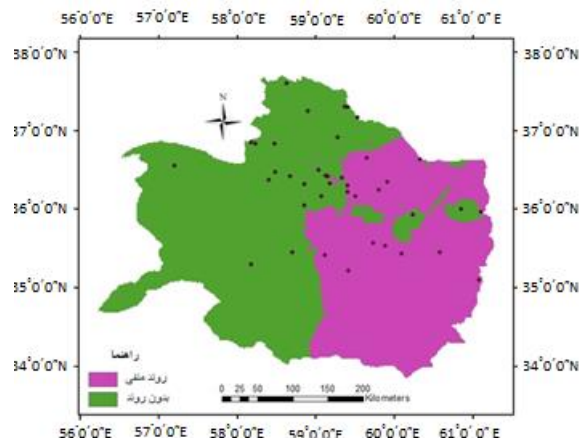
شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی روند تغییرات دبی در خراسان رضوی

شدت خشکسالی در خراسان رضوی نشان می‌دهد. ضریب همبستگی بین شاخص‌های SDI و SPI محاسبه شده با مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه شد. با توجه به اینکه در بیشتر ایستگاه‌ها ضریب همبستگی معنی‌داری بین شاخص خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی به صورت همزمان بدست نیامد. ضریب همبستگی بین شاخص SDI و SPI با تاخیرهای زمانی ۱ تا ۱۲ ماه نیز محاسبه شد و بیشترین ضریب همبستگی بین شاخص‌های مذکور در جدول ۴ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۳ ترکیبی از روند مثبت و منفی تغییرات بارش در حوضه‌های مورد مطالعه اتفاق افتاده است. اما روندهای مثبت محاسبه شده در هیچ کدام از حوضه در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نبود. بیشترین شیب کاهش مقدار بارش در ایستگاه‌های موشنگ فریزی و صنوبر به ترتیب به مقدار $-4/82$ و $-4/46$ محاسبه شده است. شکل ۵ نقشه پهنه‌بندی روند تغییرات بارش و شکل ۶ نقشه پهنه‌بندی روند تغییرات شاخص SPI3 در خراسان رضوی را نشان می‌دهد. مقایسه نقشه‌های ۵ و ۶ تطابق تقریباً خوبی را بین مناطق با روند منفی بارش و روند افزایشی



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی روند تغییرات خشکسالی هواشناسی بر اساس شاخص SPI3 در خراسان رضوی



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی روند تغییرات بارش در خراسان رضوی

جدول ۴. بیشترین ضریب همبستگی بدست آمده بین داده‌های دبی و بارش و شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی

ایستگاه	رابطه SPI و SDI	تاخیر زمانی بین شاخص SPI و شاخص SDI (ماه)	ضریب همبستگی دوشاخه SPI و SDI	ضریب همبستگی دبی و بارش	تاخیر زمانی بین دبی و بارش (ماه)
ایرج آباد	SDI و SPI3	۰	۰/۱۹۶**	۰/۴۹**	۱
باراریه	-	-	-	۰/۵۷**	۲-۱
حسین آباد	SDI و SPI12	۱	۰/۱۰۹*	۰/۲۶**	۱
حطیطه	SDI و SPI3	۰	۰/۶۶۱**	۰/۳۹**	۱
دورود	SDI و SPI6	۹	۰/۱۲۹**	۰/۴۶**	۱
دیزبادعلیا	-	-	-	۰/۴۴**	۲
روح اباد	-	-	-	۰/۳۶**	۰
زرنده	SDI و SPI6	۷	۰/۱۲۰**	۰/۳۷**	۰
صبی	SDI و SPI12	۵	۰/۱۵۲**	۰/۵۳**	۱-۰
صنوبر	-	-	-	۰/۵۷**	۰
طاغون	SDI و SPI48	۱	۰/۶۲۰**	۰/۵۸**	۲
عیش آباد	SDI و SPI3	۹	۰/۰۹۱*	۰/۵۶**	۲
ینگچه	SDI و SPI3	۱۱	-۰/۱۰۳*	۰/۱۹**	۰
امامزاده رادکان	SDI و SPI24	۱۱	۰/۱۵۸**	۰/۳۴**	۱
اولنگ اسدی	SDI و SPI6	۴	۰/۱۲۳**	۰/۴۵**	۰
آبقد فریزی	-	-	-	۰/۲۶**	۲
آق دربند	-	-	-	۰/۲۶**	۱

ادامه جدول ۴

ایستگاه	رابطه SDI و SPI	تاخیر زمانی بین شاخص SPI و شاخص SDI (ماه)	ضریب همبستگی دوشاخه SDI و SPI	ضریب همبستگی دبی و بارش	تاخیر زمانی بین دبی و بارش (ماه)
باغ عباسی	SDI و SPI12	۷	۰/۱۳۳**	۰/۶۱**	۱
پل خاتون	-	-	-	۰/۳۱**	۲-۱
تیمک سفلی	-	-	-	۰/۲۷**	۱-۰
جاغرق	SDI و SPI3	۵	۰/۰۹۲*	۰/۴۷**	۱
چکنه علیا	-	-	-	۰/۳۹**	۲
چهچه	-	-	-	۰/۵۳**	۱-۰
حاتم قلعه	SDI و SPI3	۱۰	۰/۱۰۲*	۰/۴۲**	۰
حصار	SDI و SPI3	-	۰/۶۷۵**	۰/۵۶**	۱
دولت آباد	-	-	-	۰/۵۷**	۱
زشک	SDI و SPI3	۱۰	۰/۱۰۶*	۰/۴۶**	۱۲
سدکارده	SDI و SPI12	۶	۰/۱۶۱**	۰/۳۴**	۱
سرآسیاب	-	-	-	۰/۵۸**	۱
سنگدیوار	SDI و SPI12	۱۰	-۰/۱۱۵*	۰/۴۱**	۰
غارشیشه	SDI و SPI12	۵	۰/۲۲۹**	۰/۴۵**	۱
موشنگ فریزی	-	-	-	۰/۶۱**	۱
کپکان	-	-	-	۰/۵۹**	۰
کرتیان	SDI و SPI6	۱۲	۰/۱۷۲**	۰/۶۰**	۱
کلاته رحمان	SDI و SPI24	۰	۰/۱۰۲*	۰/۵۷**	۱
گلمکان	SDI و SPI6	۴	-۰/۱۲۷**	۰/۴۷**	۱
محمدتقی بیگ	-	-	-	۰/۴۳**	۱
ماه نسا	SDI و SPI3	۰	۰/۶۴۶**	۰/۲۱**	۰
چشمه علی	SDI و SPI12	۳	۰/۱۱۱*	۰/۴۶**	۱۲
نشیب	SDI و SPI48	۷	-۰/۱۰۸*	۰/۳۲**	۰
باغسنگان	SDI و SPI24	۸	-۰/۱۰۹*	۰/۳۳**	۰

*: سطح معنی داری ۵ درصد و **: سطح معنی داری ۹۹ درصد

آبقدفریزی، صنوبر، روح‌آباد، دیزباد و باراریه هیچ رابطه معنی‌داری بین شاخص خشکسالی هواشناسی و خشکسالی هیدرولوژیکی وجود ندارد. یعنی در ۳۶/۵ درصد حوضه‌ها رابطه معنی‌داری بدست نیامد. در ۹

بررسی ضرایب همبستگی بین SDI و SPI با مقیاس‌های زمانی متفاوت نشان داد در ۱۶ ایستگاه محمدتقی بیگ، کپکان، حصار، فریزی، سرآسیاب، دولت آباد، چهچه، چکنه، تیمک سفلی، پل خاتون، آق دربند،

سال‌های اخیر در حوضه خلیج فارس [۱۴]، در حوضه رودخانه کوبرس در جنوب پرتغال [۷] و کشور کوچک توالو در اقیانوس آرام [۲۴] مشاهده شده است. اما روند تغییر دما، بارندگی و دبی در رودخانه تریم چین افزایشی بوده [۲۹] که بر خلاف نتایج بدست آمده در این تحقیق است. بررسی ضرایب همبستگی پیرسون بین SDI و SPI با مقیاس‌های زمانی متفاوت نشان داد در ۳۶/۵ درصد حوضه‌ها هیچ رابطه معنی‌داری بین خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی وجود ندارد. نتایج مشابهی در حوضه شیرکوه یزد [۲۲] بدست آمد. علت عدم رابطه قوی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در بیشتر حوضه‌ها را می‌توان با توجه به روند کاهشی دبی و شرایط بدون روند بارش توجیه کرد.

با افزایش مقیاس زمانی SPI میزان همبستگی بین SDI و SPI کاهش می‌یابد. در حوضه‌های طبیعی هم‌جوار ایالات متحده نیز رابطه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر و فصلی قوی‌تر بود [۱۰]. اما در حوضه اینایون جنوب مراکش با افزایش پایه زمانی ضریب همبستگی بین SDI و SPI افزایش می‌یابد [۶]. ضریب همبستگی بین بارش و دبی همزمان و با تاخیر زمانی ۱ تا ۱۲ ماه دبی نشان داد بارش با دبی همزمان و بارش با دبی با یک ماه تاخیر در همه ایستگاه‌ها رابطه معنی‌دار در سطح ۵٪ دارد. نتایج مشابهی در حوضه سراب صیدعلی [۱۹] و حوزه آبخیز کرخه [۱۸] بدست آمد. در حوضه‌های مورد مطالعه رابطه مشخص و یکسانی بین شاخص SDI و SPI با پایه‌های زمانی مختلف و با تاخیرهای زمانی ۱ تا ۱۲ ماه نبود و در حوضه‌هایی که رابطه معنی‌داری بین خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی وجود دارد این رابطه با تاخیرهای زمانی متفاوت از صفر (همزمان) تا ۱۲ ماه می‌باشد. در مطالعات انجام شده در خصوص رابطه خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی انجام شده در داخل و خارج کشور نیز به تاخیر زمانی متفاوت همزمان و یک ماهه [۸، ۲۳، ۲۷]، یک ماهه تا ۷ ماهه [۱۱]، ۲ تا ۶ ماهه [۳۳]، ۱۲ ماهه

ایستگاه شاخص SDI با SPI سه ماهه رابطه معنی‌دار آماری داشته است. در ۵، ۷، ۳ و ۲ ایستگاه شاخص SDI به ترتیب با SPI شش ماهه، دوازده ماهه، بیست و چهار ماهه و چهل و هشت ماهه رابطه معنی‌دار آماری در سطح ۹۵٪ دارد. رابطه مستقیم بارش با دبی و با تاخیر زمانی ۱ تا ۱۲ ماه نیز محاسبه شد (جدول ۵). نتایج نشان داد بارش با دبی همزمان و بارش با دبی با یک ماه تاخیر در همه ایستگاه‌ها رابطه معنی‌دار در سطح ۵٪ دارد. فقط در ایستگاه زشک بارش و دبی با تاخیر ۱۲ ماه بیشترین رابطه همبستگی را دارد.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق رابطه بین خشکسالی هیدرولوژیکی و هواشناسی در ۴۱ حوزه آبخیز استان خراسان رضوی در طول دوره آماری ۴۰ ساله (۱۳۵۴ تا ۱۳۹۴) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد با افزایش پایه زمانی شاخص SPI فراوانی خشکسالی‌های شدید افزایش می‌یابد و نوسانات ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها بهتر مشخص می‌شود، بررسی روند خشکسالی ایران مرکزی نشان داد، شاخص SPI با مقیاس بلند مدت ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه روند تغییرات را بهتر نشان می‌دهند [۳۱]. دبی جریان در استان خراسان رضوی رو به کاهش است. به کاهش مقدار دبی در سال‌های اخیر در مطالعات و مناطق مختلف مانند حوضه رودخانه کوبرس در جنوب پرتغال [۷] اشاره شده است. روند کاهشی دبی جریان شاید مربوط به افزایش سطح زیر کشت و بهره‌برداری بیشتر از آب‌های سطحی و یا افزایش شدت خشکسالی‌های هواشناسی باشد. نتایج آزمون من‌کندال بارش نشان داد ترکیبی از روند مثبت و منفی تغییرات بارش در حوضه‌های مورد مطالعه اتفاق افتاده است. اما روندهای مثبت محاسبه شده در هیچ کدام از حوضه‌ها در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نبوده در بیش از نیمی از ایستگاه‌ها روند بارش منفی و کاهشی است. روند کاهشی بارش در

هیدرولوژیکی استفاده شود. با توجه به رابطه مستقیم بین کاهش بارش و دبی در حوضه‌های مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد در مدیریت منابع آب به این اثرات مستقیم توجه گردد و در صورت وقوع خشکسالی هواشناسی مدیریت صحیح تخصیص آب در بخش‌های مختلف مصرف مد نظر قرار گیرد. در این تحقیق فقط اثر خشکسالی هواشناسی بر روند تغییرات دبی جریان مورد بررسی قرار گرفت بنابراین توصیه می‌گردد ارتباط خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه‌های مورد بررسی با در نظر گرفتن عوامل مختلف دیگر مانند مساحت حوضه، زمین شناسی و خاکشناسی حوضه نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

۵. سپاس‌گزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده به شماره ابلاغیه ۶۸ از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تربت حیدریه می‌باشد که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

[۱۲] و یک تا دو سال [۱۶] بین وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی اشاره شده است. علت تاخیر زمانی متفاوت بین وقوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبخیز مختلف می‌تواند ناشی از شرایط آب‌وهوایی، جغرافیایی، فیزیکی و اکولوژیکی متفاوت حاکم بر حوضه‌ها بوده که تاثیر زیادی بر روابط بارش و رواناب می‌گذارد.

خشکسالی هواشناسی را باید به همراه اثرات کاهش بارش بررسی کرد. این کاهش بارش بر مقدار رطوبت خاک و تولید محصولات کشاورزی، مرتعی و جنگلی و همچنین در میزان آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها، مخازن و سطح آب‌های زیرزمینی تاثیرگذار می‌باشد. خشکسالی‌های هیدرولوژیکی معمولاً با تاخیر زمانی نسبت به خشکسالی‌های اقلیمی و کشاورزی روی می‌دهد، زیرا زمان بیشتری نیاز است تا کاهش بارش بتواند اثرات خود را در اجزای سیستم هیدرولوژیکی نشان دهد.

در حوضه‌های مورد مطالعه رابطه مشخصی بین شاخص SPI و SDI بدست نیامد، پیشنهاد می‌گردد از شاخص‌های دیگری برای تعیین خشکسالی هواشناسی و

References

- [1] Alizadeh, A. (2009). Principles of Applied Hydrology, 29ed Edition. Imam Reza University Press.
- [2] Anandharuban, P. and Elango, L. (2021). Spatio-temporal analysis of rainfall, meteorological drought and response from a water supply reservoir in the megacity of Chennai, India. Journal of Earth System Science, 130(17), 1-20.
- [3] Azarakhshi, M. (2008). Determination of the most appropriate drought index for arid and semiarid regions based on rangeland plant production approach (case study: Ilam, Qom and Markazi Provinces). Ph.D Thesis of University of Tehran.
- [4] Benzvi, A. (1987). Indices of hydrological drought in Israel. Journal of Hydrology, 92, 179-191.
- [5] Boroghani, M., Moradi, H.R. and Zangane Asadi, M. (2015). Zoning and determination of the best index in khorasan razavi. Arid Regions Geographic Studies, 5(19), 70-84.
- [6] Boudad, B., Sahbi, H. and Manssouri, I. (2018). Analysis of meteorological and hydrological drought based in SPI and SDI index in the Inaouen basin (Northern Morocco). Journal of Materials and Environmental Sciences, 9(1), 219-227.
- [7] Dasilva, R.M., Santos, C.A.G., Moreira, M., Corte Real, J., Silva, V.C.L. and Medeiros, I.C. (2015). Rainfall and river flow trends using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in the Cobres river basin. Natural Hazards, 77(2), 1205-1221.

- [7] Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, Gh.R., Khosravi, H. and Azareh, A. (2016). Investigation and analysis of temporal and spatial relationship between meteorological and hydrological drought in Tehran province. *Scientific Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 24(96), 113-120.
- [9] Fallah Ghalhary, Gh.A., Habibi Nokhandan, M. and Khoashhal, J. (2010). Spring rainfall estimation of Khorasan Razavi province based on tele-connection synoptically patterns using adaptive Neuro-Fuzzy inference system. *Journal of Range and Watershed Management*, 63(1), 55-74.
- [10] Gallardo, M.P., Vicente Serrano, S.M., Hannaford, J., Lorenzo Lacruz, J., Svoboda, M., Domínguez Castro, F., Maneta, M., Tomas-Burguera, M. and ElKenawy, A. (2019). Complex influences of meteorological drought time-scales on hydrological droughts in natural basins of the contiguous United States. *Journal of Hydrology*, 568, 611-625.
- [11] Ghayenati, Sh., Fazloulou, R., Masoudian, M. and Nadi, M. (2018). Using two of SPImod and SDImod for comparative assessment of meteorological and hydrological droughts in Tajan basin. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 3(13), 614-626.
- [12] Gheisouri, M., Soltani Gerdefaramarzi, S. and Ghasemi, M. (2019). Assessment of meteorological and hydrological drought and its effect on water quality: (case study: Godarkhosh river). *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(4), 91-105.
- [13] Hamidiyanpour, M., Saligeh, M. and Falah Ghalhari, GH.A. (2013). Applying types of interpolation methods for spatial analysis and monitoring of SPI drought case study: Khorasan Razavi province. *Geography and Development Iranian Journal*, 11(30), 57-70.
- [14] Jahangir, M.H. and Talei, M. (2020). Assessment of drought prone areas in the Persian Gulf basin using meteorological and hydrological indicators. *Environment and Water Engineering*, 6(4), 311-320.
- [15] Karamoz, M. and Araghinejad, Sh. (2005). *Advance Hydrology*. University of Amir Kabir Press.
- [16] Karimi, M., Shahedi, K. and Khosravi, Kh. (2016). Investigation of meteorological and hydrological drought using drought indices in Qarehsou river basin. *Earth and Space Physics*, 22(1), 159-170.
- [17] Kazemzadeh, M. and Malekian, A. (2016). Spatial characteristics and temporal trends of meteorological and hydrological droughts in northwestern Iran. *Natural Hazards*, 80, 191-210.
- [18] Koushki, R., Rahimi, M., Amiri, M., Mohammadi, M. and Dastorani, J. (2017). Investigation of relationship between meteorological and hydrological drought in Karkheh watershed. *Ecohydrology*, 4(3), 687-698.
- [19] Lashti Zand, M., Parvaneh, B., Payamani, K. and Sepahvand, A. (2012). Assessment of the meteorological and hydrological drought adaptation in Sarabali watershed. *Irrigation and Water Engineering*, 9(3), 1-11.
- [20] Li, Q., He, P., He, Y., Han, X., Zeng, T., Lu, G. and Wang, H. (2020). Investigation to the relation between meteorological drought and hydrological drought in the upper Shaying river basin using wavelet analysis. *Atmospheric Research*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104743>.
- [21] McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology. 12-17 January, Anaheim California, USA, pp.179-184.
- [22] Mozafari, Gh.A. (2006). Unconformity in meteorological and hydrological drought in two neighboring basins at north mountain slope of Shirkoh Yazd. *Spatial Planning*, 10(1), 173-190.
- [23] Nalbantis, I. and Tsakirias, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23, 881-897.
- [24] Paeniguer, L., Holland, E., Miller, C. and Anderson, G. (2017). Rainfall trend, drought frequency and La Nina in Tuvalu: a small equatorial island state in Pacific Ocean. *Journal of Environmental and Analytical Toxicology*, 7(5), 1-7.
- [25] Rivera, J.A., and Penalba, O.C. (2014). Trend and spatial pattern of drought affected area in southern South America. *Climate*, 2, 264-278.
- [26] Salimi, H., Asadi, E. and Darbandi, S. (2021). Meteorological and hydrological drought monitoring using several drought indices. *Applied Water Science*, 11(11), 1-10.

- [27] Sarisarraf, B., Vaezihir, A.R., Valaei, A. and Abtahi, V. (2017). Study of trend and relationship between meteorological and hydrogeological droughts of Sufichai and Mordaghchai watershed. *Natural Environmental Hazards*, 5(10), 25-42.
- [28] Sattar, M.N., Lee, J.Y., Shin, J.Y. and Kim, T.W. (2019). Probabilistic characteristics of drought propagation from meteorological to hydrological drought in South Korea. *Water Resources Management*, 23, 2439-2452.
- [29] Shaker Sureh, F. and Asadi, E. (2019). Meteorological and hydrological drought communication in Salmas Plain. *Desert Ecosystem Engineering*, 8(22), 89-100.
- [30] Soheili, E., Malekinezhad, H. and Ekhtesasi, R.M. (2017). Analysis of the trend of meteorological and hydrological droughts in semi-arid regions of Iran (case study: Doroodzan dam basin). *Desrt Management*, 9(1), 31-45.
- [31] Vali, A.A. and Roustaei, F. (2016). A time series analysis of drought for the last five decades in central Iran. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 5(11), 81-94.
- [32] Wang, F., Wang, Z., Yang, H., Di, D., Zhao, Y., Liang, Q. and Hussain, Z. (2020). Comprehensive evaluation of hydrological drought and its relationships with meteorological drought in the Yellow river basin, China. *Journal of Hydrology*, 584, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124751>.
- [33] Xu, Z., Liu, Z., Fu, G. and Yaning, C. (2010). Trends of major hydro climatic variables in the Tarim river basin during the past 50 years. *Journal of Arid Environments*, 74, 89-99.
- [34] Zhou, Z., Shi, H., Fu, Q., Ding, Y., Li, T., Wang, Y. and Liu, S. (2021). Characteristics of propagation from meteorological drought to hydrological drought in the Pearl river basin. *JGR Atmospheres*, 126(4). <https://doi.org/10.1029/2020JD033959>.